สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัย

งบประมาณประจำปี 2542

เรื่อง

การสะสมและการขยายตัวทางชีวภาพของสารพิษปรอทในสิ่งแวดล้อมชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

โดย

AQ00622X
- 4 พ.ย. 2552
261257
เริ่มบริการ
23 พ.ย. 2552

รศ. ดร. วรวิทย์ ชีวาพร
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน	14
บทที่ 4. ผลการศึกษา	19
บทที่ 5. สรุปและวิจารณ์	34
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	40

บทคัดย่อ

ได้เก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลจำนวนทั้งสิ้น 10 ชนิด รวม 111 ตัวอย่าง จากบริเวณบางพระและมาบตาพุด เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทปนเปื้อนในตัวอย่างสัตว์ พบว่าปริมาณสารปรอทในตัวอย่างที่วิเคราะห์อยู่ในช่วงพิสัย 1.8 - 90.4 ng/g โดยมีค่าเฉลี่ย 22.03 ng/g ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภคที่กำหนดโดย USFDA และมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 80 (2527) ที่กำหนดให้ไม่เกิน 500 ng/g พบค่าสูงสุดในปลาเก๋าและต่ำสุดในตัวอย่างแพลงตอนค์ พบการขยายตัวทางชีวภาพของสารปรอทในห่วงลูกโซ่อาหาร สัตว์ทะเลในห่วงลูกโซ่อาหารที่สูงกว่าจะพบปริมาณสารปรอทมากกว่าในสัตว์ทะเลที่อยู่ในห่วงลูกโซ่อาหารที่ต่ำกว่า นอกจากนี้เมื่อเอาปริมาณสารปรอทมาหาความสัมพันธ์กับขนาด (น้ำหนัก) ของสัตว์ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง ยกเว้นในปลาแพะ พบมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับขนาด เมื่อคำนวนค่า Provisional tolerate weekly intake(PTWI) จากการบริโภคสัตว์ทะเลในบริเวณนี้พบว่ามีค่าเพียง 1/38 ของ PTWI แสดงว่าปริมาณสารปรอทที่ตรวจพบยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาเกี่ยวกับปรอท

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสารปรอท (Mercury) ได้ก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะอย่างร้ายแรงขึ้นในที่ต่างๆ หลายๆ แห่ง ซึ่งไม่เพียงแต่ทำลายสภาวะแวดล้อมและชีวิตเท่านั้น แต่ยังก่อให้เกิดปัญหาทางสังคมตามมาอีกด้วย อย่างไรก็ตามถึงแม้จะทราบกันดีถึงพิษของสารปรอท ปริมาณการใช้สารปรอทก็ยังเพิ่มสูงขึ้นอย่างน่าวิตก เนื่องจากปรอทมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี จึงใช้ในการทำกระจกเงาและเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ปรอทมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่นโรงงานทอผ้า ชุบโลหะ โรงงานผลิตโซดาไฟและคลอรีน อุตสาหกรรมเทอร์โมมิเตอร์ ใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรม ยาปราบศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อรา

จะเห็นได้ว่าปรอทมีประโยชน์มากมายทั้งในทางอุตสาหกรรม เภสัชกรรมและทางเกษตรกรรม แต่ในขณะเดียวกันการใช้ปรอทจำนวนมากก็ทำให้เกิดการแพร่กระจาย รั่วไหลสู่สภาวะแวดล้อมและสะสมตัวอยู่ได้เป็นเวลานาน คาดคะเนกันว่าปริมาณของปรอทที่ผลิตออกมาในแต่ละปีประมาณ 10,000 เมตริกตัน (Goldwater 1971) ในปริมาณนี้ประมาณครึ่งหนึ่ง คือ 4,000-5,000 เมตริกตันจะแพร่กระจายโดยตรงสู่สภาวะแวดล้อมในแต่ละปี ส่วนที่เหลือจะค่อยๆแพร่กระจายสู่สภาวะแวดล้อมอย่างช้าๆในที่สุด

ปรอทเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมาก ดังจะเห็นได้จากกรณีการเกิดโรคมินามาตะจากพิษของปรอท ในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเกิดจากการปล่อยสารประกอบเมอร์คิวริกคลอไรด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์ลงสู่อ่าวมินามาตะในปริมาณที่สูง มีผลให้สัตว์น้ำและประชาชนที่บริโภคสัตว์น้ำในบริเวณนั้นได้รับปริมาณปรอทสะสมในร่างกายเพิ่มสูงขึ้นทำให้ล้มป่วยและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก ปรอทสามารแพร่กระจายลงสู่ทะเลด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะปะปนมากับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำปรอทมาใช้ เช่น โรงงานผลิตโซดาไฟและคลอรีน โรงงานผลิตพลาสติก เป็นต้น เมื่อปรอทแพร่กระจายลงสู่ทะเลจะถูกดูดซับโดยสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและค่อยๆตกตะกอนลงสู่ท้องทะเล ซึ่งจะทำให้มีความเข้มข้นของปรอทสูงกว่าในน้ำ (มนุวดี หังสพฤกษ์, 2532) โดยปรอทจะอยู่ในรูปของปรอทอนินทรีย์และสามารถเปลี่ยนรูปเป็นปรอทอินทรีย์ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี้ (Methylmercury) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของปรอทที่มีความเป็นพิษสูงได้ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ (Microorganisms) ใน

สิ่งแวดล้อม สารประกอบอินทรีย์ของปรอทนี้สามารถเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นได้ และการสะสมจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร (food chain) (แววตา ทองระอาและคณะ, 2531) ซึ่งผลของสารนี้ที่มีต่อร่างกายคือ สามารถไปยับยั้งหรือทำลายการทำงานของระบบประสาท ไตและเนื้อเยื่อต่างๆ ได้

อาหารนับเป็นแหล่งสำคัญสำคัญสำหรับมนุษย์ต่อการรับเอาสารปรอทเข้าสู่ร่างกาย ปนอทจากแหล่งต่างๆสามารถสะสมอยู่ในอาหารโดยขบวนการต่างๆ เช่น ปรอทส่วนที่ใช้วนการเกษตรกรรมและตกค้างอยู่ในดิน อาจจะถูกดูดซึมไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชผักผลไม้ที่เพาะปลูกได้ ปรอทจากโรงงานอุตสาหกรรมจะสะสมอยู่ในดินและอาจจะอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆได้ โดยออกมาปนกับน้ำเสียจากโงงานอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดการสะสมในตัวปลาหรือสิ่งมีชีวิตที่สะสมอยู่ในแหล่งน้ำนั้น เคยมีรายงานว่าปริมาณสารปรอทในตัวปลาสูงกว่าในน้ำซึ่งมันอาศัยอยู่ถึง 3,000 เท่า (Jones, 1971) การสะสมของปรอทในปลานับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งทั้งผลด้านนิเวศน์วิทยาและการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากปลานับเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ และเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ การบริโภคปลาเป็นอาหารมีอัตราสูงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และญี่ปุ่น(ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1

ค่าประมาณการบริโภคปลาในบางประเทศ

ประเทศ	กรัม/บุคคล/วัน	เอกสารอ้างอิง
ญี่ปุ่น	84	Nelson, 1971
สวีเดน	56	Nelson, 1971
ประเทศไทย	55	Marr, et al. 1976
ฟินแลนด์	30	Nelson, 1971
อังกฤษ	24	Anonymous,1972
แคนาดา	17	Nelson, 1971
สหรัฐอเมริกา	17	Nelson, 1971

ในอดีตที่ผ่านมาก่อนปีพ.ศ.2536 ปริมาณสารปรอทที่พบในปลาทะเลและสิ่งแวดล้อมยังมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคแต่ภายหลังจากปีพ.ศ.2536 เป็นต้นมา พบว่ามีการสะสมสารปรอทในปริมาณที่เพิ่มขึ้น บางครั้งมีปริมาณสูงกว่าระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2538) โดยมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527) และมาตรฐานของ

องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) ได้กำหนดระดับความปลอดภัยที่มีผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคไว้ โดยกำหนดให้มีปริมาณสารปรอทในปลาทะเลได้สูงสุด 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ, 2527)

นับได้ว่าการสะสมของสารปรอทในสัตว์ทะเลนั้นเป็นปัญหาสำคัญยิ่ง ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียทั้งทางด้านนิเวศน์วิทยาและการบริโภคของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากสัตว์ทะเลเป็นแหล่งอาหารประเภทโปรตีนที่สำคัญยิ่งของมนุษย์ การศึกษาปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจนั้นจะทำให้เราทราบว่า ปัจจุบันมีปริมาณสะสมในสัตว์ทะเลเพิ่มขึ้นหรือไม่และถ้าเพิ่มขึ้นปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นจะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างไร ดังนั้นจึงควรที่จะมีการติดตามตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นประโยชน์ในการการควบคุมและป้องกันผลกระทบอันเกิดจากโรคพิษของสารปรอทที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาระดับการปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งมีชีวิตชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
2. เพื่อศึกษาอัตราการสะสมและการขยายตัวของสารปรอทในสัตว์น้ำชายฝั่งภาคตะวันออก
3. เพื่อประเมินผลความเสี่ยงต่อการบริโภคสัตว์น้ำจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบระดับปริมาณสารปรอทที่สะสมในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
2. ทำให้ทราบอัตราการสะสมและการขยายตัวของสารปรอทในสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก
3. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งนำไปกำหนดและดำเนินการเพื่อลดผลกระทบได้

ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาปริมาณสารปรอทในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตทางทะเล
2. ศึกษาระดับสารปรอทในสิ่งมีชีวิตต่างๆประมาณ 100 ตัวอย่าง
3. ตัวอย่างที่ศึกษาเก็บจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรอท (Mercury) เป็นโลหะหนักที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องมีจุดเดือดที่ 356.9 °C จุดเยือกแข็งที่ -38.87 °C มวลอะตอม 200.7 ที่อุณหภูมิ 20 °C ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 13.545 และค่าความดันไอเป็น 0.16 Pa (0.0012 มิลลิเมตรปรอท) โดยปกติปรอทจะไม่เกาะติดวัตถุ ปรอทในสถานะของเหลวจะมีความเป็นพิษไม่มากนักแต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างแรง จึงควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับไอปรอท ปรอทในธรรมชาติมีหลายรูปทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีได้ ซึ่งปรอทแต่ละรูปจะมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน

แหล่งที่มาของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

สารปรอทที่แพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมมาจากแหล่งใหญ่ๆ 2 แหล่ง ได้แก่

1. แหล่งธรรมชาติ (Natural sources) ปรอทที่พบมากในธรรมชาติคือ โลหะปรอท และปรอทซัลไฟด์ ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยการละลายและระเหยหรือผุกร่อนของหิน ดิน แร่ ที่มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่ อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายจากแหล่งธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปรอทที่ได้จากการกระทำของมนุษย์ทำให้สมดุลของธรรมชาติเปลี่ยนไปก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษยชาติและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

2. แหล่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic sources) ปรอทเป็นสารที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว่างขวางและเป็นจำนวนมาก มนุษย์รู้จักได้ใช้ประโยชน์จากสารปรอทหลายอย่างเช่น ใช้เมอร์คิวริกออกไซด์ (HgO) และซินนาบาร์ ทำเป็นเม็ดสี (pigment) และเครื่องสำอางค์มาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ในปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นอิเลกโทรด (Hg electrode) ใช้ในกระบวนการผลิตโซดาไฟและคลอรีน ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ สวิทช์ไฟฟ้า ใช้ในโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากมีการใช้สารปรอทกันอย่างกว้างขวางทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์มากกว่าเกิดจากการกระทำโดยธรรมชาติ ทำให้เกิดการแพร่กระจายและตกค้างของสารปรอทในธรรมชาติในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ตัวอย่างการแพร่กระจายของสารปรอทโดยการกระทำของมนุษย์จนเกิดอันตรายต่อมนุษย์นั้นเคยเกิดมาแล้วที่อ่าวมินามาตะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี 1952 ทำให้ผู้คนล้มป่วย

และตายลงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากบริโภคปลาและหอยที่มีปริมาณของสารปรอทที่อยู่ในรูปของเมทิลเมอร์คิวรี่ในปริมาณที่สูง สาเหตุที่ปลาในอ่าวมีปริมาณปรอทสูงมากเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไวนิลคลอไรด์ ที่ตั้งอยู่บริเวณริมอ่าวปล่อยสารเมอร์คิวริกคลอไรด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตลงสู่อ่าวเป็นประจำ และอีกเหตุการณ์หนึ่งในปีพ.ศ. 2515 ที่ประเทศอิรักมีรายงานว่ามีผู้คนล้มป่วยและเสียชีวิตในปริมาณมาก เนื่องจากรับประทานข้าวสาลีที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยยากำจัดเชื้อราที่ผสมสารปรอท สารปรอทที่แพร่สู่สิ่งแวดล้อมโดยการกระทำของมนุษย์นั้นมาจากหลายด้าน ดังนี้

- ด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมทำสี อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมโซดาไฟและคลอรีน อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า เป็นต้น
- ด้านการเกษตร ได้แก่ การใช้สารประกอบอินทรีย์ของปรอทในการฆ่าเชื้อรา บางครั้งฉายเมล็ดพืชเพื่อป้องกันแมลงและโรคพืช
- จากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ หลอดไฟฟลูออเรสเซ็น สวิสต์ไฟฟ้า เป็นต้น
- จากน้ำเสียจากชุมชนและห้องปฏิบัติการ
- จากการเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่
- จากการชำรุดของอุปกรณ์ที่มีปรอทเป็นส่วนประกอบอยู่ เป็นต้น

ประเภทของสารปรอท

ในธรรมชาติสารปรอทถูกพบในรูปของแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar) มีสูตร HgS ซึ่งมีสีแดงและไม่ละลายน้ำ สารปรอทบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นของเหลว เมื่อนำมาออกซิไดซ์จะเกิดสารประกอบของปรอทที่มีเลขออกซิเดชั่นทั้ง+1และ+2 ถ้าเลขออกซิเดชั่นเป็น+1 เรียกสารนี้ว่า เมอร์คิวรัส (Mercurous) เช่น Hg_2Cl_2 แต่ถ้าเลขออกซิเดชันเป็น +2 จะเรียกสารนั้นว่า เมอร์คิวริก (Mercuric) เช่น $HgCl_2$ อย่างไรก็ตามปรอทในสารประกอบเมอร์คิวรัส จะมีสองอะตอมอยู่คู่กันเสมอ เรียกว่าเกิดเป็นไดเมอร์ (dimer) ดังนั้นเมื่อสารเมอร์คิวรัสละลายน้ำจะเป็นประจุคู่เสมอ คือ Hg_2^{2+}

ประจุเมอร์คิวรัส (Hg_2^{2+}) สามารถรวมตัวกับประจุคลอไรด์ (Cl^-) เป็นเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Mercurous Chloride) มีสูตร Hg_2Cl_2 มีลักษณะเป็นตะกอนสีขาวเรียกว่า คาโลเมล (Calomel) ไม่ละลายน้ำ ใช้ประโยชน์เป็นอิเลกโทรดในเซลล์ไฟฟ้า สารนี้มีความเป็นพิษไม่มากนักแต่ถ้าสารนี้ถูกกับแสงสว่างโดยตรงสามารถสลายให้ Hg และ $HgCl_2$ ซึ่งสาร $HgCl_2$ นี้จะมีความเป็นพิษสูง ส่วนประ

จุเมอร์คิวริก (Hg^{2+}) จะมีความความเป็นพิษสูงเนื่องจากมีสัมมรรคภาพ (Affinity) สูงกับกลุ่มไทออล (thiol group; -SH) สามารถจับตัวกับซัลเฟอร์ในเม็ดเลือดแดง เซรั่มและโปรตีนชนิดต่างๆในร่างกาย ได้แต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBB (Blood-Brain Barrier) ในสิ่งมีชีวิตได้

ประจุเมอร์คิวริก (Hg^{2+}) เมื่อทำปฏิกิริยากับประจุคลอไรด์ (Cl^-) จะได้เป็นเมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งมีความเป็นพิษมากแต่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBBได้ แต่เมอร์คิวริกคลอไรด์ นี้สามารถเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์ของปรอท เช่น เมทิลเมอร์คิวรี่ (Methylmercury) ,ไดเมทิลเมอร์คิวรี่ (Dimethylmercury) ได้โดยการกระทำของจุลินทรีย์ (Microorganisms) และภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ไดเมทิลเมอร์คิวรี่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่(Methylmercury) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายได้ดีในไขมันจึงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อ BBB เข้าไปขัดขวางการทำงานของระบบประสาท มีผลให้ระบบประสาททำงานผิดปกติเกิดเป็นอาการของโรคมินามาตะได้ (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525)

รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท

ปรอทในธรรมชาติมีหลายรูปทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ ซึ่งปรอทแต่ละรูปจะมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท (De Anil, 1994)

รูปแบบ	ความเป็นพิษ
Hg	โลหะปรอท : ค่อนข้างเฉื่อยและไม่เป็นพิษ แต่ไอปรอทเป็นพิษอย่างร้ายแรงเมื่อสูดเข้าไป
Hg_2^{2+}	ประจุเมอร์คิวรัส : ไม่ละลายน้ำ ในรูปสารประกอบคลอไรด์ความเป็นพิษไม่มาก เช่น เมอร์คิวรัสคลอไรด์ (Hg_2Cl_2)
Hg^{2+}	ประจุเมอร์คิวริก : เป็นพิษแต่ยังไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายข้ามเนื้อเยื่อ เช่น Blood-Brain Barrier (BBB) ซึ่งกั้นระหว่างกระแสโลหิตกับเนื้อเยื่อสมอง (ช่วยป้องกันไม่ให้สารพิษผ่านจากกระแสโลหิตเข้าสู่เนื้อเยื่อประสาทส่วนกลาง) สามารถสะสมและทำอันตรายต่อไต เช่น เมอร์คิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$)
RHg^+	สารปรอทอินทรีย์เชิงเดี่ยว : มีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะ CH_3Hg^+ (Methylmercury) ทำลายระบบประสาทและสมองอย่างถาวร สามารถเคลื่อนย้ายผ่านเนื้อเยื่อกีดกั้น เช่น BBB ได้ สะสมได้ดีในเนื้อเยื่อไขมัน
R_2Hg	สารปรอทอินทรีย์เชิงคู่ : มีความเป็นพิษต่ำ สามารถถูกเปลี่ยนรูปแบบเป็น RHg^+ ได้ในตัวกลางที่เป็นกรด เช่น $(CH_3)_2Hg$
HgS	สารประกอบปรอทซัลไฟด์ : ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นพิษ พบตามธรรมชาติในรูปของแร่ซินนาบาร์ (Cinnabar)

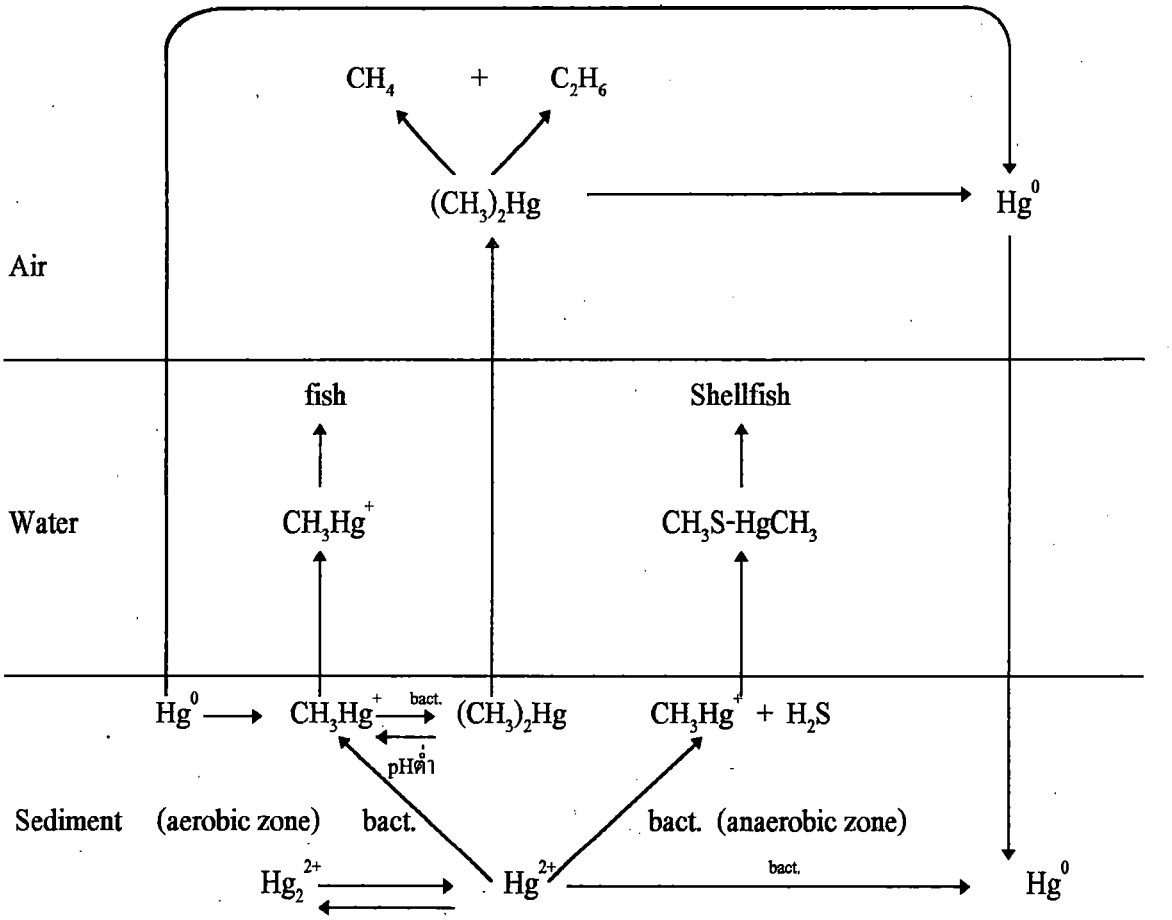
การเปลี่ยนรูปของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม

รูปของสารปรอทที่ถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำมีอยู่ 5 รูป ดังนี้

1. Divalent mercury , Hg^{2+}
2. Metallic mercury , Hg^{0}
3. Phenylmercury , $C_6H_5Hg^{+}$
4. Methylmercury , CH_3Hg^{+}
5. Alkoxyalkylmercury , $CH_3O\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}Hg^{+}$

เมื่อสารปรอทถูกปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมในน้ำแล้ว บางส่วนจะเข้าไปติดอยู่กับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งสารแขวนลอยในน้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่คล้ายกับตัวกำจัดปรอทออกไปจากน้ำโดยการเหนี่ยวนำให้ปรอทไอออนมาเกาะติดแล้วจะเกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำในเวลาต่อมา สารปรอทอนินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในแหล่งน้ำนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นสารปรอทอินทรีย์ในรูปของ Methylmercury (CH_3Hg^{+}) ได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ จุลินทรีย์ที่มีความสามารถเปลี่ยนรูปของสารปรอทอนินทรีย์ให้เป็นสารปรอทอินทรีย์ ได้แก่ "methanogenic bacteria" การเปลี่ยนรูปนี้จะทำให้เกิดปรอทอินทรีย์ทั้งสองรูปแบบ คือ เมทิลเมอร์คิวรี่และไดเมทิลเมอร์คิวรี่ ซึ่งเมทิลเมอร์คิวรี่เป็นรูปของปรอทที่สามารถคงสภาพอยู่ในน้ำได้ แต่ไดเมทิลเมอร์คิวรี่เป็นรูปของปรอทที่มีความสามารถในการระเหยสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จึงระเหยออกจากแหล่งน้ำไป ปรอทที่อยู่ในน้ำอาจถูกขจัดออกจากน้ำได้โดยการระเหยเป็นไอในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรี่ซึ่งจะกระจายในอากาศต่อไป แต่จะสลายตัวเมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเลตจึงไม่ค่อยพบในอากาศมากนัก ในสภาวะ reducing condition ปรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นปรอทซัลไฟด์ แล้วเกิดการตกตะกอน ปรอทในรูปนี้ละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายเลย แต่อย่างไรก็ดีปรอทซัลไฟด์นี้อาจถูกออกซิไดซ์ได้โดยเฟอริกไอออน (Fe^{3+}) และมีโอกาสละลายน้ำออกมาได้อีก แหล่งน้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้นที่บริเวณพื้นท้องน้ำอาจมีไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่มาก ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำปฏิกิริยากับเมทิลเมอร์คิวรี่ให้เป็นสารปรอทอินทรีย์ในรูปของไดเมทิลเมอร์คิวรี่ซัลไฟด์($CH_3S\text{-}HgCH_3$)ได้ สารปรอทอินทรีย์เหล่านี้สามารถเข้าไปสะสมในห่วงโซ่อาหารและเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ในที่สุด การเปลี่ยนรูปของสารปรอทอนินทรีย์ไปเป็นสารปรอทอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น ความเป็นกรดและด่างของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในดินตะกอน เป็นต้น ค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปของปรอท คือในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เกิดไดเมทิลเมอร์คิวรี่ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยจะทำ

ให้มีการเปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่มากขึ้น นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรดจะมีผลทำให้ไดเมทิลเมอร์คิวรี่ เปลี่ยนรูปเป็นเมทิลเมอร์คิวรี่ได้โดยง่าย (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2538) (ดังรูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงวัฏจักรทางชีวภาพของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม (Wood, 1975)

ขบวนการเกิดเมทิลเลชั่น (Methylation process)

เมทิลเลชั่น เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในดินตะกอนเนื่องจากสารปรอทสามารถเปลี่ยนรูปแบบทางกายภาพและทางเคมีได้ง่าย โดยสามารถเปลี่ยนไปเป็น CH_3Hg , $(CH_3)_2Hg$ และเป็นสารปรอทที่สามารถระเหยได้ นอกจากนี้บางส่วนก็สูญหายไปอยู่ในดินตะกอน ปรอทสามารถเคลื่อนย้ายเข้าไปติดอยู่ในดินตะกอนในรูปของ CH_3Hg หรือ $(CH_3)_2Hg$ หรือสารอนินทรีย์ในรูปของก๊าซ

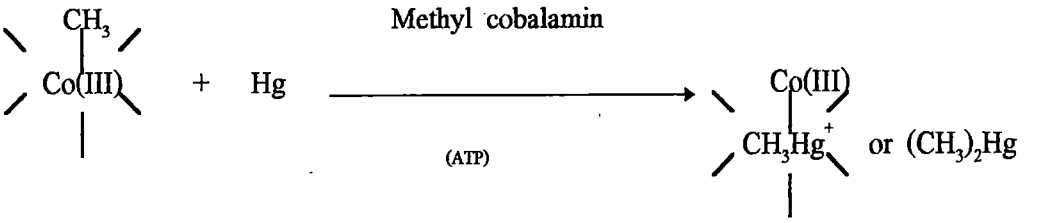
ขบวนการเกิดเมทิลเลชั่นสามารถเกิดได้ 2 ขั้นตอน คือ

1. เมทิลเลชั่น (Methylation) เป็นการรวม Hg เข้ากับ CH_3-group

2. ดีเมทิลเลชั่น (Demethylation) เป็นการเคลื่อนย้าย CH_3-group ออกจาก Hg เป็นขั้นตอนสำคัญในการลดความเป็นพิษและการปนเปื้อนของสารปรอทในดินตะกอน

อัตราการเกิดเมทิลเลชั่นในปรอทอินทรีย์และปรอทอนินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น pH พบว่าในลำคลองและทะเลสาบความเข้มข้นของ CH_3Hg จะสูงเมื่อ pH ของน้ำต่ำ เพราะ $(CH_3)_2Hg$ จะถูกย่อยสลายไปเป็น CH_3Hg ได้ที่สภาพ pH ต่ำและจะเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนในดินตะกอน

สารปรอทอนินทรีย์ที่สะสมในสิ่งแวดล้อมสามารถถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีพิษสูงได้โดยแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์สารมีเทน โดยใช้โคบอลท์(III) ในวิตามินB12 เป็นตัวช่วย กลุ่มมีเทนจะจับตัวกับโคบอลท์(III) และถูกเคลื่อนย้ายต่อไปจับตัวกับประจุ Hg^{2+} โดยผ่านเมทิลโคบามีน (Methyl cobalamin) ดังสมการ

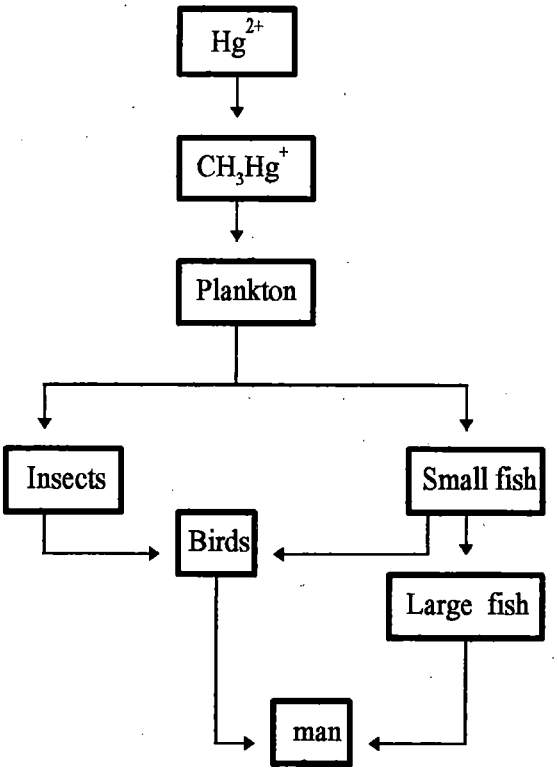


ที่มา : Dunlap (1971)

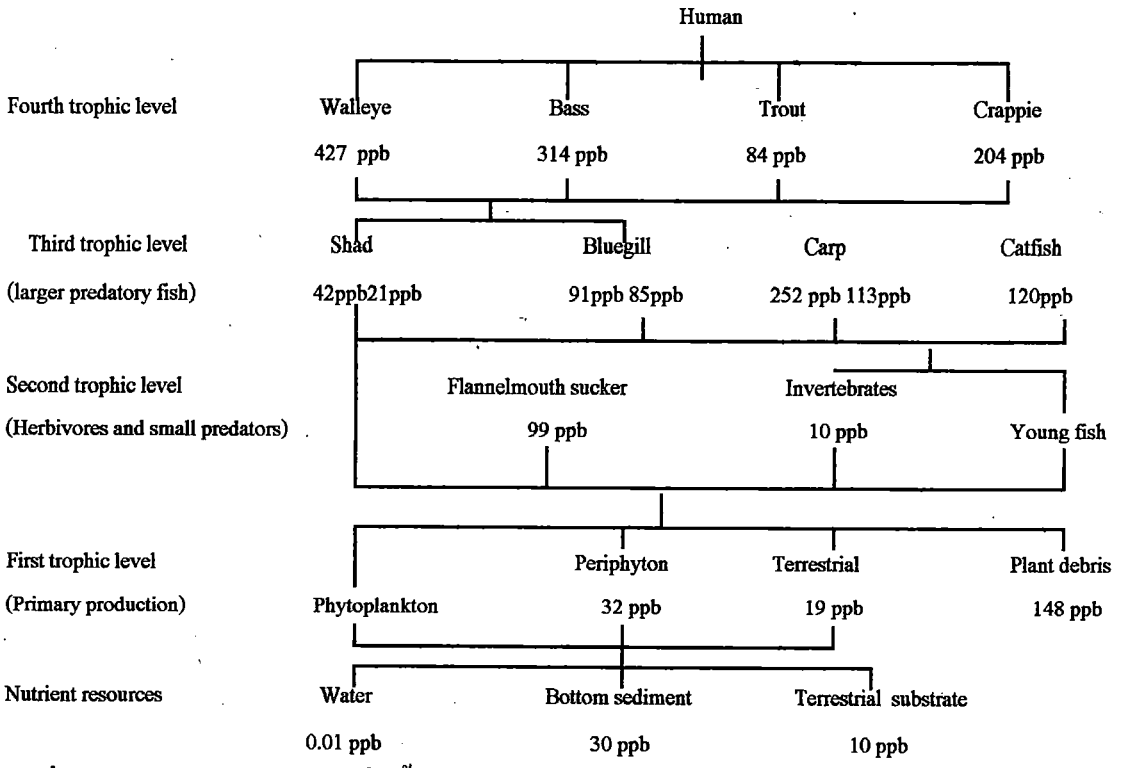
Akagi.et al (1977) พบว่า Photomethylation ในกระบวนการของสิ่งมีชีวิตสามารถทำให้ $HgCl_2$ เปลี่ยนเป็น CH_3Hg ได้โดยรังสีอุลตราไวโอเลต

การสะสมสารปรอทในสิ่งมีชีวิต

สารปรอทเมื่อถูกปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะถูกดูดซับโดยอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นและสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ โดยแพลงค์ตอนพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในห่วงโซ่อาหารได้ดูดซับสารปรอทจากน้ำและอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยในน้ำเข้าสะสมในร่างกาย เมื่อสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือผู้บริโภคอันดับที่ 1 บริโภคแพลงค์ตอนพืชสารปรอทก็จะเข้าไปสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นได้ และจะสะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆตามลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหาร ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 กลไกการถ่ายทอดสารปรอทผ่านห่วงโซ่อาหารสู่มนุษย์ (Knauer and Martin, 1972)



รูปที่ 3 แสดงการขยายปริมาณเพิ่มขึ้น (Biological magnification) ของสารปรอทในห่วงโซ่อาหาร (John and Elizabeth, 1976)

การศึกษาระดับปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อของสัตว์ทะเล

การศึกษาปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ในระยะเวลาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่พบว่าปริมาณสารปรอทยังไม่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (พ.ศ. 2527) และมาตรฐานขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Food and Drug Administration) ได้กำหนดระดับความปลอดภัยที่มีผลต่อสุขภาพและชีวิตของผู้บริโภคไว้ โดยกำหนดให้มีปริมาณสารปรอทในปลาและสัตว์ทะเลได้สูงสุด 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ, 2527)

การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในบริเวณต่างๆของอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียงได้รวบรวมไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณสารปรอทในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณอ่าวไทยและพื้นที่ใกล้เคียง

สถานที่ศึกษา	ปีที่ศึกษา	สัตว์ทะเล	ปริมาณปรอทเฉลี่ย (ppm)	เอกสารอ้างอิง
Inner Gulf	ส.ค.-ก.ย. 2515	ปลาทะเล	0.08-0.03	Huschenbeth and Harms (1975)
Rayong area		ปลาทะเล กุ้งทะเล หอยแมลงภู่	<0.01 - 0.10 0.05-0.2 0.02	
อ่าวไทยตอนบน	2516-2520	ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 4.2	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2521)
อ่าวไทยตอนล่าง		ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 4.5	
อ่าวไทยตอนบน	ก.ย.2519-มี.ค 2520	ปลาทะเล	ค่าต่ำสุดวัดได้ 0.002 ค่าสูงสุดวัดได้ 0.653	วรวิทย์ ชีวากรณาภิวัฒน์ (2520)
อ่าวไทยตอนบน	2521-2523	ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.2	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2524)
อ่าวไทยตอนล่าง		ปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.5	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สถานที่ศึกษา	ปีที่ศึกษา	สัตว์ทะเล	ปริมาณปรอทเฉลี่ย (ppm)	เอกสารอ้างอิง
อ่าวไทยตอนบน	2524-2526	ปลา	พบปริมาณปรอทเกิน 0.1 ppm ร้อยละ 3.6	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2527)
อ่างศิลา บางโปรง และบางปะกง	2525-2526	หอยนางรม หอยแมลงภู่ และหอยแครง	ค่าต่ำสุดวัดได้ 0.001 ค่าสูงสุดวัดได้ 0.041	ศิริ ศิวะรักษ์และคณะ (2527)
ปากแม่น้ำบางปะกง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำเพชรบุรี ปากแม่น้ำปราณบุรี	เม.ย.2522-มี.ค.2525	ปลา กุ้ง หอยแมลงภู่ ปลา กุ้ง หอยแมลงภู่ ปลา กุ้ง หอยแมลงภู่ หอยแมลงภู่ ปลา กุ้ง	0.032 0.046 0.043 0.050 0.031 0.043 0.042 0.051 0.032 0.033 0.012 0.021	สุธรรม สิทธิชัยเกษม และ สุวรรณี เฉินบำรุง (2527)
ฟาร์มบริเวณโดยรอบอ่าวไทย	เม.ย.2523-ก.ย.2524	หอยลาย หอยแครง หอยแมลงภู่	0.02 0.02 0.02	สุนันท์ นุชประมูล และคณะ (2529)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สถานที่ศึกษา	ปีที่ศึกษา	สัตว์ทะเล	ปริมาณปรอทเฉลี่ย (ppm)	เอกสารอ้างอิง
สะพานปลาบ้านเพ จ.ระยอง	มิ.ย. - ธ.ค. 2529	ปลาทะเล	0.046	แววตา ทองระอา และคณะ (2531)
สะพานปลาบางเสร่ จ.ชลบุรี		ปลาทะเล	0.039	
สะพานปลาอ่างศิลาและเขาสามมุข จ.ชลบุรี		ปลาทะเล	0.041	
สะพานปลาบ้านเพ จ.ระยอง	ต.ค. 2530-ก.ย. 2531	ปลาทะเล	0.035	แววตา ทองระอา และคณะ (2532)
สะพานปลาบางเสร่ จ.ชลบุรี		หมึก	0.025	
สะพานปลาอ่างศิลาและเขาสามมุข จ.ชลบุรี		ปูม้า	0.021	
		กั้งตั๊กแตน	0.016	
		หอยนางรม	0.017	
		กุ้ง	0.010	

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาอัตราการสะสมสารปรอทในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของปลาทะเล พบว่า ความเข้มข้นของสารปรอทที่สะสมในไตมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ตับ และกล้ามเนื้อ ตามลำดับ (แววตา ทองระอา, 2535)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ แบ่งออกเป็น

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่าง

- Global Positioning System (GPS)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

- เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง
- Deep Freezer
- Freezer Dryer
- Water bath

3.1.3 เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง

- เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS 3300) และ Hydride generator MHS-10

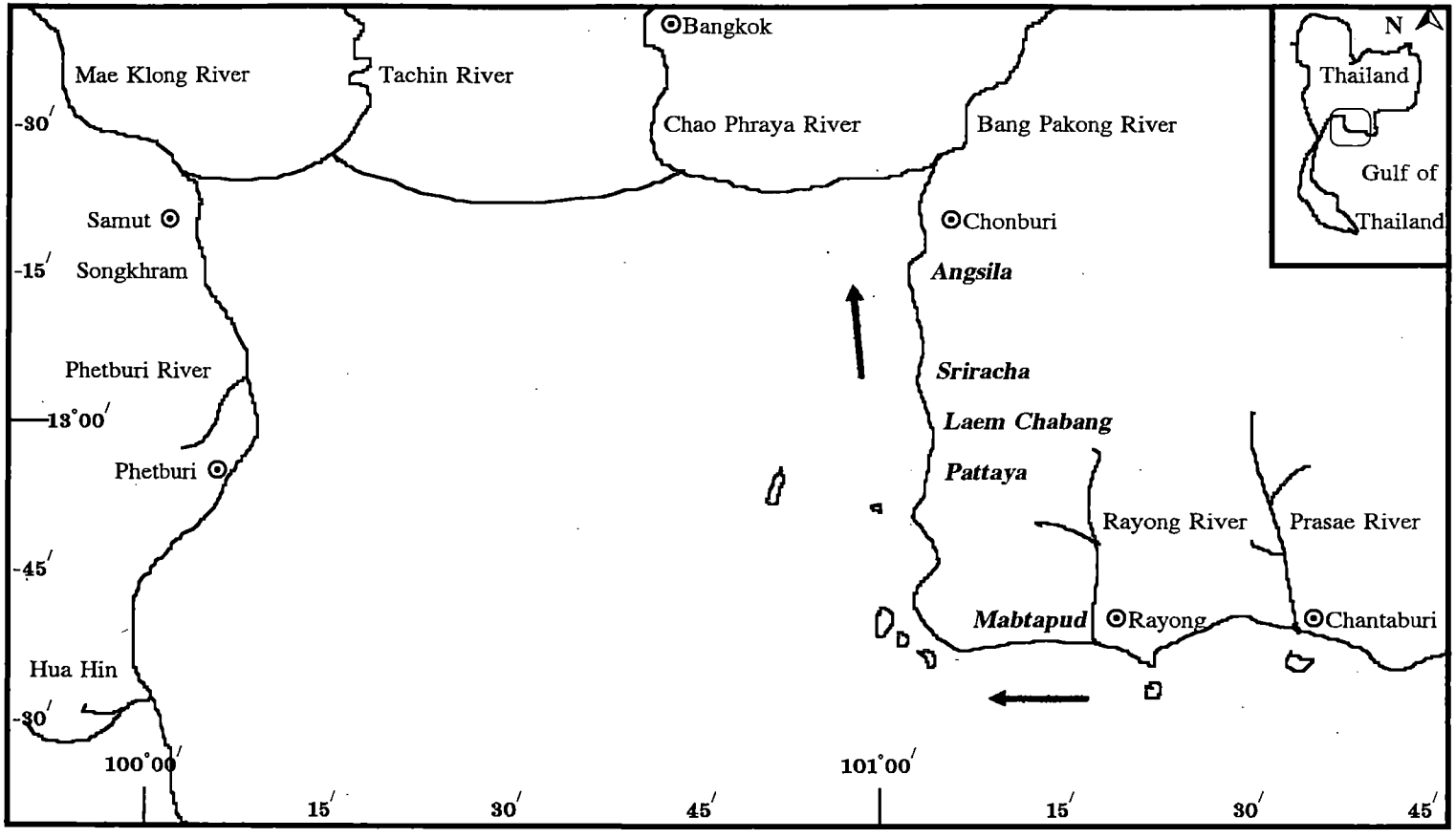
3.1.4 สารเคมีสำหรับย่อยเนื้อเยื่อสัตว์และการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3)
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4)
- โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$)
- 3 % โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$)
- 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- สารละลายมาตรฐานของปรอท (Standard solution)

3.2 วิธีดำเนินงาน

3.2.1 การเก็บตัวอย่างสัตว์ทะเล

เก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตทะเลจากบริเวณ บางพระ(ชลบุรี) และมาบตาพุด(ระยอง) (ดังรูปที่ 4) โดยการลากอวน ตัวอย่างแพลงตอนค์เก็บโดยการลากถุงแพลงตอนค์ ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่เก็บได้จะเก็บในถังแช่เย็นและนำกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อชั่งน้ำหนัก วัดความยาว และแล่เอาเฉพาะส่วนเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ตัวอย่างทั้งหมดที่จะนำมาวิเคราะห์เก็บในภาชนะพลาสติกแยกตามชนิดก่อนที่จะนำมาเตรียมเพื่อวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4. แสดงบริเวณที่เก็บตัวอย่างสัตว์ทะเลและแพลงตอนค์

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างสัตว์ทะเลเพื่อการวิเคราะห์

นำตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ทำการแล่เนื้อเยื่อแล้วมาเข้าตู้แช่แข็ง (Deep Freezer) ที่อุณหภูมิ -80 °C เป็นเวลา 1-2 วัน แล้วนำตัวอย่างออกจากตู้แช่แข็งไปเข้าเครื่องดูดความชื้น (Freezer Dryer) ที่อุณหภูมิ -55 °C ประมาณ 1-2 วัน แล้วจึงนำตัวอย่างออกจากเครื่องดูดความชื้น และทำการบดให้ละเอียด

3.2.3 การย่อย (Digestion) ตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณสารปรอท โดยวิธี Melton Technique (Fisheries 477) ดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว 1 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 ml
2. เติมสารละลายกรดผสม $HNO_3 : H_2SO_4$ (1:1) ลงไป 20 ml
3. ปิดปาก flask ด้วยกระจกนาฬิกา ย่อยใน water bath ที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C นาน 20 นาที หรือจนสารละลายใส
4. เติม $K_2S_2O_8$ ที่อิ่มตัวลงไป 10 ml และเติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากัน
5. ย่อยต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C อีกประมาณ 2 ชั่วโมง
6. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เทตัวอย่างใส่ขวดใหม่เพื่อเก็บไว้วิเคราะห์ต่อไป

3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารปรอท

วิเคราะห์ปริมาณสารปรอทด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS 3300) และ Hydride generator MHS-10 ของ Perkin-Elmer โดยการวิเคราะห์จะใช้สารละลาย $NaBH_4$ 3% ใน NaOH 1% และกรดไนตริกเข้มข้น 1.5% เป็นตัวทำปฏิกิริยา (ดังรูปที่ 5)

3.2.5 การคำนวณ

สร้างกราฟมาตรฐานโดยเขียนกราฟระหว่างความสูงของพีค (peak) ของสารละลายมาตรฐานกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน วัดความสูงของพีคที่อ่านได้จากสารตัวอย่าง นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานแล้วอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟ นำความเข้มข้นที่อ่านได้มาคำนวณกับปริมาณหรือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนการคำนวณสูตรความเข้มข้นของสาร

Calculation (Perkin-Elmer AA lab Note No. 15E and 19E)

$$\frac{V.X}{A.W} = \text{Concentration of Mercury in } \mu g/g$$

where

V = Total volume of the digestion solution (ml)

X = Determined weight of metal in sample aliquot A (μg)

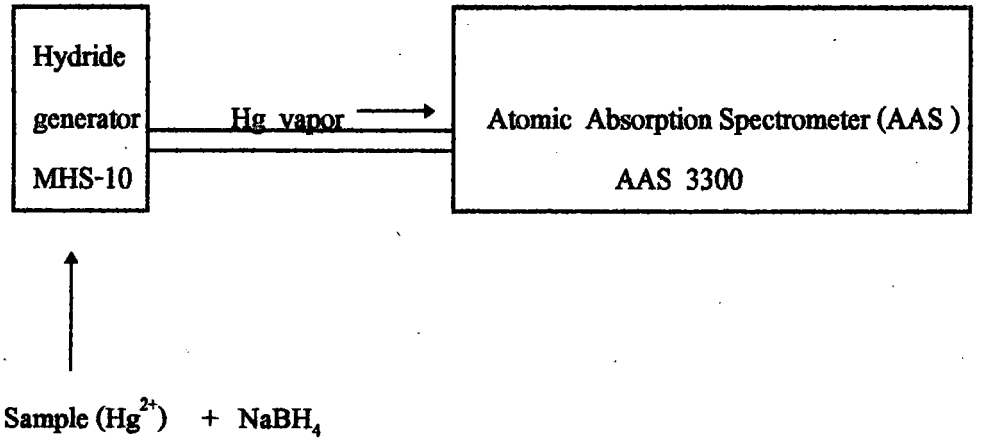
A = Sample aliquot (ml)

W = Sample weight (g)

ในการคำนวณหาปริมาณสารปรอททั้งหมดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อกับเครื่อง AAS จะทำการคำนวณให้

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ student "t" test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทและขนาด หรืออายุโดยวิธี Linear regression analysis



$$Hg^{2+} + 2BH_4 \longrightarrow Hg\uparrow + H^2\uparrow + B_2H_6$$

รูปที่ 5 แสดงการทำงานของเครื่อง Hydride generator ร่วมกับเครื่อง AAS

(Adapted from Operator's manual MHS-10 Mercury/Hydride system,1987)

ชั่งตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล 1 g ใส่ใน flask ขนาด 250 มล.

↓

เติมสารละลายกรดผสม $HNO_3 : H_2SO_4$ (1:1) ลงไป 20 ml .

↓

ปิดปาก flask ด้วยกระจกนาฬิกา ย่อยใน water bath ที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C นาน 20 นาที หรือจนสารละลายใส

↓

เติม $K_2S_2O_8$ ที่อิ่มตัวลงไป 10 ml และเติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้เข้ากัน

↓

ย่อยต่อไปที่อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 °C อีกประมาณ 2 ชั่วโมง

↓

ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

ปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

↓

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

(ใช้ $NaBH_4$ เป็น Reducing agent โดยใช้ 3% $NaBH_4$ ละลายใน 1 % NaOH)

รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการย่อยตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล และการวิเคราะห์สารปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเล

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ปริมาณรวมสารปรอทในตัวอย่างทั้งหมด

จำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 10 ชนิด รวม 111 ตัวอย่าง แบ่งเป็นแพลงตอนค์พืชและสัตว์ 5 ตัวอย่าง , ปลาสีกุน 10 ตัวอย่าง, ปลาข้างเหลือง 15 ตัวอย่าง, ปลาแข้งไก่ 10 ตัวอย่าง, ปลาแพะ 10 ตัวอย่าง, กุ้งแชบ๊วย 20 ตัวอย่าง, หมึกกล้วย 20 ตัวอย่าง, ปลากระพงแดง 10 ตัวอย่าง, ปลากระเบนหัวแหลม 6 ตัวอย่าง, ปลาเก๋า 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมดได้ทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (Perkin Elmer 3300) โดยใช้อุปกรณ์ Hydride generator ต่อควบ หน่วยของปริมาณสารปรอทคำนวนในค่าของ ng/g โดยคิดเทียบกับน้ำหนักเนื้อเยื่อแห้ง (dry weight) ผลการทดลองทั้งหมด ช่วงค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้สรุปไว้ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4

ปริมาณรวมสารปรอทในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

ชื่อ	ชนิดสัตว์	ระดับในลูกโซ่	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณสารปรอท (ng/g)		
				ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
1.แพลงตอนค์สัตว์(composite plankton)	--	I&II	5	1.8-4.6	2.82	1.13
2. ปลาสีกุน(*Caranx gymnostethoides*)	ผิวน้ำ	III	10	18.6-55.1	36.13	13.86
3. ปลาข้างเหลือง(*Caranx leptolepis*)	ผิวน้ำ	III	15	10.7-29.4	19.3	6.06
4. ปลาแข้งไก่(*Megalaspis cordyla*)	ผิวน้ำ	III	10	12.7-22.1	16.27	2.74
5. ปลาแพะ(*Upeneus tragula*)	ผิวน้ำ	III	10	6.1-12.4	8.7	2.4
6. กุ้งแชบ๊วย(*Peneaus monodon*)	หน้าดิน	III	20	6.4-15.2	10.47	2.58
7. หมึกกล้วย(*Loligo sp.*)	หน้าดิน	III	20	6.9-16.5	11.27	2.8
8. ปลากระพงแดง(*Lutjanus malabaricus*)	หน้าดิน	IV	10	24.3-82.6	48.76	18.79
9. ปลากระเบนหัวแหลม(*Dasyatis zugei*)	หน้าดิน	IV	6	23.4-64.8	47.96	15.15
10. ปลาเก๋า(*Epinephelus sp.*)	หน้าดิน	IV	5	24.7-90.4	64.07	26.96
รวม			111	1.8-90.4	22.03	19.29

จากผลที่ได้พบว่าปริมาณสารปรอทรวมของตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.8 - 90.4 ng/g โดยมีค่าเฉลี่ย 22.03 ng/g ความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $\pm$19.29 และพบค่าปริมาณสูงสุดของสารปรอทมีค่า 90.4 ng/g ในปลาเก๋า และต่ำสุดมีค่า 1.8 ng/g ในแพลงตอนค์พืชและสัตว์

ในจำนวนตัวอย่างทั้งหมดไม่พบตัวอย่างใดที่มีปริมาณสารปรอทสูงกว่า 500 ng/g ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภคที่กำหนดโดย USFDA และมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80 (2527) ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 500 ng/g ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในสัตว์ทะเลบริเวณชายฝั่งภาคตะวันออกอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

4.2 ปริมาณสารปรอทในระดับลูกโซ่ต่างๆ

จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดสามารถแบ่งเป็นระดับลูกโซ่ต่างๆได้ 4 ระดับดังนี้

ระดับที่ 1. พวก producer เช่นพืช

ระดับที่ 2. พวกกินพืช (primary consumer level)

ระดับที่ 3. พวกกินสัตว์ที่กินพืช (secondary consumer level)

ระดับที่ 4. พวกกินสัตว์ที่กินสัตว์ (tertiary consumer level)

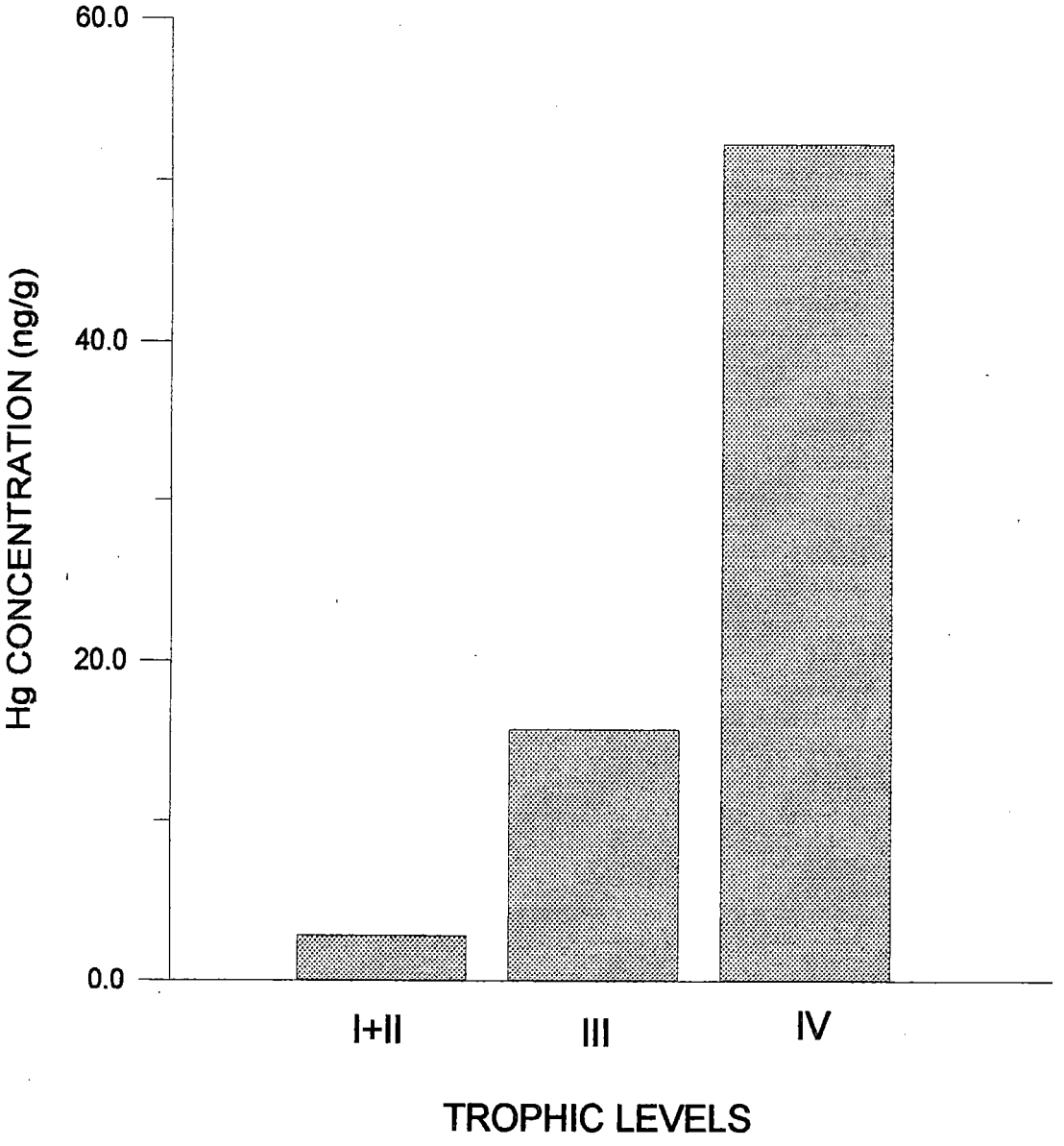
ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 5

เปรียบเทียบปริมาณสารปรอทในระดับลูกโซ่อาหารต่างๆ

ระดับลูกโซ่อาหาร	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณสารปรอท (ng/g)		
		พิสัย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
I&II	5	1.8-4.6	2.82	1.13
III	85	6.1-55.1	15.71	10.02
IV	21	23.4-90.4	52.18	20.21

ดังนั้นจะพบว่าในลูกโซ่อาหารระดับที่ 1 และ 2 (แพลงตอนค์พืชและสัตว์) ปริมาณสารปรอทอยู่ในช่วงพิสัย 1.8 - 4.6 ng/g มีค่าเฉลี่ย 2.82 ng/g ในขณะที่ลูกโซ่อาหารระดับที่ 3 มีค่าพิสัย 6.1 - 55.1 ng/g และมีค่าเฉลี่ย 15.71 ng/g ส่วนในลูกโซ่อาหารระดับที่ 4 พบมีค่าสูงสุดโดยมีค่าพิสัย 23.4 - 90.4 ng/g และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.18 ng/g แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวทางชีวภาพ (Biomagnification) ของสารปรอทในห่วงลูกโซ่อาหารอย่างชัดเจน กล่าวคือในระดับห่วงลูกโซ่อาหารที่สูงขึ้นจะพบการสะสมของสารปรอทมากกว่าในระดับห่วงลูกโซ่อาหารที่ต่ำกว่า ดังแสดงผลในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงปริมาณสารปรอทในห่วงลูกโซ่อาหารระดับต่าง ๆ

และจากการศึกษาระดับสารปรอทในแต่ละระดับของลูกโซ่อาหารพบว่า ในระดับลูกโซ่อาหารที่ 3 มีระดับของสารปรอทเรียงตามลำดับดังนี้

ปลาสีกุน > ปลาข้างเหลือง > ปลาแข้งไก่ > หมึกกล้วย > กุ้งแชบ๊วย > ปลาแพะ

ผลการศึกษาได้แสดงสรุปไว้ในรูปที่ 8

ส่วนในระดับลูกโซ่อาหารที่ 4 พบว่ามีระดับของสารปรอทเรียงตามลำดับดังนี้

ปลาเก๋า > ปลากระพงแดง > ปลากระเบนหัวแหลม

ได้แสดงผลการศึกษาสรุปไว้ในรูปที่ 9

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับขนาด (น้ำหนัก) ของปลาและสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ

ผลการทดลองเมื่อนำเอาปริมาณสารปรอทมาหาความสัมพันธ์กับขนาด (น้ำหนัก)ของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง (linear regression) ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ไม่แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (เนื่องจากค่า r square มีค่าต่ำมาก) ได้แก่ ปลาสีกุน(r square = 0.27) ปลาข้างเหลือง (r square = 0.004) ปลาแข้งไก่ (r square = 0.07) กุ้งแชบ๊วย (r square = 0.32) หมึกกล้วย (r square = 0.06) ปลากระพงแดง (r square = 0.41)ปลากระเบนหัวแหลม (r square = 0.01) ปลาเก๋า (r square = 0.001) (รูปที่ 10,11,12,13,14,15,16,17)

ส่วนสัตว์ทะเลที่พบว่าปริมาณสารปรอทมีความสัมพันธ์กับขนาด (น้ำหนัก) ได้แก่ ปลาแพะ (r square = 0.86) (รูปที่ 18)

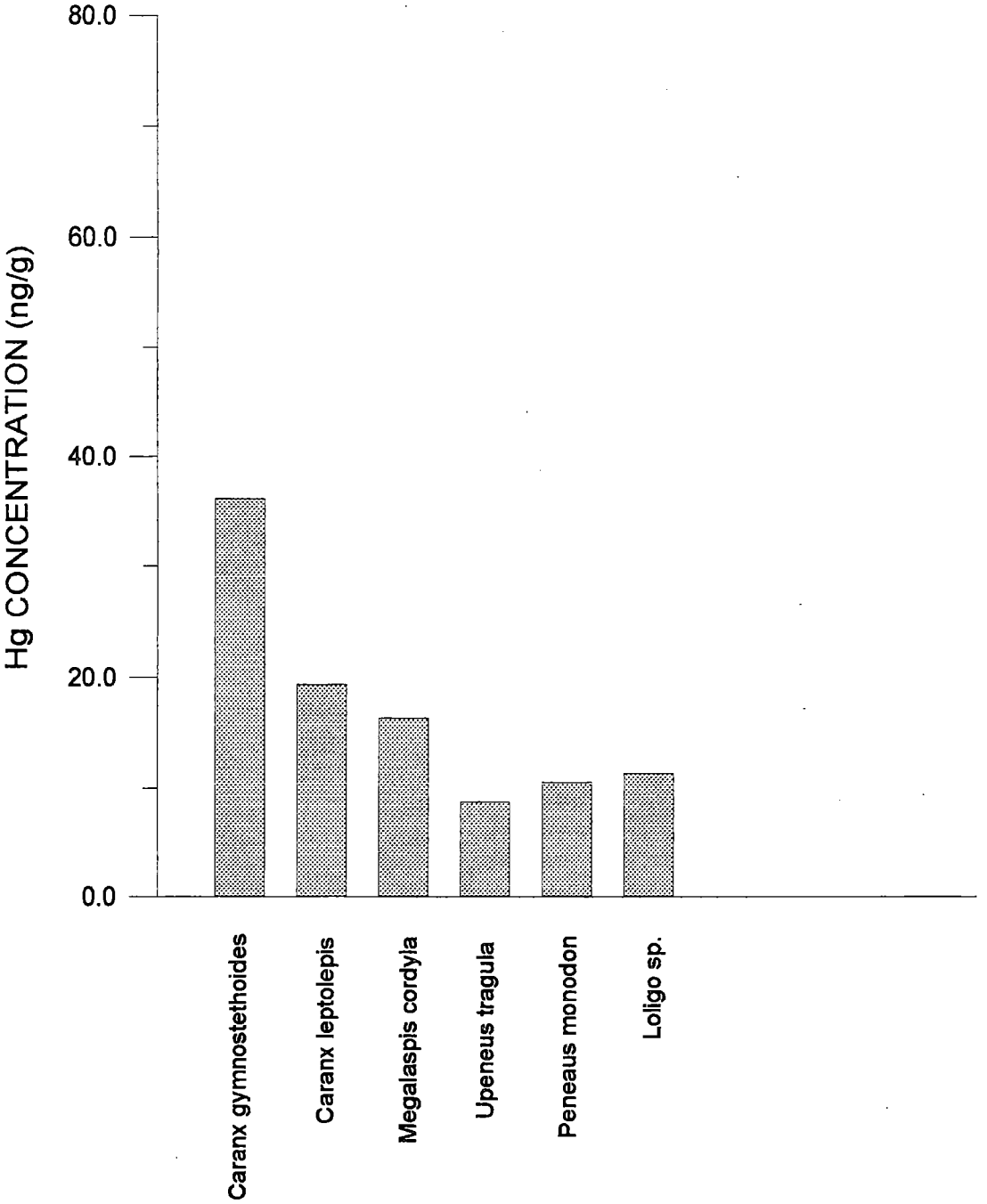
สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับขนาด และค่าสหสัมพันธ์ (r square) ได้แสดงสรุปไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6

สมการแสดงความสัมพันธ์เส้นตรง และค่าสหสัมพันธ์ ของปริมาณสารปรอทกับขนาดของสัตว์ทะเล

ชนิดสัตว์ทะเล	สมการเส้นตรง	ค่าสหสัมพันธ์
1. ปลาสีกุน	Y = 0.24 X + 21.93	0.27
2.ปลาข้างเหลือง	Y = -0.065 X + 20.62	0.004
3.ปลาแข้งไก่	Y = -0.094 X + 21.06	0.07
4.กุ้งแชบ๊วย	Y = 0.14 X + 7.24	0.32
5.หมึกกล้วย	Y = 0.06 X + 9.86	0.06
6.ปลากระพงแดง	Y = 0.23 X + 10.53	0.41
7.ปลากระเบนหัวแหลม	Y = 0.047 X + 40.34	0.01
8.ปลาเก๋า	Y = 0.01 X + 60.18	0.001
9.ปลาแพะ	Y = 0.099 X + 7.64	0.86*

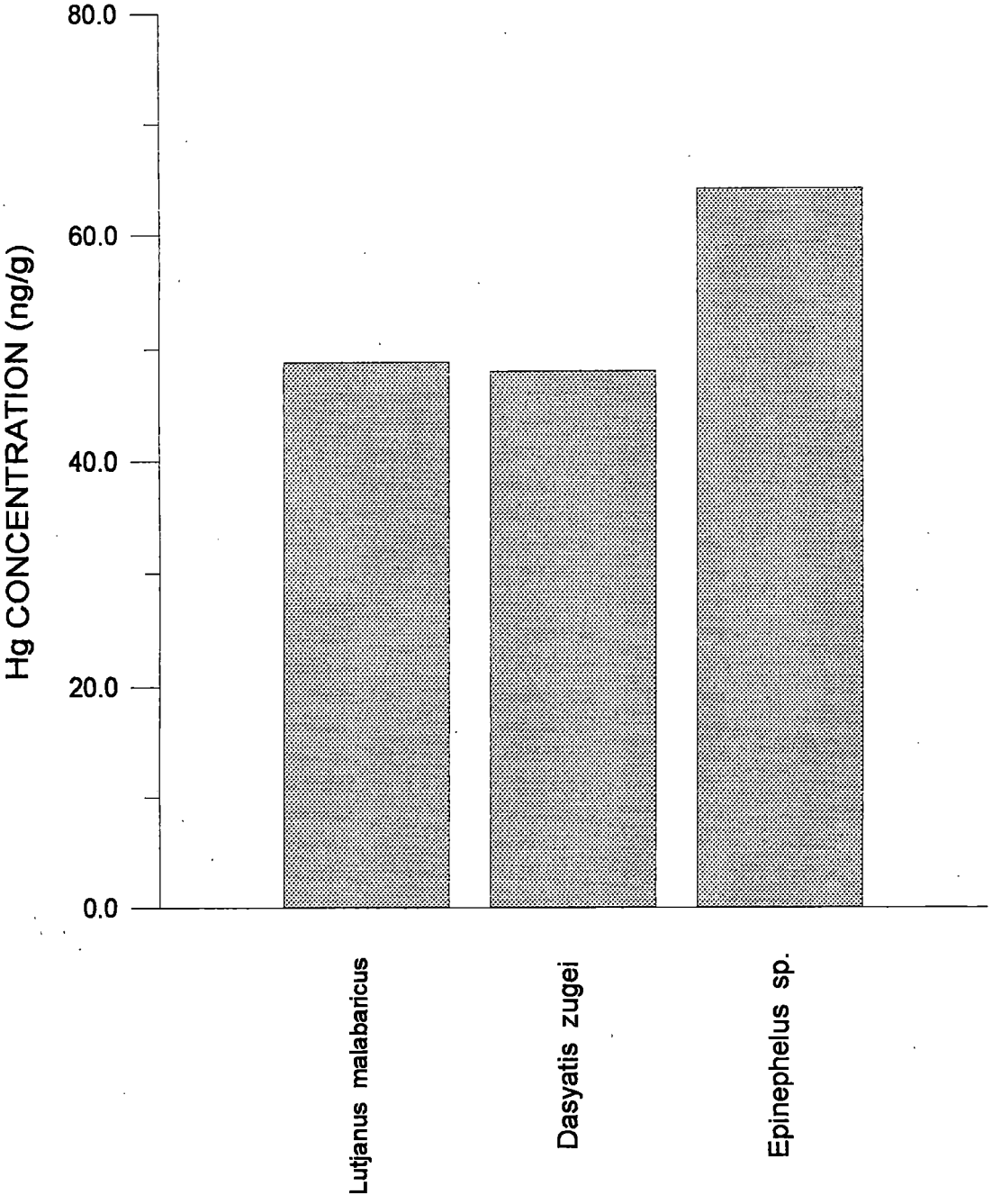
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



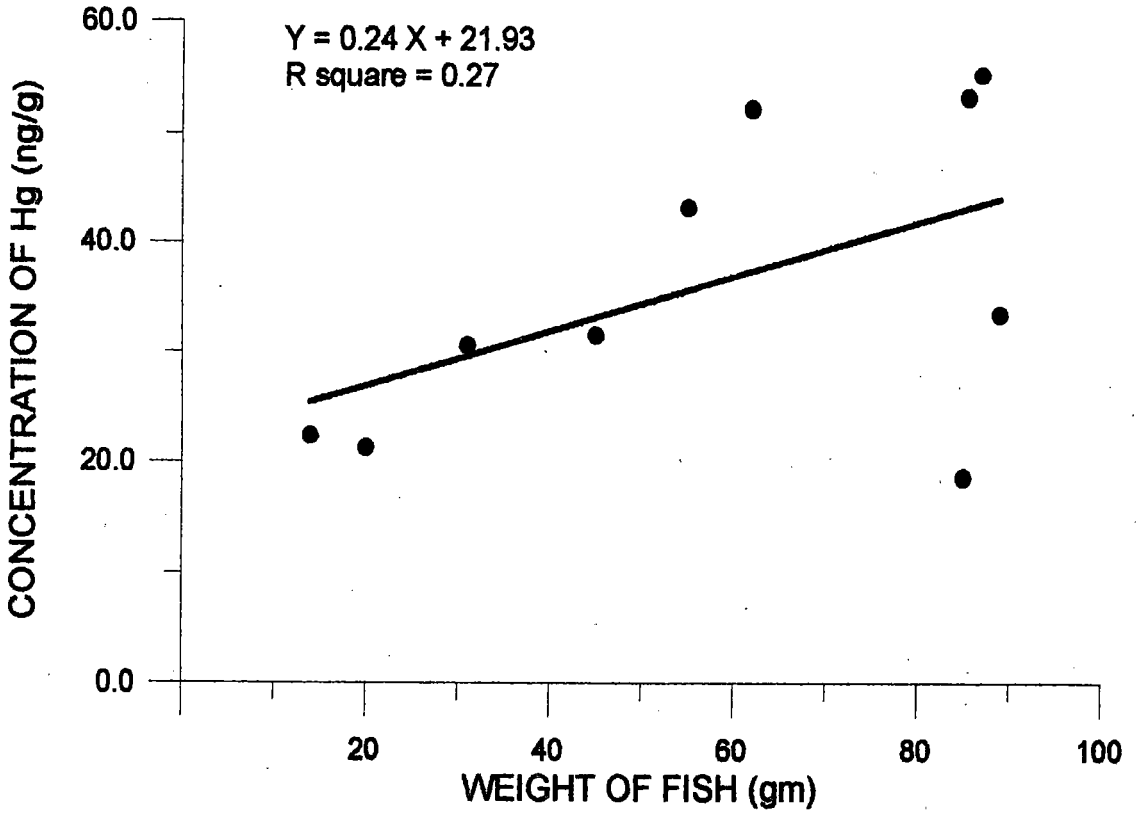
รูปที่ 8 แสดงปริมาณสารปรอทในห่วงลูกโซ่อาหารระดับที่ 3 (trophic level III)

615.92
ว281ร
ฉ.5

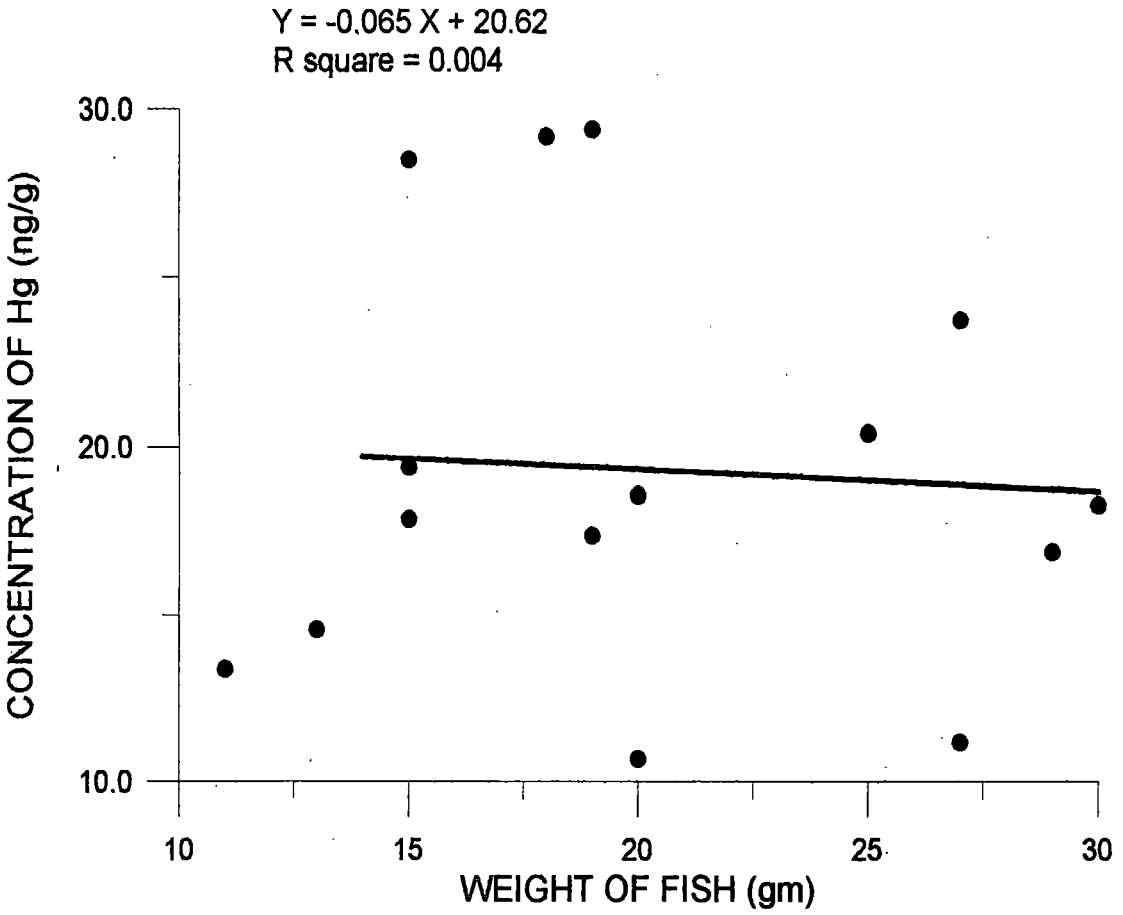
261257



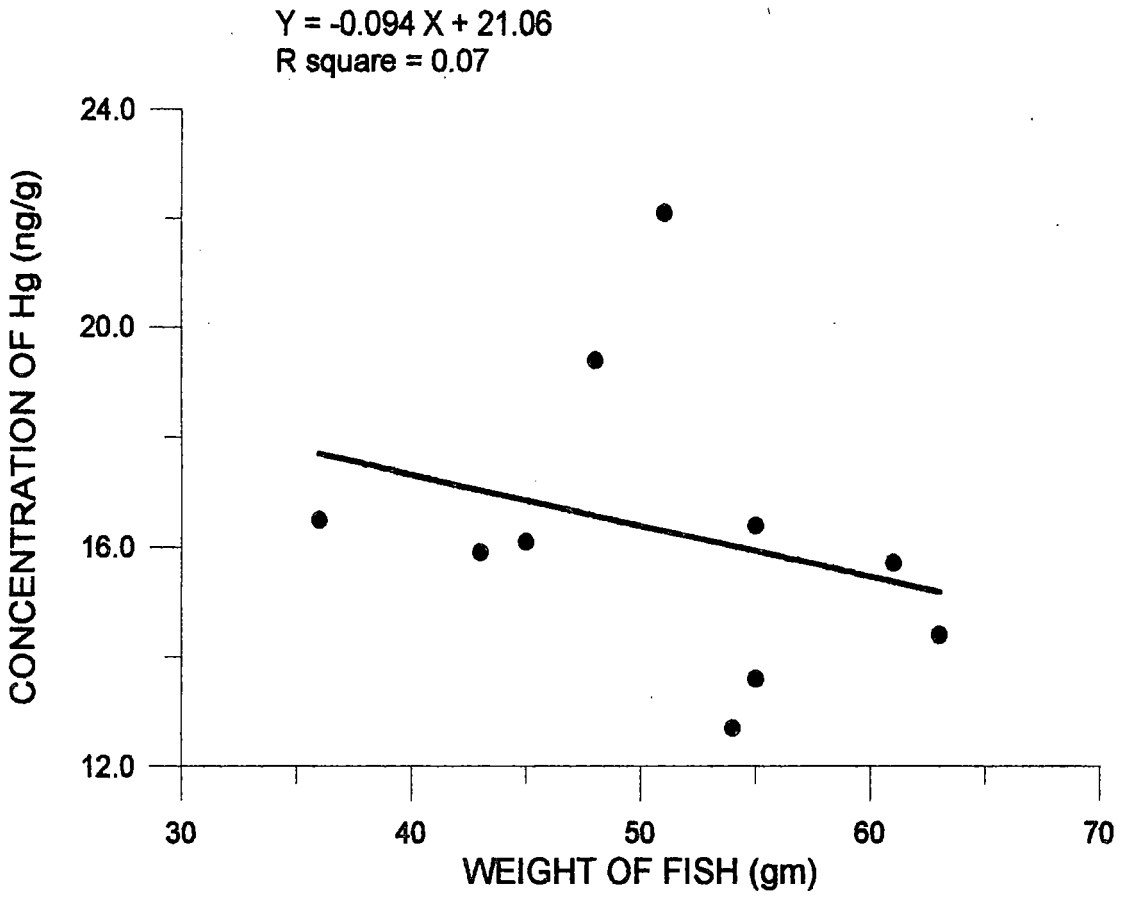
รูปที่ 9 แสดงปริมาณสารปรอทในห่วงลูกโซ่อาหารระดับที่ 4 (trophic level IV)



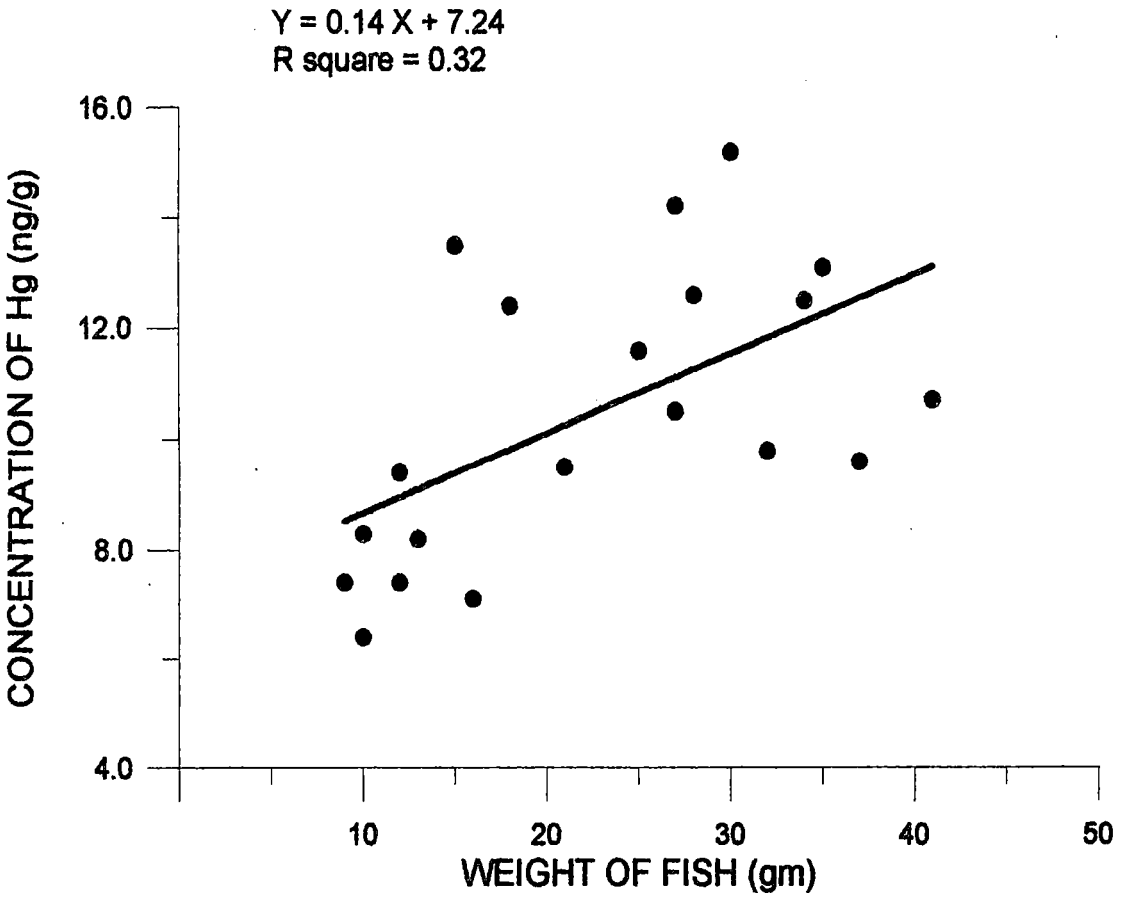
รูปที่ 10 แสดงปริมาณสารปรอทในปลาสีกุน



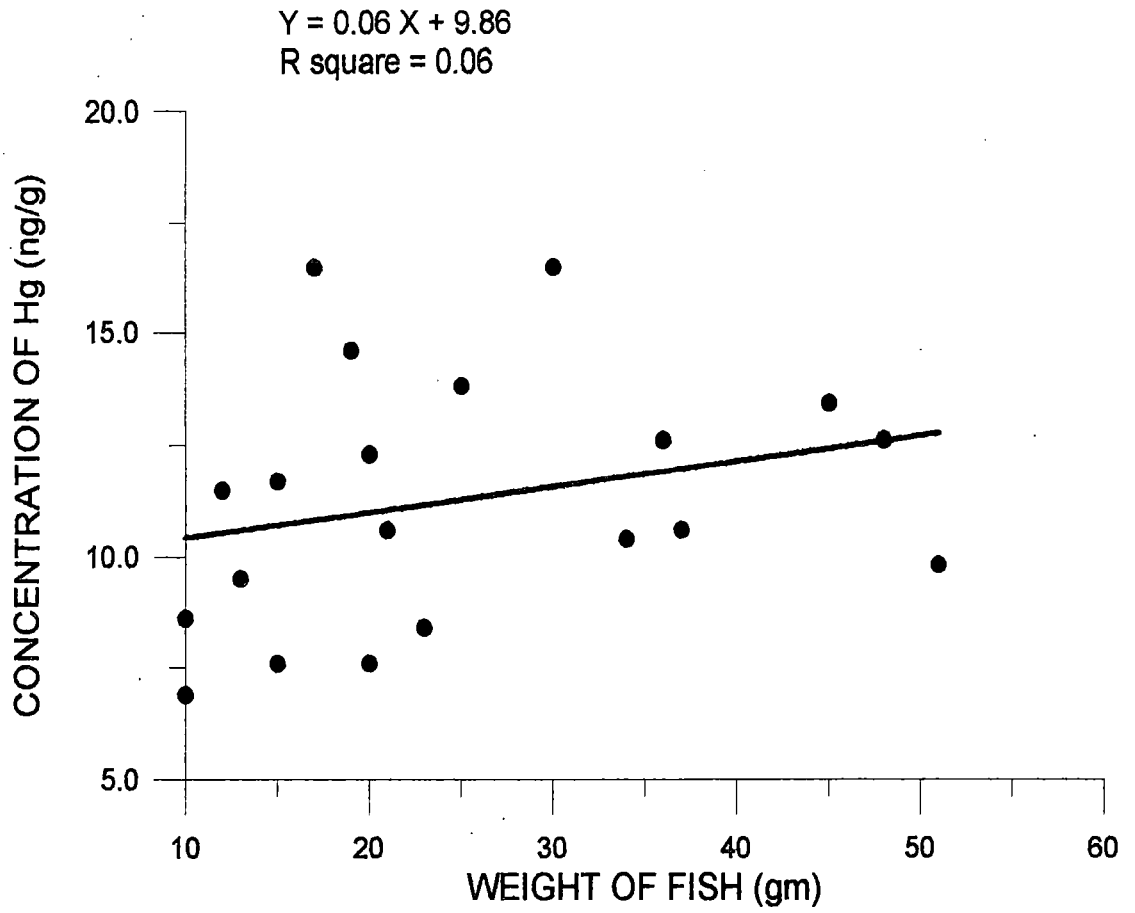
รูปที่ 11 แสดงปริมาณสารปรอทในปลาข้างเหลือง



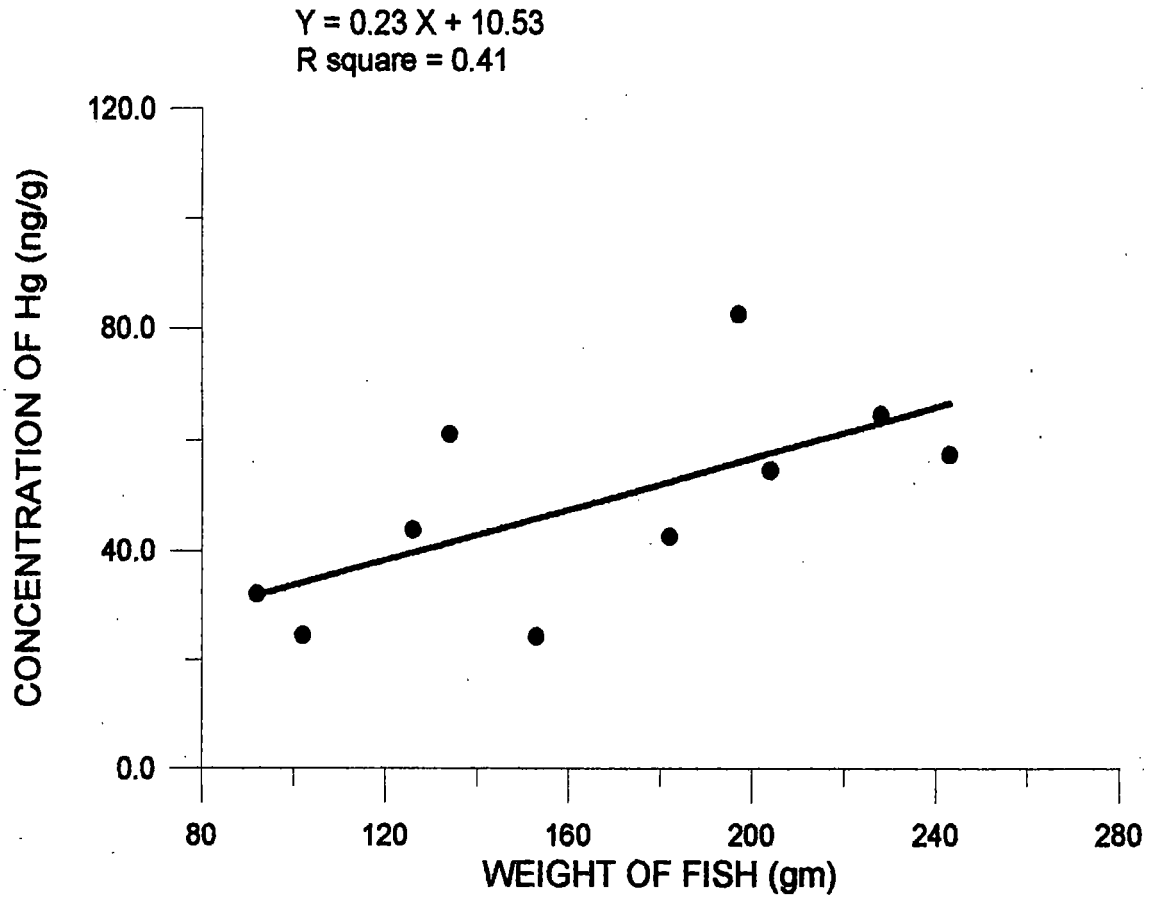
รูปที่ 12 แสดงปริมาณสารปรอทในปลาแข้งไก่



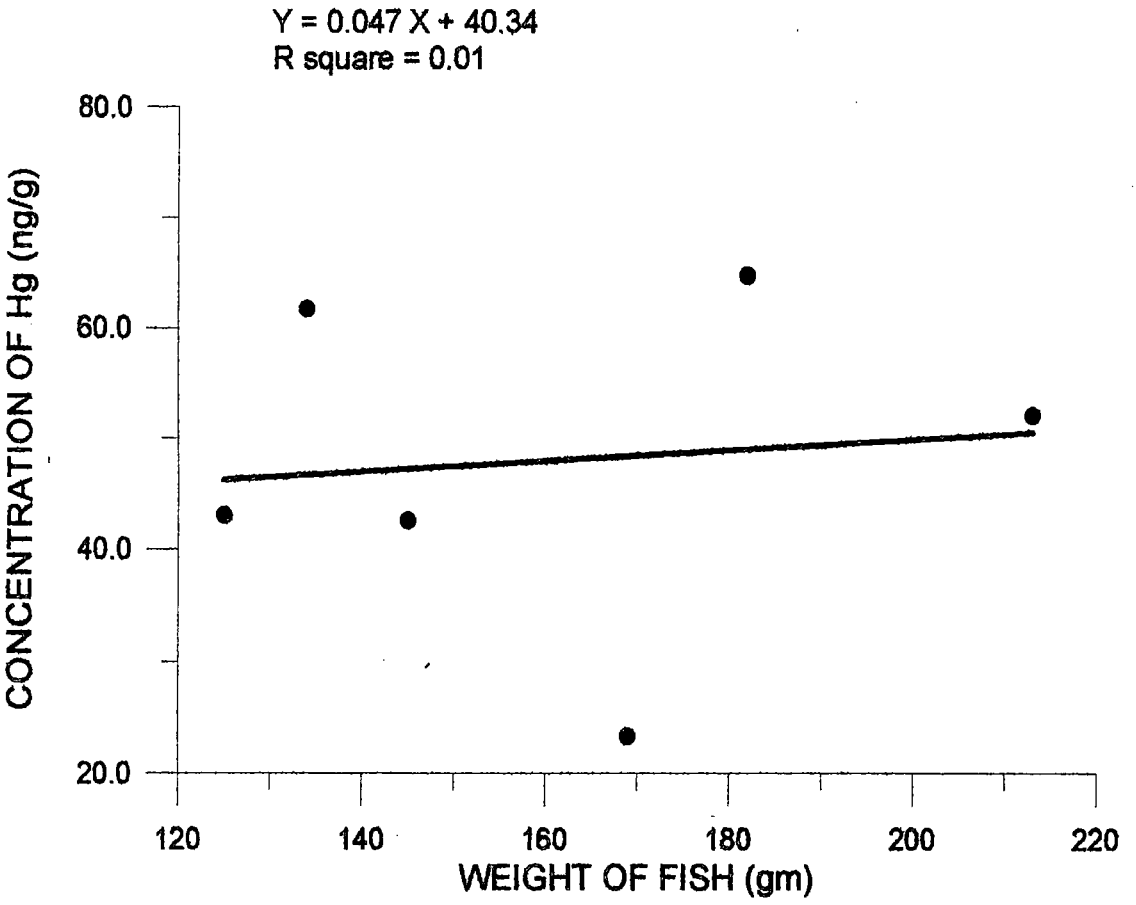
รูปที่ 13 แสดงปริมาณสารปรอทในกุ้งแชบ๊วย



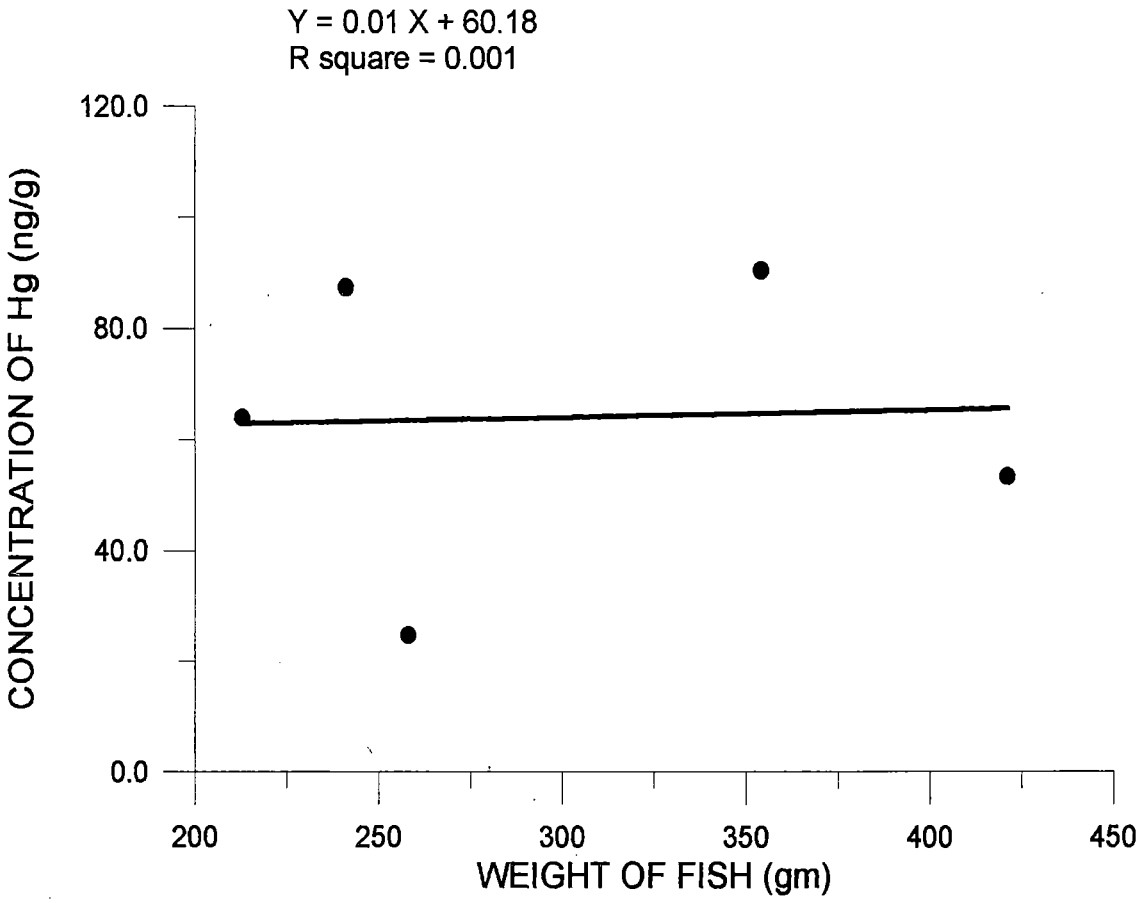
รูปที่ 14 แสดงปริมาณสารปรอทในหมึกกล้วย



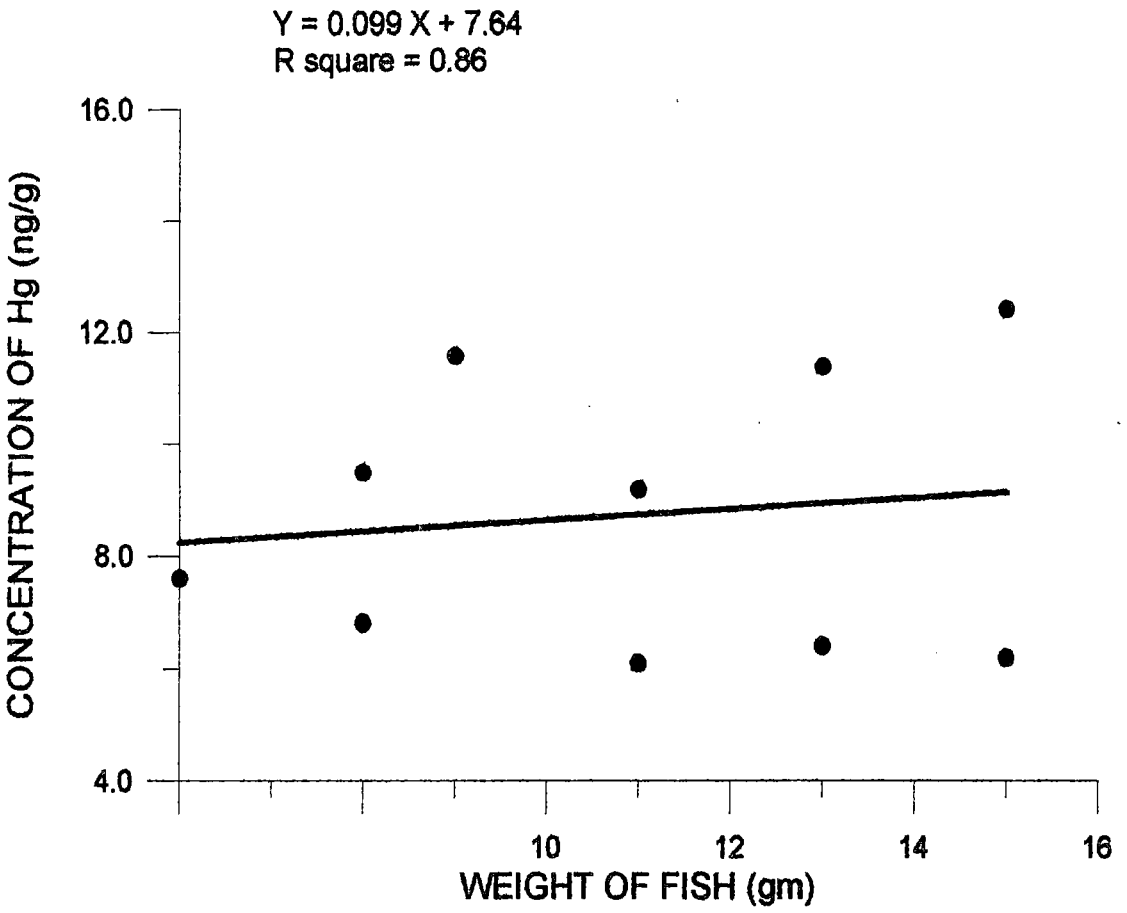
รูปที่ 15 แสดงปริมาณสารปรอทในปลากระพงแดง



รูปที่ 16 แสดงปริมาณสารปรอทในปลากระเบนหัวแหลม



รูปที่ 17 แสดงปริมาณสารปรอทในปลาเก๋า



รูปที่ 18 แสดงปริมาณสารปรอทในปลาแพะ

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลอง พบปริมาณสารปรอทอยู่ในช่วง 1.8 - 90.4 ng/g โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.03 ng/g ซึ่งต่ำกว่าค่าปริมาณสารปรอทที่กำหนดไว้สำหรับมาตรฐานสินค้าขาเข้าในยุโรป ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้เกิน 700 ng/g และยังต่ำกว่า 500 ng/g ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานความปลอดภัยต่อผู้บริโภคที่กำหนดโดย USFDA และมาตรฐานกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 80 (2527) ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 500 ng/g แสดงว่าการปนเปื้อนของสารปรอทในตัวอย่างสัตว์ทะเลบริเวณภาคตะวันออกยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค และเนื่องจากระดับการปนเปื้อนเป็นระดับที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานต่างๆ จึงเข้าใจว่าการปนเปื้อนดังกล่าวเป็นการปนเปื้อนตามธรรมชาติมากกว่าเป็นการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic activities)

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลของปริมาณสารปรอทกับที่สำรวจในเอกสารต่างๆ ดังแสดงในตารางข้างล่าง พบว่ามีความแตกต่างกันอยู่บ้างในสัตว์ชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงไม่ได้บอกขนาดของปลาที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงยากที่จะเปรียบเทียบ เนื่องจากปริมาณสารปรอทอาจแปรผันไปตามขนาดของสัตว์น้ำ แต่สามารถกล่าวโดยทั่วๆไปว่า ปริมาณสารปรอทจากการศึกษานี้กับจากเอกสารต่างๆนั้นอยู่ในอันดับ (order of magnitude)ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 7

เปรียบเทียบปริมาณสารปรอท(หน่วยเป็นng/g)ในสัตว์น้ำจากการศึกษานี้กับในเอกสารอ้างอิง

ชนิดสัตว์น้ำ	ข้อมูลจากการศึกษานี้	จากเอกสารอ้างอิง	เอกสารอ้างอิง
ปลาสีกุน	18.6 -4.6	92 - 240	(1)
ปลาข้างเหลือง	10.7 -29.4	5 - 95	(2)
หมึกกล้วย	6.9 - 16.5	9 - 11	(1)
ปลากระเบนหัวแหลม	23.4 - 64.8	6 - 39	(3)

หมายเหตุเอกสารอ้างอิง

(1) คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ 2519 รายงานการสำรวจน้ำเสียอ่าวไทยครั้งที่ 3 (9-11 เมษายน 2517) กองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,หน้า 38.

(2) คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ 2517 รายงานการสำรวจน้ำเสียอ่าวไทยครั้งที่ 2 (20-31 ตุลาคม 2516) กองแปลและการต่างประเทศ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,หน้า 41-43.

(3) Menasveta, P. 1976. " Total Mercury in the Food Chain of Bang Pra Coastal Area, Chonburi " J. Sci. Soc. Thailand, 2:117-126.

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับขนาดของสัตว์น้ำ เมื่อนำเอาปริมาณสารปรอทมาหาความสัมพันธ์กับขนาด (น้ำหนัก)ของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง (linear regression) ตัวอย่างสัตว์ทะเลที่ไม่แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (เนื่องจากค่า r square มีค่าต่ำมาก) ได้แก่ ปลาสีกุน(r square = 0.27) ปลาข้างเหลือง (r square = 0.004) ปลาแข้งไก่ (r square = 0.07) กุ้งแชบ๊วย (r square = 0.32) หมึกกล้วย (r square = 0.06) ปลากระพงแดง (r square = 0.41)ปลากระเบนหัวแหลม (r square = 0.01) ปลาเก๋า (r square = 0.001) (รูปที่ 10,11,12,13,14,15,16,17)

ส่วนสัตว์ทะเลที่พบว่าปริมาณสารปรอทมีความสัมพันธ์กับขนาด (น้ำหนัก) มีเพียง 1 ชนิด ได้แก่ ปลาแพะ (r square = 0.86) (รูปที่ 18)

สาเหตุที่เป็นดังนี้อาจเนื่องมาจากสัตว์ทะเลเก็บจากบริเวณบางพระและมาบตาพุด ซึ่งเป็นสถานที่อยู่แตกต่างกันอาจทำให้ปริมาณสารปรอทของสัตว์ในที่ต่างๆกัน มีความแตกต่างกันไป จึงไม่แสดงความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงให้เห็นได้ชัดเจน

อย่างไรก็ตามผลการศึกษาเมื่อนำมารวมกลุ่มเป็นระดับต่างๆในห่วงลูกโซ่อาหาร พบว่าปริมาณสารปรอทมีการขยายตัวทางชีวภาพ (Biological magnification) อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 7 ถึงแม้ว่าสัตว์ทะเลอาจเก็บจากบริเวณที่ต่างๆกัน

ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารปรอทมีค่าประมาณ 22.03 ng/g ซึ่งค่านี้เป็นเพียง 1/22 ของค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีในประเทศสหรัฐอเมริกา (500 ng/g)

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติ เมื่อคิดเทียบกับการบริโภคสัตว์ทะเลของประชากรซึ่งในปัจจุบันมีอัตราการบริโภคของประชากรไทยประมาณ 20 ก.ก. /บุคคล/ปี (Marr, *et al.* 1976) ซึ่งค่านี้เท่ากับ 55 กรัม/บุคคล/วัน ซึ่งถ้าค่าเฉลี่ยสารปรอทเป็น 22.03 ng/g เราสามารถคำนวนถึงอัตราการรับเอาปรอทในแต่ละวันเนื่องมาจากการบริโภคสัตว์ทะเลได้ประมาณ 1.21 ไมโครกรัม/บุคคล/วัน ค่านี้ต่ำกว่าค่าที่ศึกษาโดย Kongpool (1977) ซึ่งได้ค่า 2.45 ไมโครกรัม/บุคคล/วัน ประมาณครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์มีความเที่ยงตรงและมีมาตรฐานดีกว่าเมื่อก่อน การป้องกันการปนเปื้อน ตลอดจนคุณภาพของสารเคมีมีคุณภาพที่ดีกว่าจึงทำให้การปนเปื้อนเนื่องมาจากการวิเคราะห์มีค่าน้อยลง

คณะกรรมการ The Joint FAO/WHO Expert Committe on Food Additive ได้เสนอค่า PTWI (Provisional tolerate weekly intake) ของปรอทสำหรับมนุษย์ประมาณ 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว ซึ่งก็สามารถประมาณค่า PTWI เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัม สำหรับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบุคคล 60 กิโลกรัม ถ้าอัตราการรับเอาสารปรอทในแต่ละวันที่คำนวนได้จากการศึกษานี้เป็น 1.21 ไมโครกรัม/บุคคล/วัน แล้วก็สามารถคำนวนเป็นอัตราการรับเอาสารปรอทต่อสัปดาห์ได้ประมาณ 0.008มิลลิกรัม/บุคคล ซึ่งก็เป็นเพียง 1/38 ของ PTWI เท่านั้น ดังนั้นสรุปกล่าวได้ว่า ปริมาณสารปรอทที่ตรวจพบในสัตว์น้ำยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2525.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2538.

มนูวดี หังสพฤกษ์. สมุทรศาสตร์เคมี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

วรวิทย์ ชีวาภรณาภิวัฒน์. "การศึกษาปริมาณรวมของปรอทและปริมาณปรอทอินทรีย์ในปลาบางชนิดในอ่าวไทยตอนบน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.

แววตา ทองระอา และคณะ. "ปริมาณปรอทในปลาทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจจากบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย." เอกสารงานวิจัยเลขที่ 34/2531. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2531.

แววตา ทองระอา และคณะ. "การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในสัตว์ทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก." เอกสารงานวิจัยเลขที่ 37/2532. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2532.

แววตา ทองระอา และคณะ. "ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในเนื้อเยื่อต่างๆ ของปลาทะเลที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจจากสะพานปลาคลองสังเขป จังหวัดชลบุรี." เอกสารงานวิจัยเลขที่ 46/2535. ชลบุรี : สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2535.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปรอทในสัตว์ทะเล." สรุปผลซิมโปรเซียมการสำรวจและวิจัยสภาวะน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในทะเล, 2521.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในสัตว์ทะเล." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย . กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2524.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในสัตว์ทะเล." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย . กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2527.

ศิริ ศิวะรักษ์ และคณะ. "ปริมาณปรอทในหอยบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของอ่าวไทยตอนใน." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย . กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2527.

สุธรรม สิทธิชัยเกษม และสุวรรณี เฉินบำรุง. "การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณปากแม่น้ำของอ่าวไทยตอนใน." การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2527.

สุนันท์ นุชประมูลและคณะ. "การวิเคราะห์ปริมาณธาตุปริมาณน้อยในหอยชนิดต่างๆจากอ่าวไทยโดยวิธีวิเคราะห์นิวตรอนแอคติเวชั่น." การสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 3 เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2529.

สุรภี โรจน์อารยานนท์. สภาวะแวดล้อมของเราตอนมลพิษสภาวะแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

Akagi, H. and Other. "Photochemical transformation of mercury" Distribution and Transport of Pollution in Flowing Water Ecosysytem. Final Report Ottawa River project. Cannada : National Research Council, 1977.

Anonymous. " Survey of Mercury in Food. First Report Ministry of Agriculture Fisheries and Food (England) ". Food Cosmet. Toxicology, 10:399-400. 1972.

Cheevaparanapivat, V. and P. Menasveta.. "Total and Organic Mercury in Marine Fish of Upper Gulf of Thailand" Bull. Environ. Contam. Toxicol. 23 : 291-299, 1979.

Cheevaporn,V.. "Mercury as a Marine Pollution" Journal of Burapha Science. 4 : 83-97, 1996.

De, Anil K.. Environment Chemistry. Calcutta : Wiley Estern Limited, 1994.

Dunlap, L.. "Mercury in Environment" Chemistry English News. 5 : 22,1971.

Goldwater, L.J.. " Mercury in the Environment " Scientific American . 224(5) : 15-21, 1971.

Huschenbetch, E. and U. Harms.. "On the accumulation of organochlorine pesticides, PCB and certain heavy metals in fish and shellfish from Thai coastal and inland water." Arch. Fish Wiss. 25 : 109-122, 1975.

Jones,H.R.. " Mercury Pollution Control" New Jersey: Norjes Data Corporation. p159. 1971.

Knauer, G.A. and Martin, J.H.. "Mercury in a Marine Pelagic Food Chain" Limnology Oceanography. 17 : 868-876, 1972.

Kongpool, V. ."A preliminary Study on Mercury Contents of fish and Shellfish Selected Retailed Markets in Bangkok. " M.Sc. thesis. Mahidol University. P.139. 1977.

Law, A.. Aquatic Pollution. Hawaii : University of Hawaii, 1981.

Marr, J.C., Complemen, C. and Murdoch, W.R.. Thailand Fishery Development and Management Policies, Programmes and Institutional Arrangements. UNDP/FAO, South China Sea Fisheries Development and Coordinating Programme, Manila, Philippines, p. 4 . 1976.

Moore, J.W. and Elizabeth A. Moore.. Environmental Chemistry. New York : Academic Press, Inc., 1976.

Nelson, N.. (ed). Env. Research, 4: 1-69.

Wood, J.M. "Synthesis of Methylmercury Compounds by Extracts of Meat Anogenic Bacterium" Journal of Nature. 220 : 173-174, 1968.

ภาคผนวก

ระดับปริมาณสารปรอทในสัตว์น้ำชนิดต่างๆ

ปลาสีกุน (*Caranx gymnostethoides*) ปลาผิวน้ำ trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1	14	22.4
2	20	21.3
3	31	30.6
4	45	31.5
5	55	43.2
6	62	52.1
7	85	18.6
8	85.5	53.1
9	87	55.1
10	89	33.4

แพลงค์ตอน(พืชและสัตว์) trophic level I & II

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	-	1.9
2.	-	2.7
3.	-	1.8
4.	-	3.1
5.	-	4.6

ปลาข้างเหลือง (*Caranx leptolepis*) ปลาผิวน้ำ trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	11	13.4
2.	13	14.6
3.	15	17.9
4.	15	28.5
5.	15	19.4
6.	18	29.2
7.	19	17.4
8.	20	18.6
9.	20	10.7
10.	25	20.4
11.	27	11.2
12.	27	23.7
13.	29	16.9
14.	29	29.4
15.	30	18.3

ปลาแข้งไก่ (*Megalaspis cordyla*) ปลาผิวน้ำ trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	36	16.5
2.	43	15.9
3.	45	16.1
4.	48	19.4
5.	51	22.1
6.	54	12.7
7.	55	16.4
8.	55	13.6
9.	61	15.7
10.	63	14.4

ปลาแพะ (*Upeneus tragula*) ปลาหน้าดิน trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	6	7.6
2.	8	6.8
3.	8	9.5
4.	9	11.6
5.	11	6.1
6.	11	9.2
7.	13	6.4
8.	13	11.4
9.	15	12.4
10.	15	6.2

กุ้งแชบ๊วย (*Peneaus monodon*) สัตว์หน้าดิน trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	9	7.4
2.	10	6.4
3.	10	8.3
4.	12	7.4
5.	12	9.4
6.	13	8.2
7.	15	13.5
8.	16	7.1
9.	18	12.4
10.	21	9.5
11.	25	11.6
12.	27	14.2
13.	27	10.5
14.	28	12.6
15.	30	15.2
16.	32	9.8
17.	34	12.5
18.	35	13.1
19.	37	9.6
20.	41	10.7

หมึกกล้วย (*Loligo sp.*) สัตว์หน้าดิน trophic level III

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	10	8.6
2.	10	6.9
3.	12	11.5
4.	13	9.5
5.	15	11.7
6.	15	7.6
7.	17	16.5
8.	19	14.6
9.	20	12.3
10.	20	7.6
11.	21	10.6
12.	23	8.4
13.	25	13.8
14.	30	16.5
15.	34	10.4
16.	36	12.6
17.	37	10.6
18.	45	13.4
19.	48	12.6
20.	51	9.8

ปลากระพงแดง (*Lutjanus malabaricus*) ปลาหน้าดิน trophic level IV

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	92	32.1
2.	102	24.6
3.	126	43.8
4.	134	61.2
5.	153	24.3
6.	182	42.6
7.	197	82.6
8.	204	54.6
9.	228	64.6
10.	243	57.3

ปลากระเบนหัวแหลม (*Dasyatis zugei*) ปลาหน้าดิน trophic level IV

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	125	43.1
2.	134	61.8
3.	145	42.6
4.	169	23.4
5.	182	64.8
6.	213	52.1

ปลาเก๋า (*Epinephelus sp.*) ปลาหน้าดิน trophic level IV

ลำดับ	น้ำหนัก(กรัม)	ปริมาณรวมสารปรอท(ng/g)
1.	213	64.2
2.	241	87.6
3.	258	24.7
4.	354	90.4
5.	421	53.5