

การกระจายของปรอทบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช



นางสาว นกฤกษ์ วัฒนวิฑูกร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2367-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MERCURY DISTRIBUTION IN PAKPANANG BAY, NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE

Miss Napalerk Wattanavitukul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science  
Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2367-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การกระจายของปรอทบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

โดย    นางสาวนภฤกษ์ วัฒนวิฑูกร

สาขาวิชา                                      วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา                              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิไลวรรณ อุทุมพฤษ์พร

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานคณะกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิไลวรรณ อุทุมพฤษ์พร)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ชีรคุปต์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัทธีพันธ์ ศิริรัตนชัย)

นภฤกษ์ วัฒนวิทูกร : การกระจายของปรอทบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัด นครศรีธรรมราช (MERCURY DISTRIBUTION IN PAKPANANG BAY AT NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วิไลวรรณ อุทุมพุกภัยพร, 76 หน้า. ISBN 974-17-2367-9

การศึกษาการกระจายของปรอทบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชพบว่า ในแม่น้ำปากพนัง คลองบางจาก คลองปากนครและคลองปากพญา ที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดในน้ำสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทในน้ำจากอ่าวปากพนัง คือมีความเข้มข้น  $1.80 \pm 1.31$  และ  $1.21 \pm 0.48$  ng/L ตามลำดับ ปรอทส่วนใหญ่อยู่ในรูป ปรอทไม่มีรีแอคทีฟ ค่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนจากอ่าวปากพนังคือ มีค่า 0.05-0.73 และ 0.05-0.36  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นที่สูงพบในสถานีต้นน้ำ ส่วนการศึกษาความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจพบว่าปลามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 – 0.69  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเปียกซึ่งสูงกว่าที่พบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยที่ความเข้มข้นในตัวอย่งหอยมีค่า 0.05-0.07  $\mu\text{g/g}$  น้ำหนักเปียก จากการศึกษาครั้งนี้แสดงว่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ส่วนความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนและสัตว์น้ำเศรษฐกิจ บางตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมพบว่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนแขวนลอยและปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ ส่วนความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับสารหนูในตัวอย่างน้ำ ดินตะกอนและสัตว์น้ำ แสดงถึงแหล่งกำเนิดของธาตุทั้งสองที่ต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่

##4389073020: MAJOR IN ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: MERCURY, PAKPANANG BAY, NAKHON SI THAMMARAT

NAPALERK WATTANAVITUKUL MERCURY DISTRIBUTION IN PAKPANANG BAY, NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE THESIS ADVISER: ASST. PROF. WILAIWAN UTOOMPRURKPORN, Ph.D., 76 PP. ISBN 974-17-2367-9

Study of mercury distribution in Pakpanang bay showed that the mean concentrations of total mercury in Pakpanang river, Bangchak canal, Paknakhon canal and Pakphaya canal water were higher than the total mercury in Pakpanang bay. The average concentration in the rivers following into Pakpanang bay were  $1.80 \pm 1.31$  and  $1.21 \pm 0.48$  ng/L, respectively. Most of them were in non-reactive form. Concentrations of total mercury in sediment from the rivers were also higher than those from Pakpanang bay. Concentrations in the rivers and the bay were 0.05-0.73 and 0.05-0.36  $\mu\text{g/g}$  dry weight, respectively. Higher concentrations of total mercury in sediment were found at stations upstream. The study of mercury distribution in economic marine organisms showed that concentrations of total mercury in fish were higher than invertebrates. Total mercury concentrations in fish and invertebrates were 0.08 - 0.69  $\mu\text{g/g}$  wet weight and 0.05-0.07  $\mu\text{g/g}$  wet weight, respectively. In this study, the mercury concentrations in water samples were not higher than guideline values for the marine environment. However, some sediment and fish samples were higher than the guideline values.

Concentration of total mercury in water samples had a positive correlation with suspended particulate matter (SPM) and total organic carbon (TOC) while concentration of total mercury in sediment samples had a positive relationship with organic matter in sediment. No correlation between mercury and arsenic concentration in water, sediment and marine organism sample were observed indicating that mercury and arsenic came from different sources.

Inter-department Environmental Science

Student's signature.....

Field of Study Environmental Science

Advisor's signature.....

Academic year 2002

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณทุกท่านดังมีรายนามต่อไปนี้

กราบของพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลวรรณ อุทุมพุกฤษ์พร อาจารย์ที่ปรึกษา  
นิพนธ์ ที่ให้ความรู้ ความเมตตา คำชี้แนะ รวมทั้งให้หลักการและข้อคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์  
อย่างยิ่งต่อศิษย์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กราบของพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ  
คำแนะนำรวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาในการทำงานวิจัย ทำให้การวิเคราะห์ปรอทด้วยเครื่อง CVAF  
และเครื่อง AA เป็นไปด้วยดี

กราบขอพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ ผู้อำนวยการหลักสูตร  
สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ชีรคุปต์ ที่ได้สละเวลาอันมี  
ค่า มาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ Dr. G. E. Millward, Dr. M. Foulkes และ คุณสรารุช รัตนจงเกียรติ ที่ให้  
ความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และให้การสนับสนุนด้านที่พักและการเดินทางเป็นอย่างดี ใน  
การเก็บตัวอย่างที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

ขอขอบคุณ คุณยุทธ จิโรจน์กุล, คุณรุ่งฟ้า อินทจักร และ คุณวิราสินี ไตรทรัพย์ ที่ใช้ความ  
ช่วยเหลือในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

สุดท้ายนี้กราบขอพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุน  
ในทุกๆด้านตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ปรอท.....	3
2.2 แหล่งกำเนิดของปรอท.....	3
2.3 คุณสมบัติทางเคมีของปรอท.....	4
2.4 การแพร่กระจายของปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	5
2.5 พฤติกรรมของปรอทในระบบนิเวศแหล่งน้ำ.....	10
2.6 ความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในทะเล.....	11
2.7 ความเป็นพิษของปรอท.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง.....	16
3.2 การเก็บตัวอย่างในภาคสนาม.....	20
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ.....	21
3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล.....	23
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	24
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในอ่าวปากพนังและแม่น้ำ ลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช.....	24

## สารบัญ (ต่อ)

4.2 ความเข้มข้นของปรอทในอ่าวปากพนังและแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช.....	28
4.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของปรอทและปัจจัยสิ่งแวดล้อม.....	45
4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของปรอทกับสารหนู.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	58
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	
.....59	
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และ  
 บริเวณอื่นๆ ..... 6

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และ  
 บริเวณอื่นๆ ..... 7

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบในสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสัน  
 หลังและพืชในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ..... 9

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในอ่าวปากพนัง ..... 26

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหล  
 ลงสู่อ่าวปากพนัง ..... 27

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลบริเวณอ่าวปากพนัง ..... 28

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ..... 29

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง ..... 33

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูฝน ..... 33

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าว ปากพนัง  
 ที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง ..... 34

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง  
 ที่เก็บในช่วงฤดูฝน ..... 35

ตารางที่ 4.9 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของประเทศต่าง ๆ ..... 37

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของปรอทในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้จากอ่าวปากพนัง ..... 43

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลถิ่นอาศัยและอาหารของสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้บริเวณอ่าวปากพนัง ..... 44

ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบ  
 ในตัวอย่างน้ำ ..... 53

ตารางที่ 4.13 เข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในตะกอน  
 แขนงลอยจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ..... 55

ตารางที่ 4.14 แสดงความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในดิน  
 ตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง ..... 55

ตารางที่ 4.15 แสดงความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในดิน  
 ตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง ..... 57

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรของปรอทในระบบนิเวศแหล่งน้ำ..... 11

รูปที่ 3.1 สถานีเก็บตัวอย่างในทะเล 9 สถานี..... 17

รูปที่ 3.2 สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง..... 18

รูปที่ 3.3 สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังในช่วงฤดูฝน..... 19

รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำจากอ่าวปากพนัง..... 31

รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง..... 31

รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังเทียบกับค่ามาตรฐาน..... 38

รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง  
เทียบกับค่ามาตรฐาน..... 38

รูปที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของปรอทที่พบใน Sediment core ในอ่าวปากพนัง..... 40

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอททั้งหมดกับปริมาณสารแขวนลอย..... 46

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในตะกอนแขวนลอยกับปริมาณ  
สารแขวนลอย..... 47

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC กับความเข้มข้นของปรอทในน้ำ..... 49

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC กับความเข้มข้นของปรอทในตะกอนแขวนลอย... 50

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Organic matter กับความเข้มข้นของปรอท  
ในดินตะกอน..... 51

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตัวอย่างน้ำ... 54

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอน  
แขวนลอยจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง..... 56

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในดินตะกอน  
บริเวณอ่าวปากพนัง..... 56

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนู ในสัตว์น้ำ  
เศรษฐกิจที่พบบริเวณอ่าวปากพนัง..... 57

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรอทเป็นสารที่พบอยู่ตามธรรมชาติในรูปแร่อิสระหรือในรูปของ mercury sulfide (HgS) ซึ่งปะปนอยู่ในเนื้อหินชนิดต่างๆ เช่นหินปูนและหินทราย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ปรอทที่อยู่ในหิน ดิน แหล่งน้ำและตะกอนดินใต้ทะเล มีความเข้มข้นโดยเฉลี่ย 0.03-0.05  $\mu\text{g/g}$  ส่วนปรอทที่อยู่ในบรรยากาศจะมีค่า 0.005-0.06  $\text{ng/m}^3$  (Piotrowski, J. K. and Coleman, D. O., 1980) ปรอทเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงและสามารถสะสมในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตเป็นเวลานาน เมื่อเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตจะมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและทำลายระบบประสาท (U.S. Geological Survey, 2000) และเป็นสาเหตุของโรคมินามาตะ

ในช่วง 40 ปีที่ผ่านมาปัญหามลพิษจากปรอทได้ทำให้ผู้คนทั่วโลกล้มป่วยและเสียชีวิตจำนวนมาก โดยแหล่งของปรอทที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม มีสาเหตุหลักจากอุตสาหกรรม เช่น การทำเหมืองแร่ทองคำ และการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานเคมี สำหรับในประเทศไทยมีการปนเปื้อนปรอทในทะเลบริเวณอ่าวไทยซึ่งถูกตรวจพบมากบริเวณที่อยู่ใกล้เขตอุตสาหกรรมและบริเวณแท่นขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน ซึ่งปรอทจะสะสมอยู่ในน้ำ ตะกอนและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล และอาจถูกกระแสน้ำพัดพาไปจึงทำให้เกิดการสะสมของปรอทในบริเวณใกล้เคียงได้ด้วย (Tomiyasu et al, 2000)

อ่าวปากพนังเป็นแหล่งการทำประมงที่สำคัญของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีแม่น้ำและลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังหลายสายเช่น แม่น้ำปากพนัง คลองบางจาก คลองปากนคร และคลองปากพญา เป็นต้น โดยมีคลองที่ไหลมาจากอำเภออ่อนพิบูลย์ซึ่งเป็นอำเภอที่มีปัญหาสารหนูเป็นพิษในแหล่งน้ำใต้ดินสองสายคือ คลองเสาธงและคลองแร่ ซึ่งไหลมาบรรจบกับคลองบางจากก่อนไหลลงสู่อ่าวปากพนัง (ชาญกิจ ชอบทำกิจ, 2541) จากปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูในเขตอำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งพบว่าเหตุการณ์ปนเปื้อนเกิดจากการสะสมขี้แร่และการทำเหมืองแร่ดีบุกบริเวณภูเขาในอำเภออ่อนพิบูลย์ ซึ่งจากการขุดหาแร่ดีบุกในธรรมชาติของบริเวณดังกล่าวสารหนูจะปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาล เมื่อประชาชนนำน้ำไปใช้บริโภคหรือใช้ในการเกษตรกรรมก็จะได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกายจนเป็นสาเหตุของไข้ดำ มะเร็งผิวหนังและอันตรายต่อทุกระบบของร่างกาย จากการรายงานของ

คณะกรรมการระบาควิทยาแห่งชาติในปี พ.ศ. 2535 ได้สรุปว่ามีการตรวจพบการปนเปื้อนของสารหนูได้ขยายตัวไปตามแม่น้ำปากพ่องและไหลลงสู่อ่าวปากพ่องซึ่งบริเวณดังกล่าวมีความสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (สุกัญญา บุญเฉลิมกิจ และคณะ, 2539) เนื่องจากปรอทเป็นหนึ่งในแร่ที่สามารถเกิดร่วมกับแหล่งแร่ดีบุกและสารหนู ในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาการปนเปื้อนของปรอทในบริเวณอ่าวปากพ่องและศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการกระจายความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเล ตะกอนและสัตว์น้ำเศรษฐกิจบริเวณ อ่าวปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมบริเวณอ่าวปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและความเข้มข้นของสารหนูบริเวณอ่าวปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาปริมาณปรอทในน้ำทะเล สัตว์น้ำเศรษฐกิจและตะกอนบริเวณอ่าวปากพ่อง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเลือกสถานีเก็บตัวอย่างในทะเล 9 สถานี และเลือกสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำปากพ่อง คลองบางจาก คลองปากนคร และคลองปากพ่อง 10 สถานีในช่วงฤดูแล้งและ 14 สถานีในช่วงฤดูฝน
2. ศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมในบริเวณสถานีเก็บตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง ปริมาณสารแขวนลอยและปริมาณสารอินทรีย์
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตัวอย่างน้ำทะเล สัตว์น้ำเศรษฐกิจและตะกอนที่เก็บจากสถานีเดียวกัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปริมาณการกระจายของปรอทในบริเวณอ่าวปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณอ่าวปากพ่อง จ.นครศรีธรรมราช

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พรอท

พรอทเป็นสารที่พบอยู่ตามธรรมชาติในรูปแร่อิสระหรือในรูปของ mercury sulfide (HgS) ซึ่งปะปนอยู่ในเนื้อหินประเภทต่างๆ เช่นหินปูนหรือหินทราย โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็นหลายรูปแบบคือ พรอทในรูปโลหะ พรอทในรูปสารประกอบอนินทรีย์และพรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ พรอทเป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ มีน้ำหนักโมเลกุล 200.59 มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวที่ 356.9 และ -38.87 องศาเซลเซียสตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

#### 2.2 แหล่งกำเนิดของพรอท

##### 2.2.1 กระบวนการทางธรรมชาติ

พรอทในธรรมชาติเกิดจากการปล่อยแก๊สจากเปลือกโลก (degassing) ผ่านทางปล่องภูเขาไฟ และการระเหยของไอพรอทจากมหาสมุทร กระบวนการทางธรรมชาติเหล่านี้เป็นแหล่งที่ทำให้มีพรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด ประมาณ 25,000-125,000 ตันต่อปี (WHO, 1976) ถึงแม้ว่าจะมีการคาดกันว่าปริมาณการปล่อยพรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันจะลดลงเหลือประมาณ 2,700-6,000 ตันต่อปี (Fitzgerald et al., 1984)

##### 2.2.2 กิจกรรมมนุษย์

ปริมาณพรอทที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์มีปริมาณน้อยกว่าพรอทที่เกิดจากแหล่งธรรมชาติ มีการคาดคะเนว่าพรอทถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการทำเหมืองแร่ และการถลุงแร่ 10,000 ตันต่อปี ในปี ค.ศ. 1973 (IPCS/WHO, 1989) แต่เหลือเพียง 5,500 ตันต่อปีในปี ค.ศ. 1990 (OECD, 1995) อ้างถึงใน ASEAN-Canada CPMS-II, 1999) จะเห็นได้ว่าพรอทในบรรยากาศที่ถูกปล่อยจากแหล่งธรรมชาติมีปริมาณสูงกว่ากิจกรรมมนุษย์ประมาณ 3-4 เท่า (Fitzgerald et al., 1984)

กิจกรรมของมนุษย์ที่ได้นำพรอทมาใช้ประโยชน์ได้แก่ (Keckes and Miettinen, 1972 อ้างถึงใน ASEAN-Canada CPMS-II, 1999)

- อุตสาหกรรมเคมี ใช้ผลิตคลอรีนและโซดาไฟ (caustic soda)
- อุตสาหกรรมการผลิตเชื้อกระดาษ ใช้เพื่อเก็บรักษาวัตถุดิบไม่ให้เสื่อมสภาพจากการถูกเชื้อราและแบคทีเรียทำลาย

- อุตสาหกรรมพลาสติก ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- อุตสาหกรรมเครื่องไฟฟ้า ใช้ผลิต สวิตช์ แบตเตอรี่ เครื่องกลับกระแสไฟฟ้า (rectifier) และหลอดไฟ
- อุตสาหกรรมยา ใช้ผลิตยาขับปัสสาวะ (diuretics) ยาฆ่าเชื้อ (antiseptics) ยาถ่าย (cathartic) ยาคุมกำเนิด (contraceptive) และยารักษาโรคหัวใจ (treatment of congestive heart failure)
- อุตสาหกรรมผลิตสีทาบ้าน ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของสี
- โรงผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ปรอทในเครื่องกำเนิดความร้อนแทนไอน้ำ
- อุตสาหกรรมการผลิตเทอร์โมมิเตอร์ และบารอมิเตอร์
- การกลีกรวมที่ใช้ปรอทเป็นส่วนผสมของสารฆ่าเชื้อราในเมล็ดพันธุ์พืช (fungicide)

### 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของปรอท

ปรอทจัดเป็นโลหะหนักที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันปกติ มีเลขอะตอม 81 และมีน้ำหนักอะตอม 200.59 มีจุดหลอมเหลวที่  $-39$  องศาเซลเซียส และมีจุดเดือด 357 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 13.6 g/mL ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ปรอทละลายได้ดีในไขมัน (Keckes and Miettinen, 1972 อ้างถึงใน ASEAN-Canada CPMS-II, 1999)

ปรอทที่พบในธรรมชาติแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้คือ

2.3.1 ปรอทไอปรอท (volatile) ส่วนใหญ่พบในบรรยากาศ อยู่ในรูปธาตุปรอทอิสระ และ dimethylmercury (Keckes and Miettinen, 1972 อ้างถึงใน ASEAN-Canada CPMS-II, 1999)

2.3.2 ปรอทที่ละลายน้ำ (water-soluble or particle-borne reactive species) ได้แก่  $HgX_2$ ,  $HgX_3^-$  และ  $HgX_4^{2-}$  (เมื่อ  $X = OH^-, Cl^-,$  และ  $Br^-$ ),  $HgO$  และ  $Hg^{2+}$  ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดอินทรีย์ (organic acids) (IPCS/WHO, 1989)

2.3.3 ปรอทไม่รีแอคทีฟ (non-reactive species) ได้แก่  $CH_3Hg^+$ ,  $CH_3HgOH$ , และ สารประกอบปรอทอินทรีย์อื่นๆ (organomercuric compounds),  $Hg(CN)_2$ ,  $HgS$  และ  $Hg^{2+}$  ที่สร้างพันธะกับซัลเฟอร์ที่อยู่ในอนุภาคของฮิวมิก (humic matter) (IPCS/WHO, 1989)

ปรอทที่มีความเป็นพิษที่สำคัญที่สุดคือปรอทอินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มปรอท non-reactive เป็นปรอทที่สร้างพันธะสั้นๆ กับสารอินทรีย์ในกลุ่ม alkyl เช่น methyl, ethyl และ propyl group ซึ่งได้แก่ methyl mercury (WHO, 1976)

## 2.4 การกระจายของปรอทในสิ่งแวดล้อม

การตกสะสมของปรอทในบรรยากาศและการพัดพาปรอทที่อยู่ในแม่น้ำ ทำให้มีการสะสมของปรอทในแหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งและในทะเล จากข้อมูลของ ASEAN-Canada CPMS-II (1999) ได้รายงานว่า แหล่งน้ำบริเวณชายฝั่งมีการสะสมของปรอท 11,100 ตันต่อปี ซึ่งเกิดจากการตกสะสมจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติในบรรยากาศ 6,000 ตันต่อปี จากกิจกรรมของมนุษย์ 3,500 ตันต่อปี และการพัดพาตะกอนจากแม่น้ำ 1,600 ตันต่อปี (Magos, 1990) และทำให้มีการสะสมของปรอทในทะเล 46,000 ตันต่อปี ซึ่งเกิดจากการตกสะสมจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติในบรรยากาศ 25,000 ตันต่อปี จากกิจกรรมของมนุษย์ 16,000 ตันต่อปี และการพัดพาตะกอนจากแม่น้ำ 5,000 ตันต่อปี (WHO, 1976)

### 2.4.1 การกระจายของปรอทในน้ำและดิน

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของปรอทในน้ำทะเลที่เป็นทะเลเปิดส่วนใหญ่เกิดจากการผุพังของหิน (GESAMP, 1990) ส่วนแหล่งกำเนิดของปรอทในน้ำทะเลชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำทิ้งในบริเวณชายฝั่ง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำทะเลในบริเวณชายฝั่งด้วย เช่น รูปแบบของการปล่อยน้ำทิ้ง ความสามารถของปรอทในการจับตัวกับสารแขวนลอยในน้ำทะเลและอัตราการตกตะกอนของสารแขวนลอย ASEAN-Canada CPMS-II (1999) ได้ศึกษาความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลและดินตะกอนที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณต่างๆจากทั่วโลกดังในตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 สำหรับความเข้มข้นของปรอทในสารแขวนลอย (particulate mercury, Hg-P) ที่พบในแหล่งน้ำอาจจะถูกตรวจวัดในรูปปรอททั้งหมดที่ละลายในน้ำ (total mercury, Hg-T) ได้เช่นกัน

การปนเปื้อนของปรอทในดินตะกอนขึ้นอยู่กับทั้งลักษณะทางแร่ธาตุวิทยา (mineralogy) ธรรมชาติและแหล่งกำเนิดของดิน เช่น ขนาดอนุภาคดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน IPCS/WHO (1989) ได้รายงานว่าค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในบริเวณที่มีการปนเปื้อนปรอทของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีค่าระหว่าง 0.02 – 0.10 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง Magos (1990) รายงานว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำทะเลในบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าต่ำกว่า 0.003 ไมโครกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นปรอทในน้ำทะเลในบริเวณที่มีการปนเปื้อนปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 0.40 ไมโครกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนในบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าต่ำกว่า 0.008 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนในบริเวณที่มีการปนเปื้อนปรอทมีค่าอยู่ในช่วง 0.40 – 350 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง Kapauan et al. (1982) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมชายฝั่งจากเหมืองแร่

ปรอทที่อ่างฮอนด้า (Honda Bay) ในประเทศฟิลิปปินส์ พบว่ามีความเข้มข้นปรอทในน้ำทะเล 0 – 0.242 (n = 53) ไมโครกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นปรอทในดินตะกอน 0.001 – 2.433 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (n = 17) GESAMP (1990) รายงานค่าความเข้มข้นปรอทในน้ำทะเลเปิดและทะเลชายฝั่ง (surface water) ในทวีปเอเชีย บริเวณทะเลญี่ปุ่น มีค่า  $0.00059 \pm 0.0018$  ไมโครกรัมต่อลิตร บริเวณทะเลจีนใต้ มีค่า 0.003 – 0.005 ไมโครกรัมต่อลิตร และ บริเวณอ่าวโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น มีค่า 0.003 – 0.005 ไมโครกรัมต่อลิตร Sirirattanachai (2001) ศึกษาธรรมชาติเคมีของปรอทในเอสทูรีของแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ความเข้มข้นของปรอทที่แยกที่ละลายน้ำ ( $Hg-R$ )<sub>D</sub> ปรอทรวมละลายน้ำ ( $Hg-T$ )<sub>D</sub> และ ปรอทแขวนลอย ( $Hg-P$ ) ในเอสทูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง <math>0.15-5.23\text{ ng/L}</math>, <math>2.16-18.1\text{ ng/L}</math> และ <math>0.09-3.49\ \mu\text{g/g dry weight}</math> (10.2-112 ng/L) ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นของปรอทดังกล่าวมีค่าเช่นเดียวกับที่พบในเอสทูรีอื่นๆ

**ตารางที่ 2.1** ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณอื่นๆ

Location	Concentration ( $\mu\text{g/L Hg}$ )	Reference
Open ocean (general)	0.0005 - 0.003	IPCS/WHO, 1989
Coastal seawater (general)	0.002 - 0.015	IPCS/WHO, 1989
Marine water (unpolluted)	<<0.003	Magos, 1990
Marine water (polluted)	0.02 - 0.4	Magos, 1990
Japan Sea	$0.0059 \pm 0.0018$	GESAMP, 1990
East and South China Seas	$0.0057 \pm 0.0023$	GESAMP, 1990
Tokyo Bay, Japan	0.003 - 0.005	GESAMP, 1990
<b>ASEAN REGION</b>		
Semarang, Indonesia	1.883	Sunoko, 1995
Marunda estuary, Jakarta Bay, Indonesia	3 - 7	Yulianda and Nurjaya, 1994
Honda Bay, Philippines	ND - 0.242	Kapauan et al., 1982
Singapore coastal waters	ND - 2.7	Makjanic et al., 1995
Chao Phraya River estuary	0.002-0.018	Sirirattanachai, S., 2001*

ND = not detected (detection limit not specified)



ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณอื่นๆ

Location	Concentration ( $\mu\text{g/g Hg}$ )	Reference
Marine sediments (unpolluted)	$\ll 0.08$ D	Magos, 1990
Marine sediments (polluted)	0.4 - 350 D	Magos, 1990
<b>ASEAN REGION</b>		
Semarang, Indonesia	0.024 - 0.046	Sunoko, 1995
Honda Bay, Philippines	0.001 - 2.433	Kapauan et al., 1982
Gulf of Thailand (4 river mouths)	0.07 - 3.20 D	Menasveta and Cheevaparanapiwat, 1981
Chao Phraya River estuary	0.2-0.77	Sirirattanachai, S., 2001*

D = dry weight

#### 2.4.2 การกระจายของปรอทในสิ่งมีชีวิตในทะเล

สิ่งมีชีวิตในทะเลสามารถรับปรอทเข้าสู่ร่างกายได้จากปรอทที่ปนเปื้อนทั้งในดิน น้ำและอาหาร (U.S. EPA, 1993) ปรอทที่อยู่ในรูป methyl mercury เป็นโลหะหนักเพียงชนิดเดียวที่ถูกสะสมแบบเพิ่มความเข้มข้นขึ้นตามลำดับ (biomagnified) ในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในทะเล Magos (1990) ซึ่งเป็นไปในทิศทางตรงข้ามกับการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหารซึ่งจะลดลงตามลำดับห่วงโซ่อาหาร

ปลาจะได้รับปรอทจากดินและน้ำทั้งโดยตรงและทางอ้อม เช่นการกินอาหาร หรือการดูดซับผ่านทางเหงือก ปรอทส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในเหงือกและเนื้อเยื่อของปลา ซึ่งส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในรูปของ methyl mercury จากงานวิจัยของ Magos (1990) ทำการศึกษาปรอทในปลาสองชนิดคือ plaice (*Pleuronectes platessa*) และ thornback ray (*Raja clavata*) พบว่า 3 – 14% ของปรอทที่พบเป็นปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercury) และ 80 – 100% เป็นปรอทอินทรีย์ชนิด methyl mercury โดยปลาได้รับจากการกินอาหาร ซึ่ง methyl mercury ที่พบในปลามีสัดส่วนถึง 80% ของปรอททั้งหมด (total mercury) และจะพบปรอทมากในบริเวณเนื้อเยื่อของปลาซึ่งมีสารประกอบเชิงซ้อนชนิด cysteine อยู่มาก (Craig, 1986; Coombs, 1980 อ้างถึงใน Hodson, 1988)

Huggett และคณะ (2001) ศึกษาปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนในตัวอย่างปลาและตะกอนที่เก็บจากทะเลสาบ Sardis, Enid และ Grenada ซึ่งอยู่ในที่ราบลุ่มแม่น้ำในรัฐ North Mississippi พบว่า

ตัวอย่างตะกอนจากทะเลสาบ Enid ที่เก็บในปี 1997 มีค่าปรอทรวมทั้งหมดเฉลี่ย 0.154 mg Hg/kg ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนจากทะเลสาบ Sardis, Enid และ Grenada ที่เก็บในปี 1998 มีค่าปรอทรวมทั้งหมดเฉลี่ย 0.112, 0.088 และ 0.133 mg Hg/kg ตามลำดับ ส่วนค่าปรอทรวมทั้งหมดเฉลี่ยในตัวอย่างตะกอนจากทะเลสาบทั้งสามแห่งที่เก็บในปี 1999 มีค่าใกล้เคียงกันแต่ต่ำกว่าค่าที่วัดได้ในปี 1998 สำหรับตัวอย่างปลาที่เก็บจากทะเลสาบ Enid ในปี 1998 พบว่ามีปริมาณ ปรอทรวมทั้งหมดเฉลี่ยสูงกว่าระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพมนุษย์ของ FDA (ไม่เกิน 1.0 mg Hg/kg) โดยในปลา Bass, Crappie และ Gar มีการตรวจพบปริมาณปรอทรวมทั้งหมดเฉลี่ย 1.40, 1.69 และ 1.89 mg Hg/kg ตามลำดับ

Maurice-Bourgoin และคณะ (2000) ศึกษาปริมาณปรอทในตัวอย่างปลาและน้ำที่เก็บจากทางตอนบนของกลุ่มน้ำ Beni ในช่วงฤดูแล้ง พบว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแม่น้ำ Zongo มีปริมาณปรอทรวมทั้งหมด 2.24 – 2.57 ng/l ตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแม่น้ำ Madeira ที่เมือง Porto Velho มีปริมาณปรอทรวมทั้งหมด 7.00 ng/l และตัวอย่างน้ำที่เก็บจากบริเวณที่แม่น้ำ Madeira บรรจบกับแม่น้ำอเมซอน มีปริมาณปรอทรวมทั้งหมด 9.49-10.86 ng/l สำหรับตัวอย่างปลาที่เก็บจากแม่น้ำ Beni พบว่ามีปริมาณปรอทในปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous fish) และปลาที่หากินในโคลน (Mud-feeding fish) 0.02-0.19  $\mu\text{g}$  Hg/g (wet wt.) และพบปริมาณปรอทในปลาชนิด piscivorous 0.33-2.30  $\mu\text{g}$  Hg/g (wet wt.) โดยพบว่ามีปริมาณปรอทที่สะสมในปลากินเนื้อที่อยู่ในรูปปรอทอินทรีย์ (Methylmercury) อยู่ 73-98% ของปรอทรวมทั้งหมดที่ถูกตรวจพบ

สำหรับในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง หอยแมลงภู่และหอยนางรมจะรับปรอทจากน้ำทะเลได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของปรอทและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปรอทส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในเปลือกหอยและกระดองปู (Magos, 1990)

ASEAN-Canada CPMS-II (1999) ได้ศึกษาความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบในสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและพืชในบริเวณ ASEAN ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบในสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังและพืชในบริเวณ ASEAN

Species	Mercury Concentration ( $\mu\text{g/g}$ )	Location	Reference
<b>FISH</b>			
Black marlin	7.3 (mean) 16.5 (highest)	Australia	GESAMP, 1990
Fish (50 species) muscle	0.002 - 1.94 W	Australia (Great Barrier Reef)	Denton and Burdon-Jones, 1986
Fish (6 species)	0.125 - 0.659 D	Bangladesh (Bay of Bengal)	Sharif et al., 1993
Fish	0.4 - 30	Japan (Minamata Bay)	Irukayama, 1977; cited in Magos, 1990
Fish (8 species)	0.03 - 0.44 W	Papua New Guinea (Bougainville Island)	Powell et al., 1981
Fish: muscle liver	0.01 - 0.58 0.025 - 1.2	Malaysia (Malacca Straits)	Jothy et al., 1983; cited in Shazili and Niksan, 1988
Fish: muscle liver heart	0.237 - 3.265 3.717 - 7.50 0.948 - 16.345	Malaysia (State of Penang)	Sivalingam, 1983; cited in Shazili and Niksan, 1988
Fish	0.001 - 0.103 W	South China Sea (220-340 km offshore Sarawak, East Malaysia)	Shazili and Niksan, 1988
Fermented fish	<0.02 - 0.09	Philippines	Mabesa et al., 1985
Fish (3 species)	0.034 - 0.05	Philippines	Del Callar et al., 1975
Fish	0.02 - 1.05	Philippines	Kapauan et al., 1982
Fish	<0.02	Philippines	Mabesa et al., 1985
Fish (17 species) muscle	0.29 (0.05 - 1.39) D	Philippines (Manila Bay)	Prudente et al., 1997
Mullet <i>Mugil dussumerii</i>	0.01 - 0.25 D	Gulf of Thailand (4 river mouths)	Menasveta and Cheevaparanapivat, 1981
Fish	0 - 650 D	Thailand	Reish et al., 1980
<b>INVERTEBRATES</b>			
Shellfish	1.3 - 14.0	Japan (Minamata Bay)	Irukayama, 1977; cited in Magos, 1990

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Oysters <i>Crassostrea</i> sp.	0.004 - 0.058 D	Indonesia (Jakarta Bay)	Yulianda and Nurjaya, 1994
Crustacea	0.005 - 0.182 W	Malaysia (South China Sea 220- 340 km offshore Sarawak, East Malaysia)	Shazili and Niksan, 1988
Mollusc	0.001 - 0.010 W	Malaysia (South China Sea 220- 340 km offshore Sarawak, East Malaysia)	Shazili and Niksan, 1988
Fermented shellfish	<0.02 - 0.09	Philippines	Mabesa et al., 1985
Cephalopods	6 - 27	Thailand	Reish et al., 1980
Decapods	2 - 16	Thailand	Reish et al., 1980
Green mussel <i>Perna viridis</i>	0.01 - 0.29 D	Gulf of Thailand (4 river mouths)	Menasveta and Cheevaparanapiwat, 1981
<b>PLANTS</b>			
Algae (3 species)	0.022 - 0.027	Philippines	Relon, 1990
Chlorophyta (6 species)	ND - 0.25	Malaysia	Sivalingam, 1980
Cyanophyta (1 species)	ND	Malaysia	Sivalingam, 1980
Phaeophyta (5 species)	ND - 1.025	Malaysia	Sivalingam, 1980
Rhodophyta (14 species)	ND - 0.35	Malaysia	Sivalingam, 1980

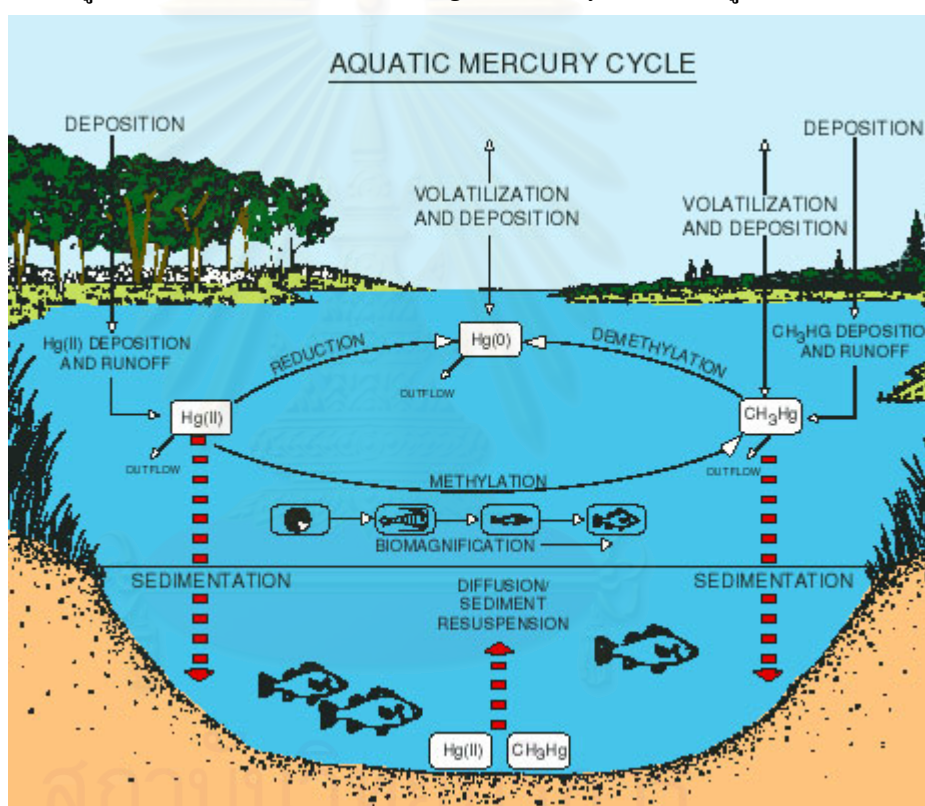
D = dry weight; W = wet weight

ND = not detected (detection limit not specified)

## 2.5 พฤติกรรมของปรอทในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

ปรอทส่วนใหญ่ในบรรยากาศจะอยู่ในรูปของไอปรอท (Mercury vapour) (Piotrowski และ Coleman, 1980) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปปรอทอนินทรีย์ เช่น  $Hg^{2+}$  จะตกสะสมลงสู่ระบบนิเวศในน้ำโดยการตกของฝน ปรอทที่อยู่ในระบบนิเวศในน้ำจะอยู่ในรูปของปรอทแฉวงลอย

(Particulate mercury) หรืออาจตกสะสมอยู่ในตะกอน (Sediment) นอกจากนี้ปรอทยังสามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตในทะเล และกลับเข้าสู่บรรยากาศได้โดยการระเหย (Volatilization) ปรอทอนินทรีย์ที่อยู่ในรูป  $Hg^{2+}$  ในน้ำจะถูกแบคทีเรียชนิดที่ย่อยสลายซัลเฟตเป็นอาหาร นำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมแล้วปล่อย Methylmercury ( $CH_3Hg$ ) ออกมาในรูปปรอทอนินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูงและสามารถสะสมในเนื้อเยื่อโปรตีนของสิ่งมีชีวิตเป็นเวลานานและทำให้ปรอทเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร เมื่อ Methylmercury เข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตจะมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบเอนไซม์ การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Alters genetic) และทำลายระบบประสาท ความเป็นพิษของ Methylmercury จะลดลงเมื่อถูกรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดดสลายพันธะไปเป็น  $Hg^{2+}$  หรือ  $Hg(0)$  แล้วกลับเข้าสู่บรรยากาศอีกครั้ง (U.S. Geological Survey, 2000) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรของปรอทในระบบนิเวศแหล่งน้ำ

(ที่มา : U.S. Geological Survey, 2000)

## 2.6 ความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมในทะเล

ปรอทมีความสัมพันธ์กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายชนิด เช่น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DOC) และค่า pH มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณปรอทในน้ำเป็นอย่างมาก จากการศึกษา

พบว่า ตัวอย่างปลาชนิดเดียวกันที่เก็บจากแหล่งเดียวกัน เมื่อน้ำมีค่า DOC หรือ ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณปรอทที่สะสมในปลาสูงขึ้น (Drabbenhoft และ Rickert, 2000)

ปริมาณการสะสมของ methyl mercury ในสัตว์น้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราเมตาโบลิซึมของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดินตะกอนใต้แหล่งน้ำ เพราะเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ inorganic mercury ไปเป็น methyl mercury ดังนั้นอุณหภูมิและคุณสมบัติทางเคมีของแหล่งน้ำซึ่งมีอิทธิพลต่ออัตราเมตาโบลิซึมของแบคทีเรีย Cheney และคณะ (2001) ได้รวบรวมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการสะสม methyl mercury ในสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำด้วย ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณ methyl mercury ในแหล่งน้ำไว้ดังนี้

#### 2.6.1 อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กิจกรรมของแบคทีเรียจะเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ปริมาณของ methyl mercury ในน้ำเพิ่มขึ้น

#### 2.6.2 ปริมาณสารอินทรีย์

แหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากจะทำให้กิจกรรมของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นและทำให้ปริมาณของ methyl mercury ในน้ำเพิ่มขึ้น

#### 2.6.3 ปริมาณซัลเฟต

เนื่องจากแบคทีเรียในดินตะกอนใช้ซัลเฟตในกระบวนการเมตาโบลิซึม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณซัลเฟตจะกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมการผลิต methyl mercury มากขึ้นด้วย การเกิดฝนกรดจึงมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มปริมาณของ methyl mercury ด้วย

#### 2.6.4 ความเป็นกรดต่าง

การเพิ่มความเป็นกรดในน้ำจะทำให้ inorganic mercury ละลายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งทำให้แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิต methyl mercury ได้ ความสามารถในการเป็นตัวบัฟเฟอร์ของดินตะกอนและหินชั้นล่าง จึงมีผลกระทบต่อความเป็นกรดต่างและปริมาณการสะสมของ methyl mercury ในสัตว์น้ำ

Suns และคณะ (1980) พบว่าปลาที่อยู่ในน้ำที่มี pH น้อยกว่า 6.0 มักจะมีค่า total mercury ในเนื้อเยื่อมากกว่า 1.0 ug/g wet weight ซึ่งมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในกรณีนี้คือ

- ปฏิกิริยา methylation ของแบคทีเรียจะเกิดได้ดีที่ pH ต่ำ โดยมีงานวิจัยที่สนับสนุนคือ Ramlal และคณะ (1985) และ Steffan and Winfrey (1984) พบว่าในแหล่งน้ำที่มี pH ต่ำจะทำให้อัตรา methylation ของแบคทีเรียในดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

- ในน้ำที่มี pH ต่ำจะมี mono-methyl mercury มากกว่า dimethyl mercury นอกจากนี้ในการวัดสัดส่วนของปรอทในดินและน้ำจะพบว่าหากดินมีค่า pH ลดลง 1 หน่วย (sandy sediment) หรือ 2 หน่วย (organic sediment) จะทำให้ปริมาณ methyl mercury ในน้ำเพิ่มขึ้น 2 เท่า ในขณะที่ปริมาณ methyl mercury ของระบบยังไม่เปลี่ยนแปลง

#### 2.6.5 ปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (DOC)

DOC จะเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของปรอทและเพิ่มปริมาณการส่งออกของ methyl mercury จากกลุ่มน้ำ นอกจากนี้ DOC ยังทำให้การนำ methyl mercury ไปใช้โดย phytoplankton ในน้ำลดลงด้วย

Shanley และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและ Organic Carbon ในแม่น้ำ Sleeper, Vermont ในระหว่างช่วงหิมะละลาย โดยใช้วิธี Cold Vapor atomic Fluorescence Spectrometry พบว่ามีปริมาณ Dissolved Mercury (HgD) 0.3-2.0 ng/L โดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Dissolved Organic Carbon (DOC) และมีปริมาณ Particulate Mercury (HgP) 0.3-11.5 ng/L โดยเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Particulate Organic Carbon (POC)

นอกจากความสัมพันธ์ของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ แล้ว ยังพบความสัมพันธ์ของปรอทกับสารหนูด้วย โดย Hirner และคณะ (1998) ทำการวิเคราะห์โลหะอินทรีย์ที่ระเหยง่ายซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากเปลือกโลกโดยใช้ Low temperature gas chromatography coupled on-line with plasma mass spectrometry (LTGC/ICP MS) พบว่ามี Volatile species ของ As, Sb, Sr และ I ในแก๊สที่อยู่เหนือน้ำพุร้อนใน British Columbia ประเทศแคนาดา และพบ Methylated species ของ Hg, Ge, As, Sb และ Te ในบ่อน้ำร้อนที่เมือง Ruapehu, Waimangu, Waioapu และ Tokaanu บนเกาะ North Island ประเทศนิวซีแลนด์

AmonooNeiaer และคณะ (1996) ศึกษาการกระจายของปรอทและสารหนูในตัวอย่างดินและพืชที่เก็บจากเมือง Obuasi ซึ่งมีการทำเหมืองแร่ทองคำในประเทศกานา โดยมีสถานีเก็บตัวอย่าง 14 จุด พบว่า มีความเข้มข้นของสารหนูและปรอทในดินชั้นบนโดยเฉลี่ย 12.92 +/- 17.48 mg/kg และ 0.93 +/- 0.58 mg/kg ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของสารหนูและปรอทในตัวอย่างพืชโดยเฉลี่ย 9.05 +/- 17.50 mg/kg dry weight และ 1.85 +/- 2.04 mg/kg dry weight ตามลำดับ สัดส่วนความเข้มข้นของปรอทและสารหนูระหว่างตัวอย่างพืชกับดินมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีการปนเปื้อนปรอทและสารหนูจากการทำเหมืองแร่ทองคำ

## 2.7 ความเป็นพิษของปรอท

### 2.7.1 ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

ความเป็นพิษของปรอทต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องของหลายอย่างเช่น อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และความกระด้างของน้ำ (IPCS/WHO, 1989) ปรอทในรูปที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตคือ Methyl mercury ซึ่งเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตโดยทางการกินอาหารเป็นส่วนใหญ่ และเนื่องจาก methyl mercury ละลายได้ดีในไขมันจึงสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ภายในเซลล์และเคลื่อนที่ไปยังเนื้อเยื่อได้ทั่วร่างกาย และยังสามารถรวมตัวได้ดีกับ functional group ของโปรตีน ในเนื้อเยื่อปลา (U.S. EPA, 2001) สำหรับความเป็นพิษของปรอทอนินทรีย์ต่อปลา Sharp และ Neff (1980) ได้ศึกษาความเป็นพิษของปรอทในปลาทะเลเขตร้อนที่อาศัยอยู่ในน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส และมีความเค็มสูงกว่า 15 ppt พบว่าปลา killifish (*Fundulus heteroclitus*) มีค่า LC50 96 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 67.37 – 650 ไมโครกรัมต่อลิตร ปรอท (ตารางความเป็นพิษของปรอทอนินทรีย์ที่มีต่อปลาแสดงในภาคผนวก ก)

### 2.7.2 ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ปรอทสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 3 ทาง เช่นเดียวกับสารพิษชนิดอื่นๆ คือ ทางระบบหายใจโดยสูดเอาผงหรือไอปรอทเข้าสู่ปอดเนื่องจากปรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย การรับประทานเข้าไปมักเกิดจากอุบัติเหตุปะปนกับอาหารหรือน้ำดื่มและทางผิวหนังโดยการดูดซึมไอระเหยหรือฝุ่นละอองของปรอททำให้ผิวหนังระคายเคืองเกิดโรคผิวหนังได้

ความเป็นพิษของปรอทต่อร่างกายมนุษย์มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับทางที่พิษเข้าสู่ร่างกาย เช่น ทางผิวหนัง ทางระบบหายใจหรือทางระบบย่อยอาหาร ปริมาณที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายและชนิดของสารปรอทที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายและอวัยวะส่วนใดของร่างกายที่ได้รับพิษของปรอทในรูปเมทิลหรืออัลคิล เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีพิษมากที่สุด

การเกิดพิษจากสารปรอทมีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง พิษชนิดเฉียบพลันมักเกิดจากอุบัติเหตุโดยการกลืนกินสารปรอทเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งปริมาณปกติที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายและทำให้คนตายได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 0.02 กรัม อาการที่เกิดจากการกลืนกินปรอท คือ

- อาเจียน ปากพอง แดงไหม้ อักเสบและเนื้อเยื่ออาจหลุดออกมาเป็นชิ้นๆ
- เลือดออก ปวดท้องอย่างแรง เนื่องจากปรอทกั้ระบบทางเดินอาหาร
- มีอาการท้องร่วงอย่างแรง อุจจาระเป็นเลือด
- เป็นลม สลบเนื่องจากร่างกายเสียเลือดมาก
- เมื่อเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิต ปรอทจะไปทำลายไต ทำให้ปัสสาวะไม่ออกหรือปัสสาวะเป็นเลือดและตายในที่สุด



พิษชนิดเรื้อรังเมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายจะไปทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลางได้แก่ สมอง และไขสันหลัง ทำให้เสียการควบคุมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของแขน ขา การพูด และยังทำให้ระบบประสาทรับความรู้สึกเสียไป เช่น การได้ยิน การมองเห็น ซึ่งอันตรายเหล่านี้ เมื่อเป็นแล้วไม่สามารถรักษาให้กลับดีดังเดิมได้ อาการที่เป็นพิษมากเกิดจากการหายใจ ปอดอักเสบ มีอาการเจ็บหน้าอก มีไข้ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออกและตายได้

ตัวอย่างเหตุการณ์พิษจากปรอท เช่น โรคมินามาตะ ในปี ค.ศ. 1959 เป็นภาวะมลพิษที่รุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งชื่อ โรคมินามาตะ มาจากชื่อของหมู่บ้านเล็กๆบนเกาะทางตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น ชาวบ้านส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นชาวประมง แต่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งของโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี และสารเคมีชื่อว่า บริษัทนิปปอนซิมโตะ คนในหมู่บ้านส่วนหนึ่งทำงานอยู่ในโรงงานนี้ ต่อมาเกิดโรคประหลาดขึ้นกับคนในหมู่บ้านแห่งนี้จนกลายเป็นข่าวดังไปทั่วโลก เมื่อมีผู้ป่วยมาพบแพทย์ด้วยอาการเดินเซ ไม่สามารถยืนได้ด้วยตัวเอง ซาตามแขนขา หูตึง มองเห็นภาพแคบลง พูดไม่ชัด มือสั่น กลืนอาหารลำบาก บางครั้งจะแสดงอาการคลื่นคลั่ง และมักจะส่งเสียงดังตะโกนคล้ายคนบ้าตลอดเวลา มีอาการนอนไม่หลับ ชักบ่อยๆ แขนขาบิดเบี้ยวคล้ายคนพิการ เพราะกล้ามเนื้อส่วนต่างๆของร่างกายทำงานไม่ประสานกัน อาการทุกอย่างจะรุนแรงขึ้นและเสียชีวิตในเวลาต่อมา ซึ่งแพทย์ไม่สามารถวินิจฉัยได้ว่าเป็นโรคอะไร และจากการสังเกตเห็นความผิดปกติของสัตว์บริเวณนั้น คือ ปลาว่ายน้ำแบบนอนหงายท้องขึ้นและว่ายน้ำช้าลงจนมารอดจับได้ด้วยมือเปล่า นกทะเลว่ายน้ำจะบินดิ่งหัวตกทะเล แมวซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงในบ้านก็มีอาการเซ น้ำลายไหล ชัก และตายในเวลาต่อมาจึงเรียกอาการดังกล่าวว่า "โรคแมวเดิน" ดังนั้นจึงสันนิษฐานกันว่าโรคนี้น่าจะเกิดจากสารเคมี ที่สะสมอยู่ในสัตว์ทะเล และเมื่อคนรับประทานอาหารทะเลเข้าไป ก็ส่งผลกระทบต่อร่างกาย หลังจากได้มีการทดลองกับสัตว์และคนผลที่ได้สามารถสรุปได้ตามที่สันนิษฐานไว้ ในเวลาต่อมาได้มีการนำดินจากบริเวณที่ทิ้งน้ำเสียของโรงงานมาตรวจ พบว่ามีสารปรอทอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งตรงกับการตรวจพบสารปรอทในอวัยวะส่วนต่างๆ ของผู้ป่วยที่ตายจึงสามารถสรุปได้ว่า โรคมินามาตะ เกิดจากผู้ป่วยได้รับสารปรอทอินทรีย์ที่เกิดจากโรงงานปล่อยน้ำเสียที่มีสารปรอทปนเปื้อนดังที่กล่าวมา โรคนี้นี้ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ เนื่องจากสารปรอทได้เข้าทำลายระบบประสาท และสมอง นอกจากนี้ยังมีผลต่อทารกที่อยู่ในครรภ์มารดา กล่าวคือ มารดาที่รับประทานอาหารทะเลที่ปนเปื้อนสารปรอทเข้าไปแล้ว สารปรอทจะผ่านไปทางรกเข้าสู่สมองเด็ก ทำให้เด็กที่เกิดมามีอาการพิการทางสมองตั้งแต่เกิด เด็กจะมีอาการปัญญาอ่อนรัฐบาลญี่ปุ่นได้นำประสบการณ์จากโรคมินามาตะมาเป็นพื้นฐานในการเปลี่ยนแปลงนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ทั้งนี้ความสูญเสียอย่างมหาศาลที่เกิดขึ้น เพราะการพัฒนาประเทศได้มุ่งเน้นการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมทำให้ไม่เพียงสูญเสียชีวิตมนุษย์แต่ยังทำลายสิ่งแวดล้อมด้วย (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2543)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 สถานีเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล สัตว์น้ำเศรษฐกิจและตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช แบ่งเป็นการเก็บในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้ปริมาณน้ำฝนเป็นเกณฑ์บ่งชี้ฤดู ดังนี้

- ฤดูแล้ง อยู่ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน มีอากาศร้อนตลอดฤดูกาลและช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม เป็นช่วงที่รับอิทธิพลมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แต่ เนื่องจากมีเทือกเขานครศรีธรรมราชที่สูงชัน เป็นแนวกั้นทิศทางลม จึงมีฝนตกไม่มากนัก ดังนั้น บริเวณเก็บตัวอย่างในกลุ่มน้ำปากพนังซึ่งอยู่ในพื้นที่ทางตะวันออกของเทือกเขา จึงจัดอยู่ในช่วงฤดูแล้ง
- ฤดูฝน อยู่ระหว่างเดือน พฤศจิกายน - มกราคม เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือช่วงนี้มีฝนตกหนาแน่น เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ด้านรับลม ทำให้เกิดอุทกภัย เป็นประจำทุกปี

การเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนสิงหาคม 2544 (ฤดูแล้ง) เลือกสถานีเก็บตัวอย่างในทะเล 9 สถานี และเลือกสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำปากพนัง คลองบางจาก คลองปากนครและคลองปากพญา 10 สถานี และเดือนธันวาคม 2545 (ฤดูฝน) เลือกสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนในแม่น้ำปากพนัง คลองบางจาก คลองปากนครและคลองปากพญา 14 สถานี โดยมีจำนวนสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด 33 สถานี ดังนี้

##### 3.1.1. สถานีเก็บตัวอย่างในทะเล 9 สถานี (PPN1-PPN9) (รูปที่ 3.1) แบ่งเป็น

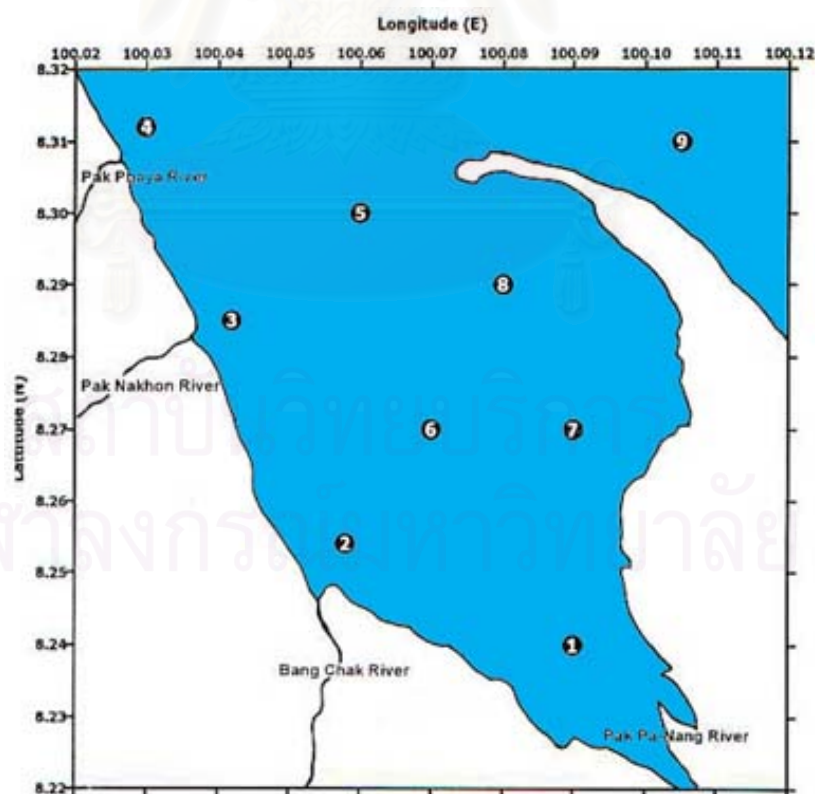
- ปากแม่น้ำปากพนัง จำนวน 1 สถานี
- ปากคลองบางจาก จำนวน 1 สถานี
- ปากคลองปากนคร จำนวน 1 สถานี
- ปากคลองปากพญา จำนวน 1 สถานี
- บริเวณกลางอ่าวปากพนัง จำนวน 4 สถานี
- บริเวณทะเลที่อยู่นอกอ่าวปากพนัง จำนวน 1 สถานี

3.1.2. สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จำนวน 10 สถานี (รูปที่ 3.2) แบ่งเป็น

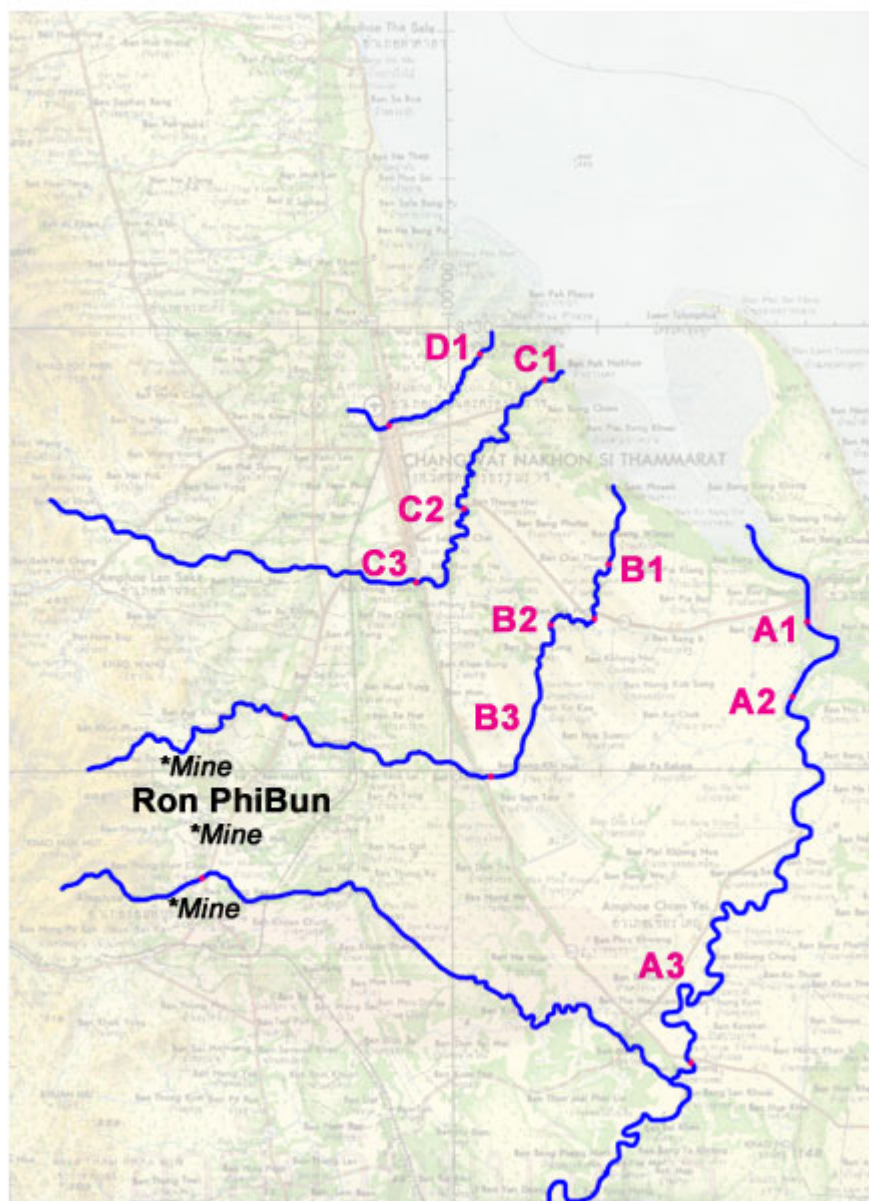
- แม่น้ำปากพนัง จำนวน 3 สถานี (A1-A3)
- คลองบางจาก จำนวน 3 สถานี (B1-B3)
- คลองปากนคร จำนวน 3 สถานี (C1-C3)
- คลองปากพญา จำนวน 1 สถานี (D1)

3.1.3 สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ในช่วงฤดูฝน จำนวน 14 สถานี (รูปที่ 3.3) แบ่งเป็น

- แม่น้ำปากพนัง จำนวน 4 สถานี (A1-A4)
- คลองบางจาก จำนวน 5 สถานี (B1-B5)
- คลองปากนคร จำนวน 3 สถานี (C1-C3)
- คลองปากพญา จำนวน 2 สถานี (D1-D2)



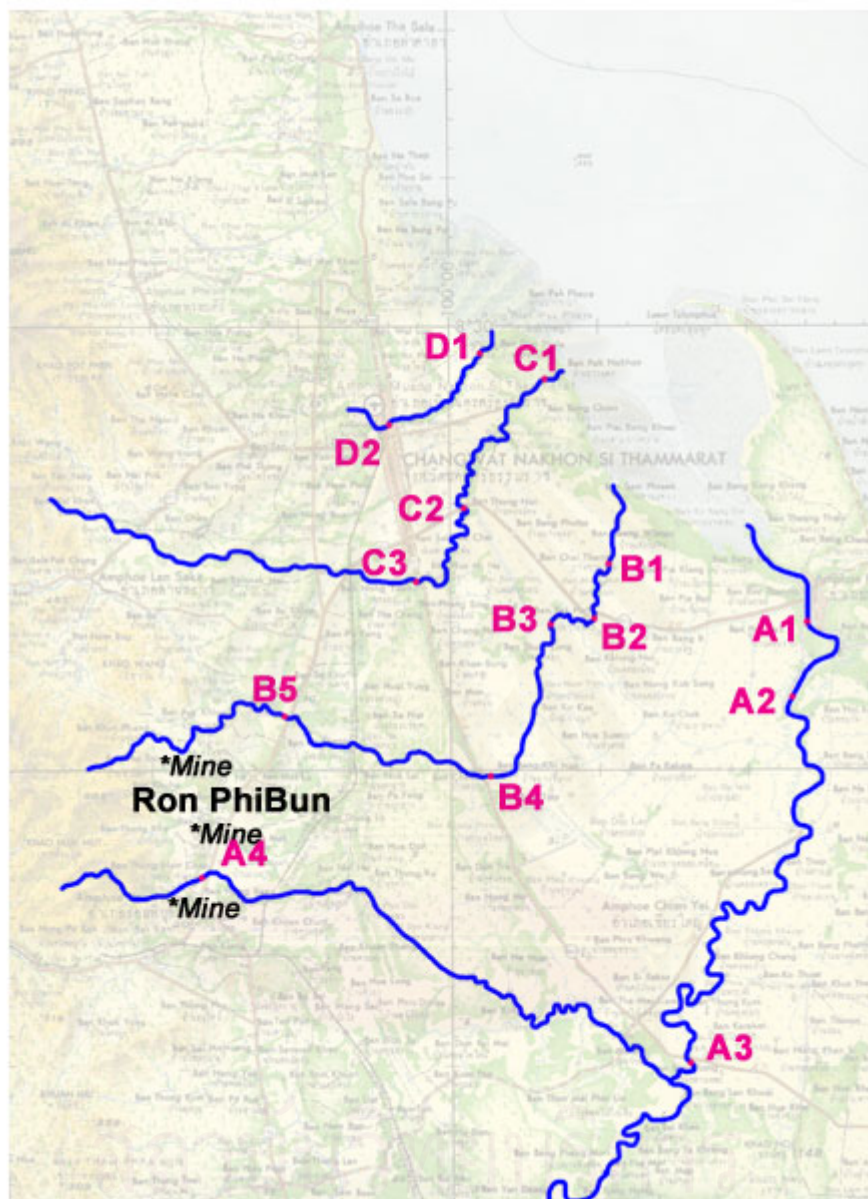
รูปที่ 3.1 สถานีเก็บตัวอย่างในทะเล 9 สถานี (สถานีที่ 1-9 ในช่วงฤดูแล้ง และสถานีที่ 1-8 ในช่วงฤดูฝน)



รูปที่ 3.2 สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

ในเดือนมีนาคม 2545 (ฤดูแล้ง)

หมายเหตุ: \* Mine = เหมืองแร่ดีบุก



รูปที่ 3.3 สถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง  
ในเดือนธันวาคม 2545 (ฤดูฝน)

หมายเหตุ: \* Mine =เหมืองแร่ดีบุก

### 3.2 การเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

#### 3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

- ขวด Teflon ขนาด 500 ml. และ 250 ml. เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ Mercury
- ขวด PE ขนาด 100 ml. เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ TOC
- กล่องพลาสติก สำหรับเก็บตัวอย่างตะกอนดิน
- ถัง PE สำหรับเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจ

ทำความสะอาดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างตามวิธีการของ Quemerais และ Cossa (1997) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

#### 3.2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล สัตว์น้ำเศรษฐกิจและตะกอน

- เก็บตัวอย่างน้ำด้วยขวด Teflon และขวด PE ที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 เมตร จากผิวน้ำ สถานีละ 3 ขวด โดยใช้เรือเก็บตัวอย่างในอ่าว และใช้รถตู้เก็บตัวอย่างตามแม่น้ำ
- เก็บตัวอย่างตะกอนดิน โดยใช้ Grab จากผิวน้ำดิน เลือกตัวอย่างดินตะกอนในส่วนที่ไม่ได้สัมผัสผิวโลหะ ใส่กล่องพลาสติก สถานีละ 2 กล่อง
- เก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจ โดยเก็บตัวอย่างปลา ปู และหอยที่หาได้ในบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่าง ให้ได้ตัวอย่างปลาทั้งชนิดกินเนื้อและกินพืช
- บันทึกข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความลึก อุณหภูมิ ค่า DO ความเค็ม และความเป็นกรดต่าง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)
- เก็บรักษาตัวอย่างน้ำ ดินตะกอน และสัตว์น้ำ ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และนำกลับมาที่ห้องทดลอง

(ดูภาพถ่ายการเก็บตัวอย่างภาคสนามได้ในภาคผนวก ง)

### 3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

#### 3.3.1 ตัวอย่างน้ำ

- ตัวอย่างน้ำจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหา reactive mercury (Hg-R) และ , total mercury (Hg-T) โดยใช้เครื่อง Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) ตามวิธีการของ Quemerais และ Cossa (1997)
- ในการวิเคราะห์หา Hg-R ในตัวอย่างน้ำ จะนำมาเติม  $\text{SnCl}_2$  เพื่อรีดิวซ์ Hg-R ในน้ำไปเป็นไอปรอท (Hg-0) จากนั้นไอปรอทจะถูก Purge โดยก๊าซ Ar 99.999% ไปสู่ gold-coated glass bead traps เพื่อให้ความร้อนนำพาไอปรอทไปยัง gold trap ที่สองและเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณปรอท (Tekran CVAFS Mercury Detector 2500)
- ในการวิเคราะห์หา Hg-T ในตัวอย่างน้ำจะต้องเติม BrCl เพื่อออกซิไดซ์ปรอทในทุก form ให้อยู่ในรูป Hg-R หลังจากนั้นจะทำ BrCl ให้เป็นกลางโดยเติม Hydroxylamine ลงไปแล้วนำมาเติม  $\text{SnCl}_2$  เพื่อรีดิวซ์ Hg-R ในน้ำไปเป็นไอปรอท (Hg-0) จากนั้นทำการวัดหาปริมาณปรอทโดยใช้วิธีเดียวกับการหา Hg-R ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

#### 3.3.2 ตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจ

สัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จะนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอททั้งหมดได้แก่ ปลาเกะ (Eleutheronema tetradactylum) ปลาทู (*Rastrelliger brachysoma*) ปลาดาบ (*Trichiurus lepturus*) กลุ่มปลาหลังเขียว (family Clupeidae) ปลาคูททะเล (*Plotosus canius*) กลุ่มปลาจวด (family Sciaenidae) ปูม้า (*Portunus pelagicus*) และ หอยแครง (*Anadara granosa*) โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- เก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่ถูกจับได้ในบริเวณอ่าวปากพนังโดย  
ชื่อจากชาวประมงในบริเวณอ่าวและริมฝั่งทะเล แบ่งตัวอย่างสัตว์น้ำ  
ที่จะใช้วิเคราะห์มา 2-3 ตัว ต่อ 1 ชนิด
- นำตัวอย่างสัตว์น้ำที่ได้ 0.2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน Teflon  
bomb เติม  $V_2O_5$  0.04 กรัม แล้วเติมกรด  $HNO_3$  เข้มข้น 5 มิลลิลิตร  
ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใน Oven  
เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ทิ้งตัวอย่างให้เย็นแล้วถ่ายของเหลวที่ได้ใส่ในขวด duran ฝาติน้ำเงิน  
ขนาด 60 มิลลิลิตร เติม 5%  $K_2CrO_7$  3 มิลลิลิตรและปรับปริมาตร  
ของเหลวให้ได้ 40 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้เครื่อง Cold Vapor  
Atomic Absorption Spectrometry ตามวิธีการของ Quemerais  
และ Cossa (1997)

### 3.3.3 ตัวอย่างตะกอนดิน

- นำตัวอย่างดินตะกอนไปทำการ Freeze Dried จากนั้นนำมาบดและ  
ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 63 ไมโครเมตร ชั่งตัวอย่างดินตะกอน 0.050  
กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ใน Teflon bomb เติม Aquaregia ( $HNO_3$  :  
 $HCl$  , 9:1 v/v) 5 มิลลิลิตร ปิดฝาภาชนะให้สนิท นำไปอบที่อุณหภูมิ  
90 องศาเซลเซียส ใน Oven เป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง
- ทิ้งตัวอย่างให้เย็นแล้วถ่ายของเหลวที่ได้ใส่ในขวด duran ฝาติน้ำเงิน  
ขนาด 60 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรของเหลวให้ได้ 25 มิลลิลิตร  
ด้วยน้ำกลั่นแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้เครื่อง  
Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry ตามวิธีการของ  
Quemerais และ Cossa (1997)



### 3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เก็บตัวอย่างเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, ความเค็ม, ค่า pH ของน้ำ, ปริมาณสารแขวนลอย (SPM), ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ (TOC) และปริมาณ Organic matter โดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อหาค่า p-value



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการกระจายของปรอท ในบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งได้ทำการศึกษา คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างน้ำและตะกอน ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำ ตะกอน และสัตว์น้ำเศรษฐกิจ และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอท กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ในอ่าวปากพนัง และแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการศึกษาคือดังนี้

4.1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในอ่าวปากพนังและแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

การศึกษาค้นสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ในสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล และตะกอน ในอ่าวปากพนังจำนวน 9 สถานี ในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังจำนวน 10 สถานี จากการตรวจวัด ความลึก ความขุ่น อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม pH ของน้ำทะเล ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (SPM) ปริมาณ total organic carbon (TOC) ในน้ำทะเล และปริมาณ organic matter ในดินตะกอน ได้ผลดังนี้

#### 4.1.1 ความลึก

การตรวจวัดความลึกของแหล่งน้ำในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Depth meter พบว่า ความลึกของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.5 – 3.8 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 เมตร ความลึกของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.6 – 6.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7 เมตร ค่าความลึกเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.2 ความขุ่น

การตรวจวัดความขุ่นของแหล่งน้ำในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยใช้ secchi disc พบว่า ความขุ่นของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.1 – 1.0 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 เมตร ความขุ่นของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.5 – 2.0 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8 เมตร ค่าความขุ่นเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.3 อุณหภูมิ

การตรวจวัดอุณหภูมิของแหล่งน้ำในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยใช้ YSI 30 Salinity/Conductivity/Temperature Instrument พบว่า อุณหภูมิของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 29.3 - 31.4 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 29.7 - 33.9 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31.5 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.4 ความเค็ม

การตรวจวัดความเค็มของแหล่งน้ำในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยใช้ YSI 30 Salinity/Conductivity/Temperature Instrument พบว่า ความเค็มของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 23.6 - 31.4 p.s.u. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.8 p.s.u. ความเค็มของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.0 - 36.0 p.s.u. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.2 p.s.u. ค่าความเค็มเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ของแหล่งน้ำในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยใช้ pH Meter พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 7.6 - 8.4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.0 ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 5.0 - 5.6 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.6 ปริมาณสารแขวนลอย ( suspended particulate matter, SPM)

ปริมาณสารแขวนลอยในของน้ำบริเวณอ่าวปากพนังมีค่าระหว่าง 7.0-287.2 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 102.8 mg/l และปริมาณสารแขวนลอยในของน้ำบริเวณอ่าวปากพนังมีค่าระหว่าง 0.4 - 173.2 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.9 mg/l ค่าปริมาณสารแขวนลอยเฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.7 ปริมาณ total organic carbon (TOC) ในน้ำทะเล

การตรวจวัดปริมาณ Total organic carbon ของแหล่งน้ำในแต่ละสถานี เก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Phoenix 8000 TOC analyzer พบว่า ปริมาณ Total organic carbon ของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.17 – 1.55 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 ว่า ปริมาณ Total organic carbon ของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 25.79 – 56.07 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.99 ค่า Total organic carbon เฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.8 ปริมาณ organic matter ในดินตะกอน

การตรวจวัดปริมาณ organic matter ในดินตะกอน ด้วยวิธี wet-oxidation ของ Loring และ Rantala (1992) พบว่า ปริมาณ organic matter ของน้ำในอ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 0.98 – 2.21 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.53 ปริมาณ organic matter ของน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีค่าระหว่าง 1.25 – 4.27 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.33 ค่า organic matter เฉลี่ยที่พบในสองบริเวณนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในอ่าวปากพนังและแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ตรวจวัดในแต่ละสถานีได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในอ่าวปากพนัง

Station	Depth. (m.)	Turbidity (m.)	Temperature (°C)	Salinity (p.s.u.)	pH	SPM (mg/l)	TOC (ppm)	% OM (in sediment)
PPN 1*	3.8	1.00	29.6	24.5	7.99	15.6	0.91	1.65
PPN 2*	0.5		31.4	23.7	7.60	110.4	1.55	1.49
PPN 3*	3.8	0.25	30.0	26.2	8.17	36.2	0.91	2.21
PPN 4*	0.5	0.10	30.1	27.9	7.82	35.2	0.51	1.85
PPN 5	1.5	0.50	30.0	29.9	8.12	154.4	0.42	1.34
PPN 6	1.2	0.50	29.5	25.8	7.98	41.2	0.59	1.55
PPN 7	0.5	0.25	31.2	23.6	8.40	238.2	1.30	1.13
PPN 8	0.5	0.30	30.7	28.6	8.21	287.2	0.91	0.98
PPN 9	3.8	1.00	29.3	31.4	8.07	7	0.17	1.60
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.8 ± 1.5</b>	<b>0.5 ± 0.3</b>	<b>30.2 ± 0.7</b>	<b>26.8 ± 2.8</b>	<b>8.0 ± 0.2</b>	<b>102.8 ± 102.9</b>	<b>0.8 ± 0.4</b>	<b>1.5 ± 0.4</b>

หมายเหตุ : เครื่องหมาย \* แสดงสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนังที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำและคลอง

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำและตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

Station	Depth. (m.)	Turbidity (m.)	Temperature (C)	Salinity (p.s.u.)	pH	SPM (mg/l)	TOC (ppm)	% OM (in sediment)
A1*	0.8	0.5	32.4	36.0	5.01	10.40	32.79	3.30
A2	2.0	0.7	32.9	0.0	4.99	0.40	36.89	4.27
A3	6.5	2.0	30.7	0.0	5.56	1.60	56.07	1.62
B1*	1.3	1.0	30.6	10.0	5.15	15.20	27.56	1.25
B2	1.4	0.5	29.7	4.0	5.48	58.40	33.05	1.57
B3	0.6	0.5	29.7	0.0	5.55	16.00	25.79	1.93
C1*	0.9	1.0	31.4	26.0	5.56	173.20	28.96	2.25
C2	1.3	0.6	33.9	2.0	5.57	0.80	28.86	1.62
C3	1.1	0.5	32.1	0.0	5.37	34.40	26.14	3.61
D1*	1.0	0.5	31.2	14.0	5.57	99.20	33.77	1.88
เฉลี่ย	1.7 ± 1.7	0.8 ± 0.5	31.5 ± 1.4	9.2 ± 12.7	5.4 ± 0.2	40.9 ± 56.0	32.99 ± 8.9	2.33 ± 1.0

หมายเหตุ : เครื่องหมาย \* แสดงสถานีที่อยู่ด้านหน้าของเขื่อนและประตูกั้นน้ำเค็ม

จากข้อมูลจะเห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (TOC) และปริมาณ organic matter (O.M.) ที่พบในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนที่เก็บจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จะสูงกว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและปริมาณ organic matter ที่พบในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนที่เก็บจากในอ่าวปากพนังเนื่องจากบริเวณริมแม่น้ำและลำคลองเป็นที่ตั้งของชุมชน ซึ่งมีการปล่อยน้ำทิ้งจากบ้านเรือนลงสู่แหล่งน้ำทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและปริมาณ organic matter ในดิน สูงกว่าที่พบในอ่าวปากพนังอย่างเห็นได้ชัด

เนื่องจากขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำและดินตะกอน ได้มีการปิดเขื่อนปากพนังและประตูกั้นน้ำเพื่อกั้นน้ำเค็มจากอ่าวปากพนัง ทำให้ความเค็มของตัวอย่างน้ำที่พบในอ่าวปากพนังรวมทั้งตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแม่น้ำในสถานีที่อยู่ด้านหน้าเขื่อนและประตูกั้นน้ำ ได้แก่สถานี A1, B1, C1 และ D1 สูงกว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บจากแม่น้ำในสถานีที่อยู่ด้านหลังเขื่อนและประตูกั้นน้ำ

## 4.2. ความเข้มข้นของปรอทในอ่าวปากพนังและแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

### 4.2.1. ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำ

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำบริเวณอ่าวปากพนังและแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำ พบความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำของแต่ละพื้นที่ ดังนี้

#### ก. ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลบริเวณอ่าวปากพนัง

ในการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเล โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในอ่าวปากพนังเป็น 9 สถานี ตัวอย่างน้ำจะทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทในรูปของ Total mercury, Reactive mercury และ Non-reactive mercury พบว่ามีความเข้มข้นของ Total mercury 0.47 – 1.90 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 ng/l มีความเข้มข้นของ Reactive mercury 0.06 – 1.02 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 ng/l มีความเข้มข้นของ Non-reactive mercury 0.21 – 1.34 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ng/l มีความเข้มข้นของ Particulate mercury 1.05-9.28 ug/g dry weight มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64 ug/g dry weight ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลบริเวณอ่าวปากพนัง

Station	Reactive Hg (ng/l)	Total Hg (ng/l)	Non-reactive Hg (ng/l)	% Non-reactive Hg (%)	Particulate Hg (ug/g d.w.)
PPN1*	1.02	1.88	0.86	45.74	2.78
PPN2*	0.52	1.15	0.63	54.78	2.71
PPN3*	0.30	1.05	0.75	71.43	4.19
PPN4*	0.07	1.25	1.18	94.40	5.16
PPN5	0.38	1.01	0.63	62.38	1.77
PPN6	0.16	0.47	0.31	65.96	4.38
PPN7	0.51	1.44	0.93	64.58	1.4
PPN8	0.66	1.90	1.24	65.26	1.05
PPN9	0.06	0.72	0.66	91.67	9.28
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.41 ± 0.31</b>	<b>1.21 ± 0.48</b>	<b>0.80 ± 0.29</b>	<b>66.15 ± 15.78</b>	<b>3.64 ± 2.55</b>

หมายเหตุ : \* แสดงสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนังที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำและคลอง

### ข. ความเข้มข้นของปรอทในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

ในการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำเป็น 10 สถานี ตัวอย่างน้ำจะทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอทในรูปของ Total mercury, Reactive mercury และ Non-reactive mercury พบว่ามีความเข้มข้นของ Total mercury 0.33 – 4.07 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.91 ng/l มีความเข้มข้นของ Reactive mercury 0 – 0.36 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 ng/l มีความเข้มข้นของ Non-reactive mercury 0.29 – 4.06 ng/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 ng/l และมีความเข้มข้นของ Particulate mercury 2.14 – 5.76 ug/g dry weight มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 ug/g dry weight ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

ตัวอย่าง	ระยะจากปากแม่น้ำ (k.m.)	Reactive Hg (ng/l)	Total Hg (ng/l)	Non-reactive Hg (ng/l)	% Non-reactive Hg (%)	Particulate Hg (ug/g d.w.)
A1*	3	0.15	1.08	0.93	86.11	4.52
A2	7.7	0.00	0.59	0.59	100.00	5.73
A3	25	0.01	4.07	4.06	99.75	5.76
B1*	4.4	0.04	0.33	0.29	87.88	2.55
B2	5	0.08	1.45	1.37	94.48	4.32
B3	7	0.05	1.05	1.00	95.24	3.99
C1*	0.43	0.36	3.40	3.04	89.41	2.14
C2	5	0.02	1.42	1.40	98.59	2.77
C3	9.3	0.21	2.81	2.60	92.53	3.64
D1*	1	0.24	2.93	2.69	91.81	2.77
เฉลี่ย		$0.12 \pm 0.12$	$1.91 \pm 1.28$	$1.80 \pm 1.22$	$93.58 \pm 4.92$	$3.82 \pm 1.28$

หมายเหตุ : เครื่องหมาย \* แสดงสถานีที่อยู่ด้านหน้าของเขื่อนและประตูกั้นน้ำเดิม

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของปรอททั้งหมด (total mercury) ที่พบในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังมีค่าเท่ากับ 1.91 ng/l สูงกว่าค่าเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่พบในอ่าวปากพนังซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21 ng/l และในปริมาณปรอททั้งหมดที่พบนี้ มีสัดส่วนของ non-reactive mercury อยู่ถึง 66.15 % และ 93.94 % ในอ่าวปากพนังและแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังตามลำดับ แสดงว่าปรอทที่ตรวจพบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของปรอทอินทรีย์ ซึ่งเป็น non-reactive mercury ชนิดหนึ่ง และเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำในแม่น้ำที่

ไหลลงสู่อ่าวปากพนังสูงกว่าตัวอย่างน้ำในอ่าวปากพนัง จึงเห็นได้ชัดว่าสัดส่วนของปรอทอินทรีย์ต่อปรอททั้งหมดในน้ำที่พบในแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังสูงกว่าสัดส่วนของปรอทอินทรีย์ต่อปรอททั้งหมดในน้ำที่พบในอ่าวปากพนัง (ตารางที่ 4.4)

เนื่องจากปรอทที่อยู่ในระบบนิเวศแหล่งน้ำจะตกสะสมในดินตะกอน สัตว์น้ำ และบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศ (U.S. Geological Survey, 2000) จึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในน้ำที่ตรวจวัดได้ในแต่ละสถานีที่อยู่ในอ่าวปากพนังไม่แตกต่างกันมากนักดังรูปที่ 4.1 ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในน้ำที่ตรวจวัดได้จากในแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังจะมีความแตกต่างกันเห็นได้ชัดกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการเช่น ระยะห่างจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนปรอท ระยะห่างจากปากแม่น้ำ ความขุ่นของน้ำ ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดต่าง

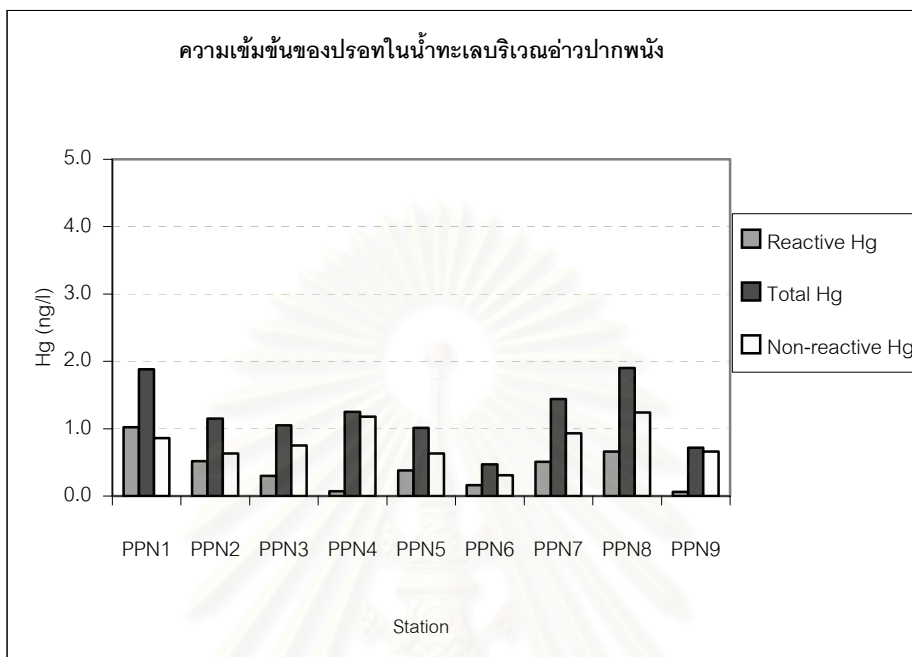
จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความเข้มข้นของปรอทในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ได้สันนิษฐานว่าปรอทที่พบสูงในสถานี A3 (แม่น้ำปากพนัง), B3 (คลองบางจาก) และ C3 (คลองปากนคร) ซึ่งตรวจพบความเข้มข้นปรอททั้งหมดเท่ากับ 4.07 ng/l, 1.05 ng/l และ 2.81 ng/l ตามลำดับ น่าจะเป็นเพราะอยู่ใกล้เหมืองแร่ดีบุกที่ตั้งอยู่บนเทือกเขาถนนศรีธรรมราช ถึงแม้ว่าปัจจุบันเหมืองแร่เหล่านั้นจะปิดตัวไปแล้ว แต่ก็ยังมีโลหะหนักบางชนิดปนเปื้อนอยู่ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ดังนั้นเมื่อเกิดจากการชะล้างของน้ำจากบริเวณเทือกเขาสูงแหล่งน้ำที่อยู่บริเวณใกล้กัน เช่น แม่น้ำปากพนังและคลองบางจาก จึงเป็นไปได้ว่าปรอทจะเป็นโลหะหนักอีกชนิดหนึ่งที่มีการปนเปื้อนจากเหมืองแร่เหล่านั้น

ส่วนสาเหตุที่สถานี C1 ซึ่งตั้งอยู่ด้านหน้าประตูกั้นน้ำในคลองปากนคร มีปริมาณความเข้มข้นปรอททั้งหมดสูงถึง 3.40 ng/l นั้น น่าจะเป็นเพราะมีแหล่งชุมชนที่หนาแน่นอยู่ในบริเวณนั้น สำหรับสถานี D1 ซึ่งตั้งอยู่ด้านหน้าประตูกั้นน้ำในคลองปากพญา มีปริมาณความเข้มข้นปรอททั้งหมดเท่ากับ 2.93 ng/l น่าจะเป็นเพราะสถานีเก็บตัวอย่างอยู่ใกล้ชุมชนที่มีการเทน้ำทิ้งจากครัวเรือนค่อนข้างมากจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นปรอทค่อนข้างสูง

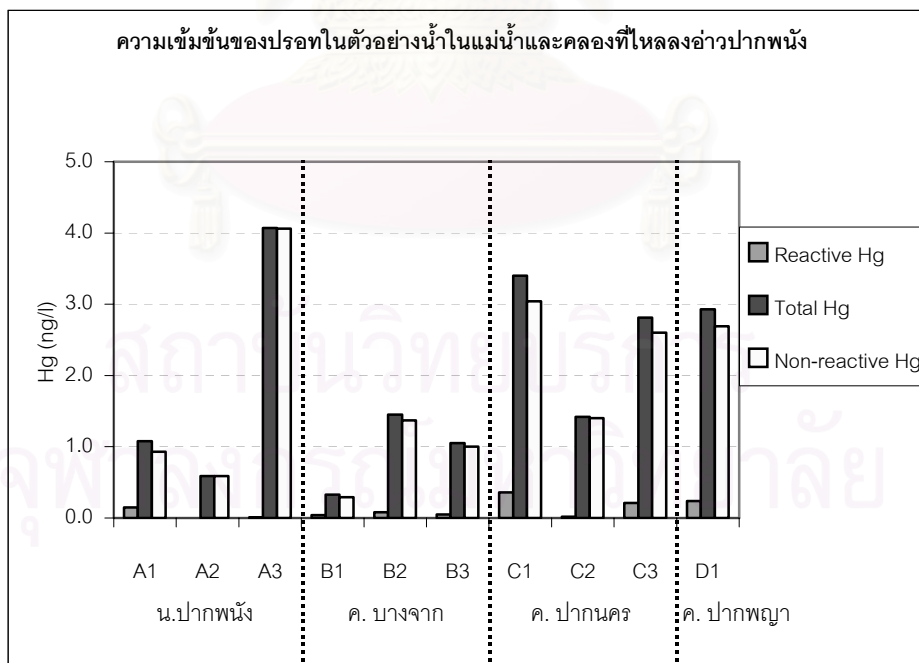
ค่าความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบในอ่าวปากพนังและในแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 ng/l และ 1.81 ng/l ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าความเข้มข้นปรอทสูงสุดที่พบในอ่าวปากพนังและในแม่น้ำที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังเท่ากับ 1.90 ng/l และ 4.07 ng/l ตามลำดับนั้น ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งและค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ



สิ่งแวดล้อม กำหนดไว้ไม่เกิน 0.0001 mg/l (100 ng/l) และ 0.002 mg/l (2,000 ng/l) ตามลำดับ ส่วนมาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำคือ 0.0005 mg/l (500 ng/l)



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำจากอ่าวปากพนัง



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นปรอททั้งหมดที่วัดได้กับ ความเข้มข้นปรอททั้งหมดที่พบในอ่าวไทยซึ่งดำเนินการตรวจวัดโดย กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ใน พ.ศ. 2541 พบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดในเขตชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและเขตนอกฝั่งทะเลอ่าวไทย  $0.004 \mu\text{g/l}$  ( $4 \text{ ng/l}$ ) และ  $0.011 \mu\text{g/l}$  ( $11 \text{ ng/l}$ ) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีความเข้มข้นของปรอททั้งหมดสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในบริเวณอ่าวปากพนังมาก เนื่องจากบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบนเป็นเขตที่ตั้งของอุตสาหกรรมจำนวนมาก ในขณะที่บริเวณอ่าวปากพนังเป็นเขตที่มีการเพาะเลี้ยงชายฝั่งและทำการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ โรงงานอุตสาหกรรมที่พบมีจำนวนน้อย ได้แก่ คู่ต่อเรือขนาดเล็ก โรงงานปลาป่น และอุตสาหกรรมห้องเย็น

#### 4.2.2. ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน

##### 4.2.2.1 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง

###### ก. ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 67 ไมโครเมตร โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนังออกเป็น 9 สถานี ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน  $0.05 - 0.36$  ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.18$  ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

###### ข. ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูฝน

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 67 ไมโครเมตร โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนังออกเป็น 8 สถานี ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน  $0.06 - 0.20$  ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.13$  ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง

Station	ความเข้มข้นปรอท (ug/g dry weight)
PPN1	0.16
PPN2	0.26
PPN3	0.16
PPN4	0.20
PPN5	0.36
PPN6	0.14
PPN7	0.19
PPN8	0.05
PPN9	0.13
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.18 ± 0.09</b>

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูฝน

Station	ความเข้มข้นปรอท (ug/g dry weight)
PPN1	0.20
PPN2	0.11
PPN3	0.06
PPN4	0.09
PPN5	0.16
PPN6	0.14
PPN7	0.12
PPN8	0.19
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.13 ± 0.05</b>

#### 4.2.2.2 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

##### ก. ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 67 ไมโครเมตร โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ออกเป็น 10 สถานี แบ่งเป็นสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำปากพนัง จำนวน 3 สถานี (A1-A3) ในคลองบางจาก จำนวน 3 สถานี (B1-B3) ในคลองปากนคร จำนวน 3 สถานี (C1-C3) และในคลองปากพญา จำนวน 1 สถานี (D1) ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน 0.05 – 0.36 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง

Station	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (K.m.)	ความเข้มข้นปรอท (ug/g dry weight)
A1	3.0	0.24
A2	7.7	0.10
A3	25.0	0.36
B1	4.4	0.05
B2	5.0	0.09
B3	7.0	0.10
C1	0.4	0.23
C2	1.0	0.09
C3	5.0	0.08
D1	9.3	0.27
เฉลี่ย		<b>0.16 ± 0.10</b>

ข. ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูฝน

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 67 ไมโครเมตร โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังออกเป็น 14 สถานี แบ่งเป็นสถานีเก็บตัวอย่างในแม่น้ำปากพนัง จำนวน 4 สถานี (A1-A4) ในคลองบางจาก จำนวน 5 สถานี (B1-B5) ในคลองปากนคร จำนวน 3 สถานี (C1-C3) และในคลองปากพญา จำนวน 2 สถานี (D1-D2) ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน 0.06 – 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในแม่น้ำลำคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังที่เก็บในช่วงฤดูฝน

Station	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (K.m.)	ความเข้มข้นปรอท (ug/g dry weight)
A1	6.6	0.14
A2	12.1	0.27
A3	50.9	0.40
A4	86.8	0.54
B1	9.8	0.24
B2	13.6	0.19
B3	17.0	0.23
B4	24.9	0.73
B5	39.8	0.22
C1	0.6	0.13
C2	13.4	0.13
C3	23.4	0.59
D1	0.9	0.06
D2	8.5	0.36
เฉลี่ย		<b>0.30 ± 0.20</b>

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยคือมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมด 0.18 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ 0.13 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากปรอททั้งหมดที่สะสมตัวอยู่ในดินตะกอนจะค่อนข้างคงตัว มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะฟุ้งกระจายกลับไปอยู่ในรูปของสารแขวนลอยในน้ำและถูกออกซิไดส์กลับสู่บรรยากาศอีกครั้ง และจากการที่ปรอทสามารถเคลื่อนที่ได้ตามทิศทางของกระแส น้ำ (Tomiyasu et, al., 2000) จึงทำให้ไม่พบว่ามีการสะสมอยู่ในสถานีใดอย่างชัดเจน

สำหรับปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในดินตะกอนจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนมีความแตกต่างกันชัดเจนกว่าความเข้มข้นปรอทที่พบในอ่าวปากพนังคือ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมด 0.16 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ 0.30 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำป่าที่ไหลป่าลงมาจากเทือกเขานครศรีธรรมราชซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ดีบุกหลายแห่งเป็นปริมาณมาก ซึ่งอาจทำให้มีสารแขวนลอยถูกชะล้างมาค้ำกับน้ำฝนลงสู่แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้เคียง จึงทำให้มีการสะสมของปรอทในดินตะกอนในช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังเช่นการศึกษาของ Tuttle และคณะ (1999) ศึกษาลักษณะการกระจายของปรอทในบริเวณหุบเขา Lahontan ในรัฐ เนวาด้า สหรัฐอเมริกา พบว่าในช่วงฤดูน้ำหลากความเข้มข้นของปรอทในพื้นที่ชุ่มน้ำบริเวณนั้นจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ในช่วงฤดูแล้งไม่ค่อยมีฝนตกทำให้ปริมาณ โลหะหนักที่อาจถูกพัดพามาจะเหมือนแร่ลดลง เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนที่พบในสถานีที่อยู่ใกล้เหมืองแร่ได้แก่ A4, B4 และ C3 พบว่ามีค่าความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนสูงกว่าที่พบในสถานีอื่นอย่างเห็นได้ชัดคือ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมด 0.54 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง, 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ 0.59 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จึงสันนิษฐานได้ว่าแหล่งกำเนิดของปรอทที่พบในแม่น้ำส่วนใหญ่อาจจะมาจากเหมืองแร่ดีบุกที่ตั้งอยู่บนเทือกเขา

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในดินตะกอนจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีปริมาณสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในดินตะกอนจากอ่าวปากพนัง ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน เนื่องจากความเข้มข้นของปรอทที่อยู่ในตะกอนแขวนลอยซึ่งถูกพัดพามาได้ตกตะกอนลงในแม่น้ำและคลองก่อนที่จะไหลลงสู่อ่าวทำให้มีการสะสมตัวของตะกอนจากแม่น้ำและคลองลงสู่อ่าวปากพนังน้อยลง จึงพบปริมาณความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนในบริเวณอ่าวปากพนังน้อยกว่าความเข้มข้นของปรอทที่พบในดินตะกอนที่เก็บจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง

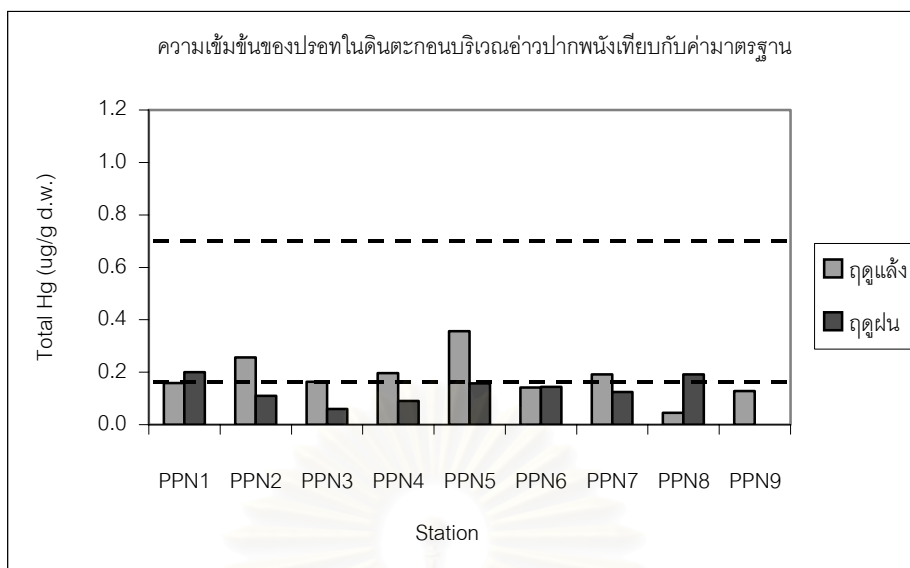
ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานของปรอทในตะกอนดิน ดังนั้นจึงเปรียบเทียบ

ผลการตรวจวัดกับค่าความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในตะกอนดินธรรมชาติที่ไม่ปนเปื้อนของ WHO (ประมาณ 0.08 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสารปรอทในตะกอนดินของประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในตะกอนดิน มีค่าระหว่าง 0.15 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ค่าความเข้มข้นที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต) ถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (ค่าความเข้มข้นที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต) (กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

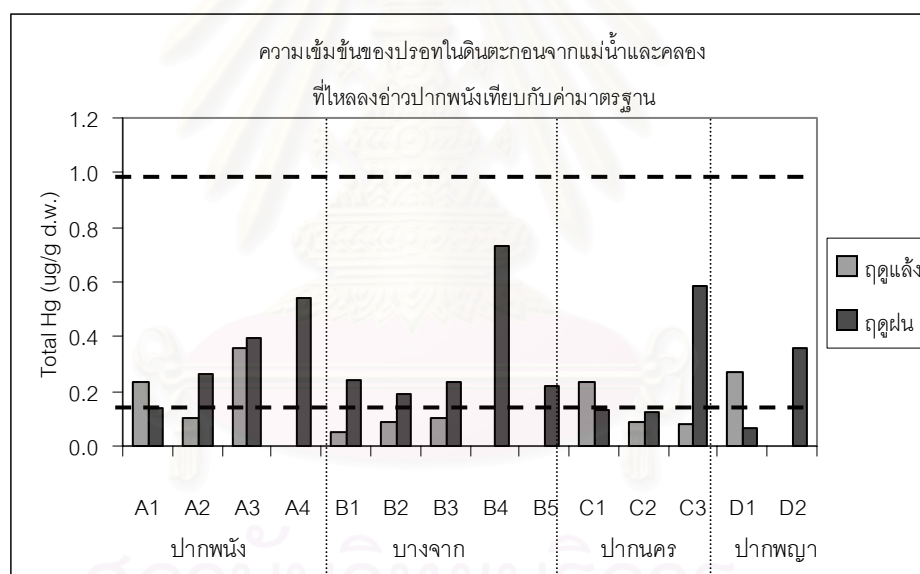
ตารางที่ 4.9 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของประเทศต่าง ๆ  
(ที่มา: กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน	ค่ามาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	ที่มา
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	0.15-1.00	ANZECC, 1998
ฟลอริดา, สหรัฐอเมริกา	0.15-0.70	Macdonald, 1994
ฮ่องกง	0.50-1.00	HKGS, 1998

US-EPA ([www.usepa.org](http://www.usepa.org)) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพปรอทในดิน 2 ค่า คือ 0.15 และ 0.71 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง โดยโอกาสที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมีค่า 8.3 และ 42.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนออสเตรเลียและนิวซีแลนด์มีการกำหนดค่ามาตรฐาน 2 ค่า เช่นกันคือ กำหนดที่ 0.15 และ 1.0 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในดินตะกอนจากในอ่าวปากพนังและจากในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีปริมาณสูงสุดที่พบคือ 0.36 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับนั้น ส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพดินในระดับที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต 8.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่สูงเกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ยกเว้นดินตะกอนที่เก็บช่วงฤดูฝนในสถานี B4 ซึ่งอยู่ในคลองบางจากมีค่าความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนเท่ากับ 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง เกินค่าสูงสุดของมาตรฐานคุณภาพดินซึ่งจะทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต 42.3 เปอร์เซ็นต์ คูแผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนได้ในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพรั่งเทียบกับค่ามาตรฐาน



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพรั่งเทียบกับค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ: เส้น ----- แสดงระดับค่ามาตรฐานปรอทในดินตะกอนที่กำหนดโดย US-EPA

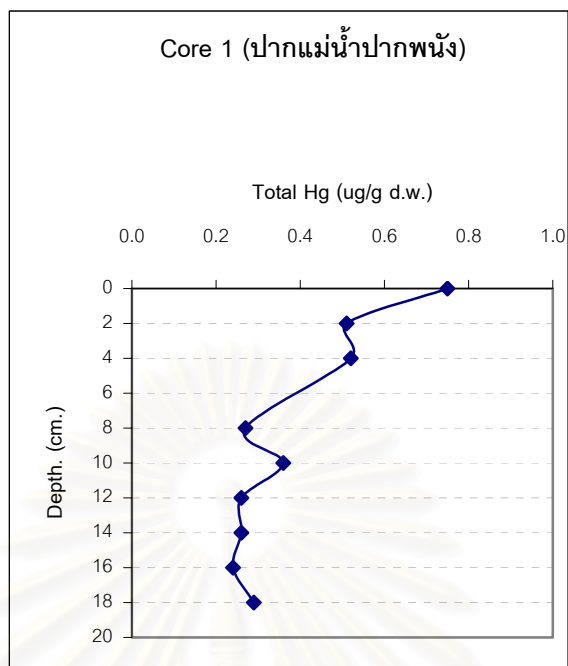
#### 4.2.2.3 ความเข้มข้นปรอทที่พบใน Sediment core

ในการตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทใน Sediment core โดยแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำในอ่าวปากพรั่งเป็น 4 สถานี คือสถานีที่อยู่ปากแม่น้ำปากพรั่ง (core 1), ปากคลองบางจาก (core 2),

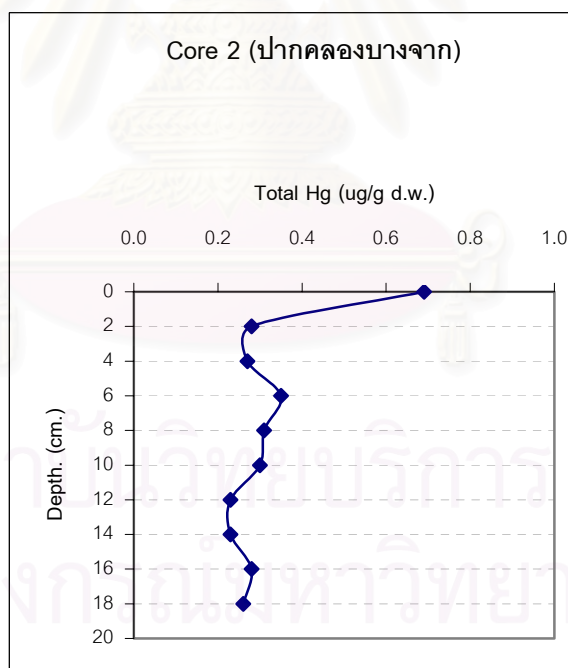


ปากคลองปากนคร (core 3) และปากคลองปากพญา (core 4) ซึ่งเป็นสถานีเดียวกับที่เก็บตัวอย่างน้ำ และดินในทะเล สถานี PPN1 – PPN4 ตามลำดับ โดยใช้ core sampler เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-20 cm. แล้วแบ่งตัวอย่างออกตามระดับความลึกจากผิวดินให้มีความหนาตัวอย่างละประมาณ 2 cm. ความเข้มข้นปรอทที่วัดได้แสดงในรูปที่ 4.5

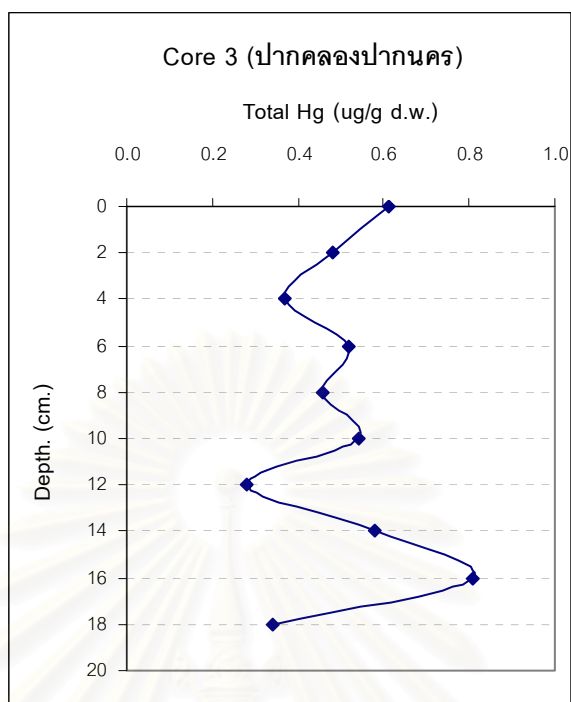
การวัดความเข้มข้นของปรอทใน Sediment core เป็นการศึกษาการปนเปื้อนปรอทในดินตะกอนตามระดับความลึก ซึ่งจะบ่งบอกถึงการปนเปื้อนปรอทของพื้นที่บริเวณนั้นในแต่ละช่วงเวลา จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าบริเวณปากแม่น้ำปากพญาและบริเวณปากคลองบางจากมีความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนสูงที่ระดับ 0-6 cm. และ 0-2 cm. ตามลำดับแสดงว่าทั้งสองบริเวณนี้มีการปนเปื้อนปรอทในช่วงเวลาที่ผ่านมาไม่นาน บริเวณปากแม่น้ำปากนครมีความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนสูงที่ระดับ 16-18 cm. แสดงว่าบริเวณนี้เคยได้รับการปนเปื้อนปรอทในช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้วหลายปี และปากแม่น้ำปากพญามีความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนค่อนข้างต่ำกว่าบริเวณอื่นในทุกระดับความลึกแสดงว่าบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนปรอทในช่วงเวลาที่ผ่านมา ความเข้มข้นของปรอทใน Sediment core ที่พบทั้ง 4 บริเวณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นลักษณะการปนเปื้อนปรอทในดินตะกอนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดปรอทของแต่ละบริเวณที่ต่างกันไป



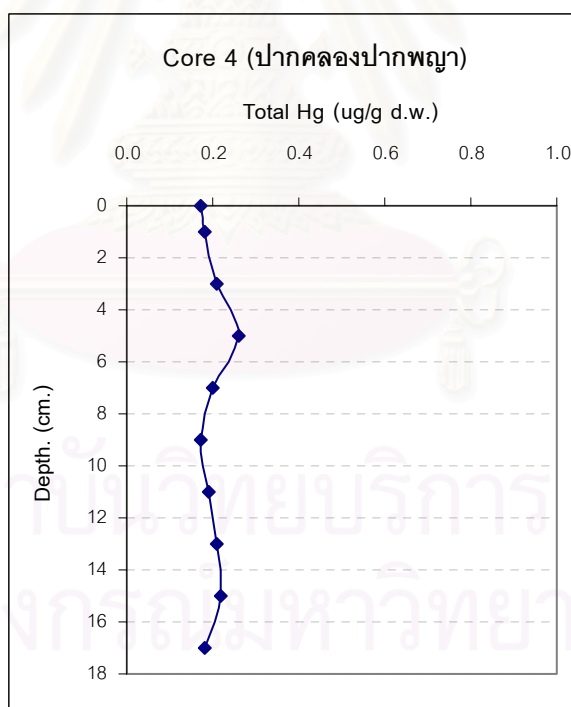
รูปที่ 4.5 (ก) ความเข้มข้นปรอทใน Sediment core บริเวณปากแม่น้ำปากพนัง



รูปที่ 4.5 (ข) ความเข้มข้นปรอทใน Sediment core บริเวณปากคลองบางจาก



รูปที่ 4.5 (ค) ความเข้มข้นปรอทใน Sediment core บริเวณปากคลองปากนคร



รูปที่ 4.5 (ง) ความเข้มข้นปรอทใน Sediment core บริเวณปากคลองปากพญา

รูปที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของปรอทที่พบใน Sediment core ในอ่าวปากพน้ำ

#### 4.2.3. ความเข้มข้นของปรอทในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้จากอ่าวปากพนัง

สัตว์น้ำเศรษฐกิจที่นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของปรอททั้งหมด ได้แก่ ปลา  
กูเรา (*Eleutheronema tetradactylum*) ปลาทู (*Rastrelliger brachysoma*) ปลาดาบ (*Trichiurus*  
*lepturus*) กลุ่มปลาหลังเขียว (family Clupeidae) ปลาดุกทะเล (*Plotosus canius*) กลุ่มปลาจวด  
(family Sciaenidae) ปูม้า (*Portunus pelagicus*) และ หอยแครง (*Anadara granosa*) ซึ่งจับได้  
ในบริเวณอ่าวปากพนัง จากการตรวจวัดความเข้มข้นปรอทในตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่ได้มา พบว่า

ปลากูเรา ขนาด 28.5 – 29.9 cm. มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.51 \pm 0.14 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปลาทู ขนาด 15.80 – 17.20 cm. มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.46 \pm 0.21 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปลาดาบ ขนาด 32.30 – 38.90 cm. มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.42 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปลาหลังเขียว ขนาด 13.50 – 14.10 cm. มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.17 \pm 0.01 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปลาดุกทะเล มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.15 \pm 0.01 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปลาจวด มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.09 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$  wet weight

ปูม้า มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.13 \pm 0 \mu\text{g/g}$  wet weight และ

หอยแครง ขนาด 3.27 – 3.30 cm. มีความเข้มข้นปรอทเฉลี่ย  $0.06 \pm 0.01 \mu\text{g/g}$  wet weight

ดังได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของปรอทในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้จากอ่าวปากพนัง

ชนิดสัตว์น้ำ	ขนาด			ความเข้มข้นปรอท (ug/g wet weight)
	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	น้ำหนัก (g.)	
ปลาเกวรา	5.30	29.4	190	0.40
<i>(Eleutheronema tetradactylum)</i>	5.50	28.5	190	0.48
	5.10	29	210	0.66
ปลาทุ	3.85	15.8	50	0.69
<i>(Rastrelliger brachysoma)</i>	4.22	16.1	45	0.28
	3.85	17.2	50	0.40
ปลาดาบ	3.10	38.9	130	0.44
<i>(Trichiurus haumela)</i>	3.30	32.3	80	0.40
ปลาหลังเขียว	2.90	14.1	20	0.16
<i>(Amblygaster sirm)</i>	3.00	14	20	0.16
	3.10	13.5	20	0.19
ปลาคูกทะเล	6.00*	30.00*	250	0.16
<i>(Plotosus canius)</i>	6.00*	30.00*	250	0.15
ปูม้า	10.00*	20.00*		0.13
<i>(Portunus pelagicus)</i>	10.00*	20.00*		0.13
ปลาจวด	4.50*	20.00*		0.11
<i>(Otolithes ruber )</i>	4.50*	20.00*		0.08
หอยแครง	2.26	3.27	15**	0.06
<i>(Anadara granosa)</i>	2.30	3.3	15**	0.05
	2.30	3.3	15**	0.07

หมายเหตุ: \* กำหนดขนาดของสัตว์น้ำโดยการคาดคะเนจากสายตา

\*\* น้ำหนักหอยแครงซึ่งรวมเปลือกด้วย

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลถิ่นอาศัยและอาหารของสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้  
บริเวณอ่าวปากพนัง

ชนิดสัตว์น้ำ	อาหาร	ถิ่นอาศัย
ปลากูเรา	กินลูกกุ้ง ลูกปลาและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน	หากินอยู่ตามหน้าดินที่เป็นดินโคลน บางครั้งเข้าอยู่ในน้ำกร่อย
ปลาทุ	กินแพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์	ผิวน้ำและกลางน้ำในทะเล
ปลาดาบ	กินปลา ปู ปลาหมึก และสัตว์น้ำที่มีขนาดเล็กกว่า	กระจายทั่วไปในอ่าวไทยอยู่รวมกันเป็นฝูงตามชายฝั่งทะเลน้ำตื้นและปากแม่น้ำ
ปลาหลังเขียว	กินแพลงก์ตอนที่อาศัยอยู่ตามผิวน้ำ	ตามผิวน้ำกระจายไปทั่วอ่าวไทย
ปลาดุกทะเล	กินปู ปลา และหอย	ทั้งน้ำกร่อยและน้ำจืด แพร่กระจายทั่วอ่าวไทย
ปูม้า	กินซากพืชและซากสัตว์ที่ตายแล้ว	อยู่ตามปากแม่น้ำ หรือบริเวณชายฝั่งทะเล
ปลาจวด	กินปลาและสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลัง	อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง กินปลาและสัตว์หน้าดิน
หอยแครง	แพลงก์ตอน	อาศัยอยู่ที่ท้องทะเลชายฝั่งตื้น ๆ ที่เป็นโคลน

จากความเข้มข้นของปรอททั้งหมดที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในตัวอย่างปลาจะเพิ่มขึ้นตามขนาดและน้ำหนักตัวเนื่องจากลักษณะการสะสมของปรอทในปลาเป็นในลักษณะ irreversible accumulation (Forrester et al, 1972) ซึ่งเป็นลักษณะที่เมื่อปรอทอินทรีย์ (methyl mercury) เข้าสะสมในปลาแล้วจะไม่สามารถกำจัดออกได้ และจากตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงข้อมูลถิ่นอาศัยและอาหารของสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้บริเวณอ่าวปากพนัง (Fishbase, 2003) จะเห็นว่าปลาที่กินสัตว์เป็นอาหารส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของปรอททั้งหมดสูงกว่าปลาที่กินพืชซึ่งแสดงถึงลักษณะการสะสมแบบ biomagnification แต่สำหรับความเข้มข้นของปรอททั้งหมดที่ตรวจพบในปูและหอย มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าปรอททั้งหมดต่ำกว่าที่พบในปลาเนื่องจากปรอทจะสะสมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่ำกว่าในสัตว์ที่มีกระดูกในหลัง (Forrester et al, 1972) ส่วนสาเหตุที่พบค่าความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในปลาจวดค่อนข้างต่ำน่าจะเป็นเพราะปลาจวดจะหากินอยู่ในบริเวณหน้าดินจึงทำให้ปลาจวดได้รับปรอทที่มาจากกระด้างของน้ำผิวดินน้อยกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ

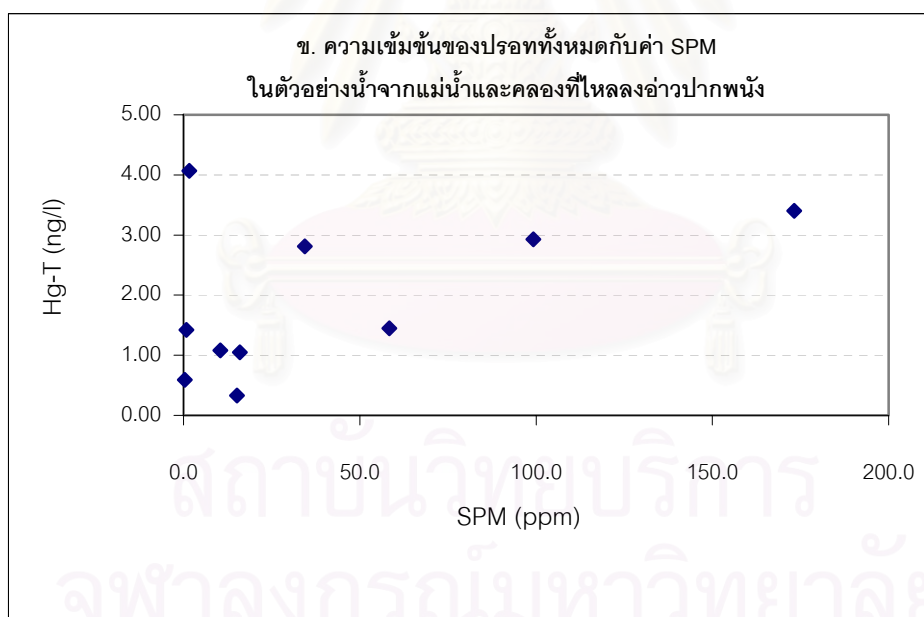
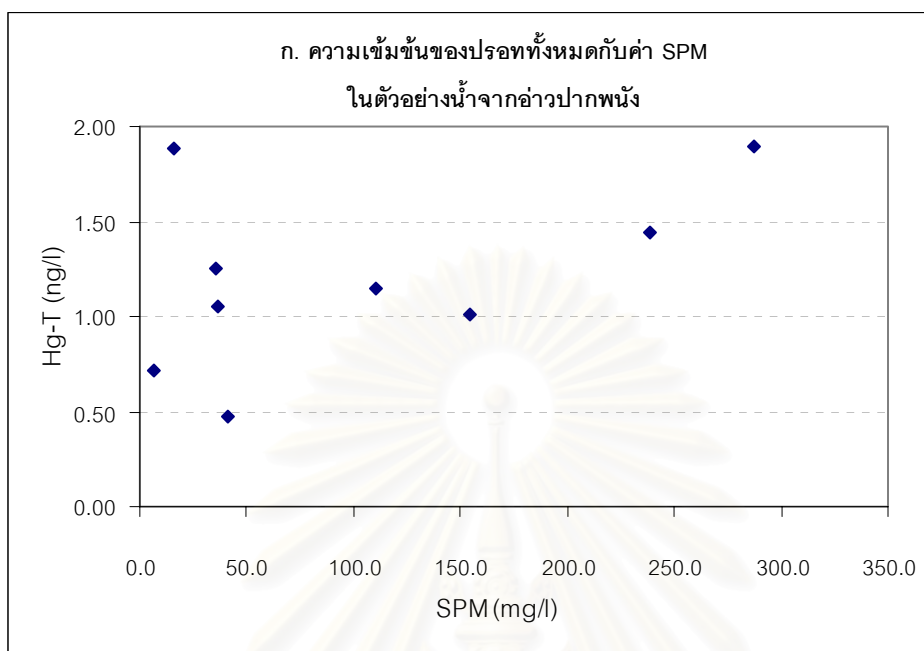
จากการศึกษาปริมาณสารปรอทในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำเศรษฐกิจในอ่าวปากพนังชนิดต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของปรอททั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.05 – 0.69 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ  $0.26 \pm 0.20$  ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก มีบางตัวอย่างของปลากูเราและปลาทุที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานอาหารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) ซึ่งกำหนดให้มีค่า 0.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักเปียก หรือประมาณ 1.25 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

### 4.3. ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของปรอทและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่นำมาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของปรอท ได้แก่ ปริมาณสารแขวนลอย (SPM) ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ (TOC) และปริมาณ Organic matter ในดินตะกอน

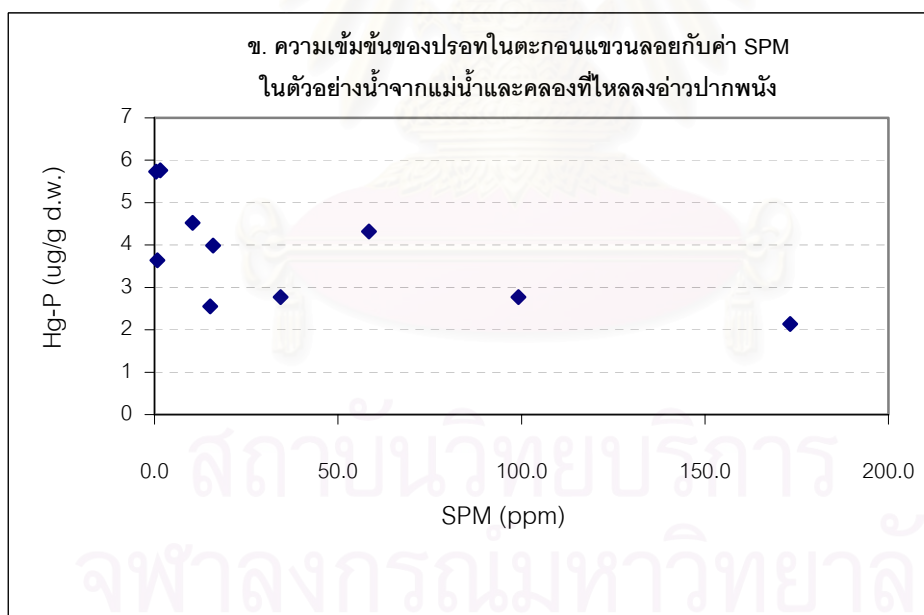
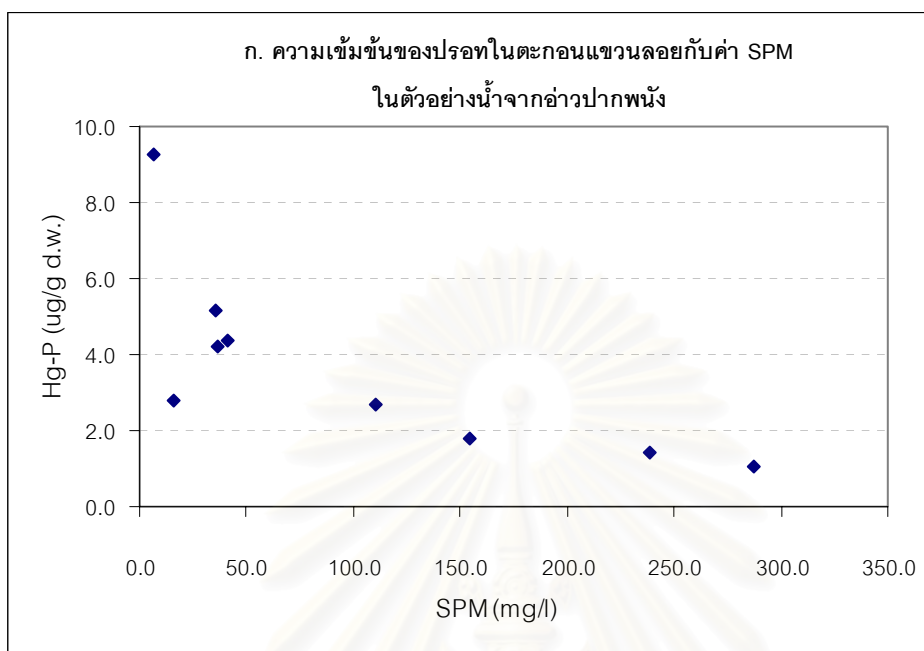
#### 4.3.1 ปริมาณสารแขวนลอย (SPM)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอททั้งหมด (total mercury) ในตัวอย่างน้ำกับปริมาณสารแขวนลอย (SPM) ดังรูปที่ 4.6 พบว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณตะกอนแขวนลอยในอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.19$ ) และความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.15$ ) โดยเมื่อปริมาณสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอททั้งหมดเพิ่มขึ้นทั้งในตัวอย่างน้ำจากอ่าวปากพนังและในแม่น้ำเนื่องจากโดยปกติปรอทที่อยู่ในระบบนิเวศแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตะกอนดินมากกว่าในน้ำ และเมื่อตะกอนดินถูกทำให้ฟุ้งขึ้นมากกลายเป็นตะกอนแขวนลอยทำให้แหล่งน้ำนั้นมีความเข้มข้นปรอทเพิ่มขึ้นจากปรอทที่ยึดเกาะอยู่กับตะกอนที่แขวนลอย เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างปรอทในตะกอนแขวนลอย (particulate mercury) กับปริมาณตะกอนแขวนลอยในรูปที่ 4.7 พบว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณตะกอนแขวนลอยในอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.03$ ) และความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.08$ ) โดยเมื่อปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทในตะกอนแขวนลอยลดลง ซึ่งอาจเป็นเพราะอนุภาคตะกอนแขวนลอยที่มีปรอทเกาะอยู่ถูกอนุภาคตะกอนแขวนลอยที่ไม่ได้ปนเปื้อนปรอททำให้ความเข้มข้นของปรอทเจือจางลง ดังเช่นในรายงานของ Sirattanachai (2001) ศึกษาธรรมชาติเคมีของปรอทในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าความเข้มข้นของปรอทในตะกอนแขวนลอยลดลงเมื่อมีปริมาณตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของตะกอนแขวนลอยที่ไหลมาตามกระแสน้ำจากบริเวณที่ไม่มีมีการปนเปื้อนปรอท



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอททั้งหมดในน้ำกับปริมาณสารแขวนลอย (SPM)

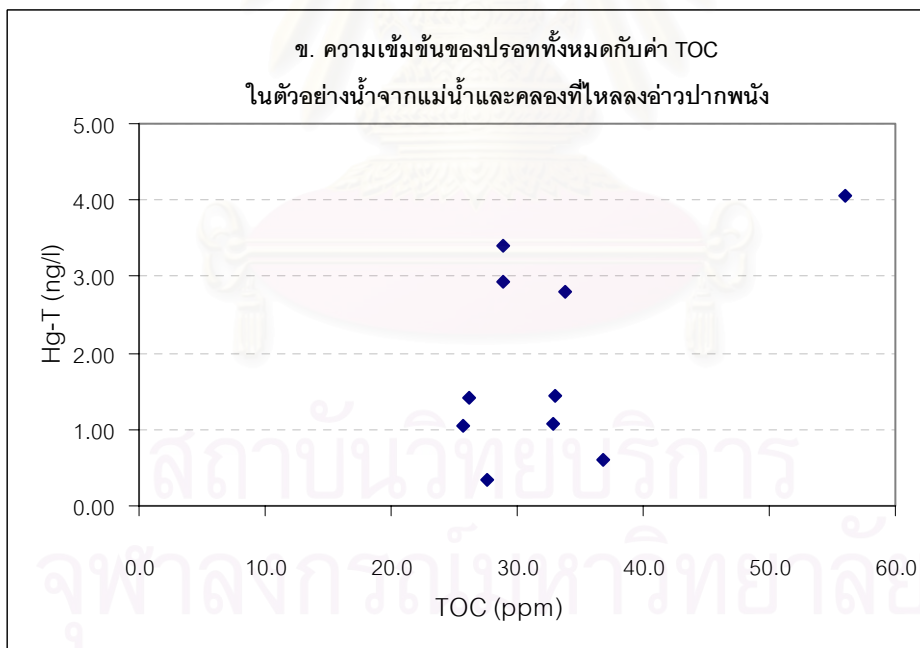
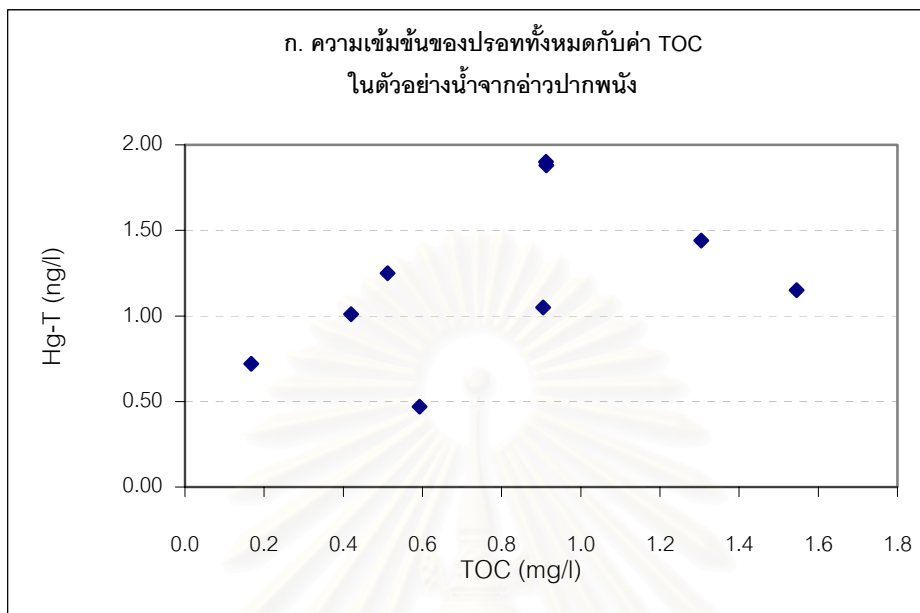




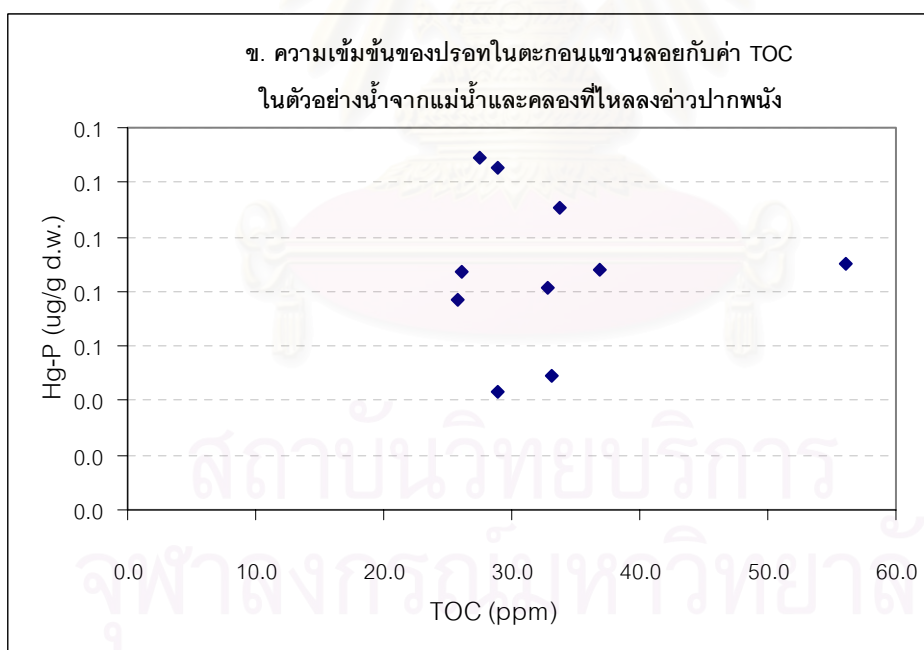
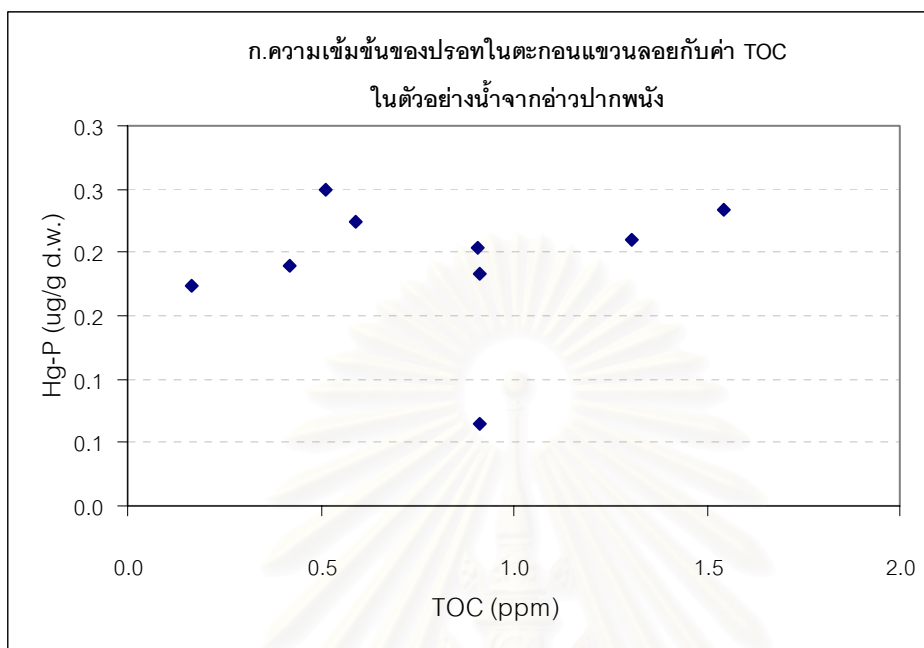
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นปรอทในตะกอนแขวนลอย (Hg-P)  
กับปริมาณสารแขวนลอย (SPM)

#### 4.3.2 ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ (TOC)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ (TOC) กับความเข้มข้นของปรอททั้งหมดในน้ำ (รูปที่ 4.8) พบว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำในอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.24$ ) และความเข้มข้นปรอทในน้ำกับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.04$ ) โดยเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทเพิ่มขึ้นทั้งตัวอย่างน้ำจากอ่าวปากพนังและในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง เนื่องจากในน้ำที่มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำสูงจะทำให้แบคทีเรียในน้ำมีสารตั้งต้น (substrate) สำหรับกระบวนการเมตาโบลิซึมที่เรียกว่า methylation สูงขึ้น ทำให้มีปริมาณปรอทอินทรีย์ซึ่งเกิดจากกิจกรรมนี้เพิ่มขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำ กับความเข้มข้นของปรอทที่พบในตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ไม่ชัดเจนนักเนื่องจากตัวอย่างน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำใกล้เคียงกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปรอทในตะกอนแขวนลอย (particulate mercury) กับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำในรูปที่ 4.9 พบว่าความเข้มข้นปรอทในตะกอนแขวนลอยกับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำในอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.07$ ) และความเข้มข้นปรอทในตะกอนแขวนลอย กับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.04$ ) โดยเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทในตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากในน้ำที่มีอนุภาคสารอินทรีย์มากจะทำให้มีความสามารถในการยึดจับกับอนุภาคปรอทอินทรีย์เพิ่มขึ้น



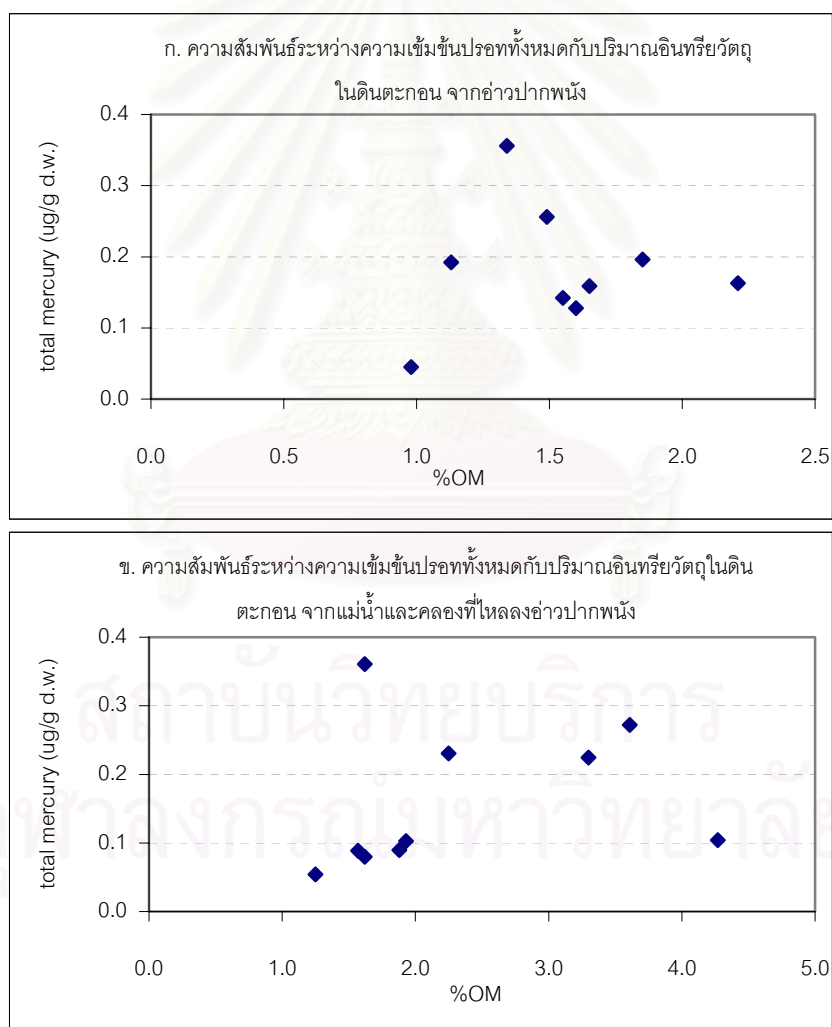
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC กับความเข้มข้นของปรอทในน้ำ



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ TOC กับความเข้มข้นของปรอทในตะกอนแขวนลอย

### 4.3.3 ปริมาณ organic matter ในดินตะกอน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ organic matter ในดินตะกอนกับความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน (รูปที่ 4.10) พบว่าความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.88$ ) และความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.80$ ) โดยที่ปริมาณ organic matter ในดินตะกอนจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทเพิ่มขึ้นทั้งตัวอย่างดินตะกอนในอ่าวปากพนังและในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ organic matter กับความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอน

จากรูปที่ 4.7 สาเหตุที่ตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากจะมีค่าความเข้มข้นปรอทมากเนื่องจากเหตุผลเดียวกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2 เพราะสารอินทรีย์ในดินมีผลทำให้กระบวนการ methylation ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิด methyl mercury ในดินตะกอนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

#### 4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของปรอทและสารหนู

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบและความเข้มข้นของสารหนูที่มีผู้ทำการวิเคราะห์ไว้ที่สถานีเก็บตัวอย่างเดียวกันในตัวอย่างน้ำ ตะกอนแขวนลอย ดินตะกอนและสัตว์น้ำเศรษฐกิจ จากบริเวณอ่าวปากพนังและแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.12 ถึง 4.15 ตามลำดับ และจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนูในตัวอย่างน้ำ ตะกอนแขวนลอย ดินตะกอนและสัตว์น้ำเศรษฐกิจ จากบริเวณอ่าวปากพนังและแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ในรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตัวอย่างน้ำ ตะกอนแขวนลอย ดินตะกอนและสัตว์น้ำเศรษฐกิจ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จึงแสดงว่าปรอทและสารหนูในน้ำ ตะกอนแขวนลอยและดินตะกอนไม่ได้มีแหล่งกำเนิดชนิดเดียวกัน ส่วนสาเหตุที่ความเข้มข้นปรอทและสารหนูที่พบในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำเศรษฐกิจไม่มีความสัมพันธ์กันเนื่องจากปรอทเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่เมื่อเข้าสู่สมในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตแล้วจะไม่สามารถกำจัดออกได้ ต่างกับโลหะหนักชนิดอื่นซึ่งร่างกายสิ่งมีชีวิตสามารถขับออกจากร่างกายได้จึงทำให้ความเข้มข้นของปรอทและสารหนูที่พบในสัตว์น้ำเศรษฐกิจมีความแตกต่างกัน

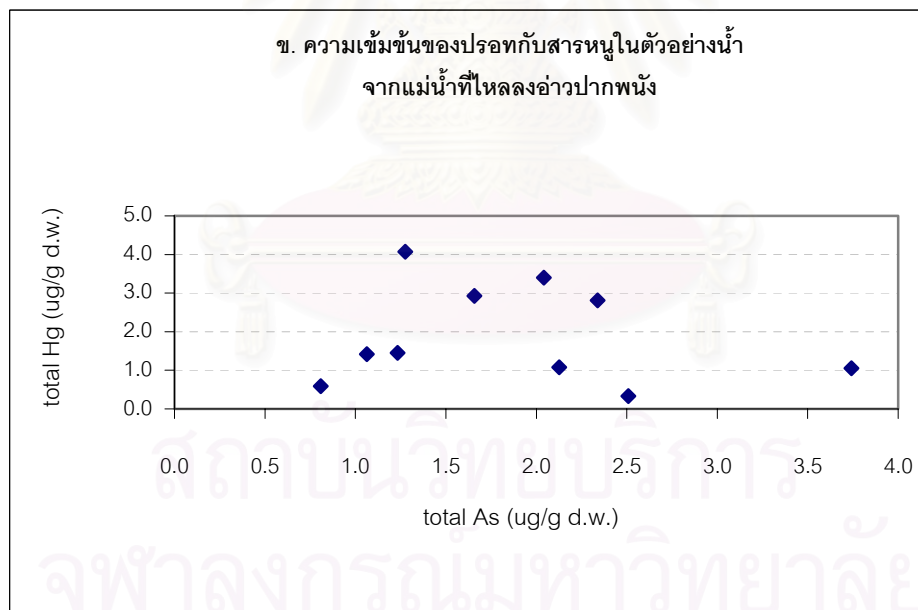
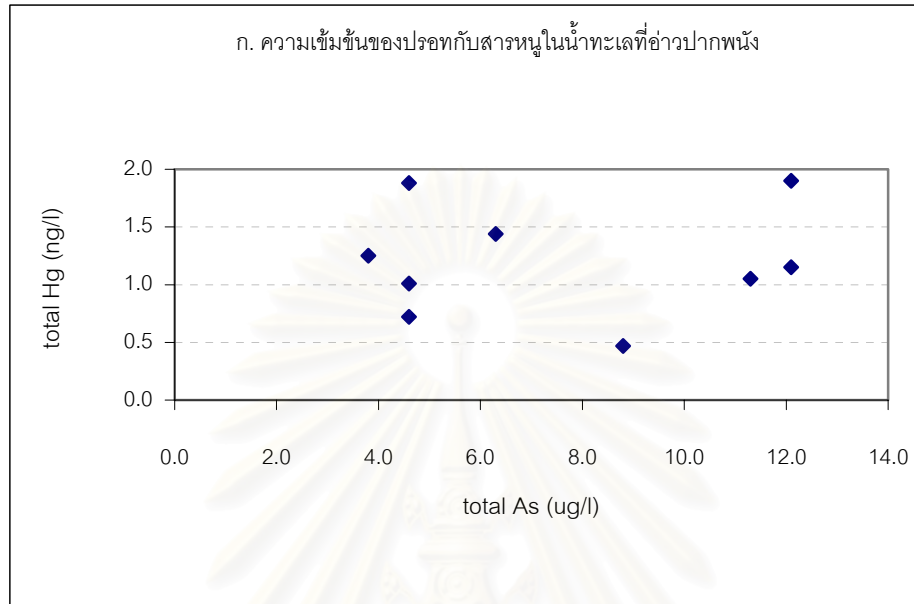
ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำ

ก. ตัวอย่างน้ำจากบริเวณอ่าวปากพนัง

Station	Total Hg	Total As
	(ng/l)	ug/l
PPN 1	1.88	4.6
PPN 2	1.15	12.1
PPN 3	1.05	11.3
PPN 4	1.25	3.8
PPN 5	1.01	4.6
PPN 6	0.47	8.8
PPN 7	1.44	6.3
PPN 8	1.90	12.1
PPN 9	0.72	4.6
เฉลี่ย	$1.21 \pm 0.48$	$7.57 \pm 3.51$

ข. ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง

Station	Total Hg	Total As
	ng/l	ug/l
A1	1.1	2.1
A2	0.6	0.8
A3	4.1	1.3
B1	0.3	2.5
B2	1.5	1.2
B3	1.1	3.7
C1	3.4	2.0
C2	1.4	1.1
C3	2.8	2.3
D1	2.9	1.7



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตัวอย่างน้ำ

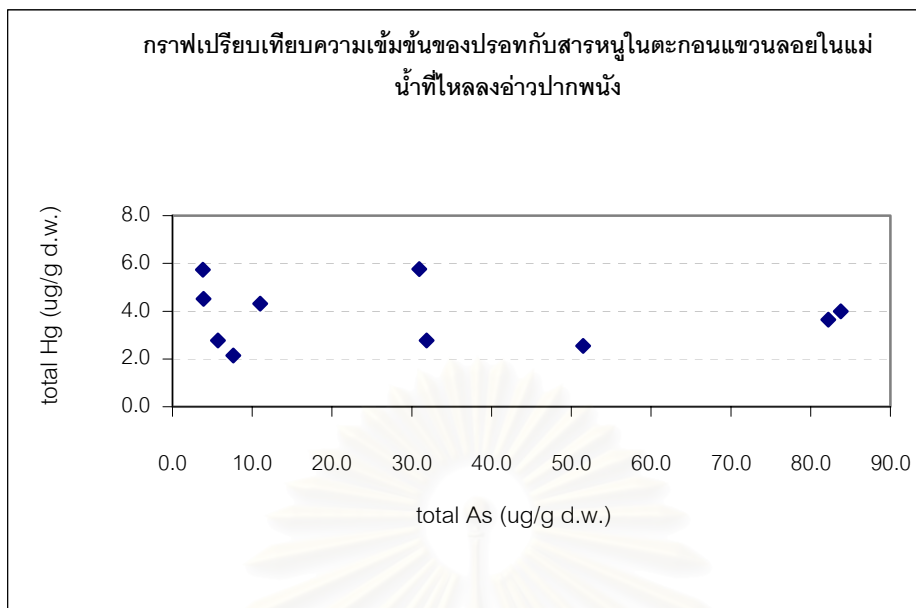


ตารางที่ 4.13 เข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในตะกอนแขวนลอยจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง

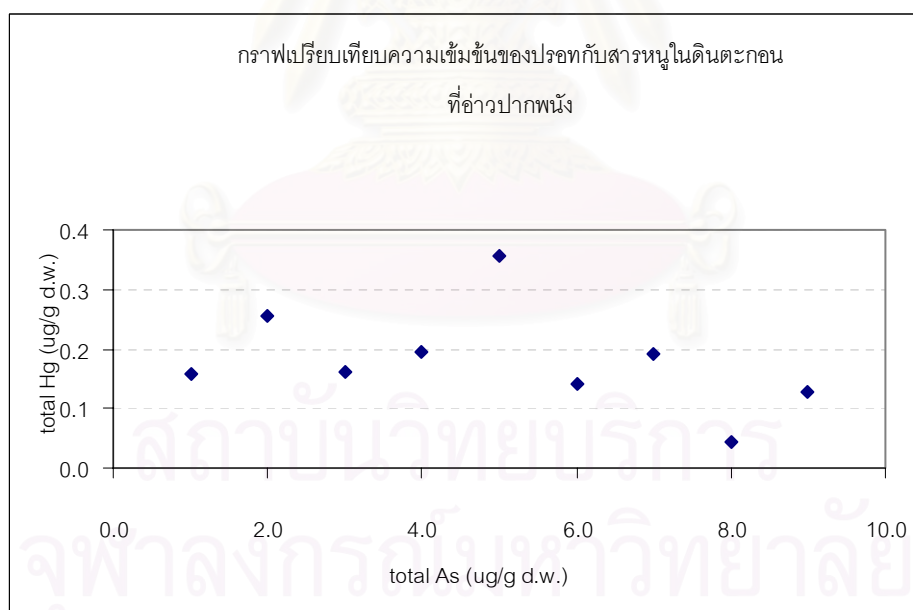
Station	Particulate Hg ug/g d.w.	Particulate As ug/g d.w.
A1	4.5	3.9
A2	5.7	3.8
A3	5.8	30.9
B1	2.6	51.5
B2	4.3	11.0
B3	4.0	83.8
C1	2.1	7.6
C2	3.6	82.2
C3	2.8	5.7
D1	2.8	31.8

ตารางที่ 4.14 แสดงความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง

	Total Hg ug/g	Total As ug/g
สถานี		
PPN1	0.16	8.60
PPN2	0.26	8.50
PPN3	0.16	9.01
PPN4	0.20	9.03
PPN5	0.36	5.05
PPN6	0.14	7.38
PPN7	0.19	6.13
PPN8	0.05	4.84
PPN9	0.13	5.66
	<b>0.18 ± 0.09</b>	<b>7.13 ± 1.73</b>



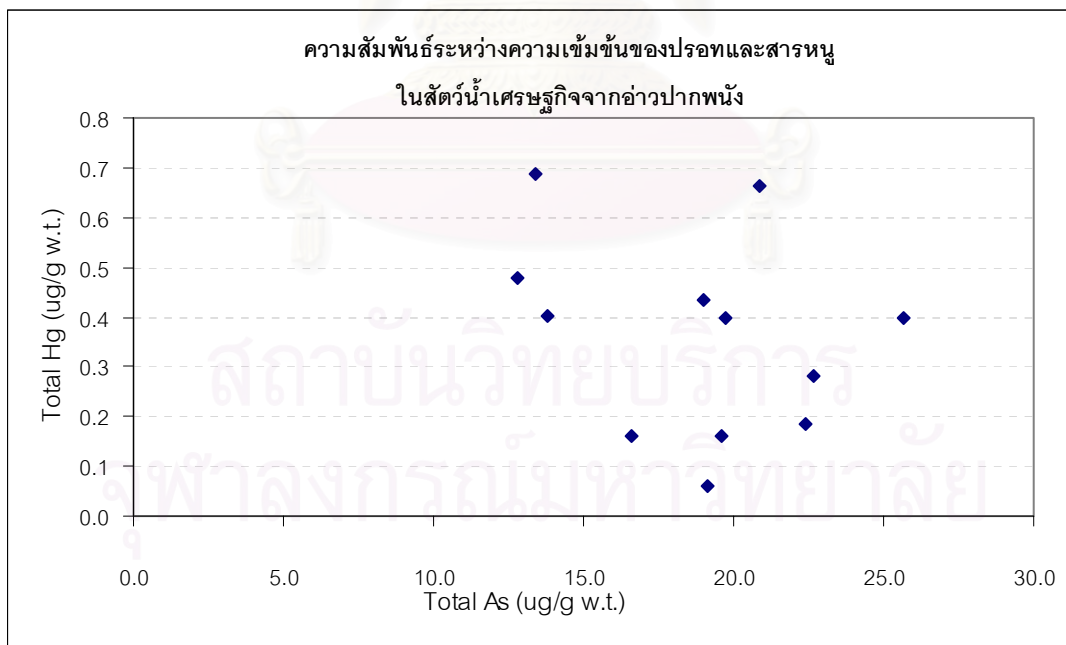
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอนแขวนลอยจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในดินตะกอน บริเวณอ่าวปากพนัง

ตารางที่ 4.15 แสดงความเข้มข้นของปรอทเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารหนูที่พบใน  
 สัตว์น้ำเศรษฐกิจบริเวณอ่าวปากพนัง

ตัวอย่าง	Total Hg	Total As
	ug/g wet weight	ug/g wet weight
ปลากุเรว	0.4	25.6
	0.5	12.8
	0.7	20.9
ปลาทู	0.7	13.4
	0.3	22.7
	0.4	19.8
ปลาดาบ	0.4	19.0
	0.4	13.8
ปลาหลังเขียว	0.2	19.6
	0.2	16.6
	0.2	22.4
หอยแครง	0.1	19.1



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทและสารหนู  
 ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่พบบริเวณอ่าวปากพนัง

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษาการกระจายของผลการศึกษการกระจายของปรอทในบริเวณ  
อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ดังนี้

(1) ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัด  
นครศรีธรรมราช พบว่า ตัวอย่างน้ำในอ่าวปากพนังมีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทรีแอกทีฟ  
(reactive mercury, Hg-R) เท่ากับ 0.41 ng/L มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมด (total  
mercury, Hg-T) เท่ากับ 1.21 ng/L และมีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทไม่รีแอกทีฟ (non-  
reactive mercury, Hg-NR) เท่ากับ 0.80 ng/L

ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ  
ปรอทรีแอกทีฟ (reactive mercury, Hg-R) เท่ากับ 0.12 ng/L มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอท  
ทั้งหมด (total mercury, Hg-T) เท่ากับ 1.91 ng/L และมีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอทไม่รีแอกทีฟ  
(non-reactive mercury, Hg-NR) เท่ากับ 1.80 ng/L

(2) ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างดินบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัด  
นครศรีธรรมราช พบว่า ตัวอย่างตะกอนในอ่าวปากพนัง ขนาด 0-67 ไมโครเมตร ที่เก็บในช่วง  
ฤดูแล้ง มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดเท่ากับ 0.18 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง  
ตัวอย่างตะกอนในอ่าวปากพนัง ขนาด 0-67 ไมโครเมตร ที่เก็บในช่วงฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ย  
ของปรอททั้งหมดเท่ากับ 0.13 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

ตัวอย่างดินตะกอนในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ขนาด 0-67  
ไมโครเมตร ที่เก็บในช่วงฤดูแล้ง มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดเท่ากับ 0.16 ไมโครกรัม  
ต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตัวอย่างดินตะกอนในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ขนาด 0-67  
ไมโครเมตร ที่เก็บในช่วงฤดูฝน มีความเข้มข้นเฉลี่ยของปรอททั้งหมดเท่ากับ 0.30 ไมโครกรัมต่อ  
กรัม น้ำหนักแห้ง

(3) ความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจ ที่จับได้ในบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า มีความเข้มข้นของปรอททั้งหมด อยู่ในช่วง 0.05 – 0.69 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักเปียก

จากความเข้มข้นของปรอทที่ตรวจพบแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความเข้มข้นปรอทที่พบในอ่าวปากพนังกับในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง จะเห็นว่าความเข้มข้นปรอทในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนที่เก็บจากแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่าอ่าวปากพนัง มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นปรอทในตัวอย่างน้ำและดินตะกอนที่เก็บจากในอ่าวปากพนัง

(4) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของปรอท ได้แก่ ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (SPM) ปริมาณ Total Organic Carbon (TOC) ในน้ำ และปริมาณ Organic matter ในดินตะกอน

## 5.2. ข้อเสนอแนะ

(1) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 มีการสร้างเขื่อนทดน้ำชลประทานอุทกสิทธิ์เพื่อกั้นน้ำเค็มจากอ่าวปากพนังไม่ให้ไหลเข้าสู่แม่น้ำปากพนังรวมทั้งมีการสร้างประตูกั้นน้ำในคลองที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนังด้วย จึงน่าสนใจที่จะศึกษาผลกระทบจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำที่มีต่อการกระจายของปรอทในบริเวณอ่าวปากพนัง

(2) หากต้องการศึกษาการสะสมของปรอทตามห่วงโซ่อาหาร ควรทำการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตให้หลากหลายชนิด และมีจำนวนตัวอย่างเพิ่มมากขึ้นเพื่อสามารถนำข้อมูลมาคำนวณทางสถิติได้ และควรมีการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตให้ครบทั้งวงจรในห่วงโซ่อาหาร ตั้งแต่แพลงก์ตอน หอย ปลากินพืช ปลากินเนื้อ เป็นต้น

(3) จากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าความเข้มข้นปรอทในน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่งและน้ำผิวดินค่อนข้างมาก ส่วนความเข้มข้นปรอทในดินตะกอนบางสถานีมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพดินตะกอนที่กำหนดโดย US-EPA โดยเฉพาะดินตะกอนจากสถานี B4 ซึ่งอยู่ในคลองบางจากบริเวณบ้านชะเมาและสัตว์น้ำเศรษฐกิจบางตัวอย่างมีค่าสูงเกินมาตรฐานอาหารปนเปื้อนที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุข เช่นปลาเก๋าและปลาทุ จึงควรมีการตรวจสอบติดตามเพื่อหาแหล่งที่มาของการปนเปื้อนปรอท และนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณลุ่มน้ำปากพนัง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541. ปรอท. เอกสารชุดสารเคมีเฉพาะเรื่อง (Monograph). กรมควบคุมมลพิษ,

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541. สภาวะการปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเล. ฝ่ายมลพิษทางทะเล, กองจัดการคุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ.

วิทยาศาสตร์การแพทย์, กรม. 2543. หนังสือความรู้สิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 14. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. หน้า 9-13.

ชาญกิจ ชอบทำกิจ. 2541. ข้อมูลจังหวัดนครศรีธรรมราช. สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช.

[online] แหล่งที่มา: <http://arc.rint.ac.th/nakhon/> [30 มีนาคม 2545]

สุกัญญา บุญเฉลิมกิจ, เจนวิทย์ วงศ์ยานูน และ มุนีอิโร พุกูตะ. 2539. การศึกษาสารหนูตกค้างในอ่าวปากพนังโดยใช้ตัวอย่างชีวภาพ. รายงานการประชุมความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยและแนวทางป้องกันโรคพิษสารหนูเรื้อรัง ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. กองระบาดวิทยา, กระทรวงสาธารณสุข. [online] แหล่งที่มา: <http://www.psu.ac.th/epidemiology/confer/sukanya.htm> [16 เมษายน 2546]

### ภาษาอังกฤษ

AmonooNeizer, E. H., Nyamah, D. and Bakiamoh, S. B. 1996. Mercury and arsenic pollution in soil and biological samples around the mining town of Obuasi, Ghana. Water Air and Soil Pollution. 91: (3-4) 363-373.

ASEAN-Canada CPMS-II (Cooperative Programme on Marine Science). 1999. ASEAN marine water quality criterion (AMWQC). 42 pp.

Chenery, G., Kiendizior, W., Klassen, M., McNallen, K., Vincenty, J. 2001. Factors That Influence the Concentration of Methyl mercury (CH<sub>3</sub>Hg) in Freshwater Species of Fish. Mercury in Maryland Fish. [online] Available from : <http://www.woodrow.org/teachers/esi/2001/Princeton/Project/benoit/index.htm> [1 March 2003]

David, L. P. and Mark, L. B. 2001. Automated determination of mercury by cold vapor atomic fluorescence with gold amalgamation. American Laboratory. 26-33.

- Drabbenhoft, D. P. and Rickert, D. A. 2000. Mercury Contamination of Aquatic Ecosystems. U.S. Geological Survey, Fact Sheet FS-216-95.
- Fishbase. 2003. website [http://www.fish\\_base.org](http://www.fish_base.org) (02 April 2003)
- Fitzgerald, W.F., Gill, G.A., and Kim. J. P. 1984. An equatorial Pacific Ocean source of atmospheric mercury. Science, 224. 597-599.
- Forrester, C. R., Ketchen, K.S. and Wong, C. C. 1972. Mercury content of spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the Strait of Georgia, British Columbia. J. Fish. Res. Bd Can. 29: (10). 1487-1490
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1990. The state of the marine environment. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 115. 111 pp.
- Hirner, A. V., Feldmann, J., Krupp, E., Grumping, R., Goguel, R. and Cullen, W. R. 1998. Metal (loid) organic compounds in geothermal gases and waters. Organic geochemistry. 29: (5-7) 1765 - 1778.
- Hodson, P.V. 1988. The effect of metal metabolism on uptake, disposition and toxicity in fish. Aquat. Toxicol. 11:3-18.
- Huggett, D. B., Steevens, J. A., Allgood, J. C., Lutken, C. B., Grace, C. A. and Benson, W. H. 2001. Mercury in sediment and fish from North Mississippi Lakes. Chemosphere. 42: (8) 923-929.
- IPCS/WHO (International Programme on Chemical Safety/World Health Organization). 1989. Environmental Health Criteria 86. Mercury - Environmental Aspects. 115 p.
- Kapauan, A.F., Kapauan, P.A., Tan, E.O. and Verceluz, F. 1982. Total mercury in water and sediments from Honda Bay Area in Palawan. Philippine J. Sci. 111:135-144.
- Loring, D. H., and Rantala R. T. T. 1992. Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Earth Science Reviews. 32: 235-283. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Magos, L. 1990. Marine health hazards of anthropogenic and natural origin. p. 447-507. In: UNEP: Technical annexes to the report on the state of the marine environment. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 114/2.
- Makjanic, J., Orlic, I. and Tang, S.M. 1995. Trace element analysis of Singapore seawater by PIXE. p. 306-313. In: Watson, D., K.S. Ong and G. Vigers (eds.).

- ASEAN Criteria and Monitoring: Advances in Marine Environmental Management and Human Health Protection. Proceedings of the ASEAN-Canada Midterm Technical Review Conference on Marine Science (24-28 October 1994), Singapore. EVS Environment Consultants, Vancouver and National Science and Technology Board, Singapore. 422 p.
- Maurice-Bourgoin, L., Quiroga, I., Chincheros, J. and Courau, P. 2000. Mercury distribution in water and fishes of the upper maderia rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. Science of the Total Environment. 260: (1-3) 73-86.
- Piotrowski, J. K. and Coleman, D. O. 1980. Environmental hazards of heavy metals: Summary evaluation of lead, cadmium and mercury. A General Report. 19-30.
- Quemerais, B., and Cossa D. 1997. Procedures for Sampling and Analysis of Mercury in Natural Waters. Environmental Canada – Quebec Region, Environmental Conservation, St. Lawrence Centre. Scientific and Technical Report, ST-31 E, 34pp.
- Ramlal, P.S., Rudd, J.W.M., Furutari, A. and Xun, L. 1985. The Effect of pH on Methyl Mercury Production and Decomposition in Lake Sediments. Can J Fish Aquat Sci. 42: 685-692.
- Shanley, J. B., Schuster, P. F., Reddy, M. M., Roth, D. A., Taylor, H. E. and Aiken, G. R., 2001. Linked behavior of mercury and organic carbon transport in an upland landscape during snowmelt.
- Sirirattanachai, S. 2001. Geochemistry of Mercury in the Chao Phraya river estuary. Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University.
- Steffan, R. J., Korthals, E. T. and M. R. Winfrey. 1984. Effects of experimental acidification on mercury methylation and volatilization in a northern Wisconsin lake. (abstract) Abstr. Annu. Am. Soc. Microbiol., 84,207.
- Suns, K., Curry, C., and Russel, D. 1980. The Effects of Water Quality and Morphometric Parameters on Mercury Uptake by Yearling Yellow Perch. Ontario Ministry of the Environment, Technicl Report LTS80-1, Rexdale, Ontario, Canada.
- Tomiyasu, T., Nagano, A., Yonehara, N., Sakamoto, H., Rifardi, Oki, K. and Akagi, H. 2000. Mercury contamination in the Yatsushiro Sea, south-western Japan: spatial



variations of mercury in sediment. Science of the total Environment. 257: (2-3) 121-132.

Tuttle, P.L., Higgins, D.K., and Quashnick, J. 1999. Mercury Characterization in Lahontan Valley Wetlands Carson River Mercury Site Lyon and Churchill Counties, Nevada. USFWS, Div. of Env. Contaminants, Reno, NV. [online] Available from: <http://pacific.fws.gov/ecoservices/envicon/pim/reports/Reno/2001NevadaMercury.pdf> [23 April 2003]

U.S. EPA. 1993. Quality criteria for water 1993. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. September 1993. 294 pp.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency). 2001. Mercury Update: Impact on Fish Advisories. EPA-823-F-01-011. Office of Water, Washington, DC. [online] Available from: <http://www.epa.gov/ost/fishadvice/mercupd.pdf> [30 March 2002]

U.S. EPA. 2003. [online] Available from: <http://www.usepa.org> [02 April 2003]

U.S. Geological Survey. 2000. Mercury in the Environment. U.S. Geological Survey, Fact Sheet 146-00 (October 2000).

WHO (World Health Organization). 1976. Environmental Health Criteria 1, Mercury. World Health Organization. 131 p.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### 1. วิธีวิเคราะห์ปรอทโดยใช้เครื่อง CVAF (Cold Vapor Atomic Fluorescent) (Quemerais and Cossa, 1997)

#### 1.1 วิธีการวิเคราะห์ Total Mercury (BrCl method)

- ใส่ตัวอย่างน้ำลงในขวดเทฟลอนประมาณ 100 ml.
- เติม BrCl 0.250 ml. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที
- เติม Hydroxylamine 0.250 ml. ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที
- เติม SnCl<sub>2</sub> แล้วนำไปวัดทันที
- นำน้ำตัวอย่างไป Purge แก๊สอาร์กอนเป็นเวลา 14 นาที
- เปิดสวิตซ์ให้ความร้อน 500 องศาเซลเซียส ที่บริเวณ gold trap เป็นเวลา 1 นาที

#### 1.2 วิธีการวิเคราะห์ Reactive Mercury

- ใส่ตัวอย่างน้ำลงในขวดเทฟลอนประมาณ 100 ml.
- เติม SnCl<sub>2</sub> แล้วนำไปวัดทันที
- นำน้ำตัวอย่างไป Purge แก๊สอาร์กอนเป็นเวลา 12 นาที
- เปิดสวิตซ์ให้ความร้อน 500 องศาเซลเซียส ที่บริเวณ gold trap เป็นเวลา 1 นาที

ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของปรอท ทำโดยนำค่า peak height ที่ได้มาคำนวณโดยเปรียบเทียบกับค่า peak height ของ standard mercury ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยจะต้องจดอุณหภูมิของอากาศในขณะที่ทำการวัด standard mercury ไว้ด้วยเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณของปรอทที่ inject เข้าไป

## 2. วิธีการเตรียม Reagent (ทุกขั้นตอนต้องเตรียมในตู้ควันและสวมถุงมือโพลีเอทิลีนตลอดเวลา)

### 2.1 การเตรียมสารละลาย BrCl

- ใส่น้ำกลั่น Milli-Q 20 ml. ลงในขวดเทฟลอนขนาด 125 ml. ที่ทำการ pre-wash แล้ว
- เติม  $\text{KBrO}_3$  1.1 g. และ  $\text{KBr}$  1.5 g.
- เติม purified  $\text{HCl}$  80 ml.

### 2.2 การเตรียมสารละลาย Hydroxylamine

- ชั่ง hydroxylamine 30 g. ใส่น้ำกลั่น Milli-Q 70 g. (จะได้สารละลาย 30%)

### 2.3 การเตรียมสารละลาย $\text{SnCl}_2$

- ชั่ง  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  75 g. ใส่น้ำกลั่น Milli-Q 65 ml.
- เติม purified  $\text{HCl}$  12.5 ml.
- นำไปอุ่นบน hot plate จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น Milli-Q 65 ml.
- ก่อนใช้ให้นำไป degas โดยใช้ bubbler กับ ultra-pure argon ในตู้ควัน 12-24 ชม.

สารละลายทุกตัวให้เก็บไว้ในตู้เย็นโดยปิดฝาขวดให้แน่นและใส่ถุงพลาสติกไว้ 2 ชั้น

## ภาคผนวก ข

### วิธีการทำความสะอาดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

#### 1. การทำความสะอาดภาชนะที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนการทำความสะอาดภาชนะที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ตามวิธีการของ Cossa D., et al, 1996 ใช้ในการทำความสะอาด ขวดเก็บตัวอย่าง Teflon มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ล้างขวดพลาสติกด้วย Detergent ให้สะอาด จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำ Deionized (DI)
2. แช่ขวดพลาสติกในกรดไนตริก เข้มข้น 10% (v/v) เป็นเวลา 5 วัน
3. นำมาล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้ง
4. นำขวดพลาสติกมาแช่ในกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1% (v/v) อีกครั้ง แช่ไว้จนกว่าจะนำไปใช้เก็บตัวอย่าง
5. นำมาล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้ง จากนั้นเก็บขวดพลาสติกลงถุงพลาสติกชนิด PE จำนวน 2 ชั้น พร้อมนำไปใช้งาน

#### 2. การทำความสะอาดกระดาษกรอง

ขั้นตอนการทำความสะอาดกระดาษกรอง กระดาษกรองที่ใช้มีขนาดของรูกรองเท่ากับ 0.45 ไมโครเมตร คือ มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเพื่อหาน้ำหนักกระดาษกรองก่อนใช้งาน
2. นำกระดาษกรองมาแช่ในกรดไนตริก เข้มข้น 10% (v/v) ในภาชนะที่ทำจากเทฟลอน (Teflon) เป็นเวลา 1 วัน
3. นำกระดาษกรองมาล้างด้วยน้ำ DI หรือแช่ทิ้งไว้ในน้ำ DI จนกว่าจะใช้งาน

ภาคผนวก ก Toxicity of inorganic mercury to tropical and warmwater marine fish. (ที่มา: ASEAN-Canada CPMS-II, 1999)

Species	Life Stage	Exposure Duration	Effect	Exposure Type	Temp (°C); Salinity (ppt)	Concentration (µg/L)	Reference	RC	CC
<b>ACUTE TOXICITY DATA</b>									
Milkfish <i>Chanos chanos</i>	-	96 h	LC50	S	-	95	Lin, 1985; cited in Tong et al., 1987	1	1
Milkfish <i>Chanos chanos</i>	juveniles (2.7 cm; 0.2 g)	96 h	LC50	S, U	27 - 29°C; 11 - 11.5 ppt	380	Diaz, 1995	2	1
Sea bass <i>Lates calcarifer</i> Bloch	1 cm	24 h 48 h 72 h 96 h 120 h	LC50	-	28°C; 10 ppt	379.1 359.4 337.5 267.4 160.8	Shunkamon, 1986	2	1
Sea bass <i>Lates calcarifer</i> Bloch	1 cm	24 h 48 h 72 h 96 h 120 h	LC50	-	28°C; 20 ppt	836.6 541.8 392.8 332.7 217.5	Shunkamon, 1986	2	1
Sea bass <i>Lates calcarifer</i> Bloch	1 cm	24 h 48 h 72 h 96 h 120 h	LC50	-	28°C; 30 ppt	1,411.5 908.6 644.7 83.5 69.1	Shunkamon, 1986	2	1
Sea bass <i>Lates calcarifer</i> Bloch	1.9 - 2.3 cm 0.089 - 0.165 g	96 h	LC50	S	25 - 27°C; 31 - 32 ppt	112.8	Chayarat, 1985	2	1
Sea bass <i>Lates calcarifer</i> Bloch	1.5 cm (2 mo.)	96 h	LC50	S	28°C; 30 ppt	260	Wainiya and Tharnbupha, 1981	2	1
Square tail mullet <i>Liza vaigiensis</i>	juveniles (15 - 20 mm)	96 h	LC50	S-R, U	20°C; 20 ppt 20°C; 36 ppt	330 380	Denton and Burdon-Jones, 1986b	2	1
Glass perch <i>Priopidichthys marianus</i>	juveniles (15 - 20 mm)	96 h	LC50	S-R, U	20°C; 20 ppt 20°C; 36 ppt 30°C; 20 ppt 30°C; 36 ppt	650 420 500 350	Denton and Burdon-Jones, 1986b	2	1

## ภาคผนวก ก.(ต่อ)

Species	Life Stage	Exposure Duration	Effect	Exposure Type	Temp (°C); Salinity (ppt)	Concentration (µg/L)	Reference	RC	CC
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	embryo	96 h	LC50	S-R, M	25°C; 20 ppt	67.37 68.14	Sharp and Neff, 1980	1	1
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	adult	24 h 96 h 168 h	LC50	S, U	20°C; 20 ppt	23,000 800 800	Eisler and Hennekey, 1977	2	1
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	3.3 - 3.5 g	96 h	LC50	S, U	20°C; 20 ppt	2,000	Klaunig et al. , 1975	2	1
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	eggs (from a polluted creek)  eggs (from a clean creek)	20 min	LC50	S, U	24°C; 15 ppt	1,000  1,600	Khan and Weis, 1987	2	3
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	juvenile (polluted) juvenile (clean)	96 h	LC50	S, U	24°C; 20 ppt	700 600	Khan and Weis, 1987	2	3
<b>CHRONIC TOXICITY DATA</b>									
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	embryo	32 d	EC50 NOEC LOEC (hatching success)	S-R, M	25°C; 20 ppt	37.18 10.0 20.0	Sharp and Neff, 1980	1	1
Killifish <i>Fundulus heteroclitus</i>	embryo	32 d	EC50 NOEC LOEC (viable hatch)	S-R, M	25°C; 20 ppt	32.10 30.0 40.0	Sharp and Neff, 1980	1	1

Dashes (-) indicate that no information was available.

S = static; S-R = static-renewal; FT = flowthrough; M = measured; U = unmeasured

RC = Review Code; CC = Control Code (refer to text for explanation of codes used to evaluate data quality)

ภาคผนวก ง ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เก็บตัวอย่าง

1) พื้นที่เก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช

Station	ละติจูด	ลองจิจูด	วันที่	เวลา	Depth. (m.)	Turbidity (m.)	Temperature (C)	Salinity	pH
PPN1	N 08 23 57.0	E 100 09 00.7	21 สค.44	14.4	3.8	1.00	29.6	24.5	8.0
PPN2	N 08 25 52.1	E 100 05 53.1	21 สค.44	15.25	0.5		31.4	23.7	7.6
PPN3	N 08 28 34.2	E 100 04 15.1	21 สค.44	16	3.8	0.25	30.0	26.2	8.2
PPN4	N 08 30 42.7	E 100 03 29.8	21 สค.44	16.57	0.5	0.10	30.1	27.9	7.8
PPN5	N 08 29 57.7	E 100 06 00.2	21 สค.44	11.06	1.5	0.50	30.0	29.9	8.1
PPN6	N 08 26 59.0	E 100 06 58.8	21 สค.44	13.15	1.2	0.50	29.5	25.8	8.0
PPN7	N 08 26 37.2	E 100 08 01.3	21 สค.44	13.45	0.5	0.25	31.2	23.6	8.4
PPN8	N 08 29 26.1	E 100 07 21.0	21 สค.44	12.04	0.5	0.30	30.7	28.6	8.2
PPN9	N 08 31 05.3	E 100 10 04.9	21 สค.44	10.18	3.8	1.00	29.3	31.4	8.1



ภาคผนวก ง ข้อมูลปัจจัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เก็บตัวอย่าง (ต่อ)

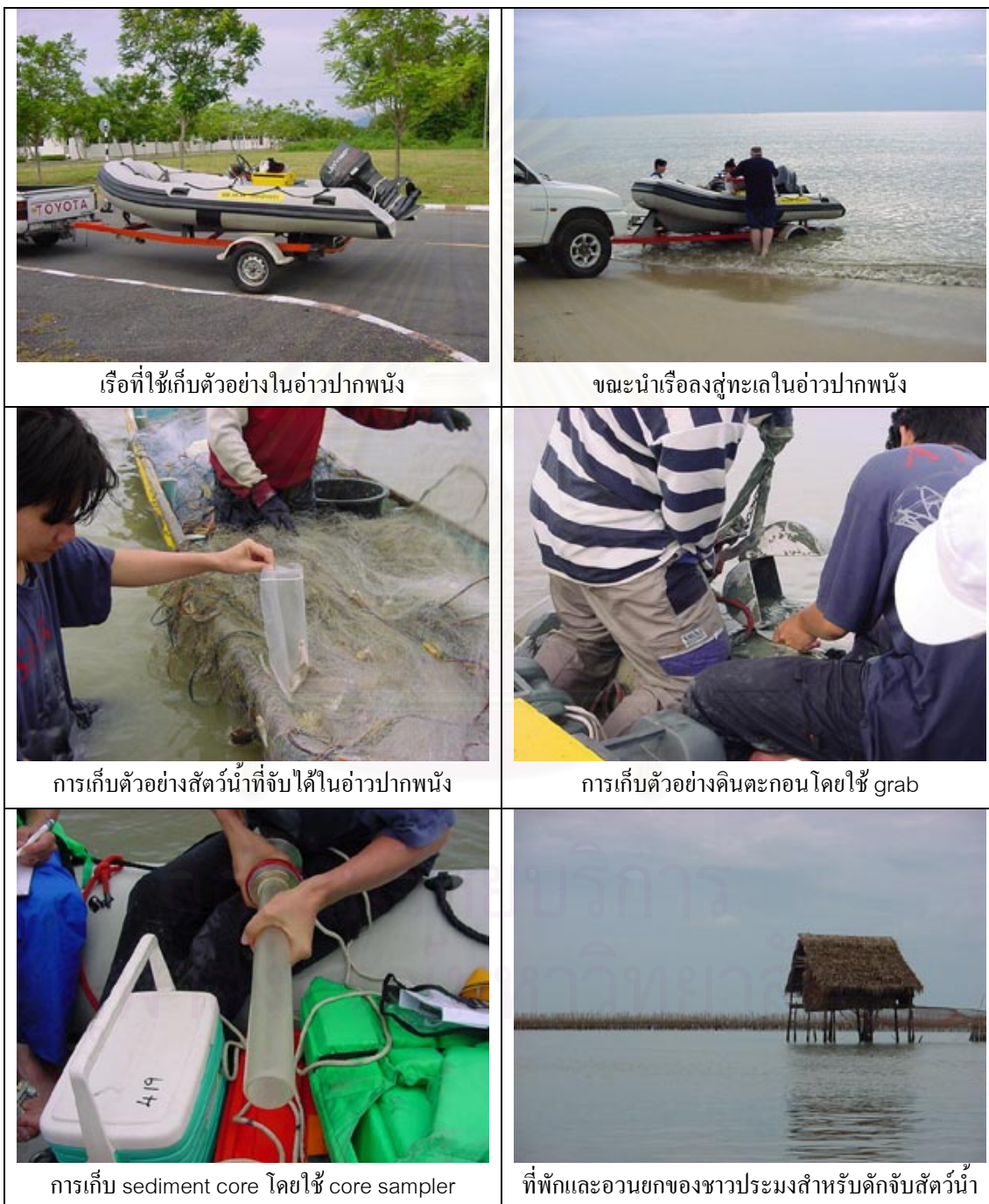
2) พื้นที่เก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช

Station	ละติจูด	ลองจิจูด	ระยะจากปากแม่น้ำ (km.)	วันที่	เวลา	Depth. (m.)	Turbidity (m.)	Temperature (C)	Salinity (%)	pH
A1	N 08 21 35.0	E 100 11 47.6	3.00	28 มีค.45	16.00	0.8	0.50	32.4	36	5.01
A2	N 08 18 01.5	E 100 11 49.7	7.70	28 มีค.45	17.00	2.0	0.70	32.9	0	4.99
A3	N 08 08 08.3	E 100 08 32.1	25.00	29 มีค.45	10.30	6.5	2.00	30.7	0	5.56
B1	N 08 20 52.7	E 100 04 55.0	4.40	29 มีค.45	14.00	1.3	1.00	30.6	10	5.15
B2	N 08 20 02.1	E 100 04 30.8	5.00	28 มีค.45	18.00	1.4	0.50	29.7	4	5.48
B3	N 08 15 47.8	E 100 02 19.4	7.00	29 มีค.45	12.00	0.6	0.50	29.7	0	5.55
C1	N 08 28 13.8	E 100 03 38.2	0.43	29 มีค.45	17.00	0.9	1.00	31.4	26	5.6
C2	N 08 23 29.5	E 100 00 45.9	5.00	29 มีค.45	15.00	1.3	0.60	33.9	2	5.57
C3	N 08 21 18.4	E 099 59 01.8	9.30	29 มีค.45	16.00	1.1	0.50	32.1	0	5.37
D1	N 08 28 52.5	E 100 01 07.2	1.00	29 มีค.45	18.00	1.0	0.50	31.2	14	5.57

## ภาคผนวก ง

## ภาพถ่ายการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

1) การเก็บตัวอย่างในอ่าวปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ในเดือนสิงหาคม 2544 (ช่วงฤดูแล้ง)



## ภาคผนวก ง (ต่อ)

### ภาพถ่ายการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

2) การเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ในเดือนมีนาคม 2545 (ช่วงฤดูแล้ง)



## ภาคผนวก ง (ต่อ)

### ภาพถ่ายการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

2) การเก็บตัวอย่างในแม่น้ำและคลองที่ไหลลงอ่าวปากพนัง ในเดือนธันวาคม 2545 (ช่วงฤดูฝน)



3) ตัวอย่างสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่จับได้



## ภาคผนวก จ

## การตรวจวัดปรอทในตัวอย่าง Reference material

ตัวอย่าง Reference material	ค่าอ้างอิง ( $\mu\text{g/g d.w.}$ )	ค่าที่วัดได้ ( $\mu\text{g/g d.w.}$ )
ตัวอย่างดินตะกอน SRM 2704	$1.47 \pm 0.07$	$1.53 \pm 0.12$
ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต IAEA	4.10 (3.31-4.42)	$3.89 \pm 0.13$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- นางสาวนภฤกษ์ วัฒนวิฑูกร
- เกิดวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- จบการศึกษาระดับปริญญาตรี : วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทั่วไป)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย