

ปรอทรรวมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ

ปิยะรัตน์ อุตส่าห์พานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

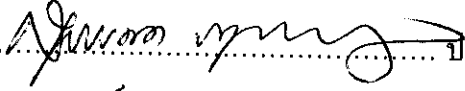
พฤษภาคม 2548

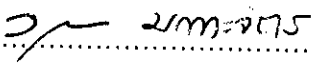
ISBN 974-502-442-2

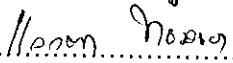
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ปิยะรัตน์ อุดส่าห์พานิช ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัย
บูรพาได้

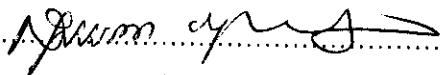
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

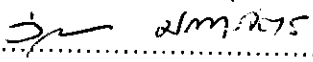
.....  ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ ภาณุตระกูล)

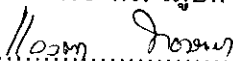
.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิญญิต มั่นทะจิตร)

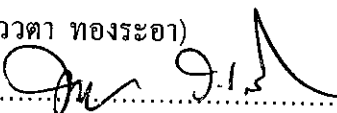
.....  กรรมการ
(ดร. แววดา ทองระอา)

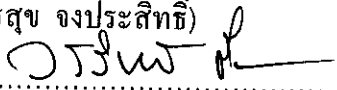
คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....  ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ ภาณุตระกูล)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิญญิต มั่นทะจิตร)

.....  กรรมการ
(ดร. แววดา ทองระอา)

.....  กรรมการ
(ดร.พรสุข จงประสิทธิ์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ ชีวาพร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2548

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัย ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการ พัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษา และช่วย แนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา ภาณุตระกูล ซึ่งเป็นประธานควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิญญิต มั่นทะจิตร และ ดร.แหวดาทองระอา กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาหาความรู้ และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.พรสุข จงประสิทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ ชีวาพร คณะกรรมการสอบปากเปล่า ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการบัณฑิตศึกษาและเจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับการเบิกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณ คุณไพฑูรย์ มกกงไผ่ คุณรัตนพร วิภาตะกลัศ เรือเอกปิยะชาติ วงศ์จำรัส เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม และงานในห้องปฏิบัติการ ท้ายสุดขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อนร่วมงาน และผู้ที่เป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ปิยะรัตน์ อุตส่าห์พานิช

44910772: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.บ. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต)

คำสำคัญ: พรอท/ ดินตะกอน

ปิยะรัตน์ อุตสาห์พานิช: พรอทรวมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรม
บางปู จ. สมุทรปราการ (TOTAL MERCURY IN COASTAL SEDIMENTS OF BANGPOO
INDUSTRIAL ESTATE SAMUT PRAKAN PROVINCE) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์:
สุวรรณ ภาณุตระกูล, D.Sc., วิญญัติ มั่นทะจิตร, Ph.D., แววดา ทองระอา, D.Tech.Sc. 174 หน้า.
ปี พ.ศ. 2548 ISBN 974-502-442-2

เก็บตัวอย่างดินตะกอนจาก 5 สถานี (3 ระยะห่างจากฝั่ง, 2 3 และ 4 กม.) บริเวณชายฝั่ง
ทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2546 เพื่อศึกษาการ
แพร่กระจายและการสะสมของพรอทตามระดับความลึก โดยทำการตรวจวัดสารพรอทในตัวอย่าง
ดินตะกอน พร้อมกับคุณลักษณะของดินตะกอน เช่น %Ignition loss ค่าศักย์ไฟฟ้าของดินตะกอน
ปริมาณเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ปริมาณพรอทที่ตรวจพบในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 19.8 -
149.4 ng g⁻¹ น้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยในทุกสถานีเท่ากับ 67.7 ± 6.39 ng g⁻¹ น้ำหนักแห้ง พบว่า
ในสถานี 1 (ปากแม่น้ำเจ้าพระยา) เป็นสถานีเดียวที่แสดงแนวโน้มการลดลงของพรอทตามระดับ
ความลึกที่ชัดเจน ในขณะที่สถานีอื่นไม่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ชัดเจน ปริมาณสาร
พรอทที่พบมีค่าสูงในสถานีที่ 3 - 5 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับบริเวณคลองด่าน

การศึกษาการดูดซับและการปลดปล่อยสารพรอทโดยดินตะกอน ดำเนินการทดลอง
โดยใช้ดินตะกอนที่เก็บจากสถานีที่ 2 ที่ระยะห่างจากฝั่ง 2 (2A) และ 4 (2C) กิโลเมตร โดยใช้
เทคนิค Batch Equilibrium ที่ระดับความเค็ม 5, 15, 25 และ 35 ppt และความเข้มข้นของพรอท
เริ่มต้น 0.01 - 100 mg L⁻¹ เมื่อความเข้มข้นพรอทเริ่มต้นต่ำกว่า 1 mg L⁻¹ พรอทจะถูกดูดซับอยู่ใน
ดินตะกอนมากกว่า 99 % อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นพรอทสูงกว่า 1 mg L⁻¹ เปอร์เซ็นต์การ
ดูดซับของสารพรอทจะลดลง ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของพรอทที่เติมลงไปสูงเกิน
ความจุการดูดซับพรอทของดินตะกอน เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการดูดซับสารพรอทมีแนวโน้มลดลง
เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดินตะกอนที่สถานี 2C
มีความสามารถดูดซับพรอทได้ดีกว่าสถานี 2A ในขณะที่ดินตะกอนที่สถานี 2A มีความสามารถ
ในการปลดปล่อยสารพรอทได้ดีกว่าสถานี 2C ความเค็มมีผลต่อการปลดปล่อยสารพรอทออกจาก
ดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาชี้ว่าคุณลักษณะของดินตะกอน เช่น
%Ignition Loss (ปริมาณสารอินทรีย์) ค่าศักย์ไฟฟ้าในดินตะกอน เหล็กออกไซด์และแมงกานีส
ออกไซด์ และปริมาณอะลูมิเนียม มีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับและการปลดปล่อยสารพรอท
ของดินตะกอน

44910772: MAJOR: ENIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: MERCURY/SEDIMENT

PIYARAT UTSAPHANIT: TOTAL MERCURY IN COASTAL SEDIMENTS OF BANGPOO INDUSTRIAL ESTATE SAMUT PRAKAN PROVINCE. THESIS ADVISOR: SUWANNA PANUTRAKUL, D.Sc., VIPOOSIT MANTRACHITRA, Ph.D., WEAWTA THONGRA-AR, D.Tech.Sc. 174 P. 2008 ISBN 974-502-442-2

Sediment samples from 5 stations (with 3 different distances; 2, 3 and 4 km from shore) along the coast of Bangpoo Industrial Estate, Samut-Prakran Province were collected in August 2003 for vertical and horizontal distributions of mercury study. Total mercury concentration in sediment samples was determined together with other sediment characteristics such as % water content, % ignition loss, redox potential, Fe and Mn Oxides and Al content. Total mercury content in all sediment samples varied between 19.8 and 149.4 ng g⁻¹ dry wt, with a mean of 67.7 ± 6.39 ng g⁻¹ dry wt. A clear decreasing trend of mercury content in sediment was found only in station 1 (Chaopraya river mouth). The highest mercury concentration was found in sediment from stations 3 to 5. These stations were located close to Klong-Dan.

Mercury adsorption and desorption experiments were carried out using sediments collected from 2 stations at 2 (2A) and 4 (2C) km from shore. The experiments were carried out using a batch equilibration technique with 4 different salinity levels; 5, 15, 25 and 35 ppt. The initial mercury concentration varied from 0.01-100 mg L⁻¹. When the initial mercury concentration was under 1 mg L⁻¹, more than 99 % of mercury was absorbed onto the sediment. However, when the mercury concentration was higher than 1 mg L⁻¹ the percentage adsorption of mercury decreased. This suggested that mercury absorption capacity of the sediment was exceeding. The low adsorption of mercury resulted in a slight decreasing trend with increasing salinity however, no significantly different had been found. The sediment at station 2C could absorb mercury better than those at 2A whereas the sediments at station 2A desorbed mercury faster than those at station 2C. Salinity showed a strong effect on mercury desorption. The results from this study showed that the sediment characteristics % ignition loss (organic content), redox potential, Fe and Mn Oxides and Al content, played important roles of mercury adsorption and accumulation in sediments.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
พื้นที่ศึกษา.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
สมมติฐานของการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
สถานที่และระยะเวลาทำการศึกษา.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
คุณสมบัติของสารปรอท.....	7
แหล่งที่มาของสารปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	9
แหล่งธรรมชาติ.....	9
สารปรอทที่ปะปนอยู่ในธรรมชาติเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์.....	10
ประเภทของสารปรอท.....	13
การสะสมปรอทในสิ่งมีชีวิต.....	14
ดินตะกอน.....	16
การสะสมของปรอทในดินตะกอน.....	16
ลักษณะดินตะกอนกับการแพร่กระจายของปรอท.....	18
กระบวนการดูดซับและการปลดปล่อย.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
กระบวนการดูดซับ.....	20
พฤติกรรมของการดูดซับของสาร.....	20
กระบวนการปลดปล่อย.....	21
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับและการปลดปล่อยปรอทของดินตะกอน.....	21
ค่าความเป็นกรด – ด่าง.....	21
ความเค็ม.....	22
สารอินทรีย์.....	23
Clay Minerals.....	23
การเกิดเมทิลเลชันของปรอท.....	24
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเมทิลเลชัน.....	26
แบคทีเรียกับการเกิดเมทิลเลชัน.....	26
ผลของค่าความเป็นกรด – ด่าง ในการเกิดเมทิลเลชัน.....	27
สถานะการมีออกซิเจนและขาดออกซิเจนกับการเกิดเมทิลเลชัน.....	27
การออกซิเดชันของ Metallic mercury (Hg^0) เป็นเมอคิวริกไอออน (Hg^{++}).....	28
เมทิลชันของเมอร์คิวริกซัลไฟด์.....	28
ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	28
ผลความเป็นพิษของปรอท.....	28
อาการที่พบในมนุษย์.....	31
ปริมาณปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	33
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	37
อุปกรณ์และสารเคมี.....	37
อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง.....	37
อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์.....	37
เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	37
สารเคมีสำหรับย่อยดินตะกอนและวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
วิธีดำเนินการ.....	38
สถานีเก็บตัวอย่าง.....	38
การศึกษาการสะสมของปรอทตามระดับความลึก.....	40
การศึกษาการแพร่กระจายของปรอทตามแนวระนาบ.....	41
การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์สารปรอท.....	42
การศึกษากระบวนการดูดซับและการปลดปล่อยปรอทโดยดินตะกอน.....	42
การวิเคราะห์สารปรอท.....	48
การย่อยตัวอย่างดินตะกอน.....	48
การย่อยตัวอย่างน้ำ.....	48
การวิเคราะห์หาสารปรอทด้วยเครื่อง Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry.....	49
การตรวจวัด % Recovery เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ.....	51
การวิเคราะห์คุณสมบัติของดินตะกอน.....	53
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	55
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	57
ผลการทดลอง.....	57
ปรอทในดินตะกอน.....	57
คุณภาพน้ำโดยทั่วไป.....	66
ลักษณะของดินตะกอน.....	69
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	89
การดูดซับและการปลดปล่อยสารปรอทของดินตะกอน.....	98
5 สรุปและอภิปรายผล.....	115
คุณภาพน้ำโดยทั่วไป.....	115
การศึกษาปริมาณสารปรอทในดินตะกอน.....	117

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การแพร่กระจายของปรอทตามระดับความลึก.....	117
การแพร่กระจายของปรอทตามระดับความลึก.....	117
การแพร่กระจายของปรอทตามระยะห่างจากฝั่ง.....	121
ระดับการปนเปื้อน.....	122
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับคุณสมบัติของดินตะกอน.....	124
การดูดซับและการปลดปล่อยสารปรอทของดินตะกอน.....	127
จุดสมดุลของการดูดซับ.....	127
การศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษา.....	127
การดูดซับสารปรอทของดินตะกอน.....	128
การปลดปล่อยสารปรอทออกจากดินตะกอน.....	130
สรุป.....	132
บรรณานุกรม.....	133
ภาคผนวก.....	141
ภาคผนวก ก.....	142
ภาคผนวก ข.....	145
ภาคผนวก ค.....	148
ภาคผนวก ง.....	168
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	174

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท.....	7
2 ปริมาณที่พบในธรรมชาติของปรอทไอโซโทปต่าง ๆ.....	8
3 ค่าประมาณของปรอทที่มีอยู่ในธรรมชาติ	10
4 รูปแบบทางเคมีและความเป็นพิษของสารปรอท.....	29
5 ค่าครึ่งชีวิตทางชีววิทยาของสารปรอท	30
6 ปริมาณรวมของปรอทในน้ำทะเลและตะกอนดินในบริเวณอ่าวไทย.....	34
7 จุดพิภคพื้นที่ของสถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรม บางปู จ.สมุทรปราการ.....	39
8 แสดง % Recovery ของปรอทใน Reference material MESS-2 ที่วิเคราะห์ด้วย เทคนิค Acid digestion และทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS)	52
9 เปอร์เซนต์ recovery ของสารปรอทในน้ำ โดยวิธีการเติมสารละลายปรอทมาตรฐาน ลงในตัวอย่างน้ำทะเล (n=4).....	53
10 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินตะกอน.....	53
11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างของปริมาณสารปรอทในดิน ตะกอนตามระดับความลึกและสถานี.....	60
12 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดย ใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.....	61
13 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในดินตะกอน ในแต่ละระดับความลึก โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์.....	62
14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างของปริมาณสารปรอทในดิน ตะกอนจาก 5 สถานี 3 ระยะห่างจากฝั่ง.....	64
15 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวน้ำ ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์.....	65

ตารางที่	หน้า
16 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณสารปรอทในดินตะกอนบริเวณผิวหน้า ในแต่ละ สถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์.....	66
17 ความลึกและคุณภาพน้ำโดยทั่วไปขณะทำการเก็บตัวอย่าง (สิงหาคม 2546) ในบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	67
18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับค่าศักย์ไฟฟ้า % Ignition loss เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ ในดินตะกอนตามระดับ ความลึก (n = 36).....	90
19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทกับ แมงกานีสออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แมงกานีส เหล็ก อะลูมิเนียม และ % Ignition loss ในผิวหน้าของ ดินตะกอน (n = 90).....	94
20 คุณสมบัติของดินตะกอนในบริเวณที่ทำการศึกษา.....	100
21 เปอร์เซนต์การดูดซับสารปรอทโดยดินตะกอน และค่า Freundlich Adsorption Parameters ที่ความเค็มต่าง ๆ.....	101
22 แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับสารปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	103
23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างของปริมาณการดูดซับสาร ปรอทของดินตะกอน.....	106
24 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การดูดซับปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์	107
25 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง % การดูดซับของสารปรอท กับค่าความเค็ม.....	107
26 ปริมาณปรอทที่ถูกปล่อยออกจากดินตะกอนหลังการดูดซับที่ความเค็มต่าง ๆ.....	109
27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงความแตกต่างของปริมาณการปลดปล่อยสาร ปรอทของดินตะกอน.....	113
28 ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การปลดปล่อยสารปรอทที่ความเค็มต่าง ๆ โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์.....	114
29 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง % การปลดปล่อยของสารปรอทของดิน ตะกอนกับค่าความเค็ม.....	114
30 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำในบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู (สิงหาคม 2546) กับมาตรฐานคุณภาพน้ำชายฝั่ง.....	116

ตารางที่	หน้า
31 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนของประเทศต่าง ๆ.....	123
32 วิธีการเตรียม Series Stock Std.Hg	123
33 การเตรียม Series Standard mercury จาก Stock Standard mercury ระดับต่าง ๆ.....	123
34 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของสารปรอทในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคม อุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ (ng/g dry weight).....	149
35 ค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของปรอทในดินตะกอน ตามแนวระนาบ บริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ (ng/g dry weight).....	151
36 ค่าเฉลี่ยของ % Ignition Loss เหล็กออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ ในดิน ตะกอนตามระดับความลึก บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ	152
37 ค่าเฉลี่ยของ % Ignition Loss เหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ เหล็ก แมงกานีส และอลูมิเนียม ในดินตะกอน ตามแนวระนาบ บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรม บางปู จ.สมุทรปราการ	154
38 ค่าศักย์ไฟฟ้าของดินตะกอนในบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	155
39 แสดงคุณภาพน้ำบางประการของแต่ละสถานีขณะทำการเก็บตัวอย่าง.....	156
40 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Ignition Loss ตามระดับความลึกระหว่าง สถานีด้วยวิธี ANOVA.....	156
41 ผลการเปรียบเทียบ %Ignition Loss ตามระดับความลึก ระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	157
42 ผลการเปรียบเทียบ %Ignition Loss ระหว่างสถานีและระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี ANOVA.....	157
43 ผลการเปรียบเทียบ %Ignition Loss ตามแนวระนาบ ระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	158
44 ผลการเปรียบเทียบ %Ignition Loss ในแนวระนาบ ตามระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	158
45 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กในดินตะกอนระหว่างสถานีและระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี ANOVA.....	159

ตารางที่	หน้า
46 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กในดินตะกอนตามแนวระนาบ ระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	159
47 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กในดินตะกอนตามแนวระนาบ ตามระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	160
48 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึกระหว่างสถานี ด้วยวิธี ANOVA.....	160
49 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึกระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	161
50 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนระหว่างสถานีและระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี ANOVA.....	161
51 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กในดินตะกอนตามแนวระนาบ ระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	162
52 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนตามแนวระนาบ ตามระยะห่าง จากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	162
53 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในดินตะกอนระหว่างสถานีและระยะห่างจากฝั่งด้วยวิธี ANOVA.....	163
54 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในดินตะกอนตามแนวระนาบ ตามสถานีด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	163
55 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในดินตะกอนในแนวระนาบ ตามระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	164
56 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึกระหว่างสถานี ด้วยวิธี ANOVA.....	164
57 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึกระหว่างสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	165
58 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนระหว่างสถานีและระยะห่างจากฝั่ง ด้วยวิธี ANOVA.....	165
59 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนตามแนวระนาบตามสถานีด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	166

ตารางที่	หน้า
60 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนในแนวระนาบ ตามระยะห่าง จากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	166
61 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในดินตะกอนระหว่างสถานีและระยะห่าง จากฝั่งด้วยวิธี ANOVA.....	167
62 ผลการเปรียบเทียบปริมาณอะลูมิเนียมในดินตะกอนตามแนวระนาบ ตามสถานี ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	167
63 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนในแนวระนาบ ตามระยะห่าง จากฝั่ง ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Ranges Test (DMRT).....	168
64 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ช่วงเวลาต่าง ๆ.....	170
65 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโดยใช้ปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	170

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 วงจรหมุนเวียนของปรอทในธรรมชาติ.....	12
2 วัฏจักรทางชีวภาพของปรอทในสิ่งแวดล้อม.....	14
3 การถ่ายทอดของปรอทจากสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อาหาร	15
4 ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณปรอทกับจำนวนเปอร์เซ็นต์ของดิน ตะกอนที่มีขนาดน้อยกว่า 16 ไมครอน.....	19
5 การเปลี่ยนแปลงรูปของปรอท.....	25
6 แสดงการแพร่กระจายของสารปรอทในร่างกายของมนุษย์.....	31
7 สถานีสำรวจและเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรม บางปู จ.สมุทรปราการ.....	39
8 แผนการศึกษาการสะสมของปรอทตามระดับความลึก.....	40
9 การตัดดินตะกอนตามระดับความลึก.....	41
10 แผนการศึกษาการแพร่กระจายของปรอท.....	42
11 แผนการศึกษากระบวนการดูดซับของปรอทที่ระดับความลึกต่าง ๆ.....	44
12 แผนการศึกษากระบวนการปลดปล่อยสารปรอทในดินตะกอนที่ระดับความลึก ต่าง ๆ.....	45
13 ขั้นตอนการศึกษากระบวนการดูดซับและการปลดปล่อยปรอทของดินตะกอน.....	47
14 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารปรอทในดินตะกอน.....	48
15 ขั้นตอนการวิเคราะห์สารปรอทในน้ำ.....	49
16 ขั้นตอนการวิเคราะห์เหล็กและแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอน.....	54
17 แสดงการแพร่กระจายของปรอทบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู ตามระดับความลึก.....	59
18 ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.E. ของปรอทในดินตะกอนตามระดับความลึก บริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	61
19 ปริมาณความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนตามแนวระยะบา บริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	63

ภาพที่	หน้า
20 การแพร่กระจายของค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความเค็ม และค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ ขณะทำการเก็บ ตัวอย่าง.....	68
21 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของศักย์ไฟฟ้าในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	70
22 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของ % Ignition loss ในดินตะกอน บริเวณชายฝั่ง ทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	72
23 ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.E. ของ % Ignition Loss ในดินตะกอนตามระดับความลึก บริเวณ ชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	73
24 ปริมาณของ % ignition loss ในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	74
25 ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	75
26 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอน บริเวณ ชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	78
27 ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.E. ของปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึก บริเวณ ชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	79
28 ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กออกไซด์ในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณชายฝั่ง ทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	80
29 ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณชายฝั่ง ทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	82
30 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของปริมาณแมงกานีสออกไซด์ ในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	84
31 ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.E. ของปริมาณแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนตามระดับความลึก บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	85
32 ปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณ ชายฝั่งทะเล นิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	80

ภาพที่	หน้า
33 ปริมาณความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในดินตะกอนตามแนวระนาบบริเวณชายฝั่ง ทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู จ.สมุทรปราการ.....	88
34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทและค่าศักย์ไฟฟ้า ในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	91
35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารปรอทและ % Ignition loss ในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	92
36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและแมงกานีสออกไซด์ในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	92
37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Ignition Loss และแมงกานีสออกไซด์ในดิน ตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	93
38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ในดิน ตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	93
39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและเหล็กออกไซด์ในผิวหน้าของดิน ตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	96
40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและเหล็กในผิวหน้าของดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	96
41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและแมงกานีสในผิวหน้าของดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	97
42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและอะลูมิเนียมในผิวหน้าของดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	97
43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและ % ignition loss ในผิวหน้าของดิน ตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลนิคมอุตสาหกรรมบางปู.....	98
44 จุดสมดุลของการดูดซับสารปรอทโดยดินตะกอน.....	99
45 เปรอร์เซ็นต์การดูดซับโดยใช้ปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	100
46 ไอโซเทอร์มการดูดซับปรอทของฟรอยด์ลิก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความเค็ม 5 ppt สถานี 2C.....	102
47 แสดงค่า Kads เปรียบเทียบระหว่าง สถานี 2A กับสถานี 2C.....	102

ภาพที่	หน้า
48 แสดงการดูดซับสารปรอทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	104
49 แสดงการดูดซับปรอทของดินตะกอนที่ระดับความเค็มต่าง ๆ.....	105
50 แสดงเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสารปรอทที่ความเค็มต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างดินตะกอนที่ได้จากกระบวนการดูดซับ ที่ความเข้มข้นของสารปรอท 1 mg/L และ 100 mg/L.....	110
51 แสดงเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสารปรอทโดยดินตะกอนที่ความเค็มต่าง ๆ.....	111
52 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารปรอทโดยดินตะกอนที่ความเค็มต่าง ๆ.....	112
53 ไอโซเทอร์มการดูดซับปรอทของฟรอยด์ลิต ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินตะกอน สถานีที่ 2 ระยะห่างจากฝั่ง 200 เมตร (a) ความเค็ม 5 ppt (b) ความเค็ม 15 ppt (c) ความเค็ม 25 ppt (d) ความเค็ม 35 ppt	172
54 ไอโซเทอร์มการดูดซับปรอทของฟรอยด์ลิต ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในดินตะกอน สถานีที่ 2 ระยะห่างจากฝั่ง 400 เมตร (a) ความเค็ม 5 ppt (b) ความเค็ม 15 ppt (c) ความเค็ม 25 ppt (d) ความเค็ม 35 ppt	173