การกระจายของปรอท ตามระดับความลึกในแท่งดินตะกอนจากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ และอ่าวไทย ประเทศไทย

คฑาวุธ สายสุวรรณ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ตุลาคม 2549

ISBN 974-502-917-3

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ คฑาวุธ สายสุวรรณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา วัฒยากร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาญ สว่างวงศ์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา วัฒยากร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาญ สว่างวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)
วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2549

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา
จากโครงการบัณฑิตศึกษาฝึกอบรม และวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนา บัณฑิตศึกษา
วิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ทบวงมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล ประธานกรรมควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาญ สว่างวงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา วัฒยากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาหาความรู้ และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล และรองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา วัฒยากร ที่ช่วยเหลือในด้านการเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอน จากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ และอ่าวไทย ประเทศไทย

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวาริชศาสตร์ และโครงการบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่ สารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์อย่างดีเสมอมา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษา และวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ จึงขอขอบพระคุณมาไว้ ณ โอกาสนี้

คฑาวุธ สายสุวรรณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

47911194: สาขา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ปรอท/ ดินตะกอน/ อ่าวไทย/ อ่าวมะนิลา

คฑาวุธ สายสุวรรณ: การกระจายของปรอทตามระดับความลึกในแท่งดินตะกอนจากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ และอ่าวไทย ประเทศไทย (VERTICAL DISTRIBUTION OF MERCURY IN SEDIMENT CORES FROM MANILA BAY, THE PHILIPPINES AND THE GULF OF THAILAND, THAILAND) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: สุวรรณา ภาณุตระกูล, D.Sc., กัลยา วัฒยากร, Ph.D., พิชาญ สว่างวงศ์, Ph.D. 142 หน้า. ปี พ.ศ. 2549.
ISBN 974-502-917-3

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการกระจายของปรอทตามระดับความลึกในแท่งดินตะกอนจากอ่าวไทย ประเทศไทย จำนวน 1 สถานี และอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ จำนวน 2 สถานี พร้อมกับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปรอท กับอะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และ % Ignition Loss ตามระดับความลึก โดยสถานีเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอนจากอ่าวไทย ประเทศไทย ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 20 กิโลเมตร และสถานีเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอนจากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์ สถานี MB14 อยู่บริเวณปากแม่น้ำ Pasig และสถานี MB 18 อยู่บริเวณกลางอ่าวมะนิลา

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณปรอทที่พบในดินตะกอนจากสถานี GT 15, MB 14 และMB 18 มีค่าอยู่ในช่วง 0.0270 – 0.0760 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt., 0.1468 – 0.4455 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt. และ 0.0302 – 0.1172 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt. ตามลำดับ โดยปริมาณปรอทที่พบในสถานี MB 14 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานี GT 15 และสถานี MB 18

สถานี GT 15 และ MB 18 พบว่า รูปแบบการกระจายของปรอทมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึก ในขณะที่สถานี MB 14 พบว่า รูปแบบการกระจายของปรอทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก โดยการสะสมของปรอทในแต่ละสถานีมีความสัมพันธ์ กับเหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส และ % Ignition Loss ที่แตกต่างกัน โดยการสะสมของปรอทในแต่ละพื้นที่จะถูกควบคุมด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

47911194: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: MERCURY/ SEDIMENT/ GULF OF THAILAND/ MANILA BAY

KATAWUD SAISUWAN: VERTICAL DISTRIBUTION OF MERCURY IN SEDIMENT CORES FROM MANILA BAY, THE PHILIPPINES AND THE GULF OF THAILAND, THAILAND. THESIS ADVISORS: SUWANNA PANUTRAKUL, D.Sc., GULLAYA WATTAYAKORN, Ph.D., PICHAN SAWANGWONG, Ph.D. 142 P. 2006.
ISBN 974-502-917-3

The purpose of this research is to study the vertical distribution of mercury concentration in one sediment core from the Gulf of Thailand and two sediment cores from Manila Bay. Their correlations with iron, aluminium, manganese contents and % ignition loss in the sediment had also been investigated. The sediment core from the Gulf of Thailand (GT 15) was taken from about 20 km. south of the Chao Phraya river mouth. Sediment core MB 14 was taken from Pasig river mouth in the Manila bay whereas MB 18 was taken from the Middle part of the Manila bay.

Mercury concentration in GT 15, MB 14 and MB 18 sediment cores varied between 0.0270 – 0.0760 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt., 0.1468 – 0.4455 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt. and 0.0302 – 0.1172 $\mu g\ g^{-1}$ dry wt. respectively. MB 14 showed significantly higher mercury concentration as compared to those in GT 15 and MB 18.

Mercury concentration in both GT 15 and MB 18 sediment cores showed decreasing trend with depth whereas mercury concentration in MB 14 showed an increasing trend with depth. Mercury content in each sediment cores showed different correlation with iron, aluminium, manganese contents and % ignition loss. These indicated that accumulation of mercury in each area has been controlled by different factors.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

สมมติฐานของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

สถานที่และระยะเวลาทำการศึกษา 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

แหล่งที่มาของปรอทในสิ่งแวดล้อม 7

รูปของปรอทในสิ่งแวดล้อม 8

วัฏจักรของปรอท 9

กระบวนการเกิดเมทิลเลชั่น (Methylation Process) 11

ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการเกิดเมทิลเลชั่นของปรอทในดินตะกอน 13

การกระจายของปรอทในน้ำและดินตะกอน 17

การสะสมของปรอทในดินตะกอน 19

การตกตะกอนของโลหะ 20

อิทธิพลของลักษณะของดินตะกอนกับการกระจายของปรอท 20

การกระจายของโลหะหนักในตะกอนดินตามลำดับความลึก 22

การสะสมปรอทในสิ่งมีชีวิต 26

ความเป็นพิษของปรอทต่อมนุษย์ 28

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	ความเป็นพิษของปรอทต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ	29
	รายละเอียดของพื้นที่ทำการศึกษา	33
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	41
	อุปกรณ์และสารเคมี	41
	วิธีดำเนินการ	43
	การวิเคราะห์ปรอท	47
	การตรวจวัด % Recovery เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ	50
	การวิเคราะห์หา % Ignition Loss	50
	การวิเคราะห์หา % Water Content	51
	วิธีการวิเคราะห์หา Enrichment Factor (EF)	51
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	52
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	53
	ผลการทดลอง	53
	การกระจายของปรอทในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	53
	การกระจายของเหล็กในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	59
	การกระจายของอะลูมิเนียมในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	66
	การกระจายของแมงกานีสในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	72
	การกระจายของ % Ignition Loss ในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	78
	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์(Correlation Coefficient)	83
	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน (Principle Component Analysis - PCA)	91
	Enrichment Factor (EF) ของโลหะในแต่ละแท่งดินตะกอน	95
5	สรุปและอภิปรายผล	108
	ระดับความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอน	108
	การกระจายของปรอทในแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก	117
	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอท กับอะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และ % Ignition Loss	122

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

สรุปผลการทดลอง....125

ข้อเสนอแนะ....126

บรรณานุกรม....127

ภาคผนวก....140

ประวัติย่อของผู้วิจัย....142

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอท	6
2	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปรอทอินทรีย์ (เมทิลเมอร์คิวรีคลอไรด์)	7
3	ความเข้มข้นของปรอทในน้ำทะเลที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และบริเวณอื่น ๆ	18
4	ความเข้มข้นของปรอทในดินตะกอนที่พบในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และบริเวณอื่น ๆ	19
5	รูปแบบทางเคมี และความเป็นพิษของปรอท	28
6	ปริมาณปรอทที่พบจากการขุดเจาะน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ	38
7	% Recovery ของอะลูมิเนียม แมงกานีส เหล็ก และปรอทใน Reference Material; MESS-3	50
8	แสดงค่าเฉลี่ยธาตุต่าง ๆ บริเวณ Upper Continental Crust	51
9	วิธีการวิเคราะห์	52
10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี	57
11	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	59
12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของเหล็กในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี	64
13	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเหล็กในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	65
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี	70
15	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์	71

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของแมงกานีสในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 76

17 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแมงกานีสในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 77

18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ % Ignition Loss ในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 82

19 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ % Ignition Loss ในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์..... 83

20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับ เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส และ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนจากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig ตามระดับความลึก (N = 41)..... 84

21 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับ เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส และ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนจากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา ตามระดับความลึก (N = 43)..... 86

22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปรอทกับ เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส และ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา (N = 43)..... 89

23 ความแปรปรวนสะสมของแต่ละองค์ประกอบ..... 92

24 ความแปรปรวนสะสมของแต่ละองค์ประกอบ..... 93

25 ความแปรปรวนสะสมของแต่ละองค์ประกอบ..... 94

26 ค่ามาตรฐานและค่าเฉลี่ยของปรอทในดินตะกอนของประเทศต่าง ๆ และค่าความเข้มข้นของปรอทที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้..... 110

27 ค่าการปนเปื้อนของปรอทในดินตะกอน บริเวณชายฝั่งประเทศไทย..... 112

28 การแบ่งขนาดตะกอนดินตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง..... 141

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1 วัฏจักรของปรอทในสิ่งแวดล้อม..... 10
2 วัฏจักรทางชีวภาพของปรอทในสิ่งแวดล้อม..... 11
3 กระบวนการดีเมทิลเลชั่น..... 12
4 กระบวนการเมทิลเลชั่นโดยแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์สารมีเทนได้ โดยใช้โคบอลท์ (III) ในวิตามิน B_{12} เป็นตัวช่วย..... 15
5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Relationship) ระหว่างปรอทที่สะสมในดินตะกอนกับขนาดของดินตะกอน..... 22
6 การขยายตัวทางชีวภาพของปรอทในห่วงโซ่อาหาร..... 27
7 กลไกการถ่ายทอดปรอทผ่านห่วงโซ่อาหารสู่มนุษย์..... 27
8 ลักษณะของอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์..... 34
9 การไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวมะนิลาในช่วงฤดูมลสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (a) การไหลของกระแสน้ำบริเวณผิวหน้า (b) การไหลเวียนของมวลน้ำด้านล่าง..... 35
10 ลักษณะของอ่าวไทย ประเทศไทย..... 37
11 เครื่อง Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS)..... 42
12 จุดเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอนจากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์..... 43
13 จุดเก็บตัวอย่างแท่งดินตะกอนจากอ่าวไทย ประเทศไทย..... 44
14 ภาพการตัดดินตะกอนตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอนตัวอย่างจากอ่าวมะนิลา ประเทศฟิลิปปินส์..... 45
15 การตัดดินตะกอนตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอนตัวอย่างจากอ่าวไทย ประเทศไทย..... 46
16 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปรอทในดินตะกอน..... 47
17 เครื่อง Microwave Digester สำหรับทำการย่อยตัวอย่าง..... 48
18 รูปแบบการกระจายของปรอทตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 55
19 รูปแบบการกระจายของปรอทตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 56

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

20 รูปแบบการกระจายของปรอทตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 57

21 ค่าเฉลี่ย ± SD ของความเข้มข้นของปรอทในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 59

22 รูปแบบการกระจายของเหล็กตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 61

23 รูปแบบการกระจายของเหล็กตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 62

24 รูปแบบการกระจายของเหล็กตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 63

25 ค่าเฉลี่ย ± SD ของความเข้มข้นของเหล็กในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 65

26 รูปแบบการกระจายของอะลูมิเนียมตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 67

27 รูปแบบการกระจายของอะลูมิเนียมตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 68

28 รูปแบบการกระจายของอะลูมิเนียมตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 69

29 ค่าเฉลี่ย ± SD ของความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 71

30 รูปแบบการกระจายของแมงกานีสตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 73

31 รูปแบบการกระจายของแมงกานีสตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 74

32 รูปแบบการกระจายของแมงกานีสตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 75

33 ค่าเฉลี่ย ± SD ของความเข้มข้นของแมงกานีสในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 77

34 รูปแบบการกระจายของ % Ignition Loss ตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 79

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

35 รูปแบบการกระจายของ % Ignition Loss ตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 80

36 รูปแบบการกระจายของ % Ignition Loss ตามระดับความลึก ที่ได้จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 81

37 ค่าเฉลี่ย ± SD ของ % Ignition Loss ในแท่งดินตะกอน ในแต่ละสถานี..... 83

38 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับอะลูมิเนียม ของแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 85

39 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับเหล็ก ของแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 85

40 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนตาม ระดับความลึก จากสถานี MB 14 บริเวณปากแม่น้ำ Pasig..... 86

41 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับอะลูมิเนียม ของแท่งดินตะกอน ตามระดับ ความลึกจากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 87

42 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับแมงกานีส ของแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 88

43 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนตามระดับ ความลึก จากสถานี MB 18 บริเวณกลางอ่าวมะนิลา..... 88

44 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับอะลูมิเนียม ของแท่งดินตะกอน ตามระดับ ความลึกจากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 90

45 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับแมงกานีส ของแท่งดินตะกอนตามระดับความลึก จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 90

46 ความสัมพันธ์ระหว่างปรอท กับ % Ignition Loss ของแท่งดินตะกอนตามระดับ ความลึก จากสถานี GT 15 บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา..... 91

47 Bi-plot ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักด้วย Correlation Matrix ของสถานี MB 14 (บริเวณปากแม่น้ำ Pasig)..... 92

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

48 Bi-plot ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักด้วย Correlation Matrix ของสถานี MB 18 (บริเวณกลางอ่าวมะนิลา)..... 94

49 Bi-plot ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักด้วย Correlation Matrix ของสถานี GT 15 (บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา)..... 95

50 ค่า Enrichment Factor (EF) ของปรอท ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี MB 14 (บริเวณปากแม่น้ำ Pasig)..... 97

51 ค่า Enrichment Factor (EF) ของเหล็ก ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี MB 14 (บริเวณปากแม่น้ำ Pasig)..... 98

52 ค่า Enrichment Factor (EF) ของแมงกานีส ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ ได้จากสถานี MB 14 (บริเวณปากแม่น้ำ Pasig)..... 99

53 ค่า Enrichment Factor (EF) ของปรอท ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี MB 18 (บริเวณกลางอ่าวมะนิลา)..... 101

54 ค่า Enrichment Factor (EF) ของเหล็ก ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี MB 18 (บริเวณกลางอ่าวมะนิลา)..... 102

55 ค่า Enrichment Factor (EF) ของแมงกานีส ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี MB 18 (บริเวณกลางอ่าวมะนิลา)..... 103

56 ค่า Enrichment Factor (EF) ของปรอท ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี GT 15 (บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา)..... 105

57 ค่า Enrichment Factor (EF) ของเหล็ก ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี GT 15 (บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา)..... 106

58 ค่า Enrichment Factor (EF) ของแมงกานีส ตามระดับความลึกของแท่งดินตะกอน ที่ได้จากสถานี GT 15 (บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา)..... 107

59 การกระจายของปรอทในแท่งดินตะกอน จากปากแม่น้ำ Pasig (MB 14), บริเวณกลางอ่าวมะนิลา (MB 18)..... 115

60 การกระจายของปรอทในแท่งดินตะกอน จากปากแม่น้ำเจ้าพระยา (GT 15)..... 116

61 ประวัติการผลิตปรอททั่วโลก..... 118

62 ตำแหน่งที่ตั้งของภูเขาไฟ Pinatubo และ Taal..... 119

63 ประวัติการปนเปื้อนของปรอทจากแท่งน้ำแข็ง..... 120

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University