



วิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัด
นครศรีธรรมราช ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

**ELEMENTAL ANALYSIS OF SEDIMENT AT PHAK-PA-NANG
BAY, NAKHON SI THAMMARAT PROVINCE BY ENERGY
DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE**

นายณัฐฐ นัยนานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)
ปริญญา

รังสีประยุกต์และไอโซโทป

รังสีประยุกต์และไอโซโทป

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพอง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

Elemental Analysis of Sediment at Phak-Pa-Nang Bay, Nakhon Si Thammarat Province
by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

นามผู้วิจัย นายณัฐรุช นัยนานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์สมจิตต์ ปาละกาศ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์พรณี พักคง, M.S.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์พัฒนา อนุรักษ์พงศ์ธร, D.Tech.Sci.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา สูดประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๑

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วย
เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

Elemental Analysis of Sediment at Phak-Pa-Nang Bay, Nakhon Si Thammarat Province by
Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

โดย

นายณัฐฐ นัยนานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป)

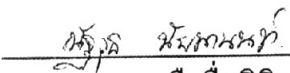
พ.ศ. 2551

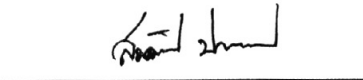
ณัฐวุธ นัยนานนท์ 2551: การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปาก
พนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป) สาขารังสีประยุกต์และ
ไอโซโทป ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป ประชานกรรมการที่ปรึกษา:
อาจารย์สมจิตต์ ปาละภาส, Ph.D. 141 หน้า

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างดินตะกอนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบ
กระจายพลังงานครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ของ Oxford รุ่น ED2000 โดยมี
โปรแกรม ISIS300 ช่วยในการคำนวณ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน
ตะกอนคือการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ร่วมกับเงื่อนไขอื่นๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุ
องค์ประกอบได้ 14 ธาตุ คือ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม
ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล สังกะสีและแบเรียม

ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ใช้วิธีการปรับเทียบมาตรฐานโดยใช้ชุดสารมาตรฐานดิน
ทั้งสิ้น 9 ชุด คือ GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406
GBW07407 GBW07408 และ NIST2710 ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุทั้ง 14 ธาตุ โดย
มีค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขและวิธีการดังกล่าวอยู่ในช่วงร้อยละ 10

ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนจากบริเวณอ่าวปากพนัง 2 บริเวณ คือ บริเวณแหลมตะลุมพุก
และทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่แบ่งตามความลึกในช่วง 0-40 เซนติเมตร ชั้น
ละ 5 เซนติเมตร บริเวณละ 5 ตำแหน่ง พบว่า ปริมาณธาตุองค์ประกอบแต่ละธาตุที่แต่ละระดับ
ความลึกของจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละบริเวณมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณธาตุที่
วิเคราะห์ได้เกือบทั้งหมดในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีมากกว่าบริเวณแหลม
ตะลุมพุก ยกเว้น แคลเซียมและโครเมียม


ลายมือชื่อนิติสด


ลายมือชื่อประธานกรรมการ

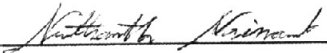
๖ / ๕ / ๕๗

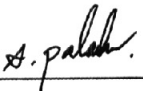
Nutthawuth Nainanont 2008: Elemental Analysis of Sediment at Phak-Pa-Nang Bay, Nakhon Si Thammarat Province by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence. Master of Science (Applied Radiation and Isotopes), Major Field: Applied Radiation and Isotopes, Department of Applied Radiation and Isotopes. Thesis Advisor: Mr. Somchit Palakas, Ph.D. 141 pages.

Analysis of sediment samples with Energy Dispersive X-Ray Fluorescence technique was conducted using EDXRF instrument of Oxford (model ED 2000) completed with ISIS 300 program. The most appropriate mode of analysis was vacuum combined with various optimized conditions that could effectively analyze 14 elements including aluminum, silicon, phosphorus, chlorine, potassium, calcium, titanium, vanadium, chromium, manganese, iron, nickel, zinc and barium.

In quantitative analysis, optimization and standard calibration were performed using 9 sets of reference soil standards comprising GBW07401, GBW07402, GBW07403, GBW07404, GBW07405, GBW07406, GBW07407, GBW07408 and NIST2710. In comparison to all sets of standard, the analysis results with the error within the range of ± 10 percent were accepted as corrected values.

Thereafter, all optimized conditions were applied to analyze sediment samples collected from 2 sites of Phak-Pa-Nang Bay located in Nakhon Si Thammarat province; the first site was western Laem-Ta-Lum-Puk and the second site was the western coast of outer Phak-Pa-Nang Bay. Five samples of 40 cm in depth were collected from each area and layer of 5 cm of each sample were sectioned. Similar tendency in quantity of each element at the same layer of each station and each sampling site were observed, and, almost elements found in the western coast of outer Phak-Pa-Nang Bay were higher than those found in western Laem-Ta-Lum-Puk area except calcium and chromium.


Student's signature


Thesis Advisor's signature

24 / 5 / 08

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.สมจิตต์ ปาละภาส ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณี พักคง กรรมการที่ปรึกษา วิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนา อนุรักษ์พงศธร กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และรองศาสตราจารย์ อรุณี วงศ์ปิยะสกลิตย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ณัฐรุฐ นัยนานนท์

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	26
ผลการทดลอง	26
วิจารณ์	107
สรุปและข้อเสนอแนะ	110
สรุป	110
ข้อเสนอแนะ	112
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	113
ภาคผนวก	117
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	141

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เงื่อนไขที่สามารถเลือกใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเร่องรังสีเอกซ์แบบ กระจายพลังงานของบริษัท OXFORD รุ่น ED2000: ISIS 300	16
2	ปริมาณธาตุองค์ประกอบในชุดสารมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ดิน ตะกอน	17
3	ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ธาตุในชุดสารมาตรฐานดิน	28
4	ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศ ตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	30
 ตารางผนวกที่		
1	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลม ตะลุมพุก 4	129
2	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลม ตะลุมพุก 5	130
3	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลม ตะลุมพุก 6	131
4	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลม ตะลุมพุก 7	132
5	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลม ตะลุมพุก 8	133
6	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศ ตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4	134
7	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศ ตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
8	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 6	136
9	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7	137
10	ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8	138
11	ปริมาณความเข้มข้นของชุดสารมาตรฐานดินและค่าความคลาดเคลื่อนของชุดสารมาตรฐานดิน 9 ชนิด ภายหลังการทำ regression	139
12	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของชุดสารมาตรฐานดิน 9 ชนิด ภายหลังการทำ regression	140

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-Ray)	5
2 หน้าจอรายการ Method Setup	18
3 การเลือกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์	18
4 การเลือกหน่วยของผลการวิเคราะห์เมื่อใช้โปรแกรม ISIS 300	19
5 การกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์แก่ธาตุ	20
6 การกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่หลอดเอกซ์เรย์และระยะเวลาในการวิเคราะห์	20
7 การกำหนดระดับชั้นพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์	21
8 การเลือกลักษณะการแสดงผลภายหลังการวิเคราะห์	21
9 รูปแบบการวิเคราะห์ที่สามารถเลือกใช้ได้	22
10 การใส่ปริมาณธาตุของสารมาตรฐานแต่ละชุด	23
11 การเลือกสารมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบเงื่อนไขที่สร้างขึ้น	23
12 การเลือกเงื่อนไขสำหรับการทำ regression	24
13 หน้าจอแสดงกราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบด้วยชุดสารมาตรฐาน	24
14 สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างดินตะกอนจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	26
15 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	29
16 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	32
17 ปริมาณธาตุลูมิเนียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	33
18 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	34
19 ปริมาณธาตุซิลิกอนในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณ แหลมตะลุมพุก	36
21	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ ชั้นดินตะกอน	37
22	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณแหลม ตะลุมพุก	39
23	ปริมาณธาตุคลอรีนในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้น ดินตะกอน	40
24	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณ แหลมตะลุมพุก	41
25	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึก ของชั้นดินตะกอน	42
26	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลม ตะลุมพุก	43
27	ปริมาณธาตุแคลเซียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ ชั้นดินตะกอน	44
28	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนบริเวณ แหลมตะลุมพุก	46
29	ปริมาณธาตุไทเทเนียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ ชั้นดินตะกอน	47
30	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณ แหลมตะลุมพุก	48
31	ปริมาณธาตุวานาเดียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ ชั้นดินตะกอน	49
32	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณแหลม ตะลุมพุก	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
33	ปริมาณธาตุโครเมียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	51
34	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	53
35	ปริมาณธาตุแมงกานีสในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	54
36	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	55
37	ปริมาณธาตุเหล็กในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	56
38	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุนิเกิลในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	57
39	ปริมาณธาตุนิเกิลในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	58
40	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	60
41	ปริมาณธาตุสังกะสีในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	61
42	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแบเรียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก	62
43	ปริมาณธาตุแบเรียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	63
44	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	65
45	ปริมาณธาตุลูมิเนียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
46 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	67
47 ปริมาณธาตุซิลิกอนในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	68
48 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	70
49 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	71
50 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	72
51 ปริมาณธาตุคลอรีนในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	73
52 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	74
53 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	75
54 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	77
55 ปริมาณธาตุแคลเซียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	78
56 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	79
57 ปริมาณธาตุไทเทเนียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
58	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	81
59	ปริมาณธาตุวานาเดียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	82
60	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	84
61	ปริมาณธาตุโครเมียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	85
62	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	86
63	ปริมาณธาตุแมงกานีสในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	87
64	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	88
65	ปริมาณธาตุเหล็กในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	89
66	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุนิเกิลในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	91
67	ปริมาณธาตุนิเกิลในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	92
68	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	93
69	ปริมาณธาตุสังกะสีในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
70	การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแบเรียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง	95
71	ปริมาณธาตุแบเรียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน	96
72	ปริมาณธาตุอะลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	97
73	ปริมาณธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	98
74	ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	99
75	ปริมาณธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	99
76	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	100
77	ปริมาณธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	101
78	ปริมาณธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	102
79	ปริมาณธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	102
80	ปริมาณธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	103
81	ปริมาณธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
82	ปริมาณธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	104
83	ปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	105
84	ปริมาณธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	106
85	ปริมาณธาตุแบเรียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกอ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก	106
ภาพผนวกที่		
1	การ regression ของโปรแกรม ISIS 300	118
2	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุคูมิเนียม	122
3	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุซิลิกอน	122
4	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุฟอสฟอรัส	123
5	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุกลอรีน	123
6	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุโพแทสเซียม	124
7	กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแคลเซียม	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
8 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุไทเทเนียม	125
9 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุวานาเดียม	125
10 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุโครเมียม	126
11 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแมงกานีส	126
12 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุเหล็ก	127
13 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุนิกเกิล	127
14 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุสังกะสี	128
15 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุ จากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแบเรียม	128

การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง จังหวัด
นครศรีธรรมราช ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

Elemental Analysis of Sediment at Phak-Pa-Nang Bay, Nakhon Si Thammarat
Province by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

คำนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคทางนิวเคลียร์มาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักรวมถึงธาตุที่มีปริมาณน้อย ในตัวอย่างประเภทต่างๆหลายประเภท อาทิ ตัวอย่างทางธรณีวิทยา โบราณคดี ทางด้านชีวภาพ โลหะและวัสดุศาสตร์ ตลอดจนใช้สำหรับการพิสูจน์หลักฐานทางอาชญาวิทยาและตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม (Benyaich *et al.*, 1997) โดยวิธีการที่นิยมใช้ได้แก่ เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) เทคนิคการกระตุ้นด้วยนิวตรอน (Neutron Activation Analysis, NAA) และเทคนิค Proton Induced X-Ray Emission (PIXE) เป็นต้น โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์จะอาศัยโฟตอนกระตุ้นอะตอมให้เกิดรังสีเอกซ์และนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนเทคนิคการกระตุ้นด้วยนิวตรอนอาศัยนิวตรอนไปกระตุ้นนิวเคลียสของตัวอย่าง และต้องอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ สำหรับเทคนิค Proton Induced X-ray Emission นั้นจะอาศัยการเร่งอนุภาคและนำไปใช้ในการกระตุ้นให้เกิดเป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

ข้อได้เปรียบประการสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไป คือ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์นั้น นอกจากจะสามารถวิเคราะห์ธาตุหลายชนิดได้พร้อมกัน เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีที่มีความก้าวหน้าบางประเภทแล้ว ยังมีข้อได้เปรียบ คือ เป็นวิธีการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยแบบไม่ทำลายตัวอย่างตลอดจนไม่ต้องนำตัวอย่างไปผ่านการเตรียมด้วยวิธีทางเคมีทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ในเวลาอันสั้น

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาธาตุองค์ประกอบหลักและธาตุปริมาณน้อยด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ โดยนำตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม คือ ดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังที่จัดเก็บตามระดับความลึกมาใช้ในการศึกษาและหาเงื่อนไขที่ใช้การวิเคราะห์ เนื่องจากในดินตะกอนมักมีธาตุองค์ประกอบหรือเมทริกซ์ (matrix) ที่มีความซับซ้อน (La Tour, 1989) จำเป็นต้องหาวิธีการแก้ปัญหาที่จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ เพื่อให้เทคนิคในการวิเคราะห์นี้มี

ประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และผลของการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านธรณีสัณฐานได้ โดยสามารถที่จะนำผลการวิเคราะห์ไปพิจารณาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น หรือปัญหาที่อาจจะส่งผลกระทบต่อไปในอนาคตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการเรียงรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง โดยวิธีการปรับเทียบมาตรฐาน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ
2. เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของเทคนิคการเรียงรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นผลกระทบจากเมทริกซ์ของตัวอย่าง
3. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายตามระดับความลึกของธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

การตรวจเอกสาร

เทคนิคการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์

เทคนิคการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์นั้นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทางด้านสายงานต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ ทางด้านชีววิทยา ทางด้านธรณีวิทยา รวมทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งตัวอย่างของเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ที่เป็นที่นิยม ได้แก่ เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence Technique, XRF) เทคนิคการกระตุ้นด้วยนิวตรอน (Instrumental Neutron Activation Analysis, NAA) และเทคนิค Proton Induced X-Ray Emission (PIXE) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเชิงนิวเคลียร์เหล่านี้มีข้อได้เปรียบต่อการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีบางวิธี (La Tour, 1989) คือ

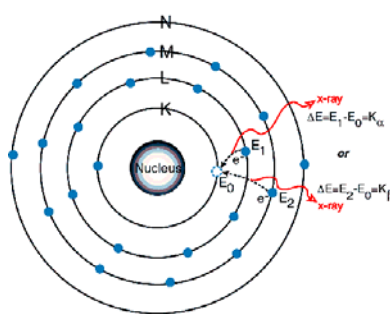
1. ไม่ทำลายตัวอย่างที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์
2. สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน
3. ใช้สารปริมาณเล็กน้อยในการวิเคราะห์
4. เทคนิคเชิงนิวเคลียร์เป็นวิธีที่มีความแม่นยำในระดับที่เชื่อถือได้ (Markovicz *et al.*, 2002)

เมื่อพิจารณาเทคนิคการวิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์ดังกล่าว เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์มีความได้เปรียบวิธีอื่นกล่าวคือ เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนามาให้ใช้งานได้ถึงขั้นนำไปวิเคราะห์ในภาคสนามได้ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์มีความแม่นยำและแก้ไข ง่าย ๆ ปัญหาต่าง ๆ ได้ ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการวิเคราะห์อื่น ๆ คือ เทคนิคการกระตุ้นด้วยนิวตรอน ต้องอาศัยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน ส่วนเทคนิค PIXE จำเป็นต้องใช้เครื่องเร่งอนุภาคร่วมด้วยในขณะทำการวิเคราะห์ ทั้ง 2 เทคนิคนี้ต้องอาศัยอุปกรณ์การวิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ ราคาสูงมาก และการทำงานของเครื่องต้องใช้คนผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญและมีประสบการณ์ จากข้อได้เปรียบนี้ทำให้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์สามารถใช้งานได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก (La Tour, 1989)

การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence)

การเรืองรังสีเอกซ์เกิดขึ้นจากการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับตัวกลาง ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ทำให้อิเล็กตรอนของตัวกลางนั้นหลุดออกไปจากวงโคจรของ

อิเล็กตรอนในชั้นนั้น และมีการแทนที่ของอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นถัดไป โดยเมื่อมีการแทนที่จะมีการคายพลังงานส่วนเกินออกมา ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่ารังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) ดังแสดงในภาพที่ 1 ในการที่จะกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุใด ๆ จะต้องใช้พลังงานกระตุ้นมากพอสำหรับการที่จะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนั้นหลุดออกไป โดยที่ค่าพลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นจะต้องมีค่าน้อยเท่ากับค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ของอิเล็กตรอนในชั้นของวงโคจรนั้น (Jenkins, 1999)



ภาพที่ 1 รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-Ray)

ระบบวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ

1. เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายคลื่น หรือ Wavelength Dispersive X – ray Fluorescence System (WDXRF)

ระบบ WDXRF นี้เป็นระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์ โดยอาศัยคุณสมบัติการเลี้ยวเบน (diffraction) และการแทรกสอด (interference) ของรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ผลึกเป็นตัวกระจายรังสีและจำแนกออกตามลำดับความยาวคลื่น ทำให้สามารถแยกรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างได้ (Jenkins, 1999)

2. เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน หรือ Energy Dispersive X – ray Fluorescence System (EDXRF)

ระบบ EDXRF เป็นระบบที่วิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากการที่ต้นกำเนิดรังสีทำอันตรกิริยากับธาตุเหล่านั้นในตัวอย่าง และปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา โดยแสดงผลออกมาในรูปกราฟ มีความสัมพันธ์ของความเข้มของรังสีเอกซ์กับค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ (Jenkins, 1999) สามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายชนิด ซึ่งโดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ

1. หัววัดรังสีประเภทกึ่งตัวนำ เช่น Si(Li) หรือ Ge(Li)
2. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง
3. ระบบหล่อเย็นของหัววัด ซึ่งเป็นไนโตรเจนเหลว
4. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ ใช้สำหรับกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ ในระบบการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานนิยมใช้เป็นหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งภายในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีลักษณะเป็นสุญญากาศ
5. วงจรวิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer, MCA) ทำหน้าที่ในการแยกพลังงานที่ตรวจวัดได้
6. ส่วนประมวลผล ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรม เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่อง เก็บข้อมูล และผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์แบบกระจายพลังงานมีต้นกำเนิดรังสีเอกซ์อยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบที่ใช้ไอโซโทปรังสีเป็นต้นกำเนิด และแบบที่ใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ เครื่องเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานนิยมใช้ต้นกำเนิดรังสีที่เป็นหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยที่ลักษณะของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ภายในหลอดเป็นสุญญากาศ ประกอบด้วยขั้วแคโทด และแอโนดที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งมีธาตุที่ใช้เป็นเป้าเคลือบอยู่ เช่น ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) ทังสเตน (W) เงิน (Ag) เป็นต้น เมื่อทำให้เส้นลวดที่ขั้วแคโทดร้อนจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา และอิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาขั้วแอโนด ชนกับเป้าทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ซึ่งส่งผลให้ทำให้เกิดรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์เฉพาะของธาตุที่เป็นเป้า (Jenkins, 1999) ซึ่งรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะทำอันตรกิริยากับธาตุในตัวอย่างและให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา หัววัดรังสีชนิดกึ่งตัวนำ Si(Li) จะเปลี่ยนรังสีเอกซ์เป็นประจุที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มของพลังงานของเอกซ์เรย์ และนำไปขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกนำไปประมวลผลโดยวงจร

วิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานและทำการเก็บสะสมค่าพลังงานเอาไว้มาแสดงผลอย่างต่อเนื่อง โดยแสดงออกมาในรูปแบบความเข้มรังสีกับจำนวนนับรังสีสะสมแต่ละช่องวิเคราะห์ นอกจากนี้ในการประมวลผลยังสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ซึ่งบอกถึงว่ามีธาตุชนิดใดบ้างอยู่ในตัวอย่าง และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ซึ่งบอกถึงปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่มีอยู่ในตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มารบกวนและมีผลต่อการวิเคราะห์ อาจทำให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากผลของสิ่งที่มาบรบกวนเหล่านี้ ซึ่งสิ่งทีรบกวนต่อการวิเคราะห์ที่สำคัญ (Siems, 2002) ได้แก่

1. Peak overlap เกิดจากการที่พีกของธาตุที่แตกต่างกันนั้นไม่สามารถที่จะทำการแยกออกจากธาตุที่สนใจในการวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์มาก หากทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีปริมาณมาก ๆ

2. Matrix effect เกิดจากรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ถูกดูดกลืน (absorbed) หรือเพิ่มให้มากขึ้น (enhanced) โดยธาตุอื่นในตัวอย่าง ก่อนสามารถตรวจวัดด้วยหัววัด ซึ่งในธาตุที่อยู่ที่อยู่ใกล้กันสามารถเกิดการรบกวนระหว่างกันได้

โดยในการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น จำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ให้ได้ผลที่ถูกต้องมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลที่เกิดขึ้นจากสิ่งที่มาบรบกวนนั้นเป็นสิ่งที่มาขัดขวาง ซึ่งจำเป็นต้องทำการแก้ไขหรือลดผลที่เกิดขึ้นนี้ โดยวิธีการแก้ไขมีดังนี้ คือ

1. Calibration standardization method

เป็นการวิเคราะห์ที่อาศัยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน และทำการสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และค่าความเข้มข้นของธาตุ ในการเปรียบเทียบด้วยวิธีนี้ ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ควรมีลักษณะใกล้เคียงกับสารมาตรฐาน เพื่อที่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

2. Thickness sample method

เป็นการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีความหนาเพียงพอ เพื่อป้องกันไม่ให้รังสีเอกซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถทะลุผ่านตัวอย่างและทำอันตรกิริยากับธาตุอื่น ๆ ภายนอกตัวอย่าง ซึ่งสามารถลดการเกิด absorption effect ที่ส่งผลกระทบในการวิเคราะห์

3. Thin film method

เป็นการวิเคราะห์ที่อาศัยการเตรียมตัวอย่างแผ่นฟิล์มบาง ๆ ทำให้ในการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของแต่ละธาตุนั้นรบกวนกันน้อยมาก ดังนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของธาตุนั้น ๆ

4. Matrix-dilution method

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่อาศัยการเติมสารที่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีเอกซ์ต่ำลงในสารมาตรฐานและตัวอย่าง เพื่อลดผลที่อาจเกิดขึ้นจาก matrix effect ทำให้ธาตุที่มีอยู่นั้นเจือจางลง และสามารถช่วยลดผลที่เกิดจาก absorption effect

5. Standard addition

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะทำการเติมธาตุที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (reference element) ลงในตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งธาตุที่เติมไปนั้นจะต้องเป็นธาตุเดียวกันกับธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์จะวัดความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์กับความเข้มข้นของธาตุที่เติมลงไป

6. Standardization with scattered X-ray

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างนั้น นอกจากที่ตัวอย่างจะให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวแล้ว ยังสามารถทำให้เกิดการกระเจิง (scatter) ได้ ซึ่งการกระเจิงนี้สามารถนำมาใช้ในการแก้ matrix effect

ได้ เนื่องจากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวและรังสีเอกซ์ที่กระเจิงมีผลต่อ total mass absorption coefficient ของตัวอย่างซึ่งเทคนิคนี้ใช้ได้กับตัวอย่างที่มีเลขอะตอมต่ำ

7. Internal standardization method

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการนี้ จะคล้ายกับวิธีการ standard addition แต่ในการเติมธาตุที่ทราบค่าจะเป็นการเติมธาตุที่มีเลขอะตอมสูงหรือต่ำกว่าธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณหนึ่งเลขอะตอม

การนำเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย

Benyaïch *et al.* (1997) ศึกษาความสามารถของวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Proton Induced X-ray Emission (PIXE) และเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ตะกอนทำการเปรียบเทียบกันทั้งสองวิธี ในการวิเคราะห์ใช้ความสามารถที่มีอยู่เดิมเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ เนื่องจากในดินตะกอนนั้นมีความซับซ้อน เนื่องจากมีธาตุองค์ประกอบมาก จากการทดลองพบว่า เทคนิค PIXE และ XRF สามารถที่จะนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่เทคนิค PIXE จะทำการวิเคราะห์ได้ดีในช่วงของธาตุเบา และเทคนิค XRF วิเคราะห์ได้ดีในช่วงของธาตุโซเดียมจนถึงยูเรเนียม

Yu *et al.* (2002) ทำการศึกษาข้อมูลของดินในเกาะฮ่องกง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาต้นกำเนิดของมลพิษทางอากาศและยังรวมถึงผลกระทบจากพายุฝุ่นบนเกาะ ตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิเคราะห์นำมาจากที่ต่างกัน ทำการวิเคราะห์ธาตุ 19 ธาตุ ได้แก่ โซเดียม อลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก โคบอลต์ โพแทสเซียม แคลเซียม นิกเกิล ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว รูบิเดียม สตรอนเตียม อิตเทรียม และเซอร์โคเนียม โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน พบว่าในดินบนเกาะฮ่องกงธาตุ เหล็ก และแคลเซียม มีความเข้มข้นต่ำ และค่าเฉลี่ย อลูมิเนียม แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 9.23 0.11 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองในอดีต พบว่าสามารถใช้ธาตุแคลเซียมเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณฝุ่นบนเกาะฮ่องกง

Barreto *et al.* (2002) วิเคราะห์ตัวอย่างดินและดินตะกอนจากบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำปาราวา (Parava) โดยเก็บตัวอย่างดินและดินตะกอนจากบริเวณใจกลางของพื้นที่ ทำการวิเคราะห์ธาตุโลหะในช่วงธาตุแมกนีเซียมจนถึงตะกั่ว ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานเพื่อเปรียบเทียบธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบ พบว่าธาตุเหล็ก สังกะสี และแกลเลียม ในดินตะกอนมีค่าสูงกว่าในดิน 3.29 4.32 และ 7.04 เท่า ตามลำดับ ส่วนธาตุรูบิเดียม และตะกั่ว มีค่าสูงมากกว่าในดินถึง 100 และ 1552 เท่า นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายของธาตุโดยตะกั่ว นั้นมาจากการพัดพาของน้ำซึ่งกัดกร่อนและชะล้างมาจากบริเวณอื่น

Holynska *et al.* (1998) ทำการศึกษาถ่านหินชนิดร่วน (peat) ทำการเก็บตัวอย่างความลึก 40 เซนติเมตร ที่บริเวณตอนใต้ของประเทศโปแลนด์ ตัดแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามระดับความลึก ส่วนละ 2 เซนติเมตร วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน พบว่าที่ระดับความลึก 36-38 เซนติเมตร มีความเข้มข้นของธาตุไทเทเนียม อลูมิเนียม ซิลิกอน และวานาเดียมสูง นอกจากนี้ยังพบว่าธาตุตะกั่ว สังกะสี และ อาร์เซนิก มีค่าความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน โดยการวิจัยนี้ยืนยันว่าเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานสามารถวิเคราะห์ธาตุได้หลายธาตุ และมีความแม่นยำ

Ayers *et al.* (2000) ใช้ดินตะกอนบริเวณพื้นที่ Naval Weapons Station Seal Beach Detachment Concord, California เพื่อใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นประเมินถึงอันตรายต่อระบบนิเวศและเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการพิจารณาการเคลื่อนย้ายโลหะหนักในพื้นที่ โดยอาศัยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ทำการวิเคราะห์ดินตะกอนตามระดับความลึก 0-10 นิ้ว วิเคราะห์ธาตุสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว อาร์เซนิก แคดเมียม และ ซิลิเนียม พบว่าเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของธาตุจะเพิ่มมากขึ้น และพบว่าการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสิ่งแวดล้อมได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

Osán *et al.* (2002) ศึกษาดินตะกอนบริเวณเหมืองร้างที่ประเทศโรมาเนีย โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เพื่อจำแนกถึงต้นกำเนิดของธาตุบริเวณเหมืองร้าง จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าดินตะกอนมีธาตุทองแดง สังกะสี และ ตะกั่ว เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และนอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงถึงค่าความเข้มข้นของธาตุเหล็กที่มีค่าสูง ชี้ให้เห็นว่าดินตะกอนบริเวณนั้นมีแร่ไพไรต์ (pyrite) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นผลมาจากหางแร่ที่ทิ้งบริเวณเหมืองร้าง

Stallard *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาดินตะกอนบริเวณอ่าว San Diego เพื่อประเมินถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์ โดยทำการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยในดินตะกอนและนำไปใช้ในการวางแผนสร้างแผนที่ จากการศึกษาพบว่า เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์สามารถวิเคราะห์ธาตุทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และ เหล็ก ได้ดีเช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma (ICP) นอกจากนี้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ยังเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง มีความแม่นยำ และมีประสิทธิภาพ

Küçükönder *et al.* (2003) ได้ทำการศึกษาถ่านหินลิกไนต์ (lignite) และ ตัวอย่างซีเมนต์ ของเมือง Manisa ประเทศตุรกี โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ซึ่งมี ^{241}Am เป็นต้นกำเนิดรังสี โดยการวิเคราะห์อาศัยวิธีการ standard addition เตรียมที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 50 และ 60 มิลลิกรัม และเตรียมตัวอย่างให้มีความหนาเพียงพอ เพื่อลดการรบกวนจาก absorption effect เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า ในถ่านหินลิกไนต์มีธาตุเหล็กและแบเรียมอยู่ 1.37 และ 0.28 ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักทั้งหมด ส่วนในซีเมนต์มีธาตุเหล็กและแบเรียม 2.14 และ 0.76 ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักทั้งหมด ซึ่งในการวิเคราะห์นี้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

Yan *et al.* (1998) ศึกษาธาตุหายาก (rare earth) โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานใช้หัววัดแบบ high-purity Ge ซึ่งมี ^{241}Am ต้นกำเนิดรังสี และใช้วงจรวิเคราะห์หลายช่องในการประมวลผล ทำการวิเคราะห์โดยธาตุหายากออกเป็น 3 กลุ่ม คือ light medium และ heavy ในการวิเคราะห์ทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจาก Compton scattering peak โดยอาศัยเทคนิค internal standard ทำให้สามารถวิเคราะห์ธาตุหายากในกลุ่ม light ได้ ส่วนธาตุในกลุ่ม medium และ heavy นั้นเนื่องจากใช้ ^{241}Am เป็นต้นกำเนิดรังสี ทำให้สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ธาตุหายากโดยใช้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวในระดับชั้น K ได้และลดการเกิด overlap ของพีคในระดับชั้น L ผลจากการวิเคราะห์นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ Inductively coupled plasma (ICP) พบว่ามีความแม่นยำในระดับใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังได้มีการนำเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจำพวกฝุ่นละอองในอากาศ โดยลิจิต (2546) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร และขนาดระหว่าง 2.5-10 ไมโครเมตร โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ตัวอย่างฝุ่นเก็บมาจากหมู่บ้านหัวฝาย จังหวัดลำปาง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ธาตุแมกนีเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม ซัลเฟอร์

คลอรีน และฟอสฟอรัส คือ Very Light Liquid สภาวะที่เหมาะสมสำหรับธาตุแคลเซียม คือ Liquid A ธาตุ สแกนเดียม ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม นิกเกิล และทองแดง คือ Liquid B ธาตุ แมงกานีส เหล็ก สารหนู โบรมีน ฟลูออรีน ซีเซียม แบเรียม และตะกั่ว คือ General Liquid และพบว่า ธาตุชนิดเดียวกันในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตรจะมีปริมาณต่ำกว่าฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมโครเมตร และเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานมีความแม่นยำและมีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

จเด็จ (2544) ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันบนกระดาษกรองด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ โดยใช้เหล็ก-55 เป็นต้นกำเนิดรังสี และระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวดักจับ พบว่าระบบวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันที่พัฒนาขึ้นสามารถลดการรบกวนจากรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอาร์กอนได้ โดยใช้ระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับแผ่นกระดาษกรองที่เหมาะสม ซึ่งขีดจำกัดของการวิเคราะห์ของระบบเท่ากับ 9.33 ไมโครกรัม โดยใช้เวลาในการวัด 3600 วินาที และระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการดักจับประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์

และยังได้มีการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างทางชีวภาพ จากการทดลองของวันวิสา (2548) ได้ศึกษาหาปริมาณและชนิดของธาตุองค์ประกอบหลักในหอยมุกน้ำจืด *Hyriopsis* (*Hyriopsis*) *bialatus* Simpson, 1900 และน้ำจากบึงบอระเพ็ด โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน พบว่าในหอยมุกน้ำจืดมีธาตุแมกนีเซียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง สังกะสี สตรอนเตียม และแบเรียม เป็นองค์ประกอบ และตัวอย่างน้ำจากบึงบอระเพ็ดให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน ในการศึกษาหาปริมาณของธาตุใช้วิธีการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน พบว่าปริมาณธาตุในแต่ละเดือนจะมีความแตกต่างกัน โดยมีค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้

จากงานวิจัยที่กล่าวมาเห็นได้ว่าวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ธาตุได้หลาย ๆ ธาตุ เหมือนกันในตัวอย่างไม่กี่ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถทำการวิเคราะห์ได้ถึงระดับหนึ่งในล้านส่วน (ppm) นอกจากนี้เมื่อคำนวณถึงค่าใช้จ่ายแล้วยังเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีอื่น (Benyaich *et al.*, 1997; Naval Facilities Engineering

Command, 2000) แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการเรืองรังสีเอกซ์นั้นยังมีปัญหาต่อการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อน เช่น ตัวอย่างจำพวก ดิน หรือ ตะกอน เนื่องจากตัวอย่างประเภทนี้มักจะมีความหลากหลายทางองค์ประกอบ

ดินตะกอน (sediment)

ดินตะกอน หมายถึง อนุภาคซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่อาจเกิดมาจากการพังทลายของหน้าดินหรือหิน ซึ่งถูกน้ำกัดเซาะและนอกจากนี้ยังสามารถรวมถึงสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะป็นของแข็งที่ถูกพัดพาและ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการทับถมลงบริเวณแหล่งน้ำนั้น เช่น พื้นที่ทะเล พื้นแม่น้ำ เป็นต้น ดินตะกอนนั้นอาจมีขนาดเล็กมาก ถ้าสิ่งที่ทับถมนั้นมีลักษณะเป็นสารอินทรีย์วัตถุ หรือสิ่งมีชีวิต เช่น ซากแพลงก์ตอนพืช ซากแพลงก์ตอนสัตว์ เป็นต้น แต่ดินตะกอนนั้นอาจมีขนาดใหญ่ได้ เช่น ดินตะกอนที่เป็นทรายหยาบ หรือกรวดหยาบ มักจะพบได้ในบริเวณชายฝั่ง ซึ่งเกิดจากการกัดเซาะพังทลายของหินหรือปะการัง เป็นต้น (จารูมาศ, 2548)

โดยทั่วไปภายในดินตะกอนต่าง ๆ นั้นสามารถที่จะพบสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันอาจเป็นวัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์เป็นผิวชั้นบนที่หุ้มห่อโลก มีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันไปในที่ต่าง ๆ ตามสภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ วัตถุดิบกำเนิด และประกอบไปด้วยสารอนินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของหินและแร่ ซึ่งอินทรีย์สารเหล่านี้ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน และอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ มีเหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียมและแมกนีเซียม ปนบ้างเล็กน้อย ธาตุเหล่านี้พบอยู่ในรูปแร่ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา แร่พวกเฟอโรโรแมกนีเซียนซิลิเกตและแร่ดิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ดินตะกอนแต่ละที่จะมีแร่ธาตุในดินในปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบกำเนิดเดิมของดิน

ดังที่กล่าวมาเห็นได้ว่าในดินตะกอนนั้นประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่มีความหลากหลาย ทำให้ภายในดินตะกอนนั้นมีธาตุองค์ประกอบอยู่มากมาย ซึ่งธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมายนี้ สามารถที่จะทำให้เกิดการรบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณของดินตะกอน โดยปกติจะมีที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่คือ

1. จากองค์ประกอบทางด้านเคมี คือ ธาตุต่าง ๆ ผลจากข้อนี้จะเกี่ยวกับการดูดกลืนรังสีและการปล่อยรังสีของธาตุต่าง ๆ
2. จากลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของผิวหน้า ขนาดของอนุภาค และความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

ซึ่งในการศึกษาดินตะกอนเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงนั้นมักจะเก็บตัวอย่างในแนวลึก โดยระดับความลึกของดินตะกอนที่มักทำการศึกษากันมี 2 ระดับ คือ ความลึกผิวดินไม่เกิน 10-15 เซนติเมตร และที่ระดับความลึกมากกว่านั้น โดยดินตะกอนที่อยู่บริเวณหน้าดินนั้นให้ความสำคัญในการศึกษาการแพร่กระจายตามแนวราบ หรือสมบัติของดินตะกอนที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน ส่วนดินตะกอนที่มีการวิเคราะห์ตามความลึกตั้งแต่หน้าดินลงไป หรืออาจจะลึกมากกว่า 15 เซนติเมตร จะให้ผลการศึกษาในส่วนของการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาจากอดีตมาจนถึงปัจจุบัน และยังสามารถชี้ระดับชั้นดินที่เกิดสภาวะมลพิษได้ ในดินตะกอนส่วนใหญ่ข้อมูลในการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่มักจะแสดงการลดลงแบบ exponential ตามแนวตั้ง (จารุมาศ, 2548)

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องเอกซเรย์แบบกระจายพลังงาน รุ่น ED2000 ของบริษัท Oxford และใช้โปรแกรม ISIS 300 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ตั้งแต่ โซเดียม จนถึง ยูเรเนียม และสามารถเลือกการวิเคราะห์ได้แบบสภาวะอากาศ สุญญากาศ และฮีเลียม โดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆในการวิเคราะห์ได้ เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและชนิดตัวกรองสัญญาณ (Oxford Instruments Industrial Analysis Group, 1995) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจวิเคราะห์ชนิดธาตุที่มีในตัวอย่างและเลือกชนิดของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณต่อไป ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกมาวิเคราะห์รวม 14 ธาตุ ได้แก่ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล สังกะสี และแบเรียม

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

2.1 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้สารมาตรฐานอ้างอิง

เป็นขั้นตอนการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ โดยทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขซึ่งมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ แตกต่างไปตามแต่ละเงื่อนไข (ตารางที่ 1) ในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุธาตุแต่ละธาตุ วิธีเปรียบเทียบกับชุดสารมาตรฐาน ในการเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาปริมาณของธาตุ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์และค่าความเข้มข้นของธาตุสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน การศึกษาครั้งนี้ใช้ชุดสารมาตรฐานอ้างอิง ซึ่งมีค่าความเข้มข้นดังแสดงในตารางที่ 2 ทำการตรวจสอบความแม่นยำของเงื่อนไขที่เลือก โดยปรับเงื่อนไขการวิเคราะห์ให้สามารถวิเคราะห์สารมาตรฐานได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ยอมรับได้ คือ ไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งจะถือว่าเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมและสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่อไป สำหรับการเลือกเงื่อนไขในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่สามารถเลือกใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเร่งรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน
ของบริษัท OXFORD รุ่น ED2000: ISIS 300

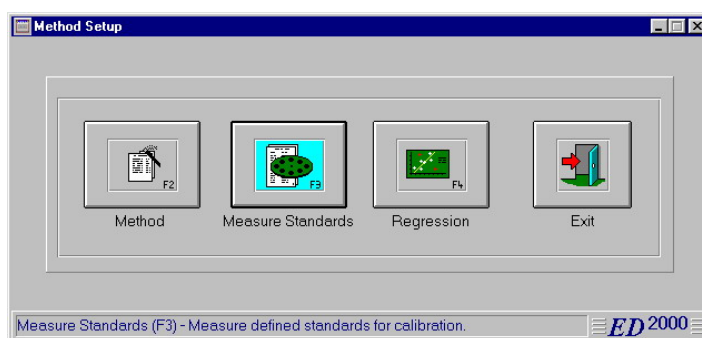
ชื่อเงื่อนไข	สภาวะ	Major	Trace	Tube Voltage	Filter
Very Light Element	Vac / He	Na – K	Mg – K	5 kV	None
Geological Major	Vac	Na – Fe Sn - Ba	P – Fe	10 kV	None
Solid or Liquids A	Vac / He / Air	S – V Sn – Ba	S – V Sn – Ba	12 kV	Thin Al
Steels or Liquids B	Vac / He / Air	Ca – Cu Sn – Ba	Ca – Cu Sn – Ba	15 kV	Thick Al
General	Vac / He / Air	Na – Mo Rh - U	Ca – Mo Sn - U	25 kV	4.5 mm aperture
Medium Elements	Vac / He / Air	Ca – Mo Ba - U	Ca – Mo Ba - U	35 kV	Thin Ag
Heavy element Traces	Vac / He / Air	-	Cu – Zr Ta - Bi	45 kV	Thick Ag
Vary Heavy Element	Vac / He / Air	Nb – Nd Th - U	Nb – Nd Th - U	50 kV	Thick Cu

หมายเหตุ filter 4.5 mm aperture คือ ฟิลเตอร์ที่มีช่องขนาด 4.5 มิลลิเมตร สำหรับปรับขนาดของลำ
รังสีเอกซ์ไปยังตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

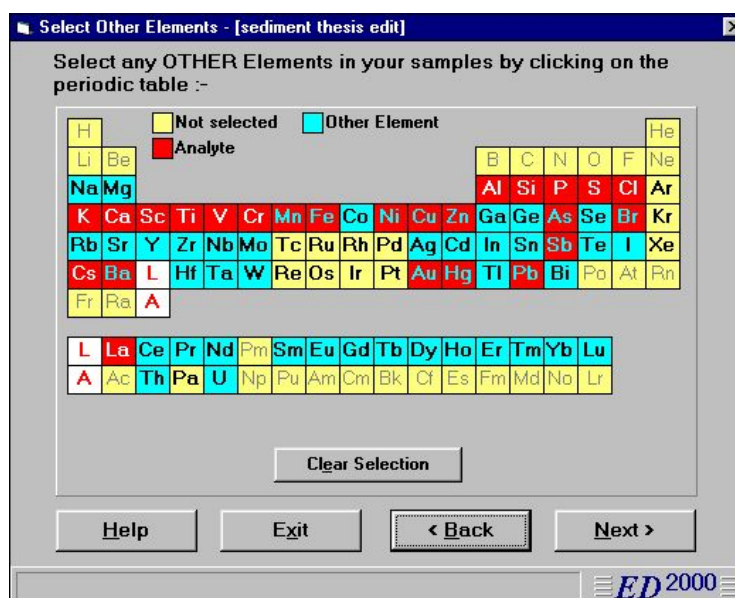
ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุองค์ประกอบในชุดสารมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์ดินตะกอน (Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, 1986;
National Institute of Standards & Technology, 2003)

Element	unit	GBW07401	GBW07402	GBW07403	GBW07404	GBW07405	GBW07406	GBW07407	GBW07408	NIST-SRM 2710
Al ₂ O ₃	%	14.18±0.08	10.31±0.05	12.24±0.05	23.45±0.11	21.58±0.09	21.23±0.09	29.26±0.20	11.92±0.08	6.44±0.08
SiO ₂	%	62.60±0.09	73.35±0.11	74.72±0.11	50.95±0.08	52.57±0.10	56.93±0.11	52.69±0.11	58.61±0.08	28.97±0.18
P	ppm	735±13	446±11	320±9	695±13	390±17	303±15	1150±19	775±12	1060±150
Cl	ppm	78	63	57	36	78	98	100	68	-
K ₂ O	%	2.59±0.02	2.54±0.02	3.04±0.02	1.03±0.03	1.50±0.02	1.70±0.03	0.20±0.01	2.42±0.02	2.11±0.11
CaO	%	1.72±0.03	2.36±0.02	1.27±0.02	0.26±0.02	0.095	0.22±0.01	0.16±0.016	8.27±0.06	1.25±0.03
Ti	ppm	0.483±0.007	0.271±0.003	0.224±0.004	1.080±0.014	0.629±0.009	0.439±0.005	2.020±0.023	0.380±0.005	0.283±0.01
V	ppm	86±2	62±2	36.5±1.1	247±6	166±4	130±3	245±8	81.4±1.8	76.6±2.3
Cr	ppm	62±2	47±2	32±2	370±6	118±3	75±2	410±9	68±2	39
Mn	ppm	1760±24	510±6	304±5	1420±30	1360±28	1450±32	1780±44	650±9	10100±400
Fe ₂ O ₃	%	5.19±0.01	3.52±0.03	2.00±0.02	10.30±0.05	12.62±0.08	8.09±0.06	18.76±0.16	4.48±0.02	3.38±0.1
Ni	ppm	21±0.6	16.3±0.4	11.4±0.4	40.5±0.1	144±3	390±6	97±2	24.3±0.5	14.3±1
Zn	ppm	680±11	42.3±1.2	31.4±1.1	210±5	494±11	96.6±2.4	142±5	68±2	6952±91
Ba	ppm	590±15	930±24	1210±30	213±10	296±12	118±6	180±12	480±11	707±51

2.1.1 จากโปรแกรมการวิเคราะห์ ISIS 300 ทำการเลือกรายการ Method Setup ดังภาพที่ 2 เลือกคำสั่ง Method เพื่อเข้าสู่การตั้งค่าต่างๆ สำหรับเงื่อนไขที่สร้างขึ้น ทำการใส่ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรม Isis 300 นี้ สามารถเลือกวิเคราะห์ในรูปแบบธาตุเดี่ยวหรือธาตุที่อยู่ในรูปของสารประกอบได้ โดยในขั้นตอนนี้สามารถเลือกลักษณะการวิเคราะห์ของธาตุแต่ละตัวได้ เช่น Analyte, Other element และ Not selected แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 หน้าจอรายการ Method Setup

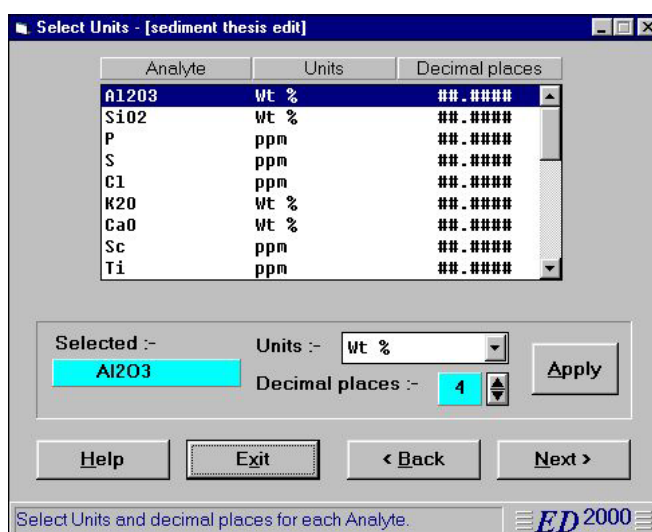


ภาพที่ 3 การเลือกธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

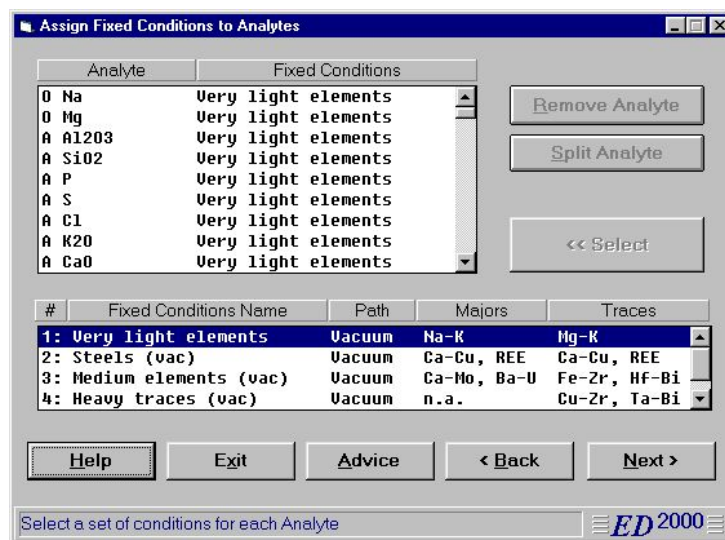
2.1.2 ทำการเลือกหน่วยของการวิเคราะห์ให้แก่ธาตุแต่ละธาตุ ซึ่งโปรแกรม ISIS 300 มีหน่วยการวิเคราะห์ให้เลือกได้แก่ ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ร้อยละโดยน้ำหนัก (%Wt) และ ไมโครกรัมต่อกรัม ($\mu\text{g/g}$) ดังภาพที่ 4 จากนั้นทำการเลือกเงื่อนไขในการวิเคราะห์ให้แก่ธาตุแต่ละตัวที่ต้องการวิเคราะห์ โดยธาตุแต่ละธาตุจะสามารถเลือกได้เพียง 1 เงื่อนไขการวิเคราะห์เท่านั้น

2.1.3 ภายหลังจากทำการเลือกเงื่อนไขให้แก่ธาตุแล้ว (ภาพที่ 5) จะต้องทำการกำหนดค่ากระแสที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเงื่อนไขการวิเคราะห์นั้นๆ ซึ่งสามารถตั้งค่าได้โดยผู้ใช้หรือค่าที่ตั้งโดยโปรแกรม(ภาพที่ 6)

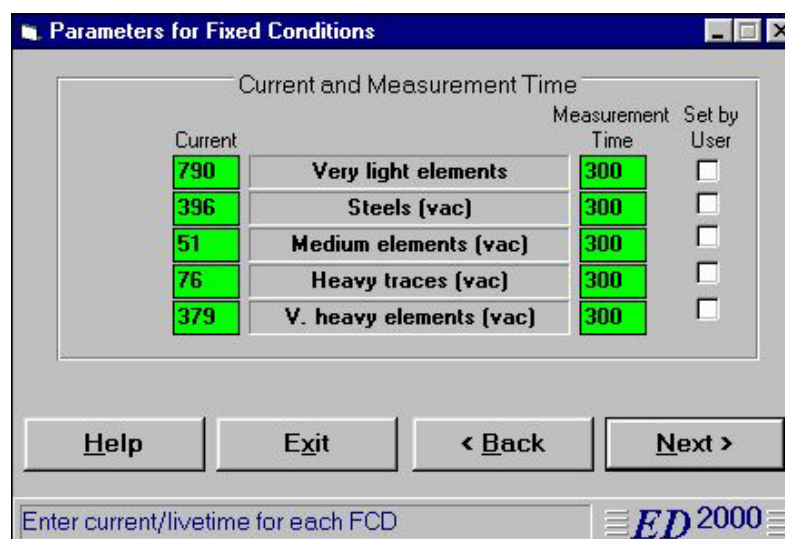
2.1.4 ทำการเลือกระดับชั้นพลังงานของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 7 และเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายที่โปรแกรม ISIS 300 จะแสดงการสรุปขั้นตอนการสร้างเงื่อนไข และสามารถที่จะเลือกลักษณะของการแสดงผลภายหลังการวิเคราะห์ และเลือกบันทึกเงื่อนไข ที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับชุดสารมาตรฐานต่อไป (ภาพที่ 8)



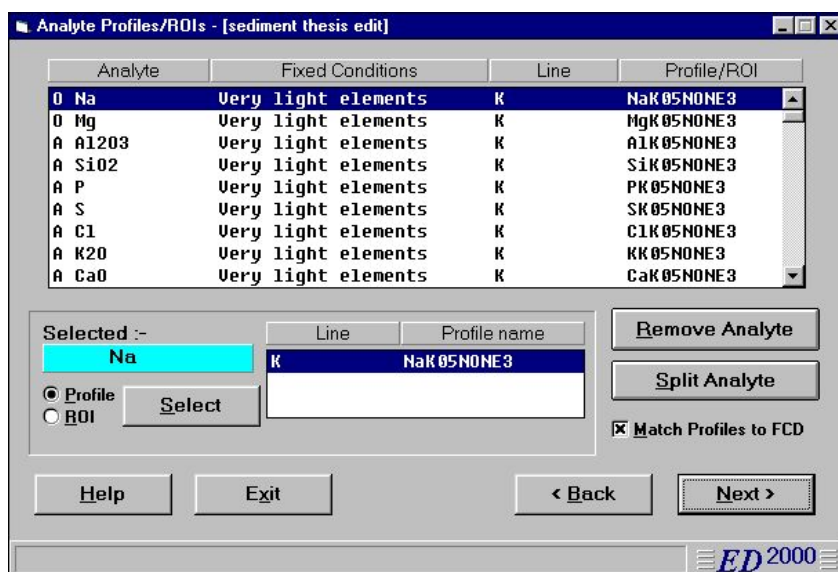
ภาพที่ 4 การเลือกหน่วยของผลการวิเคราะห์เมื่อใช้โปรแกรม ISIS 300



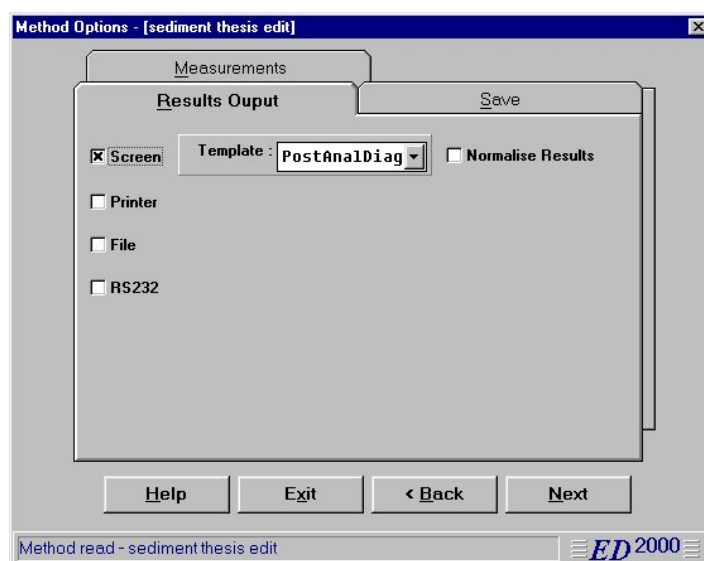
ภาพที่ 5 การกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์แก๊สธาตุ



ภาพที่ 6 การกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุเอกซเรย์และระยะเวลาในการวิเคราะห์



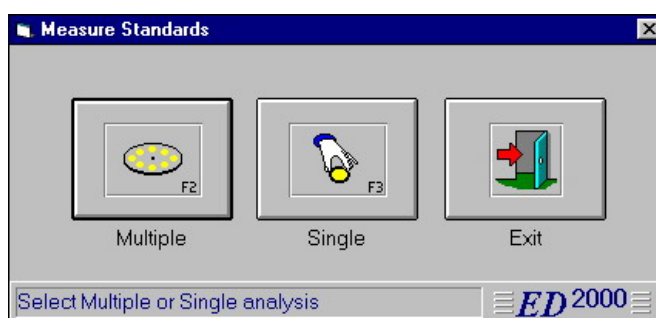
ภาพที่ 7 การกำหนดระดับชั้นพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์



ภาพที่ 8 การเลือกลักษณะการแสดงผลภายหลังการวิเคราะห์

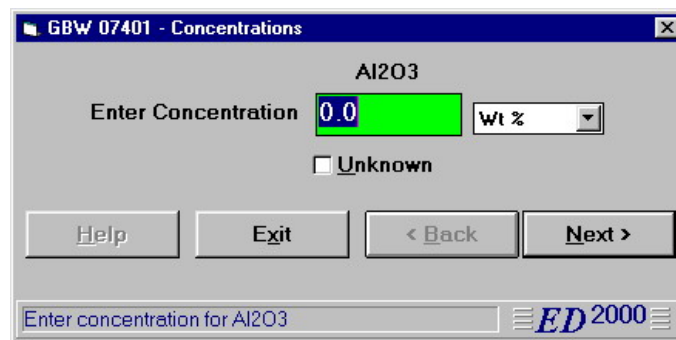
2.2 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ที่สร้างด้วยชุดสารมาตรฐาน

2.2.1 เลือกรายการ Measure Standards จากหน้าจอ Method Setup ทำการเลือกเงื่อนไขที่สร้างขึ้น จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลในส่วนของการวิเคราะห์สารมาตรฐาน โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบ Multiple และ Single ดังภาพที่ 9

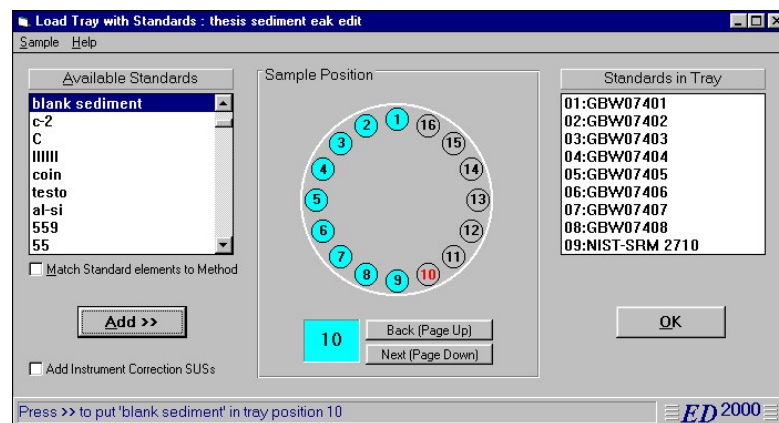


ภาพที่ 9 รูปแบบการวิเคราะห์ที่สามารถเลือกใช้ได้

2.2.2 เมื่อทำการเลือกแล้วหน้าจอจะแสดงถึงเงื่อนไข และในส่วนนี้สามารถใส่ชื่อของสารมาตรฐาน โดยมีให้เลือกใช้ 2 ลักษณะ คือ Add และ New แล้วเข้าสู่การใส่ค่าของปริมาณธาตุในชุดสารมาตรฐานแต่ละชุดเพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบ โดยเรียงตามธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 10 เมื่อใส่ค่าปริมาณธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ให้แก่ชุดสารมาตรฐานจนครบทุกธาตุ โปรแกรมจะให้เลือกชุดสารมาตรฐานที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อนำไปเปรียบเทียบใส่ในตำแหน่งวางตัวอย่างของโปรแกรม เพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่การเปรียบเทียบ (ภาพที่ 11) เลือก start เพื่อเริ่มการเปรียบเทียบ



ภาพที่ 10 การใส่ปริมาณธาตุของสารมาตรฐานแต่ละชุด



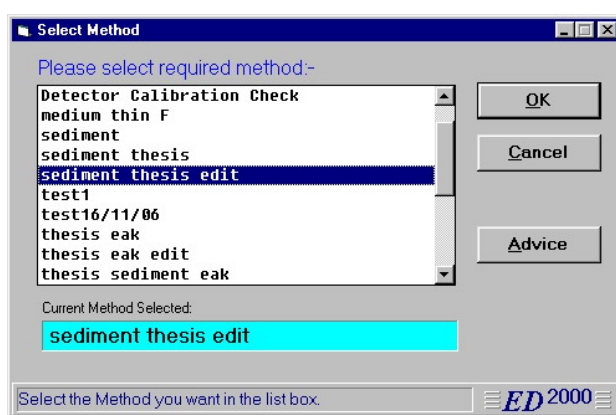
ภาพที่ 11 การเลือกสารมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการปรับเทียบเงื่อนไขที่สร้างขึ้น

2.3 ขั้นตอนการทำการกราฟความถดถอย (Regression)

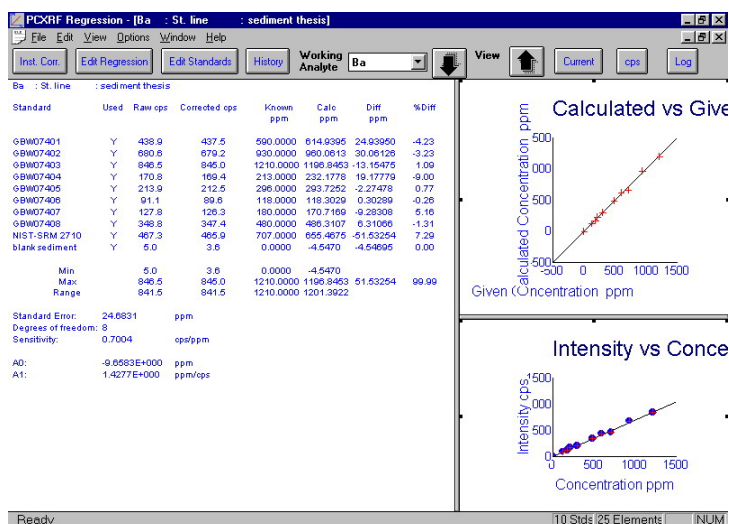
การ Regression คือการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของข้อมูลบนเส้นกราฟมาตรฐาน เช่น ค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งถ้ามีการเบี่ยงเบนของข้อมูลน้อยเราสามารถสรุปได้ว่า เส้นกราฟมาตรฐานนั้นเป็น เส้นกราฟมาตรฐานที่ดีโดยเป็นไปตามชุดสารมาตรฐาน โดยเมื่อทำการปรับเทียบด้วยสารมาตรฐาน จะต้องทำการทำ regression เพื่อสร้างกราฟสำหรับการปรับเทียบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.3.1 เลือกรายการ Regression จากหน้าจอ Method Setup เลือกเงื่อนไขที่สร้างขึ้นและผ่านการปรับเทียบด้วยชุดสารมาตรฐาน (ภาพที่ 12)

2.3.2 โปรแกรมจะประมวลผลแสดงออกมาในรูปของกราฟที่ได้จากการปรับเทียบระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่ใส่ลงในเงื่อนไข สามารถทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานได้ในขั้นตอนนี้ ดังแสดงในภาพที่ 13 เมื่อแก้ไขกราฟเสร็จทำการบันทึก และนำไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างต่อไปได้



ภาพที่ 12 การเลือกเงื่อนไขสำหรับการทำ regression



ภาพที่ 13 หน้าจอแสดงกราฟที่ได้จากการปรับเทียบด้วยชุดสารมาตรฐาน

3. การวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน

เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสม จึงเตรียมตัวอย่างดินตะกอนเพื่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยตัวอย่างดินตะกอนที่นำมาใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาเป็นดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งตัวอย่างได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างในแนวดิ่งมีความลึก 40 เซนติเมตร และตัดแบ่งเป็นชั้นหนา ชั้นละ 5 เซนติเมตร บรรจุใส่ถุงซิปล็อคและแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำกลับมาศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยนำตัวอย่างดินตะกอนมาอบไล่ความชื้นให้แห้งด้วยตู้อบความร้อน CONTHERM รุ่น series five ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อตัวอย่างดินตะกอนแห้งแล้วนำไปบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินตะกอนขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร ผสมกับกรดบอริก (H_2BO_3) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง GY-RO Mill รุ่น 2-TDA 71-MR แล้วนำตัวอย่างไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดตัวอย่างด้วยความดัน ENERDAC รุ่น CE99 (MAX10000PSI/700BAR) ที่ความดัน 5000 psi เป็นระยะเวลา 1 นาที เช่นเดียวกับการเตรียมชุดสารมาตรฐานดิน เพื่อให้พร้อมที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป

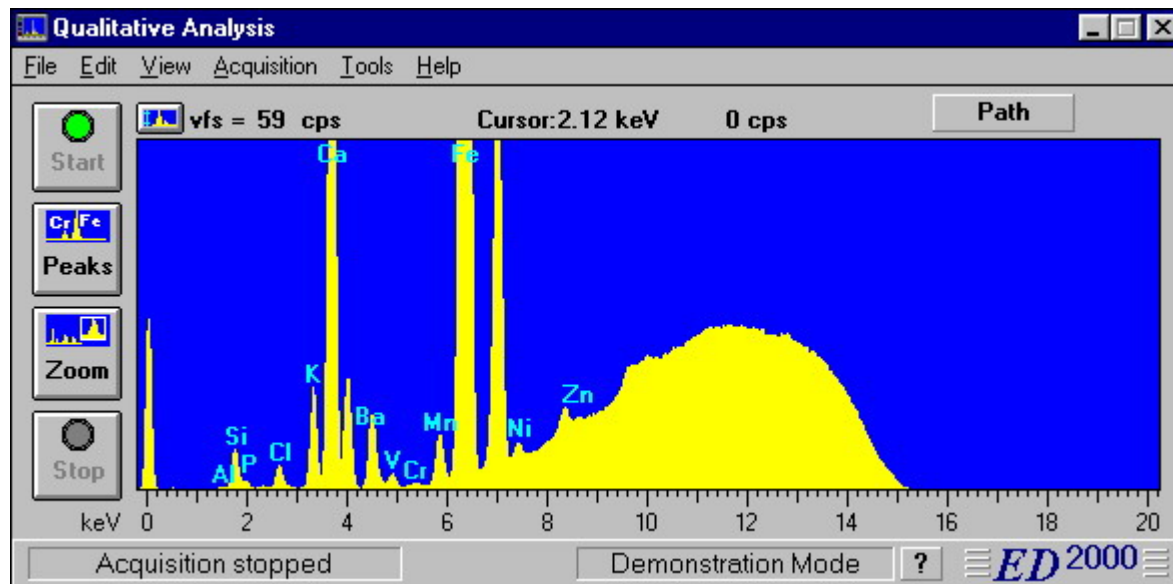
ผลและวิจารณ์

ผลการทดลอง

1. การศึกษาชนิดของธาตุองค์ประกอบและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

1.1 ชนิดของธาตุองค์ประกอบในดินตะกอน

ตัวอย่างดินตะกอนที่ใช้ในการศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน โดยอาศัยโปรแกรม ISIS 300 ในระบบการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่าสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ 14 ธาตุ คือ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล สังกะสี และแบเรียม ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 สเปกตรัมของธาตุในตัวอย่างดินตะกอนจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

1.2 เงื่อนไขที่เหมาะสมของการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนนี้ ได้ทดลองเลือกใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ในโปรแกรม ISIS 300 มาใช้ในการวิเคราะห์ และเมื่อนำเงื่อนไขที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอน พบว่า สามารถวิเคราะห์ได้ 14 ธาตุ คือ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล สังกะสี และแบเรียม โดยธาตุชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการวิเคราะห์ได้กำหนดให้เป็น Other element เพื่อลดการรบกวนจากธาตุเหล่านั้น และทำการวิเคราะห์ในสภาวะสุญญากาศ เพื่อลดการรบกวนจากธาตุที่มีอยู่ในอากาศ เช่น อาร์กอน ซึ่งเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้แก่

1.2.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Very light element ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 5 kV ไม่มีตัวกรองสัญญาณ และมีค่าพลังงาน 10 keV สำหรับวิเคราะห์ธาตุ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม และแคลเซียม

1.2.2 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Steel ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 15 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นอลูมิเนียมหนา และมีค่าพลังงาน 20 keV สำหรับวิเคราะห์ธาตุ ไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส และเหล็ก

1.2.3 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Medium ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 35 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นแผ่นเงินแบบบาง และมีค่าพลังงาน 40 keV สำหรับวิเคราะห์ธาตุนิกเกิล และสังกะสี

1.2.4 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Very heavy element ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 50 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นแผ่นทองแดงแบบหนา และมีค่าพลังงาน 40 keV สำหรับวิเคราะห์ธาตุแบเรียม

1.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ชุดสารมาตรฐานดิน

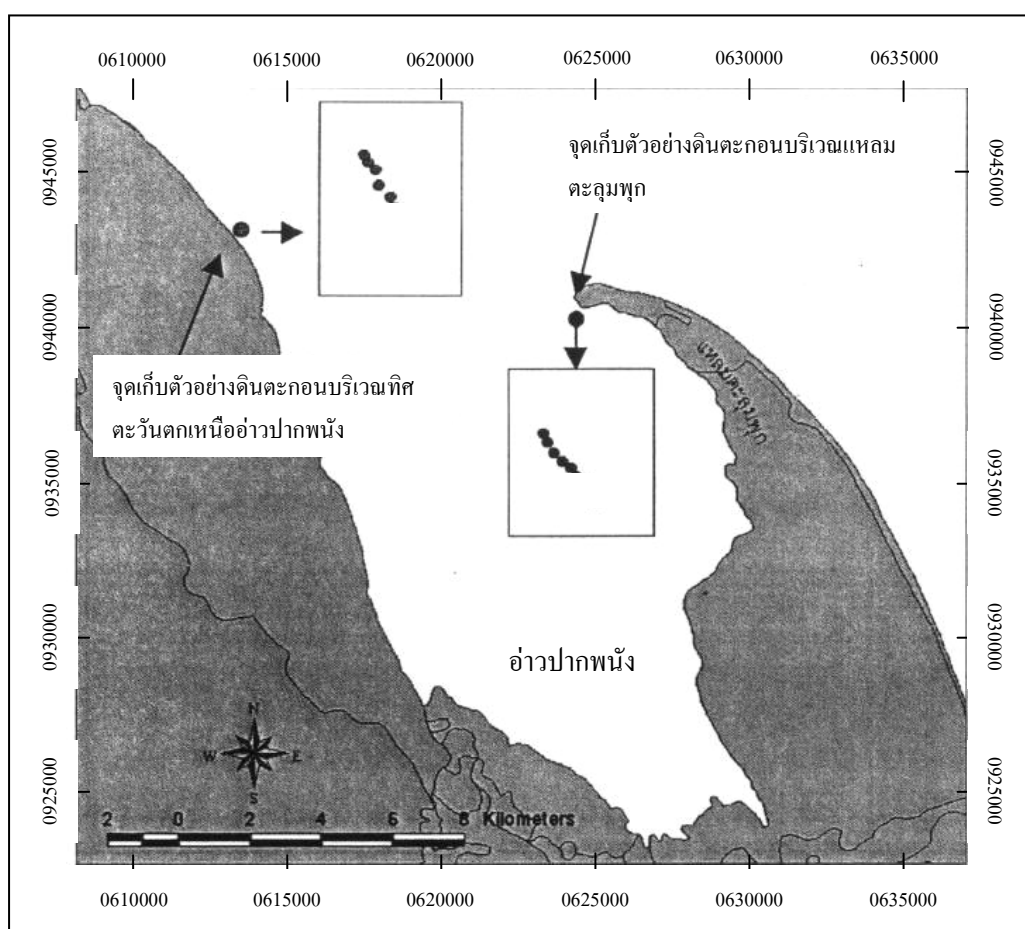
เมื่อทำการเลือกชุดสารมาตรฐานดินให้ครอบคลุมชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิด และปรับเทียบด้วยชุดสารมาตรฐานดินแล้ว โปรแกรม ISIS 300 สามารถที่จะสร้างกราฟปรับเทียบมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ 1) และสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ให้ได้อีกด้วย โดยที่แต่ละธาตุมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับชุดมาตรฐานดิน ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางผนวกที่ 12

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ธาตุในชุดสารมาตรฐานดิน

ธาตุ	Unit	เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์	ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)
อลูมิเนียม (Al)	%wt	Very light element	±1.02
ซิลิกอน (Si)	%wt	Very light element	±1.25
ฟอสฟอรัส (P)	ppm	Very light element	±65.20
คลอรีน (Cl)	ppm	Very light element	±5.52
โพแทสเซียม (K)	%wt	Very light element	±0.09
แคลเซียม (Ca)	%wt	Very light element	±0.04
ไทเทเนียม (Ti)	ppm	Steel	±0.02
วานาเดียม (V)	ppm	Steel	±7.08
โครเมียม (Cr)	ppm	Steel	±10.09
แมงกานีส (Mn)	ppm	Steel	±113.93
เหล็ก (Fe)	%wt	Steel	±0.39
นิกเกิล (Ni)	ppm	Medium	±2.97
สังกะสี (Zn)	ppm	Medium	±35.03
แบเรียม (Ba)	ppm	Very heavy element	±33.62

2. ผลการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบที่ระดับความลึกต่างๆ จากดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

ในส่วนของการนำเงื่อนไขที่ผ่านการปรับเทียบมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ใช้ตัวอย่างดินตะกอนจากบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง รวม 10 จุดเก็บตัวอย่าง โดยตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างได้แสดงไว้ในภาพที่ 15 และตารางที่ 4



ภาพที่ 15 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

ตารางที่ 4 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนือ
อ่าวปากพนัง

ตำแหน่ง	พิกัดจุดเก็บ
แหลมตะลุมพุก 4 (laem4)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0624239,y=0940918))
แหลมตะลุมพุก 5 (laem5)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0624236,y=0940923))
แหลมตะลุมพุก 6 (laem6)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0624232,y=0940923))
แหลมตะลุมพุก 7 (laem7)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0624229,y=0940925))
แหลมตะลุมพุก 8 (laem8)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0624227,y=0940925))
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 (tt4)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0614462,y=0943227))
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5 (tt5)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0614459,y=0943231))
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 6 (tt6)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0614459,y=0943236))
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (tt7)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0614455,y=094328))
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (tt8)	Z(พิกัดจุดเก็บ(x=0614453,y=094340))

2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในดินตะกอนที่เก็บจากบริเวณแหลมตะลุมพุกตามระดับความลึก ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่าง มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1. อลูมิเนียม

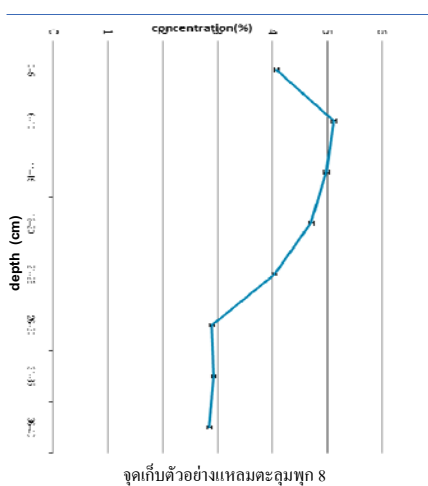
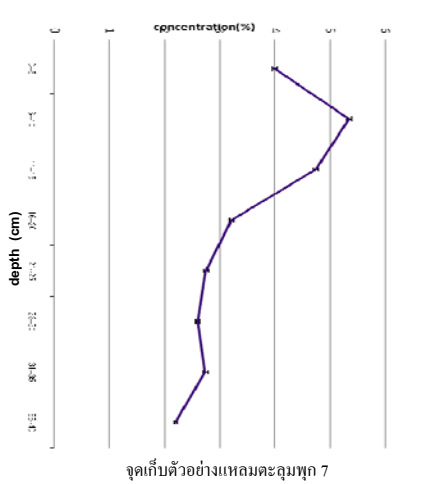
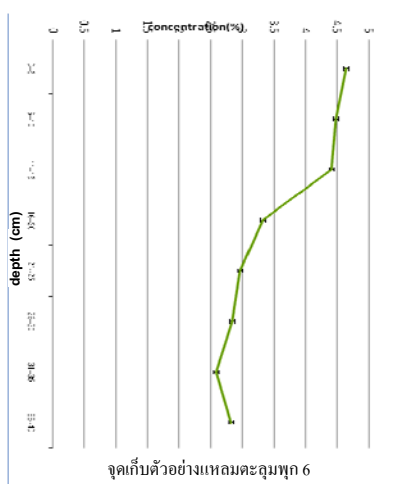
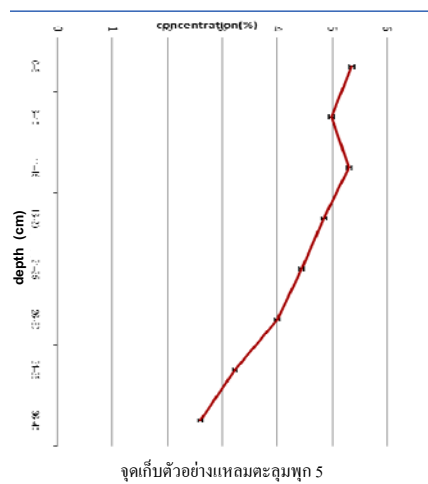
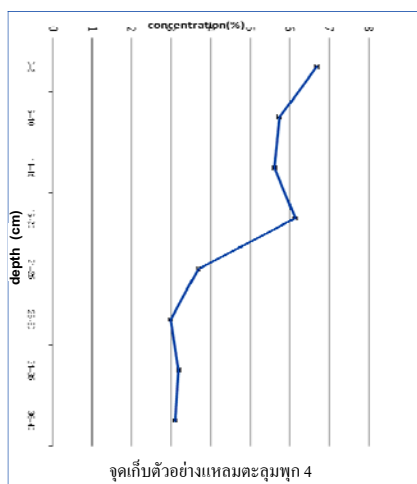
ปริมาณธาตุอลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 16 โดยดินตะกอนจากจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 มีปริมาณของธาตุมากที่สุดซึ่งค่าสูงที่สุดอยู่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.6783 โดยน้ำหนัก และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 คือ ร้อยละ 2.1964 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 17)

2. ซิลิกอน

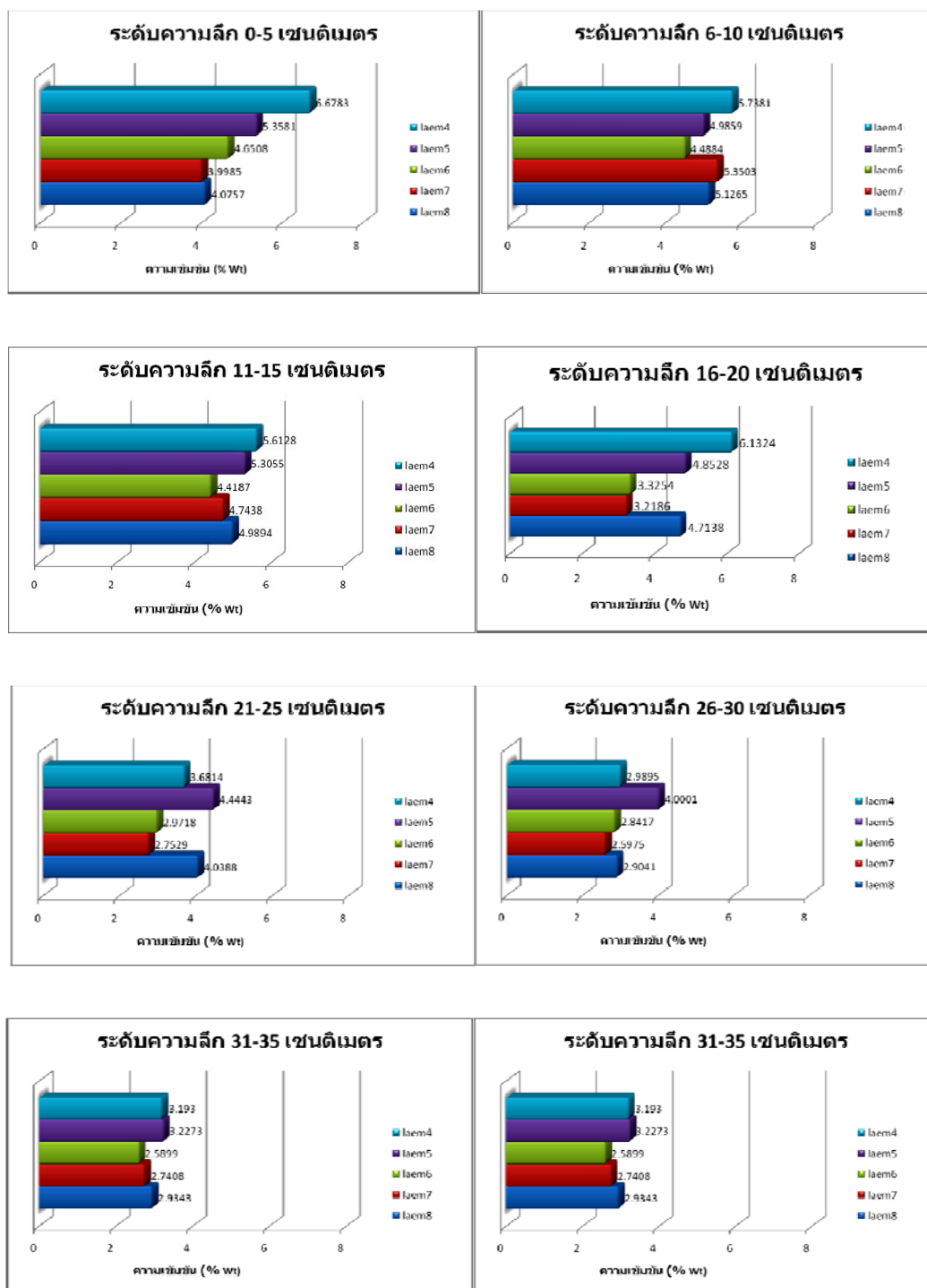
ธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด และเมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของธาตุค่อนข้างคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงมาก (ภาพที่ 18) ยกเว้นจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 ที่ระดับความลึก 16-20 เซนติเมตร ที่มีความแตกต่างจากระดับความลึกอื่น ๆ โดยพบธาตุนี้มากที่สุดที่จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 โดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 72.5658 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณธาตุต่ำสุดที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 คือร้อยละ 48.4251 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 19

3. ฟอสฟอรัส

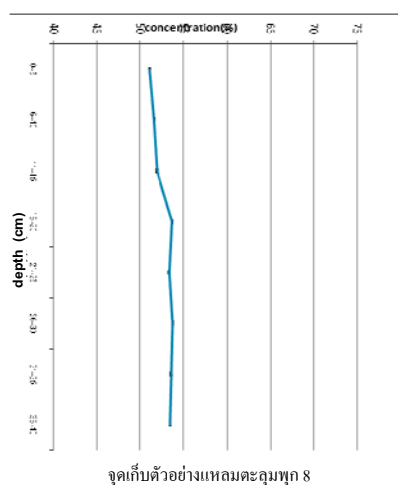
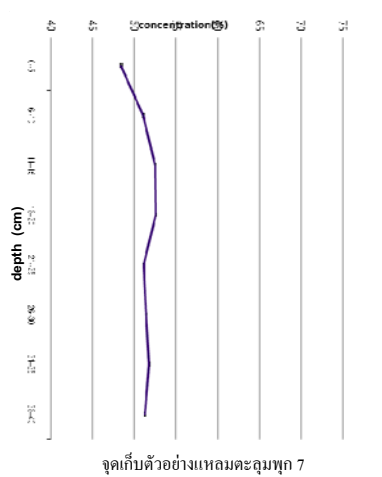
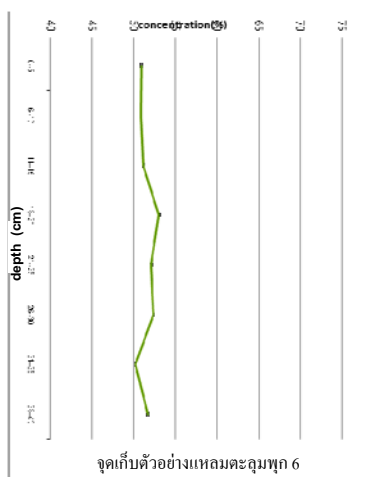
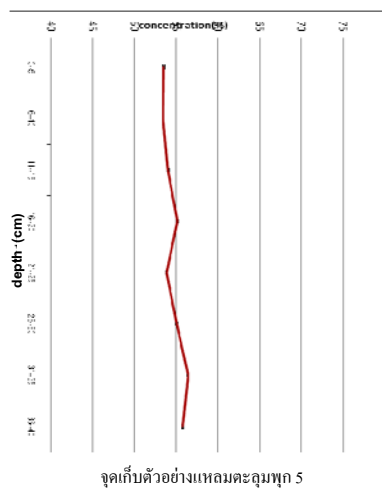
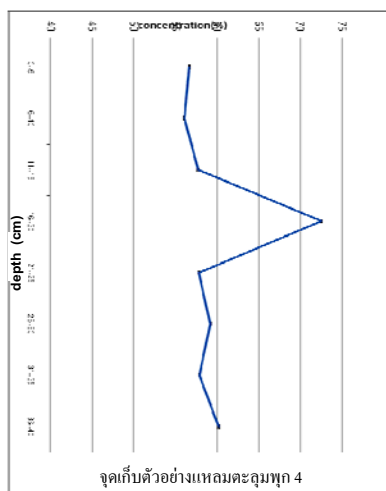
ในส่วน of ธาตุฟอสฟอรัส บริเวณแหลมตะลุมพุกนั้น จากการวิเคราะห์พบว่าเป็นธาตุที่มีปริมาณธาตุเปลี่ยนไปทุกระดับความลึก (ภาพที่ 20) โดยที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 8 ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร มีปริมาณของธาตุมากที่สุด คือ 354.5510 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 21



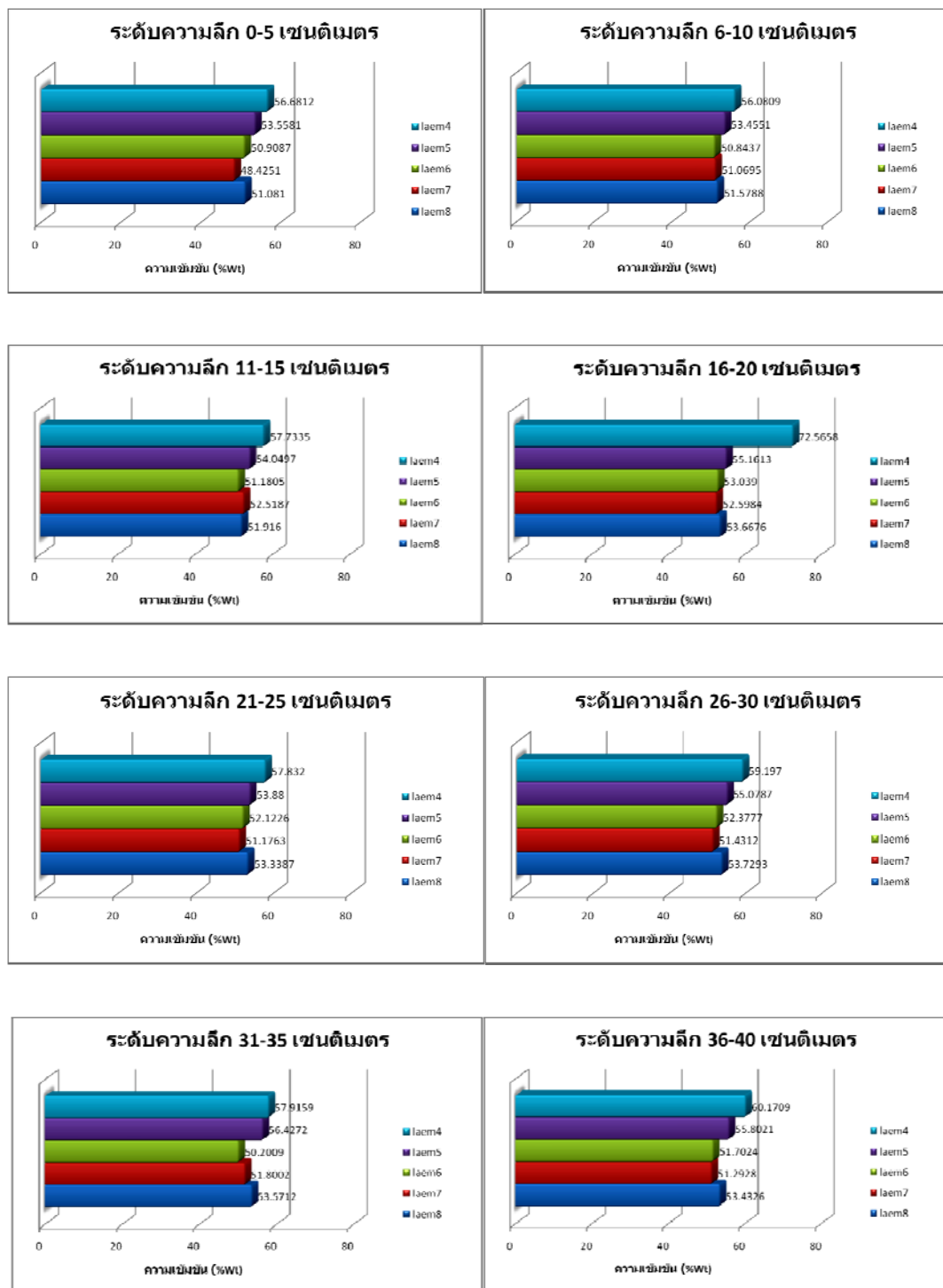
ภาพที่ 16 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุลุมิเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



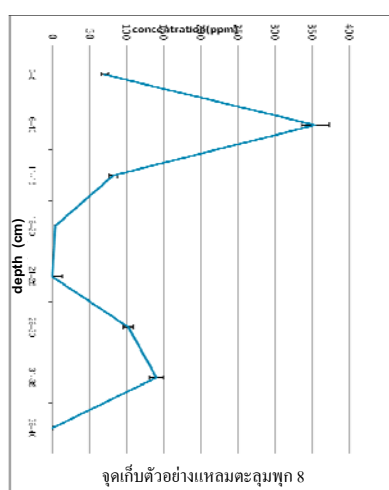
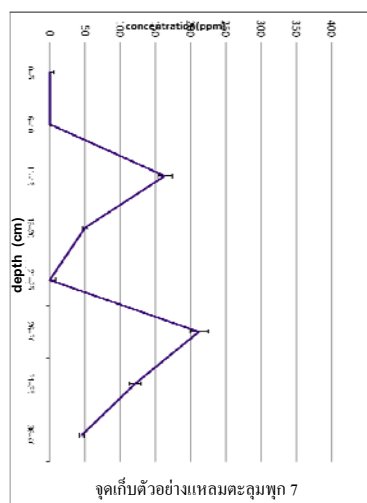
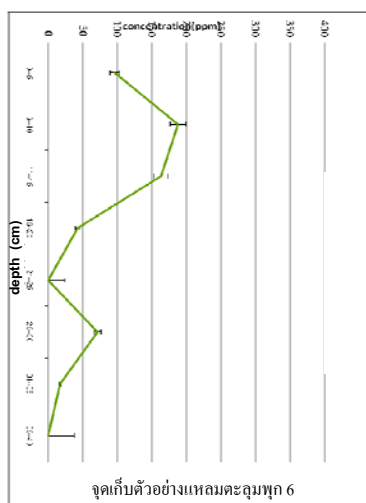
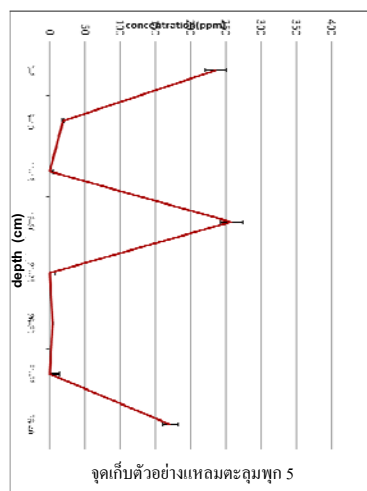
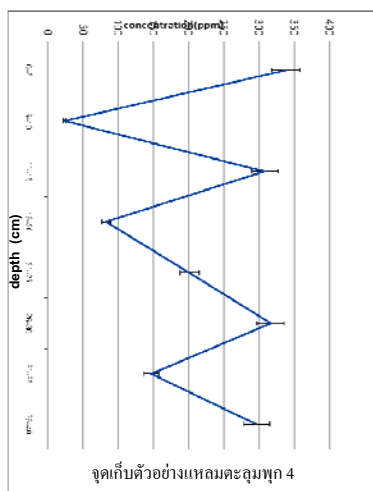
ภาพที่ 17 ปริมาณธาตุลุ่มนิยมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดิน
ตะกอน



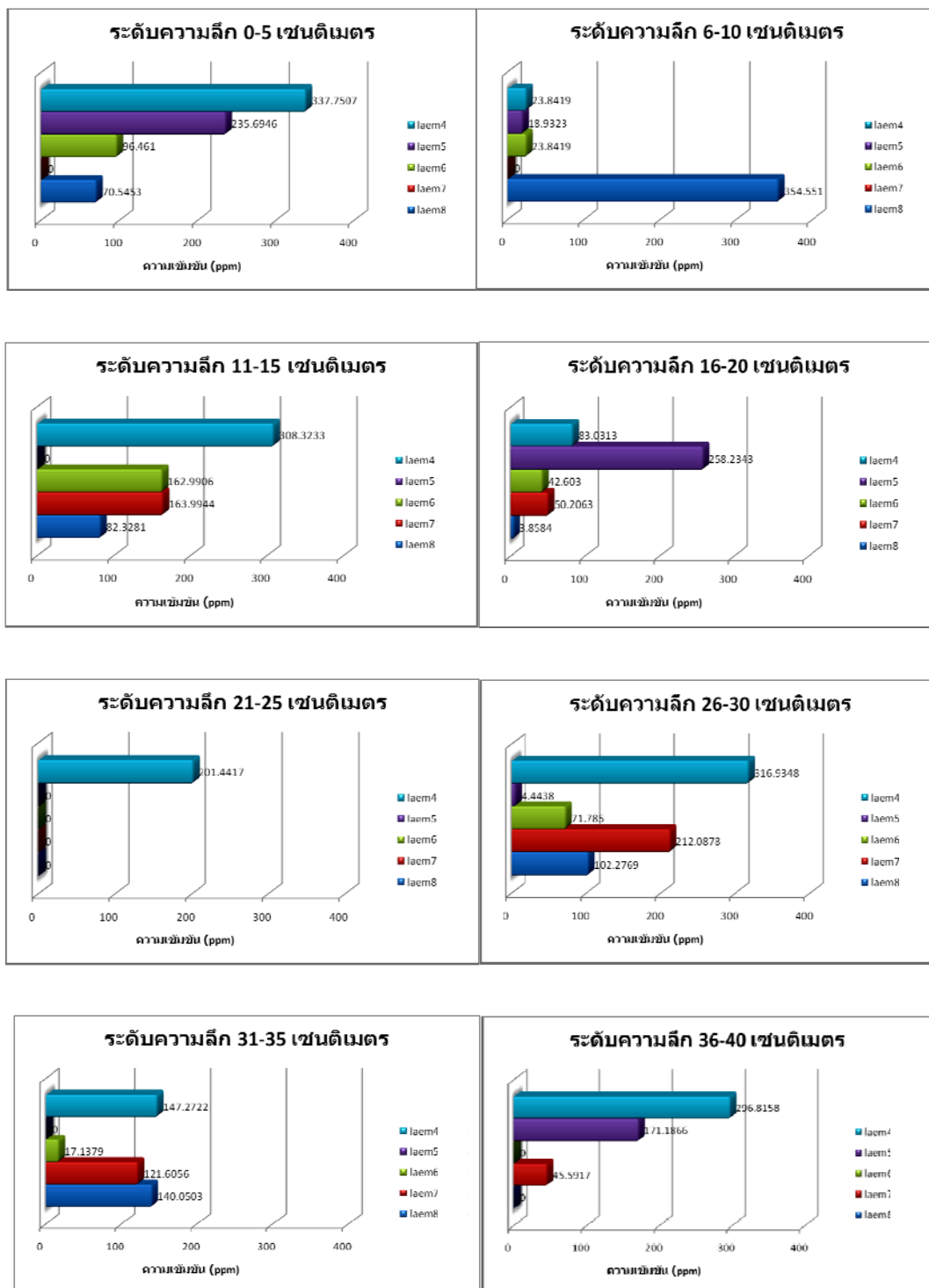
ภาพที่ 18 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุซีลีกอนในดินตะกอนบริเวณแผลมตะลุมฟูก



ภาพที่ 19 ปริมาณธาตุซิลิกอนในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 20 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะดุมพุท



ภาพที่ 21 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ
ชั้นดินตะกอน

4. คลอรีน

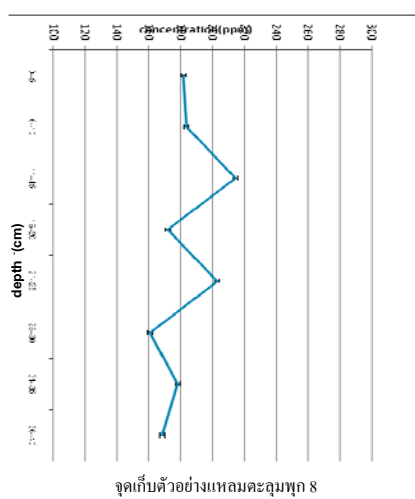
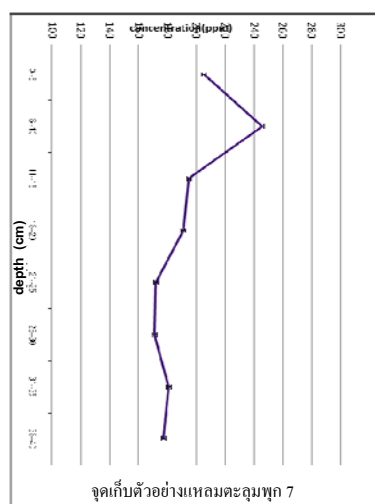
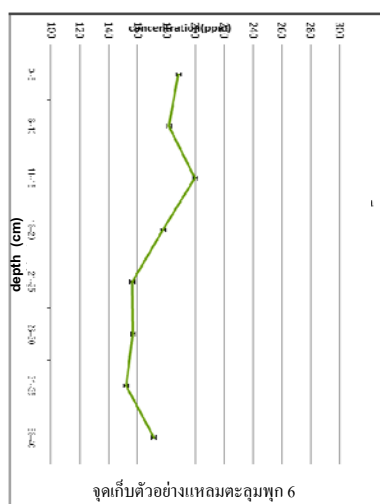
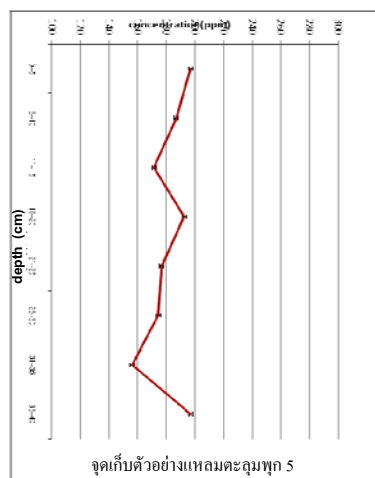
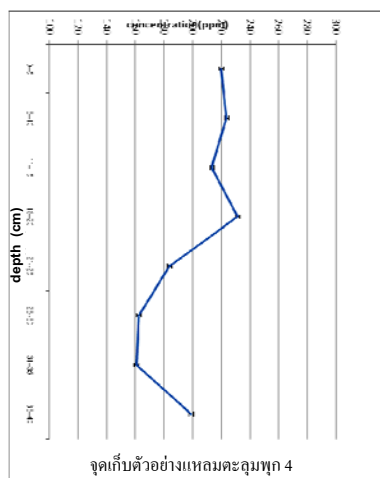
ผลการวิเคราะห์ธาตุคลอรีนบริเวณแหลมตะลุมพุกทั้ง 5 จุด พบว่ามีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 22) โดยจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุมากที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 มีค่าเท่ากับ 245.7306 ส่วนต่อล้านส่วน และปริมาณธาตุต่ำสุดอยู่ที่จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 6 ที่ระดับความลึก 31-35 เซนติเมตร คือ 152.2749 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 23)

5. โพแทสเซียม

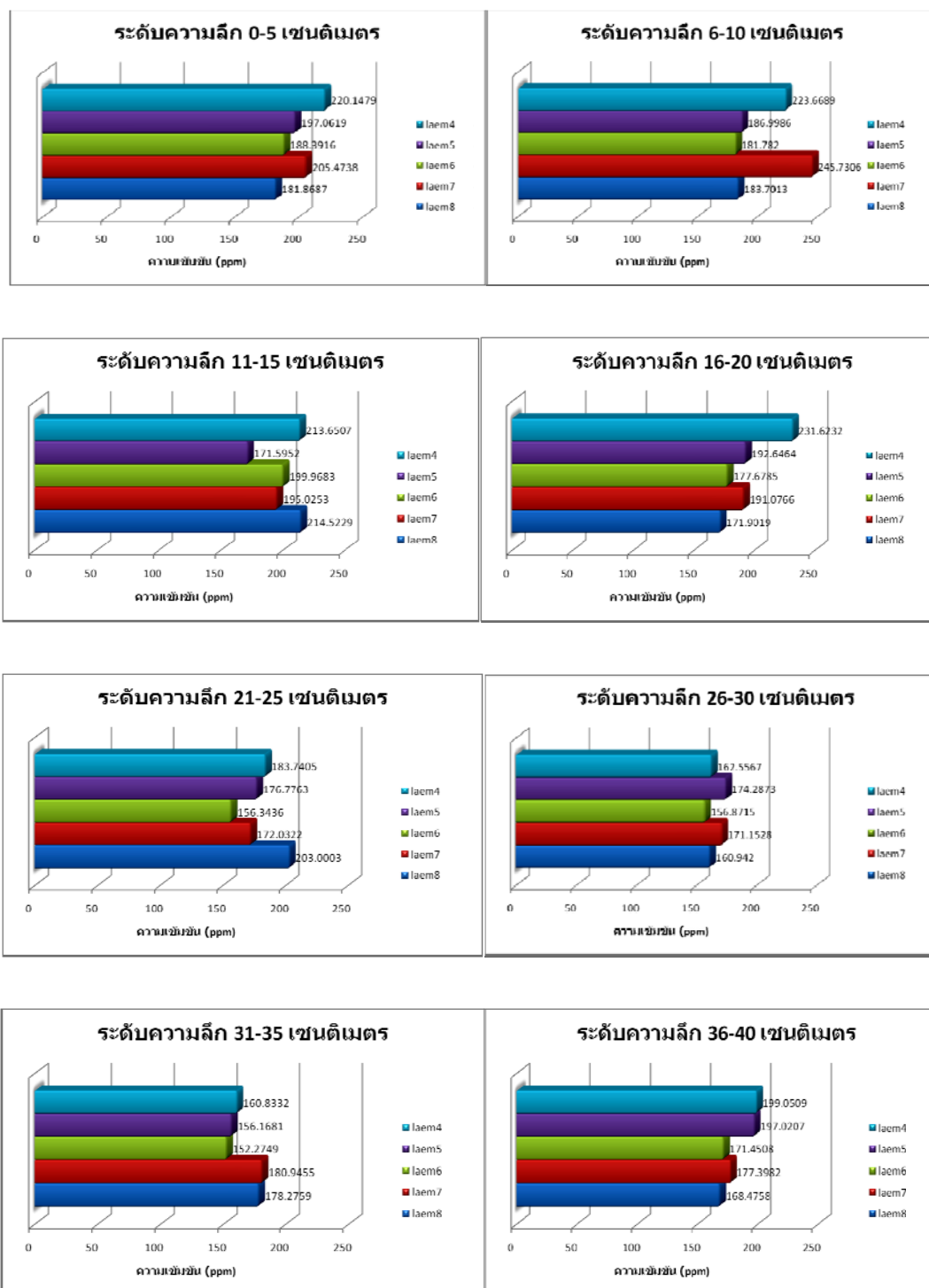
การวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียม ที่บริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณของธาตุมีความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่ยังแสดงให้เห็นว่าการลดลงของปริมาณธาตุ (ภาพที่ 24) โดยจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณของธาตุมากที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 มีปริมาณของธาตุเท่ากับร้อยละ 2.0427 โดยน้ำหนัก ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณของธาตุน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 6 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเท่ากับร้อยละ 1.0860 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 25

6. แคลเซียม

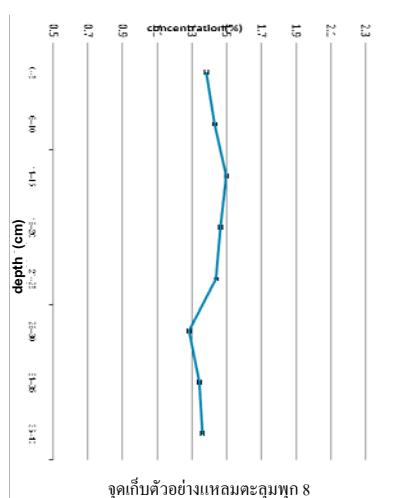
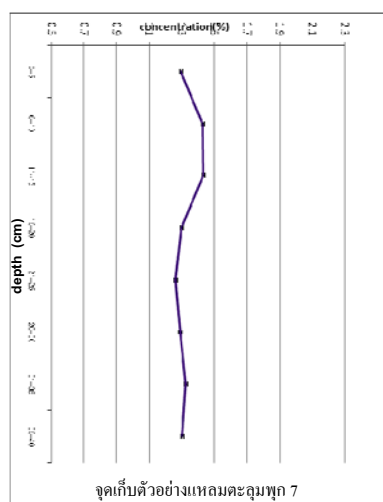
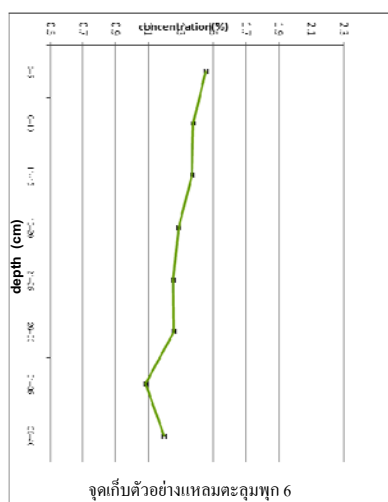
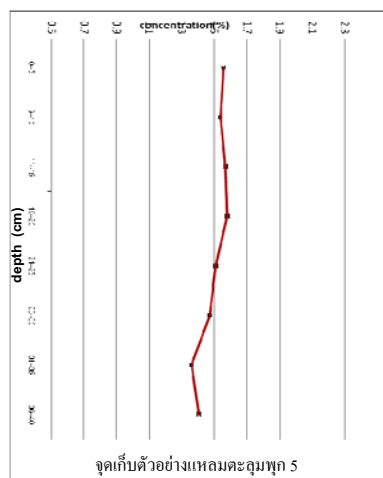
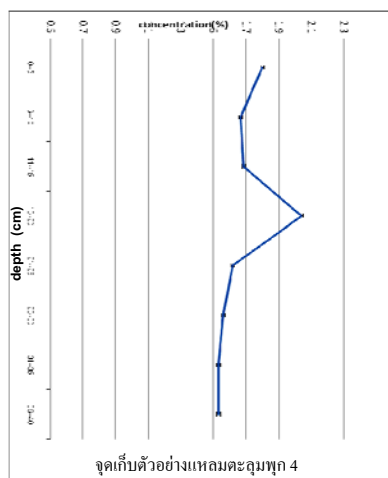
จากการศึกษาธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่าที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0-25 เซนติเมตร ปริมาณธาตุจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และเริ่มลดลงที่ระดับความลึกตั้งแต่ 26-40 เซนติเมตร (ภาพที่ 26) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุสูงที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 ซึ่งมีปริมาณธาตุร้อยละ 9.0287 โดยน้ำหนัก และจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 6 โดยมีปริมาณอยู่ร้อยละ 4.8992 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 27)



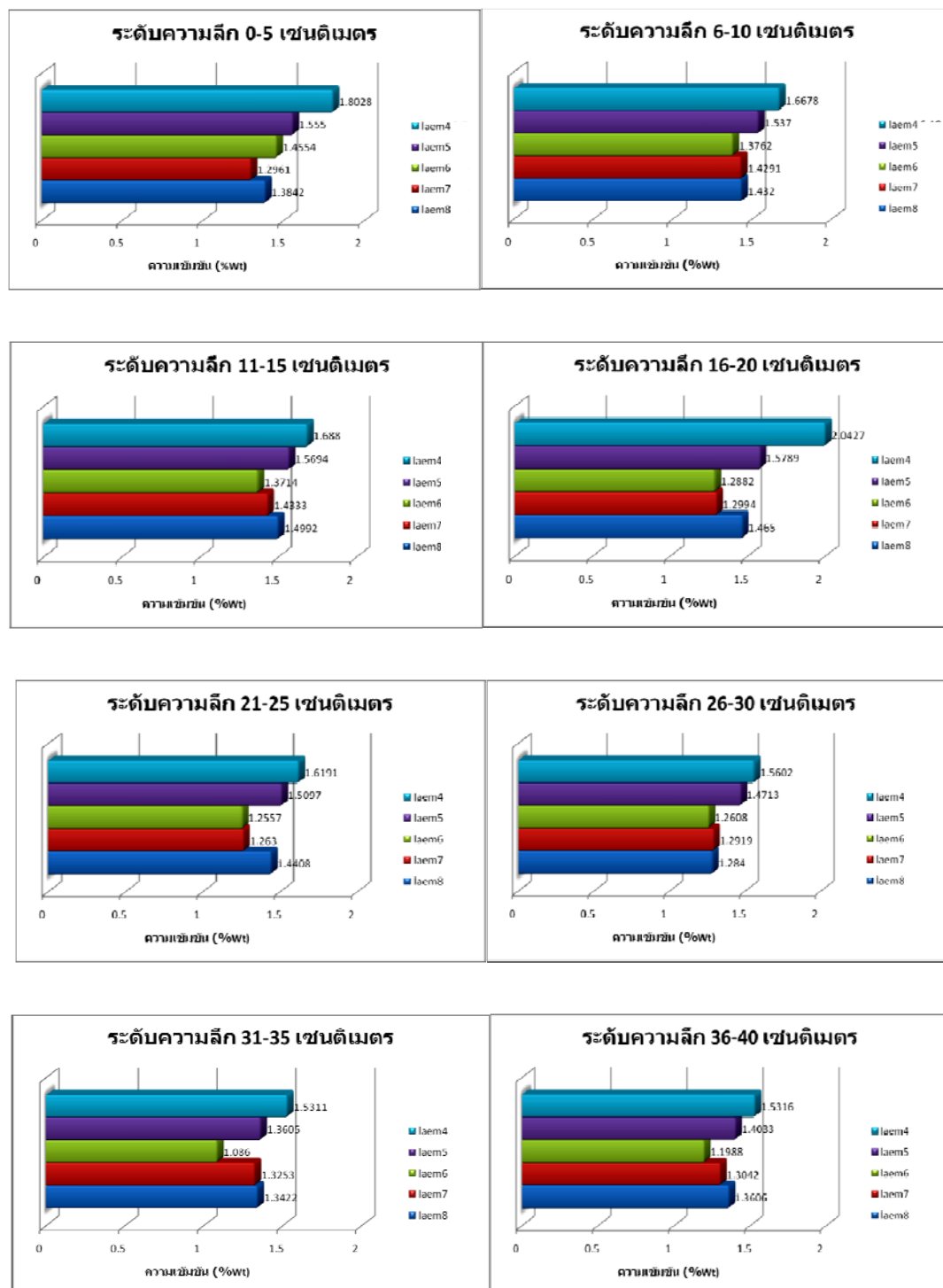
ภาพที่ 22 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



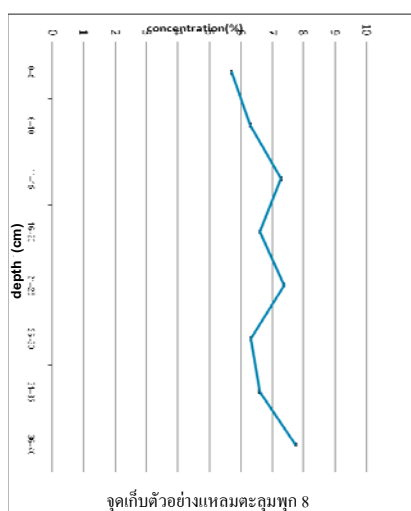
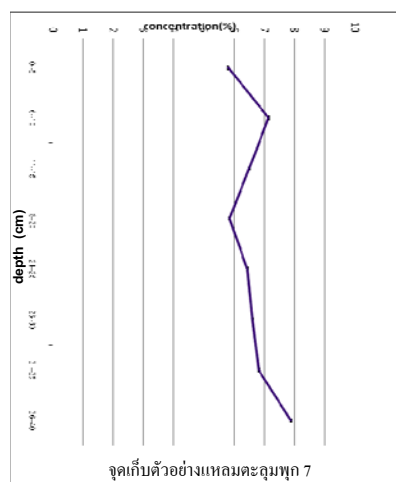
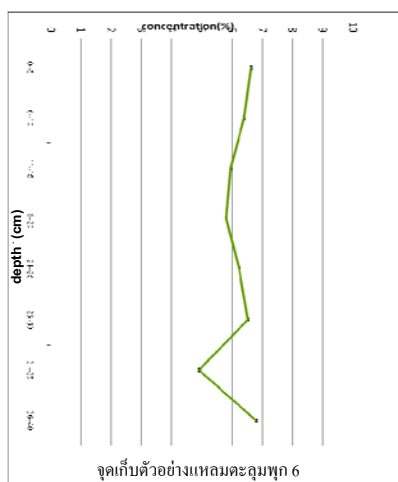
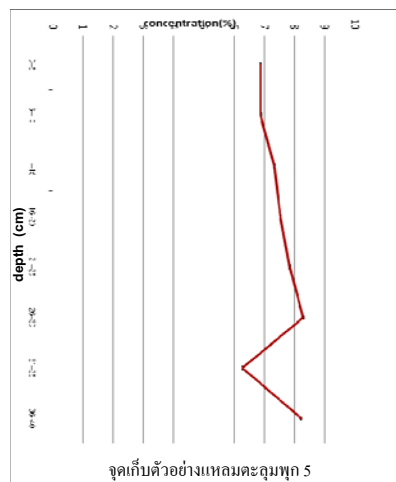
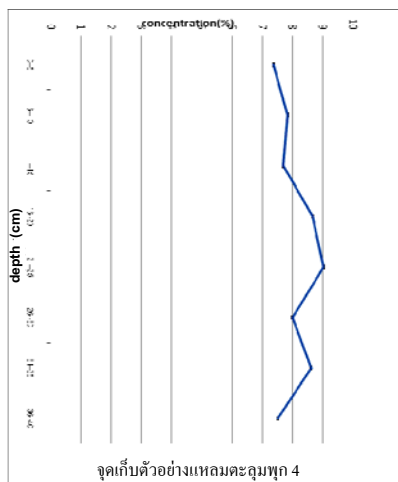
ภาพที่ 23 ปริมาณธาตุคลอรีนในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



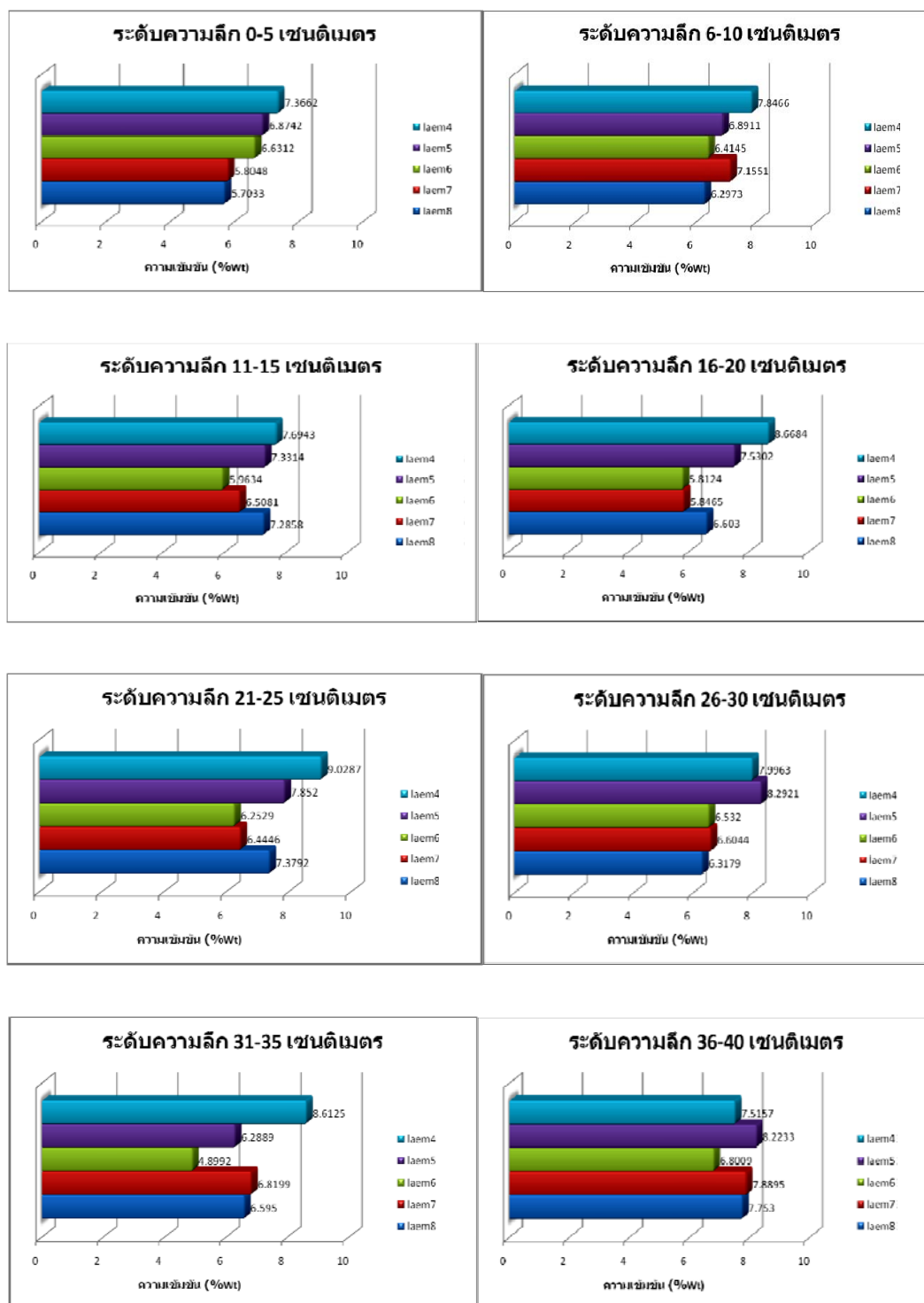
ภาพที่ 24 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



ภาพที่ 25 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึก
ของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 26 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



ภาพที่ 27 ปริมาณธาตุแคลเซียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ
ชั้นดินตะกอน

7. ไทเทเนียม

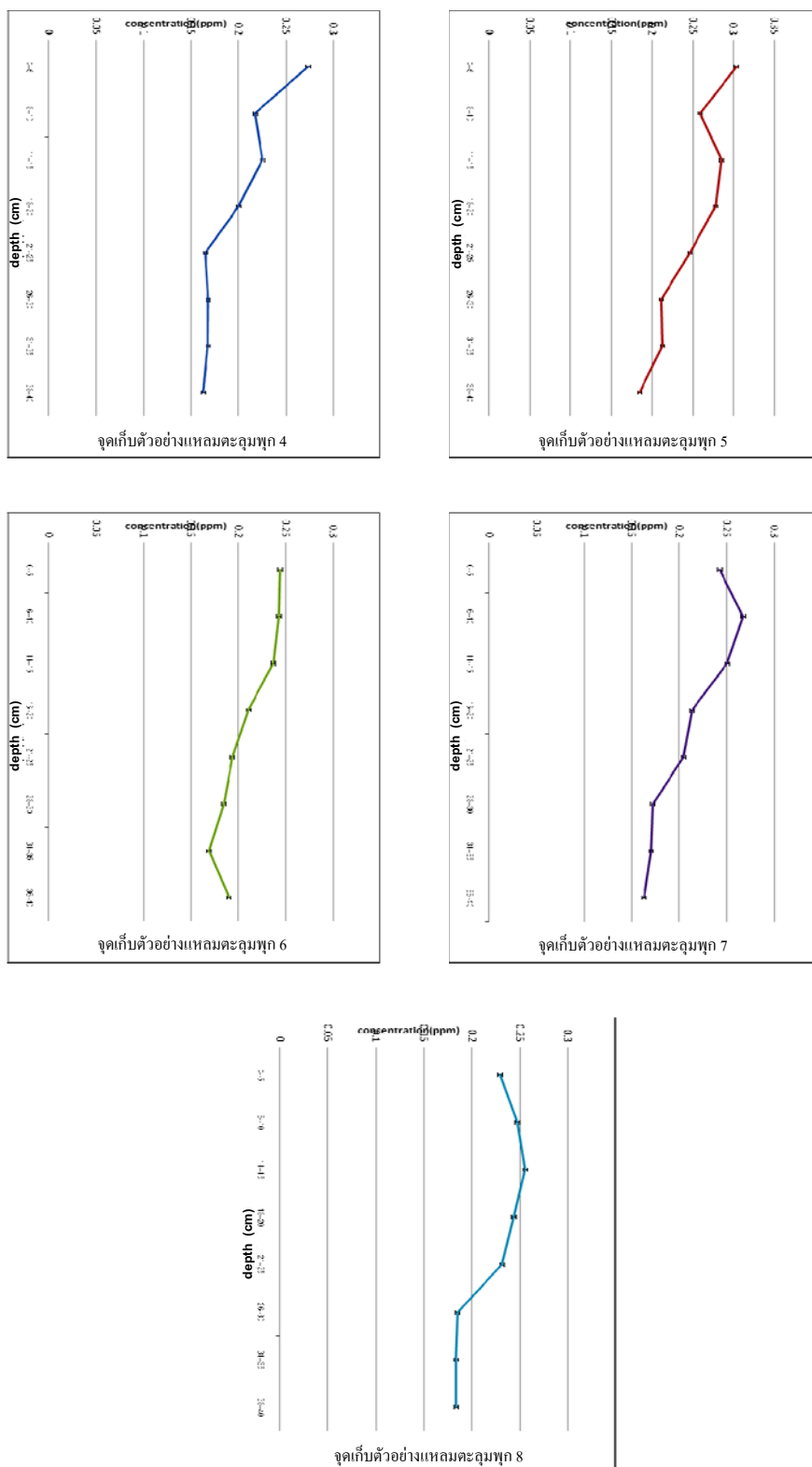
ปริมาณธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนจากจุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 28) โดยจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 5 มีปริมาณของธาตุไทเทเนียมอยู่มากที่สุดในเกือบทุกระดับความลึก ซึ่งระดับที่มีปริมาณธาตุอยู่มากที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร คือ 0.3038 ส่วนต่อล้านส่วน และระดับความลึกที่มีปริมาณธาตุน้อยที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 มีปริมาณเท่ากับ 0.1629 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 29)

8. วานาเดียม

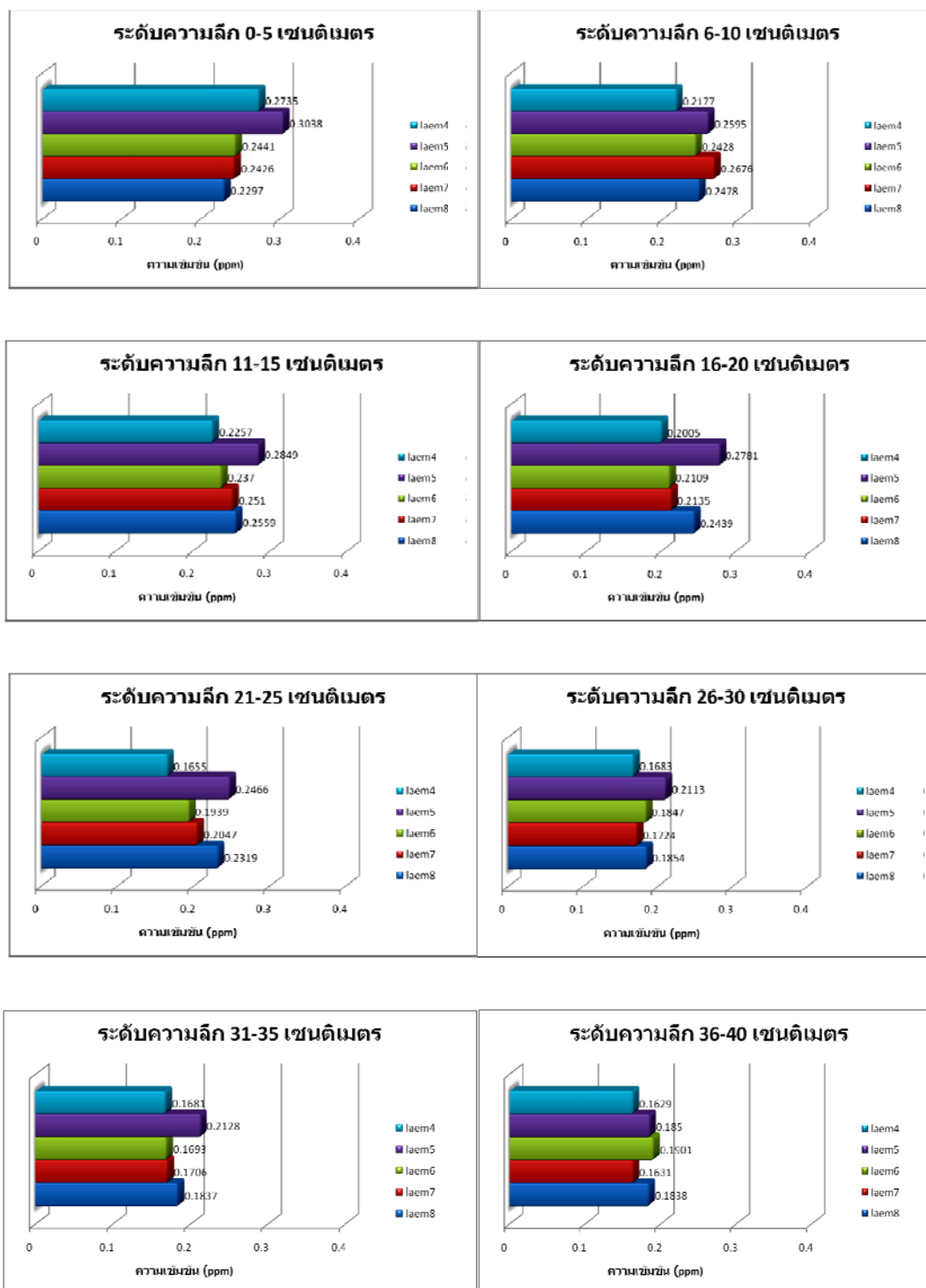
ปริมาณธาตุวานาเดียม มีลักษณะผันแปรตลอดระยะความลึกที่ศึกษาในทุกจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 30 โดยที่ระดับความลึก 11-15 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 มีปริมาณธาตุสูงสุด คือ 32.1032 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนปริมาณธาตุที่น้อยที่สุดพบที่ระดับความลึก 26-30 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 5 คือ 13.7741 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 31)

9. โครเมียม

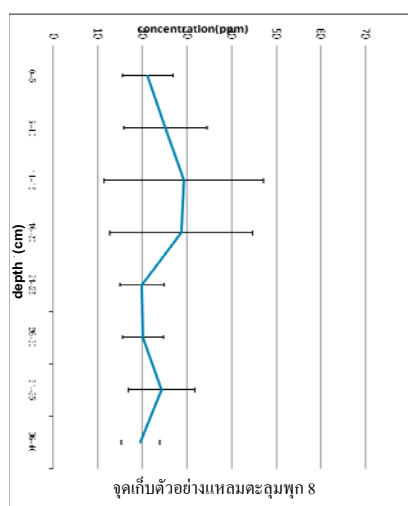
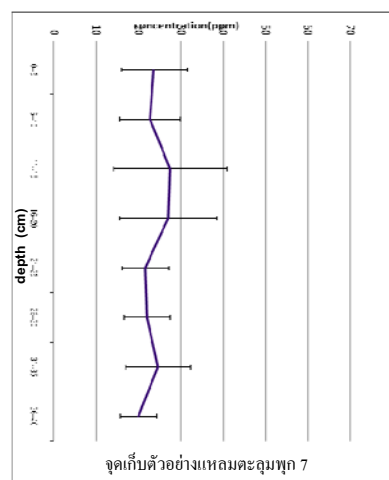
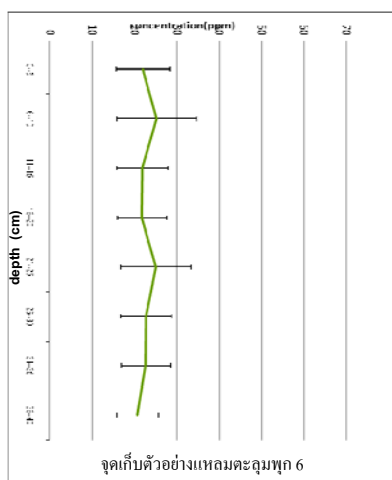
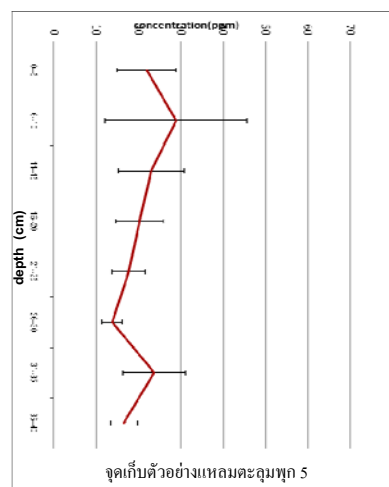
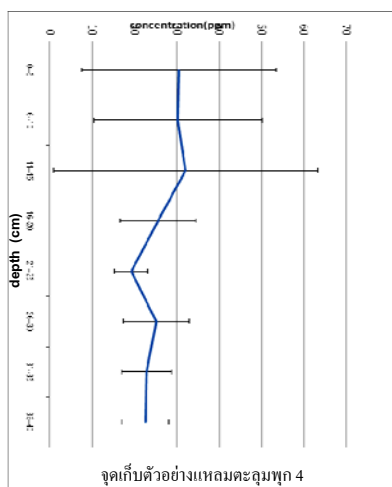
ผลการวิเคราะห์ธาตุโครเมียมแสดงให้เห็นว่า เป็นอีกธาตุหนึ่งที่ปริมาณธาตุมีการเพิ่มขึ้นและลดลงไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 32) โดยพบมากที่สุดที่ระดับความลึก 11-15 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 237.3090 ส่วนต่อล้านส่วน และจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุน้อยที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 26-30 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 มีค่าเท่ากับ 21.8554 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 33



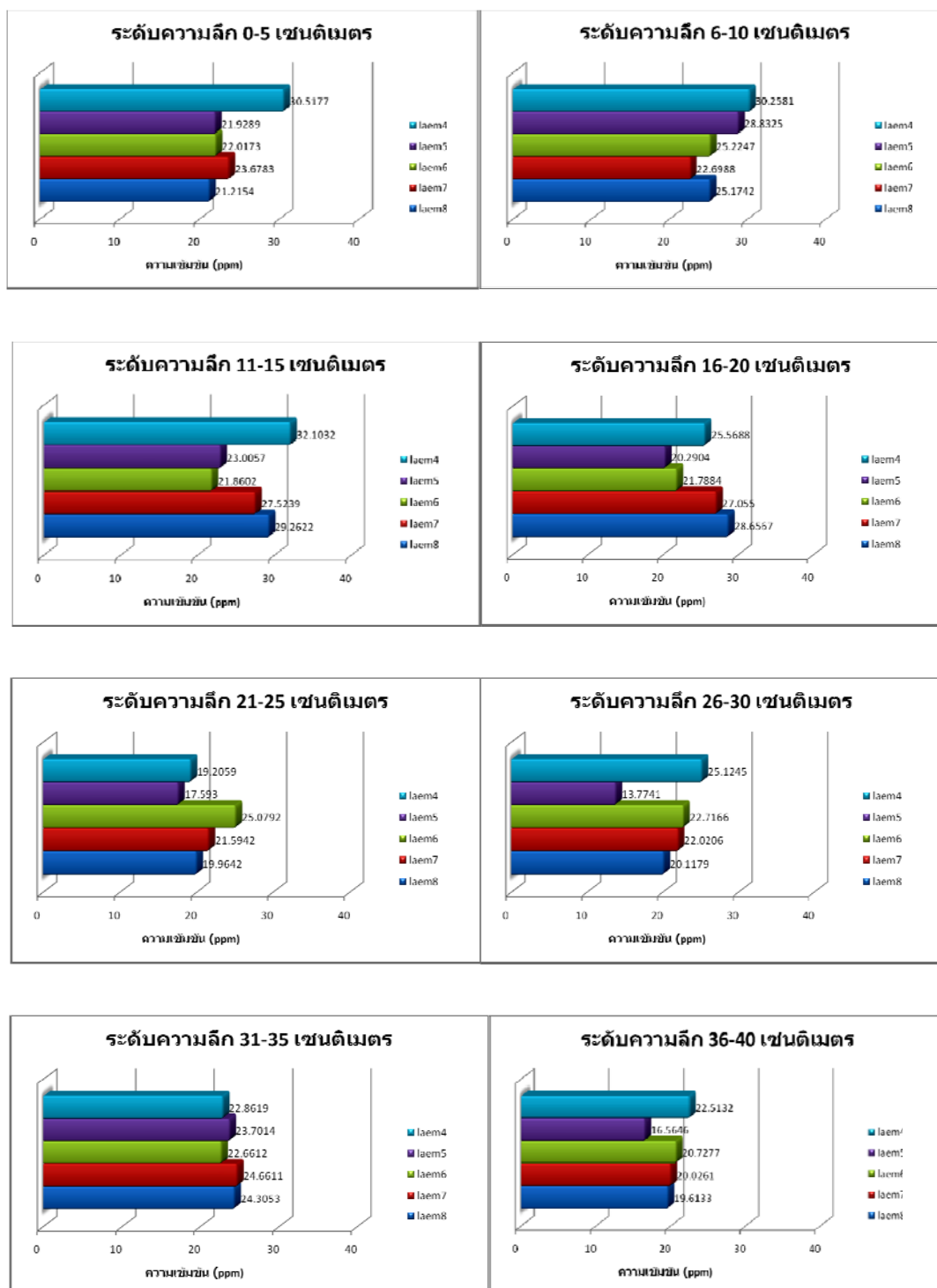
ภาพที่ 28 การกระจายตัวของระดับความลึกของธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



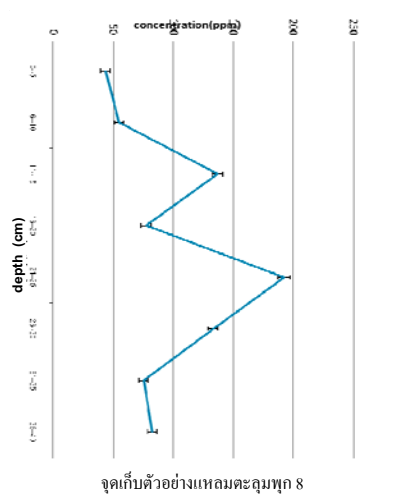
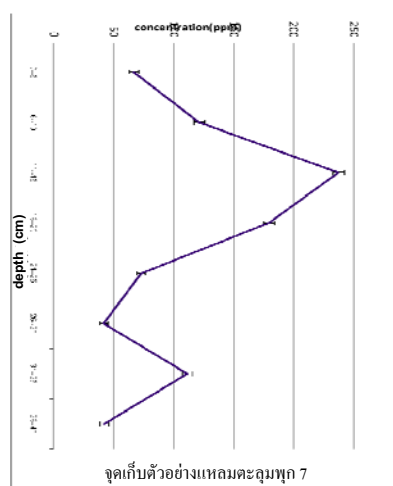
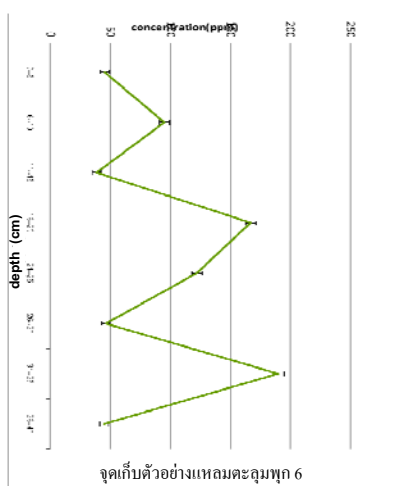
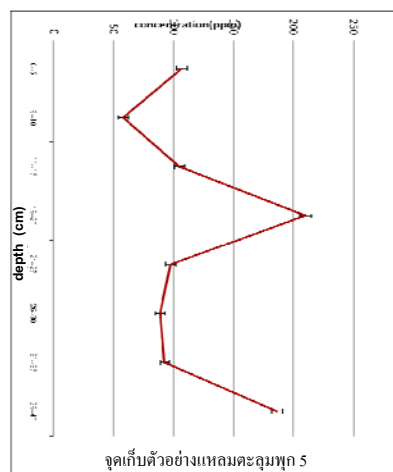
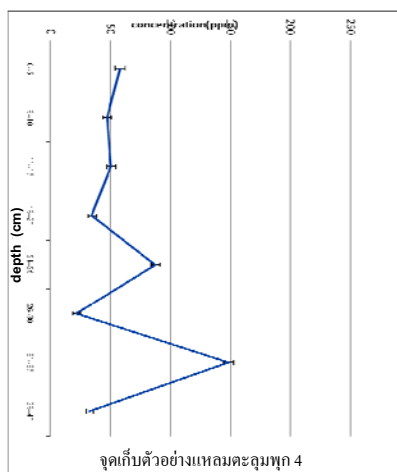
ภาพที่ 29 ปริมาณธาตุไทเทเนียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ
ชั้นดินตะกอน



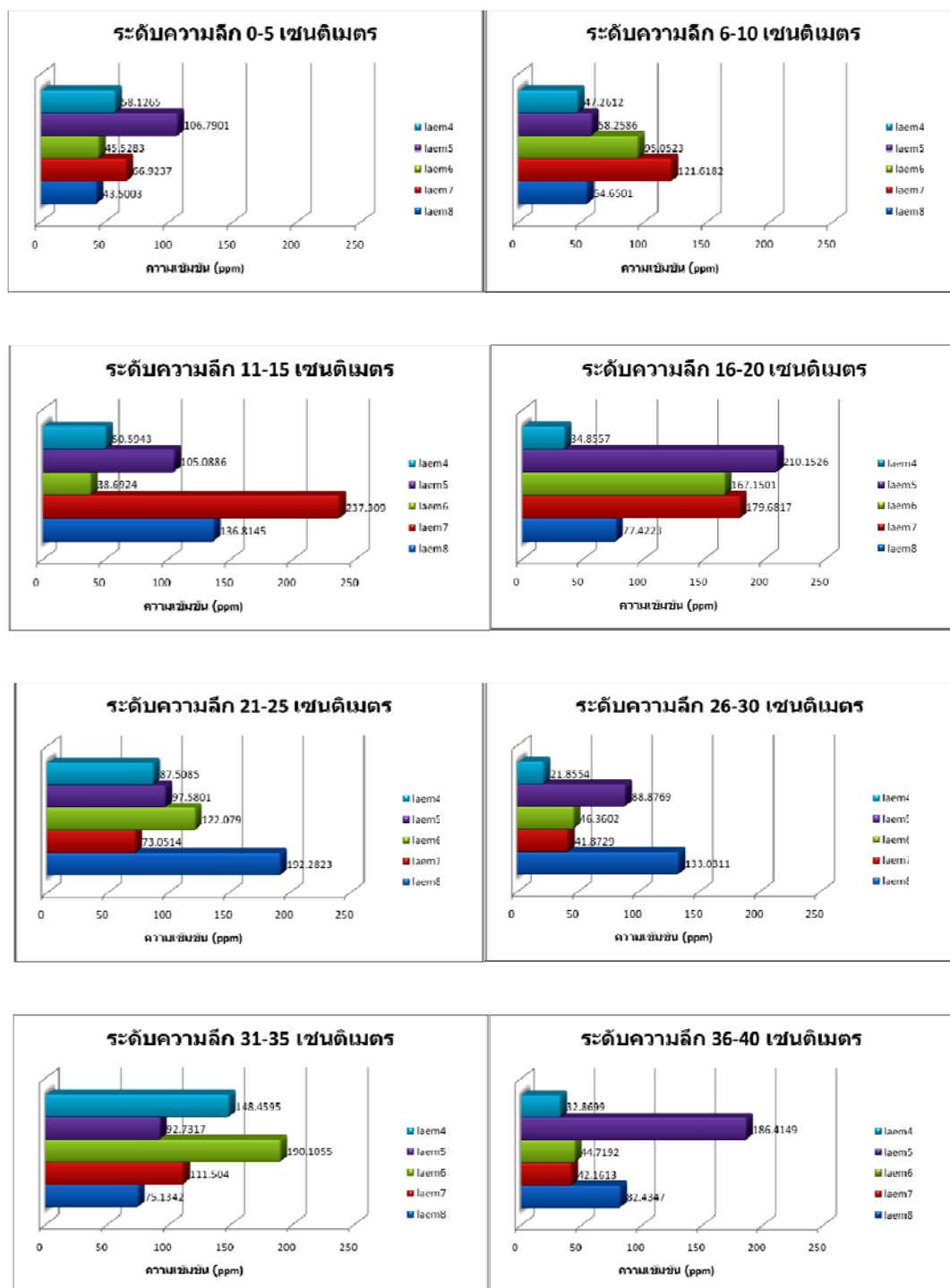
ภาพที่ 30 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



ภาพที่ 31 ปริมาณธาตุอาหารเคมีในบริเวณแหล่งตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ
ชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 32 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



ภาพที่ 33 ปริมาณธาตุโครเมียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

10. แมงกานีส

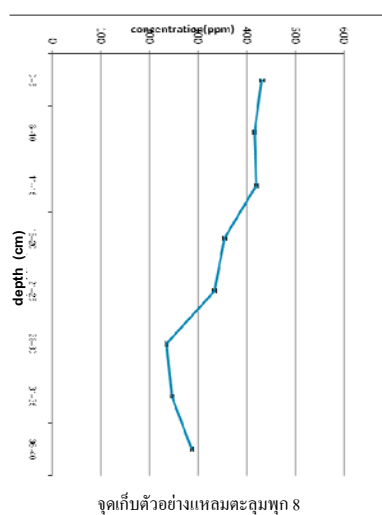
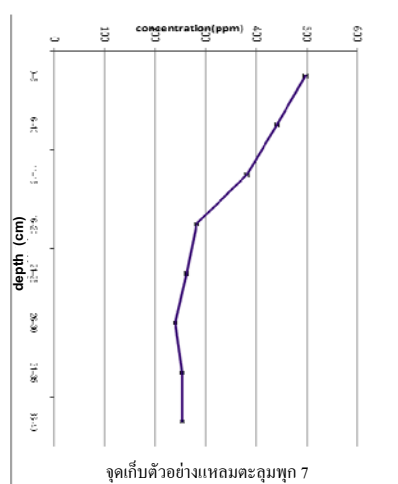
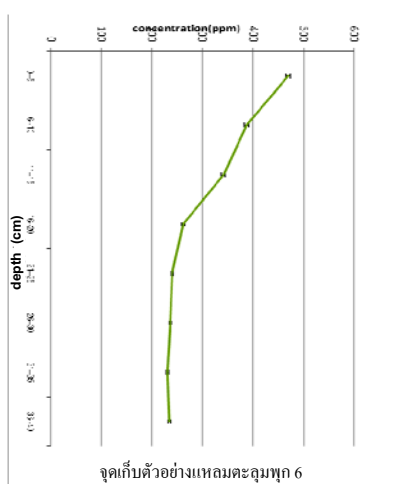
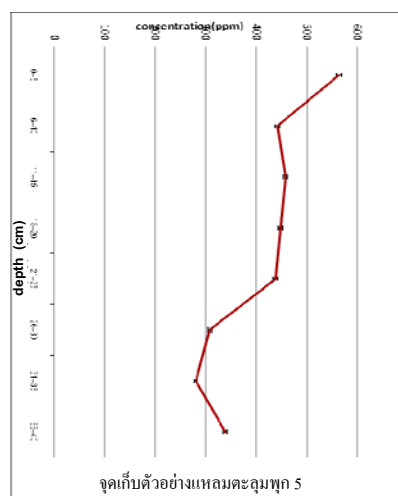
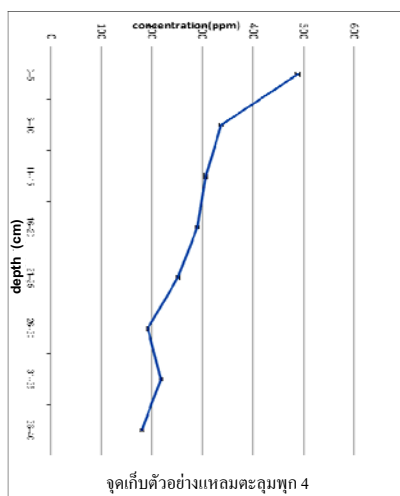
ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 34) โดยพบธาตุแมงกานีสมากที่สุดที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 5 มีค่าเท่ากับ 563.8783 ส่วนต่อล้านส่วน และในช่วงระดับความลึกตั้งแต่ 6-25 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างนี้มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุแมงกานีสน้อยกว่าจุดอื่น ๆ สำหรับจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุแมงกานีสน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร โดยมีปริมาณธาตุเท่ากับ 179.9678 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 35)

11. เหล็ก

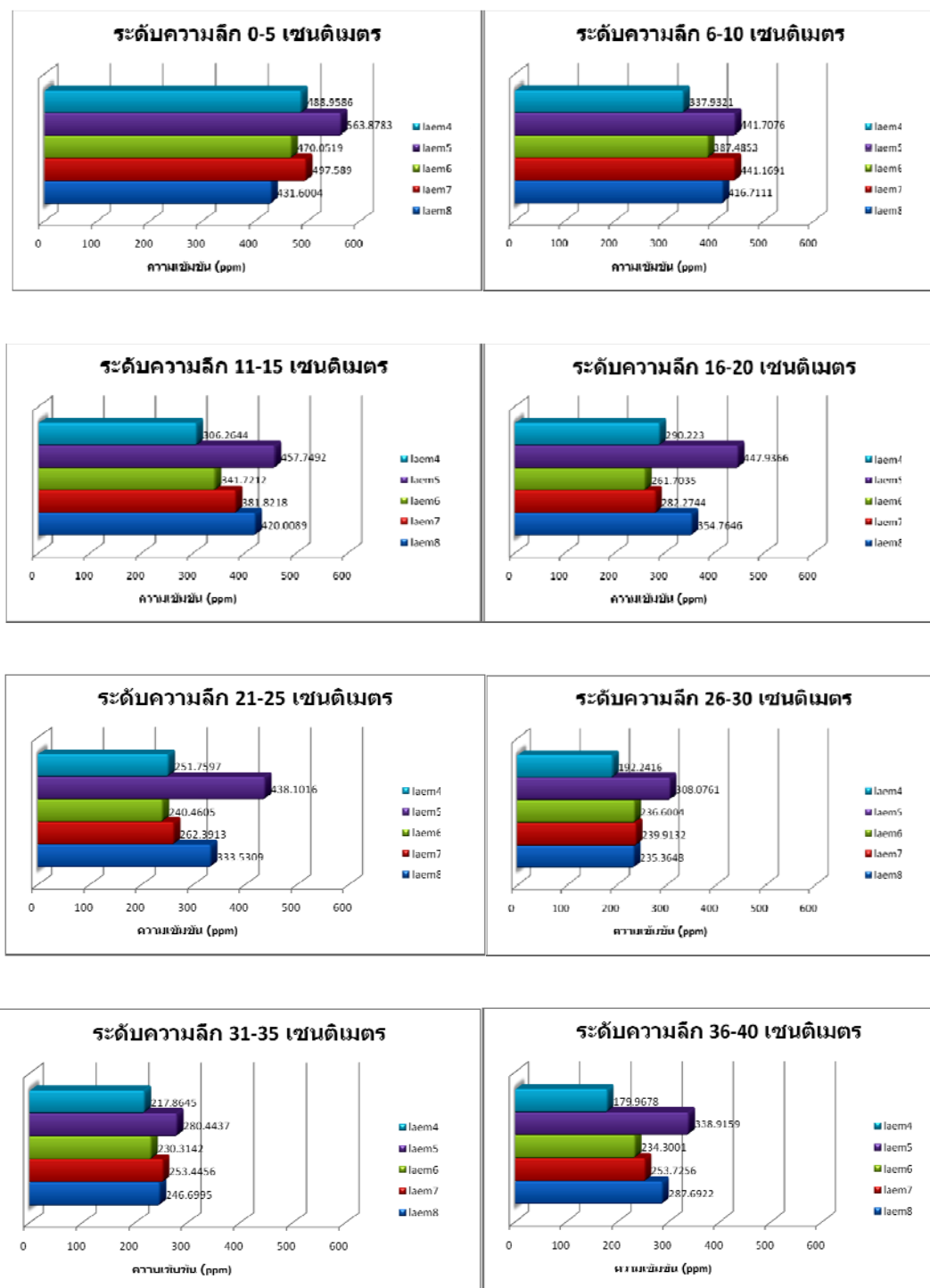
จากการวิเคราะห์ธาตุเหล็กในตัวอย่างดินตะกอน พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กในตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 36 และยังพบว่าที่จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 5 มีปริมาณของธาตุเหล็กมากในทุกระดับความลึก โดยที่มีปริมาณสูงสุดอยู่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.3648 โดยน้ำหนัก และในส่วนของจุดเก็บที่มีค่าปริมาณธาตุเหล็กต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.5492 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 37)

12. นิกเกิล

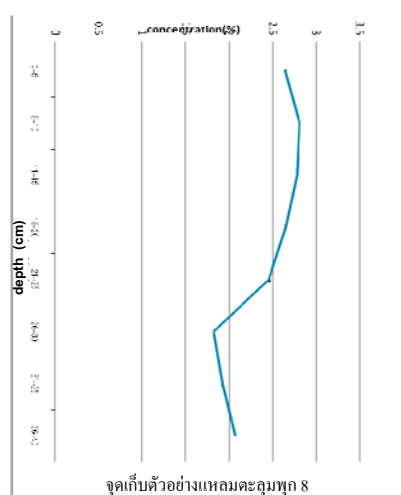
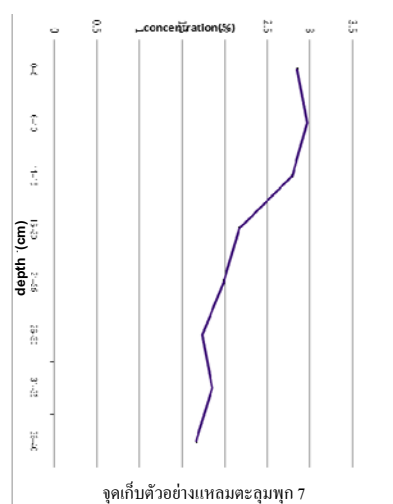
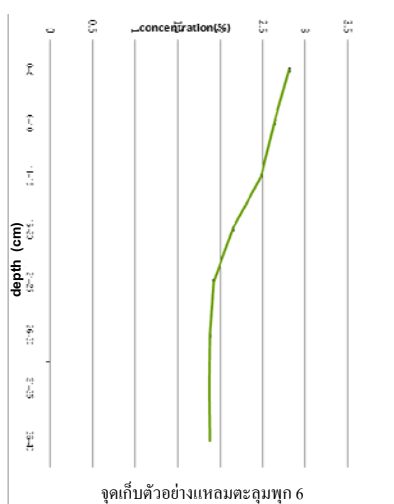
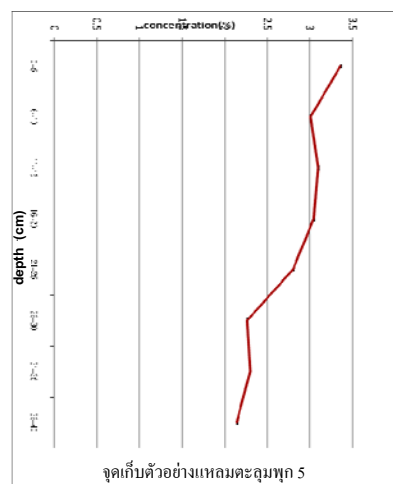
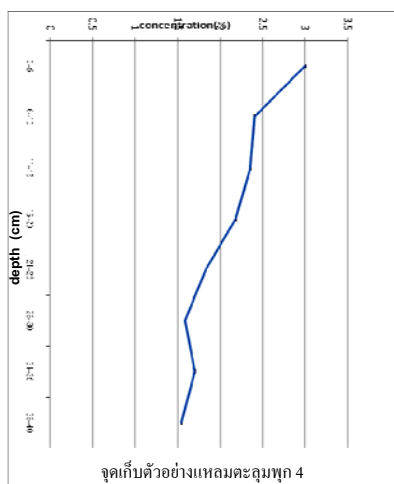
ปริมาณของธาตุนิกเกิล พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น โดยที่แต่ละระดับความลึกมีปริมาณของธาตุที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 38) โดยที่จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณของธาตุสูงที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 8 ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.4285 ส่วนต่อล้านส่วน และจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 4 ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร โดยมีปริมาณธาตุเท่ากับ 12.6652 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 39)



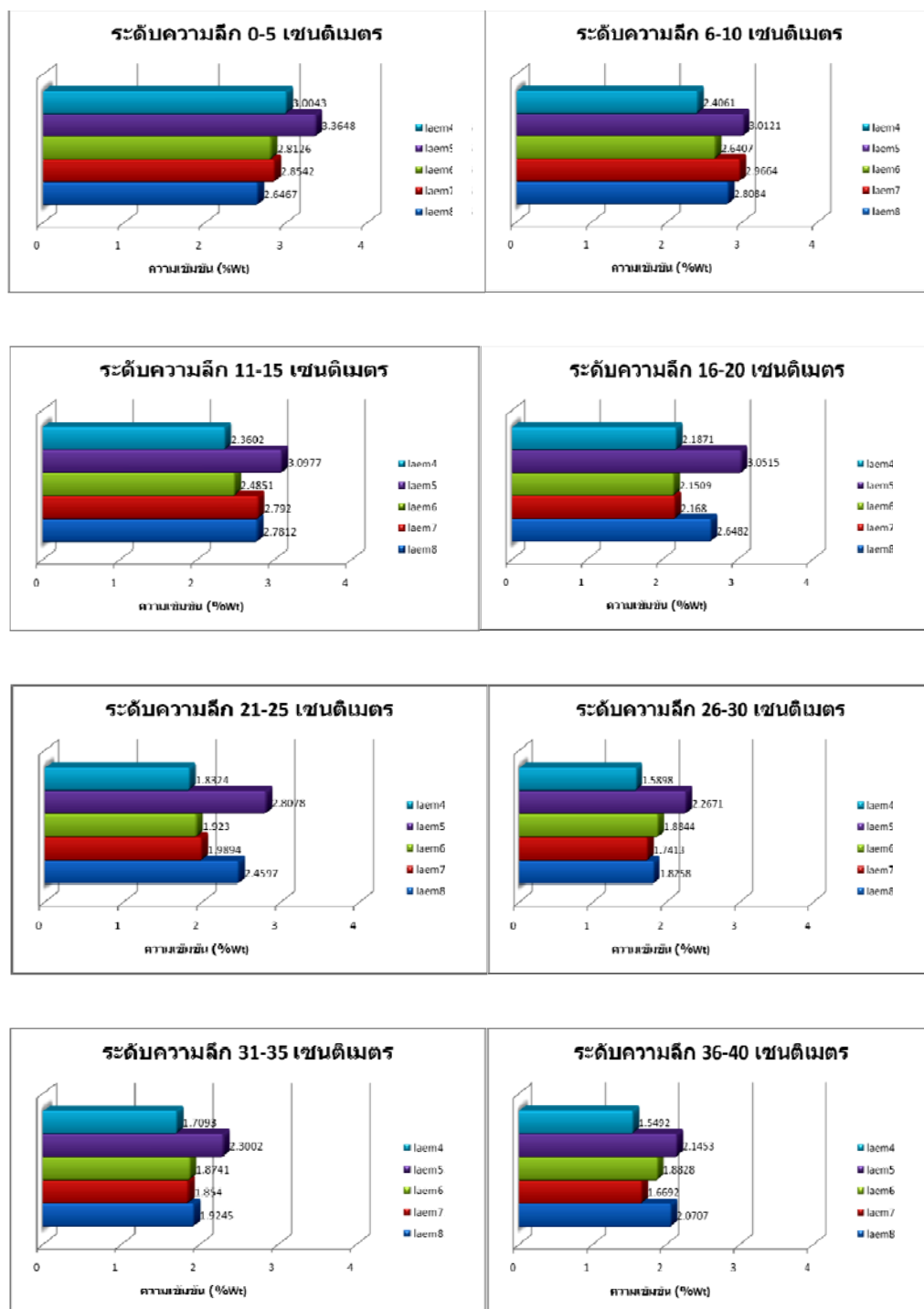
ภาพที่ 34 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



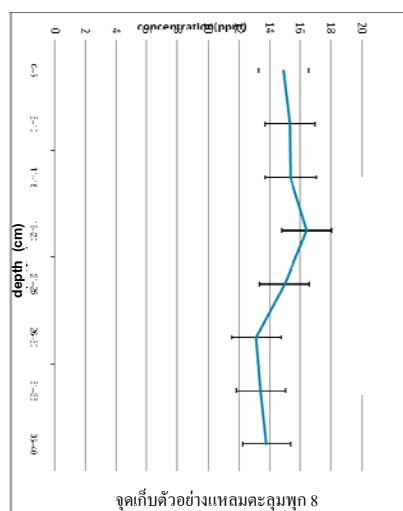
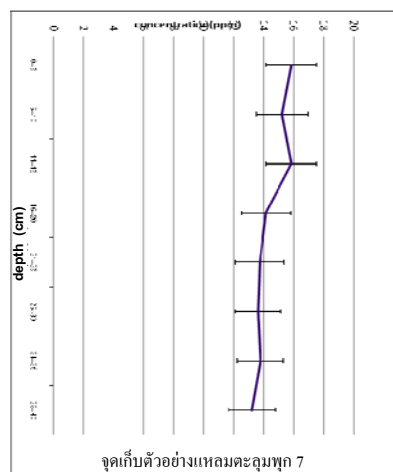
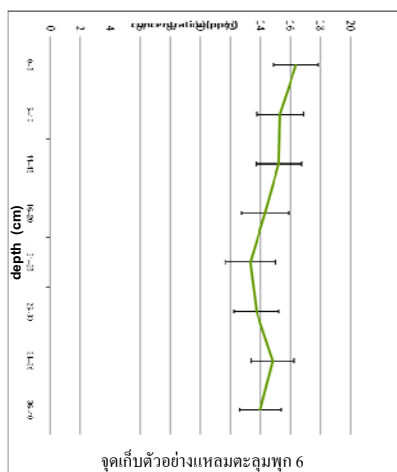
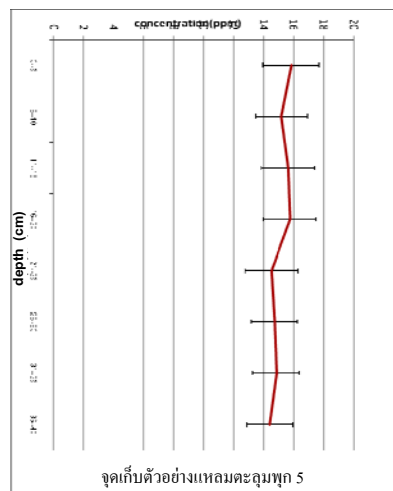
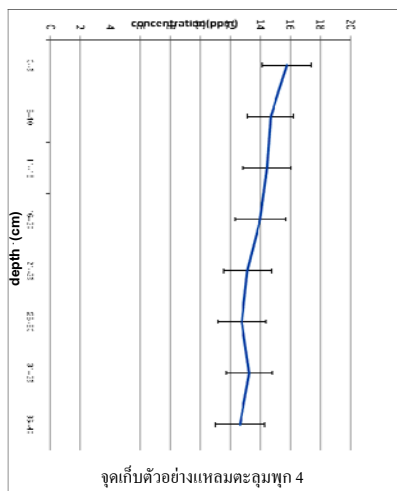
ภาพที่ 35 ปริมาณธาตุเมงกานีสในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของ
ชั้นดินตะกอน



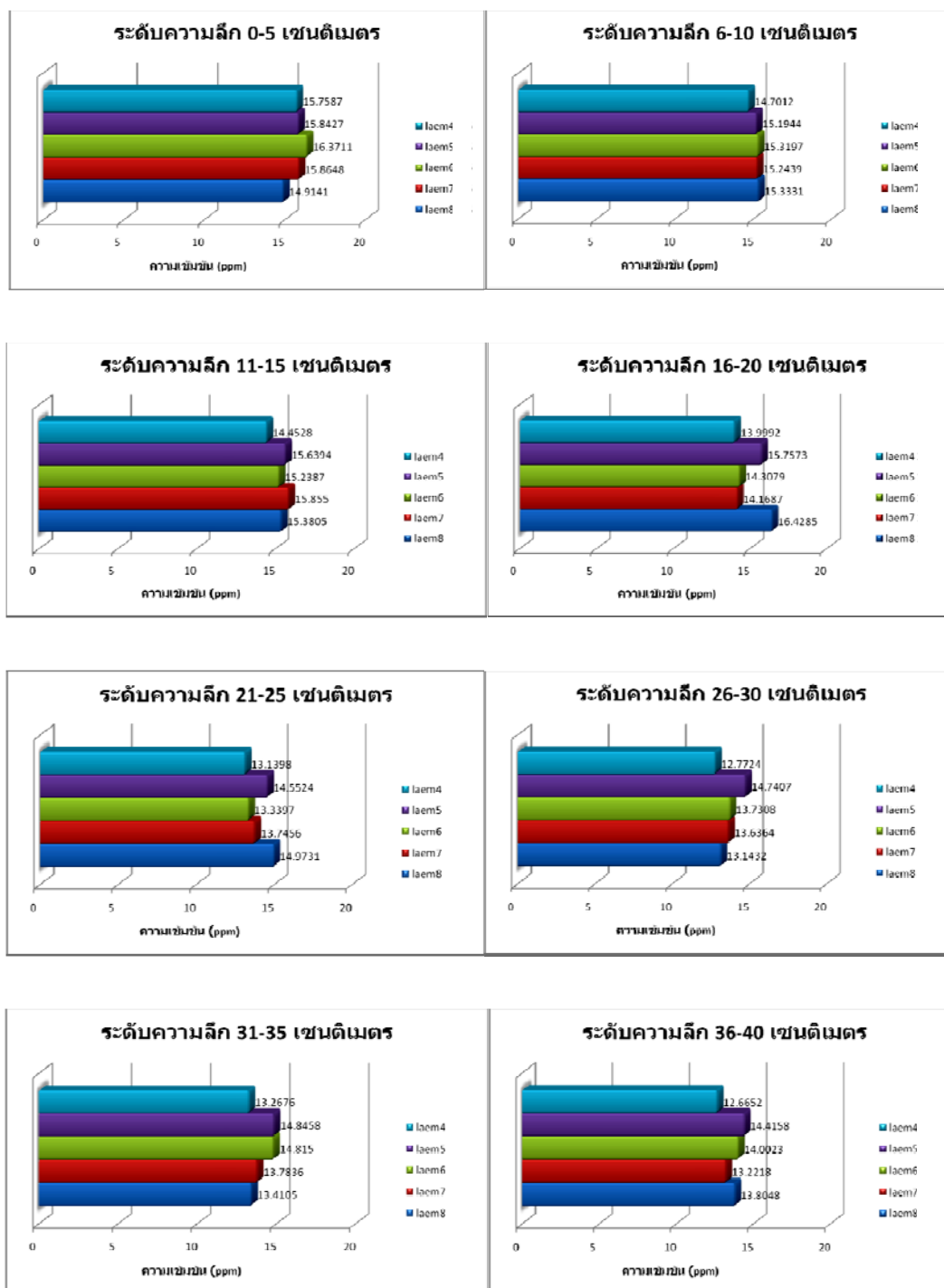
ภาพที่ 36 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณแหลมตะดุมพุท



ภาพที่ 37 ปริมาณธาตุเหล็กในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดิน
ตะกอน



ภาพที่ 38 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุไนเกิลในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



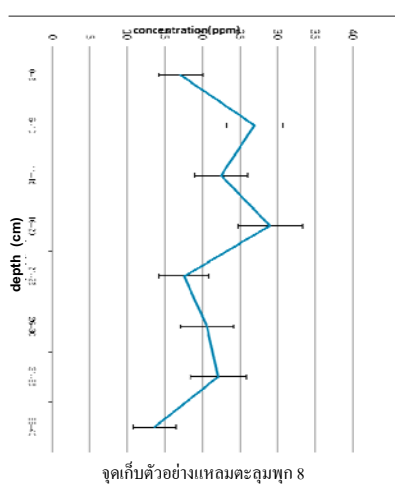
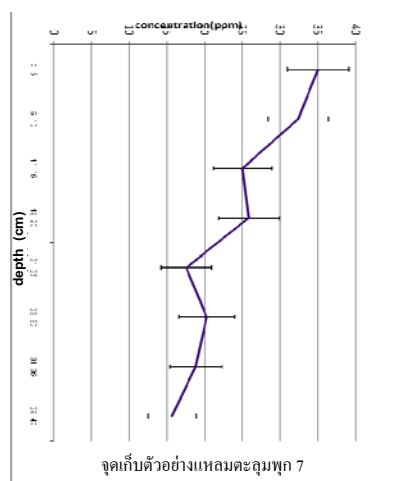
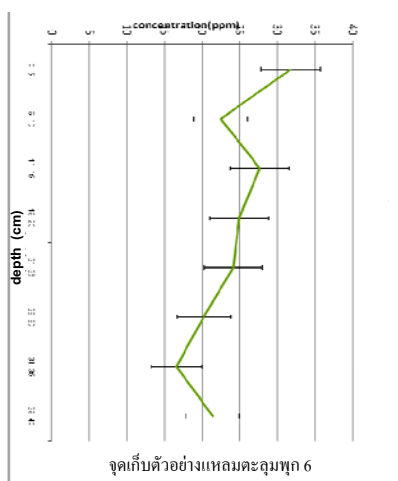
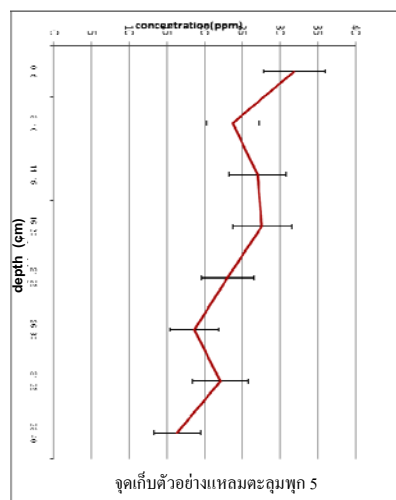
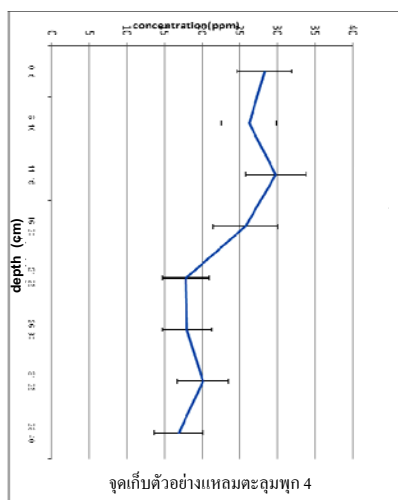
ภาพที่ 39 ปริมาณธาตุหนักเกิดในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

13. สังกะสี

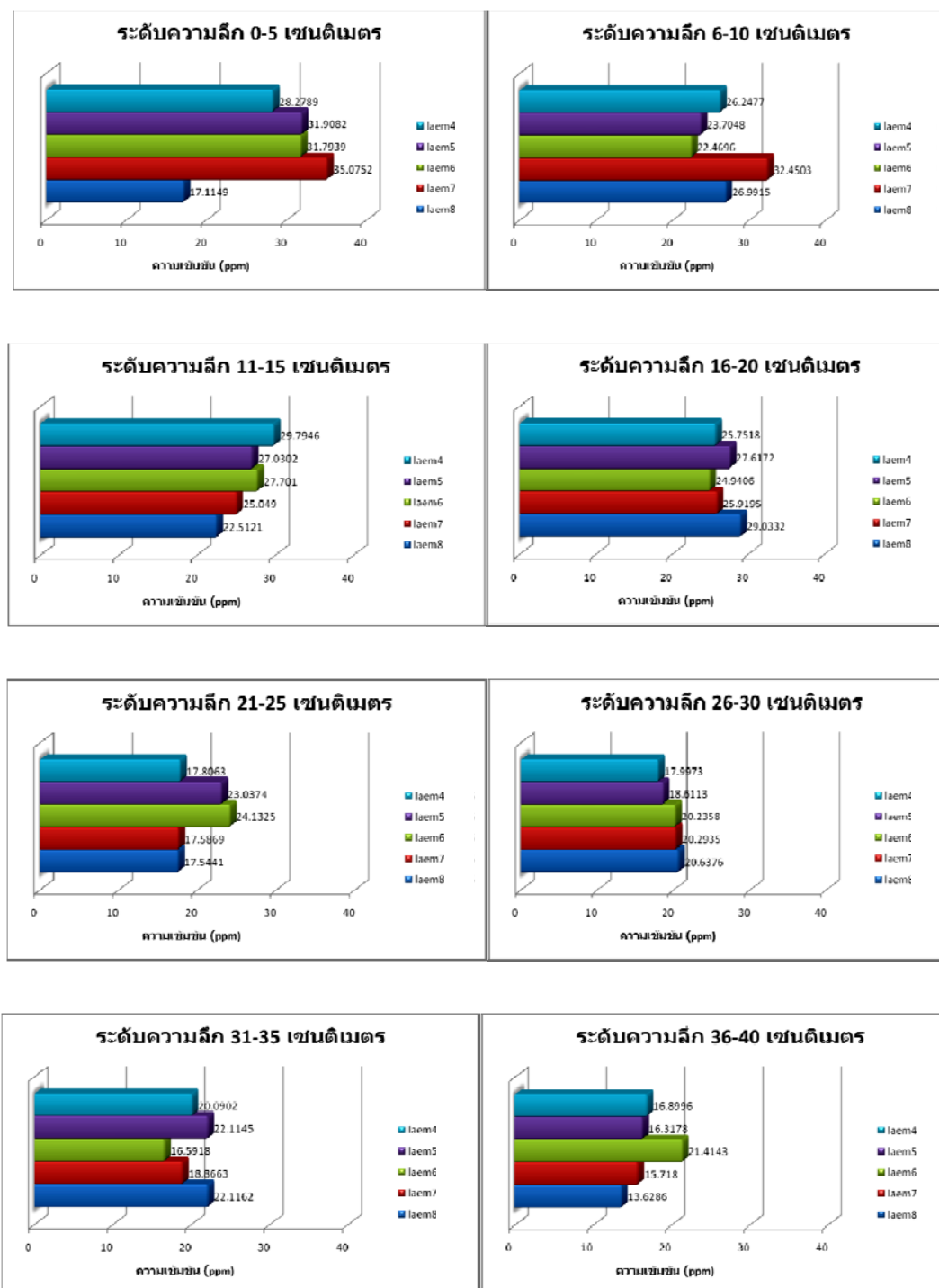
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุสังกะสีมีลักษณะคล้ายกับธาตุอื่น ๆ คือ มีปริมาณลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 40) โดยพบปริมาณธาตุสังกะสีสูงสุดอยู่ที่จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร คือ 35.0752 ส่วนต่อล้านส่วน และจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 8 ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร ที่มีปริมาณสังกะสีเพียง 13.6286 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 41

14. แบเรียม

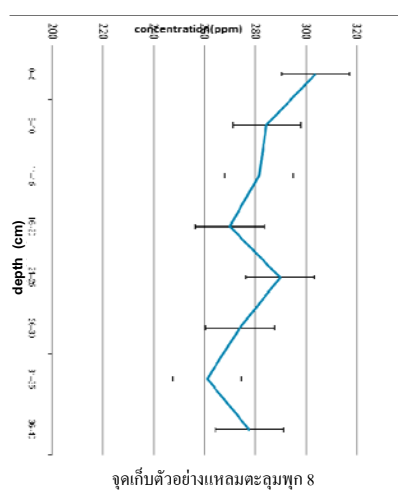
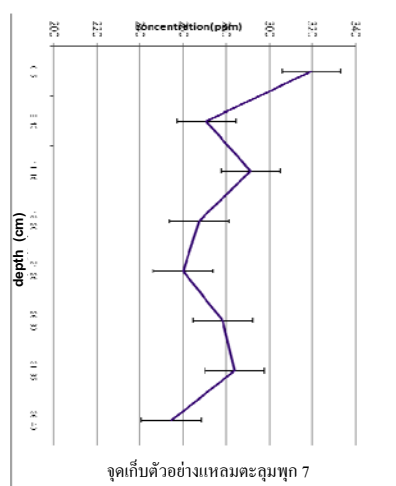
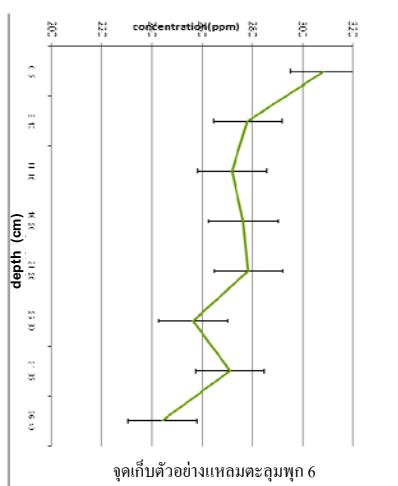
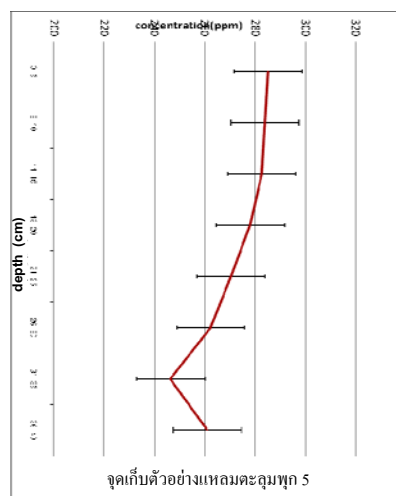
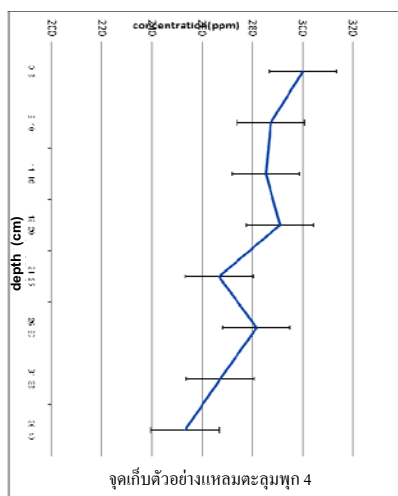
ในส่วนของธาตุแบเรียม พบว่ามีแนวโน้มที่ลดลงของปริมาณธาตุ เมื่อระดับของความลึกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 42) โดยที่จุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 7 ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร มีปริมาณธาตุมากที่สุด คือ 319.5258 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างแหลมตะลุมพุก 6 ที่ระดับความลึก 36-40 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด คือ 244.1685 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 43 และปริมาณแบเรียมที่ระดับความลึกเดียวกันของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน



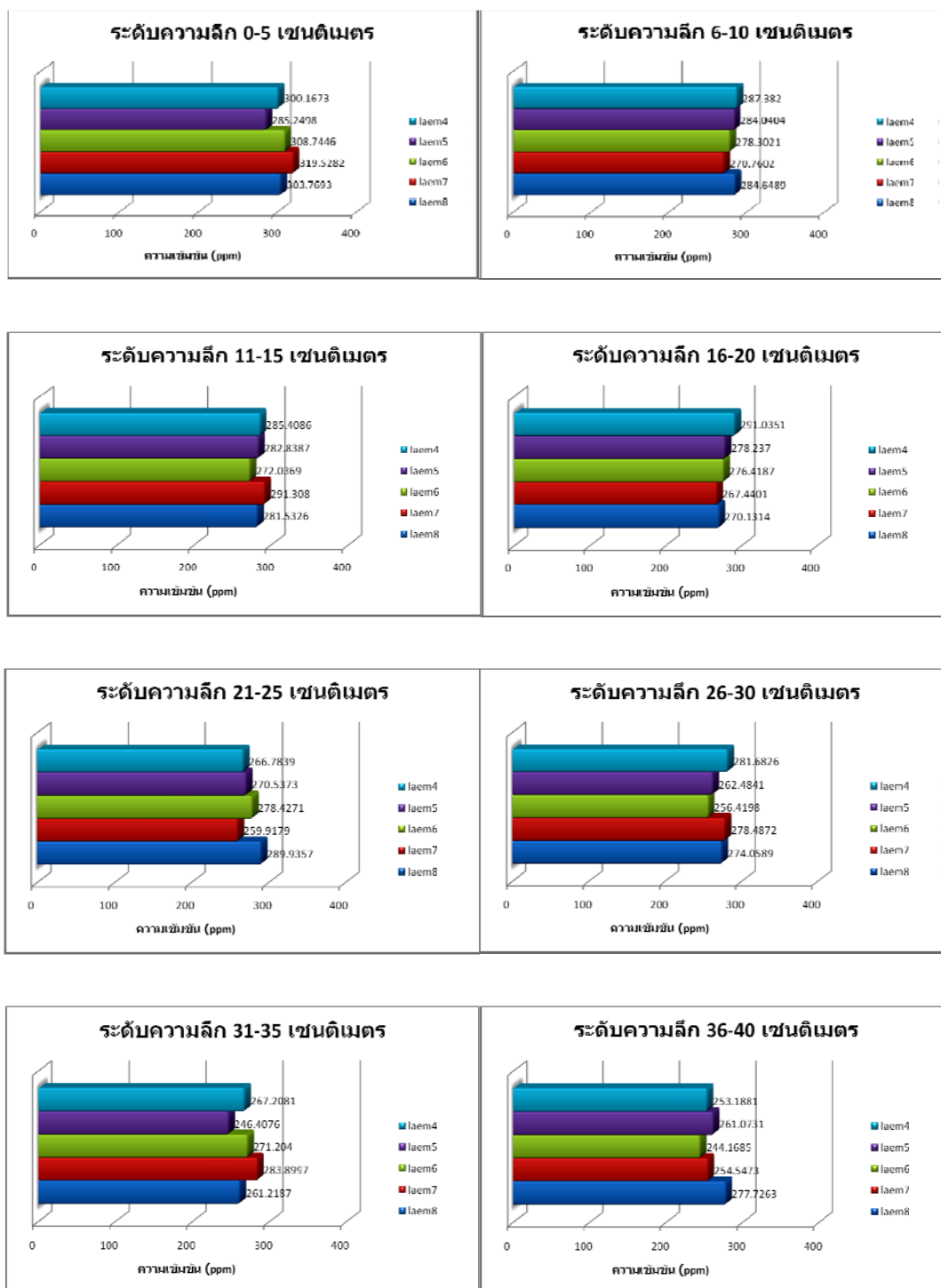
ภาพที่ 40 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก



ภาพที่ 41 ปริมาณธาตุสังกะสีในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 42 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแบเรียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะดุมทุก



ภาพที่ 43 ปริมาณธาตุแบเรียมในบริเวณแหลมตะลุมพุกจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

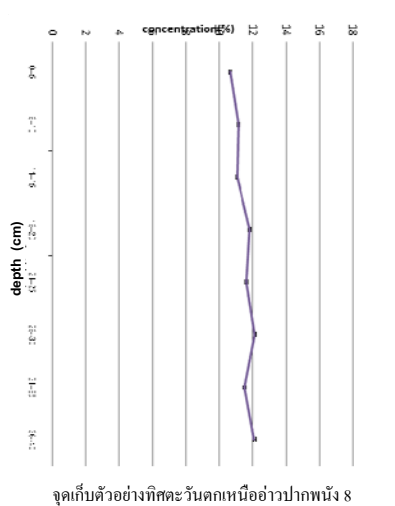
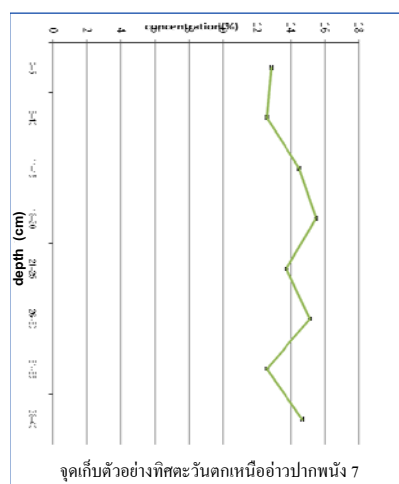
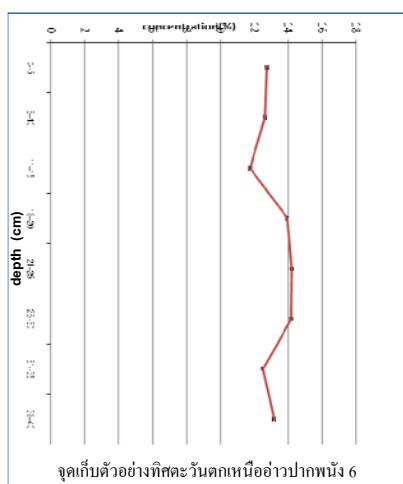
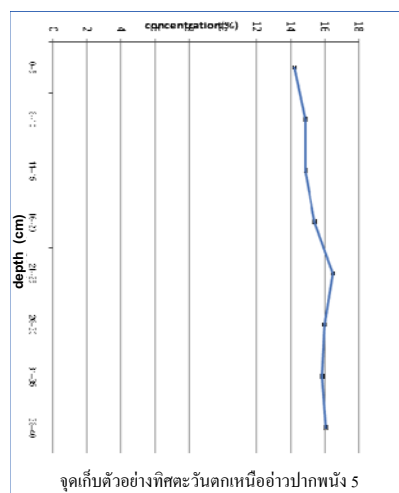
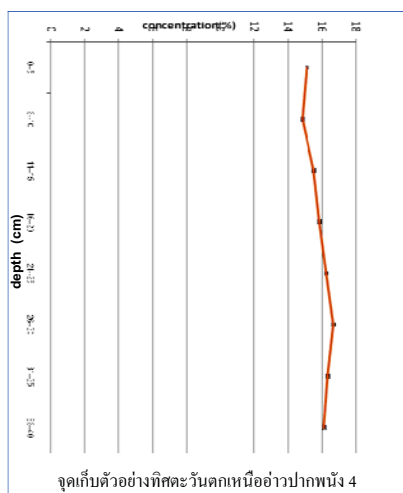
จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในดินตะกอนที่เก็บจากบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังตามระดับความลึก ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่าง มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1. อลูมิเนียม

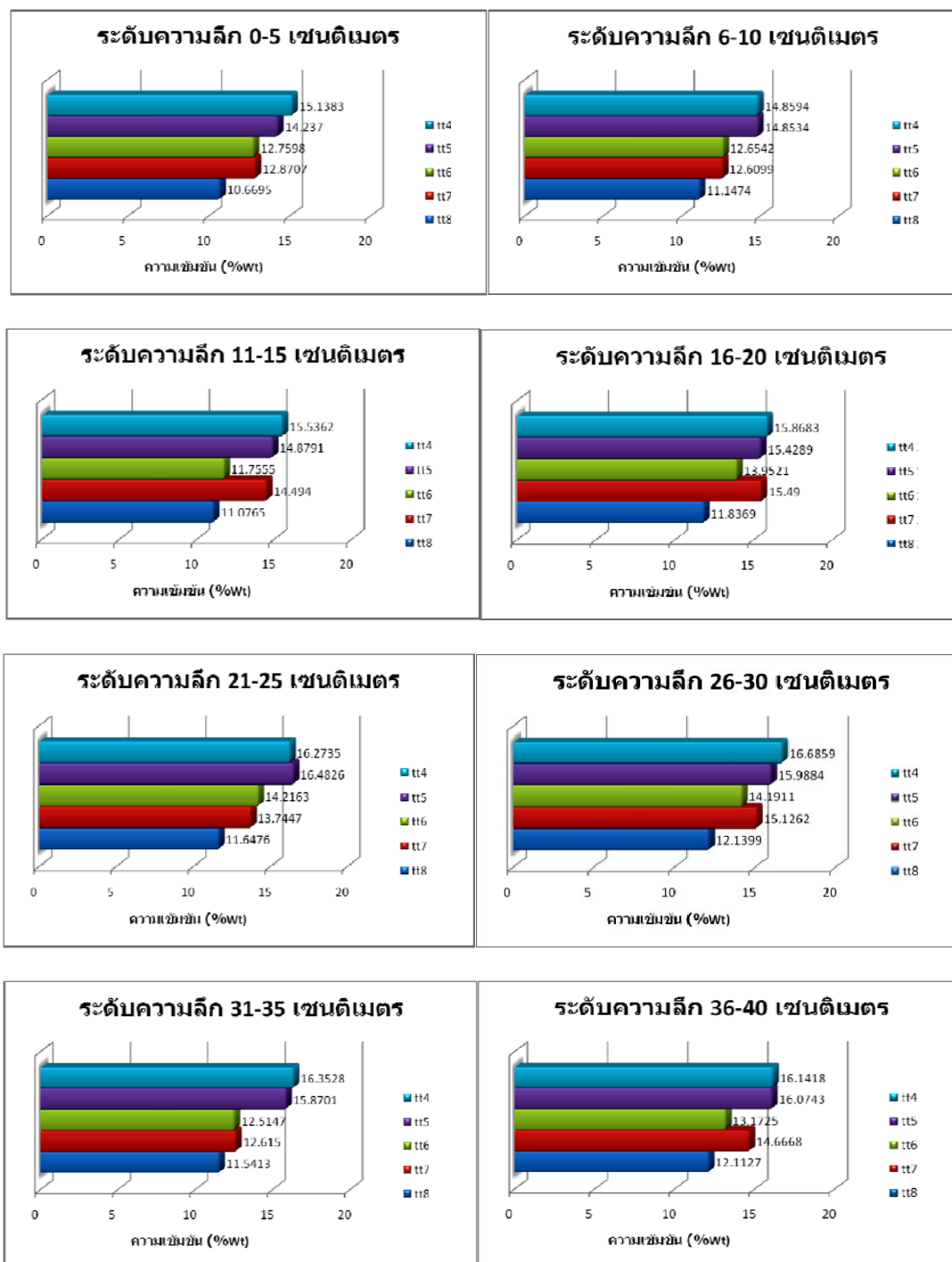
จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ พบว่า ปริมาณของอลูมิเนียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 44) นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มการลดลงของปริมาณธาตุจากจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 ไปยังจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 ตามลำดับอีกด้วย โดยพบปริมาณธาตุสูงที่สุด ที่ระดับความลึก 26-30 เซนติเมตรของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเท่ากับร้อยละ 16.6859 โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณธาตุน้อยที่สุด อยู่ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเท่ากับร้อยละ 10.6695 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 45 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอลูมิเนียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

2. ซิลิกอน

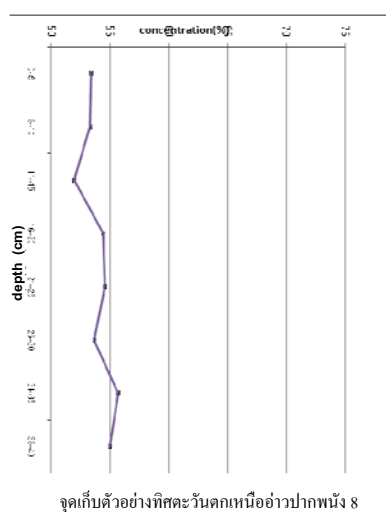
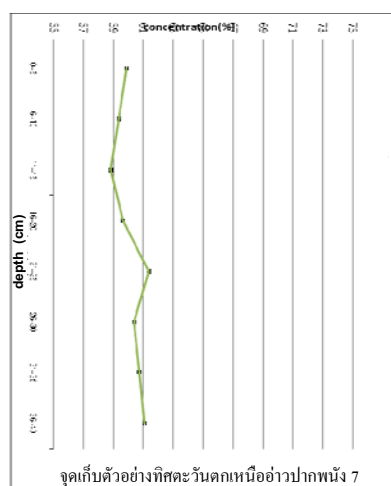
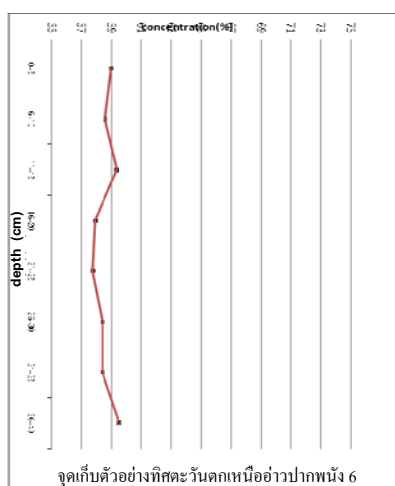
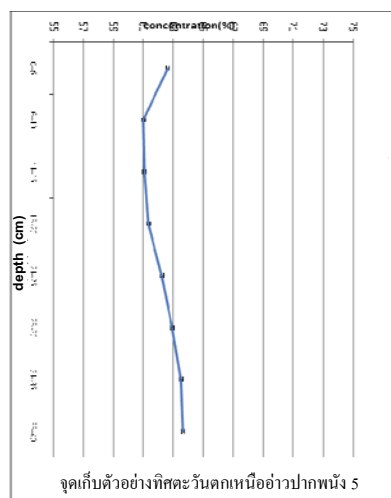
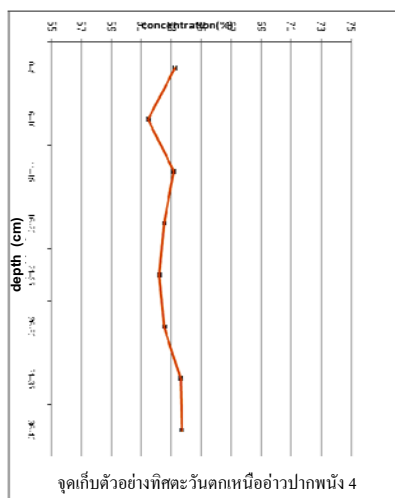
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง พบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 46) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุสูงที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 (ความลึก 36-40 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับร้อยละ 63.7002 โดยน้ำหนัก และจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าปริมาณธาตุน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 11-15 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับร้อยละ 51.9460 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 47 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุซิลิกอนที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า



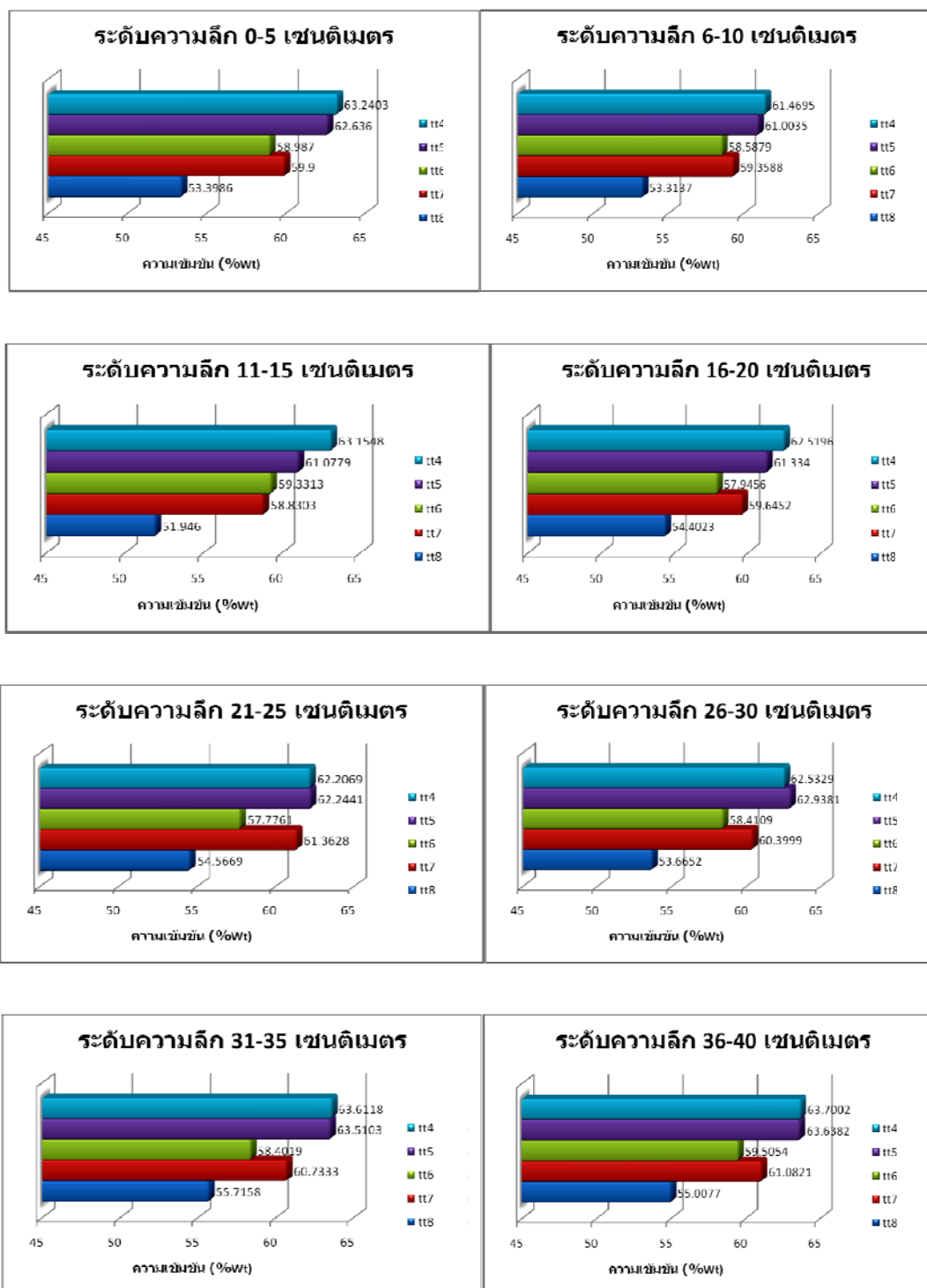
ภาพที่ 44 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุอลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 45 ปริมาณธาตุอินทรีย์ในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 46 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 47 ปริมาณธาตุซิลิกอนในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

3. ฟอสฟอรัส

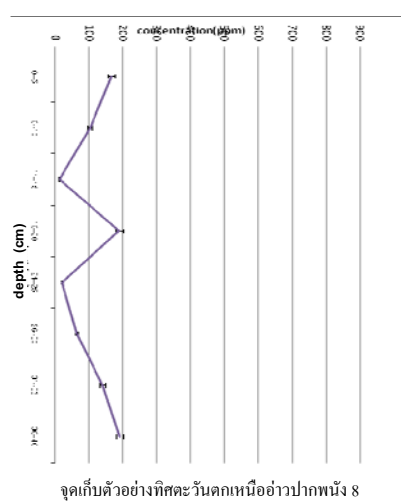
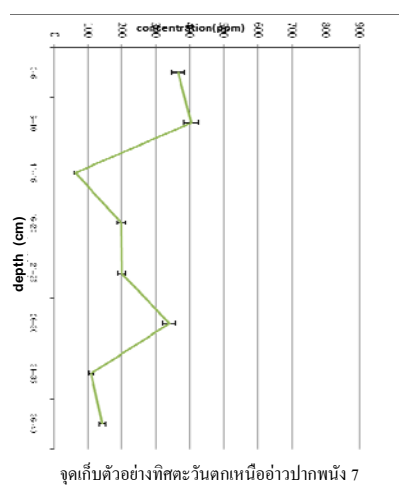
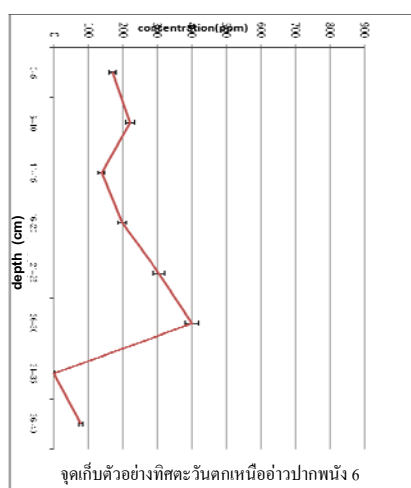
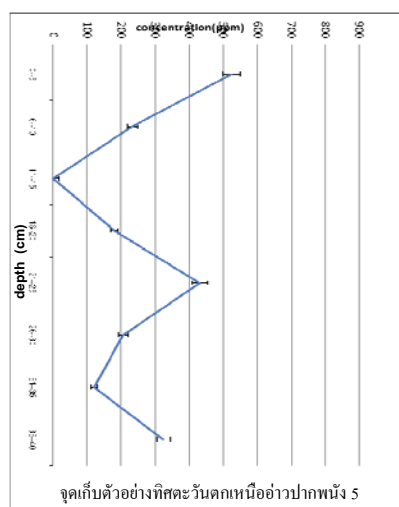
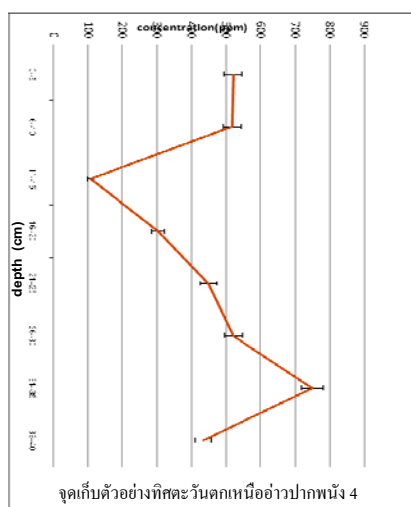
ปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง มีความแปรปรวนมากตลอดระยะความลึกที่ศึกษา (ภาพที่ 48) โดยพบปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสสูงสุด ที่ระดับความลึก 31-35 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 มีปริมาณของธาตุอยู่ 749.8437 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 49) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

4. คลอรีน

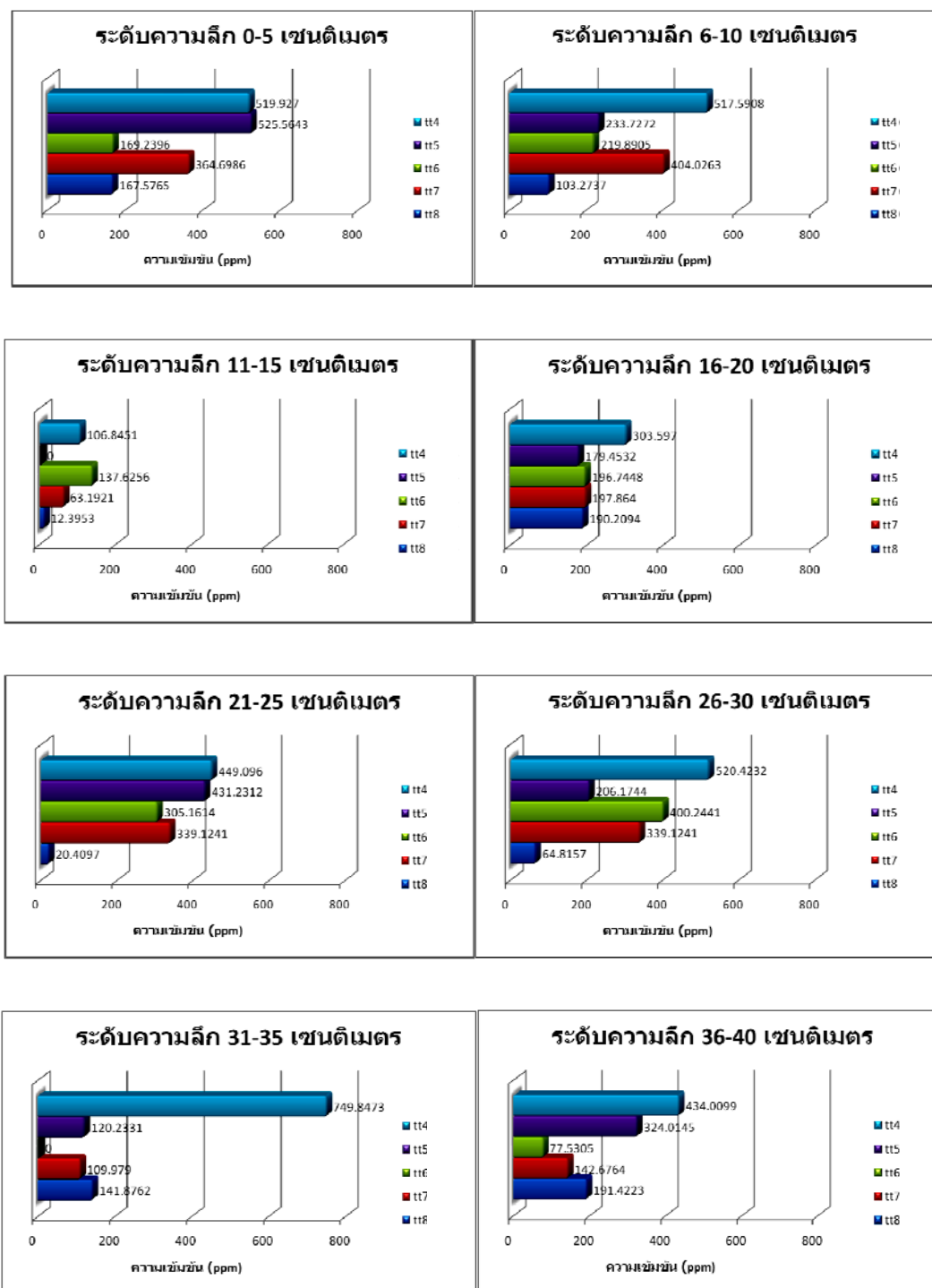
เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณธาตุคลอรีนที่จุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาที่แต่ละระดับความลึก พบว่า ปริมาณของคลอรีนลดลงจากจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 ไปจนถึง 8 (ภาพที่ 50) จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุมากที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตรของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 มีค่าเท่ากับ 359.6869 ส่วนต่อล้านส่วน และจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาุน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 ที่ระดับความลึก 31-35 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 179.8648 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 51) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุคลอรีนที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

5. โพแทสเซียม

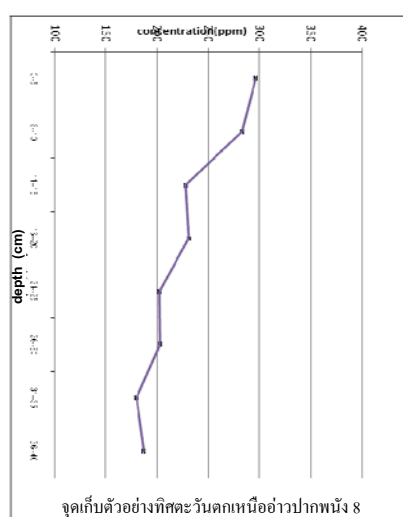
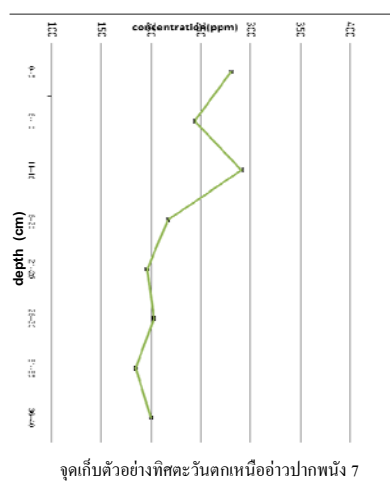
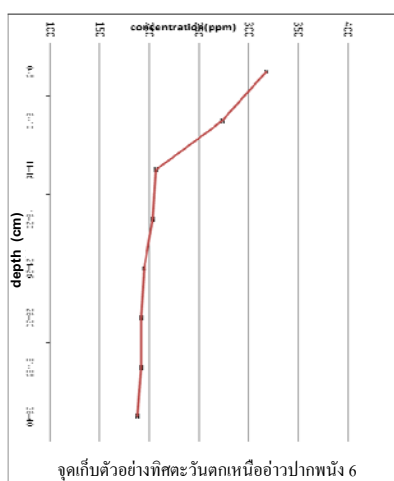
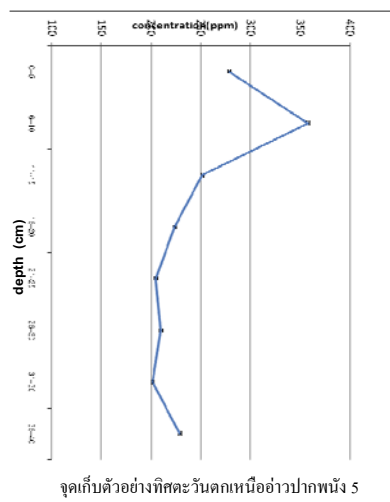
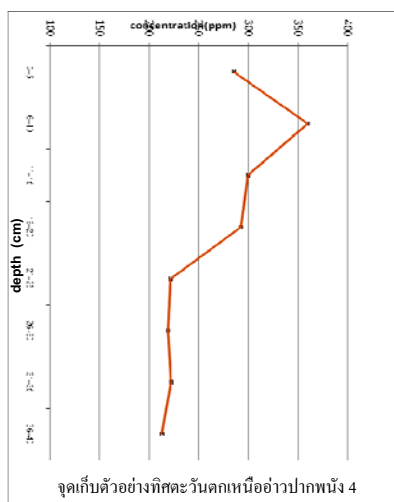
ในส่วน of ธาตุโพแทสเซียม พบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณโพแทสเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 52 โดยจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณของธาตุโพแทสเซียมมากที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 21-25 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5 มีปริมาณธาตุเท่ากับร้อยละ 2.2460 โดยน้ำหนัก ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาุน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 11-15 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.5088 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 53) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า



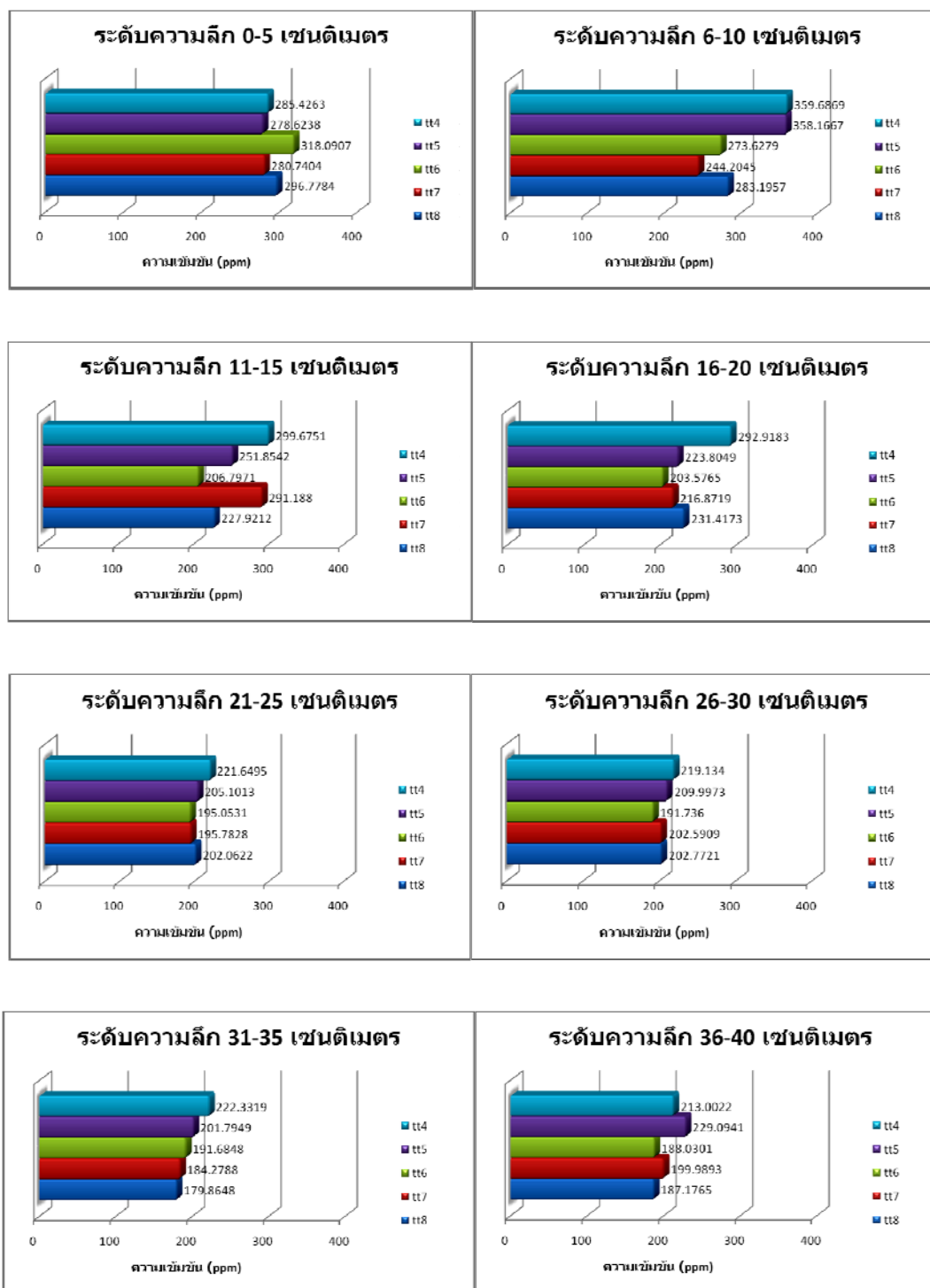
ภาพที่ 48 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



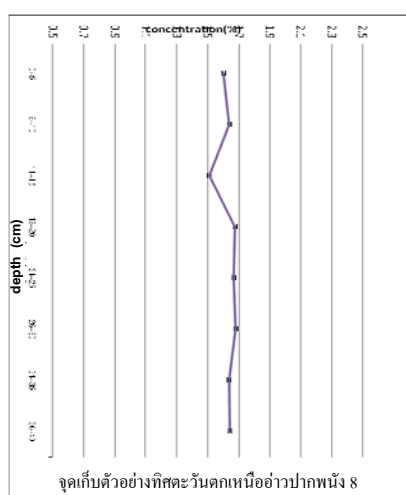
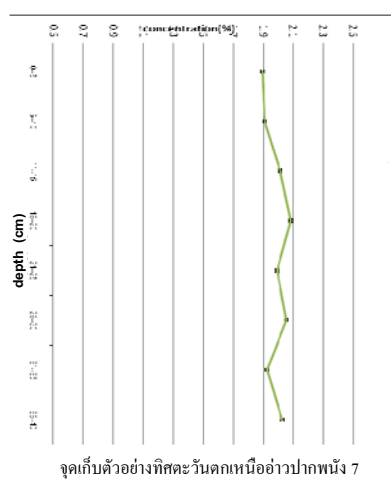
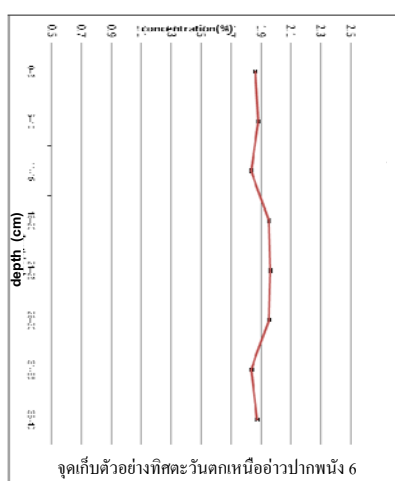
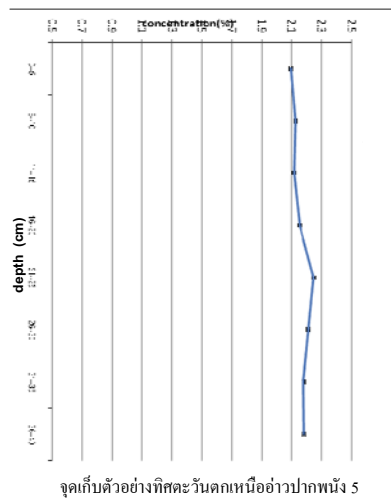
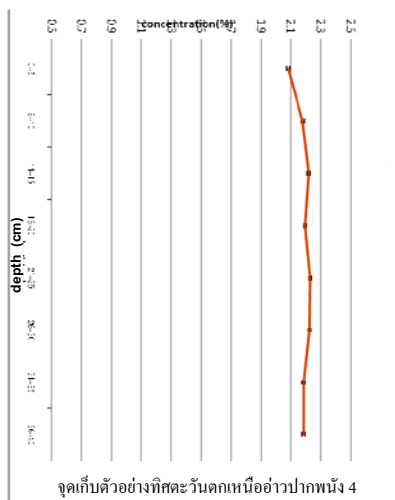
ภาพที่ 49 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



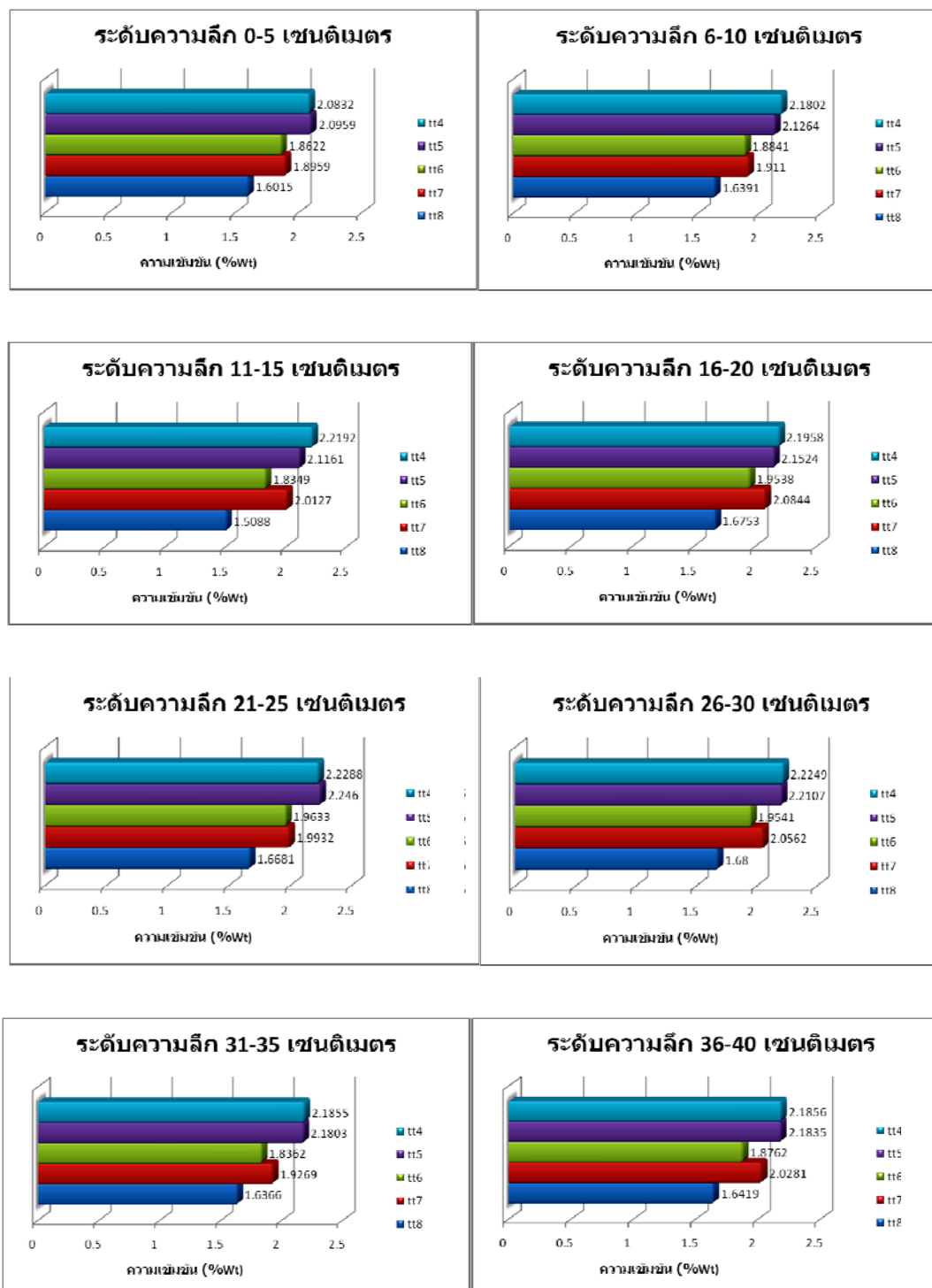
ภาพที่ 50 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 51 ปริมาณธาตุคลอรีนในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 52 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 53 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

6. แคลเซียม

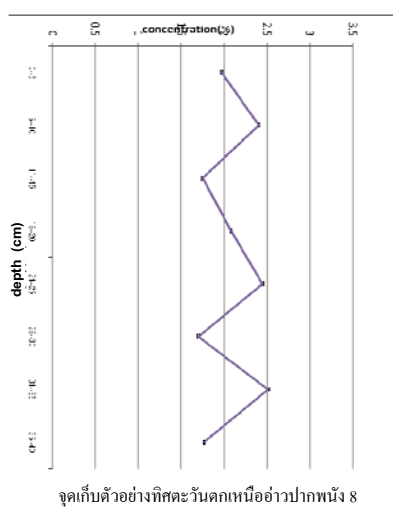
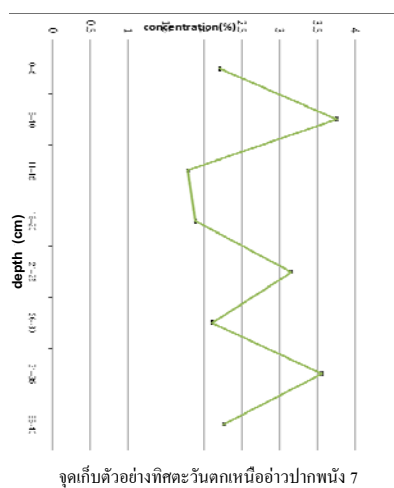
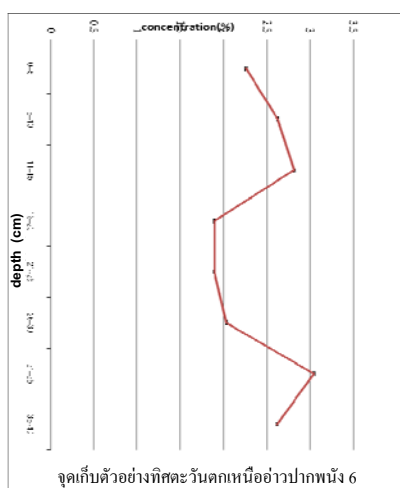
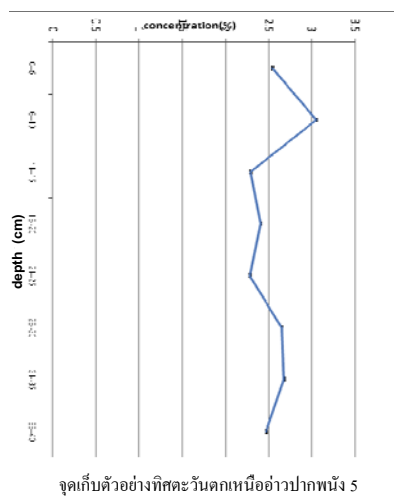
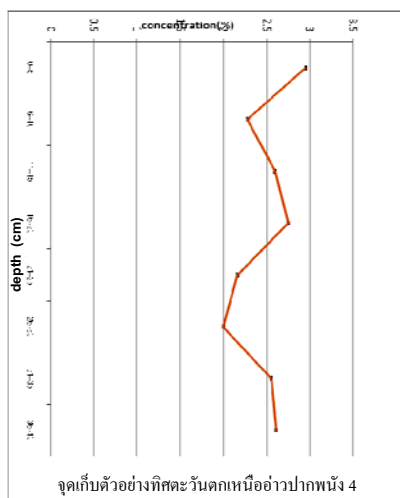
จากการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณของธาตุแคลเซียมมีความแปรปรวนตลอดระยะเวลาความลึกที่ศึกษา (ภาพที่ 54) โดยจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (ความลึก 6-10 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุสะสมอยู่มากที่สุด คือ ร้อยละ 3.7588 โดยน้ำหนัก ส่วนจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 26-30 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 1.7022 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 55 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุแคลเซียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าต่ำกว่า

7. ไทเทเนียม

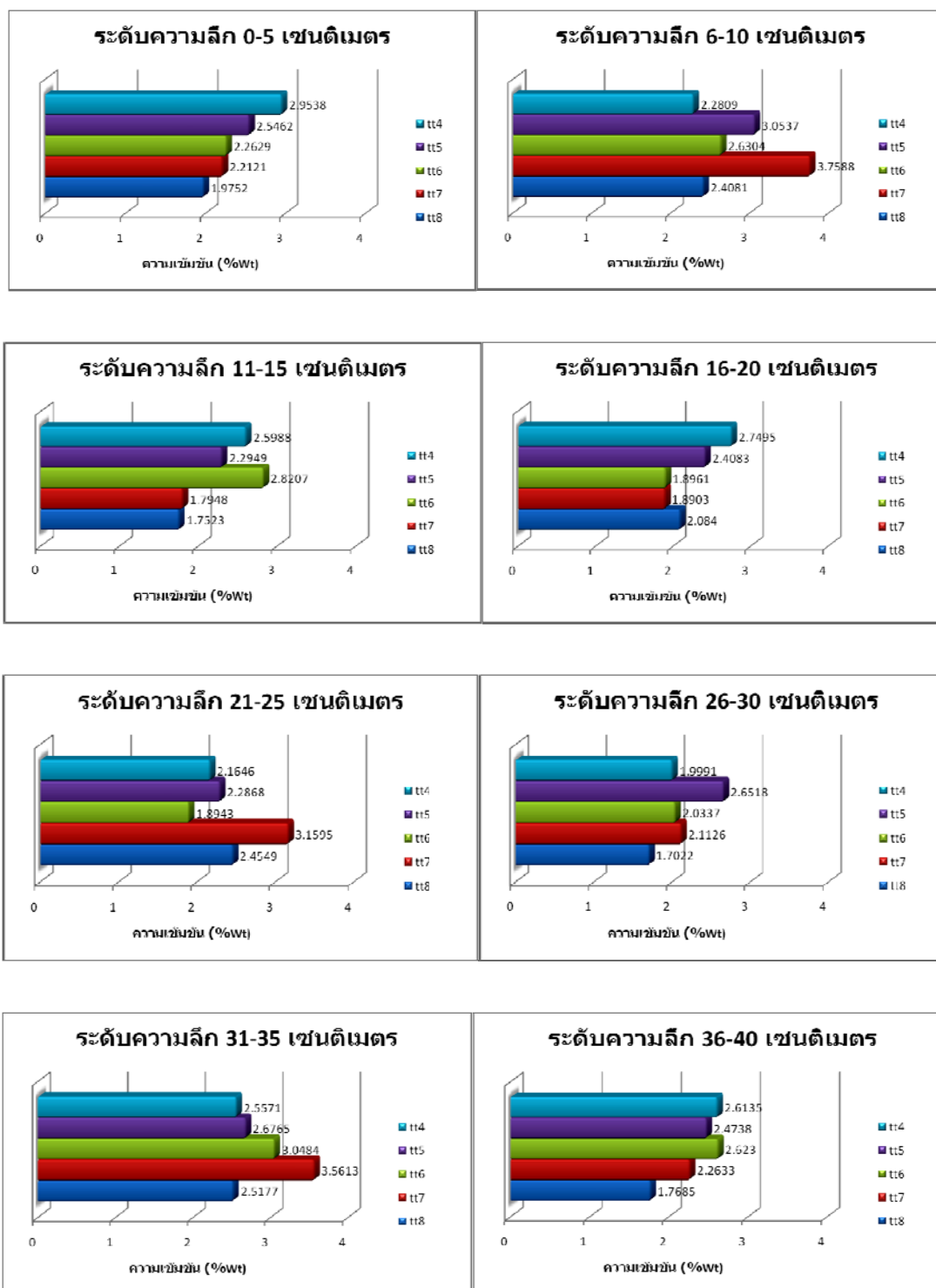
จากการวิเคราะห์ธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง พบว่า ส่วนใหญ่ปริมาณธาตุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 56) โดยจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 มีปริมาณของธาตุสูงที่สุดเกือบทุกระดับความลึก โดยพบปริมาณธาตุสูงที่สุดที่ระดับความลึก 16-20 เซนติเมตร คือ 0.5134 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่ปริมาณธาตุต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 6-10 เซนติเมตร) ซึ่งมีปริมาณธาตุเท่ากับ 0.3843 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 57) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุไทเทเนียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

8. วานาเดียม

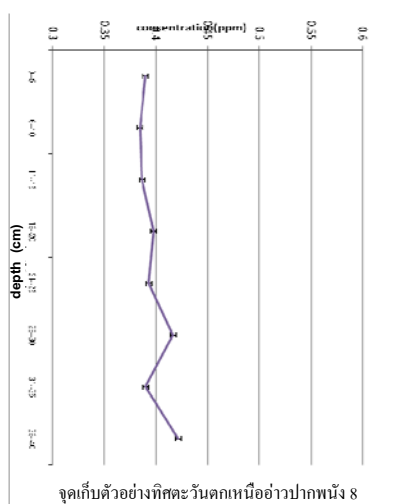
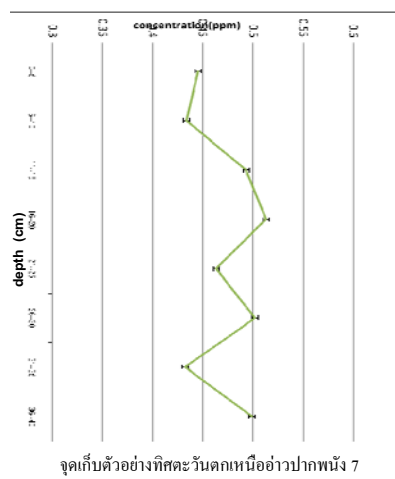
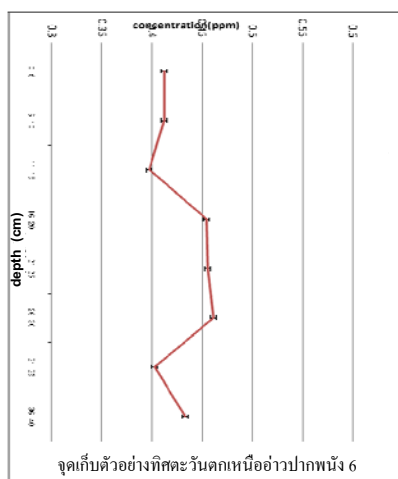
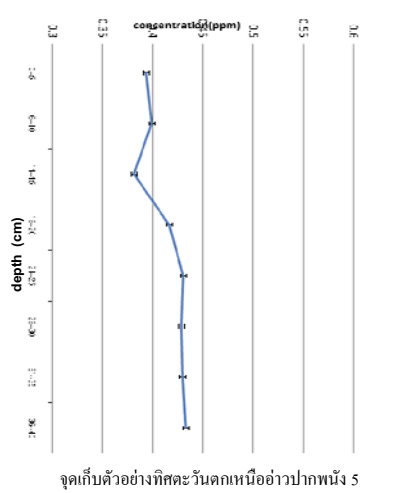
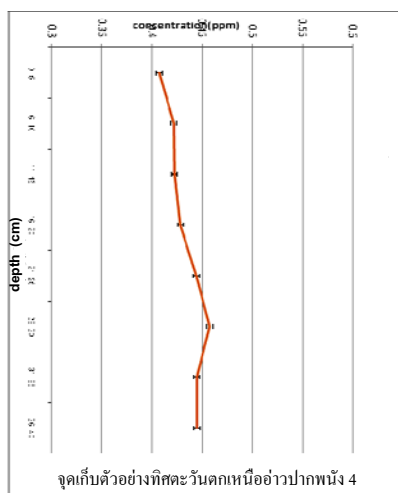
ผลการวิเคราะห์ธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง ส่วนใหญ่มีแนวโน้มปริมาณธาตุเพิ่มขึ้นในช่วงความลึก 0-30 เซนติเมตร ก่อนจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น มีเพียงจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 ที่มีปริมาณธาตุใกล้เคียงกันตลอดความลึกที่ศึกษา (ภาพที่ 58) จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (ความลึก 6-10 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับ 54.4298 ส่วนต่อล้านส่วน และจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 (ความลึก 26-30 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุสูงที่สุด คือ 90.2027 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 59) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุวานาเดียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน



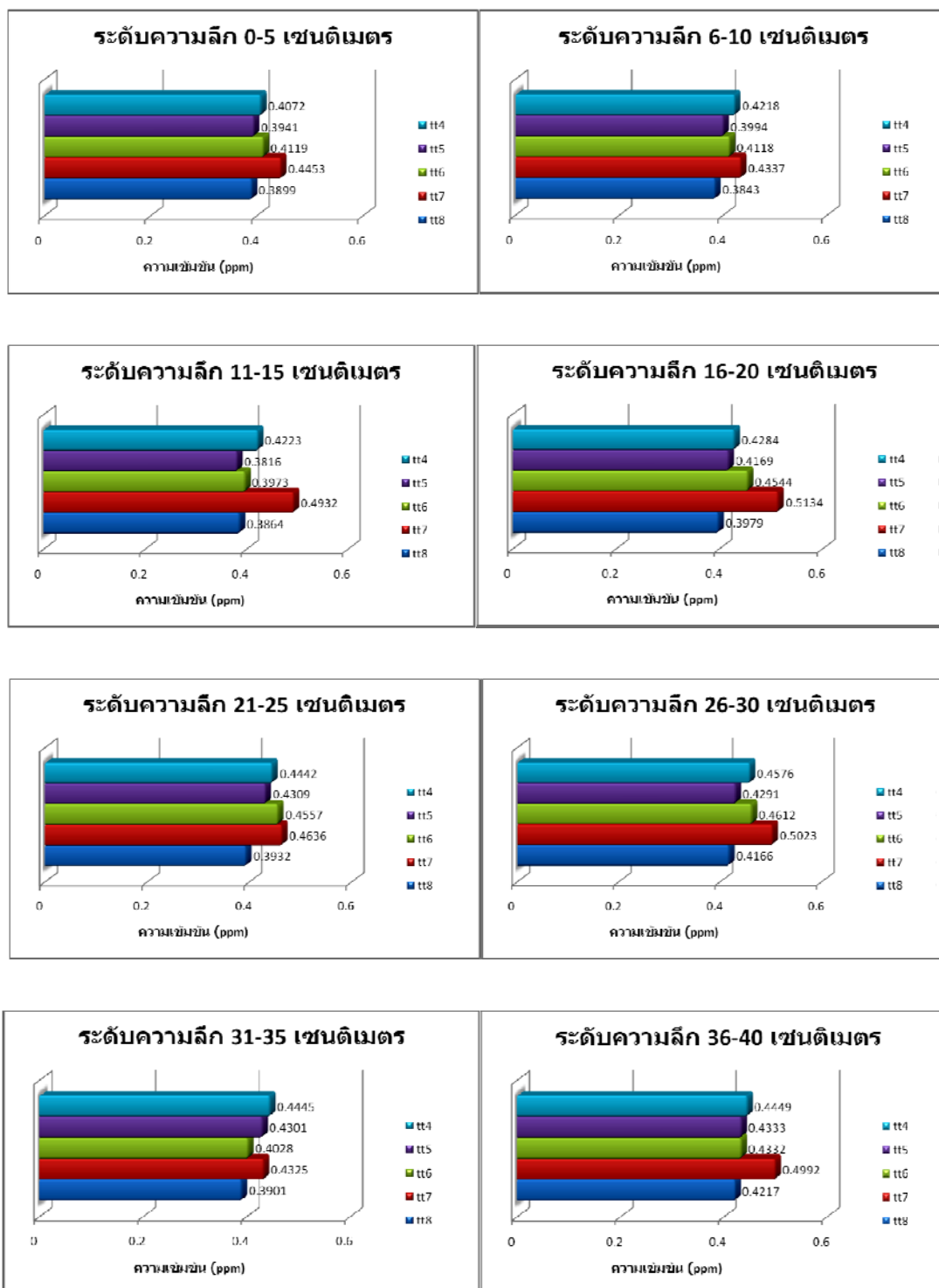
ภาพที่ 54 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



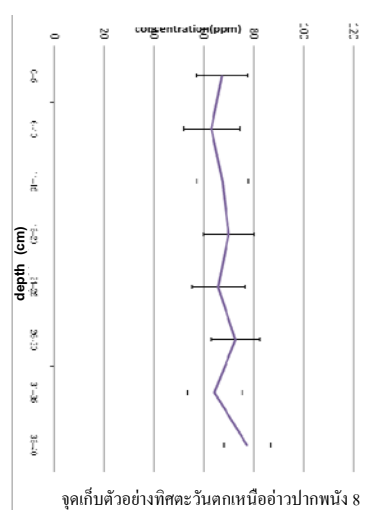
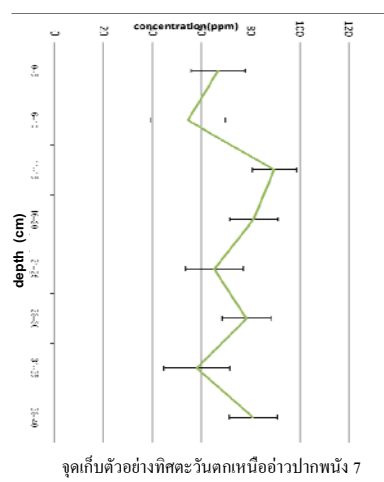
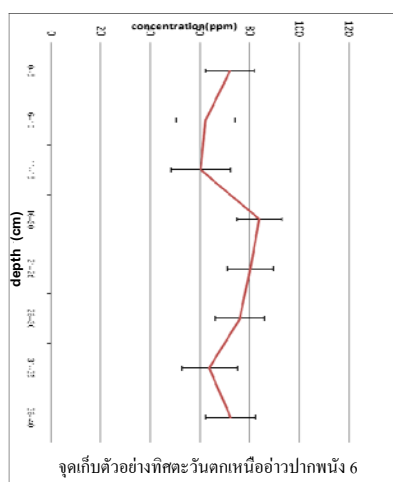
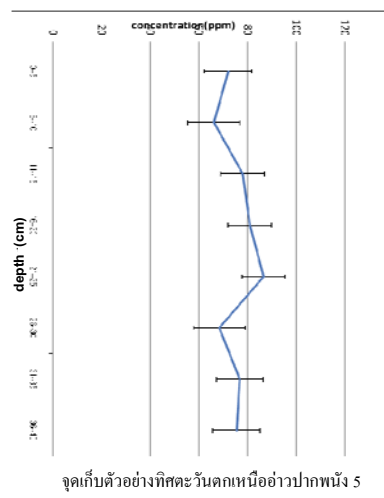
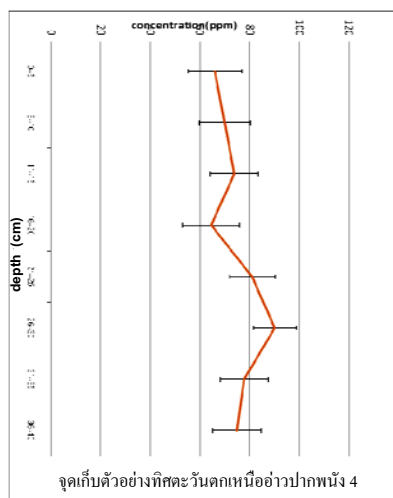
ภาพที่ 55 ปริมาณธาตุแคลเซียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



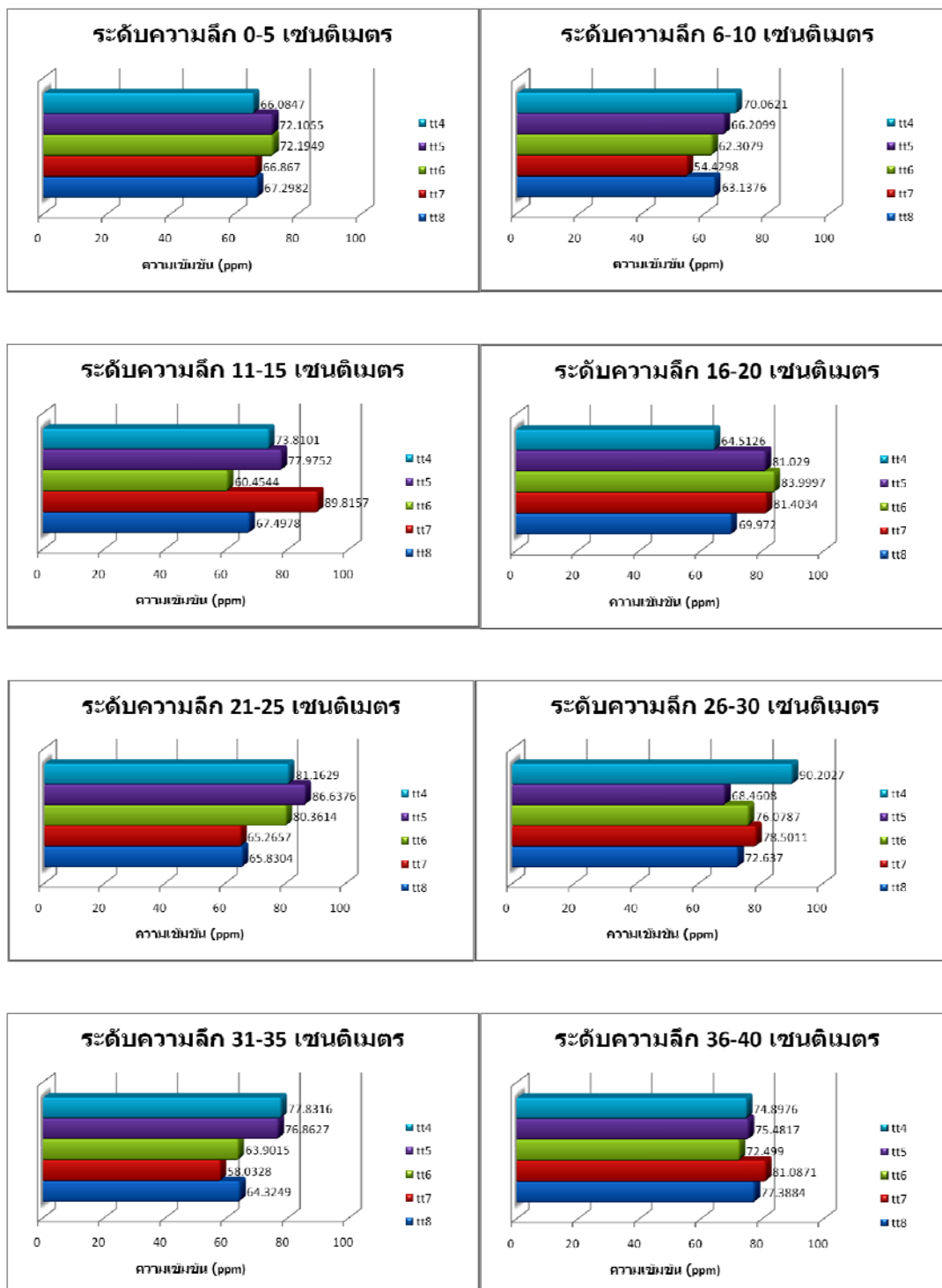
ภาพที่ 56 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุไทเทเนียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 57 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 58 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุวานาเดียมในดินตะกอนบริเวณทิศะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 59 ปริมาณธาตุอาหารในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

9. โครเมียม

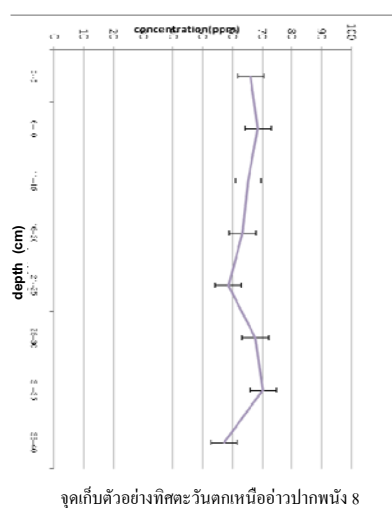
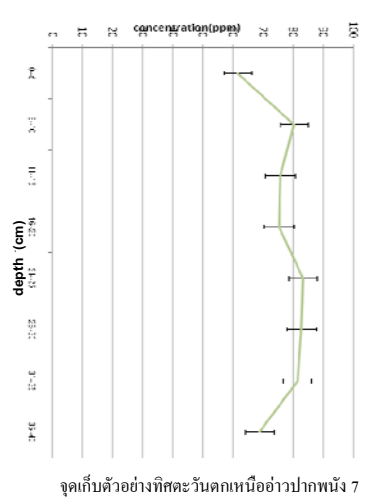
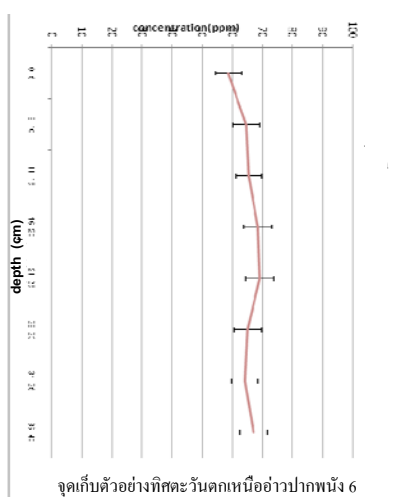
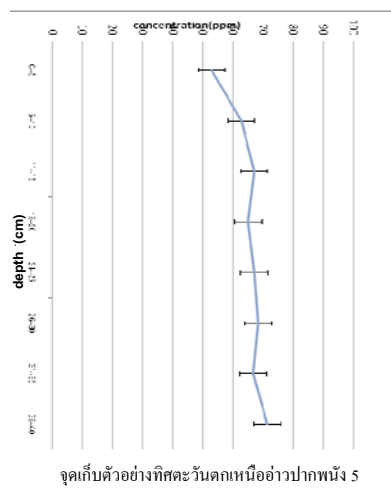
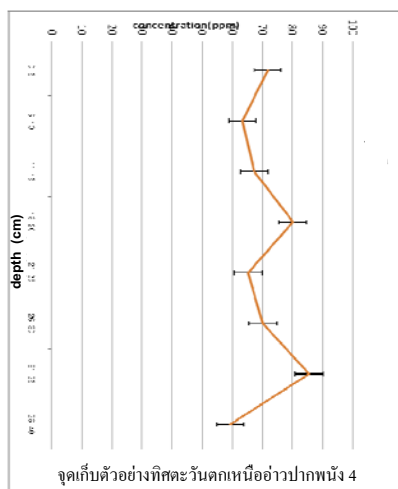
จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ส่วนใหญ่มีแนวโน้มของการกระจายตามระดับความลึกที่ไม่แน่นอน (ภาพที่ 60) นอกจากนี้ปริมาณธาตุของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5 และ 6 มีค่าใกล้เคียงเกือบทุกระดับความลึก จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุสูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 (ความลึก 31-35 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุเท่ากับ 85.5457 ส่วนในล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุต่ำสุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5 (ความลึก 0-5 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับ 52.9369 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 61 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุโครเมียมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า ส่วนใหญ่บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าต่ำกว่า

10. แมงกานีส

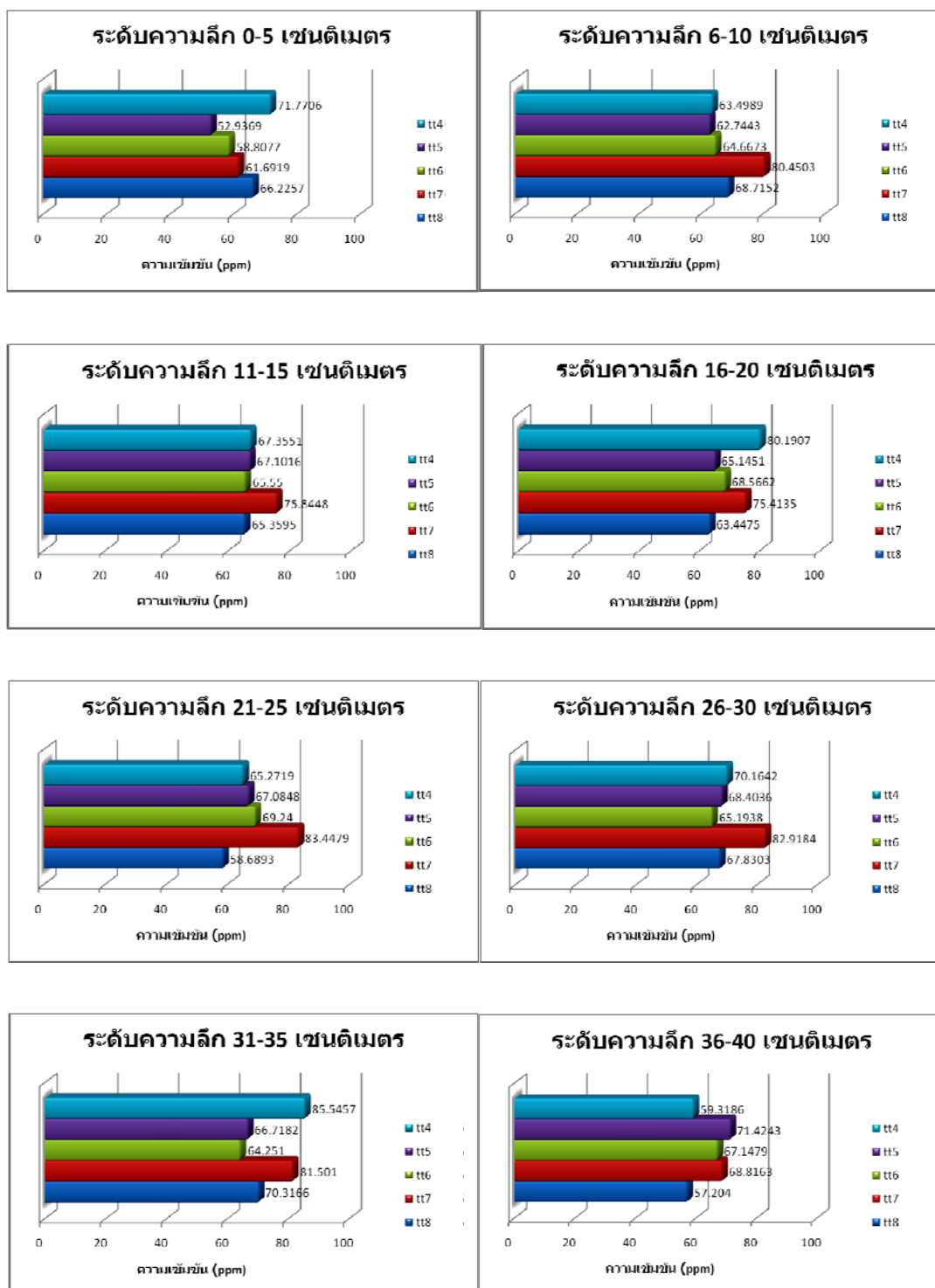
ธาตุแมงกานีสแสดงแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 62) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (ความลึก 0-5 เซนติเมตร) เป็นจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุแมงกานีสสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1132.1491 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณแมงกานีสน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 36-40 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับ 790.2475 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงในภาพที่ 63 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุแมงกานีสที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน

11. เหล็ก

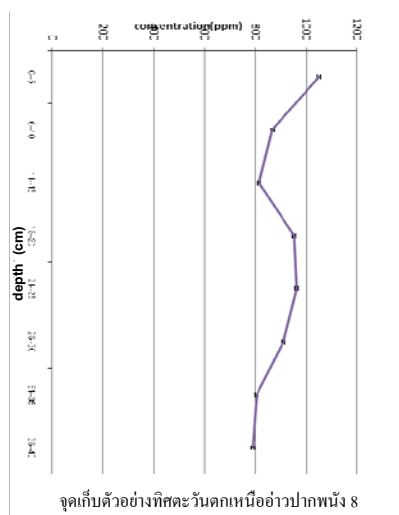
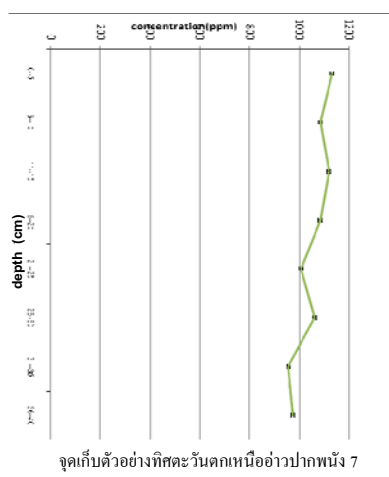
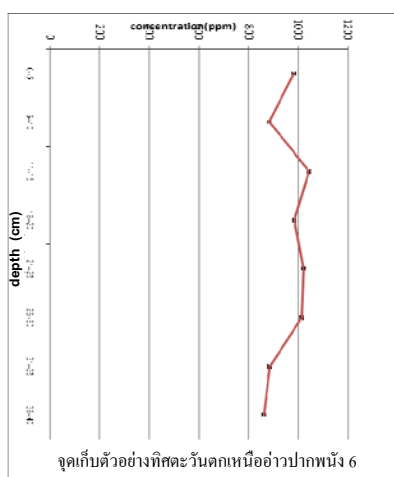
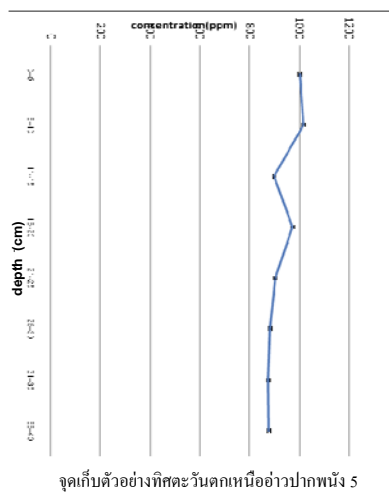
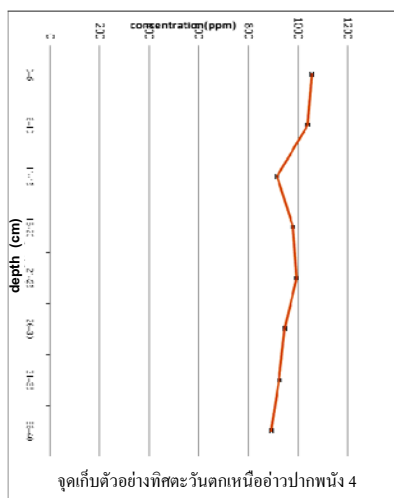
ผลการวิเคราะห์ธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง พบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 64) โดยปริมาณธาตุสูงที่สุดอยู่ที่ระดับความลึก 16-20 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 6.6333 โดยน้ำหนัก ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุต่ำที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 (ความลึก 31-35 เซนติเมตร) โดยมีปริมาณธาตุเท่ากับร้อยละ 4.6506 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 65) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุเหล็กที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า



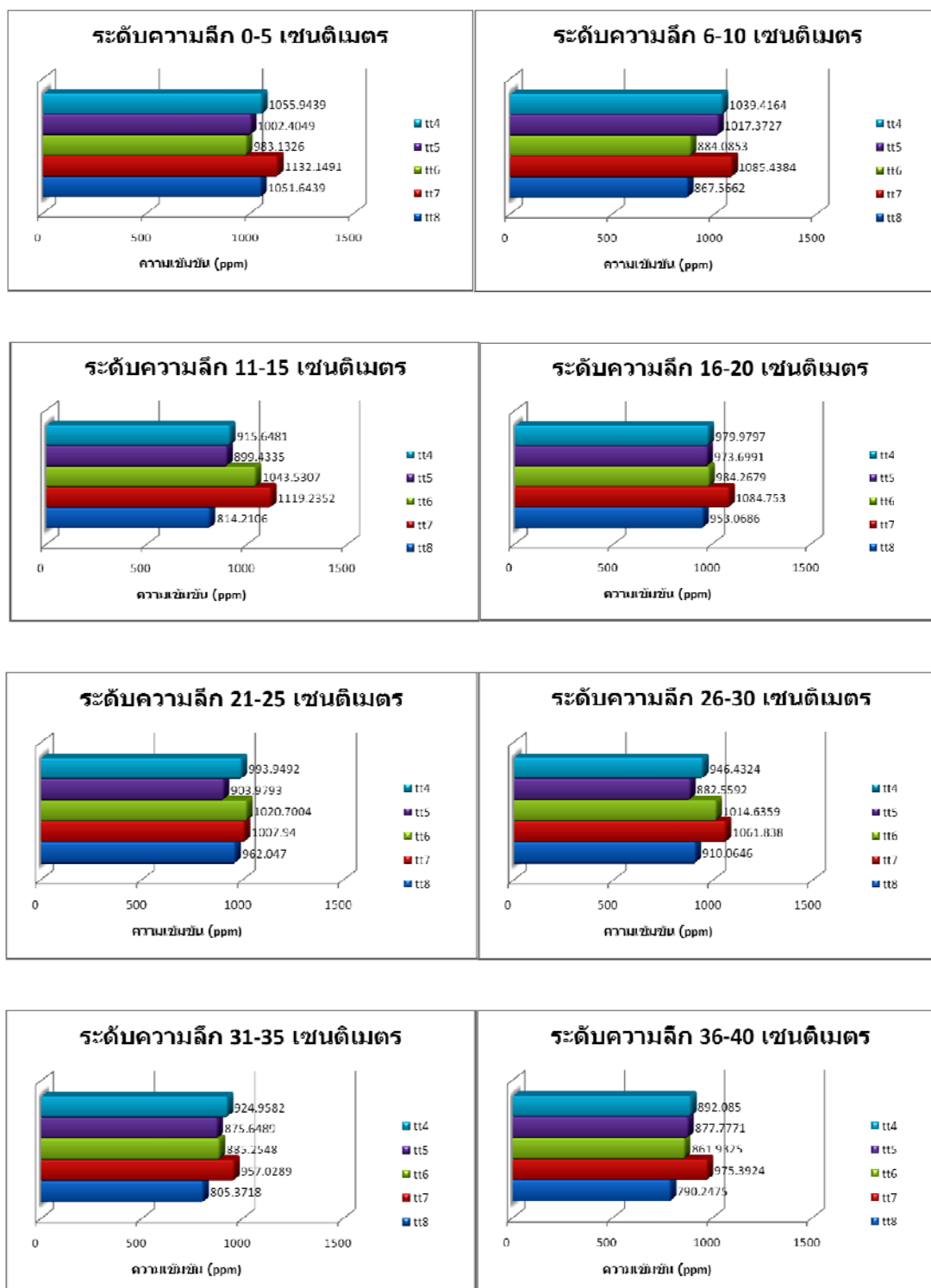
ภาพที่ 60 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณทิศะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



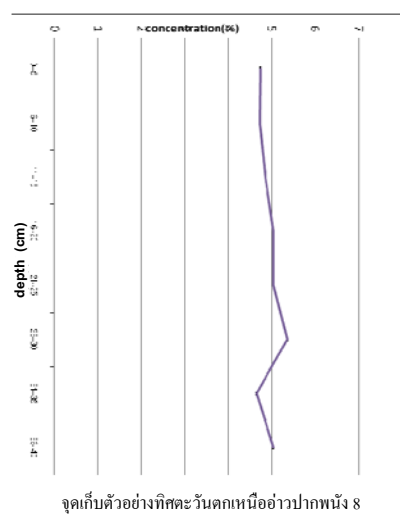
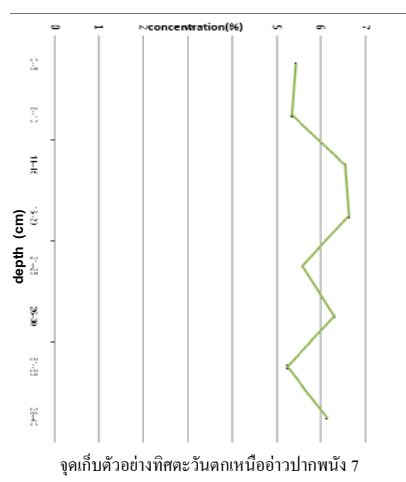
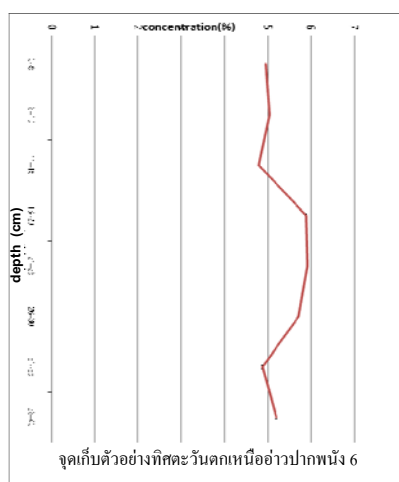
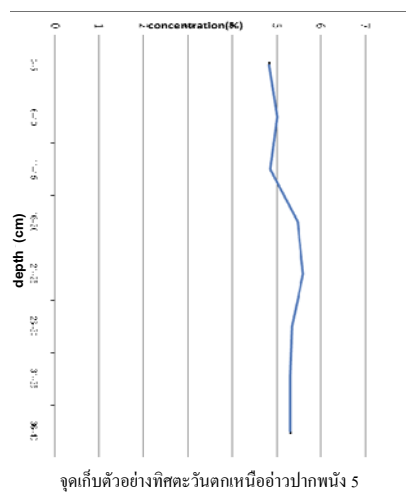
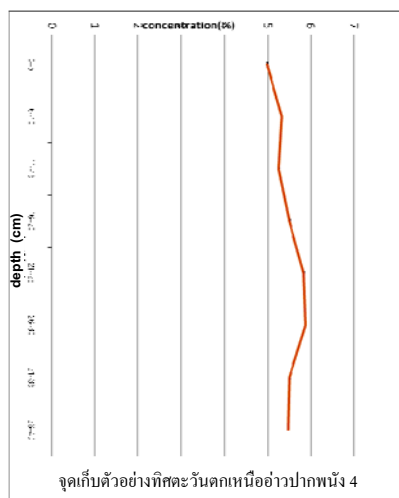
ภาพที่ 61 ปริมาณธาตุโครเมียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



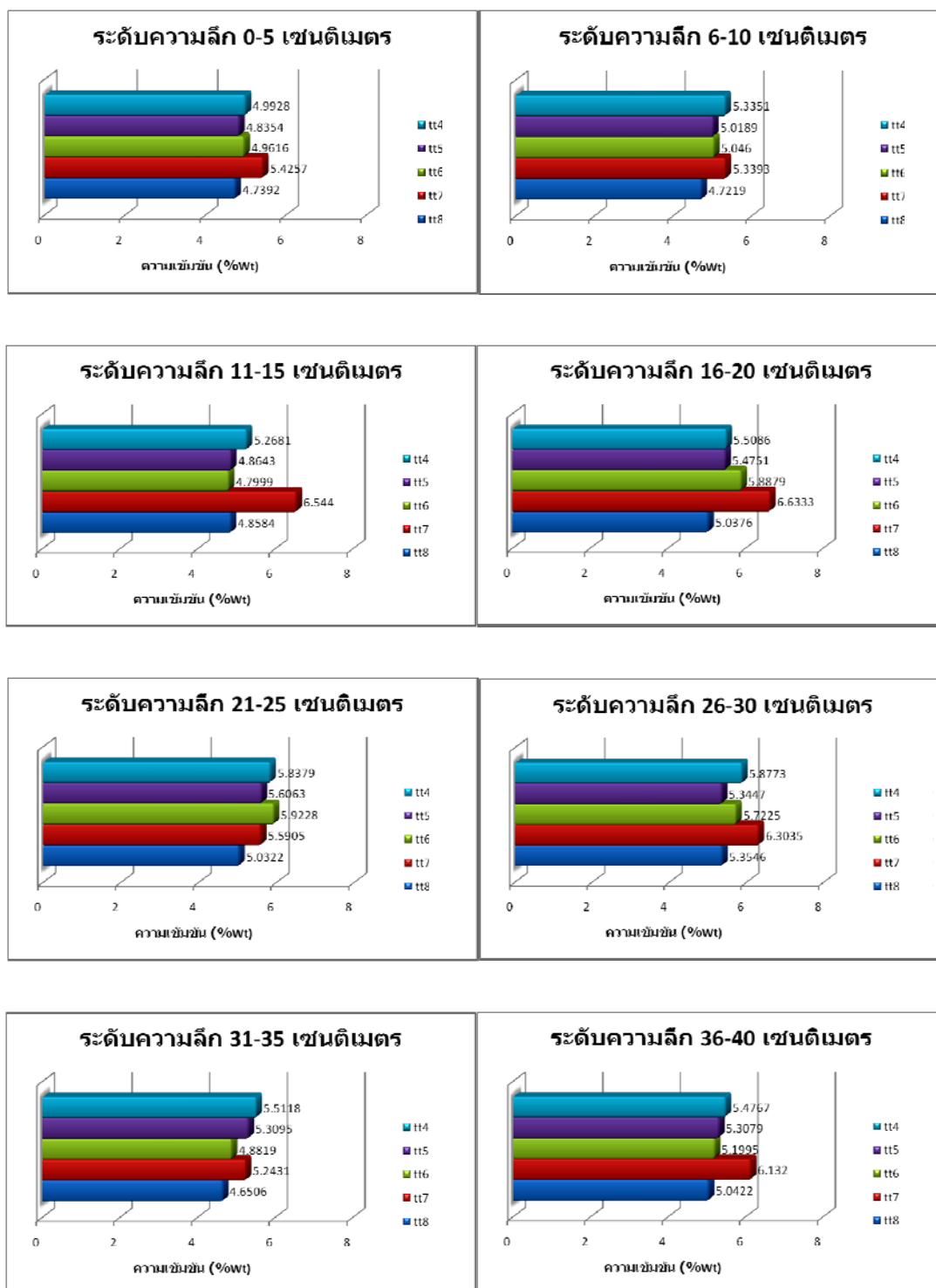
ภาพที่ 62 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 63 ปริมาณธาตุแมงกานีสในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 64 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุหลักในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตก
เหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 65 ปริมาณธาตุหลักในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

12. นิกเกิล

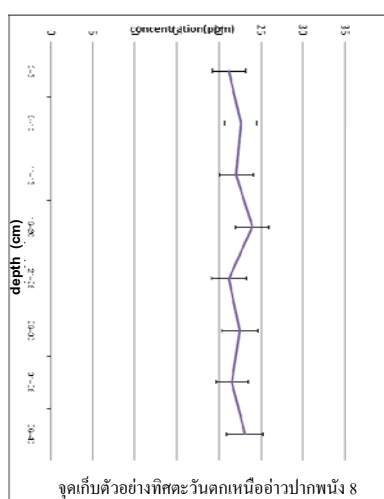
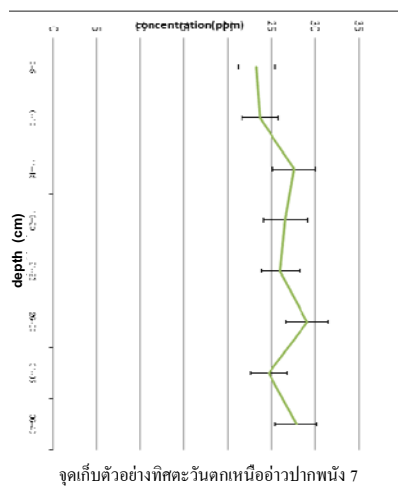
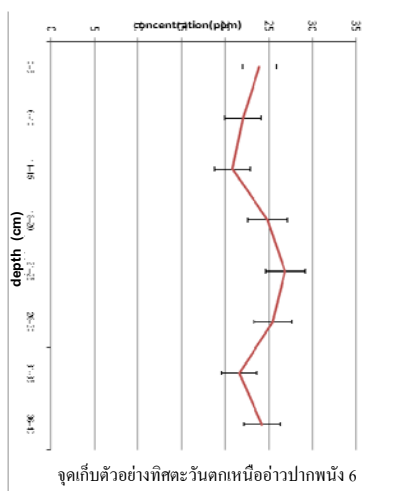
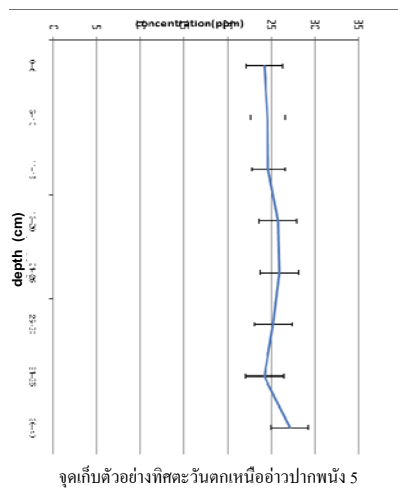
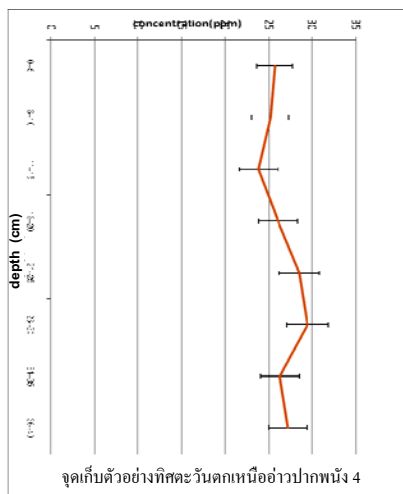
ในส่วนของธาตุนิกเกิล พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 66) จุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุมากที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (ความลึก 26-30 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุเท่ากับ 29.0773 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณนิกเกิลน้อยที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 6 (ความลึก 11-15 เซนติเมตร) โดยมีปริมาณธาตุ 20.8303 ส่วนต่อล้านส่วน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 67 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุนิกเกิลที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

13. สังกะสี

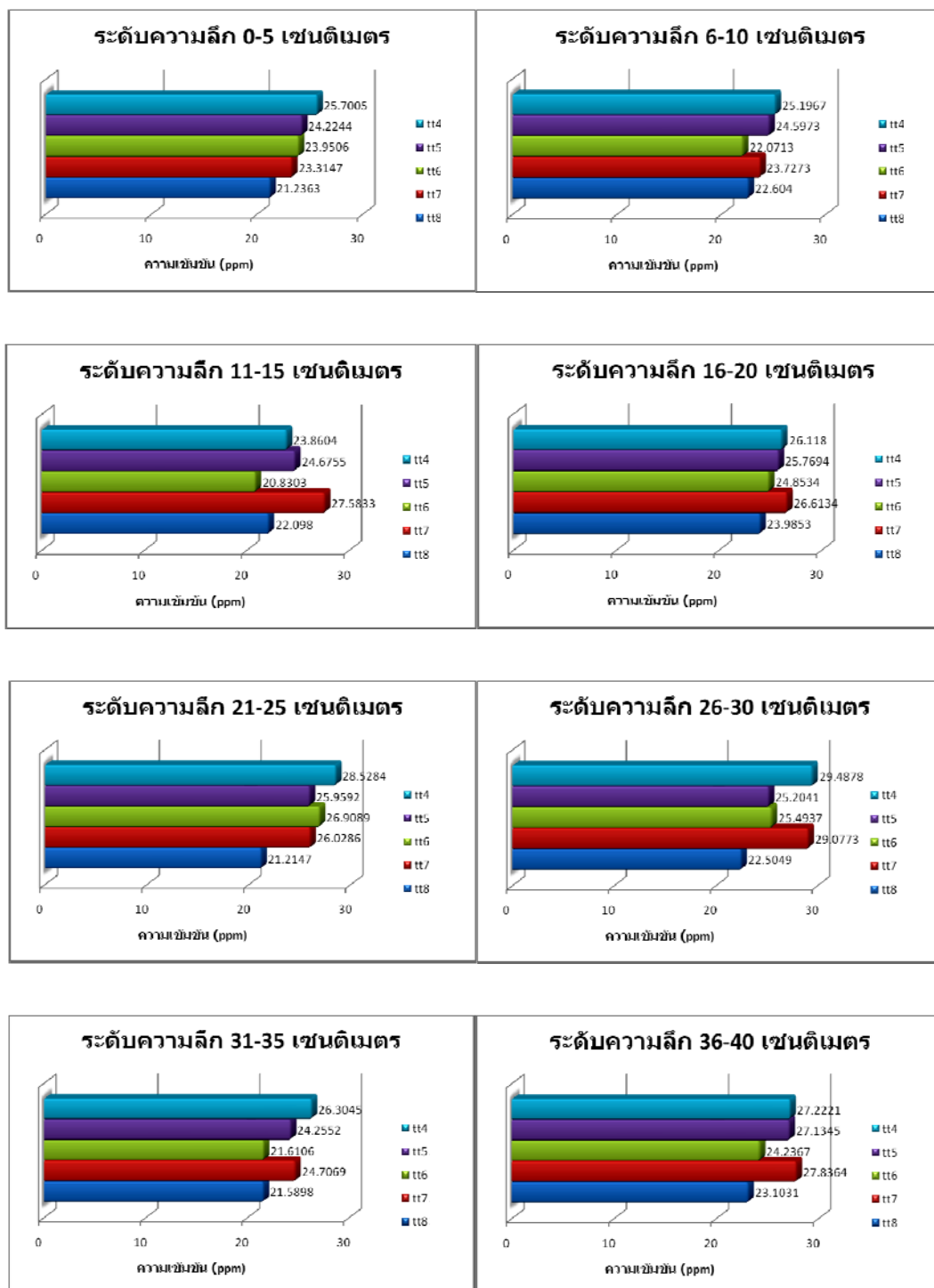
จากการวิเคราะห์ธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง พบว่า ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปจนถึงที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ก่อนจะมีปริมาณลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 68) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุมากที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4 (ความลึก 26-30 เซนติเมตร) มีปริมาณธาตุเท่ากับ 87.5326 ส่วนต่อล้านส่วน และที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 เป็นจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณของธาตุสังกะสีน้อยที่สุด คือ 53.0852 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 69) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุสังกะสีที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า

14. แบริยม

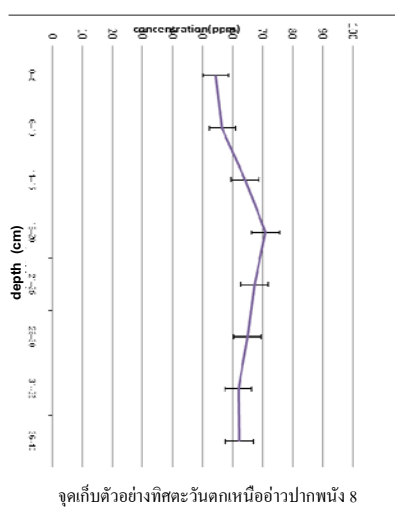
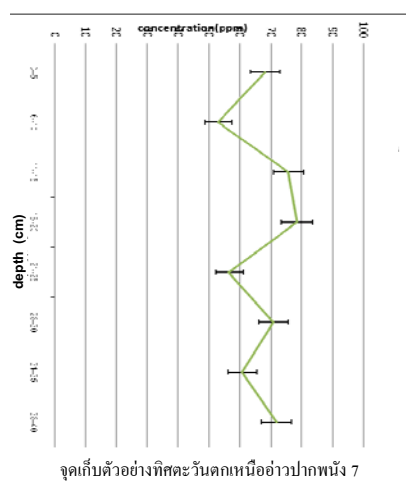
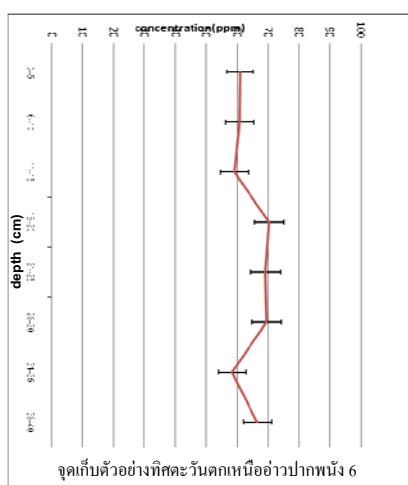
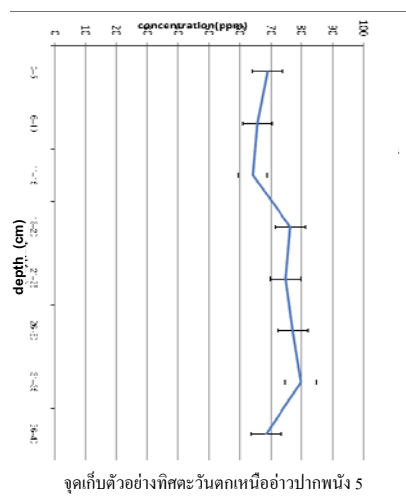
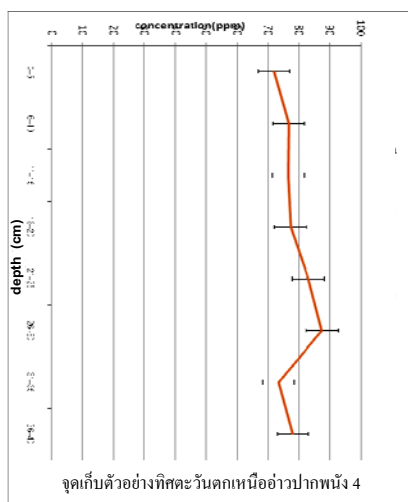
ปริมาณธาตุแบริยมจากจุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 70 โดยจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุแบริยมสูงที่สุด คือ จุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7 (ความลึก 6-10 เซนติเมตร) มีค่าเท่ากับ 335.9979 ส่วนต่อล้านส่วน ส่วนจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณธาตุแบริยมต่ำที่สุด คือ ที่ระดับความลึก 6-10 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8 มีปริมาณแบริยมเท่ากับ 268.4975 ส่วนต่อล้านส่วน (ภาพที่ 71) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุแบริยมที่พบในบริเวณแหลมตะลุมพุก พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่าสูงกว่า



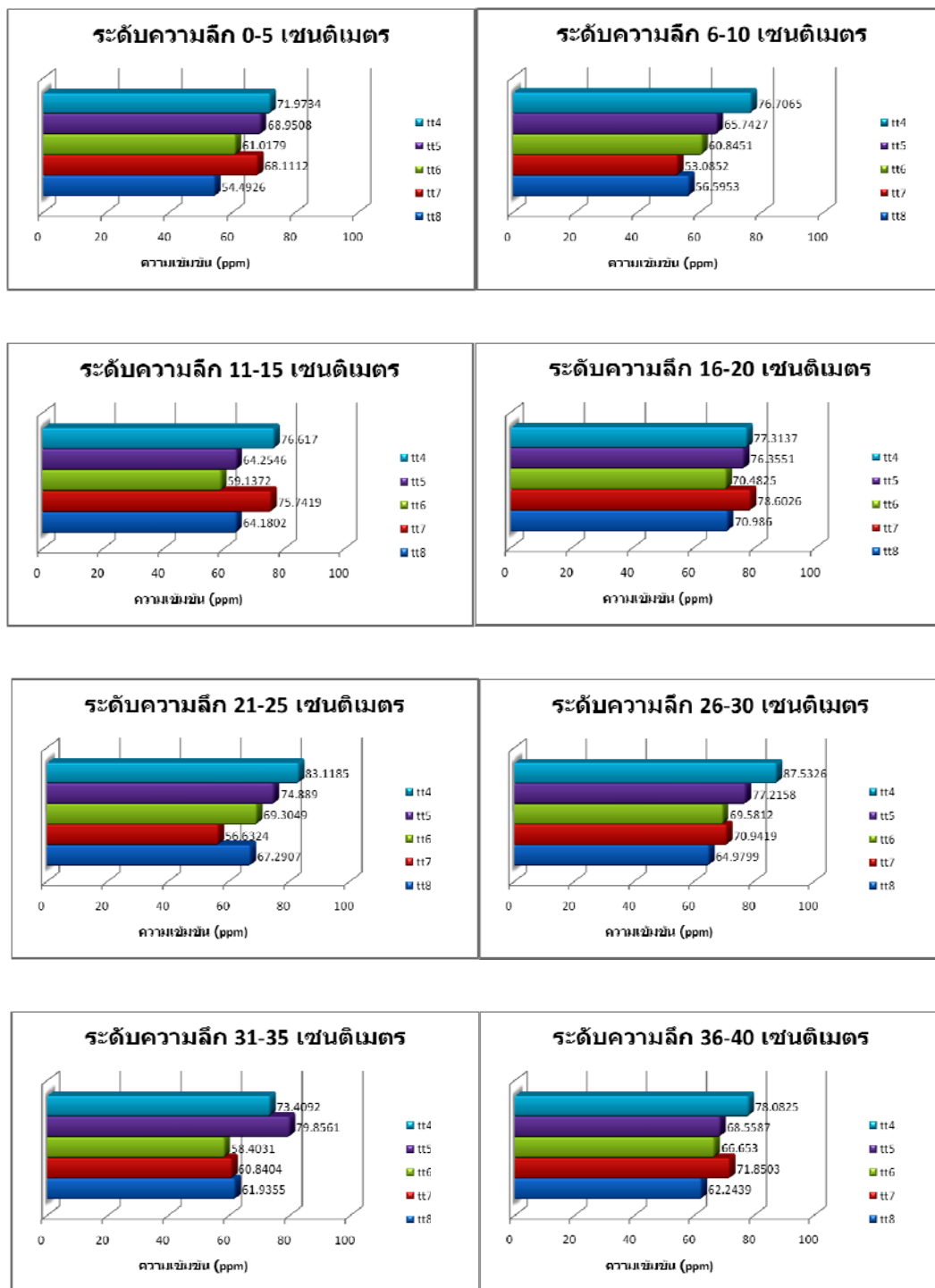
ภาพที่ 66 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุไนเกิลในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง



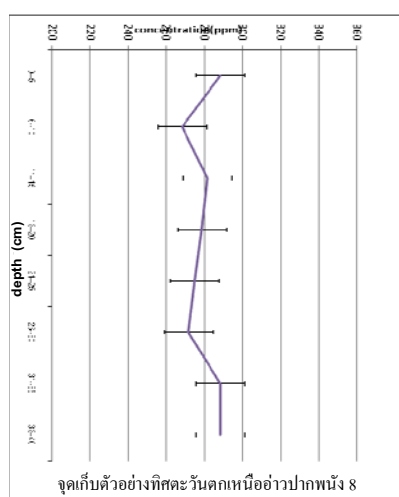
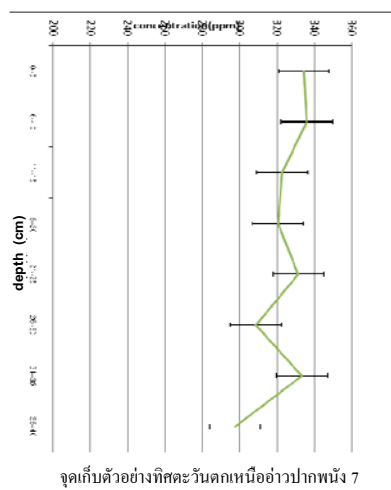
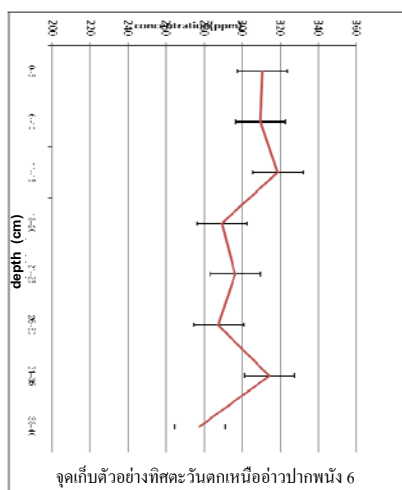
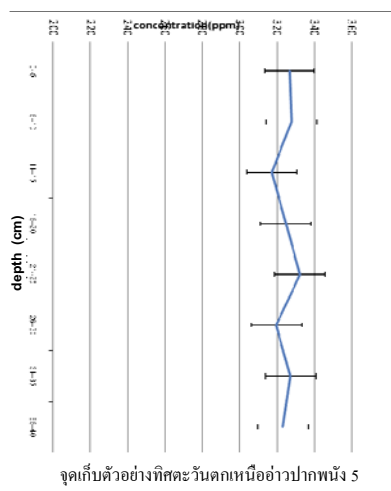
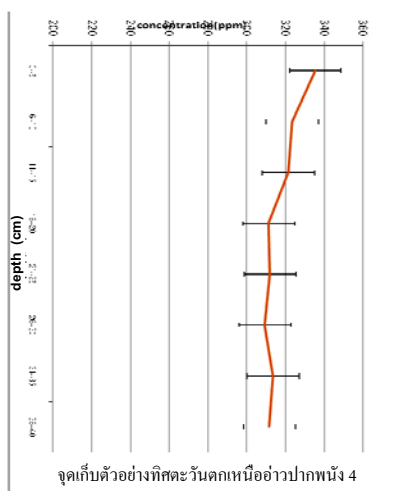
ภาพที่ 67 ปริมาณธาตุหนักเกิดในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



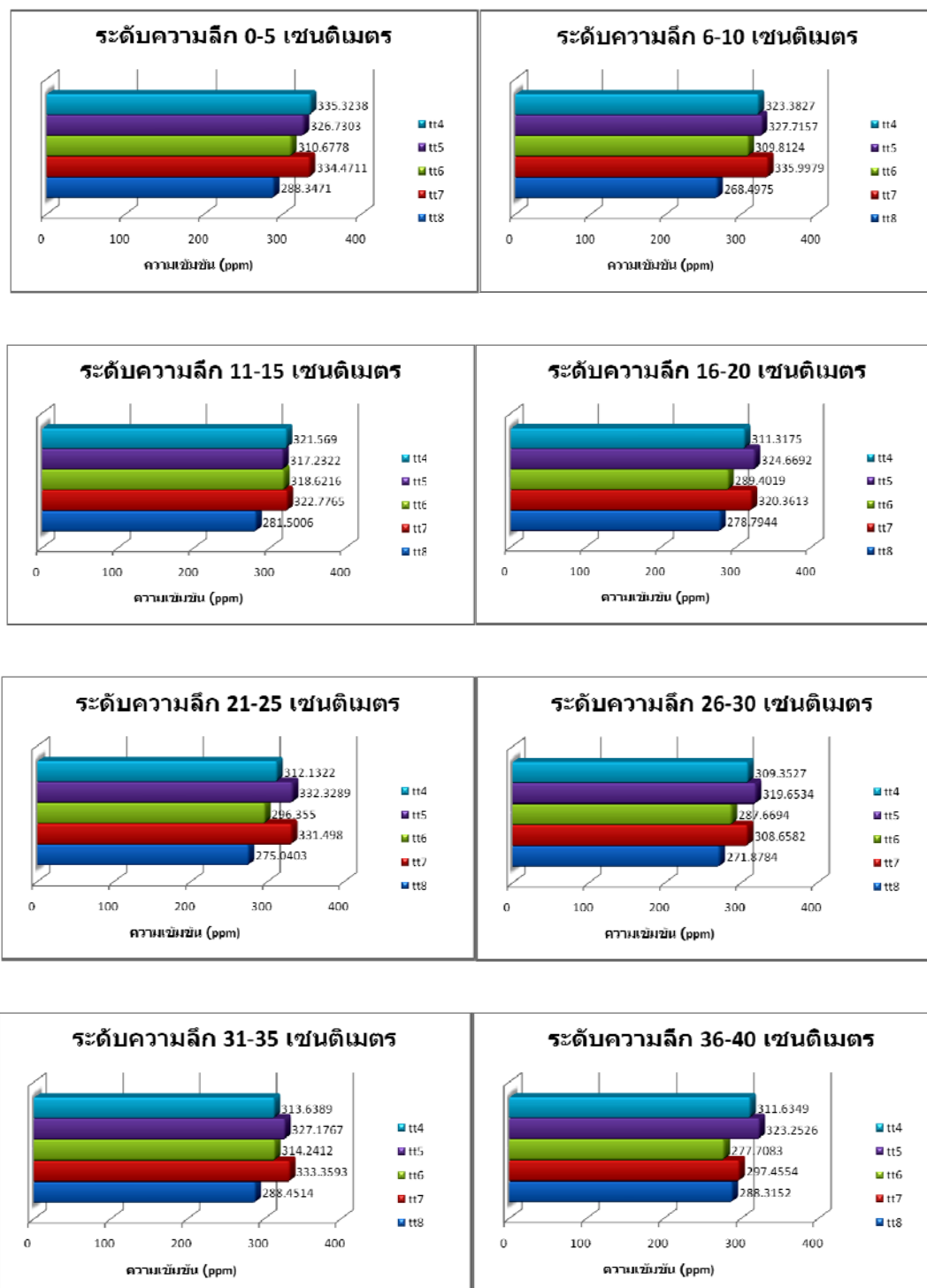
ภาพที่ 68 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุสังกะสีในดินตะกอนบริเวณที่สระวันคกเหนืออ่าวปากพนัง



ภาพที่ 69 ปริมาณธาตุสังกะสีในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน



ภาพที่ 70 การกระจายตัวตามระดับความลึกของธาตุแบเรียมในดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

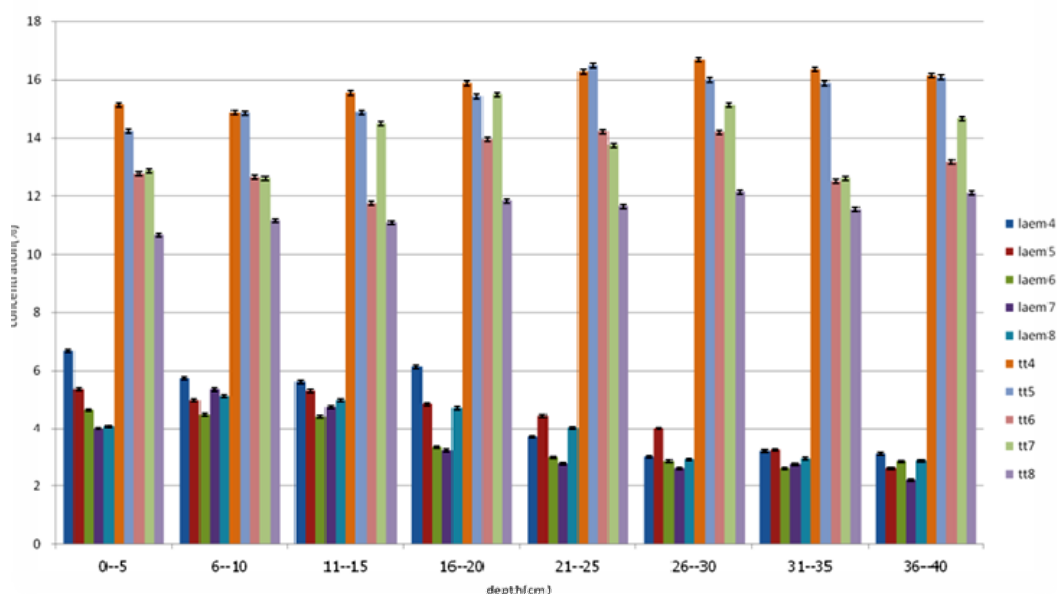


ภาพที่ 71 ปริมาณธาตุแบเรียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจำแนกตามระดับความลึกของชั้นดินตะกอน

2.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง

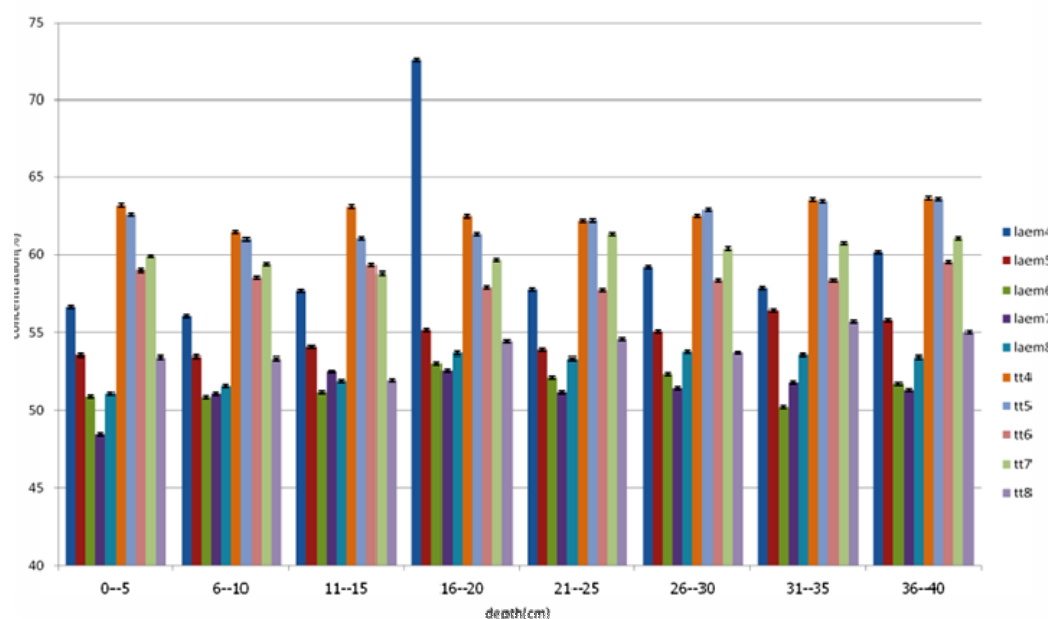
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างดินตะกอนทั้งสองบริเวณ คือ บริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง รวมทั้งหมด 10 จุดเก็บตัวอย่าง มาเปรียบเทียบกันสามารถอธิบายได้ดังนี้

ปริมาณธาตุอะลูมิเนียม จากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณแหลมตะลุมพุกทั้งหมด มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังนั้นมีแนวโน้มของปริมาณธาตุเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และจากภาพที่ 72 ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณของธาตุอะลูมิเนียมที่บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีปริมาณมากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุกอย่างชัดเจน



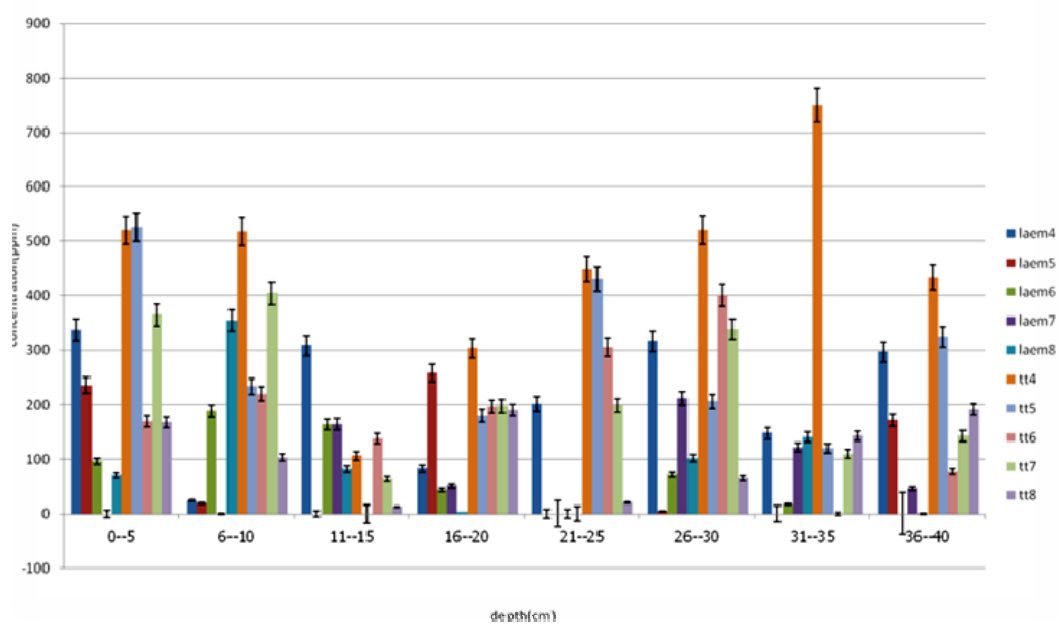
ภาพที่ 72 ปริมาณธาตุอะลูมิเนียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

จากภาพที่ 73 ปริมาณธาตุซิลิกอนที่จับได้ด้วยบริเวณแหลมตะลุมพุกมีปริมาณธาตุต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง โดยบริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มปริมาณธาตุค่อนข้างคงที่ เมื่อระดับความลึกของชั้นดินตะกอนเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังปริมาณธาตุเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น

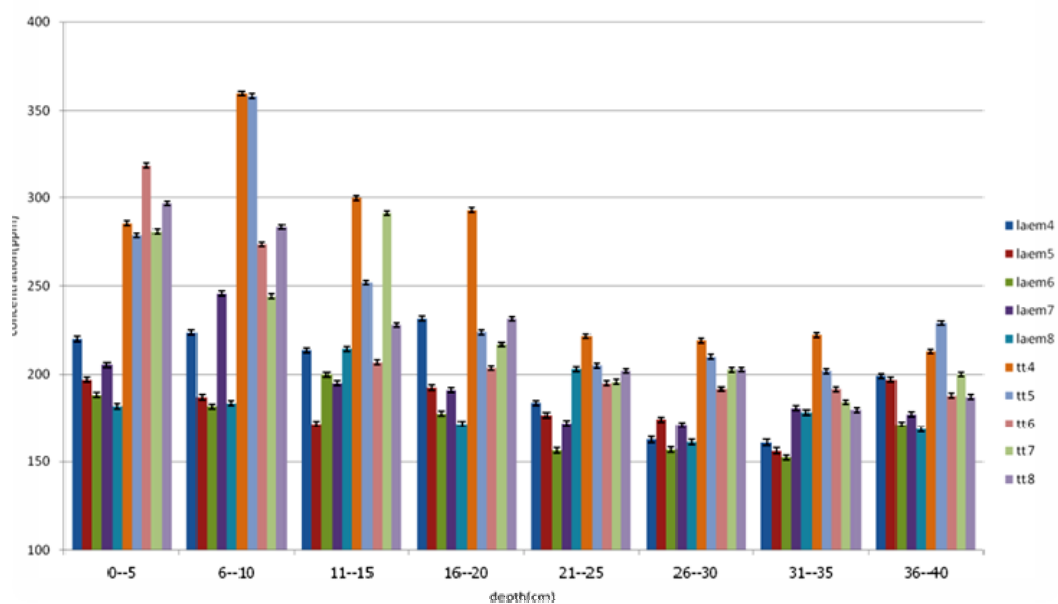


ภาพที่ 73 ปริมาณธาตุซิลิกอนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

สำหรับธาตุฟอสฟอรัส พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีการสะสมอยู่ของปริมาณธาตุมากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก ดังแสดงในภาพที่ 74 ส่วนธาตุคลอรีน (ภาพที่ 75) พบว่า จุดเก็บตัวอย่างบริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง มีแนวโน้มของปริมาณธาตุลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น และปริมาณคลอรีนที่พบในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง มีความแปรปรวนตามระดับความลึกมากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก นอกจากนี้ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ของจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังยังมีปริมาณธาตุที่มากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุกอย่างชัดเจน

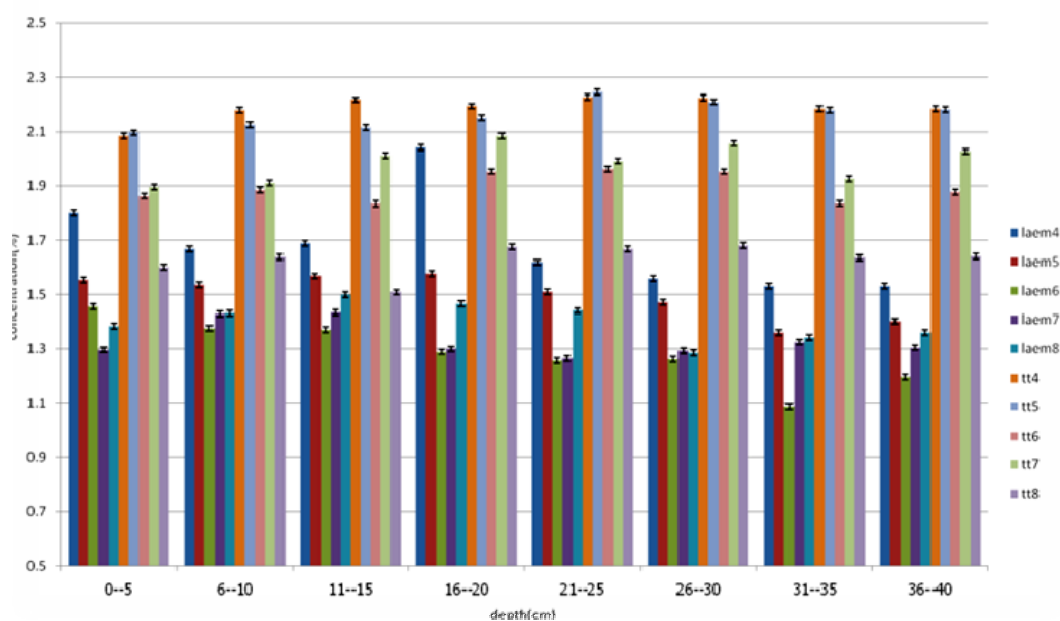


ภาพที่ 74 ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

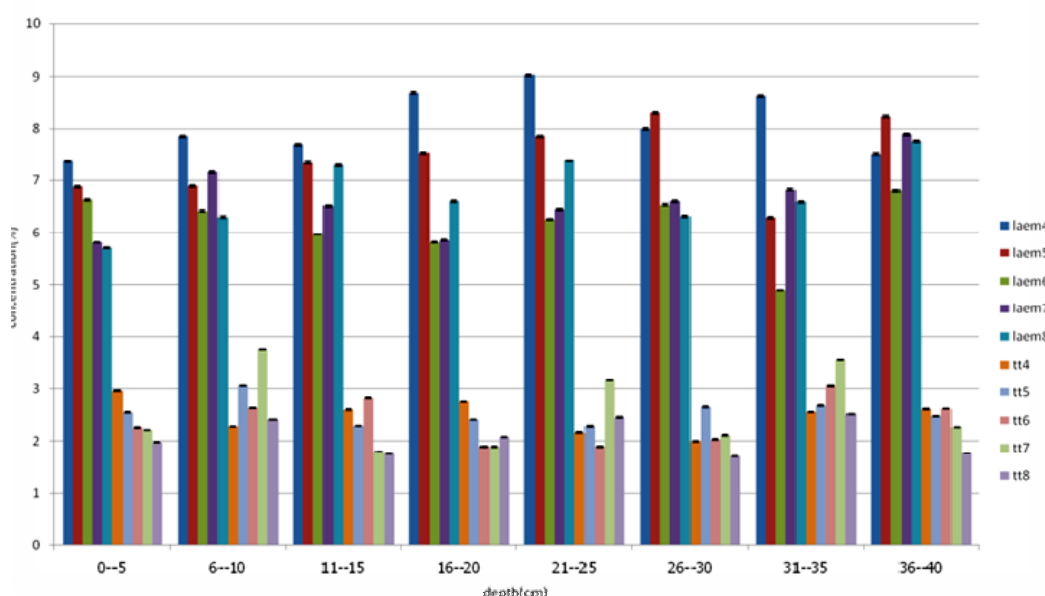


ภาพที่ 75 ปริมาณธาตุคลอรีนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

ปริมาณธาตุโพแทสเซียมของจุดเก็บตัวอย่างบริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ส่วนจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น โดยที่บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีปริมาณธาตุที่มากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก (ภาพที่ 76) สำหรับธาตุแคลเซียม พบว่า บริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มการเพิ่มของปริมาณธาตุในช่วงแรกก่อนจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีความแปรปรวนตลอดระยะความลึกที่ศึกษา โดยธาตุแคลเซียมมีการสะสมอยู่ในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกมากกว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 77



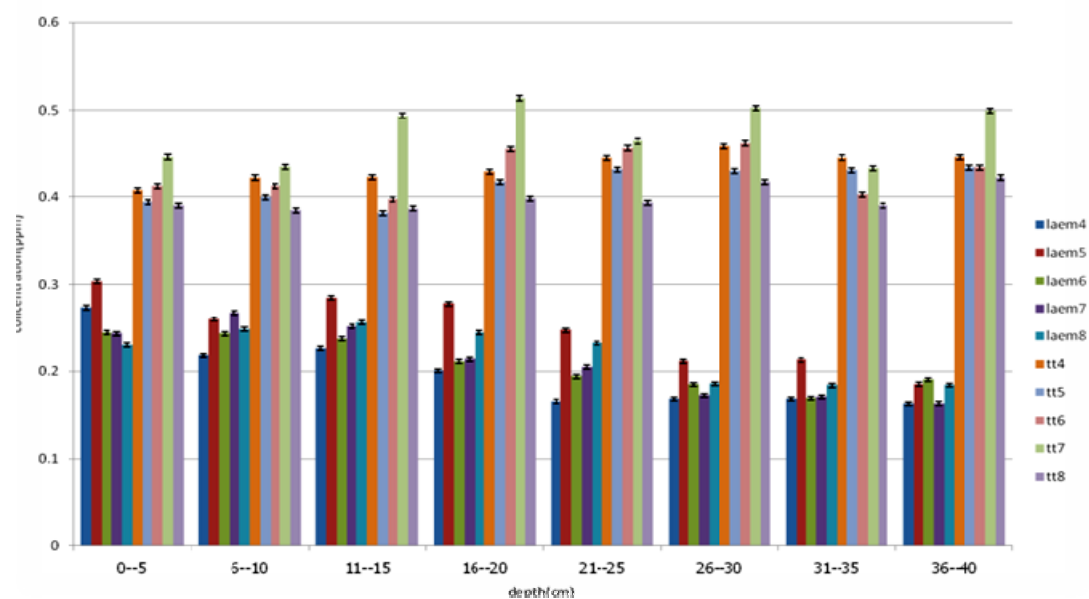
ภาพที่ 76 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก



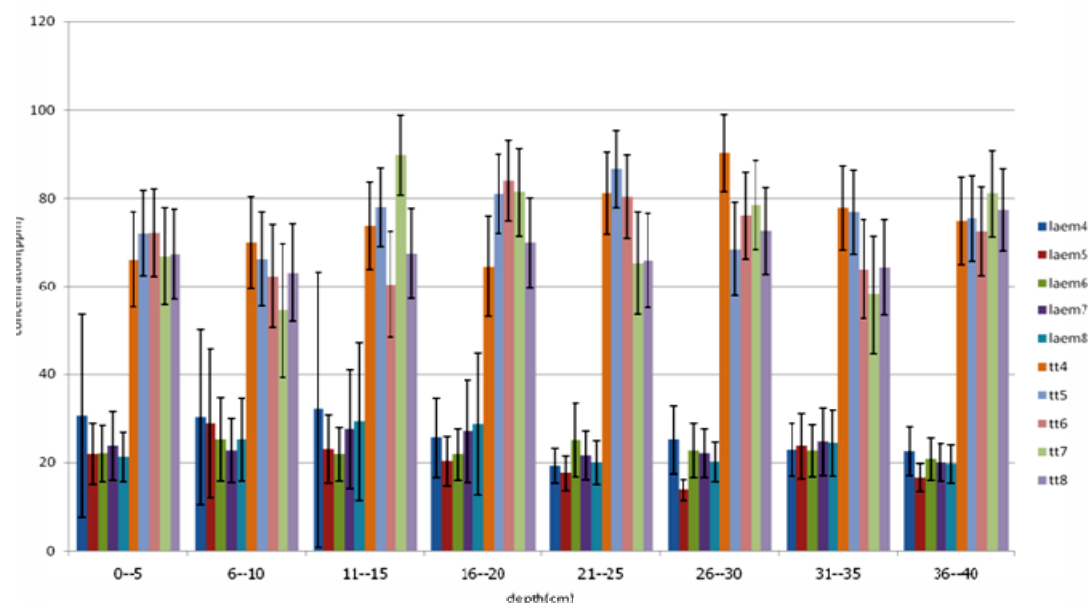
ภาพที่ 77 ปริมาณธาตุแคลเซียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณ
ทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

ในส่วน of ธาตุโพแทสเซียมบริเวณแหลมตะลุมพุกส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นและนอกจากนี้บริเวณแหลมตะลุมพุกมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่ำกว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุ เมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 78

ผลการเปรียบเทียบปริมาณธาตุวานาเดียม พบว่าจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง มีปริมาณของธาตุอยู่มากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุกเป็นอย่างมาก (ภาพที่ 79) โดยส่วนใหญ่บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ก่อนจะมีปริมาณลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แต่บริเวณแหลมตะลุมพุกมีลักษณะผันแปรตลอดระยะความลึกที่ทำการศึกษา

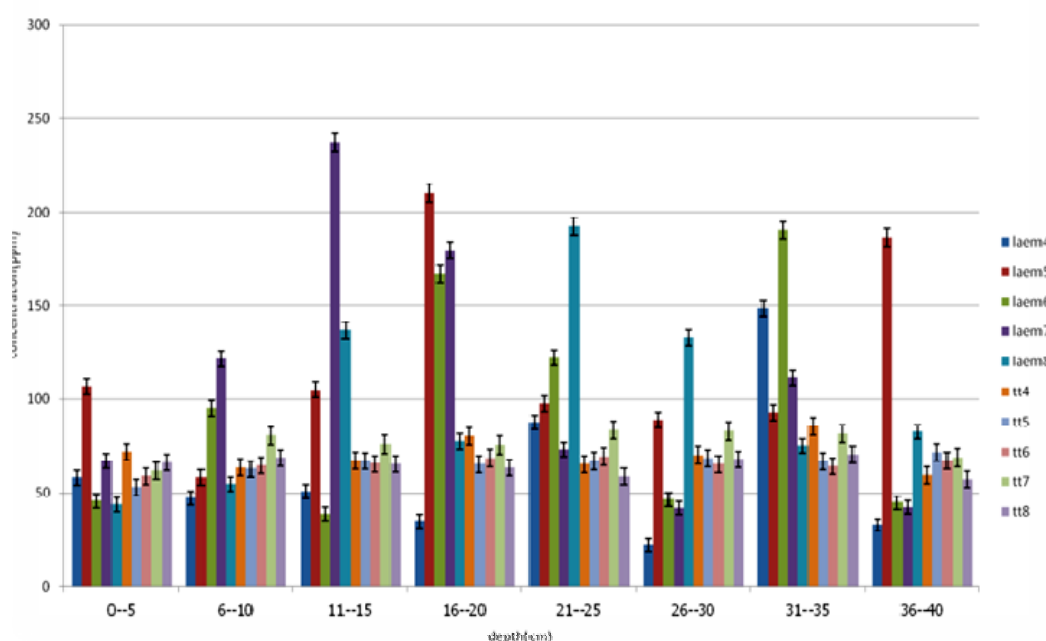


ภาพที่ 78 ปริมาณธาตุฟอสเฟตในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก



ภาพที่ 79 ปริมาณธาตุไนโตรเจนในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

ธาตุโครเมียมในบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง มีการกระจายตามระดับความลึกที่ไม่แน่นอน เช่นเดียวกับบริเวณแหลมตะลุมพุก ซึ่งมีปริมาณธาตุที่สูงกว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในภาพที่ 80

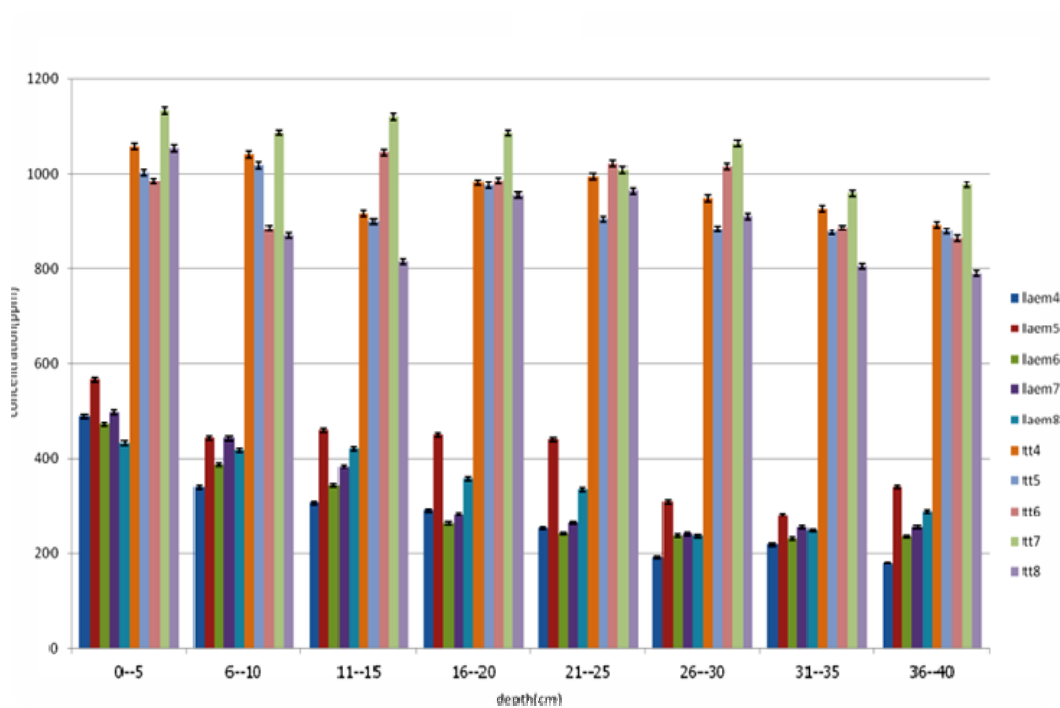


ภาพที่ 80 ปริมาณธาตุโครเมียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

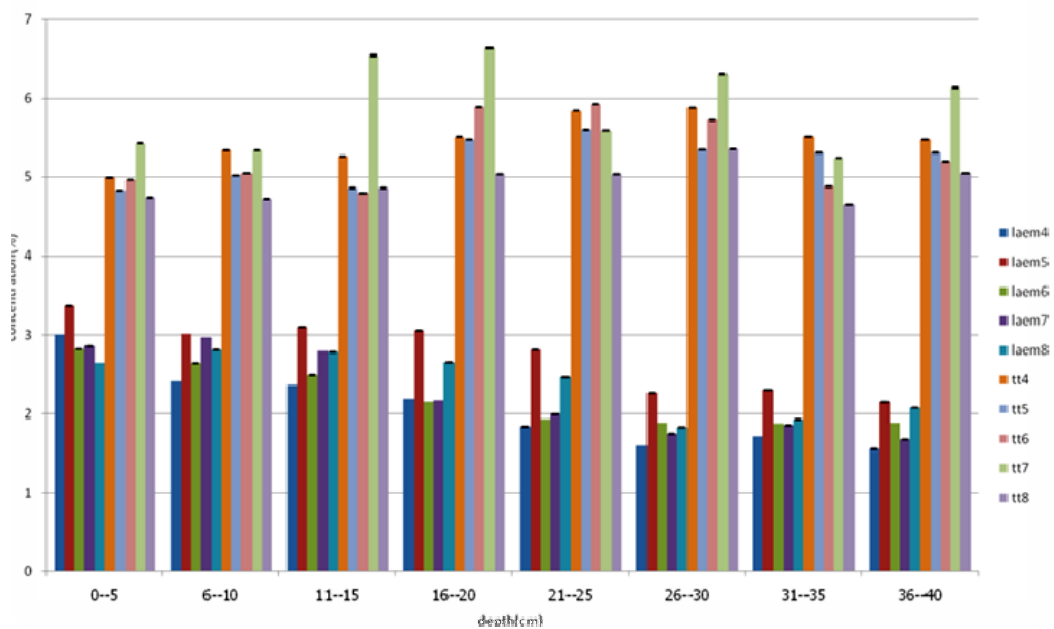
ในส่วน of ธาตุแมงกานีส พบว่า บริเวณแหลมตะลุมพุก มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณธาตุเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง อย่างไรก็ตามจุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังและบริเวณแหลมตะลุมพุกยังมีปริมาณธาตุแมงกานีสแตกต่างกันมาก โดยบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจะมีค่าที่สูงกว่ามาก ดังภาพที่

81

ปริมาณธาตุเหล็กบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีค่ามากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของธาตุเหล็กเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แต่บริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 82

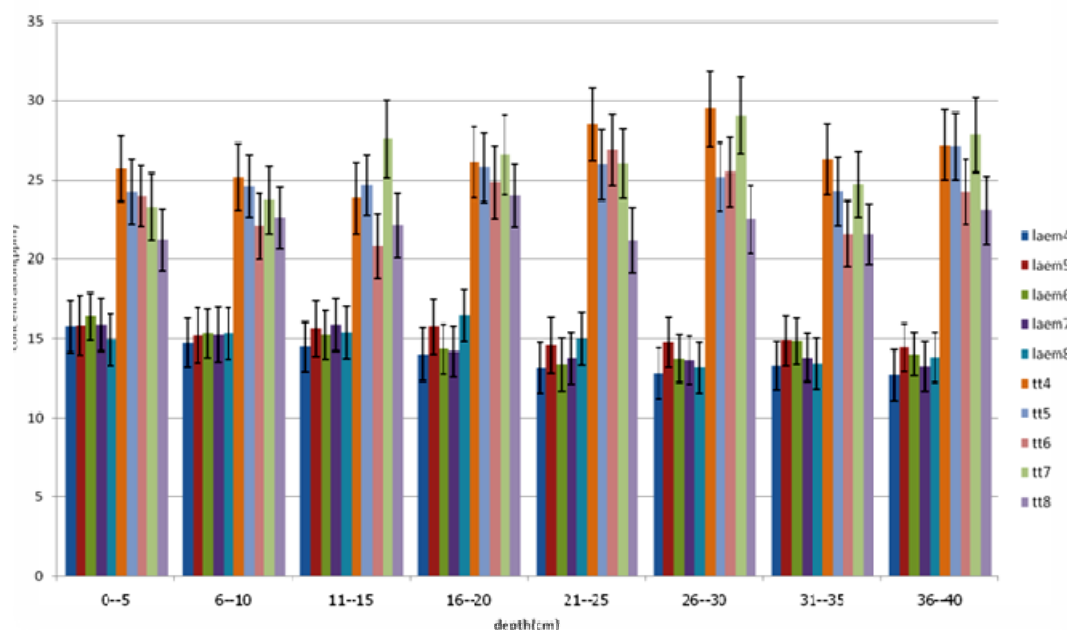


ภาพที่ 81 ปริมาณธาตุแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก



ภาพที่ 82 ปริมาณธาตุเหล็กในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

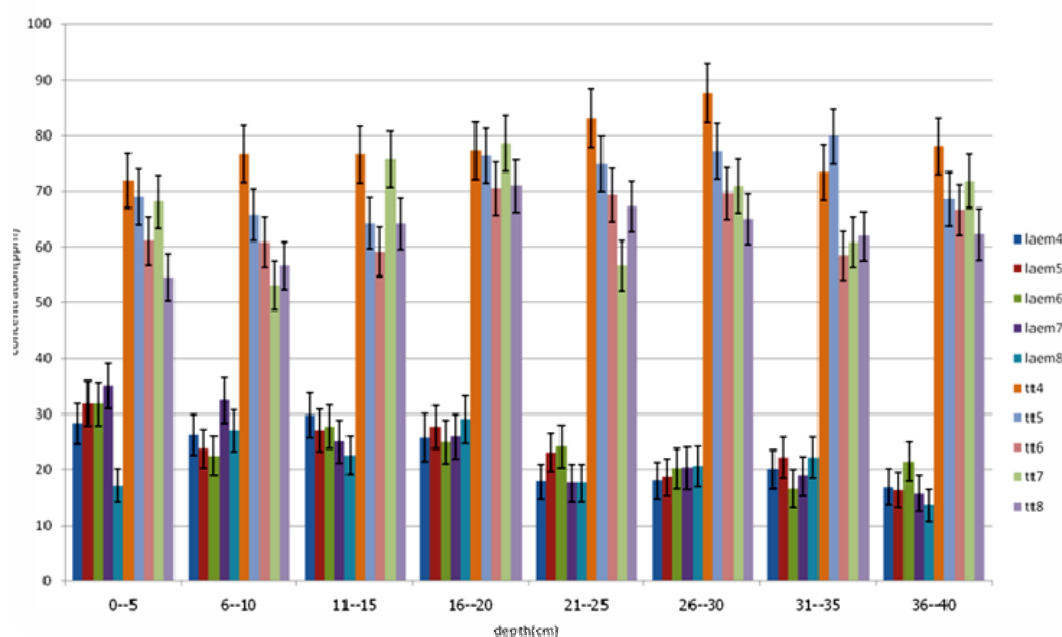
ธาตุ निकเกิลมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับธาตุเหล็ก โดยบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีแนวโน้มปริมาณธาตุเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น และบริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มของปริมาณธาตุลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณนิกเกิลในดินตะกอนที่บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีปริมาณมากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก ดังแสดงในภาพที่ 83



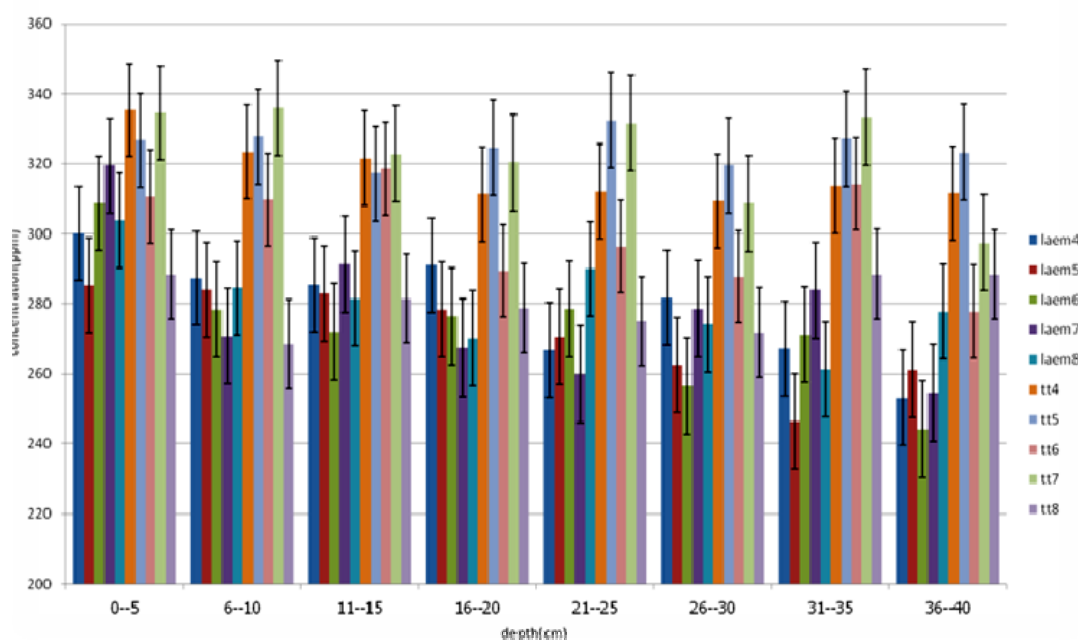
ภาพที่ 83 ปริมาณธาตุ निकเกิลในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

ธาตุสังกะสีมีแนวโน้มปริมาณธาตุเช่นเดียวกับธาตุเหล็กและนิกเกิล ซึ่งบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ส่วนในบริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น โดยที่จุดเก็บตัวอย่างบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังจะมีปริมาณธาตุสูงกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก ดังแสดงในภาพที่ 84

ในส่วน of ธาตุแบเรียมพบว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีปริมาณธาตุอยู่มากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก และแนวโน้มของปริมาณธาตุทั้งสองบริเวณ คือ บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังและบริเวณแหลมตะลุมพุกมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน (ภาพที่ 85)



ภาพที่ 84 ปริมาณธาตุตั้งกะสีในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก



ภาพที่ 85 ปริมาณธาตุเบรียมในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุก (laem) และบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง (tt) จำแนกตามระดับความลึก

วิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนัง โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน ของบริษัท Oxford รุ่น ED2000 ที่มีหัววัดแบบ Si(Li) และใช้โปรแกรม ISIS 300 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในสภาวะการวิเคราะห์แบบอากาศ สีเลียม และสุญญากาศ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ พบว่า สามารถวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนได้รวม 14 ธาตุ คือ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม แคลเซียม ไทเทเนียม วาเนเดียม โครเมียม แมงกานีส เหล็ก นิกเกิล สังกะสี และแบเรียม โดยธาตุองค์ประกอบหลักที่พบคือ อลูมิเนียม ซิลิกอน และเหล็ก ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Yu *et al.* (2002) ที่ศึกษาหาชนิดของธาตุในดินบริเวณเกาะฮ่องกง ซึ่งพบว่ามีธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน และเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกัน

ในการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ได้อาศัยการปรับเทียบด้วยชุดสารมาตรฐานดินของ Institute of Geophysical and Geochemical Exploration และ National Institute of Standards & Technology ทั้งหมด 9 ชนิด คือ GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 GBW07408 และ NIST2710 โดยดำเนินการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการลดลงของสัญญาณที่ควรตรวจพบสำหรับรังสีเอกซ์ช่วงพลังงานต่ำที่จะพบเมื่อวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ทำให้ความเข้มสัญญาณลดลงไปมาก (สัมพันธ, 2547) ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการดูคลื่นรังสีเอกซ์และเกิดการรบกวนธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้

สำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทั้ง 14 ธาตุ ได้แก่

1. เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Very light element มีความเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ธาตุ อลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม และแคลเซียม
2. เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Steel มีความเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ธาตุไทเทเนียม วาเนเดียม โครเมียม แมงกานีส และเหล็ก

3. เจือปนในการวิเคราะห์แบบ Medium มีความเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ธาตุ निकิล และสังกะสี

4. เจือปนในการวิเคราะห์แบบ Very heavy element มีความเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ธาตุแบเรียม

เจือปนที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษานี้แตกต่างไปจากการทดลองของลิจิต (2546) ที่ได้ทำการทดลองหาเจือปนในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างฝุ่นละอองอากาศขนาดเล็ก ซึ่งพบว่าเจือปน Very light element เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุแมกนีเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม โซลเฟอร์ คลอรีน และฟอสฟอรัส ส่วนธาตุแคลเซียมเหมาะกับเจือปน Liquid A ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจือปนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์นั้นอาจมีความแตกต่างกันตามชนิดของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

เพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ที่อาจเกิดขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกวิธีการปรับเทียบกับชุดสารมาตรฐาน โดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐานดินที่มีชนิดและความเข้มข้นของธาตุครอบคลุม และมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างมากที่สุด เพื่อลดการรบกวนที่เป็นผลมาจากเมทริกซ์ (Jenkins, 1999) ทำให้การวิเคราะห์นั้นมีความผิดพลาดน้อยลง โดยเมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ธาตุ จากการวิเคราะห์พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในชุดสารมาตรฐานดิน ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในการทดลองในครั้งนี้จึงให้ผลการวิเคราะห์ที่สามารถเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามธาตุที่ไม่สามารถลดความคลาดเคลื่อนให้อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ไม่ได้หมายความว่าไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ เพียงแต่อาจจะต้องใช้วิธีการแก้ไขอื่น เนื่องจากเจือปนในการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นเจือปนที่มีการปรับให้มีความเหมาะสมและครอบคลุมการวิเคราะห์ธาตุให้ได้มากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์แต่ละครั้ง

เมื่อนำเจือปนที่เลือกมาวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน 2 แห่ง คือ บริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง แห่งละ 5 จุด รวมทั้งหมด 10 จุดเก็บตัวอย่าง โดยธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของดินตะกอนเหล่านี้ คือ อลูมิเนียม ซิลิกอนและเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุจากการวิเคราะห์ พบว่า บริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีปริมาณธาตุสะสมอยู่มากกว่าบริเวณแหลมตะลุมพุก ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของดินตะกอนโดยดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกมีลักษณะเป็นทราย ส่วนดินตะกอนบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนังมีลักษณะเป็น

ดินเหนียว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับธาตุเอาไว้ได้มากกว่า และเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุและระดับความลึกในการจัดเก็บตัวอย่าง พบว่า ธาตุส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Boyle (2000) ที่ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุไทเทเนียม แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี ใน lake sediment บริเวณ Dlugi Staw ประเทศโปแลนด์ และ Holynska *et al.* (1998) ซึ่งได้ทำการทดลองในตัวอย่าง peat core จากบริเวณ Podhale ที่อยู่ทางใต้ของประเทศโปแลนด์ ผลการทดลองพบว่า ธาตุหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม ซิลิกอน ไทเทเนียม วานาเดียม เหล็ก แสดงแนวโน้มการลดลงของปริมาณธาตุเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองของ Ayers *et al.* (2000) ที่ศึกษาธาตุสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว อาร์เซนิก แคดเมียม และซิลิเนียม กลับพบว่า เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุจะเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของดินตะกอนทั้ง 2 บริเวณ มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุในบริเวณเดียวกัน พบว่า ส่วนใหญ่ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความใกล้เคียงกัน ยกเว้นธาตุฟอสฟอรัสที่แต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งแสดงว่าอาจจะเป็นธาตุที่มีการเคลื่อนย้ายได้ดี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานสามารถวิเคราะห์ธาตุหลายธาตุพร้อมกันและเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ไม่ทำลายตัวอย่างในการวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ได้ธาตุทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทางเคมี และหากมีปัญหาสามารถนำตัวอย่างกลับมาวิเคราะห์ใหม่ได้

2. เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน Oxford รุ่น ED2000 โดยใช้โปรแกรม ISIS300 ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การวิเคราะห์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีเงื่อนไขประกอบ ดังนี้

2.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Very light element ซึ่งมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 5 kV ไม่มีตัวกรองสัญญาณ และมีค่าพลังงาน 10 keV เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน ฟอสฟอรัส คลอรีน โพแทสเซียม และแคลเซียม

2.2 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Steel ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 15 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นอลูมิเนียมหนา และมีค่าพลังงาน 20 keV เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุไทเทเนียม วานาเดียม โครเมียม แมงกานีส และเหล็ก

2.3 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Medium ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 35 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นแผ่นเงินแบบบาง และมีค่าพลังงาน 40 keV เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุนิกเกิล และสังกะสี

2.4 เงื่อนไขการวิเคราะห์แบบ Very heavy element ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 50 kV มีตัวกรองสัญญาณเป็นแผ่นทองแดงแบบหนา และมีค่าพลังงาน 40 keV เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุแบเรียม

3. ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบได้ใช้วิธีการปรับเทียบกับชุดสารมาตรฐานดิน และปรับแต่งกราฟมาตรฐาน มีความแม่นยำในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบทั้ง 14 ธาตุ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงร้อยละ 10

4. ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุทั้ง 14 ชนิด ในตัวอย่างดินตะกอนบริเวณอ่าวปากพนังทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง พบว่าปริมาณธาตุเกือบทั้งหมดในดินตะกอนบริเวณแหลมตะลุมพุกมีค่าที่ต่ำกว่าบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง โดยปริมาณของธาตุส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น

5. ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานสามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างได้พร้อมกันทั้ง 14 ธาตุ จึงสามารถนำผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันได้เองในแต่ละตัวอย่างดินตะกอนที่นำมาทำการศึกษา ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เก็บในจุดใกล้เคียงกัน คือ บริเวณแหลมตะลุมพุกและบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง บริเวณละ 5 จุด โดยตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่เก็บตามความลึกในช่วง 0-40 เซนติเมตร พร้อมทั้งตัดตัวอย่างออกเป็นชั้น ๆ ละ 5 เซนติเมตร และในการศึกษารั้งนี้สามารถนำผลการวิเคราะห์มาใช้เปรียบเทียบปริมาณธาตุที่พบทั้ง 2 บริเวณ โดยตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ไม่ถูกทำลายและหากมีความต้องการก็สามารถนำกลับมาวิเคราะห์ใหม่ได้

ข้อเสนอแนะ

จากการเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมจากเครื่องเอกซเรย์แบบกระจายพลังงาน ED2000 และวิธีการปรับเทียบกับชุดสารมาตรฐานดิน สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ โดยใช้โปรแกรม ISIS300 ช่วยในการคำนวณให้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในช่วงร้อยละ 10 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้สามารถวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในดินตะกอนได้เพียง 14 ธาตุ แต่การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานนั้น ยังสามารถเลือกวิธีการปรับเทียบปริมาณด้วยวิธีอื่น ๆ ได้ อีก แต่การวิเคราะห์จะจำกัดในกลุ่มธาตุที่พลังงานจากการกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เกิดการซ้อนทับ (overlap) จนเกินขีดความสามารถของชุดวงจรแยกพลังงาน การแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้วิธีการ standard addition ซึ่งจะมีเงื่อนไขเป็นไปตามชนิดของธาตุและปริมาณที่มีในตัวอย่าง ดังนั้นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ยังมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างได้เพิ่มขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จเด็จ เย็นใจ. 2544. การพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. ดินตะกอน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลิจิต น้อยจ่ายสิน. 2546. การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วันวิสา พงษ์เพียร. 2548. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุองค์ประกอบของหอยมุกน้ำจืด *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* Simpson, 1900 โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สัมพันธ์ วงศ์นาวา. 2547. เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรีแบบกระจายพลังงาน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Ayers, B.P., G. Dalisay and V.J. Kirtay. 2000. The Use of X-ray Fluorescence Spectrometry to Support Long-term Monitoring of Heavy Metals Migration at a Wetlands Site. **The Use of X-ray Fluorescence Spectrometry to Support Long-term Monitoring of Heavy Metals Migration at a Wetlands Site.** Available Source: <http://www.containment.fsu.edu/cd/content/pdf/094.pdf>, March 29, 2006.
- Barreto, S.R.G., W.J. Barreto, J. Nozaki, V.F. do Nascimento Filho and P.H.A. Aragão. 2002. Identification of Bordering Soils and Sediments of Lake Ipê-MS, Brazil. by EDXRF Technique. **Identification of Bordering Soils and Sediments of Lake Ipê-MS, Brazil. by EDXRF Technique.** Available Source: www.fisica.uel.br/gfna/E03_515.pdf, March 30, 2006.

- Benyaïch, F., A. Makhtari, L. Torrisi and G. Foti. 1997. PIXE and XRF Comparison for Applications to Sediment Analysis. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B** 132: 481-488.
- Boyle, J.F. 2000. Rapid elemental analysis of sediment samples by isotope source XRF. **Journal of Paleolimnology** 23: 213-221.
- Holynska, B., B. Ostachowicz, J. Ostachowicz, L. Samek, P. Wachniew, A. Obidowicz, P. Wobrauschek, C. Streli and G. Halmetschlager. 1998. Characterisation of ^{210}Pb Dated Peat Core by Various X-ray Fluorescence Techniques. **The Science of The Total Environment** 218: 239-248.
- Institute of Geophysical and Geochemical Exploration. 1986. **Certificate of Geochemical Standard Reference Materials**.
- Jenkins, R. 1999. **X-Ray Fluorescence Spectrometry**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Küçükönder, A., H. Çam, E. Küçükönder and Ö. Söğüt. 2003. Qualitative and Quantitative Analysis of Lignite Coal and Its Ash Samples Taken from Soma-Darkale Region. **Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer** 77: 329-333.
- La tour, T.E. 1989. Analysis of Rocks Using X-Ray Fluorescence Spectrometry. **The Rigaku Journal** 6: 3-9.
- Markovicz, A., A. Aleta and B. Smodis. 2002. IAEA Activities in Support of Air Pollution Monitoring in Asia and Pacific Region. pp. 16-1-16-7. *In* **Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities (BAQ 2002)**. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

National Institute of Standards & Technology. 2003. **Certificate of Analysis Standard Reference Material 2710.**

Naval Facilities Engineering Command. 2000. Rapid Characterization of Metals in Sediments Using X-Ray Fluorescence (XRF) Technology Field-Portable XRF: A Rapid Sediment Characterization (RSC) Tool. **Rapid Characterization of Metals in Sediments Using X-Ray Fluorescence (XRF) Technology – Tech Data Sheet.** Available Source: http://enviro.nfesc.navy.mil/erb/erb_a/restoration/technologies/invest/fld_chem/tds-2076-xray.pdf, March 29, 2006.

Osán, J., S. Kurunczi, S. Török and R. Van Grieken. 2002. X-ray Analysis of Riverbank Sediment of the Tisza (Hungary): Identification of Particles from a Mine Pollution Event. **Spectrochimica Acta Part B** 57: 413-422.

Oxford Instruments Industrial Analysis Group. 1995. **ED2000 Operator's Manual.** (handbook). Oxford Instruments Industrial Analysis Group.

Revenko, A.G. 2002. X-ray Fluorescence Analysis of Rocks, Soils and Sediments. **X-Ray Spectrom.** 31: 264-273.

Siems, D.F. 2002. The determination of 30 elements in geological materials by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry. **U.S. Geological Survey Open File Report 02-0223-U.** Available Source: <http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-0223/OFR-02-0223.pdf>, November 20, 2005.

Strallard, M.O., S.E. Apitz and C.A. Dooley. 1995. X-ray Fluorescence Spectrometry for Field Analysis of Metals in Marine Sediments. **Marine Pollution Bulletin** 31: 297-305.

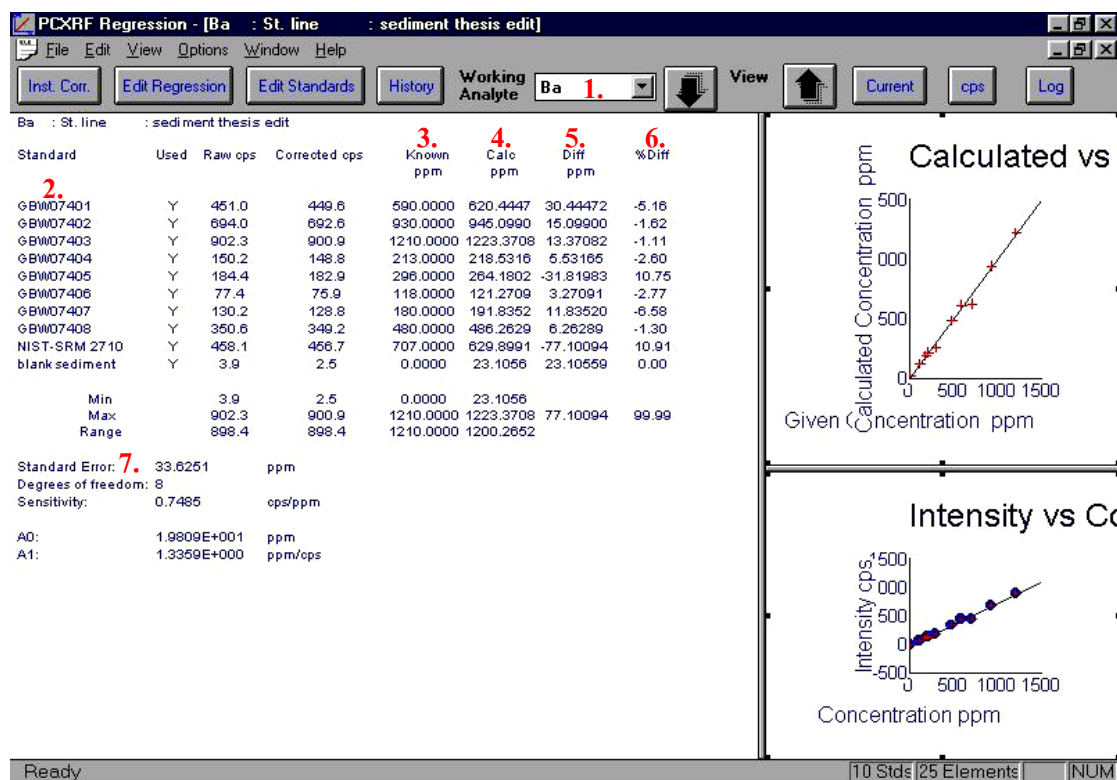
- Yan, C., J. Jia, C. Liao, B. Li, W. Li and G. D'Ascenzo. 1998. Application of ^{241}Am EDXRF to the Determination of Rare Earth Samples of Solvent Extraction Processes. **Journal of Alloys and Compounds** 275-277: 940-943.
- Yu, K.N., Z.L.L. Yeung, L.Y.L. Lee, M.J. Stokes and R.C.W. Kwok. 2002. Determination of Multi-element Profiles of Soil Using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF). **Appl. Radiat. Isot.** 57: 279-284.

ภาคผนวก

ส่วนประกอบในการ Regression ของโปรแกรม ISIS 300

ในส่วนของการ regression นั้น โปรแกรม ISIS 300 จะแสดงสิ่งต่าง ๆ ในหน้าจอ ดังนี้ (ภาพผนวกที่ 1)

1. หมายเลข 1 ชื่อธาตุที่วิเคราะห์
2. หมายเลข 2 ชื่อชุดสารมาตรฐานที่ใช้
3. หมายเลข 3 ปริมาณความเข้มข้นของชุดสารมาตรฐานแต่ละชุดที่ทราบค่า
4. หมายเลข 4 ปริมาณความเข้มข้นของชุดสารมาตรฐานแต่ละชุดจากการคำนวณภายหลังการปรับเทียบ
5. หมายเลข 5 ปริมาณความเข้มข้นของชุดสารมาตรฐานที่แตกต่างกันระหว่างค่าที่ทราบและค่าจากการคำนวณ
6. หมายเลข 6 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ทราบและค่าจากการคำนวณ
7. หมายเลข 7 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการปรับเทียบกับชุดสารมาตรฐาน



ภาพผนวกที่ 1 การ regression ของโปรแกรม ISIS 300

การปรับและแก้ไขกราฟที่ได้จากการปรับเทียบด้วยชุดสารมาตรฐาน

ภายหลังจากดำเนินการสร้างเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์เสร็จสิ้น เพื่อให้การวิเคราะห์ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำมากที่สุด ทำการปรับแต่งและแก้ไขกราฟมาตรฐานที่ได้จากการปรับเทียบ ดังนี้

ธาตุลูมิเนียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07405 GBW07407 GBW07408 แก้ไขโดยใช้ blank correction และนอกจากนี้ยังได้ทำการแก้ไขโดยใช้ค่า ratio to Si_K

ธาตุซิลิกอน ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07408 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุฟอสฟอรัส ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07406 GBW07407 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุคลอรีน ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุโพแทสเซียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07406 GBW07407 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุแคลเซียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุไทเทเนียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุวานาเดียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุโครเมียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุแมงกานีส ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07405 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

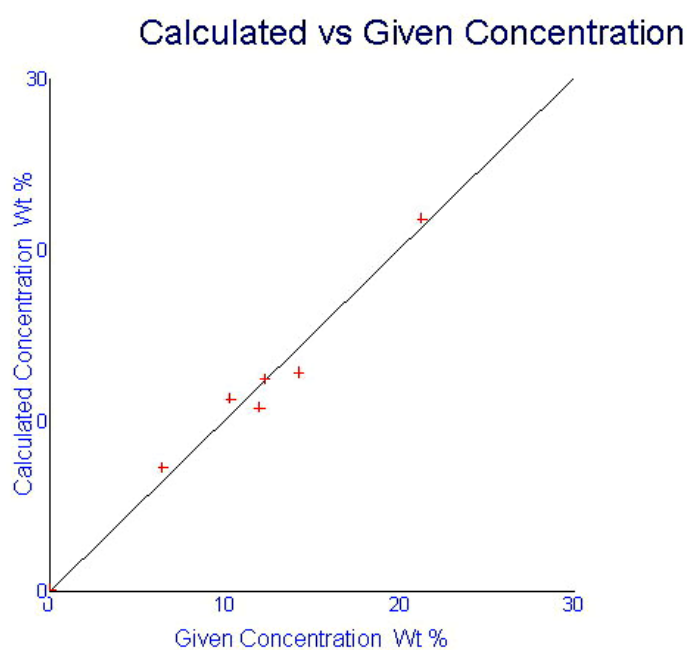
ธาตุเหล็ก ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 GBW07408 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุ निकเกิล ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07403 GBW07404 GBW07406 GBW07407 GBW07408 แก้ไขโดยใช้ blank correction และนอกจากนี้ยังทำการแก้ไขโดยใช้ $\text{Fe}_{K\alpha}$ เป็น Influences

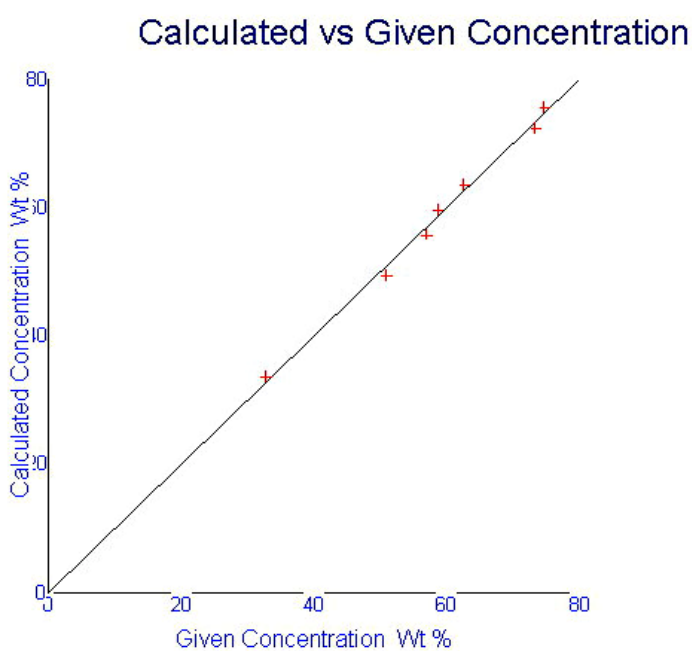
ธาตุสังกะสี ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401 GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07408 NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

ธาตุเบรียม ได้ทำการแก้ไขกราฟมาตรฐานโดยเลือกใช้ชุดสารมาตรฐาน GBW07401
GBW07402 GBW07403 GBW07404 GBW07405 GBW07406 GBW07407 GBW07408
NIST2710 และทำการแก้ไขโดยใช้ blank correction

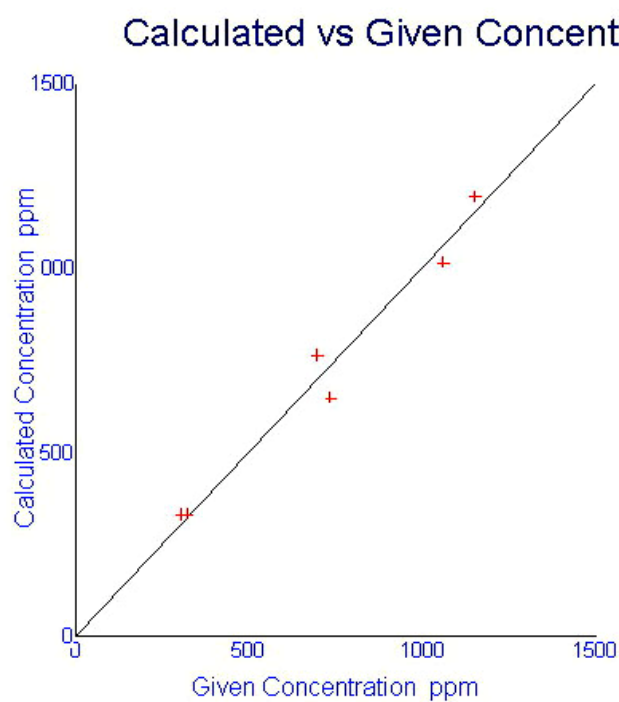
กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดิน



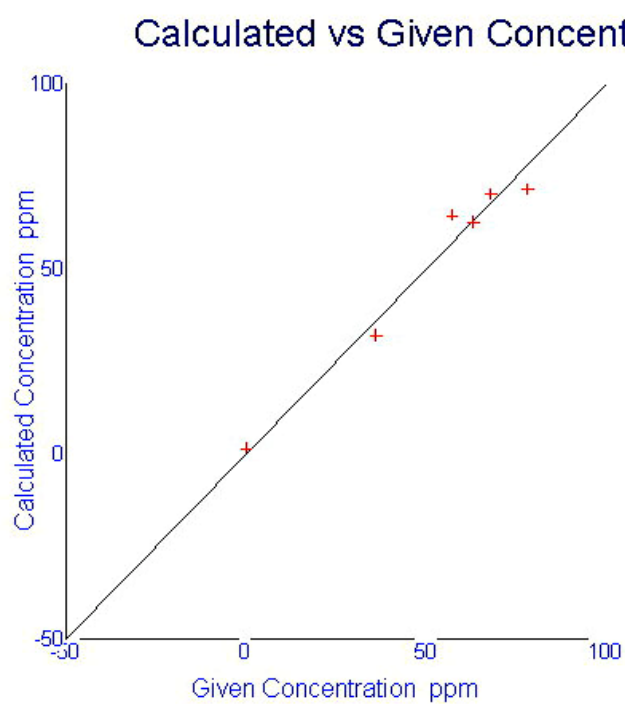
ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุลูมิเนียม



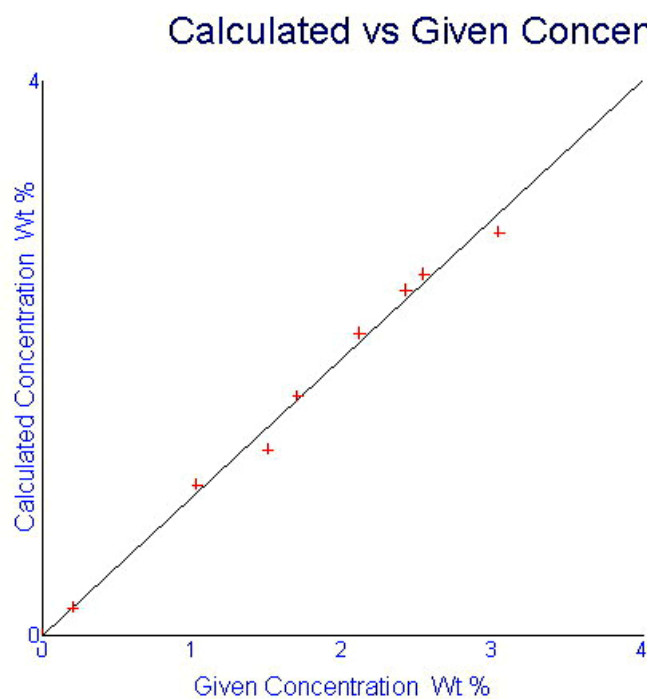
ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุซิลิกอน



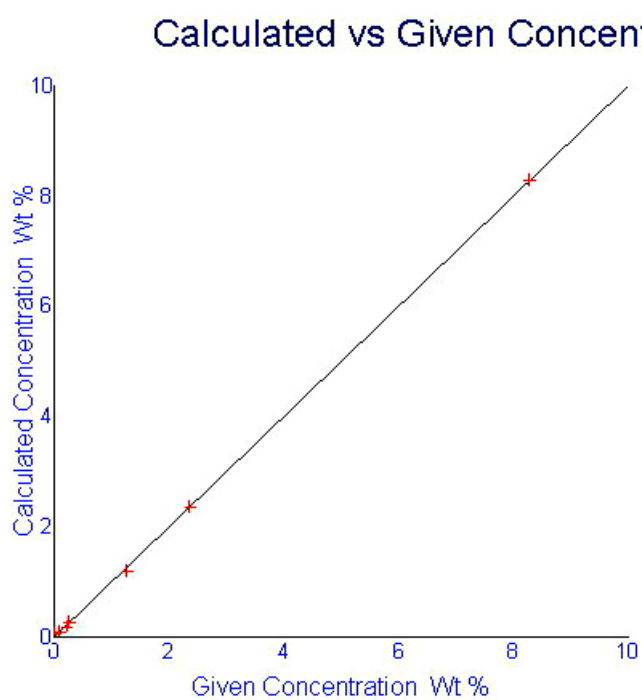
ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุโพสฟอรัส



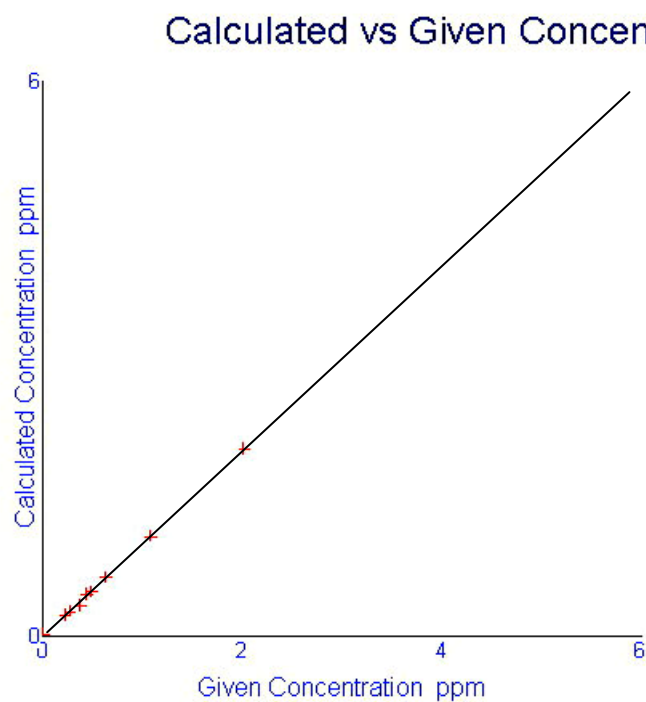
ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุคลอรีน



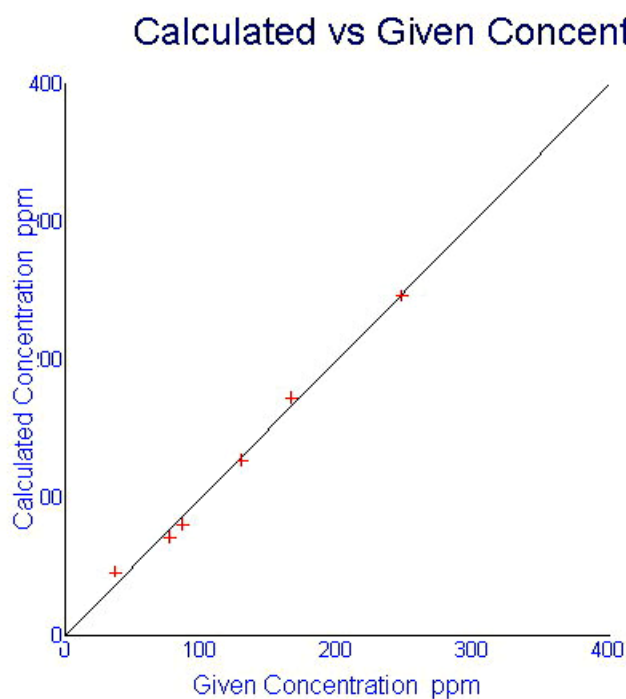
ภาพผนวกที่ 6 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุโพแทสเซียม



ภาพผนวกที่ 7 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแคลเซียม

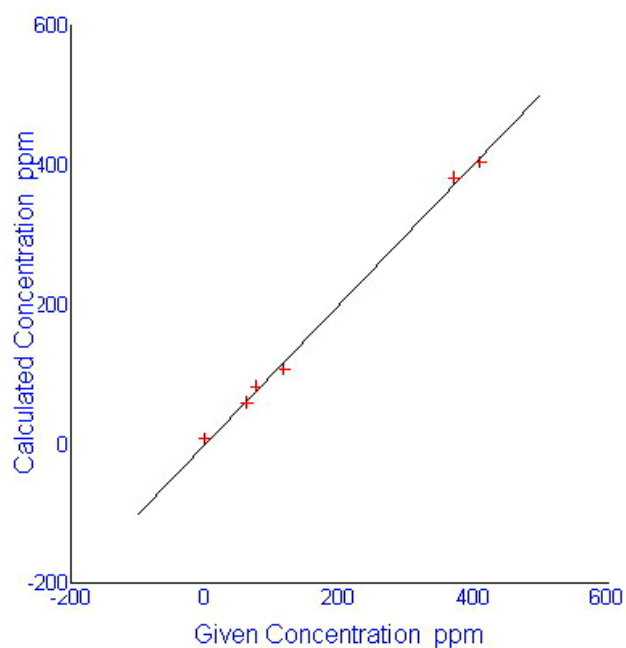


ภาพผนวกที่ 8 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุไทเทเนียม



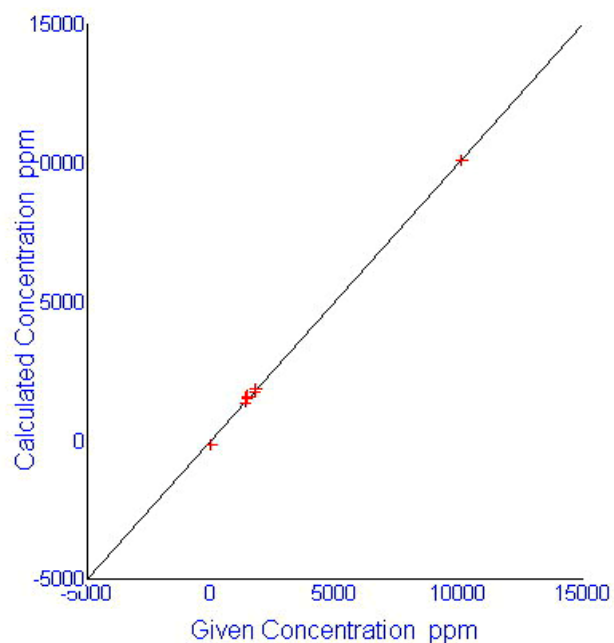
ภาพผนวกที่ 9 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุวานาเดียม

Calculated vs Given Concentration

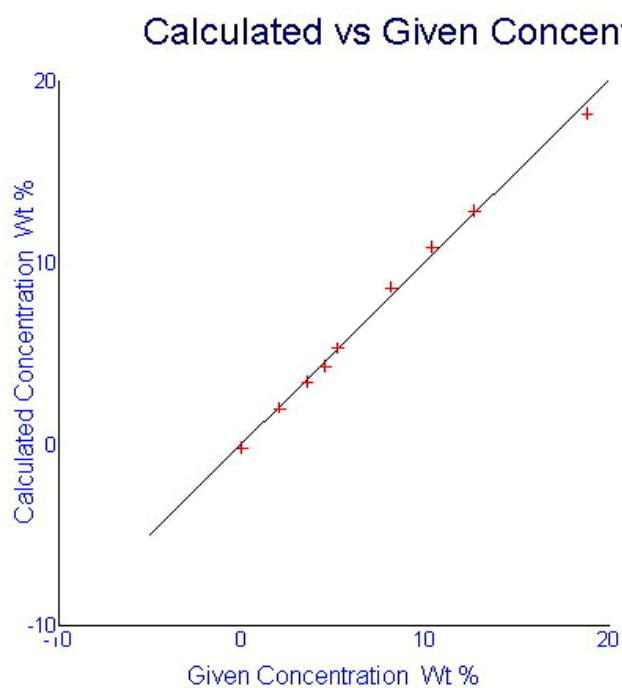


ภาพผนวกที่ 10 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุโครเมียม

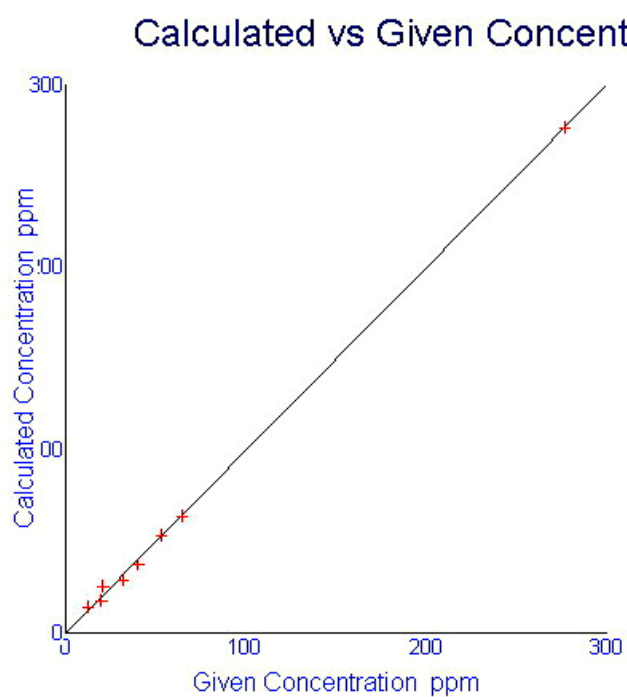
Calculated vs Given Concentration



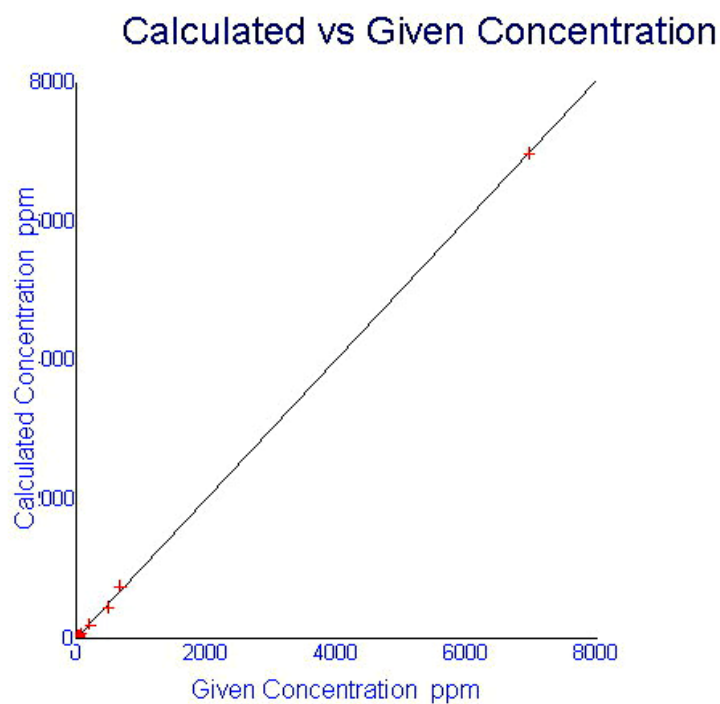
ภาพผนวกที่ 11 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแมงกานีส



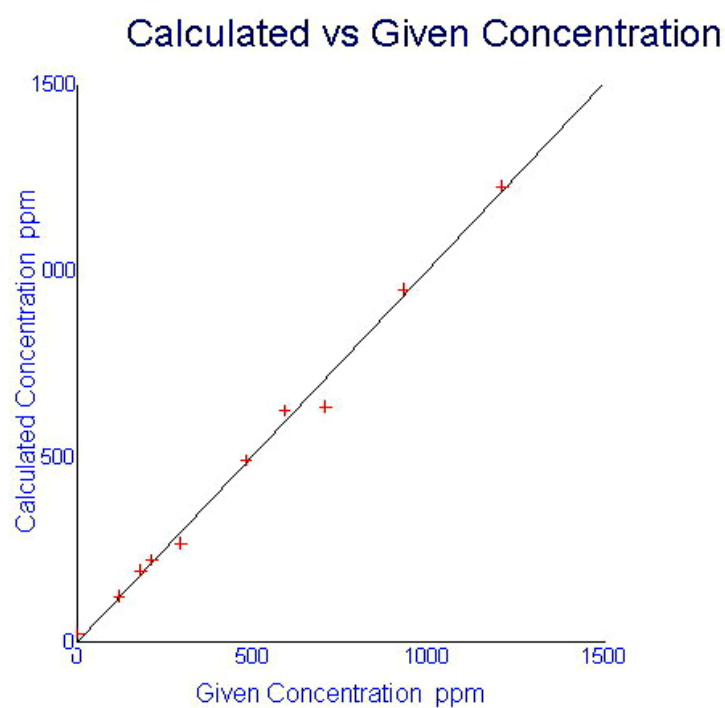
ภาพผนวกที่ 12 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุเหล็ก



ภาพผนวกที่ 13 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุนิกเกิล



ภาพผนวกที่ 14 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุสังกะสี



ภาพผนวกที่ 15 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณกับความเข้มข้นที่ระบุจากชุดสารมาตรฐานดินของธาตุแบเรียม

ตารางผนวกที่ 1 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลมตะตุมพุก 4

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	6.67±0.05	5.73±0.05	5.61±0.05	6.13±0.05	3.68±0.04	2.98±0.04	3.1±0.04	3.10±0.04
Si (%wt)	56.68±0.09	56.08±0.09	57.73±0.09	72.56±0.09	57.83±0.09	59.19±0.09	57.91±0.09	60.17±0.09
P (ppm)	337±19	23±1	308±18	83±6	201±13	316±19	147±10	296±18
Cl (ppm)	220±1	223±1	213±1	231±1	183±1	162±1	160±1	199±1
K (%wt)	1.80±0.01	1.66±0.01	1.68±0.01	2.04±0.01	1.61±0.01	1.56±0.01	1.53±0.01	1.53±0.01
Ca (%wt)	7.36±0.02	7.84±0.02	7.69±0.02	8.66±0.02	9.02±0.02	7.99±0.02	8.61±0.02	7.51±0.02
Ti (ppm)	0.273±0.002	0.217±0.002	0.225±0.002	0.200±0.002	0.165±0.002	0.168±0.002	0.168±0.002	0.162±0.002
V (ppm)	30±22	30±19	32±31	25±8	19±3	25±7	22±5	22±5
Cr (ppm)	58±3	47±3	50±3	34±3	87±3	21±3	148±4	32±3
Mn (ppm)	488±4	337±3	306±3	290±3	251±2	192±2	217 ±2	179±2
Fe (wt%)	3.00±0.00	2.40±0.00	2.36±0.00	2.18±0.00	1.83±0.00	1.58±0.00	1.70±0.00	1.54±0.00
Ni (ppm)	15.7±1.6	14.7±1.5	14.4±1.5	13.9±1.6	13.1±1.6	12.7±1.6	13.2±1.5	12.6±1.6
Zn (ppm)	28.2±3.6	26.2±3.6	29.7±4.0	25.7±4.3	17.8±3.1	17.9±3.2	20.0±3.4	16.8±3.2
Ba (ppm)	300±13	287±13	285±13	291±13	266±13	281±13	267±13	253±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 2 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลมตะตุมพุก 5

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	5.35±0.05	4.98±0.05	5.30±0.05	4.85±0.05	4.44±0.04	4.00±0.04	3.22±0.04	2.59±0.04
Si (%wt)	53.55±0.09	53.45±0.09	54.04±0.09	55.16±0.09	53.88±0.09	55.07±0.09	56.42±0.09	55.80±0.09
P (ppm)	235±14	18 ±1	N.D.	258±15	N.D.	4±0	N.D.	171±11
Cl (ppm)	197±1	186±1	171±1	192±1	176±1	174±1	156±1	197±1
K (%wt)	1.55±0.01	1.53±0.01	1.56±0.01	1.57±0.01	1.50±0.01	1.47±0.01	1.36±0.01	1.40±0.01
Ca (%wt)	6.87±0.02	6.89±0.02	7.33±0.02	7.53±0.02	7.85±0.02	8.29±0.02	6.28±0.02	8.22±0.02
Ti (ppm)	0.303±0.002	0.259±0.002	0.284±0.002	0.278±0.002	0.246±0.002	0.211±0.002	0.212±0.002	0.185±0.002
V (ppm)	21±6	28 ±16	23±7	20±5	17±3	13±2	23±7	16±3
Cr (ppm)	106±4	58±4	105±4	210±4	97 ±4	88 ±4	92 ±4	186±4
Mn (ppm)	563±4	441. ±4	457±4	447±4	438±4	308±3	280±3	338±3
Fe (%wt)	3.36±0.00	3.01±0.00	3.09±0.00	3.05±0.00	2.80±0.00	2.26±0.00	2.30±0.00	2.14±0.00
Ni (ppm)	15.8±1.8	15.1±1.7	15.6±1.7	15.7±1.7	14.5±1.7	14.7±1.5	14.8±1.5	14.4±1.5
Zn (ppm)	31.9±4.0	23.7±3.5	27.0±3.7	27.6±3.8	23.0±3.5	18.6±3.2	22.1±3.7	16.3±3.1
Ba (ppm)	285±13	284±13	282±13	278±13	270±13	262±13	246±13	261±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 3 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลมตะตุมพุก 6

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	4.65±0.04	4.48±0.04	4.41±0.04	3.32±0.04	2.97±0.04	2.84±0.04	2.58±0.04	2.82±0.04
Si (%wt)	50.90±0.09	50.84±0.09	51.18±0.09	53.03±0.09	52.12±0.09	52.37±0.09	50.20±0.09	51.70±0.09
P (ppm)	96±6	188±11	162±10	42±3	N.D.	71±4	17±1	N.D.
Cl (ppm)	188±1	181±1	199±1	177±1	156±1	156±1	152±1	171±1
K (%wt)	1.45±0.01	1.37±0.01	1.37±0.01	1.28±0.01	1.25±0.01	1.26±0.01	1.08±0.01	1.19±0.01
Ca (%wt)	6.63±0.02	6.41±0.02	5.96±0.01	5.81±0.01	6.25±0.01	6.53±0.02	4.89±0.01	6.80±0.02
Ti (ppm)	0.244±0.002	0.242±0.002	0.237±0.002	0.210±0.002	0.193±0.002	0.184±0.002	0.169±0.002	0.190±0.002
V (ppm)	22±6	25±9	21±6	21±5	25±8	22±6	22±5	20±4
Cr (ppm)	45±3	95±4	38±3	167±4	122±4	46±3	190±4	44±3
Mn (ppm)	47±4	387±3	341±3	261±3	240±2	236±2	230±2	234±2
Fe (%wt)	2.81±0.00	2.64±0.00	2.48±0.00	2.15±0.00	1.92±0.00	1.88±0.00	1.87±0.00	1.88±0.00
Ni (ppm)	16.3±1.5	15.3±1.5	15.2±1.5	14.3±1.5	13.3±1.6	13.7±1.5	14.8±1.4	14.0±1.3
Zn (ppm)	31.7±3.9	22.4±3.5	27.7±3.9	24.9±3.9	24.1±3.8	20.2±3.5	16.5±3.3	21.4±3.5
Ba (ppm)	308±13	278±13	272±13	276 ±13	278±13	256±13	271±13	244±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 4 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลมตะตุมพุก 7

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	3.99±0.04	5.35±0.05	4.74±0.05	3.21±0.04	2.75±0.04	2.59±0.04	2.74±0.04	2.19±0.03
Si (%wt)	48.42±0.1	51.06±0.09	52.51±0.09	52.59±0.09	51.17±0.09	51.43±0.09	51.80±0.09	51.29±0.09
P (ppm)	N.D.	N.D.	163±10	50±3	N.D.	212±12	121±7	45±3
Cl (ppm)	205±1	245±1	195±1	191±1	172±1	171±1	180±1	177±1
K (%wt)	1.29±0.01	1.42±0.01	1.43±0.01	1.29±0.01	1.26±0.01	1.29±0.01	1.32±0.01	1.30±0.01
Ca (%wt)	5.80±0.01	7.15±0.02	6.50±0.02	5.84±0.01	6.44±0.02	6.60±0.02	6.81±0.02	7.88±0.02
Ti (ppm)	0.242±0.002	0.267±0.002	0.251±0.002	0.213±0.002	0.204±0.002	0.172±0.002	0.170±0.002	0.163±0.002
V (ppm)	23±7	22±7	27±13	27±11	21±5	22±5	24±7	20±4
Cr (ppm)	66±3	121±4	237±5	179±4	73±3	41±3	111±4	42±3
Mn (ppm)	497±4	441±4	381±3	282±3	262±2	239±2	253±2	253±2
Fe (%wt)	2.85±0.00	2.96±0.00	2.79±0.00	2.16±0.00	1.98±0.00	1.74±0.00	1.85±0.00	1.66±0.00
Ni (ppm)	15.8±1.6	15.2±1.7	15.8±1.6	14.1±1.6	13.7±1.6	13.6±1.5	13.76±1.5	13.2±1.5
Zn (ppm)	35.0±4.0	32.4±4.0	25.0±3.8	25.9±4.0	17.5±3.3	20.2±3.7	18.8±3.5	15.7±3.2
Ba (ppm)	319±13	270±13	291±13	267 ±13	259±13	278±13	283±13	254±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 5 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณแหลมตะตุมพุก 8

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	4.07±0.04	5.12±0.05	4.98±0.05	4.71±0.05	4.03±0.04	2.90±0.04	2.93±0.04	2.85±0.04
Si (%wt)	51.08±0.09	51.57±0.09	51.91±0.09	53.66±0.1	53.33±0.09	53.72±0.09	53.57±0.09	53.43±0.09
P (ppm)	70±4	354±18	82±5	3±0	N.D.	102±6	140±9	N.D.
Cl (ppm)	181±1	183±1	214±1	171±1	203±1	160±1	178±1	168±1
K (%wt)	1.38±0.01	1.43±0.01	1.49±0.01	1.46±0.01	1.44±0.01	1.28±0.01	1.34±0.01	1.36±0.01
Ca (%wt)	5.70±0.01	6.29±0.02	7.28±0.02	6.60±0.02	7.37±0.02	6.31±0.02	6.59±0.02	7.75±0.02
Ti (ppm)	0.229±0.002	0.247±0.002	0.255±0.002	0.243±0.002	0.231±0.002	0.185±0.002	0.183±0.002	0.183±0.002
V (ppm)	21±5	25±9	29±17	28±16	19±4	20±4	24±7	19±4
Cr (ppm)	43±3	54±3	136±4	77±4	192±4	133±4	75±3	82±3
Mn (ppm)	431±4	416±3	420±4	354±4	333±3	235±2	246±2	287±3
Fe (%wt)	2.64±0.00	2.80±0.00	2.78±0.00	2.64±0.00	2.45±0.00	1.82±0.00	1.92±0.00	2.07±0.00
Ni (ppm)	14.9±1.6	15.3±1.6	15.3±1.6	16.4±1.6	14.9±1.6	13.1±1.5	13.4±1.6	13.8±1.5
Zn (ppm)	17.1±2.9	26.9±3.7	22.5±3.5	29.0±4.3	17.5±3.3	20.6±3.5	22.1±3.7	13.6±2.8
Ba (ppm)	303±13	284±13	281±13	270±13	289±13	274 ±13	261±13	277±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 6 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 4

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	15.13±0.07	14.85±0.07	15.53±0.08	15.86±0.08	16.27±0.08	16.68±0.08	16.35±0.08	16.14±0.08
Si (%wt)	63.24±0.10	61.46±0.10	63.15±0.10	62.51±0.10	62.20±0.10	62.53±0.10	63.61±0.10	63.70±0.10
P (ppm)	519±25	517±25	106±7	303±18	449±23	520±25	749±31	434±23
Cl (ppm)	285±1	359±1	299±1	292±1	221±1	219±1	222±1	213±1
K (%wt)	2.08±0.01	2.18±0.01	2.21±0.01	2.19±0.01	2.22±0.01	2.22±0.01	2.18±0.01	2.18±0.01
Ca (%wt)	2.95±0.01	2.28±0.01	2.59±0.01	2.74±0.01	2.16±0.01	1.99±0.01	2.55±0.01	2.61±0.01
Ti (ppm)	0.407±0.002	0.421±0.002	0.422±0.002	0.428±0.002	0.444±0.002	0.457±0.002	0.444±0.002	0.444±0.002
V (ppm)	66±10	70±10	73±9	64±11	81±9	90±8	77±9	74±9
Cr (ppm)	71±4	63±4	67±4	80±4	65±4	70±4	85±4	59±4
Mn (ppm)	1055±6	1039±6	915±6	979±6	993±6	946±6	924±6	892±6
Fe (%wt)	4.99±0.00	5.33±0.00	5.26±0.00	5.50±0.00	5.83±0.00	5.87±0.00	5.51±0.00	5.47±0.00
Ni (ppm)	25.7±2.0	25.1±2.1	23.8±2.2	26.1±2.2	28.5±2.3	29.4±2.3	26.3±2.2	27.2±2.1
Zn (ppm)	71.9±4.9	76.7±5.0	76.6±5.1	77.3±5.2	83.1±5.2	87.5±5.2	73.4±5.0	78.0±5.0
Ba (ppm)	335±13	323±13	321±13	311±13	312±13	309±13	313±13	311±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 7 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 5

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	14.23±0.07	14.85±0.07	14.87±0.07	15.42±0.08	16.48±0.08	15.98±0.08	15.87±0.08	16.07±0.08
Si (%wt)	62.63±0.10	61.00±0.10	61.07±0.10	61.33±0.10	62.24±0.10	62.93±0.10	63.51±0.10	63.63±0.10
P (ppm)	525±25	233±14	N.D.	179±11	431±22	206±13	120±8	324±19
Cl (ppm)	278±1	358±1	251±1	223±1	205±1	209±1	201±1	229±1
K (%wt)	2.09±0.01	2.12±0.01	2.11±0.01	2.15±0.01	2.24±0.01	2.21±0.01	2.18±0.01	2.18±0.01
Ca (%wt)	2.54±0.01	3.05±0.01	2.29±0.01	2.40±0.01	2.28±0.01	2.65±0.01	2.67±0.01	2.47±0.01
Ti (ppm)	0.394±0.002	0.399±0.002	0.381±0.002	0.416±0.002	0.430±0.002	0.429±0.002	0.430±0.002	0.433±0.002
V (ppm)	72±9	66±10	77±8	81±9	86±8	68±10	76±9	75±9
Cr (ppm)	52±4	62±4	67±4	65±4	67±4	68±4	66±4	71±4
Mn (ppm)	1002±6	1017±6	899±6	973±6	903±6	882±6	875±6	877±6
Fe (%wt)	4.83±0.00	5.01±0.00	4.86±0.00	5.47±0.00	5.60±0.00	5.34±0.00	5.30±0.00	5.30±0.00
Ni (ppm)	24.2±2.0	24.5±1.9	24.6±1.9	25.7±2.1	25.9±2.2	25.2±2.1	24.2±2.1	27.1±2.1
Zn (ppm)	68.9±4.9	65.7±4.6	64.2±4.6	76.3±4.9	74.8±5.0	77.2±4.9	79.8±5.0	68.5±4.8
Ba (ppm)	326±13	327±13	317±13	324±13	332±13	319±13	327±13	323±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 8 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 6

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	12.75±0.07	12.65±0.07	11.75±0.07	13.95±0.07	14.21±0.07	14.19±0.07	12.51±0.07	13.17±0.07
Si (%wt)	58.98±0.09	58.58±0.09	59.33±0.09	57.94±0.09	57.77±0.09	58.41±0.09	58.40±0.09	59.50±0.09
P (ppm)	169±10	219±13	137±8	196±11	305±16	400±19	N.D.	77±5
Cl (ppm)	318±1	273±1	206±1	203±1	195±1	191±1	191±1	188±1
K (%wt)	1.86±0.01	1.88±0.01	1.83±0.01	1.95±0.01	1.96±0.01	1.95±0.01	1.83±0.01	1.87±0.01
Ca (%wt)	2.26±0.01	2.63±0.01	2.82±0.01	1.89±0.01	1.89±0.01	2.03±0.01	3.04±0.01	2.62±0.01
Ti (ppm)	0.411±0.002	0.411±0.002	0.397±0.002	0.454±0.002	0.455±0.002	0.461±0.002	0.402±0.002	0.433±0.002
V (ppm)	72±9	62±11	60±12	83±9	80±9	76±9	63±11	72±10
Cr (ppm)	58±4	64±4	65±4	68±4	69±4	65±4	64±4	67±4
Mn (ppm)	983±6	884±6	1043±6	984±6	1020±6	1014±6	885±6	861±6
Fe (%wt)	4.96±0.00	5.04±0.00	4.79±0.00	5.88±0.00	5.92±0.00	5.72±0.00	4.88±0.00	5.19±0.00
Ni (ppm)	23.9±1.9	22.0±2.0	20.8±2.0	24.8±2.3	26.9±2.2	25.4±2.1	21.6±2.0	24.2±2.0
Zn (ppm)	61.0±4.3	60.8±4.5	59.1±4.5	70.4±4.7	69.3±4.8	69.5±4.6	58.4±4.3	66.6±4.6
Ba (ppm)	310±13	309±13	318 ±13	289±13	296±13	287±13	314 ±13	277±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 9 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 7

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	12.87±0.07	12.60±0.07	14.49±0.07	15.49±0.07	13.74±0.07	15.12±0.07	12.61±0.07	14.66±0.07
Si (%wt)	59.90±0.09	59.35±0.09	58.83±0.1	59.64±0.1	61.36±0.09	60.39±0.1	60.73±0.09	61.08±0.1
P (ppm)	364±19	404±20	63±4	197±12	199±12	339±18	109±7	142±9
Cl (ppm)	280±1	244±1	291±1	216±1	195±1	202±1	184±1	199±1
K (%wt)	1.89±0.01	1.91±0.01	2.01±0.01	2.08±0.01	1.99±0.01	2.05±0.01	1.92±0.01	2.02±0.01
Ca (%wt)	2.21±0.01	3.75±0.01	1.79±0.01	1.89±0.01	3.15±0.01	2.11±0.01	3.56±0.01	2.26±0.01
Ti (ppm)	0.445±0.002	0.433±0.002	0.493±0.003	0.513±0.003	0.463±0.002	0.502±0.003	0.432±0.002	0.499±0.003
V (ppm)	66±11	54±15	89±9	81±9	65±11	78±10	58±13	81±9
Cr (ppm)	61±4	80±4	75±4	75±4	83±4	82±4	81±4	68±4
Mn (ppm)	1132±6	1085±6	1119±6	1084±6	1007±6	1061±6	957±6	975±6
Fe (%wt)	5.42±0.00	5.33±0.00	6.54±0.01	6.63±0.01	5.59±0.00	6.30±0.01	5.24±0.00	6.13±0.00
Ni (ppm)	23.3±2.1	23.7±2.1	27.5±2.4	26.6±2.5	26.0±2.1	29.0±2.3	24.7±2.1	27.8±2.3
Zn (ppm)	68.1±4.7	53.0±4.3	75.7±5.0	78.6±5.0	56.6±4.5	70.9±4.8	60.8±4.6	71.8±4.9
Ba (ppm)	334±13	335±13	322±13	320±13	331±13	308±13	333±13	297±13

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 10 ชนิดและปริมาณธาตุตามระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร ของบริเวณทิศตะวันตกเหนืออ่าวปากพนัง 8

ธาตุ/ความลึก	0-5 cm	6-10 cm	11-15 cm	16-20 cm	21-25 cm	26-30 cm	31-35 cm	36-40 cm
Al (%wt)	10.66±0.06	11.14±0.06	11.07±0.06	11.83±0.07	11.64±0.07	12.13±0.07	11.54±0.07	12.11±0.07
Si (%wt)	53.39±0.09	53.31±0.09	51.94±0.1	54.40±0.09	54.56±0.09	53.66±0.09	55.71±0.09	55.00±0.09
P (ppm)	167±9	103±6	12±0	190±10	20±1	64±4	141±8	191±10
Cl (ppm)	296±1	283±1	227±1	231±1	202±1	202±1	179±1	187±1
K (%wt)	1.60±0.01	1.63±0.01	1.50±0.01	1.67±0.01	1.66±0.01	1.68±0.01	1.63±0.01	1.64±0.01
Ca (%wt)	1.97±0.01	2.40±0.01	1.75±0.01	2.08±0.01	2.45±0.01	1.70±0.01	2.51±0.01	1.76±0.01
Ti (ppm)	0.389±0.002	0.384±0.002	0.386±0.002	0.397±0.002	0.393±0.002	0.416±0.002	0.390±0.002	0.421±0.002
V (ppm)	67±10	63±11	67±10	69±10	65±10	72±9	64±10	77±9
Cr (ppm)	66±4	68±4	65±4	63±4	58±4	67±4	70±4	57±4
Mn (ppm)	1051±6	867±6	814±5	953±6	962±6	910±6	805±5	790±5
Fe (%wt)	4.73±0.00	4.72±0.004	4.85±0.00	5.03±0.00	5.03±0.00	5.35±0.00	4.65±0.00	5.04±0.00
Ni (ppm)	21.2±1.9	22.6±1.9	22.0±2.0	23.9±1.9	21.2±2.0	22.5±2.1	21.5±1.9	23.1±2.1
Zn (ppm)	54.4±4.2	56.5±4.3	64.1±4.5	70.9±4.7	67.2±4.5	64.9±4.5	61.9±4.4	62.2±4.6
Ba (ppm)	288±12	268±12	281±12	278±12	275±12	271±12	288±12	288±12

* N.D. = Non Detectable

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณความเข้มข้นของชุดสารมาตรฐานดินและค่าความคลาดเคลื่อนของชุดสารมาตรฐานดิน 9 ชนิด ภายหลังจากการทำ regression

Element	unit	GBW07401	GBW07402	GBW07403	GBW07404	GBW07405	GBW07406	GBW07407	GBW07408	NIST-SRM 2710	Std error
Al ₂ O ₃	%	14.18	10.31	12.24	23.45	21.58	21.23	29.26	11.92	6.44	±1.02
SiO ₂	%	62.60	73.35	74.72	50.95	52.57	56.93	52.69	58.61	28.97	±1.25
P	ppm	735	446	320	695	390	303	1150	775	1060	±65.20
Cl	ppm	78	63	57	36	78	98	100	68	-	±5.52
K ₂ O	%	2.59	2.54	3.04	1.03	1.50	1.70	0.20	2.42	2.11	±0.09
CaO	%	1.72	2.36	1.27	0.26	0.095	0.22	0.16	8.27	1.25	±0.04
Ti	ppm	0.483	0.271	0.224	1.080	0.629	0.439	2.020	0.380	0.283	±0.020
V	ppm	86	62	36.5	247	166	130	245	81.4	76.6	±7.08
Cr	ppm	62	47	32	370	118	75	410	68	39	±10.09
Mn	ppm	1760	510	304	1420	1360	1450	1780	650	10100	±113.93
Fe ₂ O ₃	%	5.19	3.52	2.00	10.30	12.62	8.09	18.76	4.48	3.38	±0.39
Ni	ppm	21	16.3	11.4	40.5	144	390	97	24.3	14.3	±2.97
Zn	ppm	680	42.3	31.4	210	494	96.6	142	68	6952	±35.03
Ba	ppm	590	930	1210	213	296	118	180	480	707	±33.62

ตารางผนวกที่ 12 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของชุดสารมาตรฐานดิน 9 ชนิด ภายหลังจากการทำ regression

Element	GBW07401	GBW07402	GBW07403	GBW07404	GBW07405	GBW07406	GBW07407	GBW07408	NIST-SRM 2710
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Al	7.19	9.89	8.33	4.35	4.73	4.80	3.48	8.55	15.83
Si	1.99	1.70	1.67	2.45	2.38	2.19	2.37	2.13	4.31
P	8.87	14.62	20.37	9.38	16.72	21.52	5.67	8.41	6.15
Cl	7.07	8.76	9.68	15.33	7.07	5.63	5.52	8.12	-
K	3.47	3.54	2.96	8.74	6.00	5.29	45.00	3.72	4.26
Ca	2.32	1.69	3.15	15.38	42.10	18.18	25.00	0.48	3.20
Ti	4.14	7.38	8.92	1.85	3.18	4.55	0.99	5.26	7.07
V	8.23	11.42	11.39	2.87	4.26	5.44	2.89	8.69	9.24
Cr	16.27	21.46	31.53	2.72	8.55	13.45	2.46	14.83	25.87
Mn	6.47	22.33	37.47	8.02	8.37	7.85	6.40	17.52	1.13
Fe	7.51	11.08	19.50	3.78	3.09	4.82	2.08	8.70	11.53
Ni	14.14	18.22	26.05	7.33	2.06	0.76	3.06	12.22	20.76
Zn	5.15	82.81	111.56	16.68	7.09	36.26	24.66	51.51	0.56
Ba	5.69	3.61	2.77	15.78	11.35	28.49	18.67	7.00	4.75

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายณัฐวุธ นัยนานนท์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 20 มกราคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2547)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2548)