





# บทคัดย่อ

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งทรัพยากรประมงที่สำคัญของประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบ การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมรอบ ๆ ทะเลสาบ ทำให้มีของเสียปริมาณมากถูกพัดพาไหลลงสู่ทะเลสาบ ดังนั้นทะเลสาบแห่งนี้จึงอยู่ในภาวะเสี่ยงที่จะเกิดปัญหามลภาวะเช่นเดียวกับทะเลสาบหลาย ๆ แห่งทั่วโลก การตรวจสอบและติดตามสภาวะของทะเลสาบอย่างต่อเนื่องจึงมีความจำเป็น เพื่อให้สามารถวางแผนหรือหามาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาได้ก่อนถึงขั้นที่มีผลกระทบอย่างรุนแรง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต่อเนื่องจากโครงการพลวัติของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอก และโครงการระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรชายฝั่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ของทะเลสาบทั้งระบบ เนื่องจากโครงการทั้งสองได้ทำการศึกษาเฉพาะทะเลสาบสงขลาตอนนอก

ของเสียหลายชนิดเมื่อถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการสะสมอยู่ที่ระยะเวลาหนึ่งหรือตลอดไป การศึกษาตะกอนจึงสามารถใช้เป็นเครื่องชี้บ่งสภาวะการปนเปื้อนของแหล่งน้ำได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างตะกอนโดยใช้ท่อโลหะไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร นำตัวอย่างตะกอนที่เก็บได้มาตัดแบ่งเป็นท่อน ๆ ละ 10 เซนติเมตร นำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C จนแห้ง บดและร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร แล้ววิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม และโครเมียม

ผลการวิเคราะห์พบว่า ตะกอนจากด้านทิศเหนือของทะเลน้อยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงตลอดช่วงความลึกที่เก็บตัวอย่าง (ประมาณ 1 เมตร) ในขณะที่ตะกอนจากด้านทิศใต้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงเฉพาะตะกอนชั้นบนเท่านั้น ตะกอนจากทะเลน้อยส่วนใหญ่เมื่อทำให้แห้งพบว่าเป็นกรดจัด (pH ต่ำกว่า 4) ส่วนตะกอนจากทะเลหลวงพบว่าเป็นกรดจัดเฉพาะบางบริเวณเท่านั้น และตะกอนชั้นบนมักเป็นกรดมากกว่าตะกอนในชั้นที่ลึกลงไป สำหรับการกระจายของไนโตรเจนพบที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ ตะกอนจากทะเลหลวงตอนล่างมีมากกว่าตอนบน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำทะเล เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีต พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน มีแนวโน้มสูงกว่า

ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักพบว่าตะกอนจากทะเลน้อยมีทองแดง สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม และโครเมียม สูงกว่าตะกอนจากทะเลหลวง ลักษณะการสะสมของทองแดงและสังกะสีพบที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอินทรีย์วัตถุ ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักทุกธาตุในการศึกษานี้พบว่าอยู่ในระดับปกติ ถึงแม้จะมีรายงานการศึกษาในอดีตระบุว่าความเข้มข้นของทองแดงและแคดเมียมสูงกว่าระดับปกติก็ตาม ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าตะกอนทั้งจากทะเลน้อยและทะเลหลวงไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญ



# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ประวัติคณะผู้วิจัย	
บทคัดย่อ	
1. บทนำ	1
2. ลักษณะการกระจายของอินทรียั่วตฤ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม	
คำนำ	10
อุปกรณ์และวิธีการ	11
ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล	12
สรุป	28
เอกสารอ้างอิง	29
3. ลักษณะการกระจายของโลหะหนักในตะกอน	
คำนำ	31
อุปกรณ์และวิธีการ	32
ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล	34
สรุป	58
เอกสารอ้างอิง	59
4. ภาคผนวก	
ตาราง ผ. 1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียั่วตฤ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม	61
ตาราง ผ. 2 ผลการวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม	67

# บทที่ ๑

## บทนำ

ทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นทะเลสาบเปิด (lagoon) เกิดจากการปิดกั้นของสันทรายนอกชายฝั่ง สันทรายดังกล่าวทอดตัวยาวจาก อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช จนถึง อ.สิงหนคร จ.สงขลา มีอายุไม่น้อยกว่า 5,000 ปี (ทิวา ศุภจรรยา, 2535; สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2538) การขยายตัวของสันทราย ได้เชื่อมเกาะต่าง ๆ นอกชายฝั่งทะเลเข้าด้วยกัน ประกอบกับการขยายตัวของแผ่นดินและการคืนดินอย่างรวดเร็วทางด้านเหนือของทะเลสาบ ทำให้ทางออกทะเลทางทิศเหนือถูกปิดกั้น จากแผนที่โบราณที่สร้างขึ้นโดยชาวฝรั่งเศส ชื่อ เดอลาลูแบร์ในปี พ.ศ. 2229 แสดงให้เห็นว่านอกชายฝั่งทะเลบริเวณที่เป็นแผ่นดินในปัจจุบันเป็นเพียงเกาะ 5 เกาะเท่านั้นเอง แต่แผนที่ทำขึ้นโดย John Crawford ในปี พ.ศ. 2371 และ Sir John Bowring ในปี พ.ศ. 2400 พบว่าเกาะทั้ง 5 เชื่อมต่อกันเหลือเพียงเกาะเพียงเกาะเดียว เวียงชัย ดันสลกุล (2535) สันนิษฐานว่าทะเลสาบสงขลาจะมีอายุเพียงประมาณ 100 ปีเท่านั้นเอง

ทะเลสาบสงขลาที่มีลักษณะอย่างปัจจุบัน ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่  $7^{\circ}08'$  เหนือถึง  $7^{\circ}49'$  เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่  $100^{\circ}07'$  ตะวันออกถึง  $100^{\circ}36'$  ตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมด 986.8 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในเขตการปกครอง ของ 3 จังหวัดคือ สงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช ทะเลสาบสงขลาแบ่งเป็น 3 ตอน คือ ทะเลน้อย ทะเลสาบตอนใน (ทะเลหลวง) และทะเลสาบตอนนอก (ทะเลสาบสงขลา)

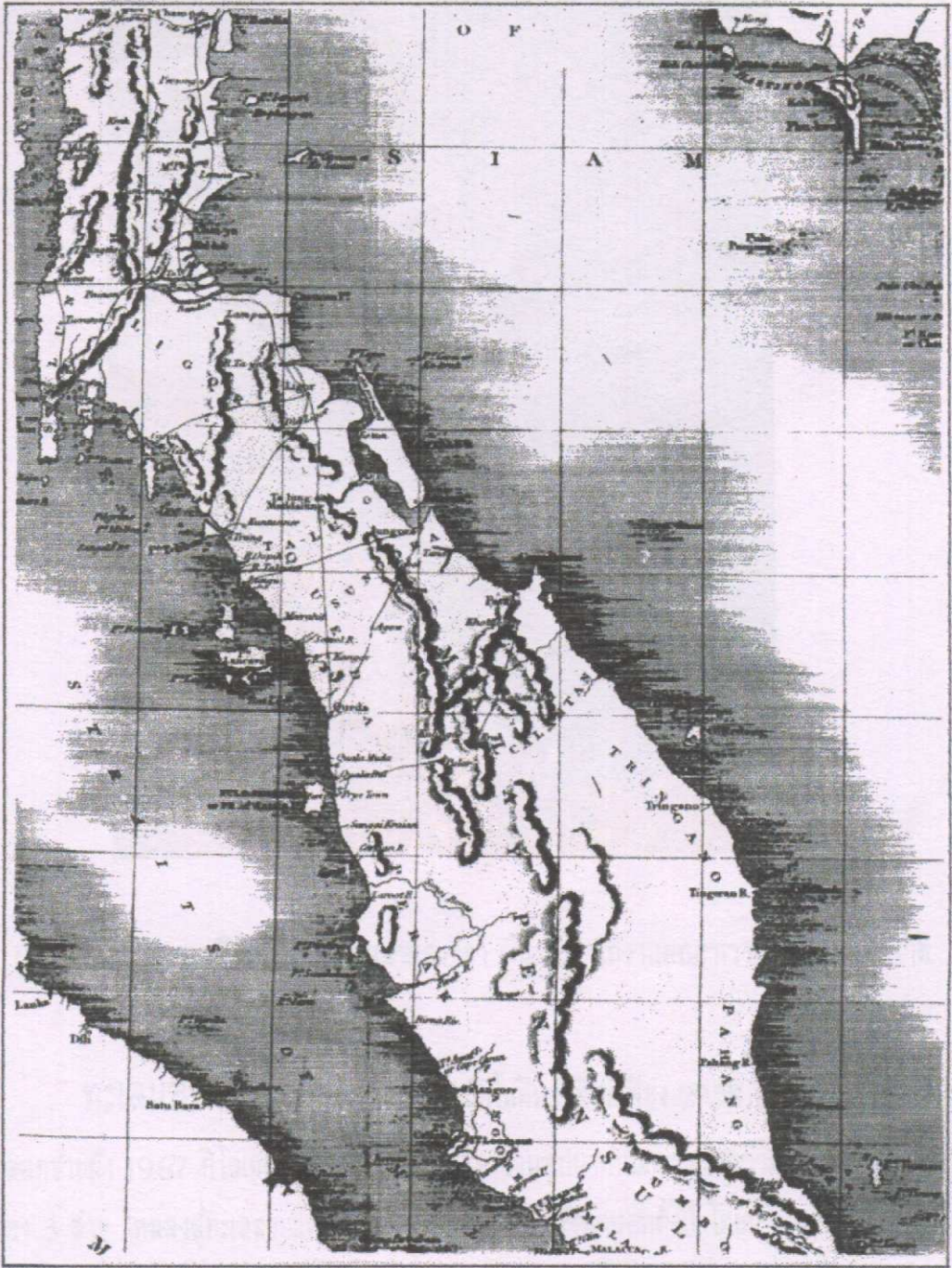




Office of the priminister. 1979. Thailand into the 80's. Office of the priministry, Bangkok.

รูปที่ 1-1 แผนที่ประเทศไทยทำขึ้นโดยเดอลาสูแบร์ในปี พ.ศ. 2229 (คัดลอกจาก เรียงชัย ต้นสกุล, 2535 มาตราส่วนแตกต่างจากต้นฉบับ)





Crawfurd, J. 1987 (reprint). *Journal of an embassy to the courts of Siam and Cochin China.*

รูปที่ 1-2 แผนที่ประเทศไทยทำขึ้นโดย John Crawfurd ในปี พ.ศ. 2371 (คัดลอกจาก เรียงชัย  
ตันสกุล 2535 มาตราส่วนแตกต่างจากต้นฉบับ)





รูปที่ 1-3 ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทะเลสาบสงขลา (ที่มา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2538)

**ทะเลน้อย** เป็นตอนที่อยู่เหนือสุดและมีพื้นที่น้อยที่สุดเพียง 29.58 ตารางกิโลเมตร ความยาวโดยรอบตลอดชายฝั่ง 19.67 กิโลเมตร ปริมาตรน้ำ 32.54 ล้านลูกบาศก์เมตร และความลึกเฉลี่ย 1.1 เมตร มีน้ำจากลำคลอง 3 สาย ไหลลงสู่ทะเลสาบแห่งนี้ น้ำในทะเลน้อยเป็นน้ำจืดตลอดทั้งปี โดยน้ำมีความเค็มต่ำเพียง 0.3 ppt (Kuwabara, 1995) ในทะเลมีพืชน้ำตื้นหลายชนิดขึ้นปกคลุม โดยมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 15 กิโลกรัม/ตารางเมตร จากการสำรวจระหว่างเก็บตัวอย่างตะกอนในงานวิจัยนี้ พบว่าพืชน้ำส่วนใหญ่มี 14 ชนิด คือ

- ❖ บัวหลวง (*Nelumbo nucifera* Gaertn)
- ❖ บัวสาย (*Nymphaea lotus* L.)

- ❖ บ้าผัน (*N. capensis* Thumb.)
- ❖ บ้าบา (*Nymphoides indica* (L.) O.K.)
- ❖ ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms)
- ❖ กก (*Cyperus cephalotes* Vahf.)
- ❖ กก (*Hanguana malayana* Jock. Merr.)
- ❖ กระจุต (*Lepironia articulata* (R.) Domin)
- ❖ จอกหูหนู (*Salvinia cucullata* Roxb.)
- ❖ หญ้าพองลม (*Hydroryzo aristata* (Retz) Nees)
- ❖ หญ้าใบเล็ก (*Daspalum vaginatum* Sw.)
- ❖ สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (Lf) Royle)
- ❖ สาหร่ายข้าวเหนียว (*Utricularia aurea* Lour.)
- ❖ สาหร่ายฟองชะโต (*Ceratophyllum demersum* L.)

พืชน้ำเหล่านี้บางชนิดสามารถใช้เป็นวัสดุในการกักทอได้เป็นอย่างดี จึงสร้างอาชีพและรายได้ให้แก่ประชาชนในท้องถิ่น บางชนิดมีดอกสวยงามและเป็นแหล่งอาศัยของนกน้ำนานาชนิด ทะเลน้อยจึงสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการท่องเที่ยวได้อีกด้วย ปลาที่จับได้ในทะเลสาบแห่งนี้มีประมาณ 17 ชนิด ตอนเหนือของทะเลน้อยเป็นป่าพรุ เรียกว่าพรุควนเคร็ง

**ทะเลสาบตอนไ้ (ทะเลหลวง)** เป็นตอนกลางของทะเลสาบและเป็นตอนที่กว้างที่สุด โดยมีพื้นที่ 832.93 ตารางกิโลเมตร ความยาวโดยรอบตลอดชายฝั่ง 238.59 กิโลเมตร ปริมาตรน้ำ 1334.03 ล้านลูกบาศก์เมตร ความลึกสูงสุด 2.6 เมตร และความลึกเฉลี่ย 1.6 เมตร มีน้ำจากลำคลอง 75 สาย ไหลลงสู่ทะเลสาบนี้ ความเค็มของน้ำในทะเลสาบขึ้นอยู่กับฤดูกาล (ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเลสาบ) น้ำในทะเลสาบเป็นน้ำจืดในช่วงฤดูฝน (ตุลาคม - มกราคม) และมีน้ำทะเลไหลเข้ามาผสมในช่วงฤดูแล้ง ความเค็มเฉลี่ยของน้ำอยู่ระหว่าง 6 - 7 ppt (Kuwabara, 1995) เกษตรกรที่ต้องการใช้น้ำจืดจากทะเลหลวง มักประสบปัญหาในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งเป็นช่วงที่น้ำเค็มจากทะเลหนุนขึ้นไปยังตอนบนของทะเลสาบ John Taylor & Sons et al. (1985) เคยประมาณอัตราการตกตะกอนของทะเลสาบไว้เพียง 0.3 มิลลิเมตร/ปี ตัวเลขนี้ขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Bhongsuwan and Chittarakarn (1997) ซึ่งพบว่าอัตราการตกตะกอนบริเวณทะเลหลวงอยู่ในช่วง 2.1 - 8.0 มิลลิเมตร/ปี โดยมีอัตราการตกตะกอนบริเวณชายฝั่งตะวันออกสูงกว่าฝั่งตะวันตก



**ทะเลสาบตอนนอก (ทะเลสาบสงขลา)** เป็นตอนที่มีปากทางออกสู่ทะเล มีพื้นที่ 183.49 ตารางกิโลเมตร ความยาวโดยรอบตลอดชายฝั่ง 79.94 กิโลเมตร ปริมาตรน้ำ 260.67 ล้านลูกบาศก์เมตร ความลึกสูงสุดในทะเลสาบ 4.0 เมตร และความลึกเฉลี่ย 1.4 เมตร ความลึกของร่องน้ำปากทางออกสู่ทะเลประมาณ 9 เมตร มีน้ำจากลำคลอง 13 สาย ไหลลงสู่ทะเลสาบนี้ ความเค็มของน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้างระหว่าง 4 - 32 ppt ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำจืด และอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง (Kuwabara, 1995) อัตราการตกตะกอนบริเวณทะเลสาบอยู่ในช่วง 5.1 - 6.3 มิลลิเมตร/ปี (Bhongsuwan and Chittakarn, 1997) ลักษณะตะกอนบริเวณปากทะเลสาบเป็นตะกอนเนื้อหยาบ แต่จะมีเนื้อละเอียดขึ้นเมื่อห่างจากปากทะเลสาบเข้าไปภายใน แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม kaolins (สมศักดิ์ มณีพงศ์ และ ชำโตชี มีทสุโมโต, 2537) ทะเลสาบสงขลาตอนนอกเป็นบริเวณวางไข่และฟักตัวของสัตว์น้ำ บริเวณนี้จามีสัตว์น้ำหลากหลายชนิด จากการสำรวจของ Sirimontaporn (1995) ระหว่างปี พ.ศ.2534 - 2536 พบปลา 97 ชนิด กุ้งทะเล 9 ชนิด ปูทะเล 3 ชนิด และกิ้งกักแตน 2 ชนิด สัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็นสัตว์น้ำกร่อย (50 ชนิด) รองลงมาเป็นสัตว์น้ำเค็ม (47 ชนิด) ส่วนสัตว์น้ำจืดพบเพียง 13 ชนิด รอบ ๆ ทะเลสาบตอนนอกเป็นพื้นที่มีประชากรหนาแน่น และมีโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมายทำให้มีน้ำทิ้งไหลลงสู่ทะเลสาบตอนนอกเป็นปริมาณมาก นรงค์ ณ เชียงใหม่ และคณะ(2530) เคยสำรวจปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในเขต อ.เมืองสงขลา และอ.หาดใหญ่ ที่ปล่อยลงสู่ทะเลสาบ พบว่ามีปริมาณถึง 5123 กิโลกรัม-BOD/วัน ข้อมูลจากสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2538) ระบุว่าน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปล่อยลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนนอกประมาณ 4560 ลูกบาศก์เมตร/วัน ทะเลสาบตอนนอกจึงล้นแหลมต่อการเกิดปัญหามลภาวะมากกว่าทะเลสาบตอนอื่น

## ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประชาชนที่ดำรงชีวิตอยู่รอบ ๆ ทะเลสาบแห่งนี้ การใช้ประโยชน์จากทะเลสาบมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การทำประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การใช้ น้ำจืดเพื่อการชลประทาน การใช้ประโยชน์จากพืชน้ำ และการใช้ประโยชน์เพื่อการท่องเที่ยว เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดกับกิจกรรมเหล่านี้ รวมทั้งผลกระทบอันอาจจะเกิดกับประชาชน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้มีบทบาทอย่างมากต่อการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทะเลสาบ และได้ผลิตผลงานวิจัยออกมาอย่างต่อเนื่องและเป็นจำนวนมาก (Limpadanai, 1977; นรงค์ ณ เชียงใหม่, 2522; John Taylor

๕ Sons et al., 1985; Angsupanich and Aruga, 1994) ในระหว่างปี พ.ศ. 2534-2538 คณะนักวิจัยของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงน้ำชายฝั่ง (NICA) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (NRCT) และ Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS) ให้ทำวิจัยเกี่ยวกับระบบนิเวศของทะเลสาบสงขลาตอนนอก แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและระยะเวลา โครงการวิจัยดังกล่าวไม่สามารถขยายขอบเขตงานวิจัยให้ครอบคลุมทะเลสาบทั้งสามตอนได้ (เสาวภา อังสุภานิช และคณะ, 2537; เสาวภา อังสุภานิช และคณะ, 2539; Kuwabara, 1995) คณะผู้วิจัยเห็นว่างานวิจัยจะมีความสมบูรณ์และมีประโยชน์มากขึ้น หากสามารถดำเนินการวิจัยจนได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ของทะเลสาบทั้งสามตอน นอกจากนี้การปนเปื้อนของสารก่อมลพิษบางชนิดยังจำเป็นต้องติดตามเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถบ่งชี้ภาวะปัจจุบันอยู่เสมอ จึงได้ตัดสินใจดำเนินโครงการวิจัยนี้ ต่อเนื่องจากโครงการที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลรายละเอียด ทางด้านสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของตะกอน แผนงานวิจัยดังกล่าวเสนอไว้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำวิจัยเป็นระยะเวลา 4 ปี โดยมีแผนงานที่เสนอไว้ในคำขอ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของตะกอน ได้แก่ เนื้อตะกอน แร่ดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ กรดฮิวมิก กรดฟูวิก ฟอสฟอรัส กำมะถัน ไนโตรเจน สารหนู และโลหะหนัก
2. เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายขององค์ประกอบต่าง ๆ ในข้อ 1 ทั้งในแนวราบและแนวลึก รวมทั้งศึกษาสภาพในการเกิดมลพิษขององค์ประกอบบางชนิด

เนื่องด้วยปัญหาวิกฤตเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้โครงการนี้จำเป็นต้องตัดตอนแผนงานวิจัยลงเหลือเพียง 2 ปี และลดงบประมาณลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของแผนงบประมาณที่เสนอไว้ทั้งหมด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องปรับลดแผนงานที่เสนอไว้บางส่วนลง ดังนี้

1. ตัดทอนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแร่ดินเหนียวและสารหนูออกทั้งหมด เนื่องจากต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง
2. ตัดทอนงานวิจัยอินทรีย์วัตถุออกบางส่วน คือส่วนที่เกี่ยวข้องกับ กรดฮิวมิก และกรดฟูวิก เนื่องจากไม่สามารถจัดซื้อเครื่องมือวิเคราะห์ได้ทัน (การจัดซื้อไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้)



## เอกสารอ้างอิง

- ทิวา ศุภจรรยา. 2535. สภาพภูมิศาสตร์และการตั้งถิ่นฐานบริเวณเมืองสงขลา. ใน รายงานการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง สงขลาศึกษา : ประวัติศาสตร์และโบราณคดีเมืองสงขลา. 27-29 สิงหาคม 2534 ณ สถาบันทักษิณคดีศึกษา จ.สงขลา. หน้า 57-63.
- เริงชัย ดันสกุล. 2535. "ภูมิปัญญาชาวบ้าน" : การปรับเปลี่ยนทางเศรษฐกิจและสังคมรอบทะเลสาบสงขลา. ใน รายงานการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง สงขลาศึกษา : ประวัติศาสตร์และโบราณคดีเมืองสงขลา. 27 - 29 สิงหาคม 2534 ณ สถาบันทักษิณคดีศึกษา จ.สงขลา. หน้า 230-241.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2538. ธรณีสัณฐานประเทศไทยจากห้วงอวกาศ. ด้านสุขาการพิมพ์. หน้า 170-171.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. 2538. ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลาที่มีมลภาวะ. สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สมศักดิ์ มณีพงศ์ และ ชำโตชิ มัทสึโมโตะ. 2537. ขนาดอนุภาคและองค์ประกอบทางแร่ดินเหนียวของตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก. ว.สงขลานครินทร์. 16:75-82.
- เสาวภา อังสุภาณี, วิเชียร จาฏพนัน, อภินันท์ กำนันรัตน์, สมศักดิ์ มณีพงศ์, เจริญ นิตธวามยง, จวาย เพชรรัตน์, สุภาพร รักเชียว, ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์, ประวิตร ไสภโกตร, Yusho Aruga, Ren Kuwabara, Satoshi Matsumoto, Yukuya Yamaguchi. 2537. รายงานการวิจัยเรื่อง พลวัตของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ประเทศไทยทางใต้. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่.
- เสาวภา อังสุภาณี, สมศักดิ์ มณีพงศ์, ไพโรจน์ สิริมนตาภรณ์, วิจารย์ มีผล, Ren Kuwabara. 2539. รายงานการวิจัยเรื่อง ระบบนิเวศและการใช้ทรัพยากรชายฝั่ง : การศึกษาเขตต่อเนื่องชายฝั่งทะเลสาบสงขลาตอนนอกบริเวณคลองพะวงและคลองอู่ตะเภา. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่.
- Angsupanich S. and Aruga, Y. ed. 1994. Ecosystem Dynamics of Outer Songkhla Lake, Southern Thailand. NODAI for International Programs, Tokyo University of Agriculture, Tokyo.

- Bhongsuwan, T. and Chittrakarn, T. 1997. Magnetic susceptibility stratigraphy of bottom core-sediments from Songkhla Lake. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 19:363-373.
- John Taylor & Sons, Readcon Australia, Asia Engineering Consultants, and Roger Tym & Partners. 1985. Songkhla Lake Basin Planning Study. Final reports, Vol. 6.
- Kuwabara, Ren 1995. Geomorphology and Formation of Lake Songkhla Lagoon System. *In: The Coastal Environment and Ecosystem in Southeast : Studies on the Lake Songkhla Lagoon System, Thailand*, Kuwabara ed. Faculty of Bio-Industry, Tokyo University of Agriculture.
- Limpadanai, D. 1977. Report on Ecological Impact Evaluation, Songkla Lake Research Project Publication No. 1. Prince of Songkla University.



# ลักษณะการกระจายของอินทรีย์วัตถุ ในไตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม

ตะกอนดิน (sediment) เป็นอนุภาคของเม็ดดินที่แขวนลอยในชั้นของน้ำ ซึ่งตกลงมารวมกันที่บริเวณพื้นที่ท้องน้ำเมื่อน้ำมีการไหลที่ช้าลง ตะกอนดินอาจจะมาจากซากของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำนั้น หรือจากการพัดพาของตะกอนจากบริเวณอื่น ๆ ก็ได้ ดังนั้นตะกอนดินถือได้ว่าเป็นแหล่งสะสมของสารประกอบ และแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ สารอินทรีย์วัตถุ สารอินทรีย์คาร์บอน ธาตุอาหาร และธาตุโลหะหนัก ซึ่งสารประกอบและแร่ธาตุเหล่านี้จะมีบทบาทต่อสภาวะแวดล้อมและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ตามพื้นที่ท้องน้ำและในตะกอนดิน นอกจากนี้ยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำและบริเวณพื้นที่ท้องน้ำได้อีกด้วย

ทะเลสาบสงขลา เป็นทะเลสาบที่สำคัญและใหญ่ที่สุดในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 1,000 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างไปจากทะเลสาบอื่น ๆ คือ มีทั้งระบบนิเวศน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม รวมอยู่ด้วยกัน โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือทะเลสาบตอนบน (ทะเลน้อย) มีลักษณะเป็นน้ำจืด ทะเลสาบตอนกลาง (ทะเลหลวง) มีลักษณะเป็นน้ำกร่อย และทะเลสาบตอนล่างหรือตอนนอก มีลักษณะเป็นน้ำเค็ม พื้นที่บริเวณทะเลสาบสงขลาถูกใช้ประโยชน์เพื่อกิจกรรมต่าง ๆ หลากหลายประการด้วยกัน บริเวณทะเลน้อย ทะเลหลวง และทะเลสาบตอนนอก มีการตั้งถิ่นฐานบ้านเรือนของชุมชน การทำเกษตรกรรม การประมง และโรงงานอุตสาหกรรม (จงจิตรา, 2536) ซึ่งได้ก่อให้เกิดของเสียปริมาณมาก และไหลลงสู่ทะเลสาบ ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำของบริเวณนั้น และเกิดการตกตะกอนทับถมบริเวณพื้นที่ท้องทะเลสาบ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมของทะเลสาบสงขลาได้กระทำกันมาอย่างต่อเนื่อง เช่น โครงการวิจัยทะเลสาบสงขลา ปี 2519-2522 (Limpadanai, 1972) การศึกษาพัฒนาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลาปี 2526-2528 (John Taylor and Sons, 1985) การศึกษาพลวัตของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Angsupanich and Aruga, 1994) ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และทำการศึกษาทะเลสาบสงขลาเพียงบางตอน เนื่องจากปัญหา

บางประการ เช่น งบประมาณ เวลา หรือบุคลากร จึงทำให้ข้อมูลขาดรายละเอียดหลายประการ และขาดการ  
ต่อเนื่อง การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการกระจายและการสะสมของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่สำคัญใน  
ตะกอนดินบริเวณพื้นที่ท้องน้ำทะเลน้อยและทะเลหลวง โดยเปรียบเทียบปริมาณกับตะกอนที่ระดับความลึกต่าง ๆ  
กันในแต่ละบริเวณ เพื่อประเมินศักยภาพและสถานะของอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารที่จะมีผลกระทบต่อปัจจัย  
ต่าง ๆ ในระดับนิเวศของทะเลสาบสงขลา และเป็นข้อมูลเพิ่มเติมและต่อเนื่องในการติดตามตรวจสอบสภาวะแวดล้อม  
ของทะเลสาบสงขลาในสภาวะปัจจุบัน และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอนดิน ได้ทำการเก็บในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2541 การเก็บตัวอย่างดินตะกอน ได้  
เก็บห่างจากฝั่งประมาณ 1 กิโลเมตร เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ไม่ปนเปื้อนจากสารเคมีและวัตถุต่าง ๆ อันเกิดจากกิจ  
กรรมชายฝั่งของมนุษย์มากนัก โดยใช้ท่อซึ่งทำด้วยโลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 150  
เซนติเมตร บักลงไปบนพื้นทะเลสาบ และดึงขึ้นมา ดันดินตะกอนที่อยู่ในท่อออกมาตัดแบ่งตัวอย่างออกเป็นท่อนละ  
10 เซนติเมตร ในแต่ละจุดทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง รวมตัวอย่างที่ได้จากความลึกเดียวกันเข้าด้วยกัน เพื่อทำ  
เป็นตัวอย่างรวม (composite sample) เก็บตัวอย่างทั้งหมดใส่ถุงพลาสติก เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อในห้อง-  
ปฏิบัติการ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนในบริเวณจุดต่าง ๆ ที่เป็นตัวแทนของทะเลน้อยและทะเลหลวง โดย  
เก็บตัวอย่างในทะเลน้อยทั้งหมด 5 จุด และทะเลหลวงทั้งหมด 14 จุด

นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  จนแห้ง จากนั้นตำด้วยครกเซรามิก และร่อนผ่านตะแกรงที่มี  
ขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างที่แห้งแล้วไว้ในกระป๋องพลาสติกเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

### วิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่างของตะกอน (pH) : นำตัวอย่างดินที่แห้งมาใส่บีกเกอร์เติมน้ำกลั่นในสัดส่วน  
1:25 แล้วนำไปวัด pH ด้วยเครื่อง pH-meter

วิเคราะห์อินทรีย์วัตถุด้วยวิธีเผา : ใส่ตัวอย่างใน porcelain crucible ขนาด  $30\text{ cm}^3$  ที่ทราบน้ำหนัก  
แล้วประมาณ  $1/4$  ของปริมาตรถ้วย นำไปอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นในโถ  
แก้วตุตความชื้น ซึ่งน้ำหนัก แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $550^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นตั้งให้เย็นในโถ  
แก้วตุตความชื้น และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณปริมาณอินทรีย์วัตถุ จากน้ำหนักที่ลดลงเนื่องจากการเผา



วิเคราะห์อนิทธิยั้วัดฤและอนิทธิยั้วัดฤคาร์บอนด้วยวิธีทำปฏิกิริยากับกรดโครมิก : ซึ่งตัวอย่างดิน 0.5 - 2.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 1.0 N  $K_2Cr_2O_7$  ลงไป 10 มิลลิลิตร และสารละลาย 15 % (W/V)  $Ag_2SO_4$  ในกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบนหม้อไอน้ำนาน 30 นาที ทิ้งให้เย็น แล้วไตเตรทด้วยสารละลาย 0.5 N  $FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$  จำนวนปริมาณอนิทธิยั้วัดฤในตัวอย่างจากปริมาณ  $K_2Cr_2O_7$  ที่ทำปฏิกิริยาไป โดยอนุมานว่าอนิทธิยั้วัดฤประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 58 %

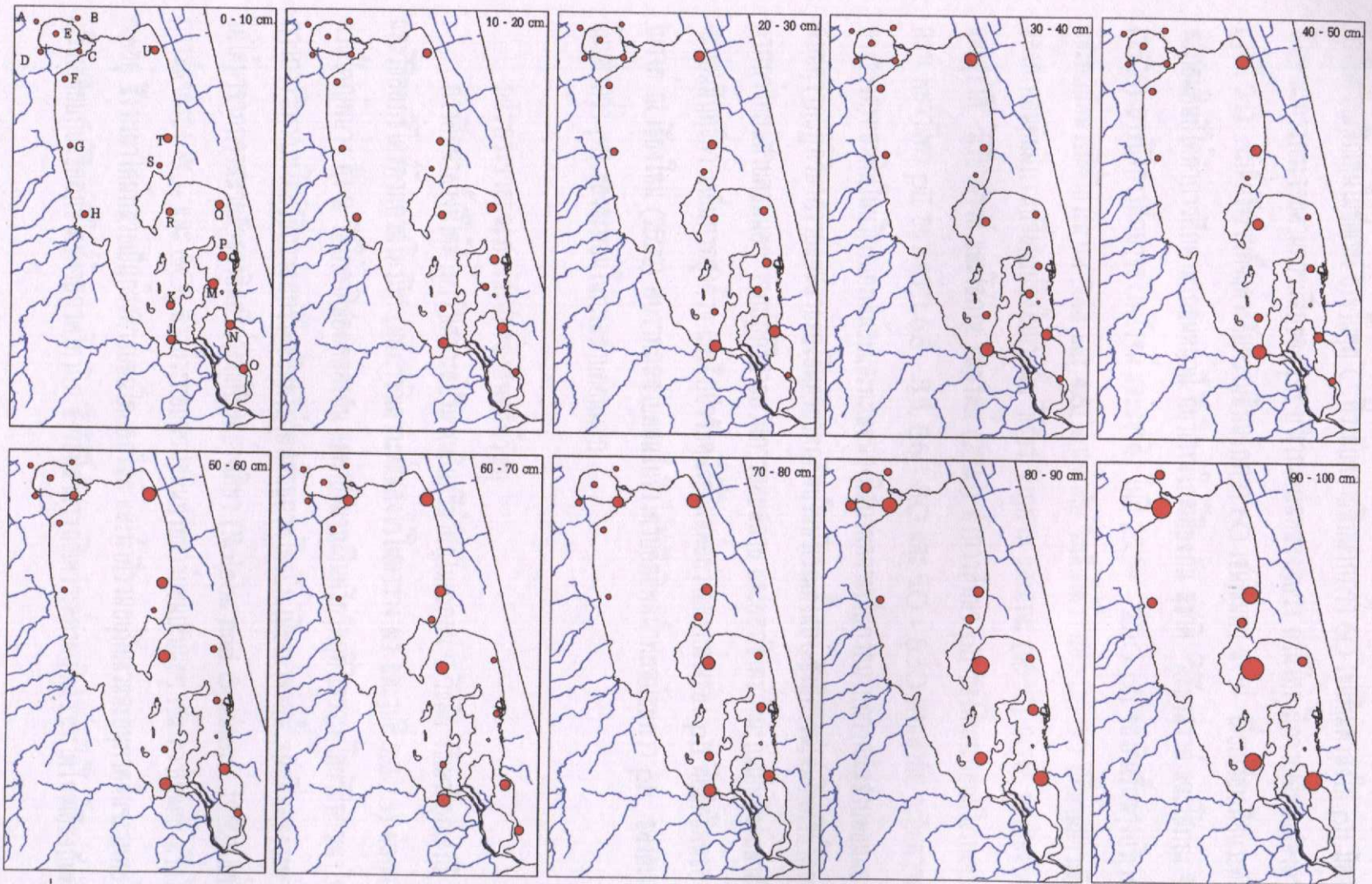
วิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด : สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดใช้หลักการของการสันดาปเปียก (Wet Combustion) ซึ่งเป็นวิธีการของ Kjeldahl โดยทำ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการย่อยเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนอนิทธิยั้วัดฤไนโตรเจนให้เป็น  $(NH_4)_2SO_4$  ด้วยกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้น โดยใช้สารเร่ง  $CuSO_4$  ผสมกับ  $Se$  และ  $K_2SO_4$  และขั้นตอนการกลั่น เป็นการเปลี่ยน  $(NH_4)_2SO_4$  เป็นแก๊ส  $NH_3$  โดยเติม  $NaOH$  ลงไปจับแก๊สที่เกิดขึ้นด้วยกรด  $H_3BO_3$  ความเข้มข้น 3 % ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับแก๊ส  $NH_3$  แล้วนำไปไตเตรทด้วยสารละลายกรด  $HCl$  ความเข้มข้น 0.05 M (สมศักดิ์, 2537)

วิเคราะห์หาฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และกำมะถัน : โดยทำการย่อยตะกอนดินโดยใช้กรดผสมไนตริก-เปอร์คลอริก ซึ่งจะสกัดธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตะกอนดินออกมาอยู่ในรูปสารละลาย แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยใช้วิธีการ Vanado molybdate (สมศักดิ์, 2537) หาปริมาณโปแตสเซียมทั้งหมดโดยวิธี Flame Photometer (สมศักดิ์, 2537) และวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันทั้งหมดโดยวิธี Turbidimetry (สมศักดิ์, 2537)

## ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

ความเป็นกรดเป็นด่างของตะกอน (pH)

จากการศึกษาความเป็นกรดเป็นด่างของตะกอนในสภาพแห้ง พบว่า ตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวง มีระดับ pH อยู่ระหว่าง 3.04 - 7.82 มีค่าเฉลี่ย 4.87 บริเวณทะเลน้อยระดับ pH ของตะกอนเกือบทุกจุดมีค่าต่ำกว่า 3 ยกเว้นจุด C ที่ระดับความลึกมากกว่า 60 เซนติเมตร ทะเลน้อยมีระดับ pH เฉลี่ย 3.72 ซึ่งเป็นสภาพที่เป็นกรดจัดมาก ส่วนตะกอนจากทะเลหลวงส่วนใหญ่จะพบสภาพเป็นกรดจัดถึงจัดมาก pH ต่ำกว่า 5 ยกเว้นจุด K, N และ U น่าจะเป็นผลจากการสะสมของปริมาณของกำมะถัน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปริมาณกำมะถันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 12,996 mg-S/kg ซึ่งการออกซิไดซ์กำมะถันเกิดกรดอิสระที่ทำให้ pH ของดินต่ำ



ภาพที่ 2.1 ลักษณะความเป็นกรดเป็นด่างของดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง



กว่า 4 (McLean, 1982) ลักษณะการกระจายตามความลึกบริเวณทะเลน้อย การเปลี่ยนแปลงของ pH ตามระดับความลึกเห็นไม่ชัดเจน ยกเว้นจุด C ที่ระดับความลึกมากกว่า 60 เซนติเมตรลงไป pH มีค่ามากกว่า 6 ลักษณะการกระจายตามความลึกของ pH บริเวณทะเลหลวงพบว่า ส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงตามความลึก (รูปที่ 2.1) จะเห็นชัดเจนตั้งแต่ระดับความลึกมากกว่า 60 เซนติเมตร ลงไป เมื่อเปรียบเทียบระดับ pH ของตะกอนดินที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้ ที่บริเวณใกล้เคียงกัน สุขชาติ วิเชียรสวรรค์ และโสภณ จันทรัตน์ (2526) อ้างถึงการศึกษาของไฟโรจน์ และสุชาติ ในปี 2509 - 2510 pH ของดินชั้นล่างบริเวณทะเลน้อย และทะเลหลวงมีค่าประมาณ 3.44 และ 4.81 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ระดับของ pH ของตะกอนดินมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก วิเชียร จากุพจน์ และคณะ (2537) นรงค์ ณ เชียงใหม่ (2522) และสุชาติ วิเชียรสวรรค์ และโสภณ จันทรัตน์ (2526) ทำการศึกษา pH ของดินตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนนอก พบว่ามีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.8 - 8.3, 6.6 - 8.0 และ 5.0 - 8.30 ตามลำดับ ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของตะกอนดินในบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงมีสภาพความเป็นกรดมากกว่าทะเลสาบตอนนอก อาจจะเป็นสาเหตุจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่พบในบริเวณทั้งสอง ซึ่งมีการสะสมอินทรีย์วัตถุและกักเก็บมากกว่าทะเลสาบตอนนอก จากปฏิกิริยาขบวนการย่อยสลาย และออกซิไดซ์กักเก็บเป็นปัจจัยสำคัญทำให้ดินตะกอนมีฤทธิ์ความเป็นกรดสูงด้วย และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความแตกต่างของ pH คืออิทธิพลของน้ำทะเล นรงค์ ณ เชียงใหม่ (2522) พบว่าทะเลสาบตอนในซึ่งได้รับอิทธิพลน้ำทะเลน้อยกว่า pH ของตะกอนมีแนวโน้มต่ำกว่า pH ของตะกอนในทะเลสาบตอนนอก

#### การกระจายและการสะสมของอินทรีย์วัตถุ

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอน 2 วิธีคือ วิธีเผาที่อุณหภูมิ 550 °C และวิธีออกซิไดซ์ด้วยกรดไตรมิก (ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตาราง พ.1 และรูปที่ 2.2-2.3) ผลการวิเคราะห์ส่วนใหญ่พบว่า ทั้ง 2 วิธีให้ค่าที่สอดคล้องกัน แต่ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์โดยวิธีการเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการวิเคราะห์โดยวิธีการออกซิไดซ์อินทรีย์วัตถุด้วยกรดไตรมิก เนื่องจากน้ำหนักที่ลดลงระหว่างการเผาไม่ได้มาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเพียงอย่างเดียว (Nelson and Sommers, 1982) แต่ยังเกิดจากการสลายของ  $\text{NO}_2$  และ  $\text{SO}_2$  ส่วนประกอบพวกอนินทรีย์คาร์บอนปะปนอยู่ เช่น คาร์บอนेट หรือไปคาร์บอนेटอยู่ ซึ่งจะเผาไหม้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำที่รวมอยู่กับแร่และอนุภาคดินจะระเหยไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีออกซิไดซ์ด้วยกรดไตรมิก ซึ่งวิธีนี้สามารถวิเคราะห์หาผลวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกันตลอดเวลา

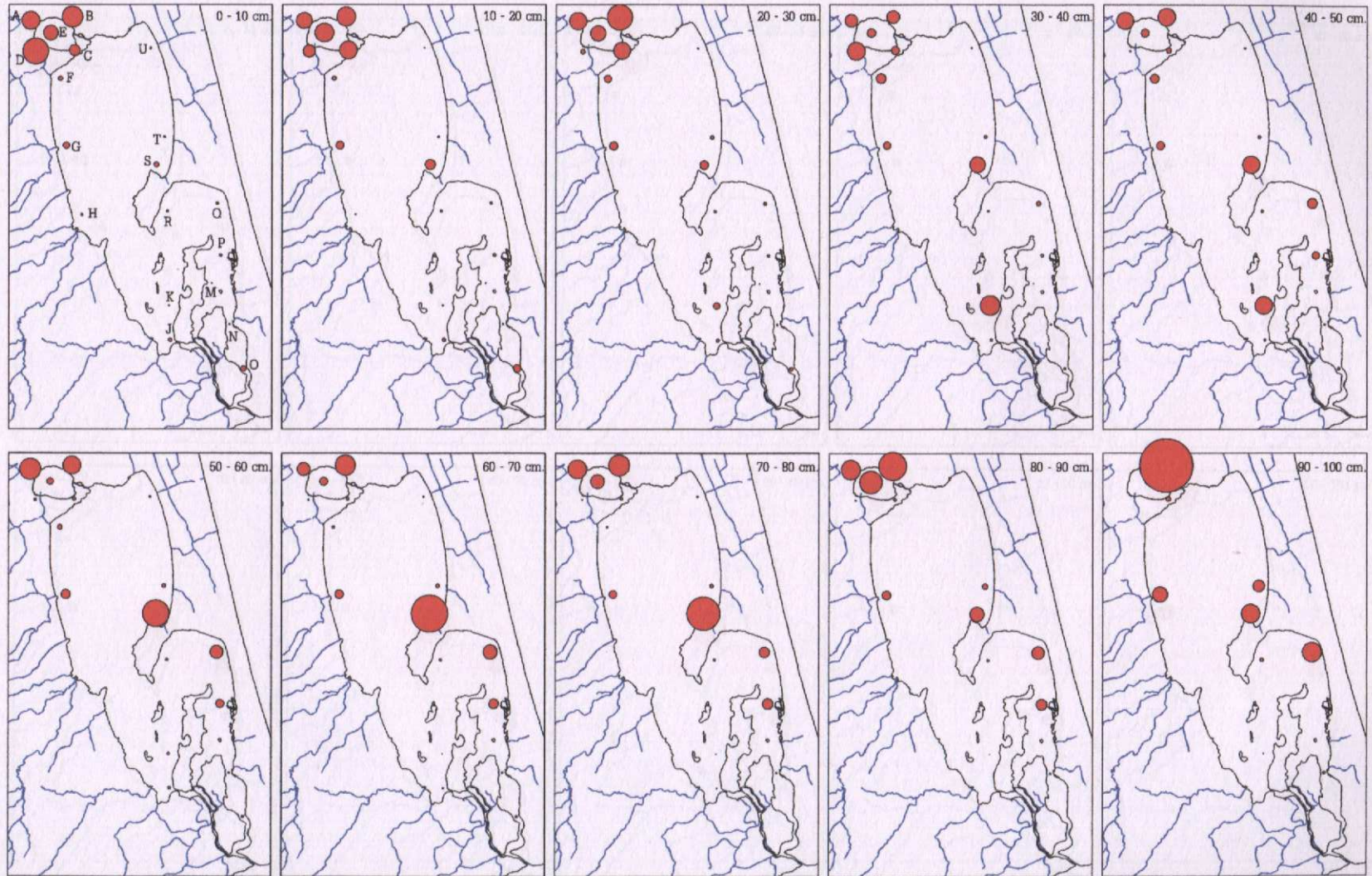




ภาพที่ 2.2 การกระจายของอินทรีย์วัตถุในดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวง (วิเคราะห์โดยวิธีเฝ้า) ที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

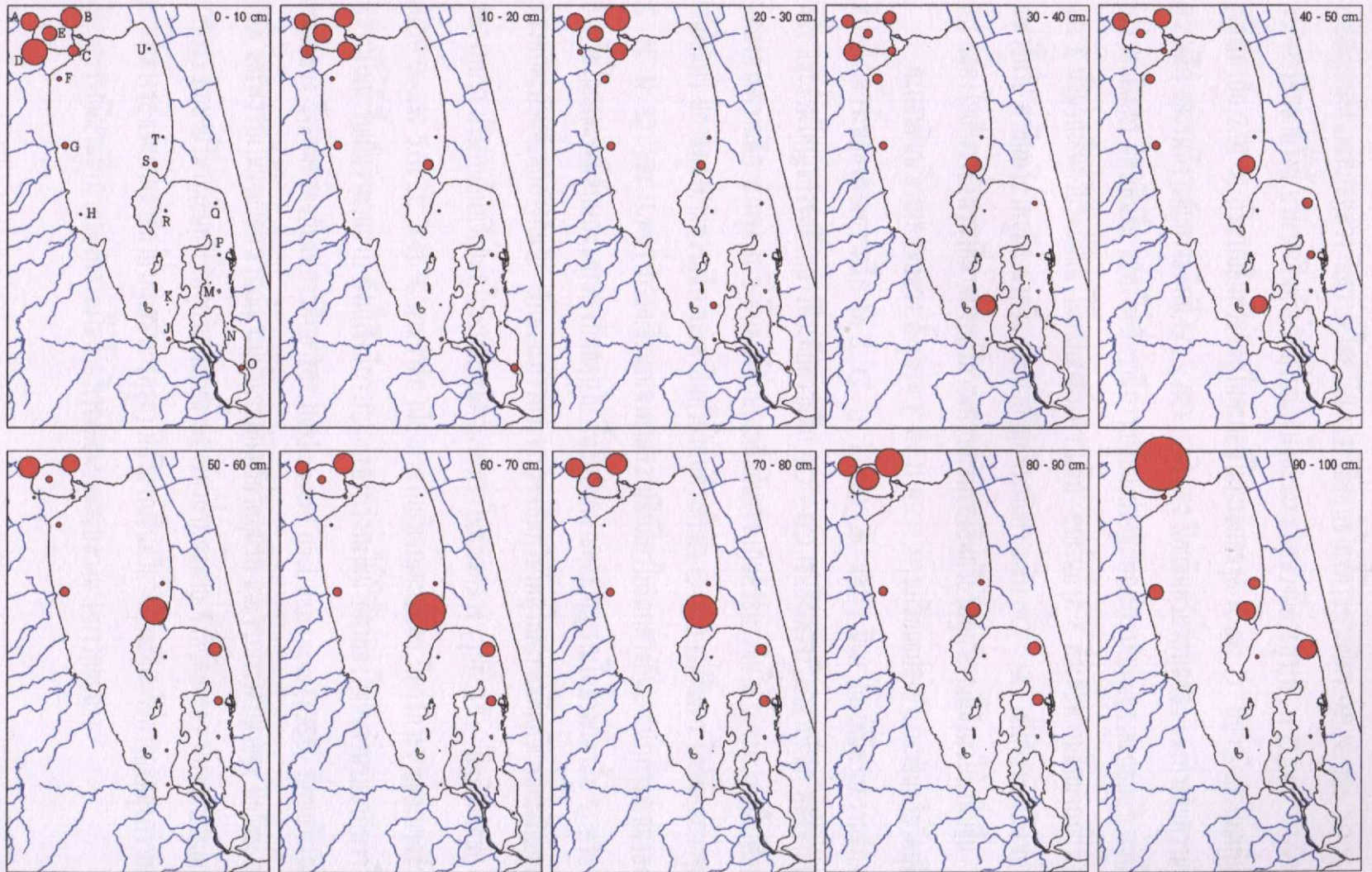




ภาพที่ 2.3 การกระจายของอินทรีย์วัตถุในดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวง (วิเคราะห์ด้วยวิธีออกซิไดซ์กับกรดโครมิก) ที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณอินทรีย์วัตถุ





ภาพที่ 2.4 การกระจายของอินทรีย์คาร์บอนของดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน



ดังนั้นจึงใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ในการเปรียบเทียบผล ปริมาณเฉลี่ยของอินทรีย์วัตถุในตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวง วิเคราะห์โดยวิธีเผาและวิธีออกซิโดซ์ด้วยกรดมีค่า 9.8 % และ 7.9 % ตามลำดับ จากการศึกษาครั้งนี้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในทะเลน้อยและทะเลหลวงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.24 - 37.69 % และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.91 % ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอนในทะเลน้อยจุด A และ B พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก และจนถึงระดับความลึกที่ 60 - 80 เซนติเมตร มีค่าอินทรีย์วัตถุลดลง และที่ระดับความลึกมากกว่า 80 เซนติเมตร มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการทับถมของตะกอนบริเวณนี้ จุด C, D และ E ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ยกเว้นที่จุด E ที่ระดับความลึกมากกว่า 70 เซนติเมตรขึ้นไป ค่าอินทรีย์วัตถุมีค่ามากขึ้น และมากที่สุดที่ระดับความลึก 80 - 90 เซนติเมตร (มีค่าเท่ากับ 22.34 %) แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่ผ่านมากปริมาณการสะสมของอินทรีย์วัตถุบริเวณนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตะกอนดินบริเวณทะเลหลวง ตั้งแต่จุด F ถึง U พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ระดับความลึกหนึ่งแล้วจะลดลงตามความลึก จุด E G J D Q S และ T มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงระดับหนึ่ง และส่วนใหญ่ของจุดดังกล่าวที่ระดับความลึก 40 - 60 เซนติเมตรจะมีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงตามความลึก ส่วนจุด H ซึ่งพื้นดินมีลักษณะเป็นดินแข็ง เก็บตัวอย่างดินได้ 2 ระดับเท่านั้น คือช่วง 0- 20 เซนติเมตร มีค่าลดลงตามความลึก และค่าอินทรีย์วัตถุที่ระดับผิว 0- 10 เซนติเมตร มีค่าน้อยกว่าจุดอื่น ๆ จุด K M N R และ U พบว่าการเปลี่ยนแปลงตามความลึกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักการสะสมของปริมาณอินทรีย์ในแต่ละจุดมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ในช่วงเวลานั้น ๆ หรือจากอัตราการตกตะกอนที่แตกต่างกันไป ลักษณะการกระจายของอินทรีย์วัตถุในตะกอนดินบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในทะเลน้อยมีค่ามากกว่าในทะเลหลวง (รูปที่ 23) โดยมีค่าเฉลี่ย  $13.57 \pm 8.09$  % และ  $5.61 \pm 3.41$  % ตามลำดับ เนื่องมาจากบริเวณทะเลน้อย มีการกระจายและมวลชีวภาพของพรรณไม้ที่ขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการทับถมของพรรณไม้ที่ตายลงไปเป็นจำนวนมากกว่าในบริเวณทะเลหลวง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hakkanson and Jansson (1983) ที่พบบริเวณที่มีมวลชีวภาพ และพรรณไม้ที่มากบริเวณนั้นจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก และจากการศึกษาของ ปิยรัตน์ อุทราสวัสดิ์ (2531) ศึกษาปริมาณอินทรีย์วัตถุบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลสาบ จังหวัดสงขลา พบว่าบริเวณตอนบนและตอนกลางของเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลสาบ (คุชูด) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าตอนล่าง เนื่องมาจากมีมวลชีวภาพของพรรณไม้ที่บริเวณตอนบนและกลางมากกว่าตอนล่าง

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในทะเลน้อย และทะเลหลวงที่ผ่านมา ทะเลน้อยและทะเลสาบตอนใน ในปี 2509- 2510 (สุชาติ และโสภณ, 2526) อ้างอิงการศึกษาของไพโรจน์ และสุชาติ (2509-2510) พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ย 2.13 % แพรวพรรณ แสงสกุล (2528) ได้ศึกษาในบริเวณทะเลหลวงช่วง พ.ศ. 2527 - 2528 พบว่ามีอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ย 0.63 - 2.65 % ในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ย 7.91 % และ 4.59 % แสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 - 30 ปี ปริมาณอินทรีย์มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือมีอัตราการตกทับถมของอินทรีย์ในตะกอนดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา การสังเกตที่ผ่านมาพบว่าทะเลสาบสงขลาได้ตื่นขึ้นเป็นอันมาก โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งในส่วนที่อยู่ในเขตทะเลน้อยและทะเลหลวง ทำให้เกิดเป็นสันดอนท้องร่อง (เสาวภา, 2537)

จากรายงานการศึกษาของวิเชียร จาฏพนธ์ และคณะ (2537) ณรงค์ ณ เชียงใหม่ (2522) ที่ศึกษาบริเวณทะเลสาบตอนนอก ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 0.28 -2.28% และ 0.82 -1.30% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่ผ่านมามีน้อยมาก เนื่องจากบริเวณทะเลสาบตอนนอกมีการไหลเข้าและออกของน้ำในทะเลสาบโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอินทรีย์สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำถูกพัดพาออกสู่ทะเลเปิดอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่เกิดการสะสมขึ้นในทะเลสาบ ซึ่งตรงกันข้ามกับบริเวณทะเลน้อย และทะเลหลวง อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงต่อการไหลเข้าและออกบริเวณดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า และการระบายน้ำค่อนข้างมีน้อยและน้ำมีลักษณะนิ่ง ดังนั้นอินทรีย์วัตถุจึงมีแนวโน้มการสะสมเพิ่มขึ้น

### การกระจายของไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตะกอน (ตาราง ผ.1)พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.02-0.69% มีค่าเฉลี่ย 0.12% มีความสัมพันธ์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (รูป 29) นั่นแสดงว่า อินทรีย์วัตถุในตะกอนดินจะเป็นแหล่งที่ไธชาติไนโตรเจนในตะกอนดิน อินทรีย์วัตถุในตะกอนจะมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ประมาณ 10-15% (Schanitzer, 1984) ตะกอนจะเป็นแหล่งสะสมสารอาหารต่าง ๆ ที่สำคัญเมื่อเข้าสู่กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะปลดปล่อยสารอาหารออกมาในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น (Balzer, 1984 และ Black burn and Heriken, 1983) ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช

จากการศึกษาการกระจายของไนโตรเจนในตะกอนดิน (รูป 25) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเช่นเดียวกับอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนบริเวณทะเลน้อย (เฉลี่ยประมาณ 0.21 %) มีค่าสูงกว่าบริเวณทะเลหลวง (เฉลี่ยประมาณ 0.09%) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดินบริเวณทะเล





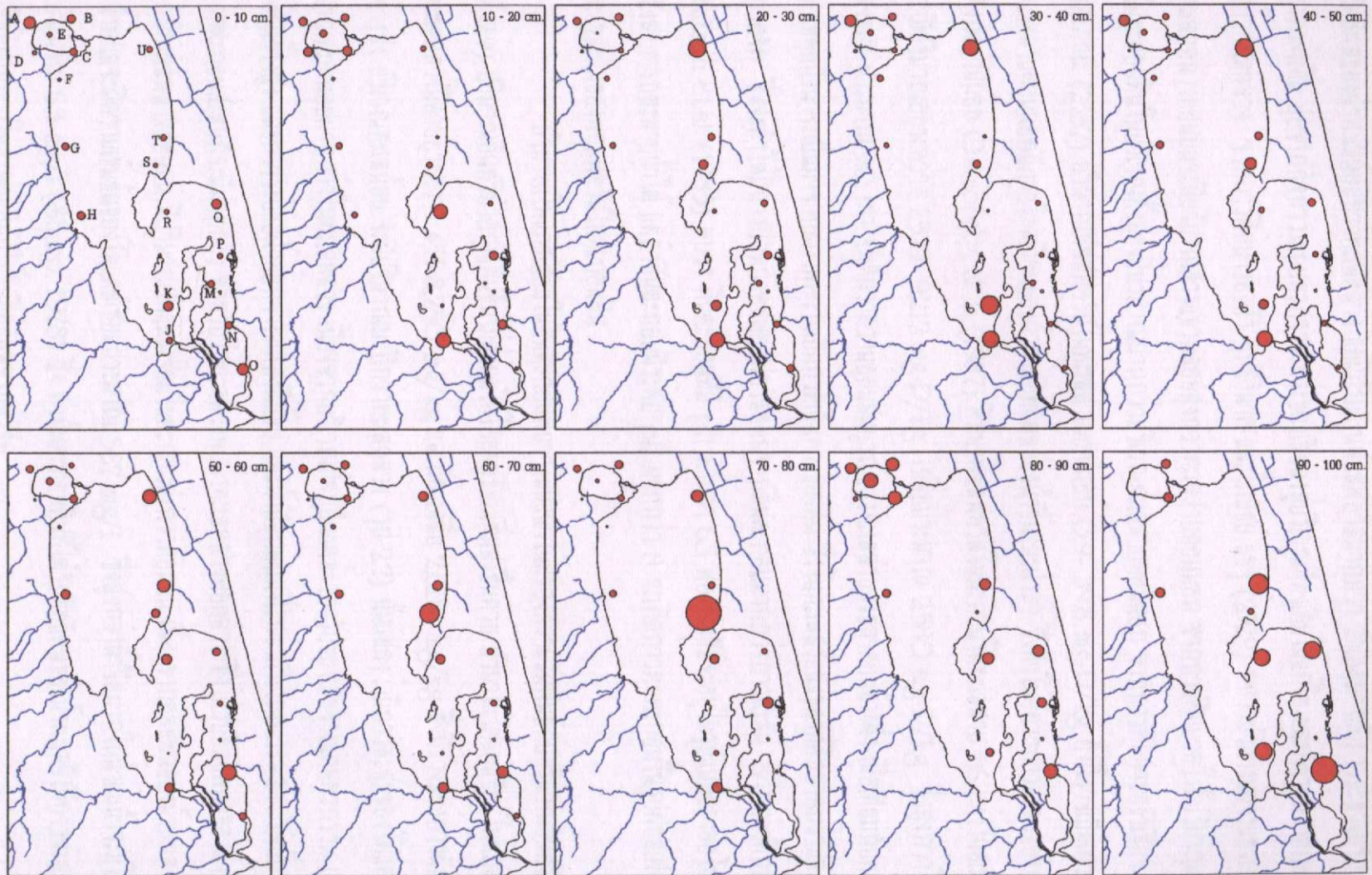
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการกระจายของไนโตรเจนทั้งหมดในดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ  
 ● : ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ส่วนนอก จากการศึกษาของวิเชียร จากพจน์ (2537) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.07% จะพบน้ำทะเลน้อยและทะเลหลวงมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าทะเลสาบตอนนอก ทั้งนี้เนื่องจากทะเลน้อยมีพีพรพรรณไม้จำนวนมากและเกิดที่ปิดมอขุดตามดินพื้นล่าง นอกจากนี้บริเวณนี้มีการกักน้ำค่อนข้างน้อยและน้ำจะอยู่ในสภาพนิ่ง ทำให้อินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนมีการสะสมมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยรัตน์ อุทราสวัสดิ์ (2531) ที่ศึกษาคุณภาพของตะกอนดินบริเวณทะเลสาบสงขลา (คูขุด) พบว่าบริเวณที่มีพรพรรณไม้จำนวนมากจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าบริเวณอื่น และจากผลการวิเคราะห์พบว่าในแต่ละจุดมีปริมาณแตกต่างกัน อาจจะมีสาเหตุจากในตะกอนดินมีปริมาณหรือชนิดของสัต์ว์หน้าดินแตกต่างกันซึ่งสัต์ว์หน้าดินจะใช้ไนโตรเจนในตะกอนดินเป็นอาหารและปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนียมไอออน เป็นผลให้ปริมาณไนโตรเจนในตะกอนดินลดลง (ปิยรัตน์ 2531 อ้างถึง Petr. 1927)

### การกระจายของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม

ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดินบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงมีค่าอยู่ระหว่าง 22.62 - 721.08 mgP/kg เฉลี่ย 125.22 mgP/kg และปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ที่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (รูปที่ 29) แสดงว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่ได้เป็นแหล่งสำคัญที่ได้ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดิน การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสอาจมาจากการชะล้างตะกอนจากแผ่นดิน การตกตะกอนจากแหล่งน้ำหรือการละลายจากตะกอนออกสู่แหล่งน้ำ ตะกอนดินในแหล่งน้ำมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มหรือลดปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเกิดการดูดซับ (adsorption) ไว้บนตะกอน หรือปลดปล่อยออกจากตะกอน ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดต่างของน้ำ ดินตะกอน และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารของสัต์ว์หน้าดินที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น ๆ ด้วย โดยจะใช้ในรูปสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส และปล่อยออกมาในรูปไอออน เช่น ไอออนฟอสเฟต ลักษณะการกระจายของฟอสฟอรัสในบริเวณที่ศึกษา พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในทะเลน้อย และทะเลหลวงตอนล่าง มีค่ามากกว่าทะเลหลวงตอนบน (รูปที่ 26) สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยรัตน์ อุทราสวัสดิ์ (2531) ที่พบปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดินบริเวณห้ามล้าสัต์ว์ป่าทะเลสาบสงขลา (คูขุด) มีมากทางตอนล่าง และส่วนใหญ่พบว่าที่ระดับความลึกมากกว่า 20 เซนติเมตรลงไป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก วิเชียร จากพจน์ และคณะ (2537) รายงานว่าตะกอนในบริเวณทะเลสาบตอนนอกมีค่าอยู่ในช่วง 0.9 - 39.8 mg-P/kg และพบว่าบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลมาก มีปริมาณของฟอสฟอรัสมากด้วย ดังนั้นอิทธิพลของน้ำทะเลจะเป็นปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในตะกอนดิน บริเวณทะเลหลวงตอนล่างได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลมาก





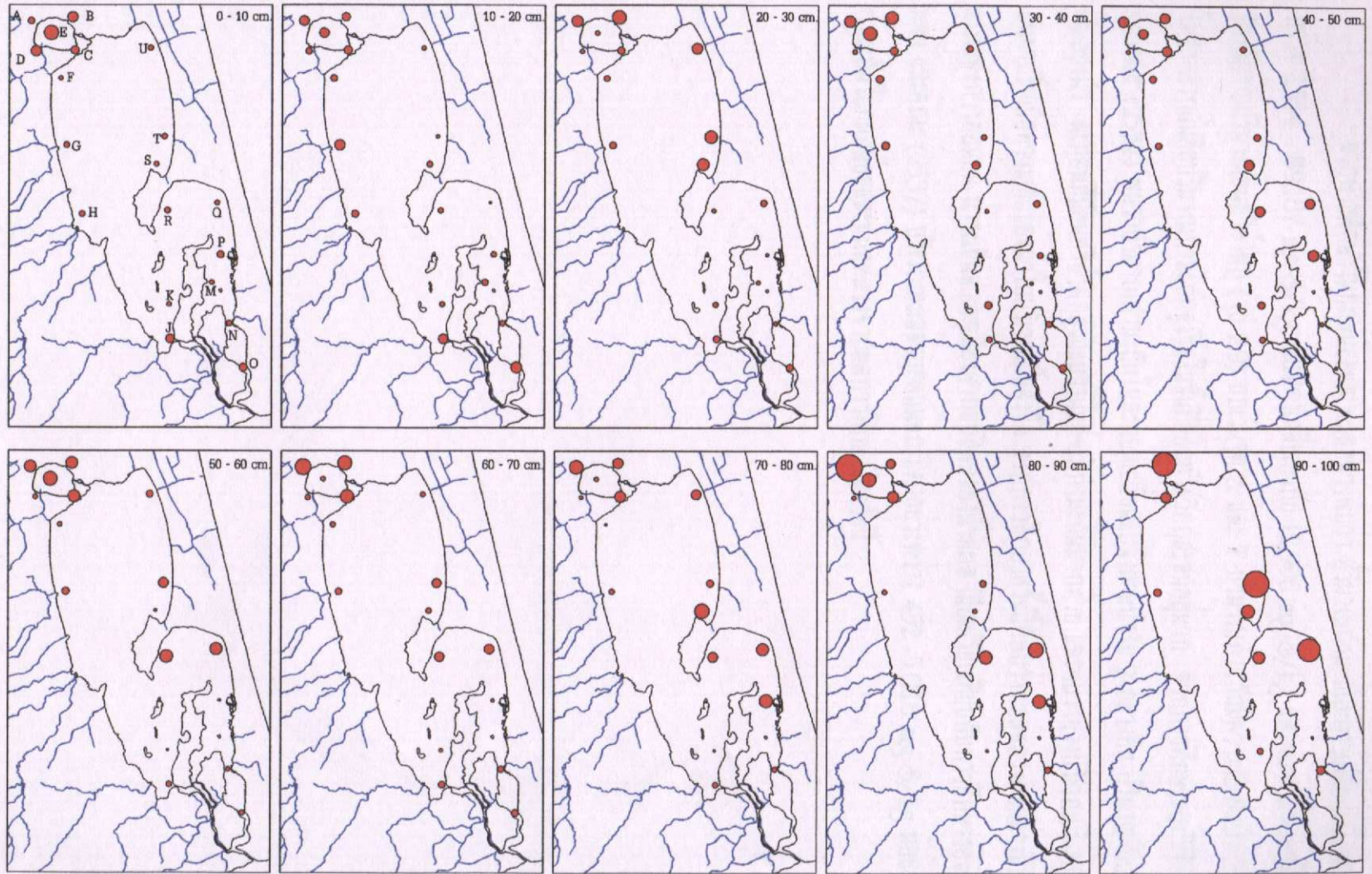
ภาพที่ 2.6 ลักษณะการกระจายของฟอสฟอรัสในดินตะกอนบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณฟอสฟอรัส

กว่าตอนบน ดังนั้นน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่า สำหรับตะกอนจากทะเลน้อยซึ่งได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลน้อยกว่าทะเลหลวง แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่า สาเหตุน่าจะมีการชะล้างปริมาณตะกอนจากแผ่นดิน ปุ๋ยจากกิจกรรมเกษตรกรรม และของเสียลงสู่บริเวณนี้คงเดิมไม่แก้ไข และอัตราการตกตะกอนมากกว่าทะเลหลวง จากการศึกษาของสิริ ทุกชีวินาศ และโกษชัย แซ่จู้ (2529) พบว่าปริมาณสารแขวนลอยในทะเลหลวงตอนบนจะมีปริมาณสารแขวนลอยสูงกว่าทะเลสาบตอนนอก จากการศึกษาครั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสในตะกอนดินในบริเวณทั้งสองมีปริมาณมากกว่าบริเวณทะเลสาบตอนนอก จากการศึกษาของวิเชียร จากุพจน์ และคณะ (2537) ปริมาณฟอสฟอรัสในทะเลสาบตอนนอก 0.9- 39.8 mg-P/kg ทั้งนี้อาจเป็นเพราะบริเวณทะเลสาบตอนนอกมีการไหลเวียนของน้ำตามอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลง ซึ่งทำให้อัตราการสะสมของฟอสฟอรัสดังกล่าวมีน้อย Ostrofsky, M. L. (1987) ศึกษาฟอสฟอรัสในตะกอนในทะเลสาบ 66 แห่งในอเมริกา พบว่ามีปริมาณอยู่ระหว่าง 1,329- 9,212 mg-P/kg เฉลี่ยประมาณ 2,580 mg-P/kg ซึ่งสูงกว่าในทะเลสาบสงขลา ประมาณ 20 เท่า จะเห็นว่าความอุดมสมบูรณ์ของทะเลสาบสงขลาค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับทะเลสาบที่อื่น สาเหตุหนึ่งน่าจะเป็นมาจากสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งในทะเลสาบสงขลาที่ศึกษาพบว่าสภาพเป็นกรดจัด ซึ่งจะทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกจากดินตะกอนมากกว่าการสะสม จากการศึกษาของ Entsch et al. (1983) พบว่า ดินตะกอนที่มี pH ต่ำกว่า 6.5 ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปแบบของออร์โธฟอสเฟต ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าดินตะกอนมีระดับ pH มากกว่า 8 จะเกิดการตกตะกอนในรูปฟอสเฟต ซึ่งเป็นการสะสมของฟอสฟอรัสในตะกอนดิน

ปริมาณโพแทสเซียมในดินตะกอนพบว่าไม่มีแนวโน้มของความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (รูปที่ 2.9) ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้โพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้นด้วย ปริมาณโพแทสเซียมในทะเลน้อยและทะเลหลวงมีค่าอยู่ระหว่าง 455-8,280 mg/kg และมีค่าเฉลี่ย 2,818 mg/kg ซึ่งมีช่วงของการผันแปรค่อนข้างสูง บริเวณทะเลน้อย จะมีปริมาณมากกว่าทะเลหลวง (รูป 2.7) นั้นแสดงว่ามีการสะสมของโพแทสเซียมบริเวณทะเลน้อยมากกว่าในทะเลหลวง เนื่องจากบริเวณนี้จะเป็นแหล่งรองรับของเสียจากเกษตรกรรม เช่น จากปุ๋ยค่อนข้างสูง และการระบายน้ำออกจากแหล่งนี้บ่อย และน้ำมีลักษณะนิ่งกว่าบริเวณทะเลหลวง ดังนั้นอัตราการตกตะกอนสะสมก็จะมากกว่า สำหรับในทะเลหลวงพบว่าทะเลหลวงตอนล่าง ซึ่งได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลมากกว่าทะเลหลวงตอนบน มีปริมาณโพแทสเซียมในตะกอนสูงกว่าตอนบน เนื่องจากอิทธิพลของน้ำทะเล โดยทั่วไปน้ำทะเลจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมประมาณ 387 mg/l ซึ่งสูงกว่าน้ำจืดมากในน้ำแม่น้ำจะมีโพแทสเซียมประมาณ 63 mg/l (Sharp, 1978) ซึ่ง ดังนั้นตะกอนดินที่ได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลจึงมีการสะสมของโพแทสเซียมมากกว่าในตะกอนดินที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืด





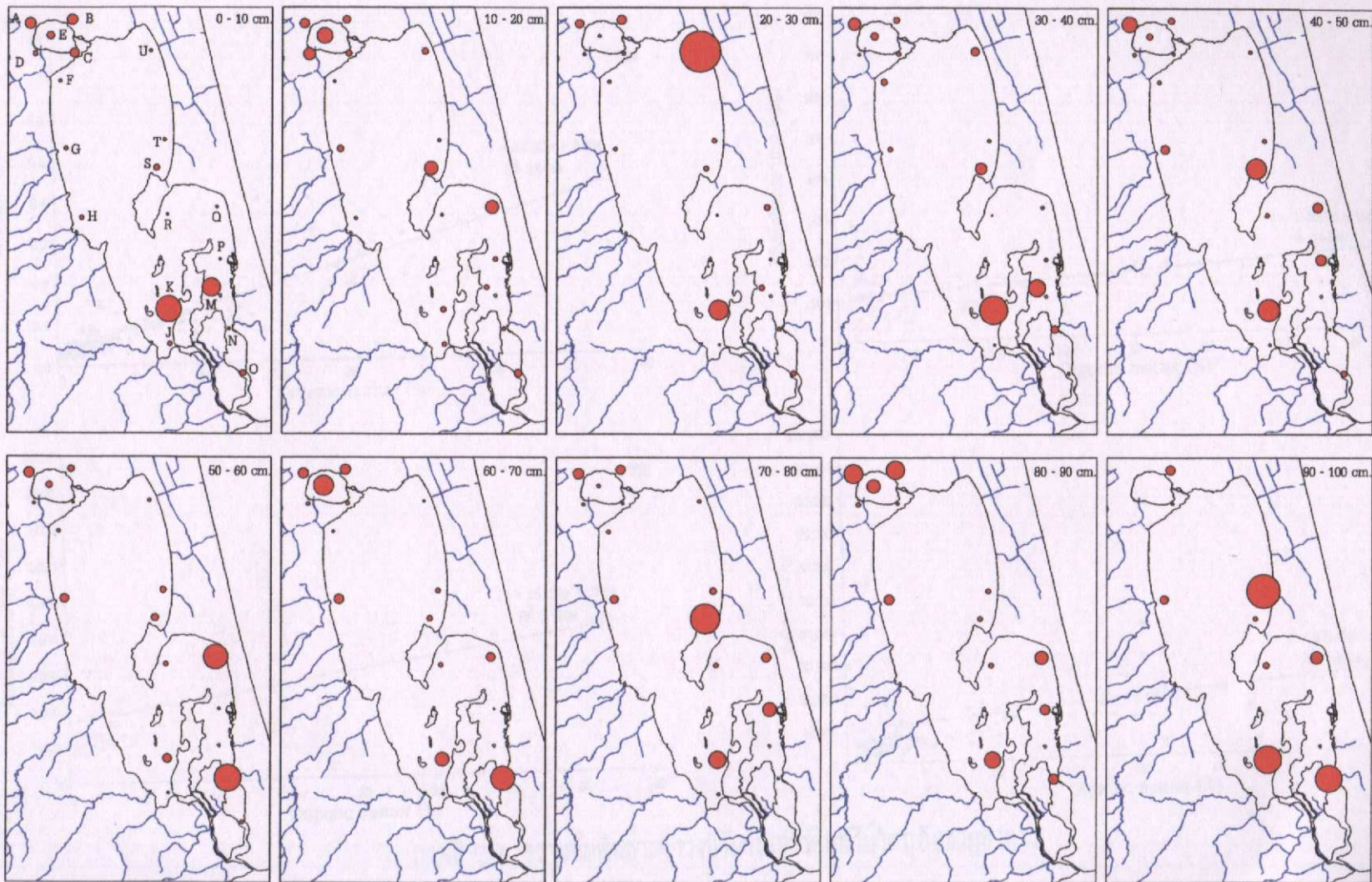
ภาพที่ 2.7 ลักษณะการกระจายของโพลัสเซียมในตะกอนดินบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณโพลัสเซียม



## การกระจายของกำมะถัน

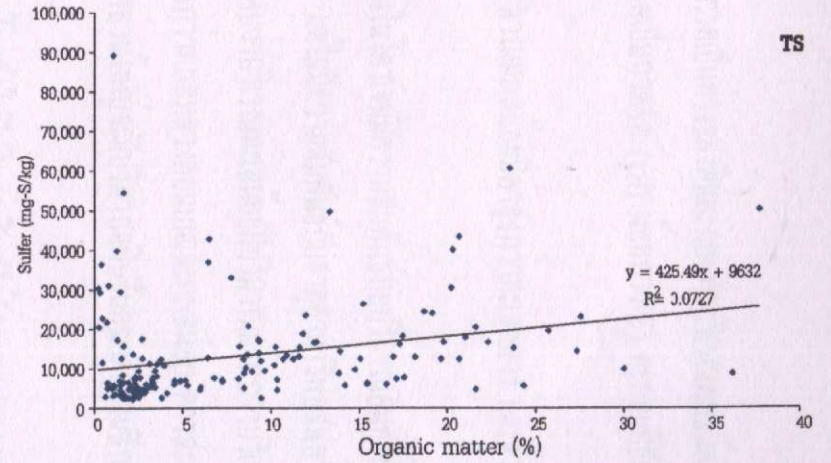
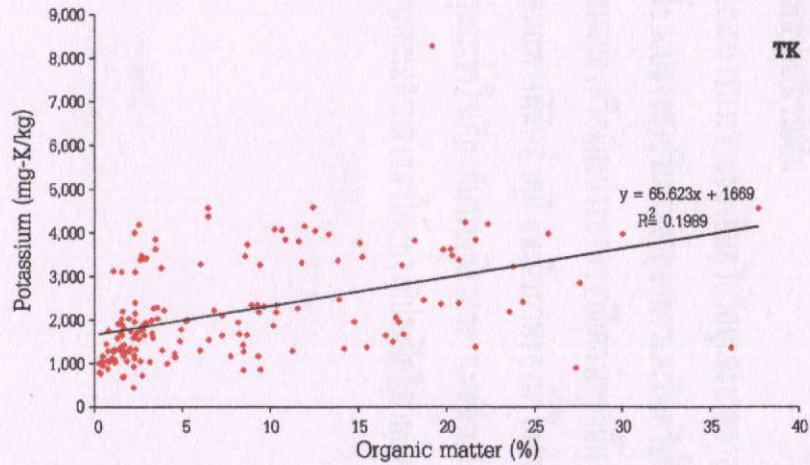
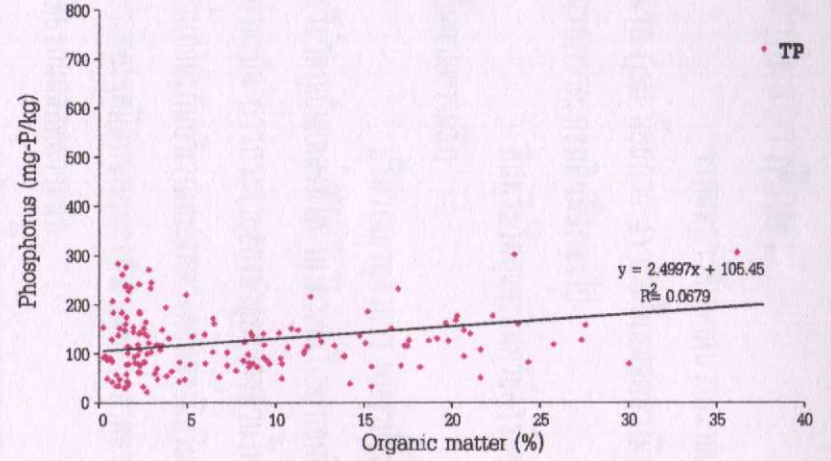
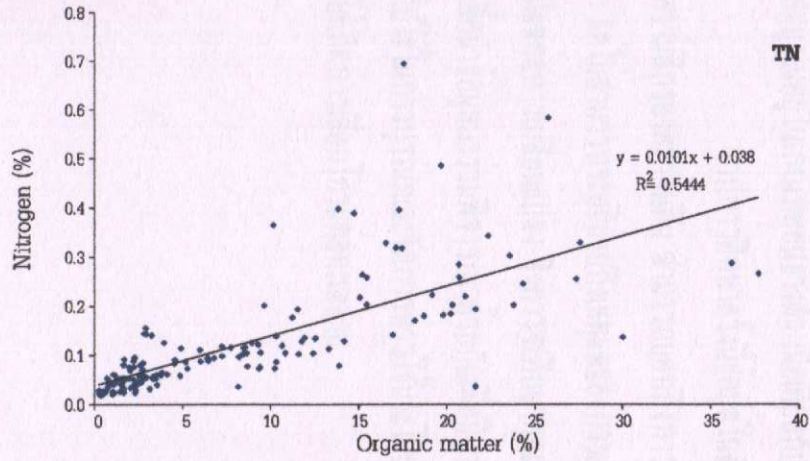
จากการศึกษาในทะเลน้อยและทะเลหลวงพบว่า ปริมาณกำมะถันมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง กว้าง 2,354 - 89,187 mg-S/kg และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12,996 mg-S/kg และพบว่าไม่มีแนวโน้มของความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (รูป 2.9) ยกเว้นจุด A และ T ปริมาณกำมะถันมีความสัมพันธ์สำหรับอินทรีย์วัตถุ ในทางบวกนั่นคือปริมาณกำมะถันสูงขึ้นในชั้นที่มีอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่มาก จากการศึกษาของวิเชียร จากพจน์ และคณะ (2537) พบว่าปริมาณกำมะถันในตะกอนเปลี่ยนแปลงตามปัจจัย 2 อย่างคือ ปริมาณอินทรีย์และความเค็มของน้ำ ตะกอนที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมีแนวโน้มที่จะมีกำมะถันมากด้วย และพบว่าบางบริเวณปริมาณของกำมะถันมากขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำในบริเวณนั้นสูงขึ้น จากการศึกษาครั้งนี้ก็พบว่าทะเลหลวงตอนล่างมีปริมาณกำมะถันสูงกว่าตอนบน น่าจะเป็นสาเหตุเนื่องจากอิทธิพลของน้ำทะเล เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของวิเชียร จากพจน์ และคณะ (2537) บริเวณทะเลสาบตอนนอก มีค่าอยู่ระหว่าง 452 -5,018 mg-S/kg น้อยกว่าปริมาณกำมะถันในทะเลน้อยและทะเลหลวงจากผลการศึกษาในครั้งนี้



ภาพที่ 2.8 ลักษณะการกระจายของกัมมันต์ในตะกอนดินบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่างๆ

● : ปริมาณกัมมันต์





ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์วัตถุกับธาตุอาหาร



## สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินตะกอนทั่วบริเวณทะเลน้อยมีสภาพเป็นการจัดมาก (pH น้อยกว่า 4) และในทะเลหลวงมีสภาพเป็นการจัด (pH น้อยกว่า 5) ตะกอนที่ขึ้นบนมีสภาพเป็นการจัดมากกว่าตะกอนดินที่ลึกลงไป

อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนบริเวณทะเลน้อยมีค่าสูงกว่าทะเลหลวง และส่วนใหญ่พบว่าเพิ่มขึ้นตามความลึก

ปริมาณธาตุอาหาร พบว่าปริมาณไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ แสดงว่าอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งที่ให้ ไนโตรเจนในตะกอนดิน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และกำมะถัน การกระจายของธาตุอาหารส่วนใหญ่พบว่าบริเวณทะเลน้อยมีปริมาณมากกว่าบริเวณทะเลหลวง ยกเว้นกำมะถันบริเวณทะเลหลวงตอนล่างมีปริมาณกว่าทะเลหลวงตอนบนและทะเลน้อย การสัมพันธ์กับความลึกพบว่าแต่ละจุดมีลักษณะต่างกัน แต่พบว่าธาตุอาหารส่วนใหญ่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดความลึก แต่บางจุดมีค่าใกล้เคียงกันตลอดความลึก

ตะกอนในทะเลน้อยและทะเลหลวง โดยทั่วไปมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารสูงกว่าการศึกษาในอดีตนั้นแสดงถึงแนวโน้มเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในทะเลสาบสงขลา นั้น โดยทั่วไปพบว่าอุดมสมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับทะเลสาบบริเวณอื่น

จากการศึกษาครั้งนี้ข้อมูลในลักษณะการกระจายของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารตามตำแหน่งและความลึกของตะกอนดิน สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุในบริเวณต่างๆ แต่ไม่สามารถจะอธิบายถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงหรือผันแปรของพารามิเตอร์เหล่านั้น ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง จึงควรจะศึกษาคุณลักษณะทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของน้ำในช่วงระยะเวลาเดียวกัน เพื่อนำข้อมูลมาวบรวมพิจารณาดูด้วยกันเพื่อมีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับระบบนิเวศของทะเลสาบสงขลาเพิ่มขึ้น และนำไปใช้ในการบูรณะและจัดการการใช้ประโยชน์จากทะเลสาบสงขลาได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง โดยไม่ทำให้เกิดการเสื่อมโทรมต่อทะเลสาบ

## เอกสารอ้างอิง

- จงจิตร นีรนาทเมธิกุล. 2536. สิ่งแวดล้อมของทะเลสาบสงขลา. การสัมมนาเรื่องการพัฒนาการขนส่งทางน้ำและป้องกันการขจัดน้ำเสียในเขตจังหวัดสงขลา จังหวัดสงขลา
- นรงค์ ณ เชียงใหม่. 2522. รายงานผลการวิจัยโครงการทะเลสาบสงขลา. 2521-2522 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ปียรรัตน์ อุทรสวัสดิ์. 2531. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของตะกอนดินในบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลสาบ (คุชูด) จ.สงขลา. รายงานนิพนธ์โครงการงานทางชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 51 หน้า
- เพาพรรณ แสงสกุล. 2528. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนของทะเลสาบสงขลา เอกสารวิชาการ 2/2528 กรมประมง 6 หน้า
- วิเชียร จากุภจน์ และคณะ. 2537 "ตะกอนดิน" รายงานการวิจัยผลวัดของระบบนิเวศในทะเลสาบสงขลาตอนนอกประเทศไทยทางใต้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หน้า 136-153
- สมศักดิ์ มณีพงศ์ 2537 การวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติและวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สิริ ทุกชีวนาค และโกษชัย แซ่จู้. 2529 การศึกษาปริมาณสารแขวนลอยในทะเลสาบสงขลา เอกสารวิชาการ 3/2529 กรมประมง 22 หน้า
- สุชาติ วิเชียรสวรรค์ และโสภณ จันทร์ตัน. 2526 การศึกษาภาวะความอุดมสมบูรณ์ของดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก. รายงานการวิจัย กรมประมง, 162-173
- Angsupanich, S and Aruga, Y. 1994. Ecosystem Dynamics of the Outer Songkhla Lake, Southern Thailand. NODAI Center for International Programs, Tokyo University of Agriculture
- Balzer, W. 1984. Organic Matter Degradation and Biogenic Element Cycling in Nearshore Sediment (Kiel Bight). *Limnol. Oceanogr.* 29(6) : 1231-1246.
- Blackburn, T. H. and Henriksen, K., 1983. Nitrogen Cycling Types of Sediment from Danish Water, *Limnol. Oceanogr.* 28(3) : 477-493



- Entsch, S. et. al. 1983. Phosphorus and Nitrogen in Coral Reef Sediments. *Limnol. Oceanogr.* 28 (3) : 465-476
- John Taylor and Sons. 1985. Songkhla Lan Basin Planning Study-Vol 2. National Economic and Social Development Board Bangkok.
- Limpadanai, D. 1977. Report on Ecological Impact Lake Songkhla Project Publication No.1, Prince of Songkha University
- Mc Lean, E.O. 1982. Soil pH and Lime Requirement In Methods of Soil Analysis. Part 2 A.L. Page (ed.) Soil Science Society of America, Wisconsin, USA p. 199-209
- Nelson, D.W., and Sommers, L. E. 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In Method of Soil Analysis. Part 2 A. L. Page (ed.) Soil Science Society of America, Wisconsin, USA p. 539-572
- Ostrofsky, M. L. 1987. Phosphorus Species in the Surficial Sediments of Lakes of eastern North America. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 : 960-966
- Petr, T. 1977. Bioturbation and Exchange of Chemical in The mud-water interface in Colterman. Interaction between Sediments and Fresh water. Proceeding of an International Symposium hold at Amsterdam, Netherland September 6-10, 1976 p. 216-226
- Sharp, D. 1978. Oceanography Chemical process. Stewart, J. and Sharp, D. eds . Open University, Keynes Great Britain p. 18

# ลักษณะการกระจายของไลเททหนักในตะกอน

การปนเปื้อนของไลเททหนักเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของแหล่งน้ำหลายแห่งทั่วโลก กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนมีหลายอย่าง เช่น การทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรม และการทิ้งของเสียจากอาคารบ้านเรือนลงสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น (Imura, 1991; Bryan and Langston, 1992) การทำเหมืองแร่ดีบุกที่ อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูอย่างรุนแรงในบริเวณใกล้เคียง จนเป็นเหตุให้ประชาชนป่วยเป็นโรคมะเร็งผิวหนังเป็นจำนวนมากเหตุการณ์ทำนองเดียวกันนี้เคยเกิดขึ้นในจังหวัดมิยาซากิ ประเทศญี่ปุ่น และเป็นเหตุให้ประชาชนล้มป่วยและเสียชีวิตเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน (Imura, 1991) การทำเหมืองแร่ที่จังหวัดโทยาม่า ประเทศญี่ปุ่น เป็นเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมในบริเวณลุ่มน้ำ ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นป่วยเป็นโรค"อิตอิไต"เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผู้หญิงจะมีโอกาสเกิดโรคนี้ได้ง่ายกว่าผู้ชาย (Imura, 1991) ชื่อ "อิตอิไต" เป็นอาการของโรคพิษจากสารแคดเมียมในภาษาญี่ปุ่น แต่ปัจจุบันกลายเป็นชื่อเรียกโรคนี้ในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีการทำเหมืองแร่หลายชนิด ได้แก่ ดีบุก วุลแฟรม ฟอสเฟต แบไรต์ ซีไรต์ และตะกั่ว เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการปนเปื้อนของไลเททหนักในทะเลสาบสงขลา การปล่อยน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรมลงสู่ทะเลสาบ Venice ติดต่อกันเป็นเวลาหลายสิบปีในประเทศอิตาลี พบว่าเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของปรอท แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี (Donazzolo et al. 1984) การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานหลอมทองแดงลงสู่แม่น้ำ Erhjin Chi ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไต้หวัน เป็นเหตุให้การเพาะเลี้ยงหอยนางรมได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง (Han and Hung 1990) French (1993) พบว่าการปฏิบัติอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษส่งผลให้ความเข้มข้นของ ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ในตะกอนจากชะวากทะเล Severn สูงขึ้น การใช้สัฟลม์ดีบุกทาเรือและสิ่งก่อสร้างในทะเลเพื่อป้องกันเพรียงพบว่าได้สร้างความเสียหายให้กับการเพาะเลี้ยงหอยนางรมที่ Baic d'Arcachon ประเทศฝรั่งเศส (Goldberg 1992) ซึ่งต่อมาพบว่าสาเหตุที่แท้จริงเกิดจากสารประกอบ tributyltin (TBT) Saeki et al. (1993) พบว่าของเสียจากชุมชนเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนจากทะเลสาบ Teganuma ในญี่ปุ่น สูงกว่าระดับปกติ

การปนเปื้อนของไลเททในตะกอนจากทะเลสาบสงขลามีการศึกษาติดตามมาแล้วหลายครั้ง เมื่อปี พ.ศ. 2521-2522 (2522) ได้นำตะกอนหน้าดินจากทะเลสาบ 29 จุด และทะเลสาบตอนนอก 11 จุดมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม พบว่าความเข้มข้นของไลเททเหล่านี้อยู่ในระดับ



ปกติ ยกเว้นทองแดง และแคดเมียม ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าระดับปกติประมาณ 6 และ 10 เท่า ตามลำดับ เมื่อปี พ.ศ. 2536 Maneepong (1996) Maneepong and Aungsupanich (1998) ได้นำตะกอนจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ทั้งที่เก็บโดยวิธี coring (เก็บตามความลึก) และ grab (เก็บตะกอนผิวดิน) มาวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว นิกเกิล โคบอลต์ สังกะสี และแคดเมียม แต่ไม่พบความเข้มข้นที่สูงกว่าระดับปกติเหมือนที่ เณรงค์ (2522) รายงานไว้

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงตามความลึกของตะกอน เพื่อให้ได้ข้อมูลของทะเลสาบสงขลาที่สมบูรณ์และต่อเนื่องจากงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยเคยทำการศึกษาไว้เมื่อปี พ.ศ. 2536 (Maneepong 1996; Maneepong and Matoumoto, 1994) นอกจากนี้ถึงแม้จะมีการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเลสาบมาแล้วหลายครั้งในอดีต แต่ไม่ปรากฏรายงานการศึกษาลักษณะการกระจายของโลหะหนักตามความลึก และไม่ปรากฏรายงานการศึกษาในกรณีของตะกอนจากทะเลน้อย

## อุปกรณ์และวิธีการ

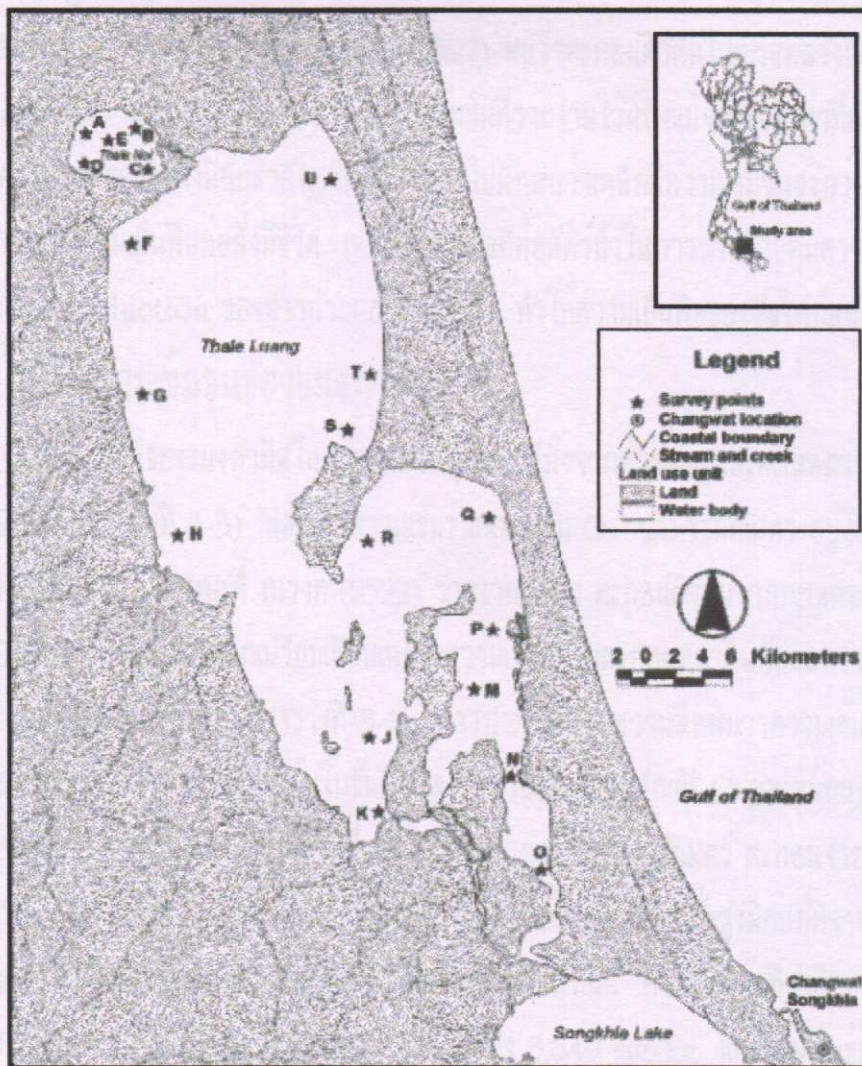
### 1. วิธีเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอนที่ใช้ในการศึกษานี้เก็บจากทะเลน้อย 5 สถานี และทะเลหลวง 14 สถานี (รูปที่ 3-1) ในระหว่างเดือนเมษายน - พฤษภาคม พ.ศ. 2541 ตะกอนทุกสถานีเก็บโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างแบบท่อซึ่งทำด้วยโลหะไร้สนิม (stainless-steel core) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร ตะกอนที่เก็บได้นำมาตัดเป็นท่อน ท่อนละ 10 เซนติเมตร เพื่อจำแนกตะกอนตามความลึก ในแต่ละสถานีได้ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง นำตัวอย่างที่เก็บได้จากความลึกเดียวกันมารวมกันเพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม (composite sample) ตัวอย่างถูกลบทันทีเมื่อนำมาถึงห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 75 °C จนตัวอย่างแห้งสนิท โดยใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ จากนั้นตัดตัวอย่างด้วยครกเซรามิกแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างในขวดพลาสติกเพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

### 2. วิเคราะห์ทางเคมี

ซึ่งตัวอย่าง 5.0 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร (ขวดรูปชมพู่ที่นำมาใช้เป็นขวดใหม่ไม่มีรอยขีดข่วน ผ่านการแช่ในกรด HNO<sub>3</sub> เจือจางอย่างน้อย 1 คืน ล้างด้วยน้ำกลั่นและอบแห้งแล้ว) เติมกรดผสม HNO<sub>3</sub> : HClO<sub>4</sub> (1:1) ลงไป 10 มิลลิลิตร ขอบบนเตาแผ่นความร้อน (hot plate) จนเกิดควันสีขาวเต็ม

ขาด ตัวอย่างที่มีอินทรีย์วัตถุมากได้เติมกรด  $\text{HNO}_3$  เพิ่มจนกระทั่งการย่อยสมบูรณ์ กรองสารที่ย่อยได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น และเก็บสารละลายใส่ที่ใดในขวดโพลีเอทิลีน วิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิเกิล ตะกั่ว โคโรเนียม และแคดเมียม ในสารละลายด้วยวิธี Flame atomic absorption spectrophotometry (Flame-AAS) โดยใช้สารละลายมาตรฐานสำเร็จรูปจากบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน และใช้ตัวอย่างอ้างอิงที่ได้จัดทำขึ้นเองภายในห้องปฏิบัติการเพื่อการสอบเทียบผลการวิเคราะห์



รูปที่ 3-1 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บตัวอย่างในทะเลน้อยและทะเลหลวง



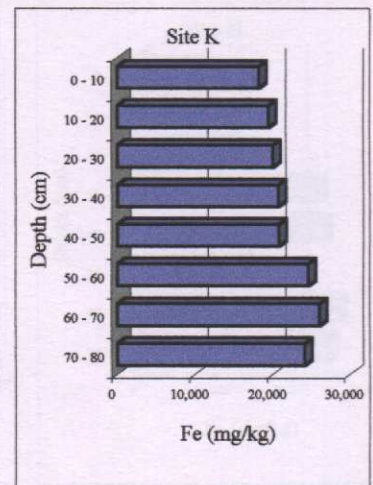
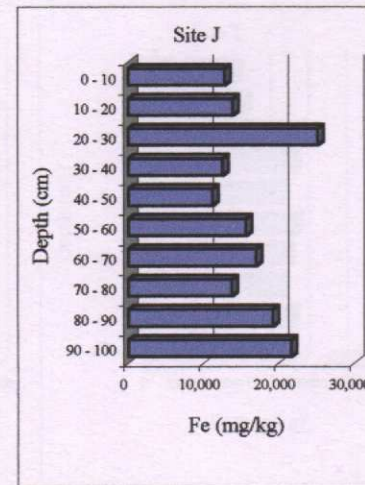
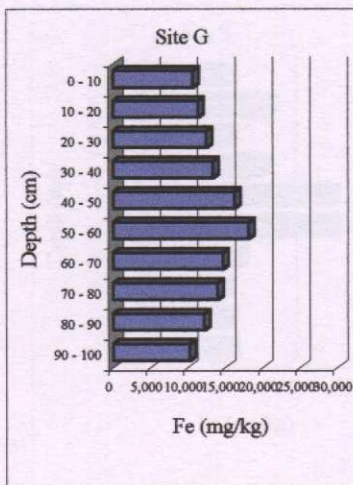
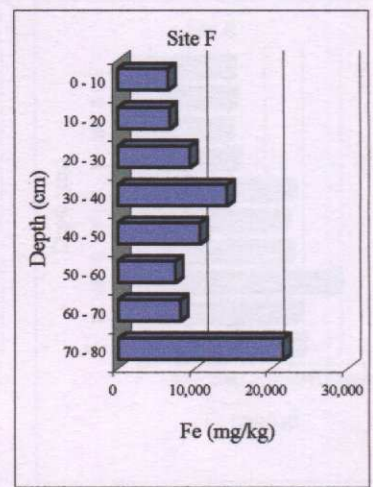
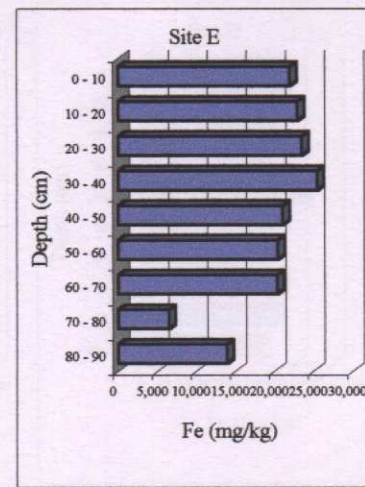
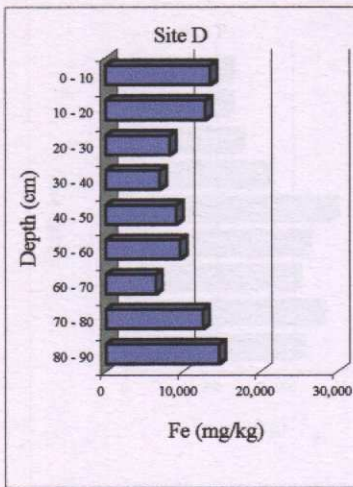
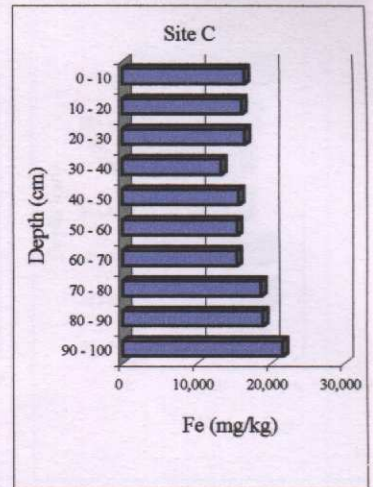
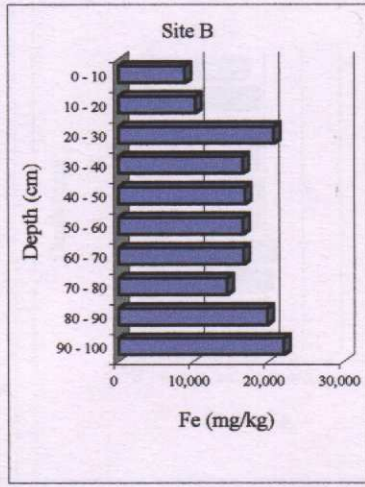
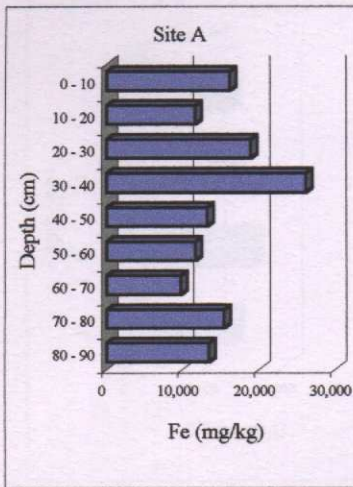
# ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

## 1. ความเข้มข้นของเหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนจากทุกสถานีทั้งจากทะเลน้อยและทะเลหลวงพบว่า อยู่ในช่วง 16,362 - 26,472 mg/kg (รูปที่ 3-2) โดยมีค่ากลาง 6,486 mg/kg การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกไม่พบลักษณะเฉพาะที่แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของเหล็กเกิดขึ้นที่ความลึกใดความลึกหนึ่ง ทั้งตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวง ตะกอนจากทะเลหลวงฝั่งตะวันออก (สถานี D R T และ U) พบว่าเหล็กมีความเข้มข้นประมาณ 10,000 mg/kg ที่ความลึกระหว่าง 0 - 30 เซนติเมตร แต่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อความลึกมากกว่า 40 เซนติเมตร จากการศึกษาของ ณรงค์ (2522) พบว่าตะกอนลิวตินในทะเลหลวงมีความเข้มข้นของเหล็กอยู่ในช่วง 16,000 - 48,570 mg/kg ช่วงความเข้มข้นที่รายงานไว้นี้ถึงแม้จะสูงกว่าค่าที่พบในการศึกษานี้แต่ไม่อาจถือว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้โดยทั่วไปมักพบว่าเหล็กมีความเข้มข้นสูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่น แต่ไม่ปรากฏรายงานความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เหล็กกลับมีผลดีต่อสัตว์น้ำในการช่วยควบคุมความเข้มข้นของซิลิโคไฟต์ที่เกิดจากปฏิกิริยา reduction ของสารประกอบกำมะถัน ทำให้ความเป็นพิษของซิลิโคไฟต์ลดลง

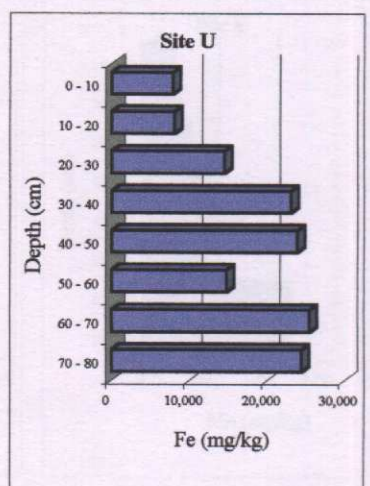
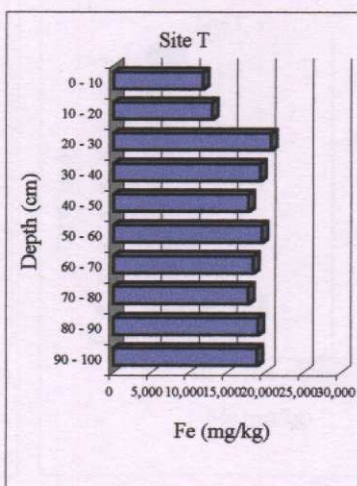
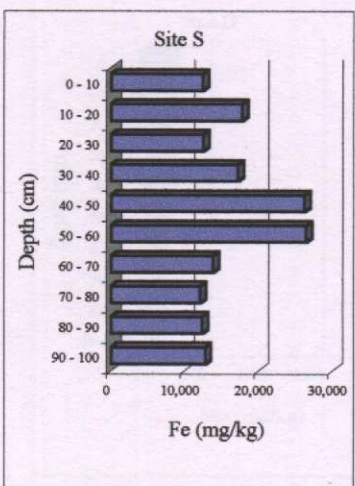
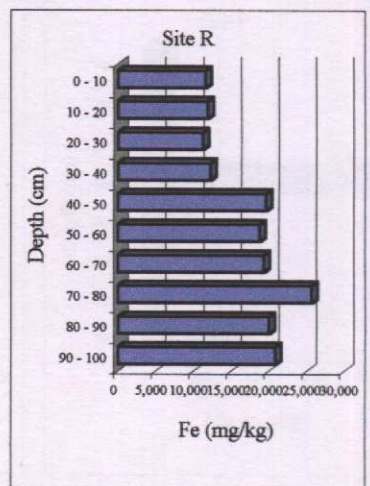
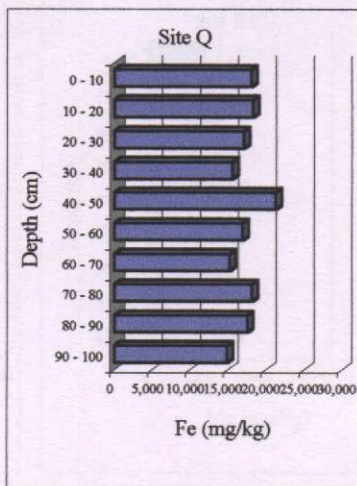
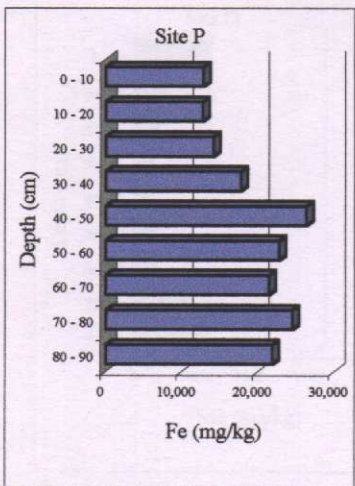
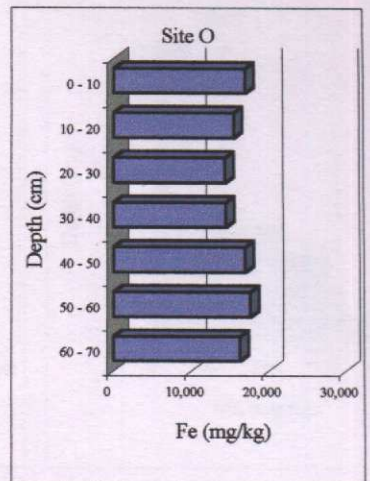
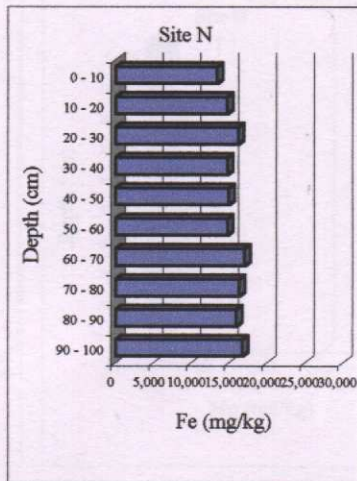
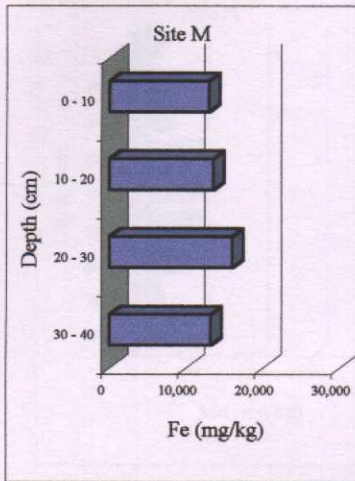
## 2. ความเข้มข้นของแมงกานีส

ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนจากทุกสถานีทั้งจากทะเลน้อยและทะเลหลวงพบว่า อยู่ในช่วง 32 - 3,849 mg/kg (รูปที่ 3-3) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะชั้น 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 32 - 545 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ในขณะที่ ณรงค์ (2522) รายงานพบว่า ตะกอนลิวตินจากทะเลหลวงมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 200 - 454 mg/mg หากเปรียบเทียบเฉพาะความเข้มข้นในตะกอนหน้าดินกับผลการศึกษารั้งนี้ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3-1) การกระจายตามความลึกพบว่าความเข้มข้นในตะกอนลิวติน (0 - 20 เซนติเมตร) ต่ำกว่าความเข้มข้นในชั้นที่ลึกลงไป ตะกอนจากสถานี C (ทะเลน้อย) พบว่าความเข้มข้นของแมงกานีสค่อย ๆ สูงขึ้นตามความลึก เมื่อความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร ตะกอนจากสถานี F ที่ความลึก 30 - 40 เซนติเมตร พบว่าแมงกานีสมีความเข้มข้นสูงถึง 2,403 mg/kg ซึ่งสูงผิดปกติจากความลึกที่อยู่ข้างเคียงมาก แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของแมงกานีสในตะกอนระดับนี้ ความเข้มข้นที่สูงผิดปกตินี้ยังพบว่าที่สถานี R ที่ความลึก 40 - 50 เซนติเมตร พบว่าความเข้มข้นสูงถึง 3,849 mg/kg แต่ความเข้มข้นจะลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อความลึกมากกว่านี้ แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นที่สถานีนี้ในอดีต ถึงแม้ความเข้มข้นของแมงกานีสจะสูงรองจากเหล็ก และสูงกว่าโลหะอื่นในการศึกษานี้ แต่ก็ไม่ปรากฏรายงานความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต



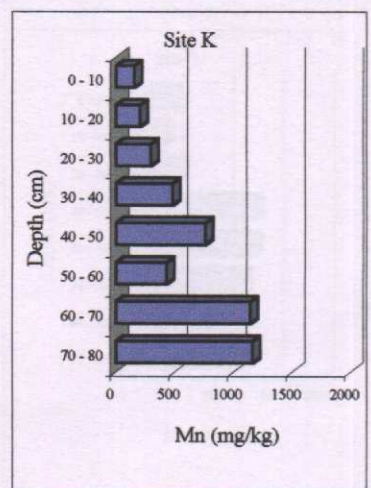
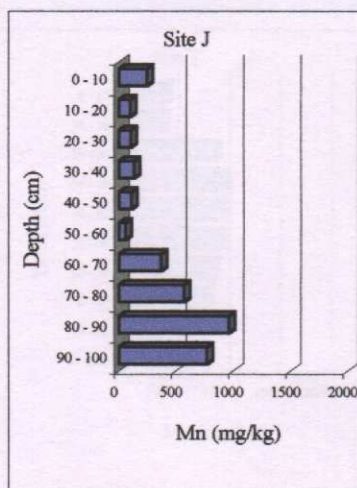
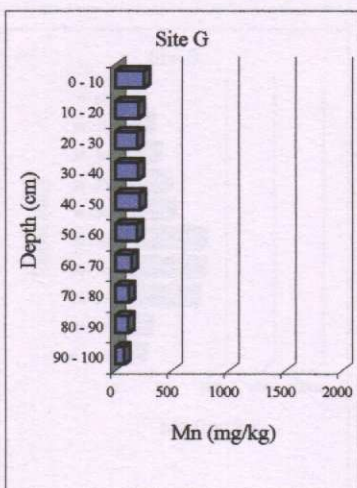
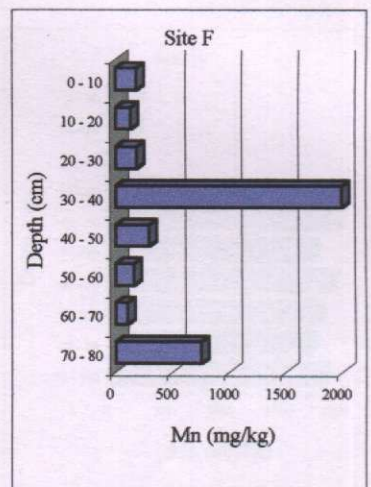
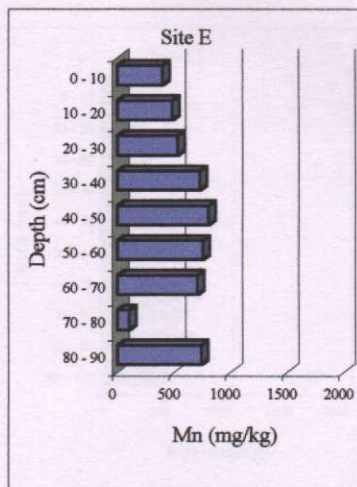
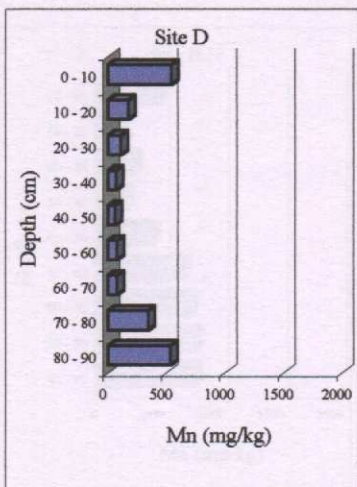
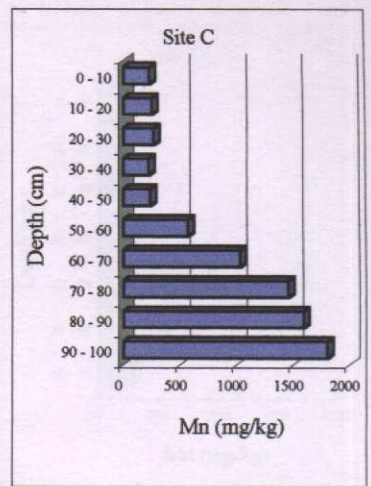
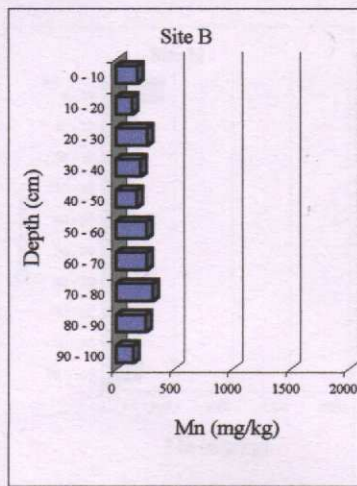
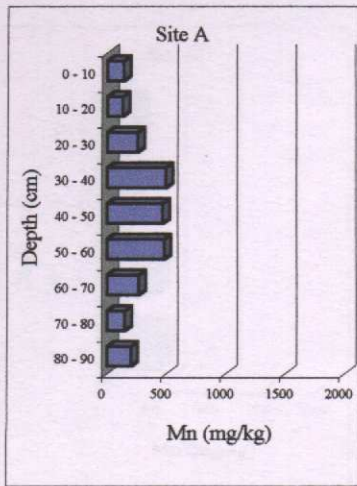
รูปที่ 3-2 ความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





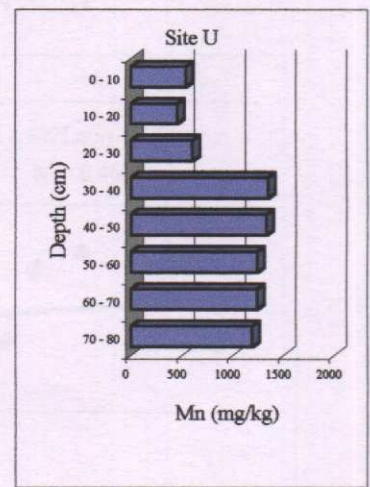
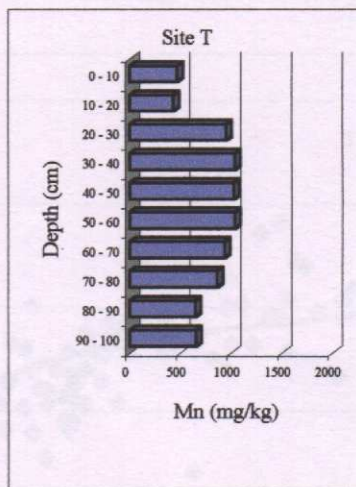
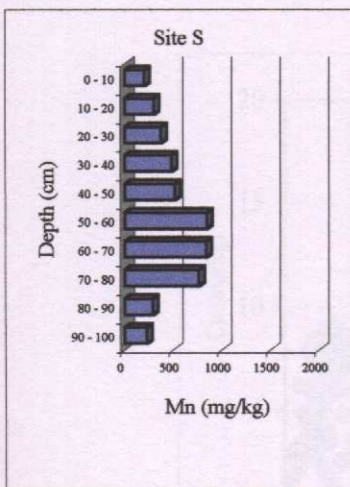
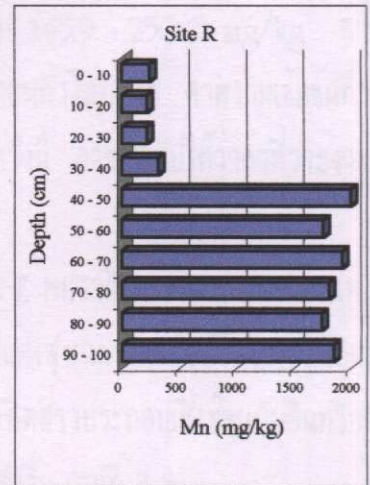
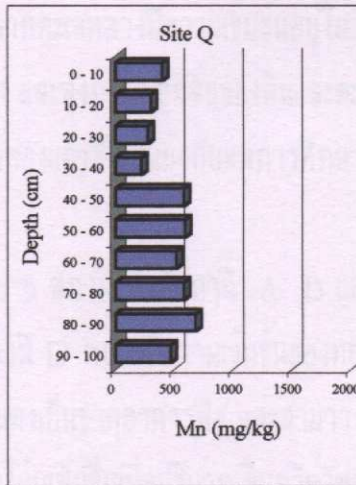
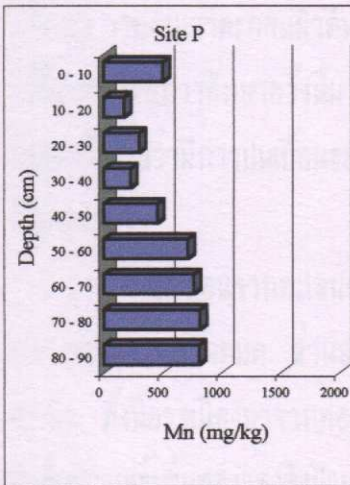
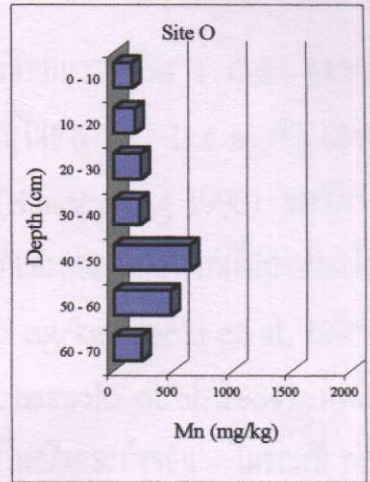
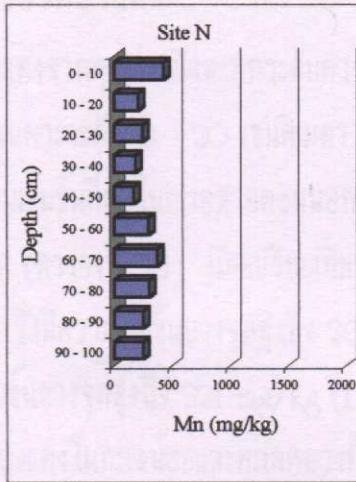
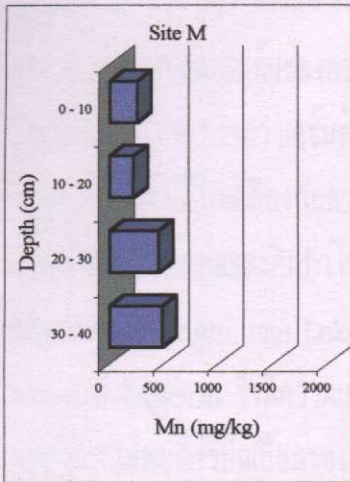
รูปที่ 3-2 (ต่อ)





รูปที่ 3-3 ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





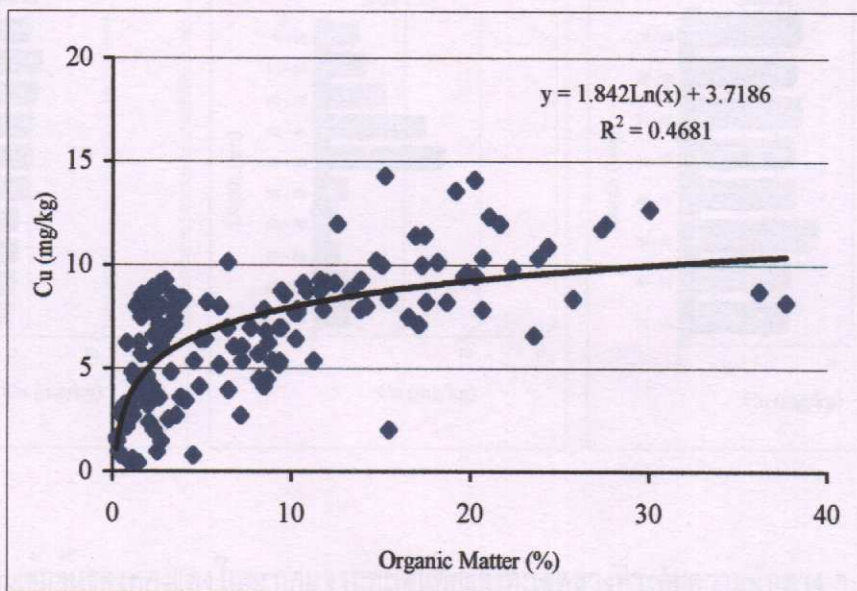
รูปที่ 3-3 (ต่อ)



### 3. ความเข้มข้นของทองแดง

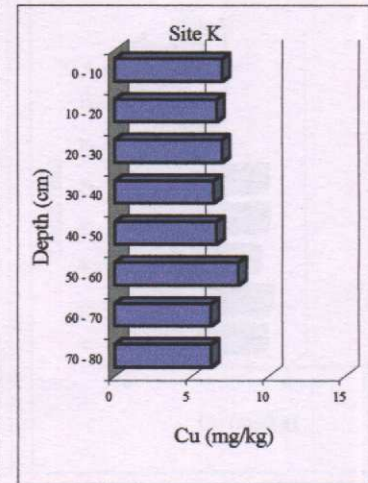
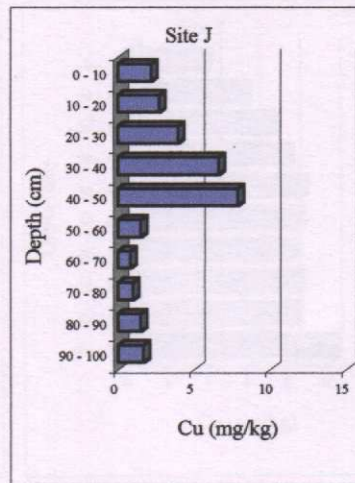
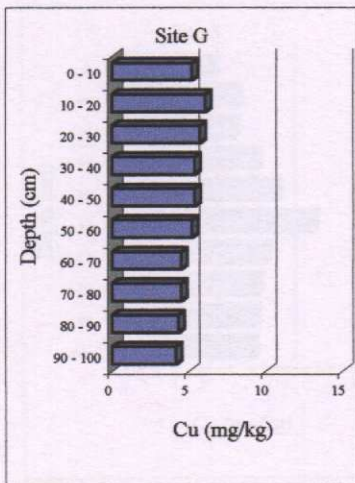
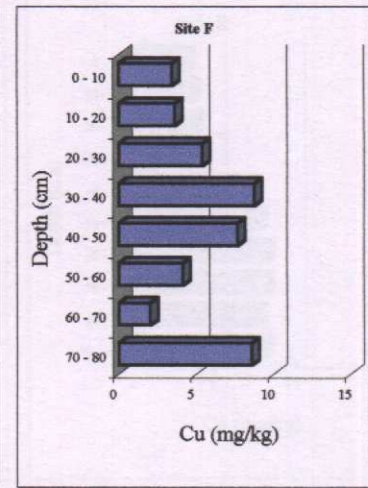
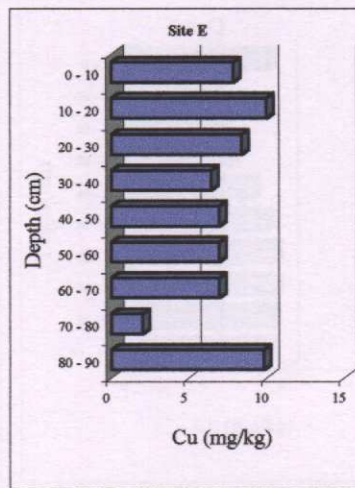
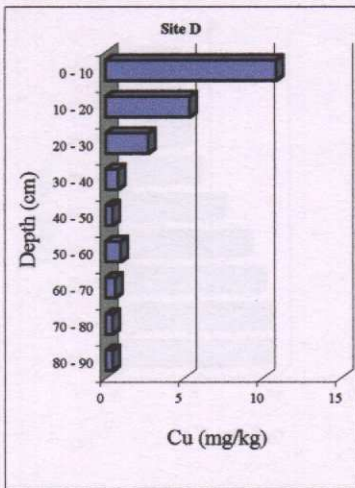
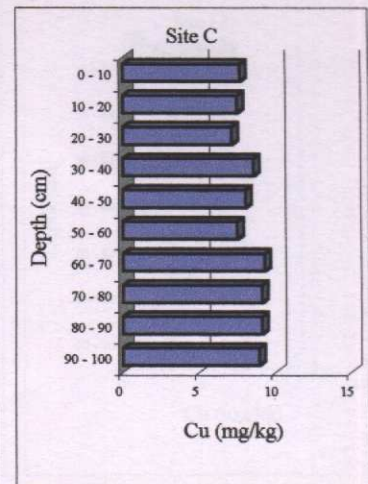
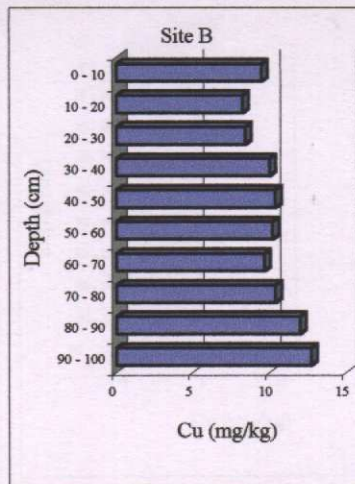
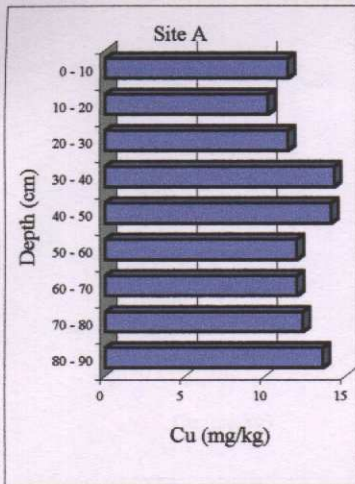
ความเข้มข้นของทองแดงจากทุกสถานีและทุกระดับความลึกพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.4 - 14.3 mg/kg (รูปที่ 3-4) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 2.2 - 11.4 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ช่วงความเข้มข้นนี้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่พบในทะเลสาบตอนนอก (Mancepong 1996) และมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของตะกอนและดินทั่วโลก (ตารางที่ 3-1) เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนของทองแดง เช่น Teganuma Lake ซึ่งมีความเข้มข้นบางจุดสูงถึง 203 mg/kg (Saeki et al, 1993) หรือ Venice Lagoon ซึ่งมีความเข้มข้นบางจุดสูงถึง 221 mg/kg (Donazzolo et al, 1984) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าไม่พบการปนเปื้อนของทองแดงในทะเลน้อยและทะเลหลวงทั้งในอดีตและปัจจุบัน ในขณะที่ ณรงค์ (2522) รายงานว่าตะกอนผิวดินจากทะเลหลวงมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 145.9 - 250.0 mg/kg ค่าที่รายงานไว้สูงกว่าผลการศึกษาค้างนี้มาก และสูงกว่าค่าเฉลี่ยของดินและตะกอนทั่วโลกด้วย ค่าความเข้มข้นที่รายงานไว้นี้แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของทองแดงซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาค้างนี้ อาจเป็นไปได้ว่าค่าที่รายงานไว้เป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง

ตะกอนจากทะเลน้อย 3 สถานี คือที่สถานี A B และ E พบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงสูงกว่าค่ากลางของตะกอนทั้งหมด ส่วนสถานี D พบว่ามีความเข้มข้นของทองแดงสูงเฉพาะตะกอนในระดับที่มีอินทรีย์วัตถุสูงเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทองแดงเป็นธาตุอาหารพืช และสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุได้ดี ดังนั้นความเข้มข้นทองแดงจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงขึ้น (รูปที่ 3-5)



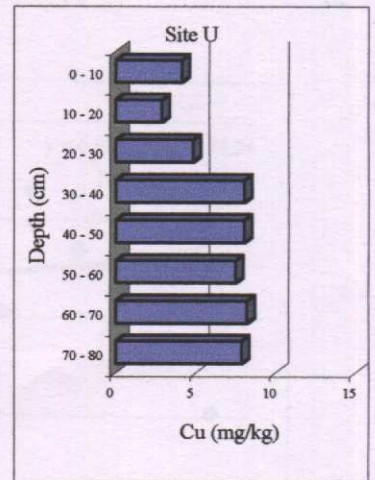
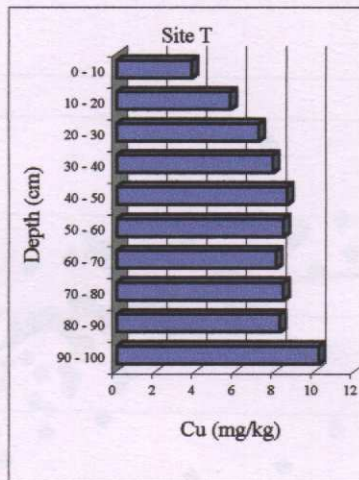
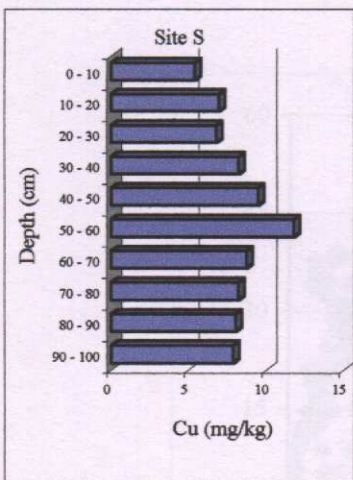
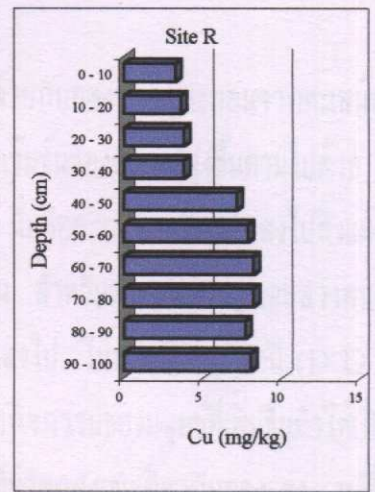
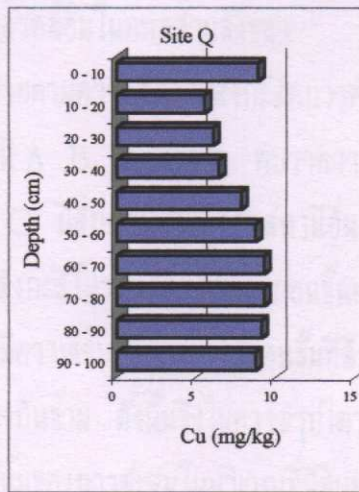
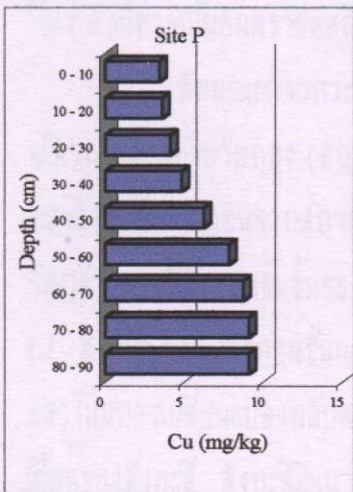
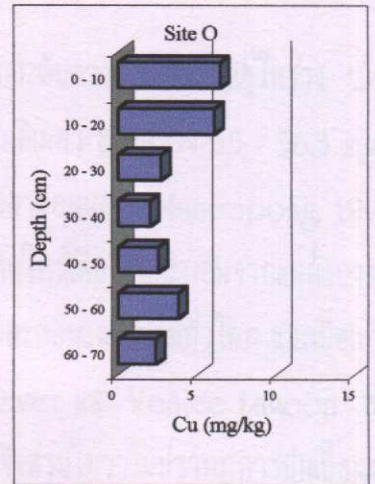
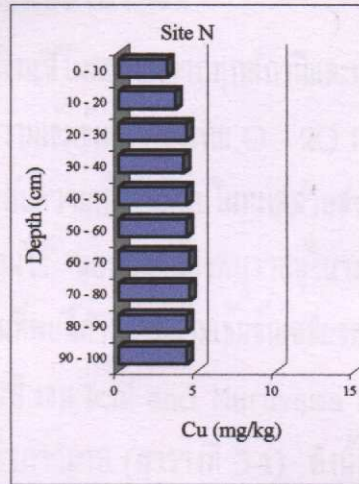
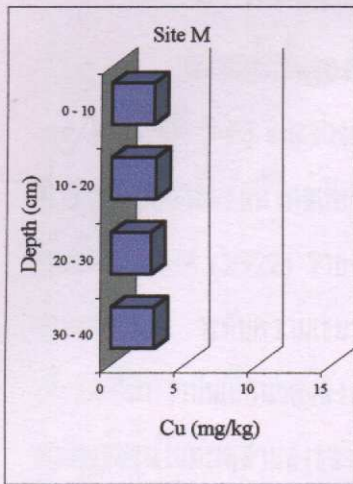
รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของทองแดงกับอินทรีย์วัตถุในตะกอนจากทุกสถานี





รูปที่ 3-4 ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





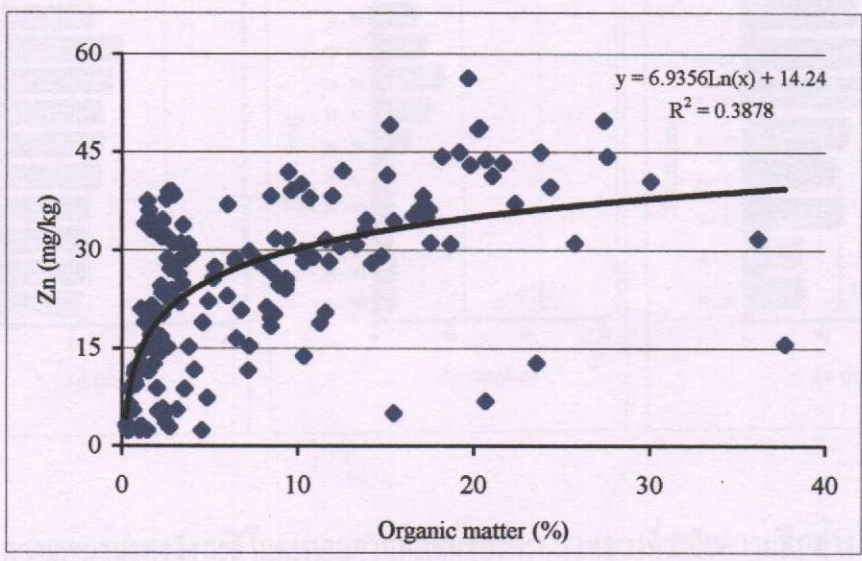
รูปที่ 3-4 (ต่อ)



#### 4. ความเข้มข้นของสังกะสี

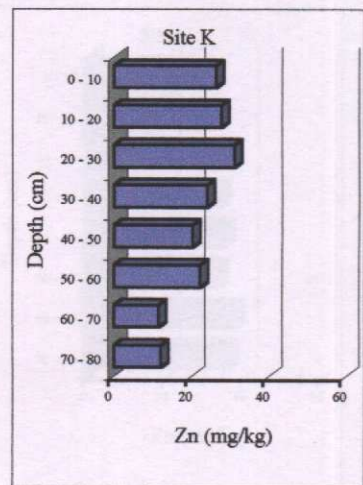
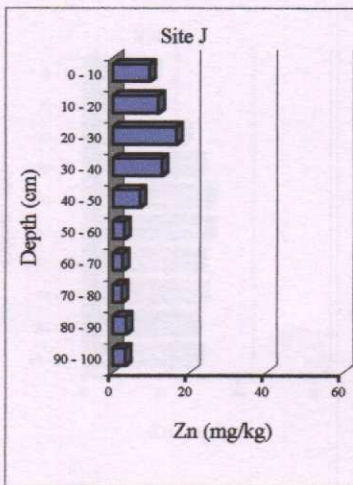
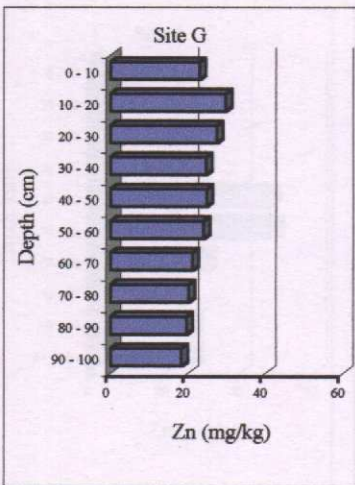
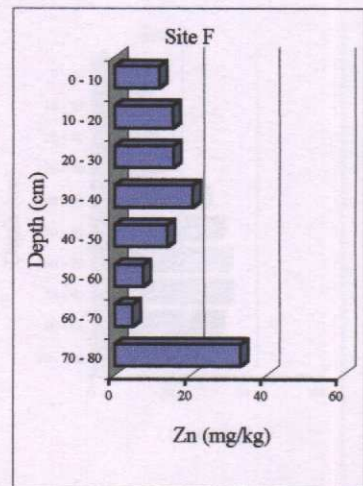
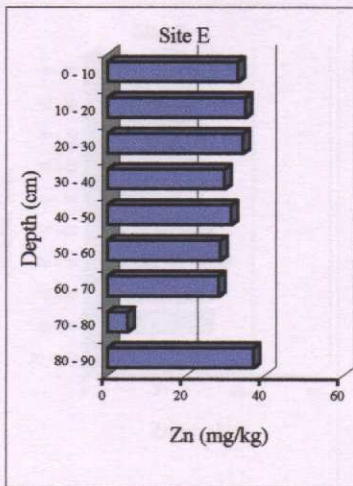
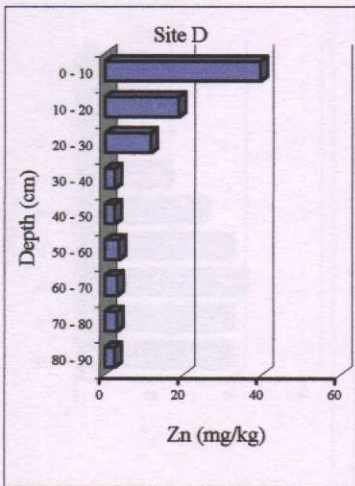
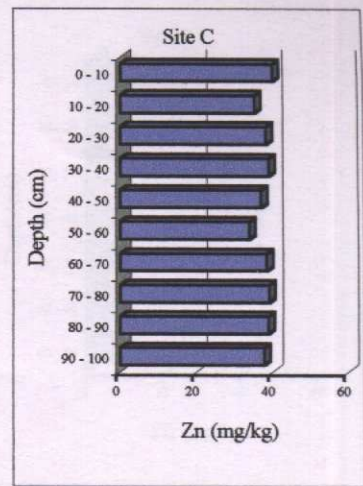
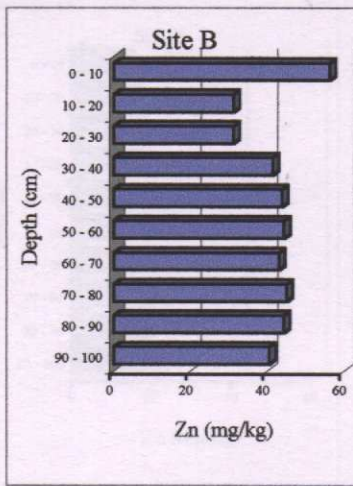
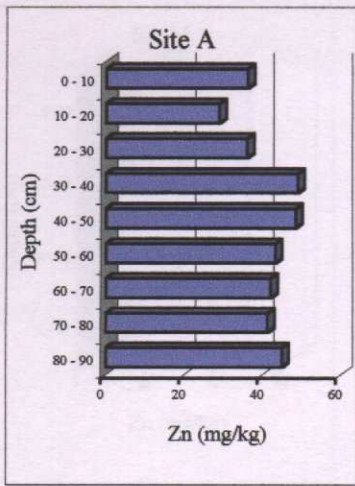
ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนจากทุกสถานีและทุกระดับความลึกพบว่าอยู่ในช่วง 2.4 - 56.3 mg/kg (รูปที่ 3-6) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 5.5 - 56.3 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ความเข้มข้นนี้ใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่พบในทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Maneepong, 1996) และความเข้มข้นที่ ณรงค์ (2522) รายงานไว้ นอกจากนี้ยังพบว่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกับตะกอนจากแม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำเจ้าพระยา ระดับความเข้มข้นที่พบนี้นต่ำกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกอนและโนดินทั่วโลก และเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสังกะสี เช่น Ichi and Maruyama River และ Venice Lagoon พบว่าระดับความเข้มข้นในทะเลสาบสงขลาต่ำกว่ามาก (ตารางที่ 3-1) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม่ปรากฏการปนเปื้อนของสังกะสีในระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในทะเลสาบสงขลา

ลักษณะการกระจายตามความลึกของสังกะสีพบว่าคล้ายกับทองแดง ตะกอนจากทะเลน้อยโดยเฉพาะบริเวณที่มีอินทรีย์วัตถุสูง (สถานี A B D และ E) พบว่าความเข้มข้นของสังกะสีสูงขึ้นตามไปด้วย การกระจายของสังกะสีในตะกอนจากสถานี C มีลักษณะพิเศษจากสถานีอื่น นั่นคือตะกอนในชั้นที่ลึกลงไปถึงแม้จะมีอินทรีย์วัตถุต่ำ แต่ก็มีความเข้มข้นของสังกะสีในระดับเดียวกับตะกอนชั้นบน สำหรับตะกอนจากทะเลหลวงพบว่าบางสถานี (J K และ O) ตะกอนชั้นบนมีความเข้มข้นสูงกว่าตะกอนชั้นที่ลึกลงไป ในขณะที่บางสถานี (P R T และ U) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกลับตรงกันข้าม ดังนั้นจึงไม่อาจสรุปได้ว่ากิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการปนเปื้อนของสังกะสี สังกะสีมีแนวโน้มของการสะสมในบริเวณที่มีอินทรีย์วัตถุสูงเช่นเดียวกับทองแดง (รูปที่ 3-7)



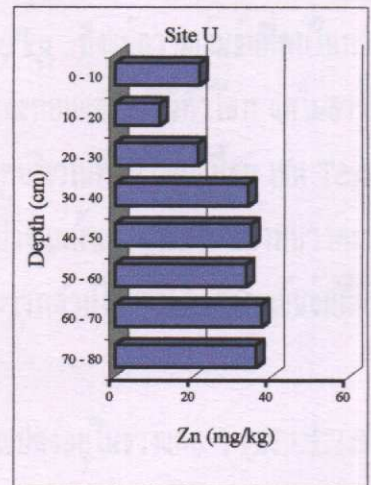
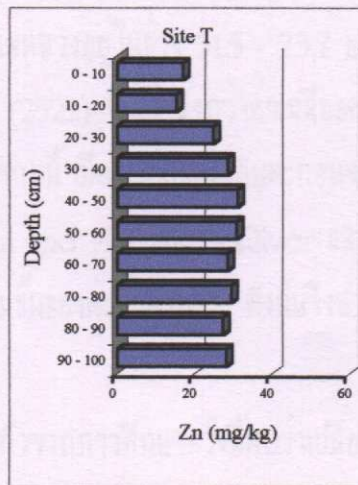
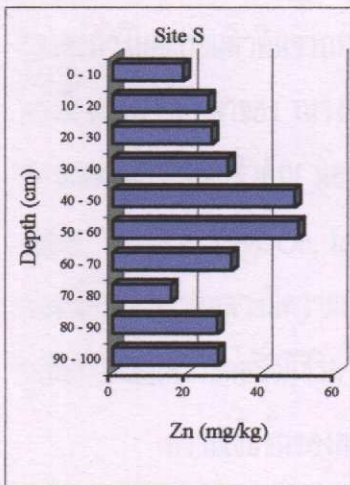
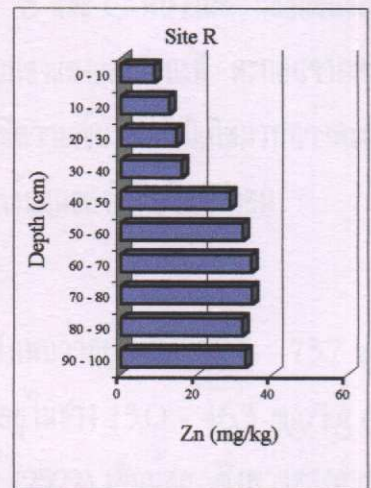
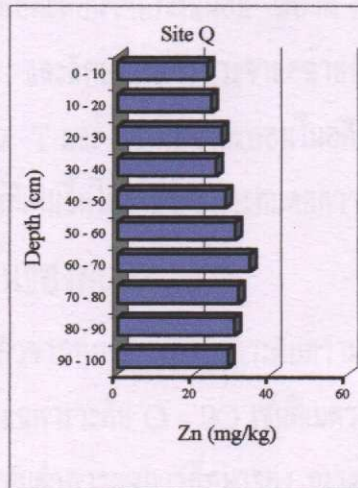
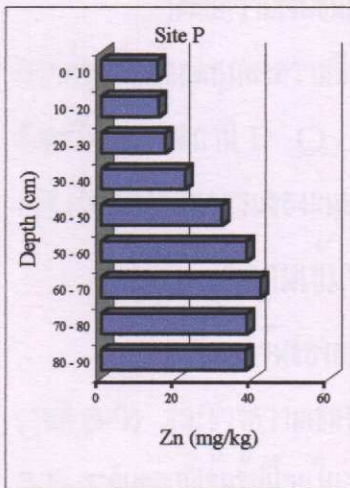
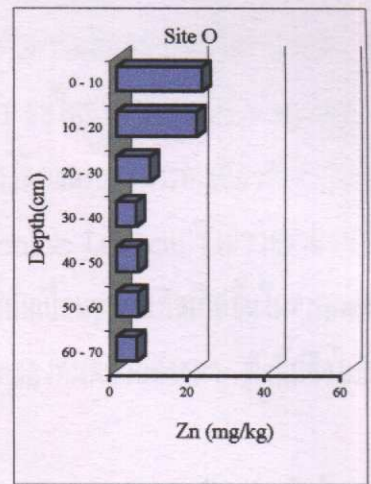
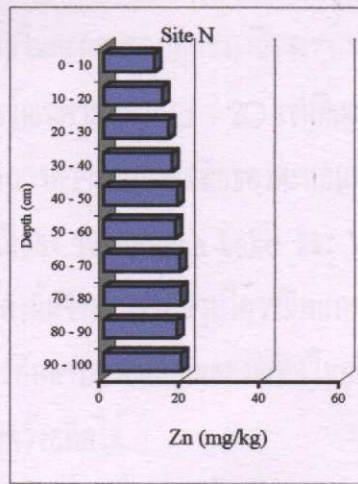
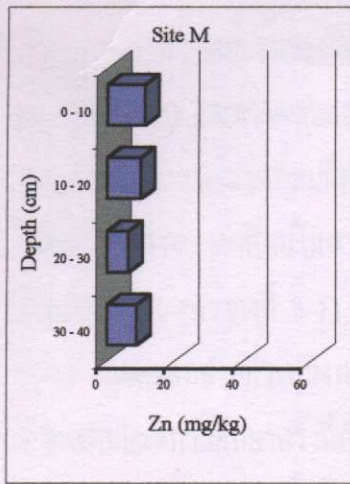
รูปที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีกับอินทรีย์วัตถุในตะกอนจากทุกสถานี





รูปที่ 3-6 ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





รูปที่ 3-6 (ต่อ)

## 5. ความเข้มข้นของนิเกิล

ความเข้มข้นของนิเกิลในตะกอนจากทุกสถานีและทุกระดับความลึกพบว่าอยู่ในช่วง 1.9 - 30.5 mg/kg (รูปที่ 3-8) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 2.9 - 27.3 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ระดับความเข้มข้นที่พบนี้ต่ำกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกอนทั่วโลกและอยู่ในระดับเดียวกับความเข้มข้นเฉลี่ยในดิน และต่ำกว่าค่าที่พบในการนิของ Teganuma Lake และ Venice Lagoon ซึ่งมีรายงานว่าเกิดการปนเปื้อนของนิเกิล (ตารางที่ 3-1) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ามีพบการปนเปื้อนของนิเกิลเกิดขึ้นในทะเลน้อยและทะเลหลวง ไม่พบเอกสารที่ระบุถึงการศึกษากการปนเปื้อนของนิเกิลในอดีตของทะเลสาบสงขลา ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาครั้งนี้กับครั้งอดีตได้

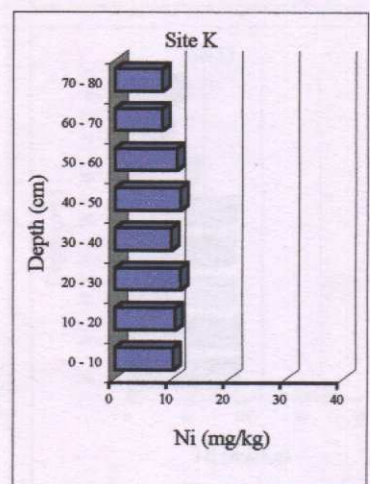
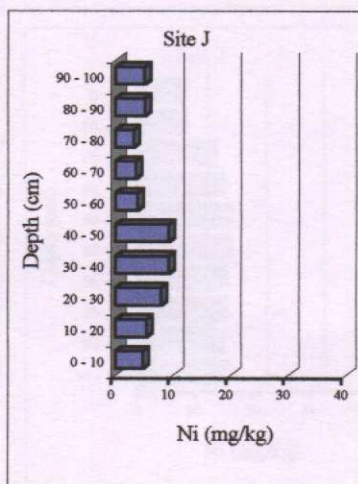
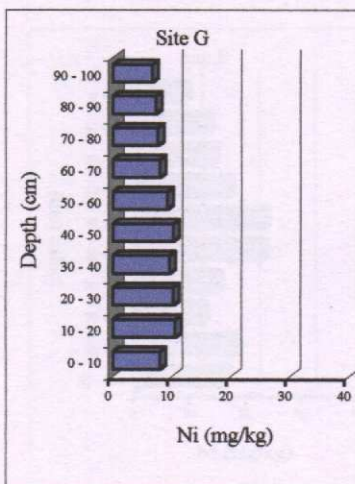
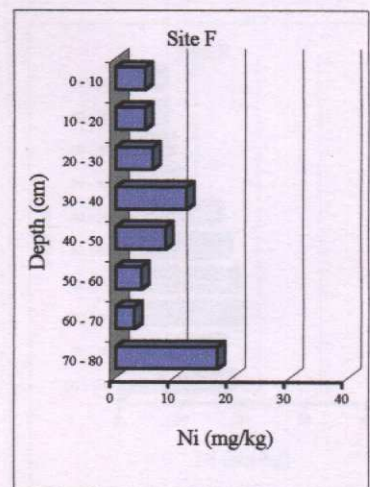
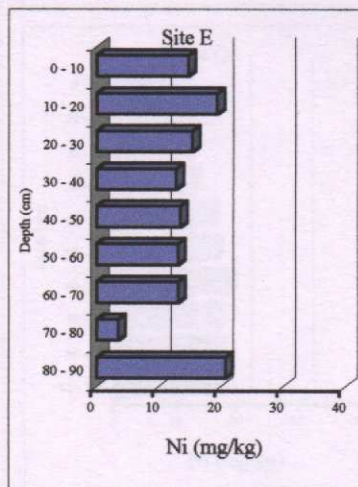
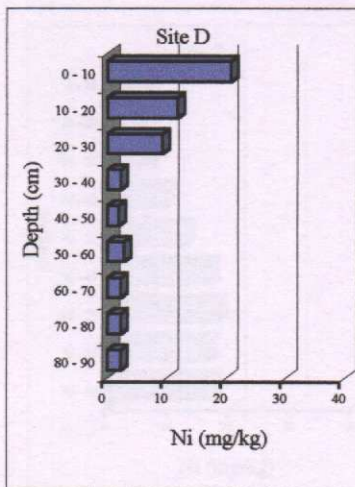
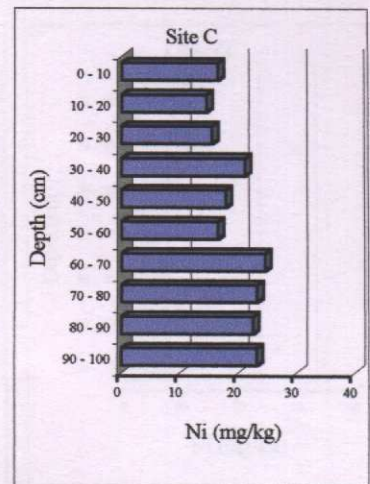
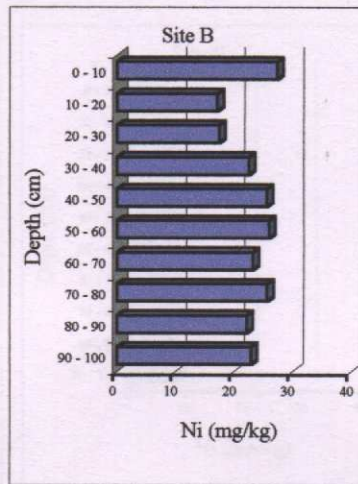
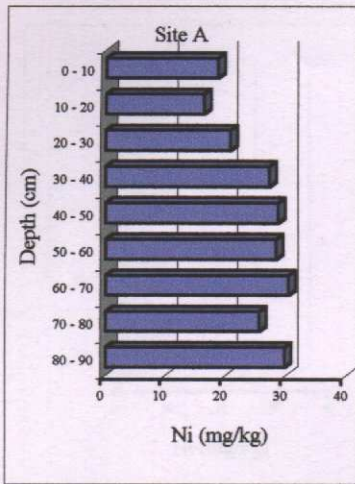
ระดับความเข้มข้นที่พบตะกอนจากทะเลน้อย สถานี A B และ C พบว่ามีความเข้มข้นของนิเกิลสูงกว่าค่าเฉลี่ยตลอดทุกค่าความลึก และลักษณะการกระจายคล้ายกับทองแดงและสังกะสี ตะกอนจากทะเลหลวงฝั่งตะวันออก (สถานี P Q R T และ U) พบว่าตะกอนในอดีตมีความเข้มข้นของนิเกิลมากกว่าตะกอนใหม่ แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของนิเกิลในตะกอน

## 6. ความเข้มข้นของตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วจากทุกสถานีและทุกระดับความลึกพบว่าอยู่ในช่วง 10.6 - 73.7 mg/kg (รูปที่ 3-9) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 13.0 - 46.3 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ระดับความเข้มข้นนี้อยู่ในระดับต่ำกว่าผลการศึกษาของ ณรงค์ (2522) เล็กน้อย ซึ่งพบว่าช่วงความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนผิวดินจากทะเลหลวงอยู่ในช่วง 31.5 - 73.7 mg/kg ถึงแม้ความเข้มข้นที่พบในการศึกษาครั้งนี้ และการศึกษาของ ณรงค์ (2522) จะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของตะกอนและในดินทั่วโลก แต่ไม่อาจถือว่าเป็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนจากบริเวณที่มีการปนเปื้อน เช่น Teganuma Lake, Venice Lagoon, Ichi and Maruyama River และปากแม่น้ำเจ้าพระยา แล้วพบว่าตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงมีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระดับความเข้มข้นที่พบไม่อยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

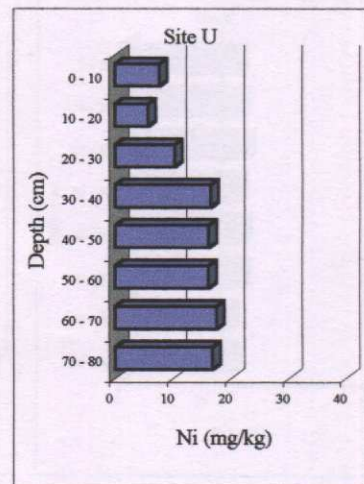
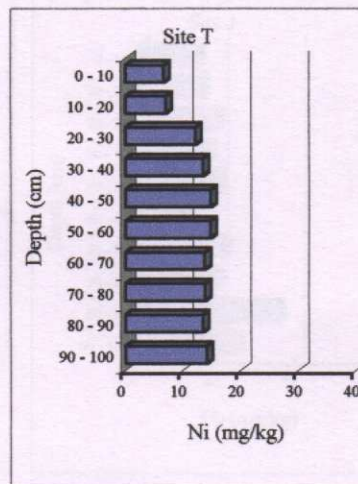
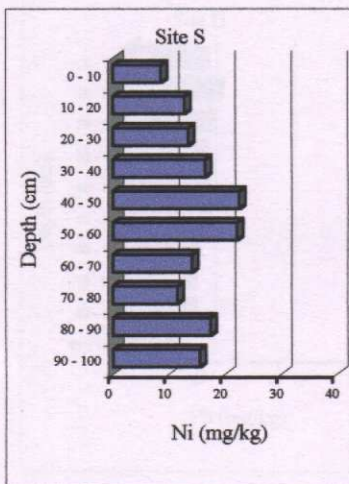
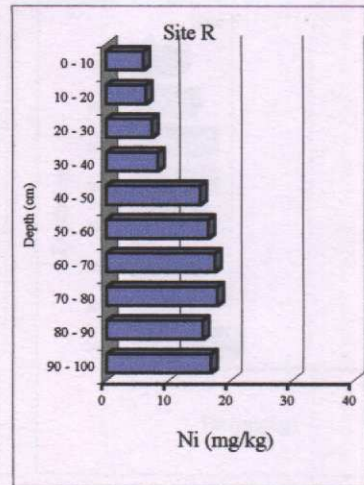
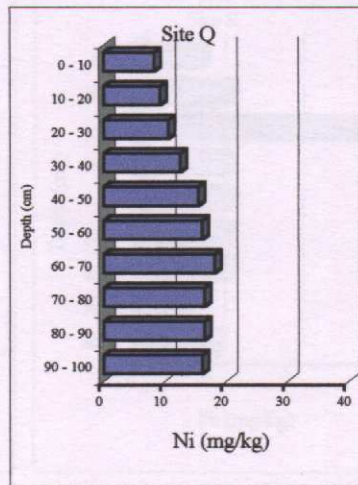
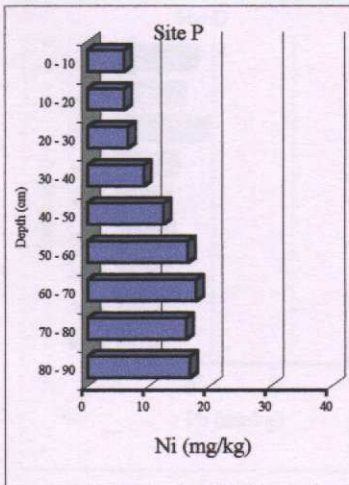
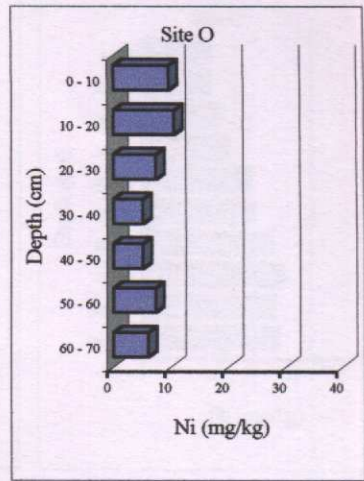
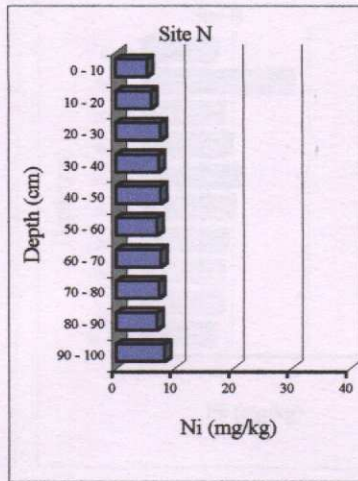
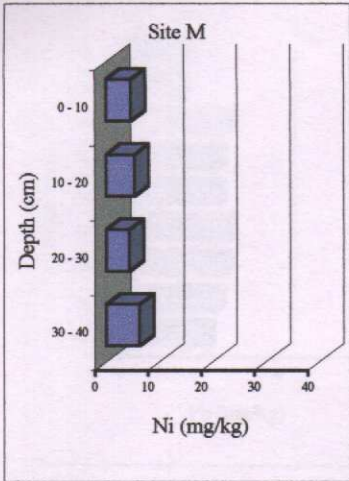
ความเข้มข้นของตะกั่วจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ ( $27.1 \pm 7.8$  mg/kg ; mean  $\pm$  8D) ยกเว้นตะกอนจากสถานี B ที่ความลึก 10 - 20 เซนติเมตร และจากสถานี E ที่ความลึก 20 - 30 เซนติเมตร พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วสูงกว่าในตะกอนที่ความลึกอื่นมาก แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อน สถานีดังกล่าว อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นนี้ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม





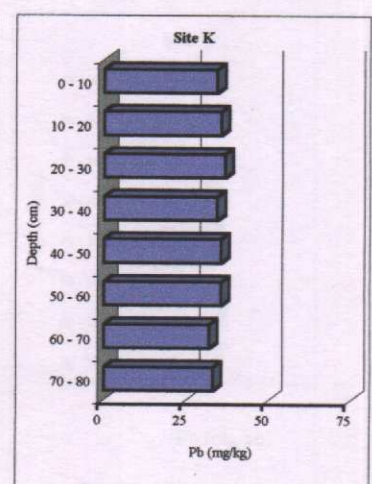
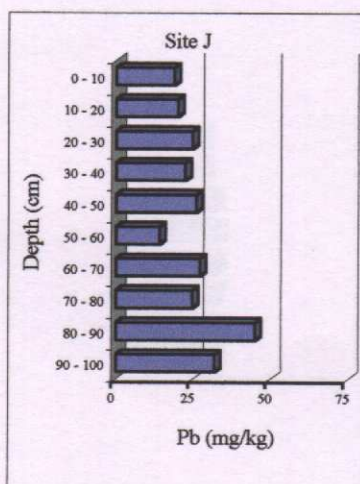
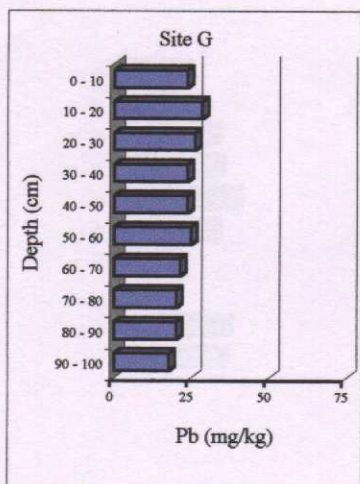
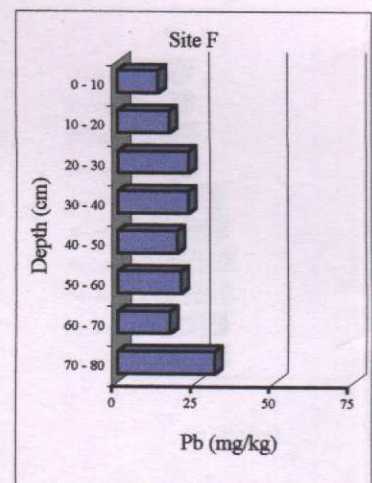
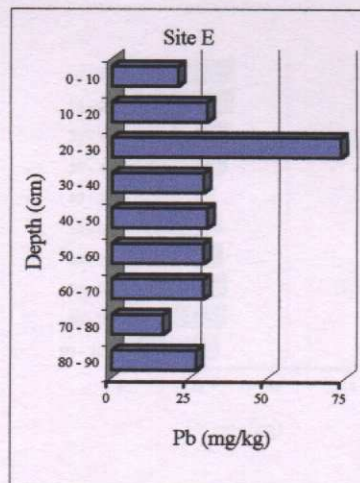
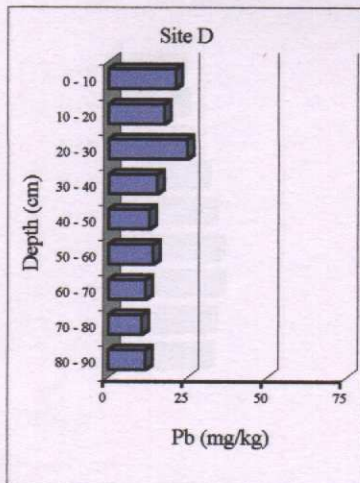
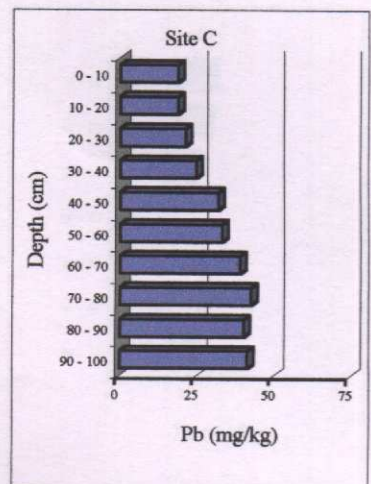
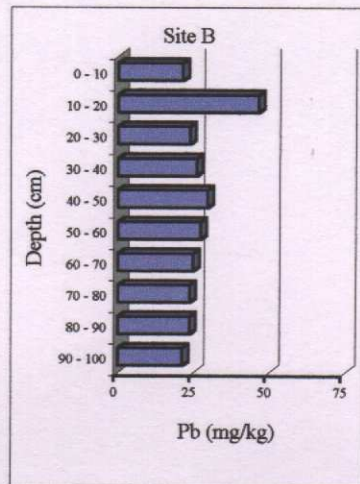
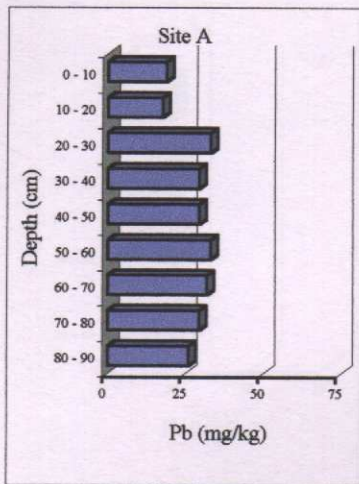
รูปที่ 3-8 ความเข้มข้นของนิเกิลในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





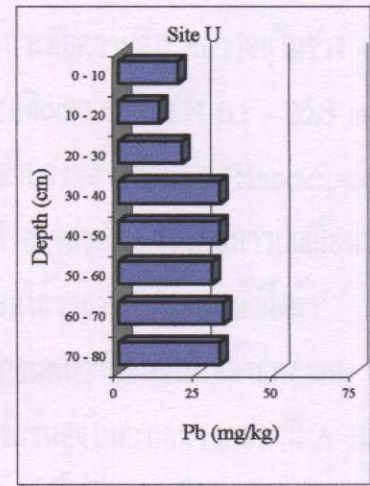
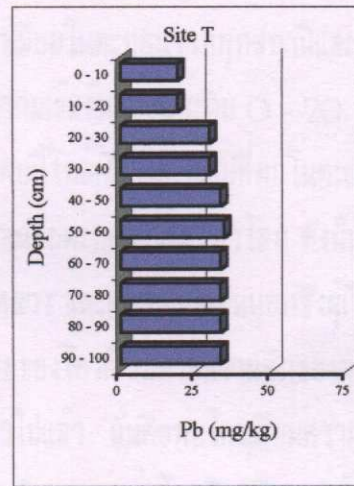
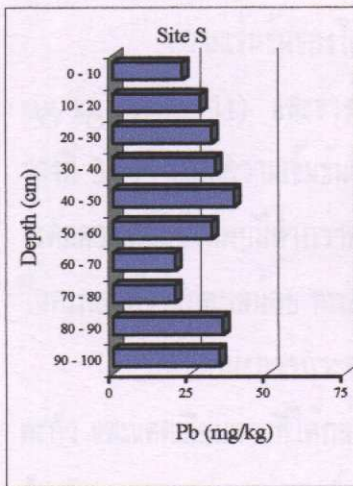
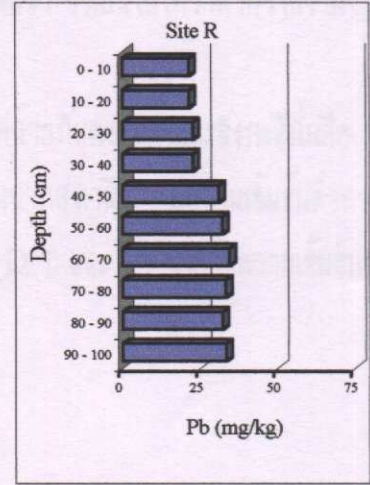
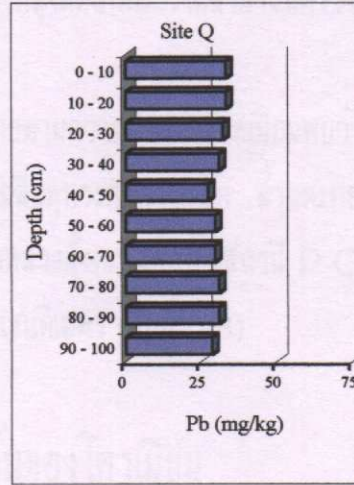
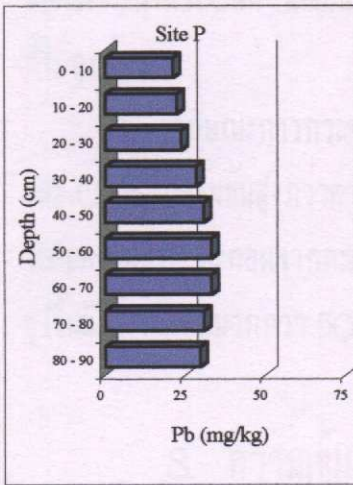
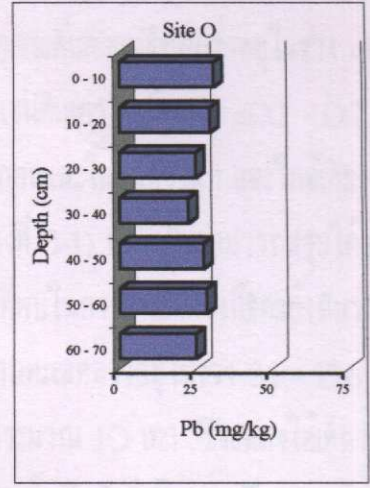
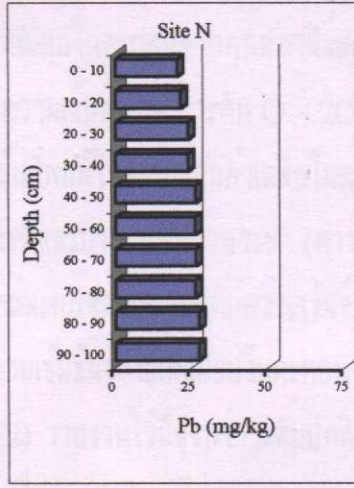
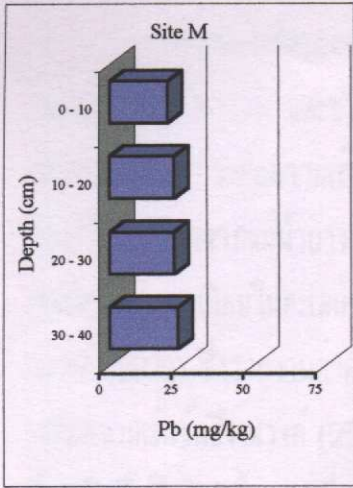
รูปที่ 3-8 (ต่อ)





รูปที่ 3-9 ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





รูปที่ 3-9 (ต่อ)



## 7. ความเข้มข้นของแคดเมียม

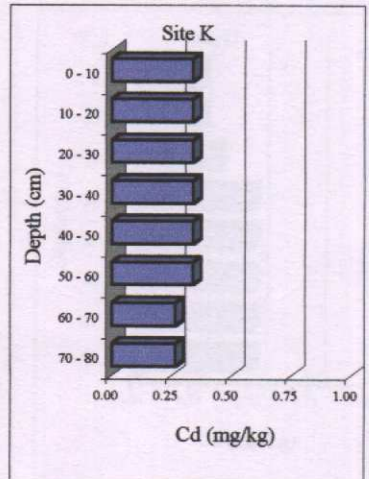
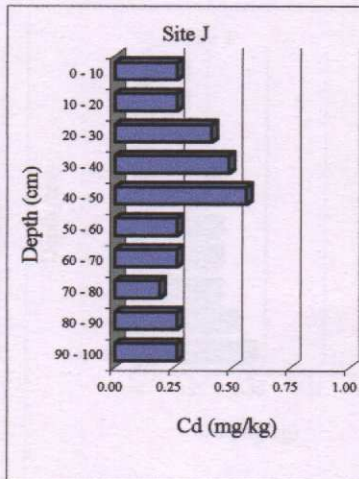
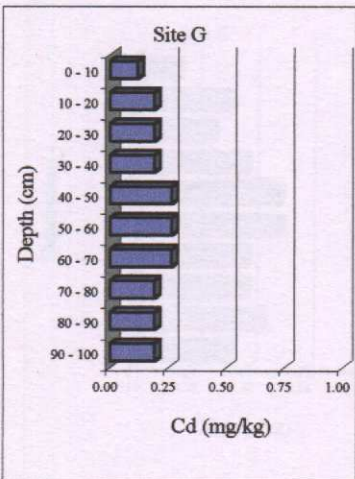
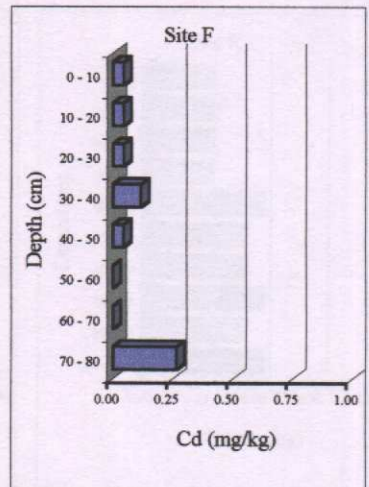
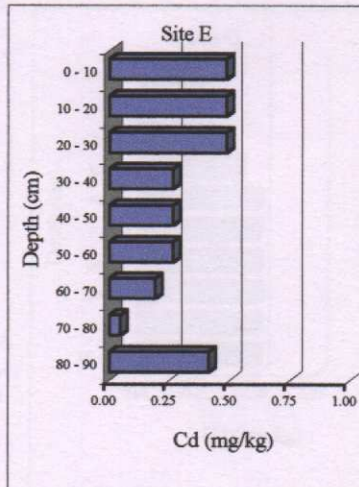
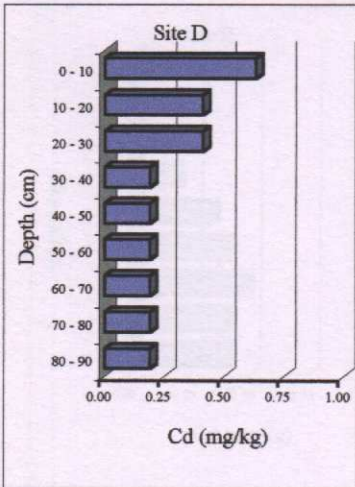
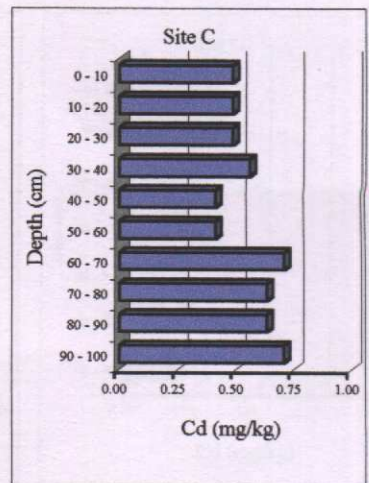
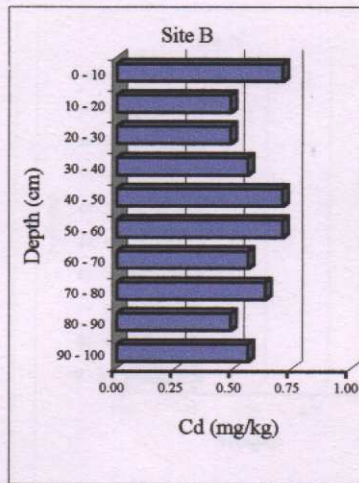
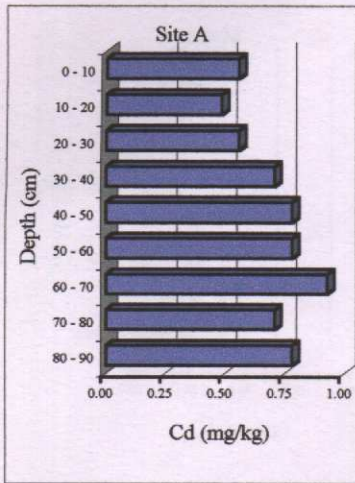
ความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนจากทุกสถานีและทุกระดับความลึกพบว่าอยู่ในช่วง  $<0.1 - 0.9$  mg/kg (รูปที่ 3-10) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง  $<0.1 - 0.7$  mg/kg (ตารางที่ 3-1) ระดับความเข้มข้นที่พบนี้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยในตะกอนและในดินทั่วโลก และใกล้เคียงกับค่าที่รายงานไว้ในตะกอนจากแม่น้ำบางปะกงและปากแม่น้ำเจ้าพระยา (ตารางที่ 3-1) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในทะเลน้อยและทะเลหลวง ระดับความเข้มข้นที่พบในการศึกษาครั้งนี้ขัดแย้งกับรายงานของณรงค์ (2522) ซึ่งรายงานค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนจากทะเลหลวงอยู่ในช่วง 21 - 15.6 mg/kg ระดับความเข้มข้นซึ่งณรงค์ (2522) รายงานไว้ที่สูงกว่าระดับปกติประมาณ 10 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นในขณะนั้น แต่เป็นค่าที่สูงผิดปกติและไม่สามารถตรวจพบซ้ำ จึงเป็นไปได้ว่าค่าที่รายงานไว้อาจเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง

ลักษณะการกระจายตามความลึกของแคดเมียมพบว่าคล้ายกับทองแดงและสังกะสีนั่นคือ สถานี A B และ C มีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยทุกระดับความลึก ส่วนตะกอนจากสถานี F มีความเข้มข้นต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทุกระดับความลึก ตะกอนจากทะเลหลวงฝั่งตะวันออก (สถานี P Q R T และ U) พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นเมื่อความลึกมากกว่า 50 เซนติเมตร (รูปที่ 3-8)

## 8. ความเข้มข้นของโครเมียม

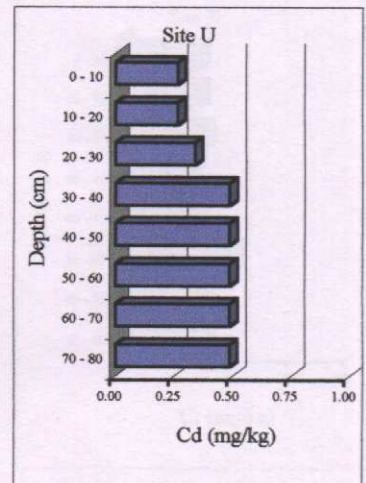
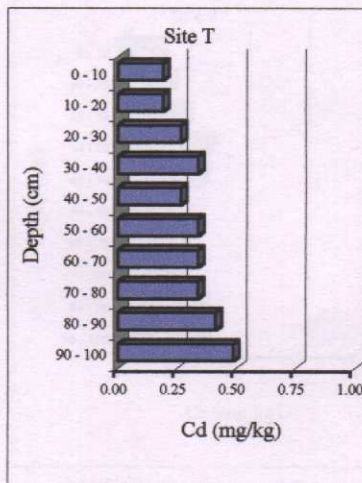
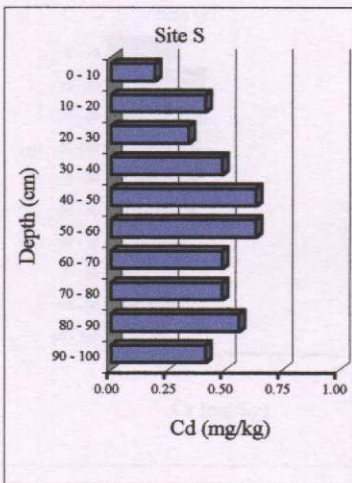
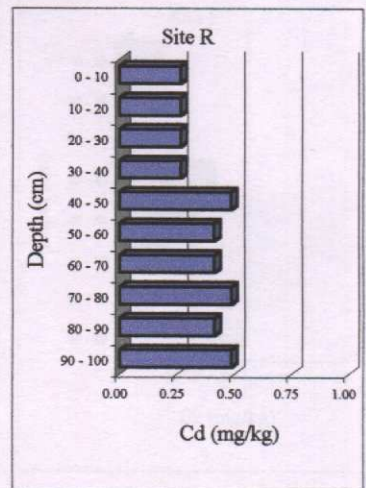
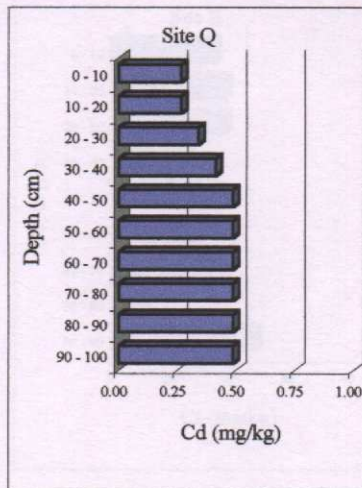
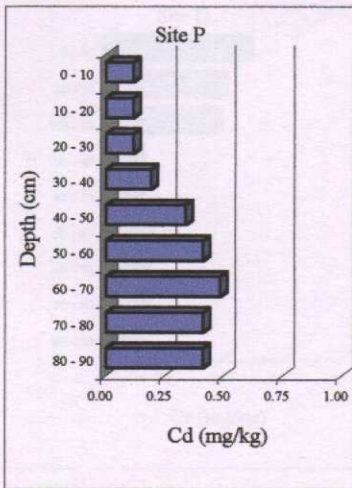
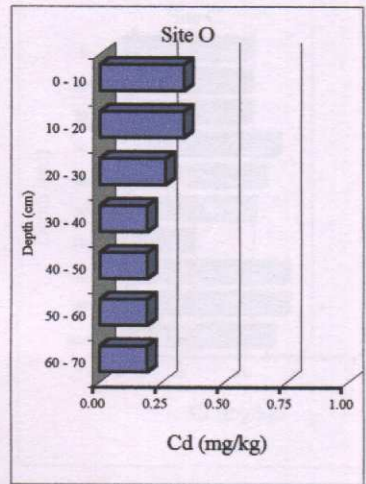
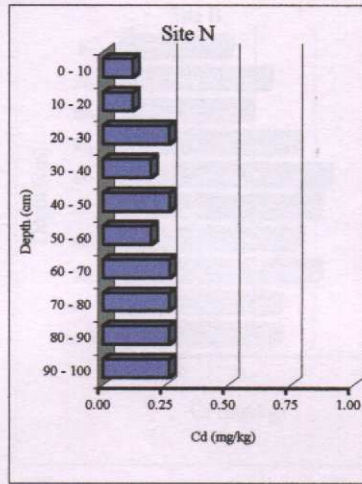
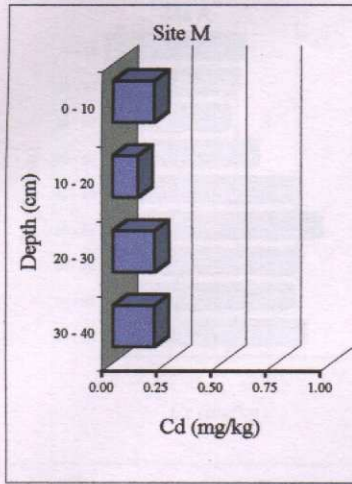
ความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอนจากทุกสถานีและทุกระดับความลึก พบว่าอยู่ในช่วง 4.3 - 35.3 mg/kg (รูปที่ 3-11) และช่วงความเข้มข้นเฉพาะระดับ 0 - 20 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 6.1 - 25.8 mg/kg (ตารางที่ 3-1) ระดับความเข้มข้นที่พบนี้ใกล้เคียงกับระดับที่พบในทะเลสาบสงขลาตอนนอก (Maneepong 1996) ระดับความเข้มข้นที่พบนี้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยตะกอนและดินทั่วโลก ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าไม่พบการปนเปื้อนของโครเมียมในตะกอนทั้งจากทะเลน้อย ทะเลหลวง และทะเลสาบตอนนอกซึ่งผู้เขียนได้รายงานไปก่อนหน้านี้แล้ว

ลักษณะการกระจายของโครเมียมตามความลึกของตะกอนพบว่ามิลักษณะคล้ายทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมตามที่ได้กล่าวไปแล้ว นั่นคือพบโครเมียมความเข้มข้นสูงในตะกอนจากสถานี A และ B สำหรับตะกอนจากทะเลหลวงฝั่งตะวันออกพบว่าโครเมียมมีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อความลึกมากกว่า 40 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นรอบ ๆ ทะเลสาบ ไม่ส่งผลกระทบบต่อระดับความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอน



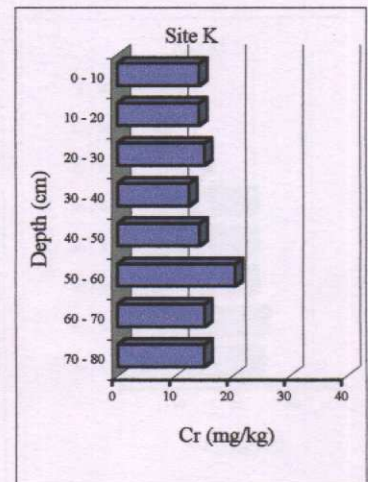
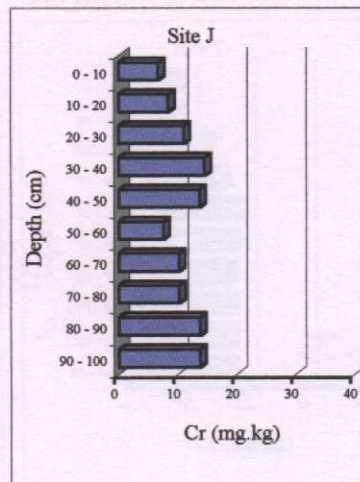
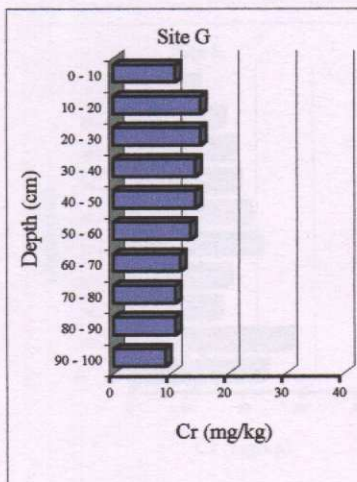
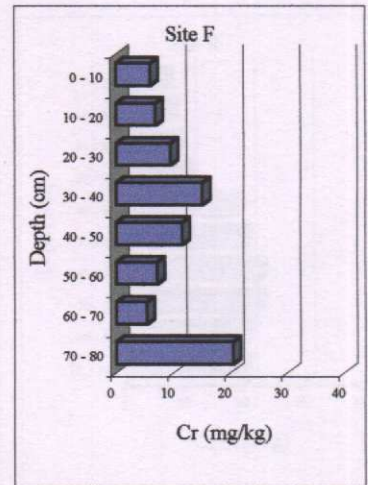
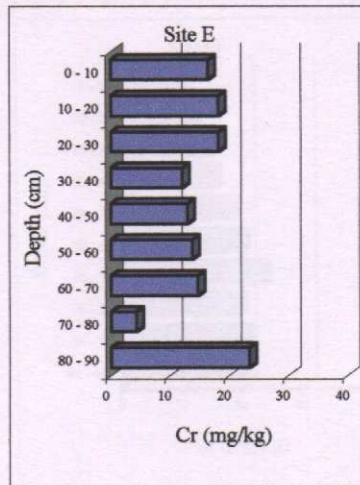
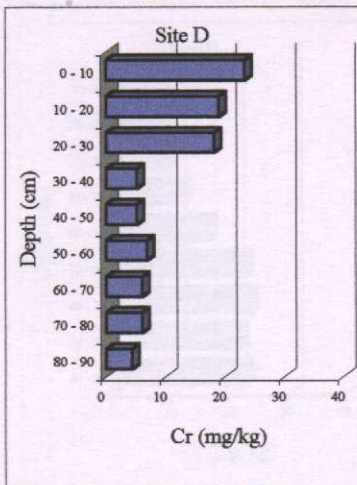
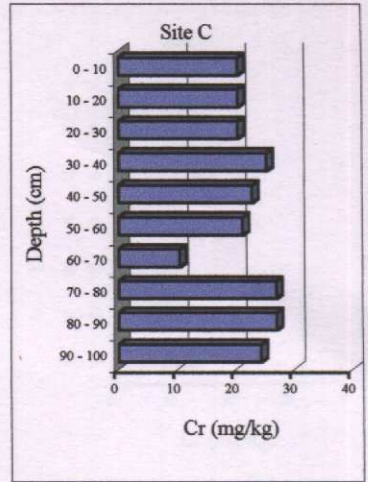
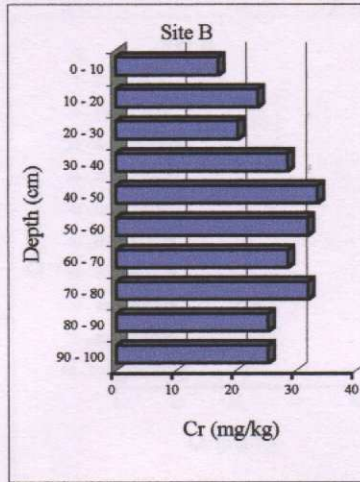
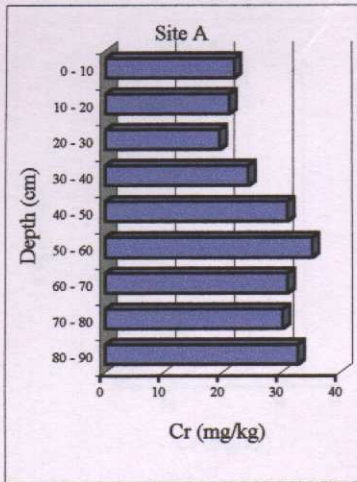
รูปที่ 3-10 ความเข้มข้นของแคดเมียมในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลสาบที่ระดับความลึกต่าง ๆ





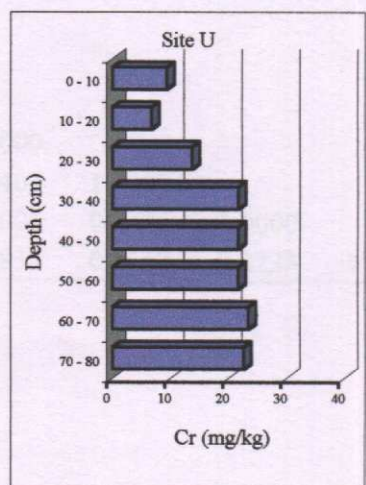
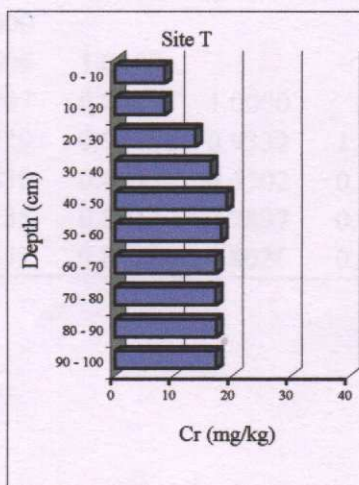
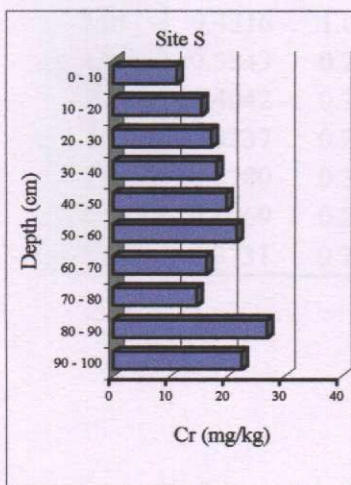
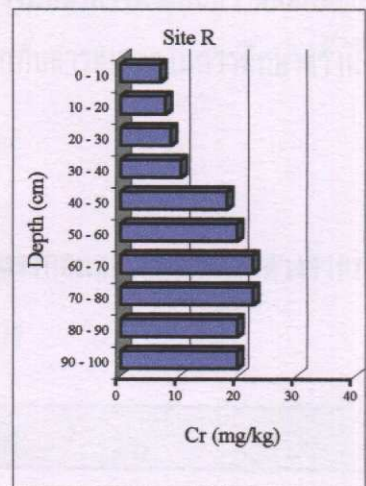
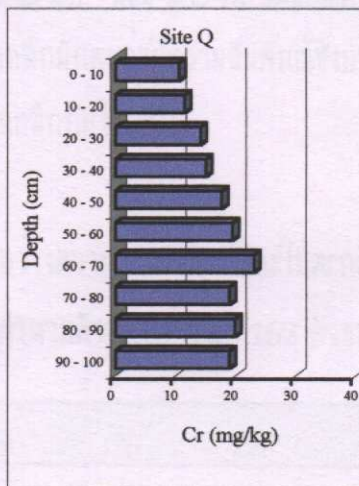
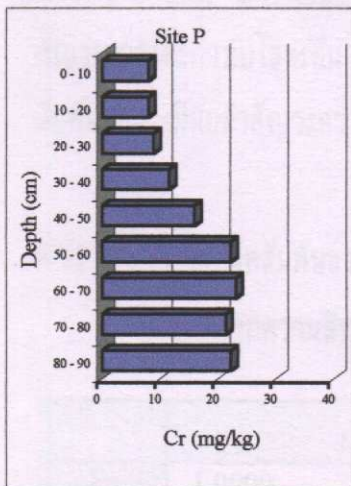
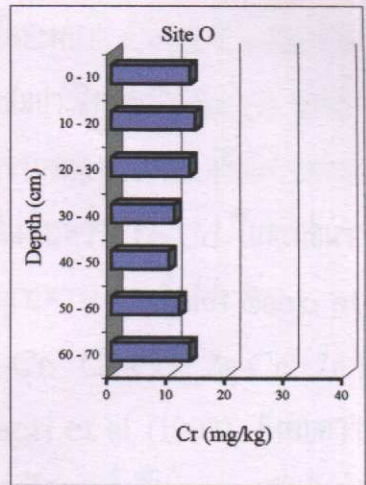
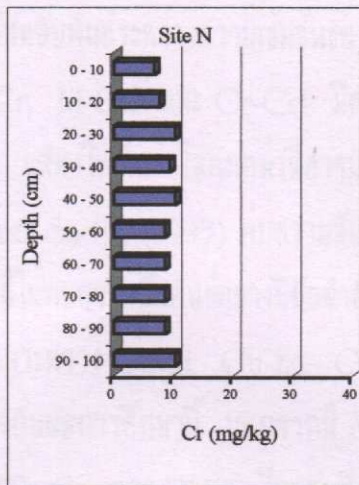
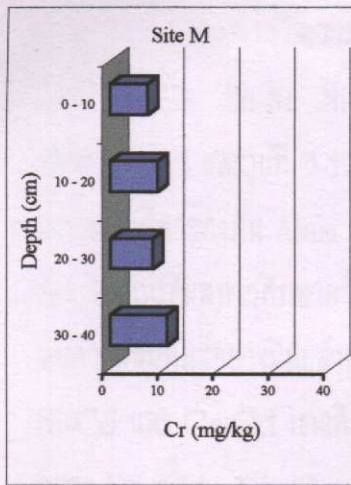
รูปที่ 3-10 (ต่อ)





รูปที่ 3-11 ความเข้มข้นของโครเมียมในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงที่ระดับความลึกต่าง ๆ





รูปที่ 3-11 (ต่อ)



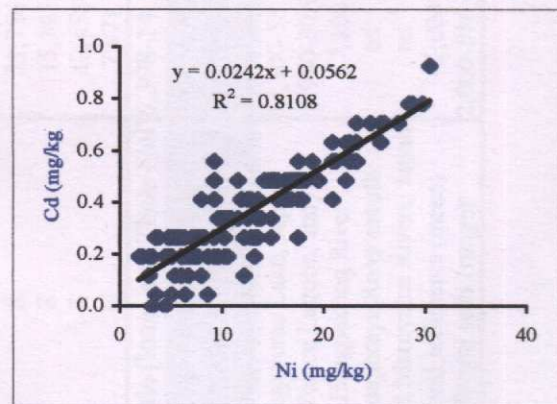
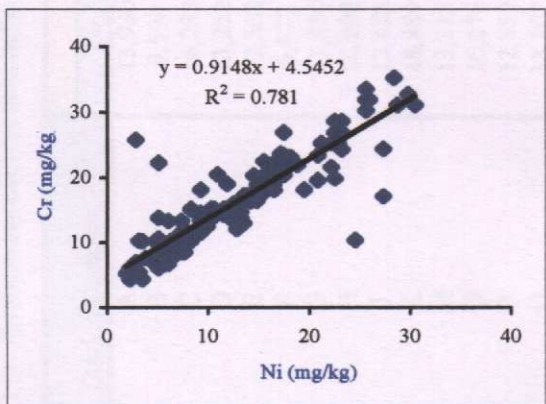
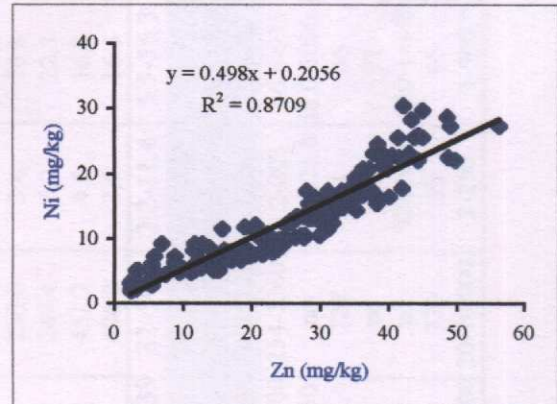
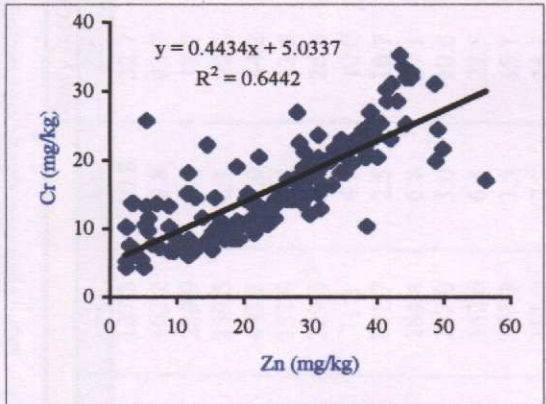
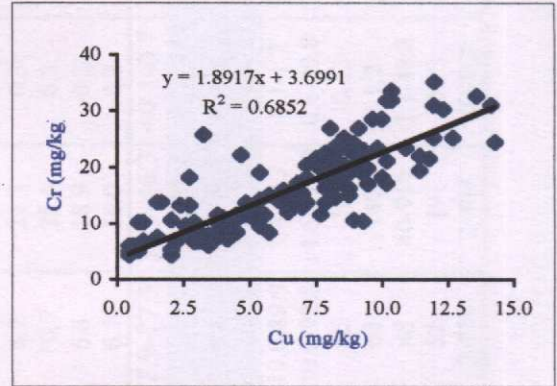
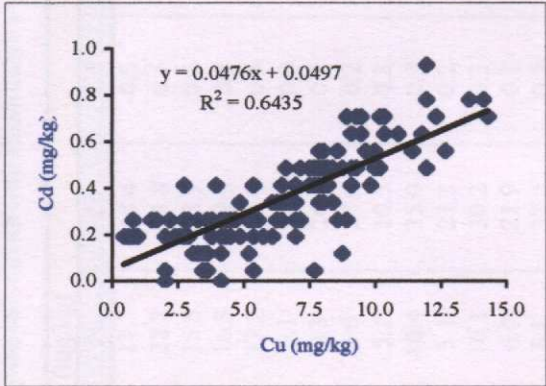
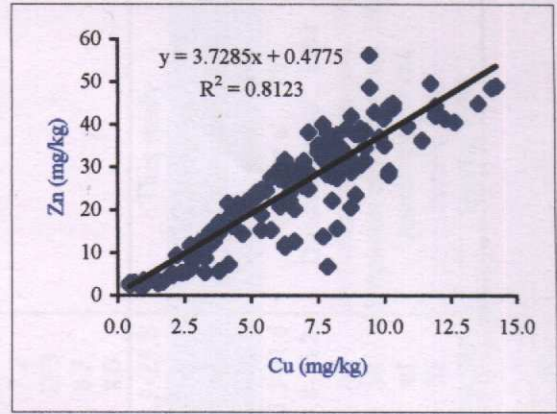
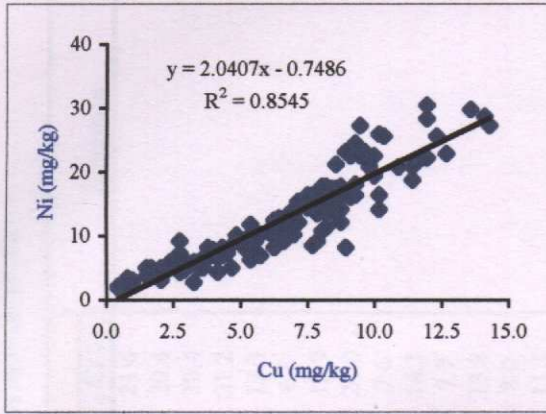
## 9. สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะ (matrix correlation)

จากการวิเคราะห์ที่สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะพบว่า Cu-Ni, Cu-Zn, Cu-Cr, Cu-Cd, Zn-Cr, Zn-Ni, Ni-Cr, Ni-Cd และ Cr-Cd มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) สูงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3-2 และรูปที่ 3-12) แสดงให้เห็นว่าโลหะเหล่านี้มาจากแหล่งเดียวกัน หรือมีกระบวนการสะสมในตะกอนที่เกี่ยวข้องกัน Alam and Sadiq (1993) พบความสัมพันธ์ระหว่าง Fe-Cd ในตะกอนจาก Antarctic ในขณะที่ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างโลหะทั้งสอง Saeki et al. (1993) พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่าง Cu-Ni, Cu-Zn, Cu-Cr, Cu-Cd, Zn-Cr, Zn-Ni, Ni-Cr, Ni-Cd และ Cr-Cd เช่นเดียวกับผลการศึกษาอื่น นอกจากนี้ Saeki et al. (1993) ยังพบความสัมพันธ์ระหว่าง Pb-Cd, Pb-Cu, Pb-Cr และ Pb-Ni ในขณะที่การศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างตะกั่วกับโลหะอื่น เหล็กมักพบที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสารหนู แต่ในการศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างเหล็กกับโลหะอื่น

ตารางที่ 3-2 สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะในตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวงจากทุกสถานีและทุกความลึก จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 162 ตัวอย่าง

	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
Fe	1.0000							
Mn	0.4316	1.0000						
Cu	0.3843	0.2606	1.0000					
Zn	0.4042	0.2587	0.9013	1.0000				
Ni	0.3237	0.2729	0.9244	0.9332	1.0000			
Pb	0.5780	0.3830	0.4495	0.4502	0.4407	1.0000		
Cd	0.3069	0.2135	0.8022	0.7897	0.9005	0.4175	1.0000	
Cr	0.3731	0.2452	0.8278	0.8026	0.8837	0.4547	0.8233	1.0000





รูปที่ 3-12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะไนตะก่อนจากทะเลน้อยและทะเลหลวง



ตารางที่ 3-1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนัก 0 - 20 เซนติเมตร และช่วงความเข้มข้นที่พบในการศึกษาเปรียบเทียบกับรายงานการศึกษาอื่น

Station/Location	Heavy metals (mg/kg)								Reference
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr	
A	13,936	137.3	10.8	32.7	17.7	18.4	0.5	21.6	
B	9,594	162.2	8.8	43.7	22.2	33.8	0.6	20.4	
C	16,233	239.9	7.6	37.7	15.5	18.9	0.5	20.4	
D	13,252	359.5	8.1	29.3	16.3	19.5	0.5	21.2	
E	22,502	443.2	8.9	34.2	17.2	26.1	0.5	17.3	
F	6,677	157.9	3.5	13.5	5.1	14.8	0.0	6.5	
G	11,050	229.6	5.6	26.5	9.3	26.1	0.2	12.9	
H	22,698	71.2	4.0	10.0	4.0	27.9	0.2	24.0	
J	13,423	171.7	2.5	10.7	5.1	19.5	0.3	7.6	
K	18,889	184.4	6.8	27.1	10.4	35.0	0.3	14.3	
M	13,315	237.0	3.0	10.6	5.1	21.3	0.2	7.7	
O	16,276	167.6	6.3	21.5	10.1	30.2	0.3	13.8	
P	12,852	337.2	3.5	15.1	6.0	21.9	0.1	8.0	
Q	18,207	352.0	7.2	24.1	8.8	33.2	0.3	11.1	
R	11,756	230.6	3.4	10.8	6.2	21.3	0.3	7.2	
S	15,145	249.4	6.2	22.3	10.7	25.5	0.3	13.3	
T	12,458	451.2	4.8	16.3	6.8	18.9	0.2	8.5	
U	7,971	496.8	3.5	16.5	6.7	16.0	0.3	8.0	
<b>Songkhla (Inner and Thale Noi)</b>	<b>6,598-24,139</b>	<b>32-545</b>	<b>2.2-11.4</b>	<b>5.5-56.3</b>	<b>2.9-27.3</b>	<b>13.0-46.3</b>	<b>&lt;0.1-0.7</b>	<b>6.1-25.8</b>	<b>This study</b>
Songkhla (Inner Lake)	16,000-48,510	200-454	145.9-250.0	29.0-77.5	nd	31.5-73.7	2.1-15.6	nd	Na Chiangmai, 1979
Songkhla (Outer Lake)	26,050-45,000	291-774	130.6-260.2	55.5-88.6	nd	49.9-78.5	1.9-16.1	nd	Na Chiangmai, 1979
Songkhla (Outer Lake)	8,261-28,022	90-519	4-25	22-136	nd	nd	nd	9-24	Maneepong, 1996
Teganuma Lake, Japan	17,300-55,500	254-1360	8.2-203	36.6-935	10.0-89.9	3.4-113	0.1-1.7	13.2-81.6	Saeiki et al., 1993
Venice Lagoon, Italy	4,940-30,950	nd	5.2-221.0	18.0-3000.1	10.6-92.8	14.6-876.0	0.6-20.8	3.8-35.2	Donazzolo et al., 1984
Bangpakong River	17,300	729	14	46	nd	16	0.13	nd	Petpiroon and Petpiroon, 1996
Choaphraya River mouth	nd	nd	26	71	nd	140	1.2	nd	Petpiroon and Petpiroon, 1996
Ichi and Maruyama Rivers, Japan	nd	nd	92-2670	250-14900	nd	40-910	1.1-48.8	nd	Asami et al., 1981
World sediments (mean)	41,000	770	33	95	52	19	0.17	72	Sparks, 1995
World soils (range)	2,000-550,000	20-10,000	2-250	1-900	2-750	2-300	0.01-2	5-1,500	Sparks, 1995



# สรุป

ตะกอนจากทะเลน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการสะสมของอินทรีย์วัตถุมากพบว่า ความเข้มข้นของทองแดง สังกะสี นิเกิล แคดเมียม และโครเมียม สูงกว่าตะกอนจากทะเลหลวง ลักษณะการสะสมของทองแดง และสังกะสีพบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในตะกอน

ความเข้มข้นของทองแดงพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของสังกะสี นิเกิล แคดเมียม และโครเมียม ความเข้มข้นของสังกะสีพบว่ามีสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของนิเกิล และโครเมียม ส่วนความเข้มข้นของนิเกิลพบว่ามีสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของแคดเมียม และโครเมียม แสดงให้เห็นว่าโลหะเหล่านี้อาจมาจากแหล่งเดียวกัน หรือมีกระบวนการสะสมในตะกอนที่เกี่ยวข้องกัน ส่วนความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส และตะกั่ว ไม่พบว่ามีสัมพันธ์กับโลหะอื่น

ระดับความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิเกิล ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม ในตะกอนทั้งจากทะเลน้อยและทะเลหลวงพบว่าอยู่ในระดับปกติ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าคนและสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในทะเลสาบได้อย่างปลอดภัยจากพิษของโลหะเหล่านี้ นอกจากนี้ยังไม่มีการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้ในตะกอนทั้งจากทะเลน้อยและทะเลหลวง

# เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2522. รายงานผลการวิจัยโครงการทะเลสาบสงขลา 2521-2522. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- Alam, I. A. and Sadiq, M. 1993. Metal concentrations in Antarctic sediment samples collected during the Trans-Antarctica 1990 expedition. *Mar. Pollu. Bull.*, 26: 523-527.
- Asami, T., Honma, S., Tanabe, K. and Hata A. 1981. Pollution of Ichi and Maruyama River sediments from discharging of Cd, Zn, Pb and Cu from Namano mining. *Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 52:433-438. (in Japanese)
- Bryan, G.W. and Langston, W.J. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries : a review, *Environ. Pollut.*, 76:89-131.
- Donazzolo, R., Orio, A.A., Davoni, B. and Perin, G. 1984. Heavy metals in sediments of the Venice lagoon, *Oceanologica Acta.*, 7:25-32.
- French, D.W. 1993. Post-industrial pollutant levels in contemporary Severn Estuary intertidal sediments, compared to pre-industrial levels, *Mar. Pollut. Bull.*, 26:30-35.
- Goldberg, G.D. 1992. Marine metal pollutants : A small set, *Mar. Pollut. Bull.*, 25:45-47.
- Han, B.C. and Hung T.C. 1990. Green oysters caused by copper pollution on the Taiwan coast, *Environ. Pollut.*, 65:347-362.
- Iimura, Y. 1991. History of heavy metal pollution. *In* Pollution of Toxic Metals in Soil, Japanese Soil Science and Plant Nutrition Society, Hakuyusha, Tokyo, p. 7-42. (in Japanese)
- Maneepong, S. 1996. Distribution of heavy metals in sediments from outer part of Songkhla Lagoon, southern Thailand, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 18:87-97.



- Maneepong S. and Aungsapanich, S. 1998. Concentration of Arsenic and Heavy Metals in Sediments and Aquatic Fauna from the Outer Part of Songkhla Lagoon, Phawong and U Taphao Canals. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 20: (in print)
- Nachiangmai, N. 1979. Report of Songkla Lake Research Project, 1978-1979. Prince of Songkla University and National Environment Board of Thailand. (in Thai)
- Detpiroon, P. and Detpiroon, S. 1996. Distribution of heavy metals in the Bangpakong River and their variation at the mouth of the river. Proc. 3<sup>rd</sup> international symposium of ETERNET-APR, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, Oct. 3-9, 1996: III-8 - III-16.
- Sacki, K., Okazaki, M. and Kubota, M. 1993. Heavy metal accumulations in a semi-enclosed hypereutrophic system: Lake Teganuma, Japan. Part 2. Heavy metal accumulation in sediments. *Water, Air, and Soil Pollution* 69:79-91.
- Sparks, D.L. 1995. *Environmental Soil Chemistry*, Academic Press, San Diego, p 24-25.

# ภาคผนวก

## ตาราง ผ. ๑

ผลการวิเคราะห์หาความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน  
ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม



ตารางที่ ๗๑ สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวง

Station	Depth (cm)	pH in H <sub>2</sub> O (1:2.5)	Ignition loss (%)	Organic C (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Total S (mg/kg)
A	0 - 10	3.16	21.81	9.83	16.94	0.142	231.72	1,502	12,997
	10 - 20	3.36	17.03	8.55	14.74	0.389	136.37	1,969	9,785
	20 - 30	3.23	18.86	10.13	17.46	0.318	116.20	3,258	18,238
	30 - 40	2.62	22.30	8.82	15.21	0.264	185.60	3,451	26,338
	40 - 50	2.91	20.41	11.73	20.22	0.185	168.10	3,635	30,529
	50 - 60	2.93	22.15	12.55	21.64	0.194	108.11	3,848	20,579
	60 - 70	3.12	13.74	7.29	12.56	0.135	125.14	4,047	16,874
	70 - 80	nd	20.44	12.21	21.05	0.221	141.40	4,246	17,898
80 - 90	nd	19.98	11.11	19.16	0.223	130.71	8,280	24,069	
B	0 - 10	3.29	22.58	11.40	19.66	0.486	162.45	2,372	12,426
	10 - 20	3.52	21.45	10.18	17.55	0.693	126.91	1,675	7,779
	20 - 30	2.74	29.03	14.94	25.75	0.583	118.51	3,984	19,539
	30 - 40	3.09	17.51	8.74	15.06	0.218	121.00	3,769	12,537
	40 - 50	3.21	21.86	12.00	20.69	0.258	95.11	3,378	12,437
	50 - 60	2.68	19.60	10.55	18.19	0.171	72.97	3,826	12,927
	60 - 70	2.70	20.79	11.49	19.80	0.182	125.89	3,620	16,767
	70 - 80	2.81	24.29	13.79	23.77	0.203	160.55	3,232	15,289
	80 - 90	3.04	29.22	15.99	27.56	0.329	158.02	2,852	23,148
	90 - 100	3.13	32.18	17.41	30.02	0.137	78.83	3,976	9,903
C	0 - 10	3.22	12.87	5.91	10.18	0.365	142.58	1,878	10,911
	10 - 20	3.63	18.40	9.60	16.55	0.329	151.22	1,647	6,044
	20 - 30	3.73	19.83	9.93	17.11	0.319	75.30	2,058	7,436
	30 - 40	3.5	11.52	5.59	9.63	0.202	79.49	2,316	9,453
	40 - 50	3.71	7.11	3.49	6.01	0.088	80.12	3,287	5,327
	50 - 60	4.48	6.22	2.01	3.46	0.059	114.35	3,861	5,338
	60 - 70	6.13	5.99	1.71	2.94	0.056	103.87	3,424	6,109
	70 - 80	6.47	6.45	1.63	2.81	0.058	122.21	3,422	4,317
	80 - 90	6.63	6.62	1.54	2.65	0.061	164.41	3,482	3,683
	90 - 100	6.81	6.56	1.46	2.52	0.061	82.51	1,748	2,865
D	0 - 10	3.66	30.27	14.11	24.33	0.246	82.36	2,416	5,704
	10 - 20	3.28	12.89	6.53	11.25	0.178	148.69	1,294	12,450
	20 - 30	3.15	21.98	4.16	7.18	0.084	43.16	1,228	6,151
	30 - 40	3.17	4.02	2.63	4.53	0.037	50.35	1,387	4,826
	40 - 50	3.14	3.46	0.84	1.45	0.027	30.65	1,362	6,908



ตารางที่ ๑ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	pH in H <sub>2</sub> O (1:2.5)	Ignition loss (%)	Organic C (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Total S (mg/kg)
D	50 - 60	3.31	4.43	1.44	2.49	0.047	32.94	1,572	5,280
	60 - 70	3.44	3.10	0.66	1.13	0.024	35.24	1,321	5,844
	70 - 80	3.90	3.35	0.58	1.00	0.021	34.73	1,133	4,976
	80 - 90	4.52	4.11	0.58	1.00	0.026	56.86	1,298	5,582
E	0 - 10	3.85	15.30	8.03	13.84	0.398	94.73	3,360	8,915
	10 - 20	3.21	19.86	10.03	17.30	0.396	116.66	1,948	16,219
	20 - 30	3.26	15.49	8.96	15.45	0.258	32.94	1,374	6,309
	30 - 40	3.27	8.92	5.94	10.25	0.074	90.94	4,085	15,546
	40 - 50	3.65	8.03	5.46	9.41	0.076	88.27	3,265	11,961
	50 - 60	3.49	8.64	3.73	6.43	0.095	103.40	4,566	12,748
	60 - 70	3.33	9.45	4.48	7.73	0.116	64.95	1,173	33,074
	70 - 80	3.47	16.01	8.96	15.45	0.204	74.48	1,375	6,137
80 - 90	4.30	25.09	12.96	22.34	0.343	177.36	4,207	16,700	
F	0 - 10	3.76	4.00	2.38	4.11	0.062	63.94	1,002	3,819
	10 - 20	3.98	3.76	2.21	3.81	0.066	53.62	1,314	2,687
	20 - 30	3.8	7.16	4.20	7.24	0.099	75.15	1,648	7,162
	30 - 40	4.02	14.10	6.71	11.57	0.194	100.45	2,269	13,115
	40 - 50	3.73	11.12	6.00	10.34	0.139	79.48	2,345	7,256
	50 - 60	3.29	5.14	2.81	4.85	0.059	46.88	1,524	6,787
	60 - 70	3.13	3.00	1.35	2.33	0.029	62.25	1,334	3,957
	70 - 80	3.35	2.44	0.96	1.65	0.025	36.54	702	6,595
G	0 - 10	3.53	6.45	3.47	5.98	0.111	139.04	1,305	4,658
	10 - 20	3.95	8.54	4.20	7.24	0.118	102.42	2,099	6,749
	20 - 30	4.22	8.56	4.73	8.15	0.036	85.68	1,952	7,503
	30 - 40	3.86	9.22	5.18	8.92	0.126	73.23	2,342	9,291
	40 - 50	3.07	9.64	5.42	9.34	0.074	117.67	2,182	16,975
	50 - 60	3.07	11.85	5.38	9.28	0.124	140.72	2,346	17,423
	60 - 70	2.72	10.89	4.76	8.21	0.097	123.82	1,682	15,621
	70 - 80	2.97	7.66	5.03	8.66	0.105	135.82	1,662	13,607
	80 - 90	3.12	8.47	4.89	8.44	0.103	98.68	1,436	12,450
	90 - 100	3.29	8.85	4.91	8.47	0.115	80.93	1,283	8,915
H	0 - 10	4.94	5.54	1.13	1.94	0.077	153.77	1,288	4,895
	10 - 20	5.16	4.48	0.38	0.65	0.026	91.10	1,452	2,954



ตารางที่ ๑ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	pH in H <sub>2</sub> O (1:2.5)	Ignition loss (%)	Organic C (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Total S (mg/kg)
J	0 - 10	5.54	2.61	0.47	0.81	0.047	184.07	1,052	31,087
	10 - 20	3.65	3.05	0.67	1.15	0.042	48.47	1,026	5,529
	20 - 30	3.70	8.21	3.76	6.49	0.092	160.83	1,545	42,823
	30 - 40	4.10	29.30	13.66	23.55	0.303	302.75	2,199	60,729
	40 - 50	4.38	27.88	11.99	20.68	0.285	146.86	2,391	43,478
	50 - 60	3.29	6.82	1.57	2.70	0.049	22.62	731	17,560
	60 - 70	3.71	3.98	0.27	0.47	0.021	49.45	958	22,829
	70 - 80	5.13	4.57	0.20	0.34	0.019	95.15	768	29,357
	80 - 90	5.54	6.93	0.16	0.27	0.022	92.51	798	20,579
	90 - 100	5.90	7.74	0.14	0.24	0.029	153.83	1,009	30,423
K	0 - 10	6.14	5.85	1.88	3.23	0.141	117.77	1,995	5,421
	10 - 20	6.58	6.45	1.71	2.94	0.144	245.51	1,931	4,813
	20 - 30	6.79	6.37	1.69	2.91	0.156	233.25	1,951	4,197
	30 - 40	7.29	6.23	1.63	2.81	0.145	271.50	1,655	3,908
	40 - 50	7.95	5.67	1.31	2.26	0.095	242.07	1,968	4,628
	50 - 60	6.79	2.57	1.59	2.75	0.085	135.87	1,797	4,771
	60 - 70	7.42	1.95	0.86	1.49	0.041	160.00	1,702	4,640
	70 - 80	7.50	2.42	0.45	0.78	0.041	207.56	1,762	5,168
M	0 - 10	6.92	2.97	0.41	0.71	0.054	129.48	1,062	21,779
	10 - 20	4.3	3.13	0.43	0.74	0.036	42.86	1,293	5,063
	20 - 30	4.44	3.93	0.27	0.47	0.027	88.25	1,171	11,618
	30 - 40	4.41	4.15	0.24	0.41	0.025	91.66	1,047	36,526
N	0 - 10	6.26	3.76	0.63	1.08	0.061	137.84	1,283	3,315
	10 - 20	6.50	3.41	0.69	1.18	0.059	152.06	1,076	3,540
	20 - 30	6.89	3.15	0.94	1.62	0.054	101.60	1,209	8,444
	30 - 40	5.89	5.29	0.96	1.66	0.054	79.01	1,814	15,863
	40 - 50	5.49	3.48	0.90	1.55	0.047	78.30	1,308	4,117
	50 - 60	6.09	4.06	0.96	1.66	0.050	228.35	1,435	54,606
	60 - 70	6.26	3.56	0.74	1.28	0.052	183.70	1,588	39,915
	70 - 80	6.56	3.66	0.90	1.55	0.050	58.15	1,647	4,052
	80 - 90	6.48	3.62	0.90	1.55	0.053	175.01	1,896	12,704
	90 - 100	6.05	3.45	0.86	1.49	0.049	237.29	1,393	29,576



ตารางที่ ๑ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	pH in H <sub>2</sub> O (1:2.5)	Ignition loss (%)	Organic C (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Total S (mg/kg)
O	0 - 10	5.94	1.40	2.85	4.91	0.115	220.45	1,791	7,006
	10 - 20	4.43	1.23	3.94	6.79	0.095	52.21	2,223	7,641
	20 - 30	3.41	0.84	2.06	3.56	0.040	116.97	2,040	11,199
	30 - 40	3.46	1.21	1.33	2.30	0.024	76.83	2,157	6,221
	40 - 50	3.99	3.81	1.82	3.14	0.032	60.34	1,041	11,315
	50 - 60	4.56	6.84	1.35	2.33	0.038	108.93	1,691	7,965
	60 - 70	5.35	7.45	1.18	2.04	0.035	81.75	1,764	5,024
P	0 - 10	5.86	9.34	1.28	2.20	0.089	97.80	1,603	2,354
	10 - 20	5.62	7.94	1.50	2.59	0.080	140.65	1,058	4,741
	20 - 30	5.16	4.35	1.28	2.20	0.051	118.42	929	5,436
	30 - 40	3.59	5.09	1.89	3.27	0.055	69.30	1,697	7,211
	40 - 50	4.14	3.34	5.04	8.70	0.078	79.62	3,744	20,799
	50 - 60	3.77	2.28	4.91	8.47	0.104	73.23	856	5,108
	60 - 70	3.89	3.18	5.48	9.44	0.106	88.46	872	2,568
	70 - 80	5.33	3.16	6.94	11.96	0.136	216.69	4,156	23,574
	80 - 90	4.72	5.12	6.19	10.67	0.120	113.28	4,071	12,428
Q	0 - 10	5.80	2.54	1.31	2.26	0.096	185.89	1,127	2,978
	10 - 20	5.65	1.91	1.28	2.20	0.077	79.81	455	13,693
	20 - 30	4.65	1.90	1.58	2.72	0.071	100.23	1,877	12,699
	30 - 40	3.66	4.34	3.00	5.17	0.087	77.99	1,974	7,125
	40 - 50	2.74	11.60	6.84	11.79	0.128	114.85	3,316	18,900
	50 - 60	3.47	13.46	7.73	13.32	0.114	117.23	3,972	49,718
	60 - 70	3.18	15.58	8.06	13.90	0.079	95.18	2,466	14,384
	70 - 80	4.24	13.15	6.73	11.61	0.103	105.44	3,814	15,427
	80 - 90	3.31	5.38	7.21	12.43	0.104	136.97	4,597	16,575
	90 - 100	3.09	12.74	6.30	10.86	0.105	151.50	3,846	13,346
R	0 - 10	5.01	3.04	1.16	2.00	0.070	94.27	1,349	2,538
	10 - 20	4.79	2.82	1.05	1.81	0.054	235.60	1,055	2,679
	20 - 30	4.09	2.92	1.29	2.23	0.040	62.87	1,197	4,076
	30 - 40	4.58	2.70	0.96	1.65	0.032	41.08	1,175	2,688
	40 - 50	6.01	5.52	1.50	2.59	0.044	83.02	3,387	7,853
	50 - 60	6.60	6.26	1.46	2.52	0.058	152.32	4,198	9,508
	60 - 70	7.26	4.50	1.33	2.30	0.037	143.05	2,408	7,296



ตารางที่ ๑ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	pH in H <sub>2</sub> O (1:2.5)	Ignition loss (%)	Organic C (%)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (mg/kg)	Total K (mg/kg)	Total S (mg/kg)
R	70 - 80	7.56	9.51	1.33	2.30	0.048	182.16	3,110	7,790
	80 - 90	7.79	5.96	1.31	2.26	0.040	141.11	4,010	6,140
	90 - 100	7.82	22.66	1.13	1.94	0.053	145.16	2,038	6,612
S	0 - 10	3.48	5.73	2.64	4.56	0.091	82.21	1,151	6,984
	10 - 20	2.91	10.91	5.40	9.31	0.122	92.19	1,166	13,998
	20 - 30	3.52	10.22	4.97	8.57	0.117	143.08	3,469	10,304
	30 - 40	2.44	20.88	10.84	18.69	0.180	126.57	2,458	24,419
	40 - 50	2.36	24.94	11.78	20.30	0.203	177.09	3,487	40,133
	50 - 60	2.74	29.50	15.86	27.35	0.255	128.01	903	14,356
	60 - 70	4.02	43.68	20.98	36.17	0.287	306.04	1,369	8,739
	70 - 80	4.55	39.26	21.86	37.69	0.266	721.08	4,559	50,376
	80 - 90	3.72	14.46	8.23	14.19	0.129	38.72	1,346	5,801
90 - 100	3.09	9.39	6.00	10.34	0.087	49.55	2,183	4,653	
T	0 - 10	5.79	2.69	0.94	1.62	0.081	115.55	1,303	3,803
	10 - 20	4.62	2.47	0.92	1.59	0.046	44.49	693	2,983
	20 - 30	5.11	5.59	2.00	3.45	0.052	107.76	3,634	9,508
	30 - 40	3.66	5.49	1.92	3.31	0.053	47.72	1,603	6,546
	40 - 50	5.96	5.66	1.94	3.35	0.057	117.30	2,270	7,835
	50 - 60	6.11	6.19	2.19	3.78	0.060	193.72	3,197	12,378
	60 - 70	6.20	6.24	2.06	3.55	0.060	149.38	2,292	8,077
	70 - 80	6.26	6.59	2.29	3.95	0.126	131.21	2,222	10,783
	80 - 90	4.45	5.55	3.06	5.27	0.074	135.55	2,013	5,794
90 - 100	5.46	7.56	3.74	6.45	0.089	171.28	4,383	37,043	
U	0 - 10	5.45	3.08	0.98	1.69	0.092	113.81	1,232	3,405
	10 - 20	5.51	1.82	0.43	0.74	0.034	84.79	886	6,465
	20 - 30	6.23	3.15	0.63	1.08	0.041	283.30	3,131	89,187
	30 - 40	7.10	5.60	0.76	1.32	0.050	261.21	1,925	17,330
	40 - 50	7.35	5.33	0.88	1.52	0.045	276.54	2,027	6,652
	50 - 60	7.74	8.12	0.92	1.59	0.048	210.03	2,206	6,524
	60 - 70	7.82	8.34	0.84	1.45	0.052	147.91	1,308	3,383
	70 - 80	7.98	8.03	0.88	1.52	0.051	240.49	3,112	5,932
<i>Max</i>		7.82	43.68	21.86	37.69	0.69	721.08	8,280	89,187
<i>Min</i>		3.04	0.84	0.14	0.24	0.02	22.62	455	2,354
<i>Mean</i>		4.87	9.78	4.59	7.91	0.12	125.22	2,188	12,996
<i>SD</i>		1.62	8.28	4.60	7.92	0.11	75.99	1,166	12,504

ตาราง ผ. ๒

ผลการวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี นิเกิล  
ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม



ตารางที่ ผ.๒ สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากทะเลน้อยและทะเลหลวง

Station	Depth (cm)	Heavy metals (mg/kg)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
A	0 - 10	16213	140.67	11.43	36.41	18.82	18.94	0.56	22.02
	10 - 20	11659	133.92	10.18	29.08	16.49	17.76	0.49	21.21
	20 - 30	18947	258.97	11.43	36.26	20.84	33.21	0.56	19.56
	30 - 40	26208	502.01	14.30	49.12	27.33	29.63	0.71	24.48
	40 - 50	13218	475.32	14.12	48.62	28.73	29.64	0.78	31.10
	50 - 60	11682	486.09	11.97	43.36	28.39	33.21	0.78	35.27
	60 - 70	9734	268.25	11.96	42.18	30.47	32.00	0.93	31.09
	70 - 80	15400	149.24	12.32	41.37	25.61	29.63	0.71	30.27
	80 - 90	13413	202.85	13.58	45.03	29.78	26.07	0.78	32.77
B	0 - 10	8886	185.81	9.46	56.32	27.34	21.31	0.71	17.10
	10 - 20	10301	138.68	8.22	31.17	17.15	46.30	0.49	23.66
	20 - 30	20740	268.39	8.39	31.17	17.48	23.70	0.49	20.38
	30 - 40	16614	211.78	10.00	41.53	22.53	26.06	0.56	28.61
	40 - 50	16906	178.22	10.35	43.84	25.61	29.63	0.71	33.59
	50 - 60	16663	265.61	10.18	44.36	25.96	27.26	0.71	31.94
	60 - 70	16700	264.43	9.64	43.02	23.21	24.88	0.56	28.61
	70 - 80	14495	315.79	10.36	45.03	25.62	23.69	0.63	31.93
	80 - 90	19846	252.87	11.96	44.34	22.19	23.69	0.49	25.30
	90 - 100	22029	147.64	12.69	40.57	22.88	21.32	0.56	25.31
C	0 - 10	16417	228.57	7.68	40.08	16.48	18.94	0.49	20.38
	10 - 20	16050	251.27	7.50	35.30	14.48	18.93	0.49	20.37
	20 - 30	16531	267.16	7.15	38.30	15.48	21.31	0.49	20.37
	30 - 40	13349	224.58	8.57	39.12	21.18	24.89	0.56	25.31
	40 - 50	15705	240.80	8.04	37.04	17.81	32.02	0.41	22.84
	50 - 60	15472	572.17	7.50	33.90	16.47	33.20	0.41	21.19
	60 - 70	15401	1030.89	9.29	38.44	24.58	39.15	0.71	10.39
	70 - 80	18694	1456.78	9.11	39.09	23.22	42.72	0.63	26.93
	80 - 90	18895	1592.76	9.11	38.93	22.54	40.35	0.63	26.93
	90 - 100	21590	1802.56	8.93	37.79	23.21	41.52	0.71	24.30
D	0 - 10	13574	545.23	10.89	39.73	20.83	21.31	0.63	23.43
	10 - 20	12929	173.86	5.38	18.95	11.86	17.75	0.41	19.07
	20 - 30	8290	109.35	2.73	11.68	9.26	24.88	0.41	18.19
	30 - 40	7008	69.35	0.79	2.46	2.22	15.37	0.19	5.20
	40 - 50	9167	60.00	0.44	2.46	1.91	13.00	0.19	5.21



ตารางที่ ผ.๒ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	Heavy metals (mg/kg)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
D	50 - 60	9657	77.46	0.97	3.64	2.86	14.18	0.19	6.93
	60 - 70	6486	77.13	0.62	3.11	2.22	11.81	0.19	6.07
	70 - 80	12553	342.77	0.44	2.98	2.22	10.62	0.19	6.07
	80 - 90	14632	534.35	0.44	2.46	2.22	11.81	0.19	4.34
E	0 - 10	22019	400.30	7.86	33.22	14.82	21.31	0.49	16.45
	10 - 20	22985	486.09	10.00	35.11	19.49	30.83	0.49	18.20
	20 - 30	23549	534.49	8.39	34.48	15.48	73.69	0.49	18.20
	30 - 40	25525	730.31	6.44	29.84	12.84	29.63	0.27	12.12
	40 - 50	21117	807.36	6.97	31.52	13.50	30.82	0.27	12.98
	50 - 60	20491	757.82	6.97	28.78	13.17	29.63	0.27	13.85
	60 - 70	20374	708.51	6.97	28.33	13.17	29.64	0.19	14.72
	70 - 80	6508	104.85	2.02	5.09	3.49	16.56	0.04	4.34
80 - 90	13944	741.45	9.82	37.16	20.84	27.26	0.41	23.43	
F	0 - 10	6599	183.17	3.43	11.72	5.08	13.00	0.04	6.07
	10 - 20	6755	132.61	3.61	15.23	5.08	16.56	0.04	6.93
	20 - 30	9399	184.06	5.38	15.38	6.36	22.51	0.04	9.52
	30 - 40	14247	2402.94	8.75	20.57	12.18	22.50	0.12	15.15
	40 - 50	10711	295.40	7.68	13.82	8.61	18.94	0.04	11.61
	50 - 60	7477	162.29	4.14	7.43	4.44	20.13	0.00	7.19
	60 - 70	8122	104.49	2.02	4.72	3.17	16.57	0.00	5.42
	70 - 80	21530	752.59	8.57	33.16	17.48	30.83	0.27	20.47
G	0 - 10	10712	253.51	5.20	23.08	7.97	23.69	0.12	10.72
	10 - 20	11388	205.61	6.08	29.88	10.55	28.44	0.19	15.15
	20 - 30	12496	197.29	5.73	27.59	10.23	26.08	0.19	15.16
	30 - 40	13382	200.52	5.38	24.72	9.58	23.70	0.19	14.27
	40 - 50	16249	216.14	5.37	24.86	10.23	23.69	0.27	14.26
	50 - 60	18110	194.44	5.20	24.12	9.26	24.88	0.27	13.38
	60 - 70	14712	144.39	4.49	21.32	7.97	21.32	0.27	11.61
	70 - 80	14045	118.93	4.49	20.28	7.64	20.13	0.19	10.72
	80 - 90	12251	117.03	4.32	19.71	7.32	20.13	0.19	10.73
	90 - 100	10273	76.06	4.14	18.40	6.68	17.75	0.19	8.95
H	0 - 10	24139	109.77	4.67	14.53	5.08	37.97	0.27	22.25
	10 - 20	21257	32.53	3.26	5.53	2.86	17.75	0.12	25.79



ตารางที่ ผ.๒ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	Heavy metals (mg/kg)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
J	0 - 10	12871	244.53	2.20	9.49	4.76	18.95	0.27	6.73
	10 - 20	13976	98.87	2.73	11.82	5.40	20.13	0.27	8.47
	20 - 30	25237	103.36	3.96	16.56	7.97	24.88	0.41	11.09
	30 - 40	12620	133.09	6.62	12.79	9.26	22.51	0.49	14.60
	40 - 50	11218	111.26	7.86	6.92	9.26	26.07	0.56	13.72
	50 - 60	15663	59.30	1.50	2.93	3.81	14.18	0.27	7.60
	60 - 70	17037	369.80	0.79	2.54	3.49	27.26	0.27	10.21
	70 - 80	13812	572.46	0.97	2.36	3.17	24.89	0.19	10.28
	80 - 90	19268	963.45	1.50	3.44	5.08	45.10	0.27	13.80
	90 - 100	21678	768.82	1.67	3.20	5.08	32.01	0.27	13.80
K	0 - 10	18253	158.84	6.97	26.37	10.23	34.39	0.34	14.26
	10 - 20	19525	209.97	6.62	27.74	10.56	35.59	0.34	14.27
	20 - 30	20029	299.85	6.97	31.13	11.54	36.78	0.34	15.16
	30 - 40	20739	480.68	6.44	23.97	9.91	34.39	0.34	12.49
	40 - 50	20801	763.42	6.62	20.26	11.53	35.58	0.34	14.27
	50 - 60	24588	432.45	8.04	22.27	10.88	35.58	0.34	20.47
	60 - 70	26072	1144.38	6.26	11.51	8.29	32.02	0.27	15.15
	70 - 80	24150	1166.67	6.26	12.05	8.28	33.19	0.27	15.08
M	0 - 10	13022	253.44	2.90	11.16	4.76	20.12	0.19	6.78
	10 - 20	13609	220.58	3.08	9.97	5.40	22.50	0.12	8.53
	20 - 30	16056	453.89	2.73	6.39	4.44	22.51	0.19	7.66
	30 - 40	13253	486.16	2.90	8.81	6.36	23.70	0.19	10.28
N	0 - 10	13477	427.10	3.08	12.64	5.40	20.13	0.12	6.78
	10 - 20	14848	208.00	3.61	14.70	6.04	21.31	0.12	7.66
	20 - 30	16290	244.41	4.31	16.25	7.64	23.69	0.27	10.28
	30 - 40	14851	184.95	4.14	17.11	7.32	23.69	0.19	9.41
	40 - 50	15037	169.16	4.32	18.43	7.65	26.08	0.27	10.29
	50 - 60	14853	294.85	4.32	17.98	7.00	26.07	0.19	8.53
	60 - 70	17132	368.62	4.49	19.02	7.65	26.08	0.27	8.53
	70 - 80	16416	301.04	4.49	19.31	7.32	26.07	0.27	8.53
	80 - 90	16047	249.10	4.31	18.41	7.00	27.25	0.27	8.53
	90 - 100	16827	248.68	4.32	19.46	8.29	27.26	0.27	10.28



ตารางที่ ผ.๒ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	Heavy metals (mg/kg)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
O	0 - 10	17035	153.37	6.44	22.25	9.58	30.82	0.34	13.31
	10 - 20	15518	181.85	6.09	20.84	10.56	29.64	0.34	14.20
	20 - 30	14355	231.56	2.73	8.82	7.32	24.88	0.27	13.31
	30 - 40	14428	220.64	2.02	5.24	5.08	22.51	0.19	10.64
	40 - 50	16950	642.81	2.55	5.64	5.08	27.25	0.19	9.75
	50 - 60	17604	480.59	3.78	5.77	7.32	28.44	0.19	65.16
	60 - 70	16297	234.16	2.38	5.38	6.04	24.89	0.19	13.31
P	0 - 10	12902	502.32	3.43	14.94	6.04	21.32	0.12	7.97
	10 - 20	12803	172.11	3.61	15.21	6.04	22.50	0.12	7.96
	20 - 30	14222	299.25	4.14	16.89	6.68	23.70	0.12	8.86
	30 - 40	17837	225.57	4.85	22.13	9.26	28.45	0.19	11.53
	40 - 50	26472	453.92	6.26	31.76	12.52	30.83	0.34	15.98
	50 - 60	22904	714.14	7.86	38.30	16.48	33.21	0.41	22.20
	60 - 70	21527	763.46	8.75	41.99	17.81	33.21	0.49	23.08
	70 - 80	24589	813.11	9.11	38.29	16.15	30.83	0.41	21.31
80 - 90	21945	807.28	9.10	37.96	16.81	29.63	0.41	22.18	
Q	0 - 10	18111	400.38	8.93	23.57	8.29	33.20	0.27	10.64
	10 - 20	18302	303.60	5.55	24.60	9.26	33.21	0.27	11.53
	20 - 30	17125	276.38	6.09	27.24	10.56	32.02	0.34	14.20
	30 - 40	15633	220.17	6.44	25.77	12.52	30.84	0.41	15.09
	40 - 50	21316	583.02	7.86	28.32	15.48	27.25	0.49	17.75
	50 - 60	16959	594.19	8.75	30.86	16.15	29.65	0.49	19.54
	60 - 70	15219	518.45	9.29	34.64	18.15	29.64	0.49	23.08
	70 - 80	18156	583.03	9.28	31.59	16.47	30.82	0.49	19.00
	80 - 90	17568	681.32	9.11	30.56	16.48	30.84	0.49	19.89
90 - 100	14921	469.88	8.75	28.91	16.14	28.44	4.87	19.00	
R	0 - 10	11596	244.50	3.26	8.88	6.04	21.32	0.27	6.75
	10 - 20	11916	216.65	3.61	12.73	6.36	21.31	0.27	7.62
	20 - 30	11247	219.61	3.79	14.62	7.32	22.50	0.27	8.49
	30 - 40	12248	315.77	3.79	15.98	8.29	22.50	0.27	10.24
	40 - 50	19681	3848.70	7.15	28.76	15.15	30.82	0.49	18.12
	50 - 60	18788	1760.12	7.86	32.19	16.47	32.01	0.41	19.88
	60 - 70	19408	1924.51	8.21	34.47	17.47	34.38	0.41	22.52



ตารางที่ ผ.๒ (ต่อ)

Station	Depth (cm)	Heavy metals (mg/kg)							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
R	70 - 80	25714	1808.27	8.21	34.62	17.80	33.19	0.49	22.52
	80 - 90	20018	1741.93	7.68	32.04	15.48	32.01	0.41	19.88
	90 - 100	20865	1851.61	8.04	32.96	16.81	33.21	0.49	19.89
S	0 - 10	12462	200.96	5.38	19.02	8.61	22.51	0.19	11.11
	10 - 20	17827	297.77	6.97	25.68	12.84	28.44	0.41	15.49
	20 - 30	12553	373.73	6.79	26.56	13.50	32.01	0.34	17.25
	30 - 40	17254	480.68	8.22	31.00	16.48	33.20	0.49	18.13
	40 - 50	26255	518.20	9.46	48.78	22.53	39.14	0.63	19.88
	50 - 60	26460	846.03	11.78	49.79	22.19	32.00	0.63	21.64
	60 - 70	13875	840.70	8.75	31.90	14.16	20.13	0.49	16.37
	70 - 80	12125	763.25	8.21	15.70	11.53	20.12	0.49	14.61
	80 - 90	12402	286.96	8.04	28.03	17.48	35.59	0.56	26.95
	90 - 100	12803	226.53	7.86	28.32	15.48	34.39	0.41	22.53
T	0 - 10	11858	469.92	3.79	17.13	6.68	18.94	0.19	8.47
	10 - 20	13058	432.48	5.73	15.44	7.00	18.94	0.19	8.47
	20 - 30	20801	952.22	7.15	24.95	12.19	29.64	0.27	13.72
	30 - 40	19414	1036.56	7.86	28.70	13.50	29.64	0.34	16.36
	40 - 50	17792	1025.46	8.57	31.14	14.82	33.21	0.27	19.02
	50 - 60	19572	1036.35	8.39	30.98	14.82	34.39	0.34	18.12
	60 - 70	18439	935.00	8.03	28.68	13.82	33.19	0.34	17.24
	70 - 80	17788	862.92	8.39	29.61	13.83	33.20	0.34	17.24
	80 - 90	19103	648.54	8.22	27.50	13.50	33.21	0.41	17.25
90 - 100	18991	653.68	10.18	28.24	14.16	33.20	0.49	17.24	
U	0 - 10	7870	539.71	4.14	21.57	7.64	18.93	0.27	9.34
	10 - 20	8071	453.83	2.90	11.40	5.72	13.00	0.27	6.73
	20 - 30	14527	604.75	4.84	21.14	10.23	20.12	0.34	13.72
	30 - 40	23079	1346.16	8.04	34.09	16.48	32.03	0.49	21.68
	40 - 50	23930	1328.64	8.04	34.87	16.15	32.02	0.49	21.68
	50 - 60	14783	1242.10	7.51	33.62	16.15	29.65	0.49	21.68
	60 - 70	25536	1242.00	8.22	37.57	17.48	33.21	0.49	23.46
	70 - 80	24472	1190.13	7.86	36.13	16.81	32.02	0.49	22.57
<i>Max</i>		26472	3848.70	14.30	56.32	30.47	73.69	4.87	65.16
<i>Min</i>		6486	32.53	0.44	2.36	1.91	10.62	0.00	4.34
<i>Mean</i>		16362	517.44	6.48	24.64	12.48	27.09	0.39	16.29
<i>SD</i>		4800	512.47	3.06	12.68	6.77	7.81	0.40	7.98