การปนเปื้อนของโลหะหนัก Al As Cu Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต

ธงชัย สุธีรศักดิ์ [1*]

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กะทู้ ภูเก็ต 83120

และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ [2]

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

รับเมื่อ 16 มกราคม 2551 ตอบรับเมื่อ 23 กรกฎาคม 2551

บทคัดย่อ

จากค่าความเข้มข้นโลหะหนัก Al As Cu Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) มีค่อนข้างมากมีค่าอยู่ในช่วง 28,945 ถึง 99,961 มก./กก. และ 6,427 ถึง 55,568 มก./กก. ตามลำดับ รองลงมาคือ ดีบุก (Sn) และตะกั่ว (Pb) มีค่าอยู่ในช่วง 471 ถึง 15,174 มก./กก. และ 17 ถึง 113 มก./กก. ตามลำดับ โดยพบการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวในดินตะกอนจากคลองบางใหญ่มากกว่าพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง แต่จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ไม่ถือว่าเป็นการปนเปื้อนที่น่าตื่นตระหนก ในพื้นที่ดังกล่าว แมงกานีส (Mn) มีค่าอยู่ในช่วง 371 ถึง 1,773 มก./กก. ส่วนโลหะหนักที่เหลืออยู่ในเกณฑ์ที่ไม่พบการปนเปื้อนในธรรมชาติ โลหะหนักทั้งหมดมาจากการพัดพาของดินตะกอนท้องน้ำที่มาจากวัสดุธรรมชาติและดินตะกอนจากการทำเหมืองแร่ในอดีตมาสะสมตัวในพื้นที่ต่างๆ ของคลอง

คำสำคัญ : โลหะหนัก / ดินตะกอนท้องน้ำ / การปนเปื้อน / จังหวัดภูเก็ต

[1] *อาจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม*

[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์*

**ผู้รับผิดชอบบทความ E-mail : thongchai@phuket.psu.ac.th*

Contamination of Heavy Metals Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn and Fe in Sediment from Bang-Yai River in Phuket Province

Thongchai Suteerasak [1*]

Prince of Songkla University, Katoo, Phuket 83120

and Tripop Bhongsuwan [2]

Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90112

Received 16 January 2008 ; accepted 23 July 2008

Abstract

From the concentrations of heavy metals Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn and Fe in bottom sediment from Bang-Yai river and the catchment Bang-Yai river in Phuket Province, Al and Fe were found in higher concentrations, the range were 28,945-99,961 and 6,427-55,568 mg/kg respectively. Sn and Pb were found in the range of 471-15,174 mg/kg and 17-113 mg/kg respectively. These metals were strongly polluted and found higher concentration of element from Bang-Yai river than the catchment Bang-Yai river but the distribution was uncritical. Mn was found in the range of 371-1,773 mg/kg. The other heavy metals were found less concentration and unpolluted than in nature. All these heavy metals came from carried bottom sediment of natural materials and activities from Tin mines, was deposited in the river.

Keywords : Heavy Metal / Bottom Sediment / Contamination / Phuket Province

1 *Lecturer, Faculty of Technology and Environment.*

2 *Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science.*

* *Corresponding author E-mail : thongchai@phuket.psu.ac.th*

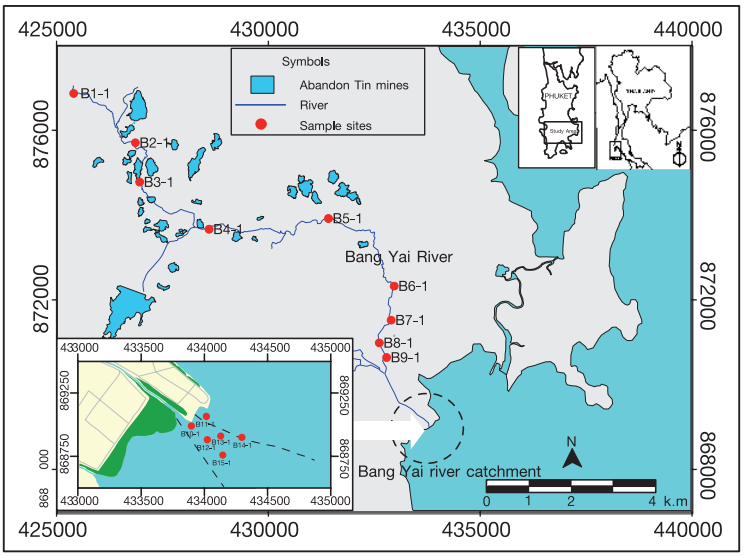
1. บทนำ

ดินตะกอนท้องน้ำในแม่น้ำลำคลองโดยทั่วไปมาจากการกัดเซาะ การผุพังสลายตัวของผิวดินและวัสดุธรรมชาติรอบๆ พื้นที่ดังกล่าว รวมกับสารแขวนลอยที่มากับน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนในบริเวณใกล้เคียงพัดพามาสะสมตัวตามบริเวณต่างๆ ในแม่น้ำลำคลอง โดยโลหะหนักต่างๆ มักจะถูกพัดพามาสะสมตัวร่วมกับดินตะกอนท้องน้ำ งานวิจัยนี้จะศึกษาปริมาณธาตุโลหะหนักทั่วไปของดินตะกอนท้องน้ำในคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากคลองบางใหญ่ เนื่องจากในอดีตคลองดังกล่าวเป็นจุดรองรับน้ำทิ้งบางส่วนจากกิจกรรมชุมเหมืองดีบุกประกอบกับเป็นคลองที่รองรับและระบายน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลจากกิจกรรมต่างๆ ของชุมชนอำเภอเมืองและอำเภอกะทู้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน [1] โดยน้ำเสียดังกล่าวจะระบายลงสู่พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ในอ่าวภูเก็ตจึงอาจพบโลหะหนักบางชนิดสะสมตัวอยู่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันในพื้นที่ดังกล่าว ปริมาณธาตุโลหะหนัก Al, As, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำ อาศัยการตรวจวัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP ที่สามารถตรวจหาความเข้มข้นโลหะหนักที่มีอยู่ค่อนข้างน้อยได้ดีดังที่ Ghrefat และ Yushf [2] ใช้เทคนิคทางเคมีตรวจวัดโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำจากฝาย Wadi Al-Arab ภายในประเทศจอร์แดน โดยพบ Fe, Mn, Cu, Cd และ Zn อยู่ในช่วง 7.78 ถึง 15.70 มก./ก., 0.24 ถึง 0.81 มก./ก., 0.02 ถึง 0.15 มก./ก., 0.006 ถึง 0.013 มก./ก. และ 0.21 ถึง 0.96 มก./ก. ตามลำดับ C.C.M. Ip และคณะ [3] ตรวจวัดความเข้มข้นโลหะหนัก Co, Cr, Cu, Pb, Zn และ Ni ในดินตะกอนจากปากแม่น้ำ Pearl และรอบๆ ชายฝั่งที่อยู่ติดกับปากแม่น้ำดังกล่าว พบความเข้มข้นโลหะหนัก ดังกล่าวอยู่ในช่วง 7.4 ถึง 2.4 มก./กก., 33.8 ถึง 135 มก./กก., 6.2 ถึง 100 มก./กก., 16.0 ถึง 96.3 มก./กก., 55.1 ถึง 268 มก./กก. และ 10.6 ถึง 54.1 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนโลหะหนักจากพื้นที่รอบปากแม่น้ำดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 4.49 ถึง 15.9 มก./กก., 20.3 ถึง 84.5 มก./กก., 2.71 ถึง 49.1 มก./กก., 4.6 ถึง 73.8 มก./กก., 32.2 ถึง 161 มก./กก. และ 13.9 ถึง 48.5 มก./กก. ตามลำดับ และจากงานของ ธงชัยและไตรภพ [4] ที่ใช้เทคนิคเดียวกันนี้หาความเข้มข้นโลหะหนัก As, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำจากขุมเหมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ตเพื่อศึกษาปริมาณและแหล่งที่มาของโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำและความสัมพันธ์กับแหล่งที่มาของโลหะหนักดังกล่าว ซึ่งแหล่งที่มาของโลหะหนักโดยมากจะมาจากวัสดุธรรมชาติที่ถูกขุดขึ้นมาจากการทำกิจการ เหมืองแร่รอบๆพื้นที่ดังกล่าว

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำผลของปริมาณธาตุมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้เปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นเชิงกายภาพในสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานวิจัยการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต มีวัตถุประสงค์หลักคือการวิเคราะห์หาปริมาณ Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe ที่สะสมในดินตะกอนท้องน้ำ รวมทั้งศึกษาลักษณะการกระจายของโลหะหนักดังกล่าว นำไปสู่การวิเคราะห์ผลและการประเมินถึงพิษภัยและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งระบุที่มาของโลหะหนักที่พบในดินตะกอนท้องน้ำว่ามาจากสาเหตุใดและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบพื้นที่ดังกล่าวหรือไม่ โดยอาศัยการเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานกับสภาพทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาประกอบร่วมกับค่าดัชนีชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม

2. ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

คลองบางใหญ่มีความยาวประมาณ 8,000 ม. ตั้งอยู่บริเวณตอนล่างของจังหวัดภูเก็ตในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้ จรดเขตอำเภอเมืองสิ้นสุดที่ทะเลบริเวณอ่าวภูเก็ต ดังรูปที่ 1 ต้นน้ำของคลองบางใหญ่มาจากน้ำตกกะทู้ และลำห้วยเล็กๆ รวมกับน้ำบางส่วนที่ระบายมาจากเขื่อนบางวาด ผ่านทางคลองบางวาดในอำเภอกะทู้ นอกจากนี้มีน้ำทิ้งที่มาจากบ้านเรือนและชุมชนเมืองขนาดเล็กและใหญ่ที่อาศัยอยู่กระจัดกระจายใกล้กับพื้นที่ที่คลองบางใหญ่ผ่านไปสิ้นสุดที่พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ก่อนลงสู่อ่าวภูเก็ต ในส่วนของพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่มีลักษณะเป็นปากแม่น้ำที่มีหาดทรายผสมกับที่ราบลุ่มชายฝั่งสลับกับป่าชายเลน หรือป่าโกงกางที่มีน้ำท่วมถึงยาวออกไปจรดอ่าวภูเก็ตในทิศตะวันออกเฉียงใต้ [1]



รูปที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างของคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่จังหวัดภูเก็ต

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

พื้นที่ศึกษาทั้งหมดแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ พื้นที่ภายในคลองบางใหญ่ตลอดสายที่มีน้ำหมุนเวียนไหลลงคลองอยู่ตลอดเวลา และพื้นที่รองรับน้ำจากคลองบางใหญ่ที่มีน้ำบางส่วนหมุนเวียนมาปะปนกับน้ำที่สะสมตัวในพื้นที่ดังกล่าว ตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำถูกเก็บในช่วงปี 2546-2547 เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่จังหวัดภูเก็ตมีฤดูร้อนที่ยาวนานผิดปกติส่งผลให้ระดับน้ำในคลองลดระดับลงต่ำที่สุดเหมาะกับการเก็บดินตะกอนท้องน้ำจากพื้นที่ภายในลำคลองโดยอาศัยเครื่องเก็บดินตะกอนท้องน้ำชั้นบนสุดจากบนสะพานข้ามคลอง ส่วนพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่อาศัยการเก็บดินตะกอนจากบนเรือ ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องวัดพิกัดดาวเทียม GPS (Garmin รุ่น etrex) โดยกำหนดให้แต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1 ดินตะกอนท้องน้ำที่เก็บได้ทั้งหมดจะถูกนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนแยกขนาดซึ่งทำด้วยเหล็กไร้สนิม (Retsch, Germany) เป็น 4 ช่วงขนาดเม็ดตะกอนคือ เล็กกว่า 75 ไมครอน 75 ถึง 106 ไมครอน 106 ถึง 150 ไมครอน และ 150 ถึง 300 ไมครอน เพื่อนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นจากการย่อยดินตะกอนตัวอย่างเป็นสารละลายด้วยกรด โดยการนำดินตะกอน 200 มก. มาเติมสาร aqua regia [5] 1 มล. และเติมกรด HF ร้อยละ 40 (Merck, Germany) 5 มล. ย่อยที่อุณหภูมิ 98-100 °C

เมื่อตะกอนละลายหมด เติมสารละลาย H_3BO_3 50 มล. (Merck, Germany) พร้อมเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล. นำตัวอย่างดินตะกอนในรูปของสารละลายนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES (Perkin Elmer รุ่น 4300DV) เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก โดยพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่อง ICP-AES ด้วยตัวอย่างมาตรฐาน IAEA SL-1 เพื่อคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวม (% recovery) ของธาตุโลหะหนักช่วยในการหาความเข้มข้นโลหะหนักที่แท้จริงเช่นเดียวกับที่ธงชัยและไตรภพ [4] นำผลจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง ICP-AES มาเปรียบเทียบหาความเข้มข้นที่แท้จริง

3.2 การวิเคราะห์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำ

ผลความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอนท้องจะถูกนำมาแยกศึกษาเป็น 3 ส่วนคือ วิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่พบในวัสดุธรรมชาติทั่วไป วัสดุธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต และจากพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนัก ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอน เริ่มจากการเลือกธาตุโลหะหนักมาเป็นธาตุอนุรักษ์ [6-7] ใช้อ้างอิงการสร้างกราฟระหว่างโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอนุรักษ์ โดยเกณฑ์ที่กำหนดว่าความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นโลหะหนักที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติไม่ควรเกินช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ เมื่อ $S_{y/x}$ [7] คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ออกจากเส้นตรงที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น [6] ค่าที่เกินช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ จัดว่าเป็นค่าความผิดปกติเชิงภูมิภาคที่อาจมีความเกี่ยวพันกับกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนที่สามเป็นการประเมินด้วยค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index, Igeo) จากสมการ [1, 8]

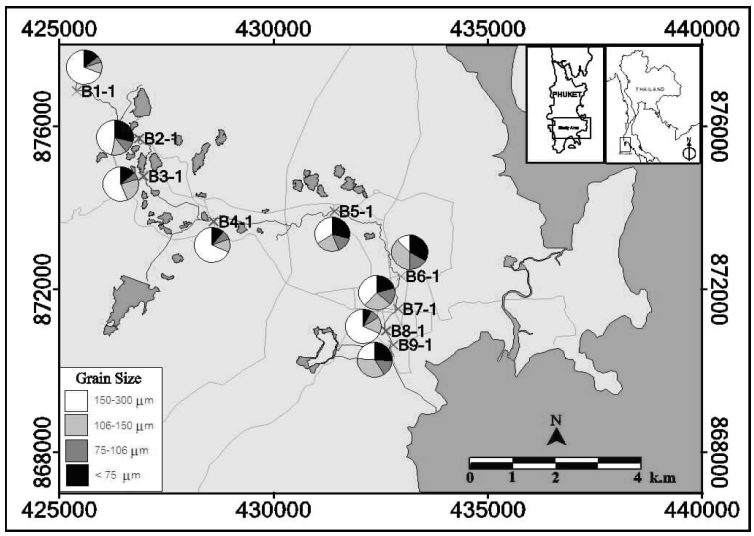
$$\mathrm{Igeo} = \log_2\left[\frac{C_n}{1.5B_n}\right]$$

เมื่อ C_n เป็นความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอนตัวอย่าง และ B_n เป็นความเข้มข้นโลหะหนักแต่ ละชนิดในวัสดุธรรมชาติพื้นที่ดังกล่าว (หินแกรนิต) [9] การวิเคราะห์ความรุนแรงของการปนเปื้อนอาศัยเกณฑ์เดียวกับที่ใช้ในงานของธงชัยและไตรภพ [4] และ Herr และ Gray [8] และ Ghrefat และ Yusuf [2] คือ Igeo มีค่าเท่ากับ 0 (ไม่ปนเปื้อน) 1 (ไม่ปนเปื้อนหรือปนเปื้อนไม่รุนแรง) 2 (ปนเปื้อนไม่รุนแรง) 3 (ปนเปื้อนไม่รุนแรงหรือปนเปื้อนรุนแรง) 4 (ปนเปื้อนรุนแรง) 5 (ปนเปื้อนรุนแรงหรือปนเปื้อนรุนแรงมาก) และ 6 (ปนเปื้อนรุนแรงมาก)

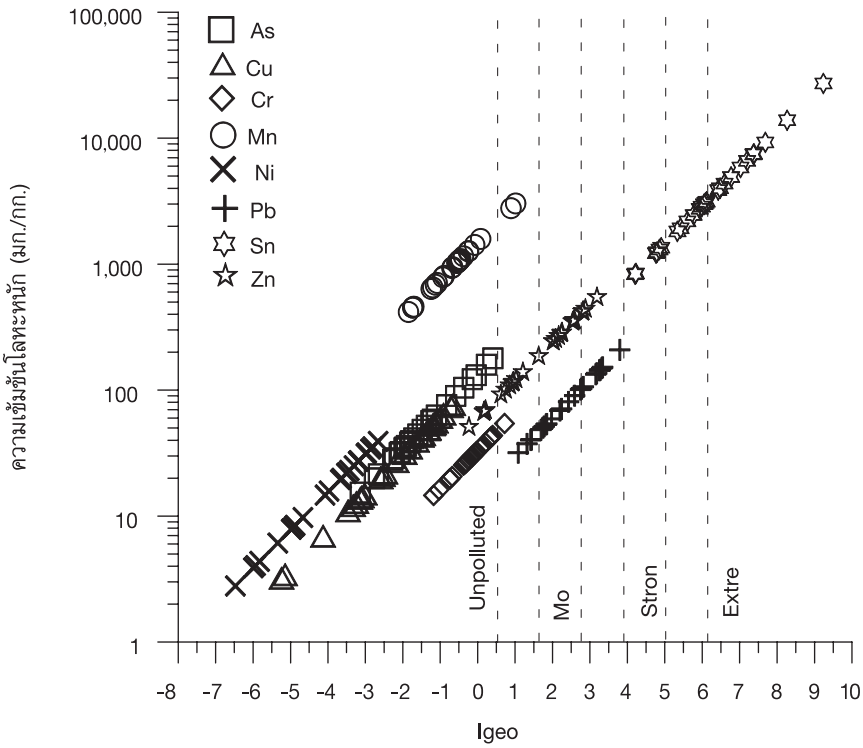
4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 สัดส่วนของขนาดเม็ดตะกอนในดินตะกอนท้องน้ำ

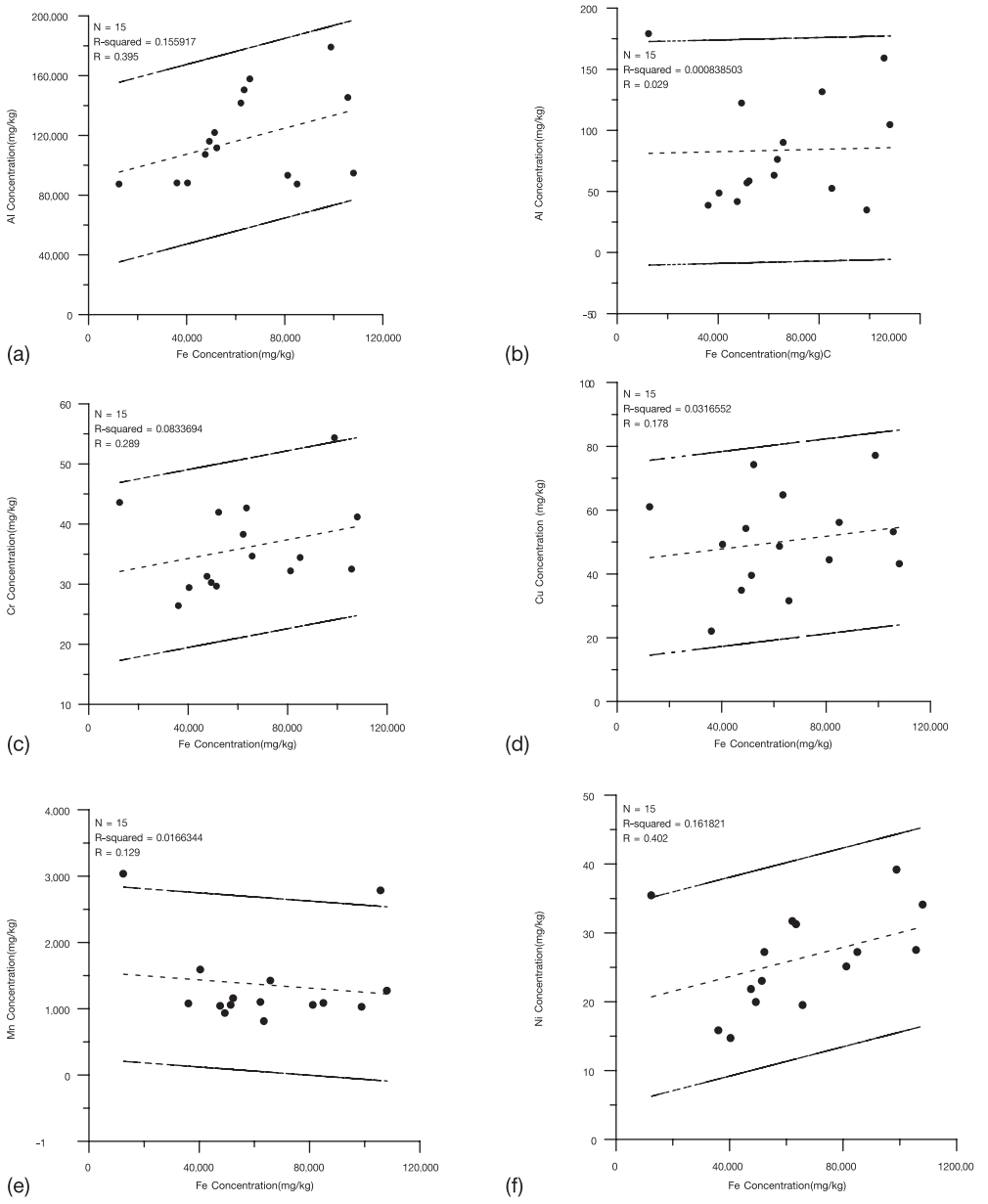
ดินตะกอนท้องน้ำที่เก็บมาประกอบด้วยทราย (Sand) ตะกอนดิน (Silt) และดินเหนียว (Clay) เมื่ออบแห้งและคัดแยกขนาดเป็น 4 ขนาด เม็ดตะกอนที่ไม่นับขนาดเม็ดตะกอนที่ใหญ่กว่า 300 ไมครอน เนื่องจากขนาดเม็ดตะกอนดังกล่าวจะเป็นพวกกรวดทรายขนาดใหญ่ไม่สามารถถูกพัดพาได้โดยน้ำจึงไม่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ เมื่อนำมวลของตะกอนทั้ง 4 ขนาดมาคำนวณหาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์โดยมวลของขนาดเม็ดตะกอนเปรียบเทียบกับสภาพภูมิศาสตร์ของคลองบางใหญ่ได้ผลดังรูปที่ 2 พบว่าจำนวนดินตะกอนขนาดใหญ่กว่า 150 ไมครอนมีจำนวนค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาสัดส่วนเม็ดตะกอนขนาดที่เหลือเทียบกับตำแหน่งต่างในรูปที่ 2 พบว่าตะกอนขนาด 106 ไมครอนจนถึงขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน จัดได้ว่าเป็นตะกอนเบามีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากตำแหน่งใกล้ๆ กับต้นน้ำ โดยบริเวณต้นน้ำจะพบดินตะกอนขนาดเล็กน้อยมากๆ และมีบางพื้นที่ช่วงท้ายคลองที่มีดินตะกอนขนาดเล็กน้อยมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีกระแสน้ำค่อนข้างแรงประกอบกับมีการระบายเข้า-ออกของน้ำค่อนข้างดีทำให้ดินตะกอนขนาดดังกล่าวถูกพัดพาไปมาก แต่เมื่อพิจารณาช่วงปลายของคลองบางใหญ่พบดินตะกอนเบาดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงบ้างในบางตำแหน่ง น่าจะเป็นผลมาจากปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งกับทะเลที่ส่งผลให้พบปริมาณดินตะกอนขนาดเล็กมีปริมาณที่เพิ่มหรือลดลงไม่แน่นอนในพื้นที่ใกล้กับปากคลองบางใหญ่



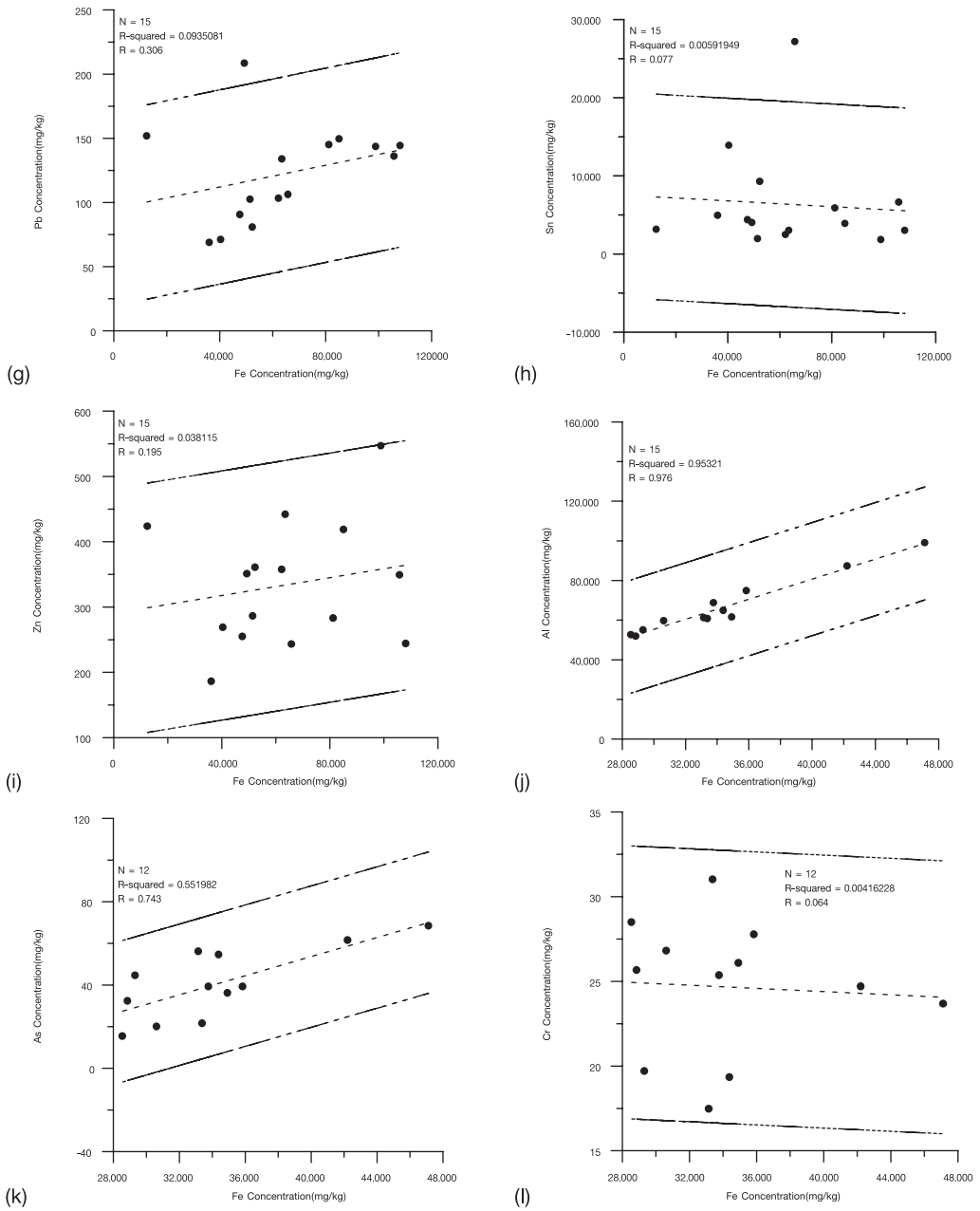
รูปที่ 2 สัดส่วนของขนาดของเม็ดดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่แสดงผลเชิงภูมิศาสตร์



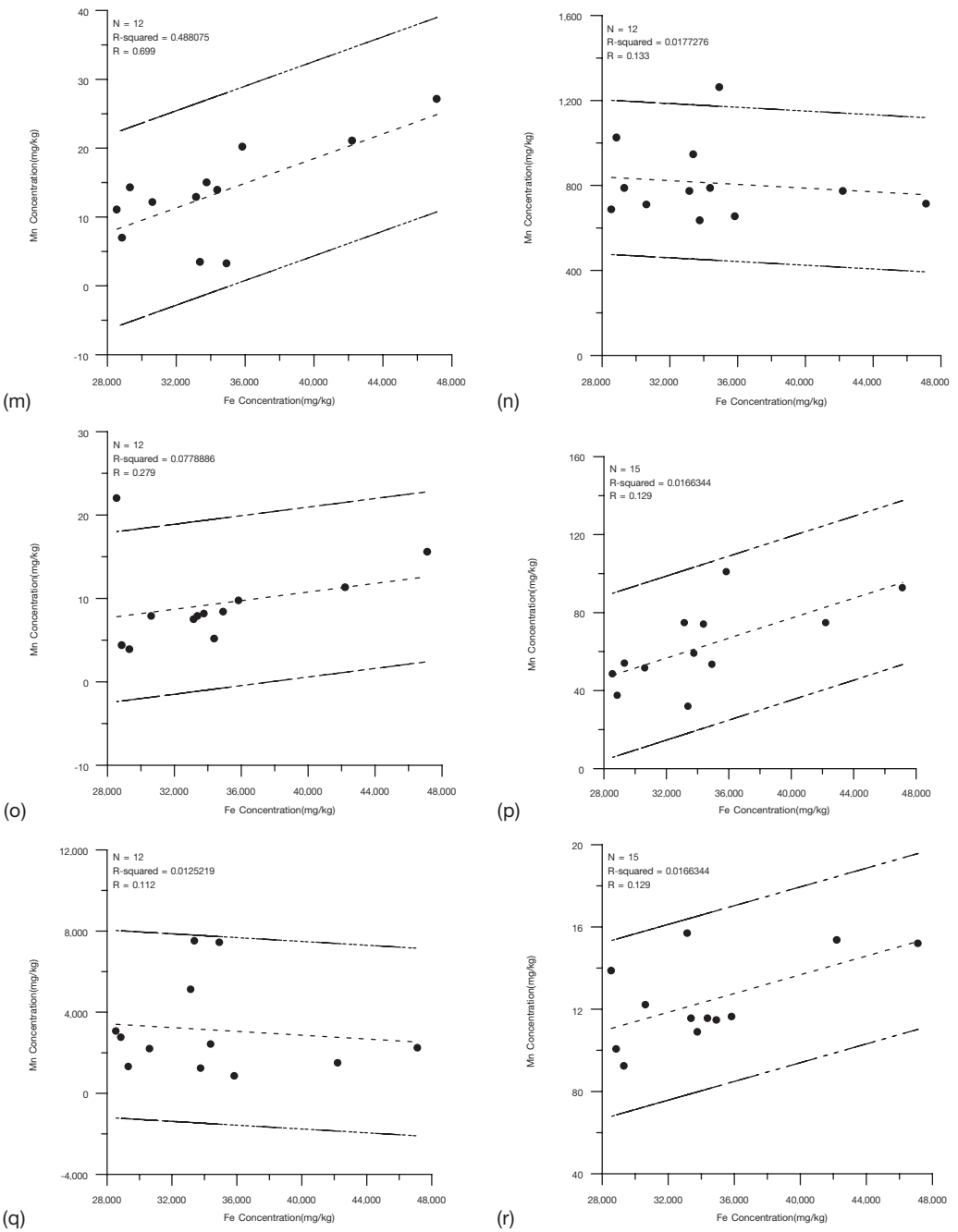
รูปที่ 3 กราฟความเข้มข้นโลหะหนักกับค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี (Igeo) จำแนกความรุนแรงของการปนเปื้อน [10]



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของความเข้มข้น Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn และ Zn ร่วมกับความเข้มข้น Fe เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอน [6]
รูป (a)-(i) เป็นตัวอย่างจากคลองบางใหญ่ (j)-(r) เป็นตัวอย่างจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่



รูปที่ 4 (ต่อ) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของความเข้มข้น Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn และ Zn ร่วมกับความเข้มข้น Fe เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอน [6]
รูป (a)-(i) เป็นตัวอย่างจากคลองบางใหญ่ (j)-(r) เป็นตัวอย่างจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่



รูปที่ 4 (ต่อ) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของความเข้มข้น Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sn และ Zn ร่วมกับความเข้มข้น Fe เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอน [6]
รูป (a)-(i) เป็นตัวอย่างจากคลองบางใหญ่ (j)-(r) เป็นตัวอย่างจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นโลหะหนัก (มก./กก.) ที่มาจากพื้นที่ศึกษา รวมถึงวัสดุธรรมชาติอื่นและดินตะกอนที่พบการปนเปื้อน

Metal	Sample Number	Range	Average	Standard Deviation	Average in Igneous Rock	Average in Sedimentary Rock	Average in General Soil	Granite Rock in Phuket Province	Sediment in Phuket Province	Contamination in bottom sediment from river and lake
Al	48	48,737-99,961[a] 28,945-55,294[b]	65,839[a] 37,089[b]	16,084[a] 7,972[b]	-	-	41,000[g]	-	-	-
As	48	18-92[a] 8-35[b]	43[a] 21[b]	23[a] 9[b]	2[c]	7[c]	5[c]	> 94[d]	20-160[d]	97-597[f] 14-490[g]
Mn	48	473-1,773[a] 371-738[b]	795[a] 475[b]	384[a] 106[b]	950[c]	670[c]	850[c]	2101[d]	1000[d]	555-1,500[g] 893-3,304[f]
Cr	48	22-45[a] 15 -26[b]	30[a] 21[b]	6[a] 3[b]	100[c]	160[c]	200[c]	> 107[d]	22[d]	8-4,000[c]
Cu	48	12-44[a] 2-15[b]	28[a] 8[b]	9[a] 4[b]	55[c]	57[c]	20[c]	< 10[d]	> 81[d]	50-500[c] 102-305[f]
Ni	48	8-21[a] 2-12[b]	14[a] 5[b]	4[a] 3[b]	-	-	25-50[c]	> 2000[d]	> 165[d]	6-5,300[c] 62-173[f]
Pb	48	37-113[a] 17-55[b]	66[a] 34[b]	21[a] 11[b]	12[c]	20[c]	10[c]	20-160[d]	0-20[d]	29-3,600[c] 39-126[f]
Sn	48	1,016-15,174[a] 471-4,192[b]	3,546[a] 1,784[b]	3,671[a] 1,292[b]	2[c]	7[c]	5[c]	> 2000[d]	0-30[d]	-
Zn	48	82-242[a] 41-69[b]	42[a] 55[b]	148[a] 9[b]	70[c]	80[c]	50[c]	> 190[d]	< 80[d]	91-49,000[c] 367-1,079[f]
Fe	48	6,427-55,568[a] 14,670-24,214[b]	32,917[a] 17,647[b]	14,022[a] 2,828[b]	-	-	-	-	-	53,100-63,800[f]

[a]คลองบางใหญ่ [b]พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ [c]ศุภมาศ พานิชศักดิ์พัฒนา [11] [d]Garson et al. [9] [e] Petrovsky′ *et al.* (Nechranice Lake) [12] [f]Osan *et al.* (Tisza river) [13] [g]Ščančar et al.[16]

4.2 ความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจวัดในดินตะกอนท้องน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนัก Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำขนาดเล็กกว่า 106 ไมครอน (ตารางที่ 1 และ 2) เปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานจากพื้นที่ศึกษาและอาศัยเกณฑ์ที่ใช้บอกขีดจำกัดของความเป็นพิษเนื่องจากโลหะหนักของดินตะกอนในตารางที่ 1 และผลการวิเคราะห์การปนเปื้อน (ใช้โลหะหนัก Fe เป็นธาตุอนุรักษ์ [7]) ดังรูปที่ 4 และค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี I_{geo} จากรูปที่ 3 มีผลดังนี้

4.2.1 อะลูมิเนียม (Al) ความเข้มข้นโลหะหนัก Al บริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.18 ถึง 9.89 (หรือ 28,945 ถึง 55,294 มก./กก.) อยู่ในระดับเดียวกับที่พบในงานของ Manjunatha and Shankar [14] ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนจาก Mangalore ซึ่งเป็นพื้นที่รองรับน้ำทิ้งจากแม่น้ำด้านตะวันตกของประเทศอินเดีย (อยู่ในช่วงร้อยละ 3.05 ถึง 9.8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.9) ในตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของ Al อยู่ในช่วงร้อยละ 8.72 ถึง 17.89 (หรือ 48,737 ถึง 99,961 มก./กก.) ซึ่งมีค่ามากกว่าที่พบในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่มาก แต่ยังไม่จัดอยู่ในระดับที่มีการปนเปื้อนอย่างรุนแรงแต่เป็นผลที่อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงจากที่พบในดินทั่วไป (ตารางที่ 1 [16]) และผลของข้อมูลโลหะหนักโดยมากอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (รูปที่ 4a และ 4j) โลหะหนัก Al มีปริมาณที่มากที่สุดในบรรดาโลหะหนักที่พบ โดยปกติธาตุ Al เป็นธาตุที่พบมากในดินและหิน ความเข้มข้นที่พบในระดับนี้ไม่จัดว่าเป็นสารมลพิษ การปนเปื้อนของธาตุนี้เกิดขึ้นได้เมื่อความเข้มข้นอยู่ในระดับที่สูงกว่าธรรมชาติมากๆ [11]

4.2.2 เหล็ก (Fe) ความเข้มข้นโลหะหนัก Fe ในคลองบางใหญ่อยู่ในช่วง 6,427 ถึง 55,568 มก./กก. ในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่อยู่ในช่วง 14,670 ถึง 24,214 มก./กก. ความเข้มข้น Fe ที่พบภายในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน (มีค่าเฉลี่ย 17,647±2,828 มก./กก.) ต่างจากที่พบในคลองบางใหญ่ซึ่งมีการกระจายของค่าความเข้มข้น Fe ค่อนข้างมาก (มีค่าเฉลี่ย 32,917±14,022 มก./กก.) เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองพื้นที่พบว่าในคลองบางใหญ่พบความเข้มข้นโลหะหนัก Fe ค่อนข้างมากกว่าพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง แต่น้อยกว่า Fe ที่พบจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าว(ตารางที่ 1) เนื่องจากวัสดุธรรมชาติในพื้นที่รอบคลองบางใหญ่มี Fe เป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก [9] Fe เป็นจุลธาตุพื้นฐานที่พบได้ค่อนข้างมากในธรรมชาติในรูปของสารประกอบ Fe^{2+} และ/หรือ Fe^{3+} [11] ดังนั้นโลหะหนัก Fe ที่พบในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่โดยมากน่าจะมาจากการผุพังของวัสดุธรรมชาติ เช่นแร่เหล็กจำพวกแมกนีไทต์และฮีมาไทต์ที่ปะปนในวัสดุธรรมชาติจำพวกดิน ศิลาแลง แร่ดินเหนียว [15] และในหินแกรนิต รวมกับแร่ดินเหนียว พัดพามาสะสมตัวที่ตำแหน่งต่างๆในคลองบางใหญ่

4.2.3 สารหนู (As) ความเข้มข้นโลหะหนัก As ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 18 ถึง 92 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 43±23 มก./กก.) และ 8 ถึง 35 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 21±9 มก./กก.) ตามลำดับ หากเทียบกับปริมาณจุลธาตุ As ในหินอัคนี หินตะกอน ดินทั่วไป และวัสดุในพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 1) พบว่าในดินตะกอนตัวอย่างมี As สูงกว่าในวัสดุธรรมชาติทั่วไป แต่ต่ำกว่าในวัสดุธรรมชาติของจังหวัดภูเก็ตและพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของ As ค่อนข้างมาก (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองพื้นที่พบว่าดินตะกอนจากคลองบางใหญ่มี As ที่มากกว่าพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง As ที่พบในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่น่าจะมาจากการสะสมตัวของ As ที่มาจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ในอดีตและสารฆ่าศัตรูพืชในดินตะกอนท้องน้ำ รวมทั้ง As ที่มาจากวัสดุธรรมชาติ จากค่า $I_{geo} < 0.5$ (รูปที่ 3) และผลของข้อมูลโลหะหนักโดยมากอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (รูปที่ 4b และ 4k) (ยกเว้นตัวอย่าง B9-1 ขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอน อาจมีปัจจัยจากกิจกรรมของมนุษย์มาเป็นตัวแปรเสริม) ดังนั้น As ในดินตะกอนนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก

4.2.4 โครเมียม (Cr) ความเข้มข้นโลหะหนัก Cr ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 22 ถึง 45 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 30±6 มก./กก.) และ 15 ถึง 26 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 21±3 มก./กก.) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของจุลธาตุ Cr ในดิน ในวัสดุธรรมชาติทั่วไปและจังหวัดภูเก็ต รวมทั้งพื้นที่ที่มีการปน

เปื้อนของโลหะหนัก Cr (ตารางที่ 1) พบว่าตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาทั้งสองมีความเข้มข้น Cr ต่ำกว่ามากและมีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกับที่พบจากดินตะกอนในจังหวัดภูเก็ต จากรูปที่ 3 ค่า I_{geo}< 1 และผลของข้อมูลเกือบทั้งหมด (ยกเว้นตัวอย่าง B2-1 ขนาด <75 ไมครอน อาจมีปัจจัยจากกิจกรรมของมนุษย์มาเป็นตัวแปรเสริม) ตกอยู่ในช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ (รูปที่ 4c และ 4l) นั่นคือโลหะหนัก Cr ในดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวน่าจะมาจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งปราศจากการปนเปื้อนของ Cr ในดินตะกอนดังกล่าว

4.2.5 ทองแดง (Cu) ความเข้มข้นโลหะหนัก Cu ของดินตะกอนในคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 12 ถึง 44 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28±9 มก./กก.) และ 2 ถึง 15 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 8±4 มก./กก.) ตามลำดับ หากนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับผลความเข้มข้นโลหะหนัก Cu จากวัสดุธรรมชาติทั่วไปและภายในจังหวัดภูเก็ต รวมถึงดินตะกอนจากพื้นที่ซึ่งพบปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนัก (ตารางที่ 1) พบว่าดินตะกอนจากพื้นที่ศึกษามีความเข้มข้น Cu ในระดับที่ใกล้เคียงกับวัสดุธรรมชาติและวัสดุในพื้นที่ แต่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของ Cu จากรูปที่ 3 ค่า I_{geo}< 0 และผลของข้อมูลทั้งหมดตกอยู่ในช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ (รูปที่ 4d และ 4m) นั่นคือโลหะหนัก Cu ในดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวน่าจะมาจากแหล่งธรรมชาติรอบๆ พื้นที่ศึกษาและปราศจากการปนเปื้อนของ Cu ในดินตะกอนดังกล่าว

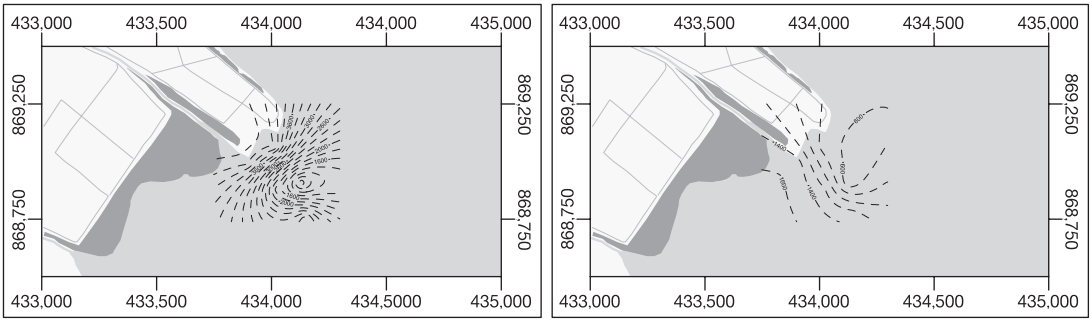
4.2.6 แมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 473 ถึง 1,773 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 795±384 มก./กก.) และ 371 ถึง 738 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 475±106 มก./กก.) โดยอยู่ในระดับเดียวกับ Mn ของวัสดุธรรมชาติทั่วไปและภายในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต แต่พบในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งค่อนข้างน้อยกว่า [9] เมื่อเทียบกับพื้นที่ซึ่งมีการปนเปื้อนของ Mn อย่างรุนแรงในงานของ Petrovsky *et al.* [12] และ Osán et al. [13] (ตารางที่ 1) พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักจากทั้งสองพื้นที่ต่ำกว่าที่พบในงานดังกล่าว จากรูปที่ 3 ค่า I_{geo} < 1 และผลของข้อมูลเกือบทุกๆ ตัวอย่างอยู่ในช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ (รูปที่ 4e และ 4n) มีเพียงตัวอย่าง B4-1(ทั้งสองขนาดเม็ดตะกอน) และ B11-1 (< 75 ไมครอน) เท่านั้นที่อยู่นอกช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ เพียงเล็กน้อย โดย Mn ส่วนมากในดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวน่าจะมาจากวัสดุธรรมชาติที่มีปริมาณ Mn ค่อนข้างมาก แต่อาจจะมี Mn จากกิจกรรมของมนุษย์เป็นปัจจัยเสริมในบางพื้นที่

4.2.7 นิเกิล (Ni) ความเข้มข้นโลหะหนัก Ni ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 8 ถึง 21 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14±4 มก./กก.) และ 2 ถึง 12 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 5±3 มก./กก.) ตามลำดับ เมื่อนำมาเทียบกับค่าจุลธาตุ Ni ของวัสดุธรรมชาติทั่วไป และภายในจังหวัดภูเก็ต รวมถึงดินตะกอนจากพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของ Ni (ตารางที่ 1) พบว่าความเข้มข้น Ni ที่พบในดินตะกอนมีค่าน้อยกว่าวัสดุธรรมชาติวัสดุธรรมชาติในพื้นที่ และดินตะกอนจากพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของ Ni มาก จากตารางที่ 1 ค่า I_{geo} < 0 และผลของข้อมูลเกือบทั้งหมด (ยกเว้นตัวอย่างจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง B12-1 ขนาดเม็ดตะกอน < 75 ไมครอน อาจมีการสะสมตัวของ Ni มากเป็นพิเศษ) อยู่ในช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ (รูปที่ 4f และ 4o) แสดงว่าโลหะหนัก Ni ในดินตะกอนท้องน้ำจากพื้นที่ศึกษาโดยมากมาจากธรรมชาติรอบพื้นที่ศึกษาที่ปราศจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก Ni

4.2.8 ตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้นโลหะหนัก Pb ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 37 ถึง 113 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 66±21 มก./กก.) และ 17 ถึง 55 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 37±11 มก./กก.) ตามลำดับ พบว่า Pb ที่พบในคลองบางใหญ่มากกว่าพื้นที่รองรับน้ำทิ้งประมาณสองเท่า หากนำมาเปรียบเทียบกับค่าของจุลธาตุ Pb ในวัสดุธรรมชาติทั่วไปและภายในจังหวัดภูเก็ต รวมถึงพื้นที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนัก Pb (ตารางที่ 1) พบว่าปริมาณของ Pb สูงกว่าในวัสดุธรรมชาติทั่วไป แต่ไม่สูงกว่าระดับที่พบการปนเปื้อนอย่างรุนแรงในสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 1) พบค่า 1 < I_{geo} < 4 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับที่พบการปนเปื้อนไม่รุนแรงจนถึงปนเปื้อนรุนแรง ประกอบกับผลของข้อมูลทั้งหมดส่วนใหญ่ (ยกเว้นตัวอย่าง B9-1 ขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอน อาจมีปัจจัยจากกิจกรรมของมนุษย์มาเป็นตัวแปรเสริม) ยังคงอยู่ในช่วงแถบกว้าง ±2$S_{y/x}$ (รูปที่ 4g และ 4p) ดังนั้น Pb ในดินตะกอนน่าจะมาจากการสะสมตัวของโลหะหนัก Pb จาก

กิจกรรมเหมืองแร่เก่าและหินแกรนิตที่มีการผุพังตามธรรมชาติมากกว่า

4.2.9 ดีบุก (Sn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Sn ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 1,016 ถึง 15,174 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 3,546±3,671 มก./กก.) และ 471 ถึง 4,192 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 1,784±1,292 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าสูงมากหากเทียบกับจุลธาตุของ Sn ในวัสดุธรรมชาติทั่วไป แต่หากนำมาเทียบกับปริมาณ Sn ในหินแกรนิตของจังหวัดภูเก็ต พบว่ามีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน (ตารางที่ 1) ส่วนกรณีที่พบ Sn มากกว่าในดินตะกอนทั่วไปของจังหวัดภูเก็ตเนื่องจากในอดีตคลองบางใหญ่มีเส้นทางที่พาดผ่านเส้นทางระบายน้ำจากขุมเหมืองดีบุกหลายแห่ง [4] จึงอาจจะมีกากแร่ดีบุกบางส่วนปะปนอยู่ในดินตะกอนท้องน้ำคลองบางใหญ่ จากตารางที่ 1 พบว่าค่า $I_{geo} > 4$ ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พบการปนเปื้อนรุนแรงจนถึงรุนแรงมากในบางตัวอย่าง แต่จากผลของข้อมูลเกือบทั้งหมดที่ตกอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (รูปที่ 4h และ 4q) ยกเว้นตัวอย่าง B4-1 ขนาดเม็ดตะกอน 75-106 ไมครอนอาจมีการสะสมของ Sn ที่มากเป็นพิเศษเนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดรวมลำน้ำที่ระบายมาจากขุมเหมืองเก่า (รูปที่ 1) รวมกับการสะสมตัวตามธรรมชาติของ Sn ในดินตะกอนที่มาจากการผุพังตามธรรมชาติ ส่วนการกระจายตัวของ Sn ที่พบในพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง (รูปที่ 5) จะพบการกระจายตัวอย่างหนาแน่นของ Sn ในเฉพาะบริเวณปากคลองบางใหญ่และมีความเข้มข้นของ Sn ที่ค่อยๆ เบาบางลงในพื้นที่ที่หางจากปากคลองดังกล่าว



a) < 75 ไมครอน b) 75-106 ไมครอน

รูปที่ 5 พฤติกรรมของโลหะหนัก Sn ในดินตะกอนจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่

4.2.10 สังกะสี (Zn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Zn ของดินตะกอนจากคลองบางใหญ่และพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 82 ถึง 242 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 148±42 มก./กก.) และ 41 ถึง 69 มก./กก. (มีค่าเฉลี่ย 55±9 มก./กก.) ตามลำดับ พบว่าโลหะหนัก Zn จากดินตะกอนพื้นที่รองรับน้ำทิ้งอยู่ในระดับปกติ แต่ตัวอย่างจากคลองบางใหญ่อยู่ในระดับที่สูงกว่าปริมาณจุลธาตุ Zn ในวัสดุธรรมชาติทั่วไปและดินตะกอนในจังหวัดภูเก็ต (ตารางที่ 1) แต่อยู่ในระดับเดียวกับในหินแกรนิตจังหวัดภูเก็ต จากรูปที่ 3 พบว่าค่า $I_{geo} < 3$ จัดว่าอยู่ในระดับปนเปื้อนไม่รุนแรงหรือมีการปนเปื้อนรุนแรง หากเทียบกับพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของ Zn อย่างรุนแรง (ตารางที่ 1) น่าจะมาจากการสะสมตัวของ Zn เนื่องจากกิจกรรมขุมเหมืองเก่า สอดคล้องกับผลของข้อมูลทั้งหมดที่ตกอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (รูปที่ 4i และ 4r) นั่นคือโลหะหนัก Zn ที่พบในดินตะกอนและจากแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ

5. สรุป

โลหะหนัก Al และ Fe ที่พบค่อนข้างมากดังกล่าวน่าจะมาจากธาตุ Al ที่ปะปนอยู่ในแร่ดินเหนียวและ Fe ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแร่เหล็กในธรรมชาติ มาจากการทำเหมืองแร่ดีบุกและตะกอนสะสมตัวในอดีตรวมกับ

หินแกรนิตซึ่งมีการผุพังตามธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวถูกพัดพาลงมาในคลองบางใหญ่ เช่นเดียวกับ Sn ที่เป็นผลผลิตจากการสะสมตัวตามธรรมชาติและจากกิจกรรมการทำเหมืองดีบุกของมนุษย์ในอดีต ซึ่งอาจอยู่ในรูปของกากแร่ดีบุกที่สะสมตัวร่วมกับดินตะกอนสะสมตัวที่มีมาตั้งแต่ครั้งอดีต ในส่วนของสาเหตุที่พบปริมาณโลหะหนักในคลองบางใหญ่มากกว่าในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งเนื่องจากคลองบางใหญ่เป็นแหล่งรองรับดินตะกอนที่มีโลหะหนักดังกล่าวโดยตรงและถูกกระแสน้ำพัดพาไปสะสมตัวที่พื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ในท้ายที่สุด ประกอบกับการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ลงสู่ทะเลเป็นตัวช่วยในการลดปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในดินตะกอนท้องน้ำ

โลหะหนักที่พบโดยมากจะเป็นโลหะหนักที่มีการสะสมตัวมาตั้งแต่อดีตโลหะหนักที่จัดว่าพบค่อนข้างมากในที่นี้คือ อะลูมิเนียมกับเหล็ก ซึ่งพบโดยมากในวัสดุธรรมชาติและไม่ค่อยมีพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก ส่วนโลหะหนักที่พบรองลงมาคือ แมงกานีสนั้นถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนดีบุกที่พบการปนเปื้อนสูงแต่มีการกระจายในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่อย่างจำกัด หากไม่รับโลหะหนักดังกล่าวเข้ามาโดยตรงก็ไม่จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าตื่นตระหนก ส่วนสุดท้ายโลหะหนักที่พบค่อนข้างน้อยที่เหลือก็จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติที่พบได้ในพื้นที่ซึ่งเคยมีเหมืองแร่มากมายในอดีต ประกอบกับพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่เป็นพื้นที่ซึ่งไม่มีการประกอบอาชีพทางด้านประมงและเกษตรกรรมมากนัก โลหะหนักดังกล่าวจึงไม่น่าจะมีผลกระทบใดๆ ต่อผู้คนในพื้นที่ดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนจากงบประมาณแผ่นดินในส่วนของงานวิจัยจากโครงการตามแผนปฏิบัติการภูเก็ตเมืองนานาชาติ โครงการย่อยโครงการพัฒนาบุคลากรด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนน่าอยู่อย่างยั่งยืนยุทธศาสตร์ที่ 3 : การพัฒนาคนและสังคม ประจำปี 2546 ให้กับโครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของปริมาณ โลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ที่เป็นโครงการใหญ่ของโครงงานวิจัยนี้ ขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เขตการศึกษาภูเก็ต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย ขอบคุณสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Upsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัยทางแม่เหล็ก ขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ทางด้านการวิจัย ขอบคุณสำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) สำหรับข้อมูลทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของเกาะภูเก็ต

7. เอกสารอ้างอิง

1. อำไพ ทองภิญโญ. 2538. ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต, *เอกสารเผยแพร่เล่มที่ 7/2538*, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2. (สำเนา)

2. Ghrefat, H. and Yusuf, N 2006 “Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd Pollution in Bottom Sediments of Wadi Al-Arab Dam”, Jordan, *Chemosphere*, Vol. 65, pp. 2114-2121.

3. Ip, C.C.M., Li, X.D., Zhang, G., Wai, O.W.H., and Li, Y.S., 2007, “Trace Metal Distribution in Sediments of the Pearl River Estuary and the Surrounding Coastal Area, South China. *Envir Pollu*, Vol. 147, pp. 311-323.

4. ธงชัย สุธีรศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, 2549. “ความเข้มข้นโลหะหนัก As Pb Mn Ni Sn Cr Zn Fe และแก๊สเรดอนในดินตะกอนท้องน้ำจาก 6 ขุมเหมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ต” *ว.สงขลานครินทร์ วทท.*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3 พ.ค.-มิ.ย., หน้า 641-654.

5. Potts, P.J., 1992, *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Blackie & Son Ltd., BishopBriggs, Glasow G642NZ, London.

6. Szefer, P., Glasby, G.P., Pempkowiak, J., and Kaliszan, R., 1995, “Extraction Studies of Heavy-metal Pollution in Surficial Sediment from the Southern Baltic Sea of Poland”, *Chem. Geol.*, Vol. 120, pp. 111-126.

7. ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ ดรุณี ผ่องสุวรรณ, 2545, “ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn, Fe, Ni, Pb, Cr และ Cd ในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก ที่ตกตะกอน

ระหว่างปี พ.ศ.2520-2538", *ว.สงขลานครินทร์ วทท.,* ปีที่ 24, ฉบับที่ 1, หน้า 89-106.

8. Herr, C. and Gray, N.F., 1997, "Sampling Reverine Sediments Impacted by Acid Mine Drainage: Problems and Solution", *Environmental Geology*, Vol. 29, No. 1/2, pp. 37-45.

9. Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., and Tait, B.A.R., 1975, "The Geology of the Tin Belt in Peninsular Thailand around Phuket, "Phangnga and Takua Pa", *Natural Environment Research Council,* Institute of Geological Sciences, LONDON: HMSO.

10. Stoffers, P., Glasby, G.P., Wilson, C.J., Davis, K.R., and Walter, P., 1986, "Heavy Metal Pollution in Wellington Harbour", *NZ J. Mar. Freshwater Res.*, Vol. 20, pp. 495-512.

11. ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545, *ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี,* พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

12. Petroský, E., Kapička, A., Zapletal, K., Sebestová, E., Spanilá, T., Dekkers, M.J., and Rochette, P., 1998, "Correlation between Magnetic Parameters and Chemical Composition of Lake Sediment from Northern Bohemia-Preliminary Study", *Phys. Chem. Earth.*, Vol. 23, No. 9-10, pp. 1123-1126.

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

14. Manjunatha, B.R. and Shankar, R., 1997, "The Influence of Rivers on the Geochemistry of Shelf Sediments, Southwestern Coast of India", *Environ. Geol.*, Vol. 31, No. 1/2, pp. 107-116.

15. Vassilev, S.V. and Vassileva, C.G., 1997, "Geochemistry of Coals, Coal Ashes and Conbustion Wastes from Coal-fired Power Stations", *Fuel Processing Technology*, Vol. 51, pp. 19-45.

16. ŠČanČar, J., Stibilj, V., and Miľai CiČ, R., 2004, "Determination of Aluminium in Slovenian Foodstuffs and its Leachability from Aluminium-cookware", *Food Chemistry*, Vol. 85, pp. 151-157.