

ความเข้มข้นโลหะหนัก As Pb Mn Ni Sn Cr Zn Fe และแก๊สเรดอนในดินตะกอนท้องน้ำจาก 6 ขุมเหมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ต

ธงชัย สุธีรศักดิ์¹ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ²

Abstract

Suteerasak, T.¹ and Bhongsuwan, T.²

Concentration of heavy metal As, Pb, Mn, Ni, Sn, Zn, Cr, Fe and radon gas in bottom sediment from abandoned tin mines in the Phuket Province

Songklanakarini J. Sci. Technol., 2006, 28(3) : 641-654

This research is aimed at analyzing the heavy metals: As, Pb, Mn, Ni, Sn, Zn, Cr, Fe, and radon gas emission in bottom sediment from six abandoned tin mines in Phuket Province. Fe, Mn, and Sn were found in higher concentrations (but non-polluting) than Cr and Ni. As, Pb, and Zn were polluting at lower levels. The concentration ranges for As, Pb, and Zn were 75.3-169, 98.6-547.5, and 120.4-323.3 mg/kg respectively. The activity of radon gas emission from bottom sediment from an abandoned tin mine in Amphur Muang was in the range of 162-212 Bq/kg., in the Amphur Katoo mine the range was 122-266 Bq/kg. and in the Amphur Talang mine the range was 180-263 Bq/kg. All these sites have higher concentrations of radon gas emissions than other similar sites. The heavy metals and radon gas come from geochemical materials such as soil and granite rock, found around the abandoned tin mines.

Key words : heavy metal, bottom sediment, radon gas, old mines, Phuket province

¹Faculty of Technology and Environment, Prince of Songkla University, Katoo, Phuket 83120 Thailand.

²Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹วท.ม.(ฟิสิกส์) คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต 83120 ²Ph.D.(Applied Geophysics) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: thongchai@phuket.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 17 สิงหาคม 2548 รับลงพิมพ์ 15 ตุลาคม 2548

บทคัดย่อ

ธงชัย สุวีริศศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ

ความเข้มข้นโลหะหนัก As Pb Mn Ni Sn Zn Cr Fe และแก๊สเรดอนในดินตะกอนท้องน้ำจาก 6 ชุมเมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ต

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(3) : 641-654

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานปริมาณโลหะหนัก แก๊สเรดอนที่ระบายออกมาจากดินตะกอนท้องน้ำชุมเมืองเก่าต่าง ๆ ในดินตะกอนท้องน้ำชุมเมืองเก่า 6 แห่งในจังหวัดภูเก็ต ปริมาณโลหะหนักที่พบค่อนข้างมากคือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และดีบุก (Sn) รองลงมาคือ โครเมียม (Cr) และนิกเกิล (Ni) ทั้งสองกลุ่มพบในระดับไม่ปนเปื้อน โลหะหนักที่พบว่าอยู่ในระดับปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยคือ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) มีค่าความเข้มข้นในช่วง 75.3 ถึง 169 มก./กก. 98.6 ถึง 547.5 มก./กก. และ 120.4 ถึง 332.3 มก./กก. ตามลำดับ ความแรงรังสีของแก๊สเรดอนที่ระบายออกมาจากดินตะกอน ในพื้นที่ชุมเมืองเก่าอำเภอเมืองมีค่าอยู่ในช่วง 162 ถึง 212 Bq/kg อำเภอกะทู้มีค่าอยู่ในช่วง 122 ถึง 266 Bq/kg และอำเภอถลางมีค่าอยู่ในช่วง 180 ถึง 263 Bq/kg ซึ่งจัดว่ามีแก๊สรังสีเรดอนระบายออกมามากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สรังสีเรดอนจากพื้นที่ซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แหล่งที่มาของโลหะหนักและแก๊สเรดอนมาจากวัฏศักรวมชาติพวกดินและหินแกรนิตที่สลายตัวคั่งค้างมาจากกิจกรรมชุมเมืองเก่าในอดีต

แอ่งน้ำในจังหวัดภูเก็ตที่พบเห็นอยู่ในปัจจุบันส่วนมากหลายสภาพจากชุมเมืองดีบุกเก่าที่มีขนาดแตกต่างกัน ปัจจุบันได้มีการนำน้ำจากชุมเมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ตมาใช้ในการอุปโภค โดยอาศัยการสูบน้ำในแหล่งน้ำดังกล่าวขึ้นมา น้ำที่ถูกสูบขึ้นมานั้นอาจจะมีดินตะกอนท้องน้ำขนาดเล็กและเบาแขวนลอยปะปนมากับน้ำที่ถูกสูบขึ้นมาบ้าง ทั้งนี้ดินตะกอนท้องน้ำในชุมเมืองเก่าที่พบในปัจจุบันมีที่มาจากหลายสาเหตุ เช่น มาจากการกัดเซาะผุพังสลายตัวของผิวดินหรือหินในบริเวณพื้นที่ใกล้ชุมเมืองเก่า มาจากสิ่งคั่งค้างจากการทำกิจการเหมืองแร่ดีบุกในอดีต ในงานวิจัยนี้จะศึกษาลักษณะและองค์ประกอบโดยทั่วไปของดินตะกอนท้องน้ำชุมเมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ตด้วยวิธีการทางฟิสิกส์ และเคมีมาพิจารณาประกอบร่วมกับข้อมูลพื้นฐานทางด้านธรณีวิทยา เพื่อใช้ในการประเมินถึงพิษภัยและความเป็นไปได้ที่ดินตะกอนดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อคน

การศึกษาปริมาณธาตุโลหะหนัก As Cr Pb Mn Ni Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำ อาศัยเทคนิคการวิเคราะห์โลหะหนักทางเคมีด้วยเครื่อง ICP ที่ตรวจหาความเข้มข้นโลหะหนักที่มีอยู่ค่อนข้างน้อยได้ดี ดังเช่น

Robertson และคณะ (2003) ใช้เทคนิคทางเคมีตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนภายในและภายนอกเมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ พบว่ามี Pb Mn และ Zn อยู่ในช่วง 25 ถึง 645 ไมโครกรัม/กรัม 49 ถึง 433 ไมโครกรัม/กรัม และ 172 ถึง 2,178 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ Petrosky และคณะ (1998) ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นโลหะหนัก Cu Pb Zn Ni Mn Fe Cd Ti และ As ในดินตะกอนจากทะเลสาบ Nechranice ตอนเหนือของโบฮีเมีย ประเทศสาธารณรัฐเช็ก เพื่อวิเคราะห์ระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักเป็นพิษจากโรงไฟฟ้าต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าว ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่ามีความเข้มข้นโลหะหนักอยู่ในช่วง 102-305 ppm 38.7-126 ppm 367-1079 ppm 62.5-173 ppm 893-3,304 ppm 53,100-63,800 ppm 0.3-7.5 ppm 3,530-7,950 ppm และ 97-597 ppm ตามลำดับ และจากงานของ ไตรภพ และดรุณี (2545) ที่ใช้เทคนิคเดียวกันนี้ หาความเข้มข้นโลหะหนัก Fe Mn Ni Pb และ Cr ในดินตะกอนทะเลสาบสงขลาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์กันของผลที่พบกับแหล่งที่มาของโลหะหนักดังกล่าว ซึ่งแหล่งที่มาของโลหะหนักโดยมากจะมาจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่

แก๊สเรดอน (radon) เป็นผลผลิตที่มาจากธาตุกัมมันตรังสีเรเดียม (radium-226) พบได้ในพื้นที่ที่มีธาตุยูเรเนียม (U) ธาตุโพแทสเซียม (K) และธาตุทอเรียม (Th) (Faure, 1986) หินที่มียูเรเนียมปะปนโดยเฉลี่ยค่อนข้างสูง ได้แก่ หินแกรนิต หินดินดาน หินปูนและหินทราย (Otton *et al.*, 1993) ซึ่งเป็นหินที่สามารถพบได้ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต (Garson *et al.*, 1975) หินดังกล่าวเมื่อผุพังแตกสลายตัวจะถูกพัดพาออกไปสะสมตัวเกิดเป็นหินตะกอนได้ (ธงชัย, 2531) ธาตุกัมมันตรังสีเรเดียมสามารถละลายน้ำปะปนกับน้ำใต้ดินและดินตะกอนได้ (Lucas and Ilcewiz, 1958) ทั้งนี้ธาตุดังกล่าวจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่งหากบริโภคน้ำที่มีดินตะกอนที่มีธาตุกัมมันตรังสีดังกล่าวปะปนอยู่เข้าไปในร่างกายในปริมาณสูงอาจทำให้เกิดเป็นโรคมะเร็งตามอวัยวะต่างๆ ได้ เช่น มะเร็งในปอด กระดูก และมะเร็งในโพรงจมูก (USEPA, 1993b) การหาปริมาณความเข้มข้นของแก๊สเรดอนที่ปลดปล่อยออกมาจากดินตะกอนจะอาศัยเทคนิค SSNTD (Solid State Nuclear Track Detector) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างมากในการตรวจวัดแก๊สเรดอน โดยใช้แผ่นพลาสติก CR-39 ในการรับรังสีแอลฟาที่มาจากสลายตัวของแก๊สเรดอนที่ระบายออกมาจากดินตะกอน (ไตรภพ และคณะ, 2544; สุขสวัสดิ์, 2543) จากนั้นนำผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมดไปเปรียบเทียบเชิงภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแหล่งที่มาของโลหะหนักและแร่ที่สามารถปลดปล่อยรังสีดังกล่าว

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการงานวิจัยการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นรังสีอัลฟาในดินตะกอนท้องน้ำจากชุมชนเมืองในจังหวัดภูเก็ต วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ ประกอบด้วย (1) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก As Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ที่มีในดินตะกอนท้องน้ำ (2) ศึกษาปริมาณแก๊สเรดอนที่ระบายออกจากดินตะกอนท้องน้ำว่ามีค่าเป็นเช่นไร เพื่อนำไปประเมินความเสี่ยงจากการใช้น้ำจากชุมชนเมือง (3) ศึกษาลักษณะการกระจายของโลหะหนักดังกล่าว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม รวมทั้งวิเคราะห์ที่มาของโลหะหนักและปริมาณรังสีที่พบในดินตะกอนท้องน้ำว่ามาจากสาเหตุใดบ้าง

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

เกาะภูเก็ตอยู่ทางใต้ของประเทศไทยติดกับชายฝั่งทะเลอันดามัน ตั้งอยู่ฝั่งทะเลด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายู อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 7° 45' 23.3" และ 8° 11' 54.5" เหนือ และเส้นแวงที่ 98° 15' 40.0" และ 98° 26' 53.0" แบ่งเขตการปกครองเป็น 3 อำเภอคือ อำเภอเมือง อำเภอเกาะภูเก็ต และอำเภอถลาง สภาพทางธรณีวิทยาของเกาะเป็นหินแข็งที่มีสายแร่ควอตซ์ปะปนกับหินแกรนิตยุคครีเตเชียส และหินตะกอนยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส (premo-carboniferous sedimentary formation) ซึ่งเรียกว่า หินชุดภูเก็ต การแทรกดันตัวของหินแกรนิตในหินชุดภูเก็ตจะให้แร่ดีบุกขึ้นมาด้วย โดยแหล่งแร่ดีบุกในอดีตบนเกาะภูเก็ตจะเป็นแหล่งแร่แบบที่สะสมตัวบนบก ซึ่งต้นกำเนิดส่วนใหญ่จะมาจากสายควอตซ์ สายเพกมาไทต์ และสายแอพลิต (นิรันดร์ และนราเมศวร์, 2536; อำไพ, 2538)

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่าง และการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ชุมชนเมืองเก่าที่จะศึกษาดินตะกอนท้องน้ำมีจำนวน 6 แห่งใน 3 อำเภอ (Figure 1) ได้แก่ ชุมเมืองเก่า (ไม่มีชื่อ)#3 (M1) และชุมชนเมืองเก่าบริษัทไทยสมบูรณ จำกัด #3 (M2) (อำเภอเมือง) ชุมเมืองบริษัท อนุภาส จำกัด #3(K1) และชุมชนเมืองสนามกอล์ฟล็อกปาล์ม (K2) (อำเภอเกาะภูเก็ต) ชุมเมืองนก (T1) และชุมชนเมืองบางมะรวน#4 (T2) (อำเภอถลาง) เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บดินตะกอนท้องน้ำ จากนั้นนำดินตะกอนไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100°C นาน 24 ชั่วโมง แล้วคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนแยกขนาดซึ่งทำด้วยเหล็กไรสนิม (Retsch, Germany) เลือกเฉพาะดินตะกอนขนาดเล็กกว่า 0.106 มม. มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักและแก๊สเรดอน การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก เริ่มต้นจากการย่อยสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA SL-1 และดินตะกอนตัวอย่างเป็นสารละลายด้วยกรด โดยการนำดินตะกอน 200 มก. มาเติมสาร aqua regia (Potts, 1992) 1 มล. และเติมกรด HF

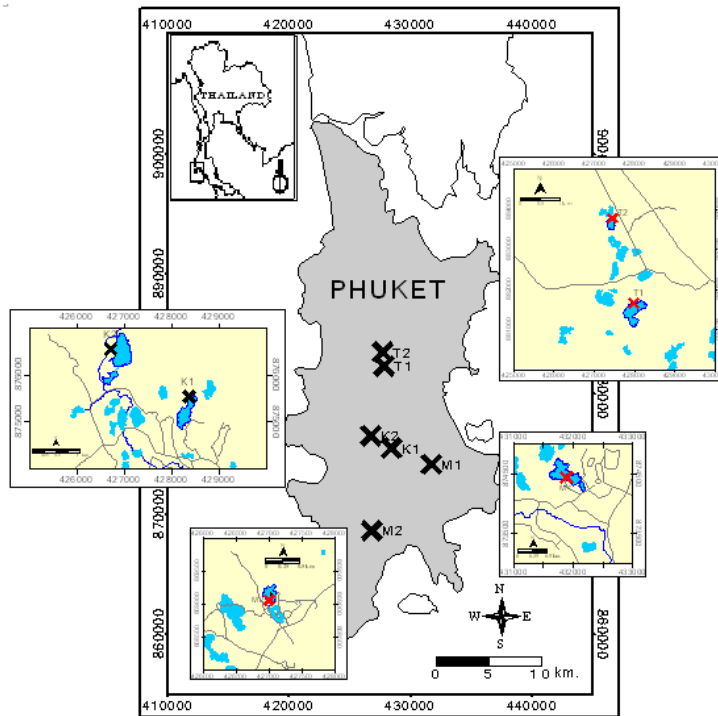


Figure 1. Map showing the study area in the Phuket province, and the abandoned tin mine reservoir sampling sites in Phuket province.

40% (Merck, Germany) 5 มล. ย่อยที่อุณหภูมิ 98-100°C จนตะกอนละลายหมด เติมน้ำละลาย H_3BO_3 50 มล. (Merck, Germany) เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มล. นำตัวอย่างดินตะกอนในรูปของสารละลายนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-AES (Perkin Elmer รุ่น 4300DV) เพื่อหาปริมาณโลหะหนัก และเปอร์เซ็นต์การแยกรวม (% recovery) ของธาตุโลหะหนักไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอ้างอิงในใบรับรองที่แนบมา กับสารตัวอย่างมาตรฐาน (ไตรภพ และ ดรุณี, 2545)

2. การวิเคราะห์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนต่อน้ำชุมชนเมืองเก่า

ผลความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอนต้องจะถูกนำมาแยกศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ วิเคราะห์ความเป็นพิษของดินตะกอนเมื่อเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอนจากพื้นที่น้ำจืด โดยแยกขีดจำกัดของความเป็นพิษเป็น 2 ประเภท คือ ความเข้มข้นโลหะหนักขั้นต่ำที่จะส่ง

ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (threshold effect concentration: TEC) จากค่า ERL (effect rang low) และความเข้มข้นโลหะหนักที่น่าจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (probable effect concentration: PEC) จากค่า ERM (effect rang median) (MacDonald *et al.*, 2000; O'Connor and Paul, 2000) ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอน เริ่มจากการเลือกธาตุโลหะหนักมาเป็นธาตุอนุรักษ์ (Szefer *et al.*, 1995; ไตรภพ และ ดรุณี, 2545) ใช้อ้างอิงการสร้างกราฟระหว่างโลหะหนักที่ศึกษากับธาตุอนุรักษ์ โดยเกณฑ์ที่กำหนดว่าความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นโลหะหนักที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติไม่ควรเกินช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ ที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Szefer *et al.*, 1995) ค่าที่เกินช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ จัดว่าเป็นค่าความผิดปกติเชิงภูมิภาคที่อาจมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนสุดท้ายเป็นการประเมินด้วยค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี (geoaccumulation index, Igeo) จากสูตร (Herr and Gray, 1997)

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right]$$

เมื่อ C_n เป็นความเข้มข้นโลหะหนักในดินตะกอนตัวอย่าง และ B_n เป็นความเข้มข้นโลหะหนักแต่ละชนิดในวัสดุธรรมชาติพื้นที่ตั้งกล่าว (หินแกรนิต; Garson *et al.*, 1975) การวิเคราะห์ความรุนแรงของการปนเปื้อนอาศัยเกณฑ์เดียวกับที่ใช้ในงานของ ไตรภพ และตรุณี (2545) และ Herr และ Gray (1997) คือ I_{geo} มีค่าเท่ากับ 0 (ไม่ปนเปื้อน) 1 (ไม่ปนเปื้อนหรือปนเปื้อนไม่รุนแรง) 2 (ปนเปื้อนไม่รุนแรง) 3 (ปนเปื้อนไม่รุนแรงหรือปนเปื้อนรุนแรง) 4 (ปนเปื้อนรุนแรง) 5 (ปนเปื้อนรุนแรงหรือปนเปื้อนรุนแรงมาก) และ 6 (ปนเปื้อนรุนแรงมาก)

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจวัดแก๊สเรดอน

การวิเคราะห์แก๊สเรดอนจะอาศัยวิธีของสุขสวัสดิ์ (2543) ที่เริ่มจากซังดินตะกอน 5 กรัมมาใส่ในกระป๋องเหล็ก นำแผ่น CR-39 มาติดกับก้นของถ้วยพลาสติกด้านใน คั่วให้ด้านที่มีแผ่น CR-39 หันเข้าหาดินตะกอน ปิดฝาของกระป๋องเหล็กให้มิดชิด ตั้งทิ้งไว้ 40 วัน จากนั้นนำแผ่น CR-39 ดังกล่าวมากัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 85°C โดยใช้เวลาในการกัดขยายรอย 100 นาที นำตัวอย่างแผ่น CR-39 ที่กัดขยายรอยแล้วมาหาความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาด้วยการนับจำนวนรอยรังสี

แอลฟาที่พุ่งชนแผ่น CR-39 โดยดูจากกล้องจุลทรรศน์ชนิด 2 ตากำลังขยาย 100, 400 และ 1,000 เท่า นำความหนาแน่นของรอยรังสีแอลฟาที่ได้ไปหาค่าความแรงรังสีจากสมการของกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานที่มาจากการเตรียมสารมาตรฐานจากงานของ สุขสวัสดิ์ (2543) ดัง Figure 2 โดยแทนค่าความหนาแน่นรอยรังสี (Tracks/cm²) ลงในสมการกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานเพื่อคำนวณมาเป็นค่าความแรงรังสีหรือความเข้มข้นของแก๊สเรดอนที่ระบายออกมาจากดิน

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. สัดส่วนของขนาดเม็ดตะกอนในดินตะกอนท้องน้ำชุมเหืองเก่า

ผลจากการคัดแยกขนาดเม็ดตะกอนเป็น 4 ขนาดเม็ดตะกอน ให้สัดส่วนโดยมวล (Weight fraction) ของแต่ละขนาดเม็ดตะกอนแสดงดัง Figure 3 พบว่าในตัวอย่าง M1 และ M2 มีขนาด 150 ถึง 300 ไมครอนและเล็กกว่า 75 ไมครอนค่อนข้างมาก ตัวอย่าง K1 และ K2 จะพบขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนมากที่สุด (51 และ 59 % โดยมวล ตามลำดับ) ตัวอย่าง T1 และ T2 มีสัดส่วนขนาดเม็ดตะกอนแตกต่างกันอย่างชัดเจนนั่นคือ T1 จะพบขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนมากที่สุด คล้ายกับที่พบในตัวอย่าง K1 และ K2 ส่วนตัวอย่าง T2 พบคล้ายกับในตัวอย่าง M1 และ M2 คือมีขนาด 150 ถึง 300 ไมครอนและเล็ก

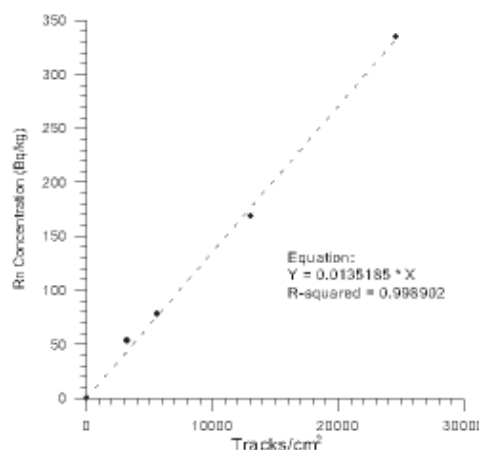


Figure 2. Graph for calibration concentration Rn emission from soil from track density.

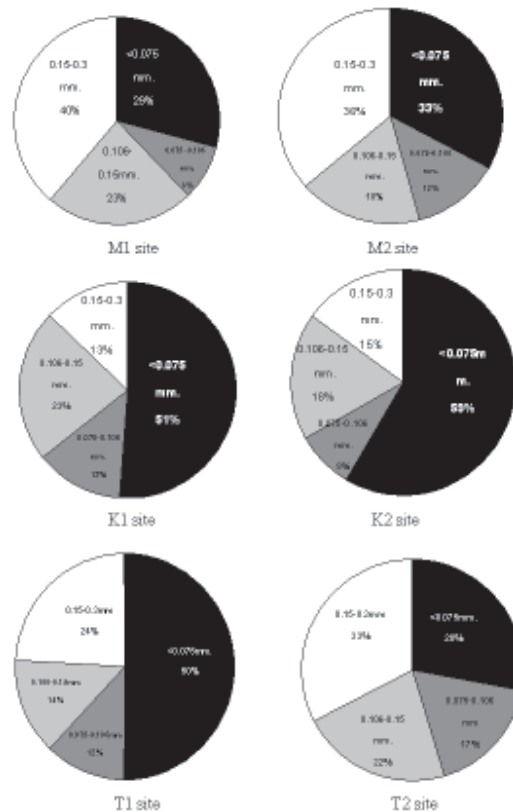


Figure 3. Weight fraction of bottom sediment from the 6 abandoned tin mine in Phuket province.

กว่า 75 ไมครอนค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับตารางการจำแนกเม็ดตะกอนของ Unified Soil Classification System (USCS) พบว่าดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวเป็นทรายละเอียดที่มีขนาดเม็ดตะกอน 60 ถึง 200 ไมครอน และดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดตะกอนเล็กกว่า 60 ไมครอน

2. การย่อยสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA SL-1

ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐาน IAEA SL-1 ด้วยเครื่อง ICP-AES ได้เปอร์เซ็นต์การแยกรวมจากการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นโลหะหนักอ้างอิงที่แนบมา กับสารตัวอย่างดัง Table 1 โดยเปอร์เซ็นต์การแยกรวม (% recovery) ของธาตุโลหะหนักที่ศึกษาในที่นี้อยู่ในช่วง 73.2 ถึง 100.6 โลหะหนักที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมสูงสุดคือโลหะหนักโครเมียม (Cr) (มีค่าเท่ากับ 100.6) ธาตุโลหะหนักที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมต่ำที่สุดคือโลหะหนักสังกะสี (Zn) (มีค่าเท่ากับ 73.2) ส่วนโลหะหนัก

ดีบุกนั้นไม่มีค่า certified value เนื่องจากสารตัวอย่าง IAEA SL-1 ที่นำมาใช้ไม่ได้วิเคราะห์โลหะหนักดีบุกทำให้ไม่สามารถคำนวณหาค่า เปอร์เซ็นต์การแยกรวมได้ ดังนั้น ธาตุดีบุกจะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การแยกรวมเฉลี่ย (มีค่าเท่ากับ 82.6) ที่มาจากโลหะหนักทั้งหมดที่ตรวจวัดในที่นี้แทน

3. ความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจวัดในดินตะกอนท้องน้ำ

ผลจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนัก As Cr Mn Ni Pb Sn Zn และ Fe ในดินตะกอนท้องน้ำขนาดเล็กกว่า 106 ไมครอน (Table 2) เปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานจากพื้นที่ศึกษาและอาศัยเกณฑ์ที่ใช้บอกขีดจำกัดของความเป็นพิษเนื่องจากโลหะหนักของดินตะกอนใน Table 3 และผลการวิเคราะห์การปนเปื้อน (ใช้โลหะหนัก Fe เป็นธาตุอนุรักษ; ไตรภาพ และดรูณี, 2545) ดัง Figure 4 และค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี I_{geo} จาก Figure 5 มีผลดังนี้

Table 1. Heavy metals concentration in the reference material IAEA SL-1 and percent recovery of heavy metals.

Metal	Certified Reference IAEA SL-1		% Recovery
	Concentration (mg/kg)	Certified value (mg/kg)	
As	35	27.6	78.9
Mn	4111.6	3460	84.2
Cr	103.4	104	100.6
Ni	55.5	44.9	80.9
Pb	46.5	37.7	81.1
Sn	39.8	-	82.6
Zn	304.8	223	73.2
Fe	85448	67400	78.9

Mean of percent recovery = 82.6 %

3.1 สารหนู (As) ความเข้มข้นโลหะหนัก As อยู่ในช่วง 75.3 ถึง 169 มก./กก. พบมากในดินขนาดเล็กลงกว่า 75 ไมครอน โดย K1 และ M1 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (151 และ 162 มก./กก. ตามลำดับ) เทียบกับปริมาณจุลธาตุ As ในหินอัคนี หินตะกอน ดินทั่วไป และวัสดุในพื้นที่ศึกษา (Table 3) พบว่าในดินตะกอนตัวอย่างมี As สูงกว่าในวัสดุธรรมชาติทั่วไป แต่ต่ำกว่าในวัสดุธรรมชาติของพื้นที่ศึกษา และมีความเข้มข้นสูงกว่าค่า ERL และ ERM (Table 3) จัดว่าเป็นปริมาณที่มากพอที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตหากได้รับเข้าไปในร่างกายจากการเคลื่อนย้ายในรูปของสารแขวนลอย นอกจากนี้ ผลของข้อมูลต่างๆ ตัวอย่างอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4a) และค่า $I_{geo} < 0$ ดังนั้น As ในดินตะกอนนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก

3.2 แมงกานีส (Mn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn อยู่ในช่วง 491 ถึง 2,435 มก./กก. พบมากในตัวอย่าง K1 K2 และ T1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,627 ถึง 2,092 มก./กก. (มีมากที่สุดที่ T1) มากกว่าจุลธาตุ Mn ในดิน ส่วน 3 ตัวอย่างที่เหลือพบต่ำกว่าในดิน (Table 3) แต่อยู่ในระดับเดียวกับ Mn ของวัสดุธรรมชาติในพื้นที่ (Garson *et al.*, 1975) เทียบกับพื้นที่ซึ่งพบการปนเปื้อนของ Mn อย่างรุนแรงในงานของ Petrovsky *et al.* (1998) (893 ถึง 3,304 มก./กก.) พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักมีค่าต่ำกว่าที่พบในงานดังกล่าว นอกจากนี้ผลของข้อมูลต่างๆ ตัวอย่าง

อยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4b) และค่า $I_{geo} < 0$ ดังนั้น Mn ในดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวมาจากวัสดุธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนของ Mn

3.3 โครเมียม (Cr) ความเข้มข้นโลหะหนัก Cr พบมากในเม็ดตะกอนขนาดเล็กลงกว่า 75 ถึง 106 ไมครอน (ช่วง 24.6 ถึง 55.9 มก./กก.) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของทั้ง 6 ตัวอย่างดัง Table 2 เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของจุลธาตุ Cr ในดินและในวัสดุธรรมชาติของพื้นที่นี้ (Table 3) พบว่าทุกตัวอย่างมี Cr ต่ำกว่าในหินแกรนิต แต่สูงกว่าในดินตะกอนสะสมตัวจากพื้นที่ดังกล่าว และมีความเข้มข้นต่ำกว่าค่า ERL และ ERM ทั้งนี้ความเข้มข้นโลหะหนักดังกล่าวอยู่ในระดับความเป็นพิษที่ค่อนข้างจะต่ำ นอกจากนี้ผลของข้อมูลทั้งหมดตกอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4c) และมีค่า $I_{geo} < 0$ นั่นคือ Cr ในดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวมาจากแหล่งธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนของ Cr

3.4 นิกเกิล (Ni) ความเข้มข้นโลหะหนัก Ni อยู่ในช่วง 34.7 ถึง 55.8 มก./กก. มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง (Table 2) เทียบกับค่าจุลธาตุ Ni ของดิน หินตะกอนสะสมตัวและหินแกรนิตในพื้นที่ พบว่า Ni ที่พบมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความเข้มข้นของวัสดุอ้างอิงใน Table 3 แต่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่า ERL มีเพียงตัวอย่าง K1 เท่านั้นที่มีค่าความเข้มข้นเกินกว่าค่า ERM เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นั่นหมายความว่าตัวอย่างดังกล่าวมีความเข้มข้น Ni ที่มากพอที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตหากโลหะหนักดังกล่าวมีการเคลื่อนย้ายเข้าไปในร่างกาย

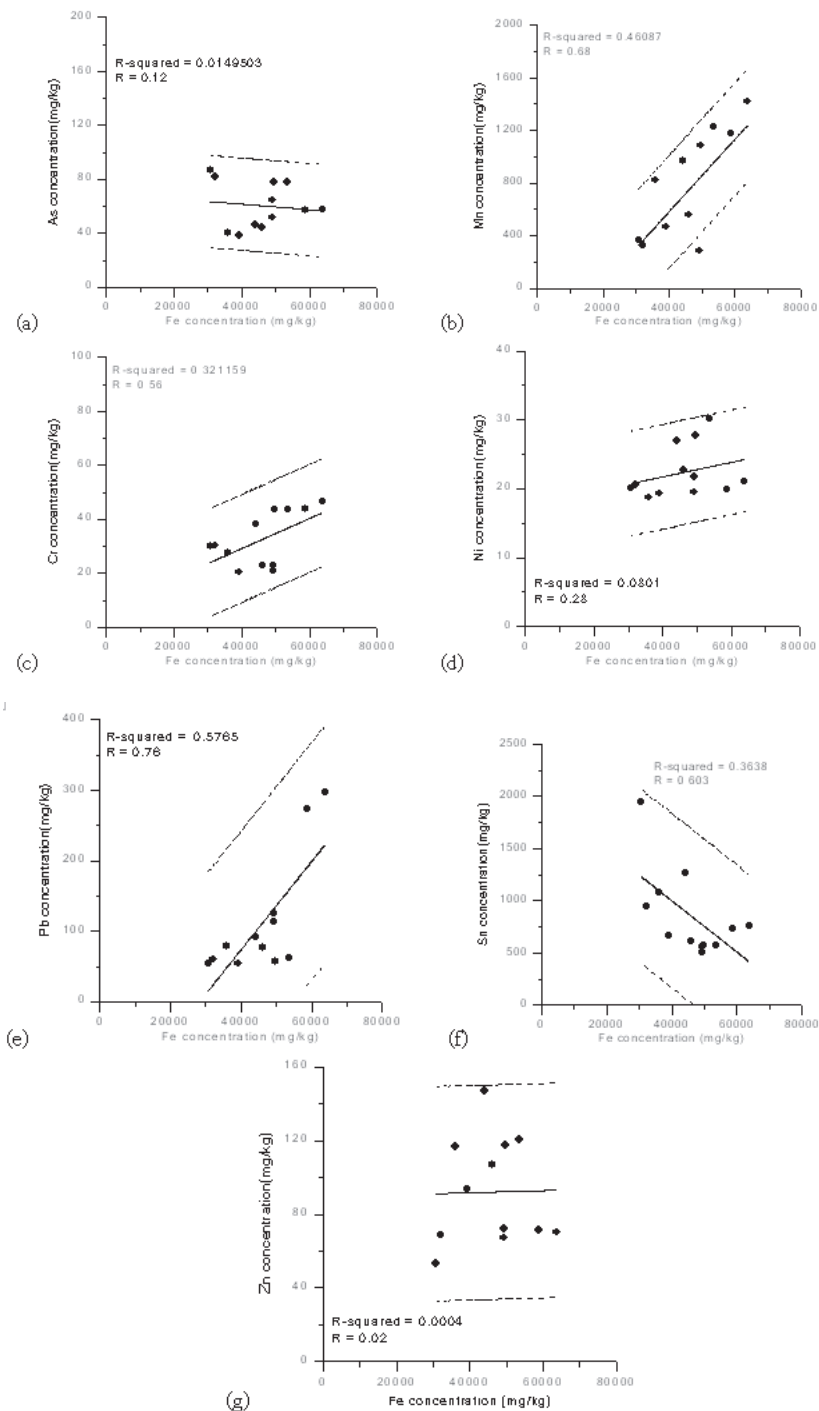


Figure 4. Linear regressions for As, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn and Zn as a function of Fe concentration. The regression line and twice standard deviation band according to regional anomalies criterion (Szefer *et al.*, 1995) are shown.

Table 2. Average heavy metal concentration and radon concentration in bottom sediment samples from the abandoned tin mine reservoirs in Phuket province.

Site	As (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Rn Gas (Bq/kg)	
M1	< 75 μ m	82	327	30	21	60	950	69	32,102	179
	75-106 μ m	87	369	30	20	54	1,950	53	30,761	212
	Mean	83	336	30	20	58	1,172	65	31,805	205
	Std. dev.	3	30	0	0	4	707	11	948	27
M2	< 75 μ m	44	561	23	23	77	610	107	46,103	192
	75-106 μ m	39	468	21	19	54	659	93	39,201	162
	Mean	43	535	22	22	70	624	103	44,194	170
	Std. dev.	4	65	2	2	16	35	10	4,880	23
K1	< 75 μ m	78	1,083	44	28	57	565	118	49,652	266
	75-106 μ m	78	1,226	44	30	62	577	121	53,596	122
	Mean	78	1,112	44	28	58	568	118	50,461	152
	Std. dev.	0	101	0	2	3	9	2	2,789	119
K2	< 75 μ m	47	969	38	27	91	1,262	147	44,131	221
	75-106 μ m	40	826	28	19	79	1,081	117	35,928	122
	Mean	46	951	37	26	90	1,239	143	43,106	134
	Std. dev.	4	101	8	6	9	127	21	5,801	88
T1	< 75 μ m	57	1,175	44	20	273	737	71	58,723	263
	75-106 μ m	58	1,424	47	21	297	754	70	63,850	180
	Mean	57	1,223	44	20	278	740	71	59,709	247
	Std. dev.	0	176	2	1	17	12	1	3,625	69
T2	< 75 μ m	65	288	21	22	125	557	67	49,258	247
	75-106 μ m	52	287	23	20	113	504	72	49,258	260
	Mean	60	288	22	21	121	537	69	49,258	255
	Std. dev.	9	1	1	2	9	38	3	0	10

ในรูปของสารแขวนลอย นอกจากนี้ผลของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4d) และมีค่า $I_{geo} < 0$ แสดงว่า Ni ในดินตะกอนท้องน้ำมาจากธรรมชาติที่ปราศจากการปนเปื้อนของ Ni

3.5 ตะกั่ว (Pb) โลหะหนัก Pb พบมากในขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน มีค่าอยู่ในช่วง 98.6 ถึง 547.5 มก./กก. (พบใน T1 และ T2 ค่อนข้างมาก) ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุดในตัวอย่าง T1 (512 มก./กก.) (Table 2) เทียบค่าของจุลธาตุ Pb ของดินและวัสดุธรรมชาติพื้นที่ดังกล่าว (Table 3) พบว่าปริมาณของ Pb สูงกว่าในวัสดุอ้างอิง และมีค่ามากกว่าค่า ERL แต่น้อยกว่าค่า ERM ยกเว้น T1 และ T2 ที่มีค่ามากกว่า ERM ดังนั้นดิน

ตะกอนตัวอย่างดังกล่าวอาจจะมีความเป็นพิษของ Pb ต่อสิ่งมีชีวิต และค่า $I_{geo} > 0$ มาจากตัวอย่าง T1 และ T2 (0.62-1.89) ค่า I_{geo} ที่พบน้อยกว่า 2 จัดว่าอยู่ในระดับการปนเปื้อนที่ไม่รุนแรง ประกอบกับผลของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4e) ดังนั้น Pb ในดินตะกอนน่าจะมาจากแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์รวมกัน

3.6 ดีบุก (Sn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Sn อยู่ในช่วง 902 ถึง 3,491 มก./กก. ซึ่งจัดว่าสูงมาก ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น Sn ทุกตัวอย่างเมื่อเทียบกับปริมาณจุลธาตุ Sn ของดิน ดินตะกอนสะสมตัวและหินแกรนิต พบว่ามีค่าสูงกว่าที่แสดงใน Table 3 แต่สอดคล้องกับความเข้มข้น

Table 3. Heavy metal concentration (mg/kg) measurement results of the abandoned tin mines, the other materials and sediment quality guides(SQGs) for metal in freshwater sediment.

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	Effect Rang Low (ERL) ^c	Effect Rang Median (ERM) ^c
As	12	39-87	60.4	17.1	2 ^a	7 ^a	5 ^a	> 94 ^b	20-160 ^b	8.2	70
Mn	12	287-1,424	750.2	414.8	950 ^a	670 ^a	850 ^a	2101 ^b	1000 ^b	-	-
Cr	12	21-44	32.6	10	100 ^a	160 ^a	200 ^a	> 107 ^b	22 ^b	81	370
Ni	12	19-30	22.4	3.8	-	-	25-50 ^a	> 2000 ^b	> 165 ^b	21	52
Pb	12	54-297	111.8	84.3	12 ^a	20 ^a	10 ^a	20-160 ^b	0-20 ^b	47	220
Sn	12	504-1,950	850.6	417.9	2 ^a	7 ^a	5 ^a	> 2000 ^b	0-30 ^b	-	-
Zn	12	53-147	92	29.1	70 ^a	80 ^a	50 ^a	> 190 ^b	< 80 ^b	150	410
Fe	12	30,761-63,850	46,047	10,221.8	-	-	-	-	-	-	-

^aศุภมาส พานิชศักดิ์พัฒนา (2545) ^bGarson et al. (1975) ^cLong et al. (1995b)

โลหะหนัก Sn ในหินแกรนิตพื้นที่ดังกล่าว นอกจากนี้ผลของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4f) และค่าดัชนีวัดการสะสมเชิงธรณี $I_{geo} < 0$ ดังนั้น Sn ในดินตะกอนมาจากกากแร่ดีบุกที่สะสมตัวร่วมกับดินตะกอนสะสมตัวที่มีมาตั้งแต่ครั้งอดีตซึ่งปราศจากการปนเปื้อนของ Sn

3.7 สังกะสี (Zn) ความเข้มข้นโลหะหนัก Zn อยู่ในช่วง 120.4 ถึง 332.3 มก./กก. พบความเข้มข้นเฉลี่ยที่สูงใน K1 K2 และ M2 พบมากที่สุดในตัวอย่าง K2 (324 มก./กก.) 3 ตัวอย่างที่เหลือจะพบค่าความเข้มข้นอยู่ระดับที่ต่ำ แต่สูงกว่าปริมาณจุลธาตุ Zn ในดินและดินตะกอนสะสมตัว (Table 3) แต่อยู่ในระดับเดียวกับในหินแกรนิต ความเข้มข้น Zn นี้มีค่ามากกว่าค่า ERL แต่น้อยกว่าค่า ERM นั้นหมายความว่ามีความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตได้ และค่า $I_{geo} > 0$ (0.12-1.22) แต่น้อยกว่า 2 จัดว่าอยู่ในระดับการปนเปื้อนที่ไม่รุนแรง ประกอบกับผลของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วงแถบกว้าง $\pm 2S_{y/x}$ (Figure 4g) ดังนั้น Zn ที่พบในดินตะกอนน่าจะมาจากแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์รวมกัน

3.8 เหล็ก (Fe) ความเข้มข้นโลหะหนัก Fe อยู่ในช่วง 59,885 ถึง 124,302 มก./กก. ความเข้มข้นดังกล่าวจัดว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างมาก พบมากที่สุดตัวอย่าง T1 และ T2 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116,239 และ 95,894 มก./กก.) ตัวอย่างที่เหลือพบอยู่ในระดับที่น้อยกว่า (Table 3) เนื่องจากวัสดูธรรมชาติในพื้นที่ดังกล่าวมีโลหะหนักเหล็กเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก (Garson et al., 1975) ประกอบกับโลหะหนัก Fe เป็นจุลธาตุพื้นฐานที่พบค่อนข้างมากในธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นในรูปของสารประกอบ Fe^{2+} และ/หรือ Fe^{3+} (ศุภมาส, 2545) ในที่นี้พบมากในรูปของแร่เหล็กพวกแมกนีไทต์และฮีมาไทต์ ที่ปะปนในวัสดูธรรมชาติจำพวกดิน สีลาแลง และหินต่างๆ

4. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักแต่ละชนิด

โลหะหนักที่พบแยกได้เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่พบว่าความเข้มข้นโลหะหนักในระดับปกติ ได้แก่ โลหะหนัก Cr และ Ni จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: R) ระหว่างโลหะหนักทั้งสอง (Table 4) ทำให้

Table 4. Correlation data for metal concentration of the bottom sediment samples from the abandoned tin mines in Phuket province.

	As	Mn	Cr	Ni	Pb	Sn	Zn	Fe
As	1.000	-0.021	0.357	0.334	-0.169	0.273	-0.349	-0.122
Mn	-0.021	1.000	0.897	0.480	0.533	-0.155	0.411	0.679
Cr	0.357	0.897	1.000	0.529	0.481	0.018	0.221	0.567
Ni	0.334	0.480	0.529	1.000	-0.262	-0.185	0.665	0.283
Pb	-0.169	0.533	0.481	-0.262	1.000	-0.198	-0.359	0.759
Sn	0.273	-0.155	0.018	-0.185	-0.198	1.000	-0.127	-0.603
Zn	-0.349	0.411	0.221	0.665	-0.359	-0.127	1.000	0.02
Fe	-0.122	0.679	0.567	0.283	0.759	-0.603	0.020	1.000

ทราบว่าโลหะหนักทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับหนึ่ง (R เท่ากับ 0.529) ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่มีความเข้มข้นโลหะหนักที่ค่อนข้างมาก ได้แก่ โลหะหนัก As Mn Pb Sn และ Zn พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักทั้งหมดร่วมกัน พบว่ามีเพียงโลหะหนัก Mn-Pb เท่านั้น จะพบความสัมพันธ์กัน (R เท่ากับ 0.533) ส่วนโลหะหนักที่เหลือมีค่า R ค่อนข้างต่ำ (Table 4) และมีความสัมพันธ์กันไม่ชัดเจน หากพิจารณาความสัมพันธ์ของโลหะหนักทั้งสองกลุ่มร่วมกัน พบว่าโลหะหนักในกลุ่มหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่สองชัดเจนที่สุดคือ โลหะหนัก Mn-Cr และโลหะหนัก Ni-Zn มี R เท่ากับ 0.897 และ 0.665 ส่วน R ที่พบมากในลำดับถัดมาคือโลหะหนัก Cr-Ni Cr-Pb Mn-Ni และ Mn-Zn มีค่าเท่ากับ 0.529 0.481 0.480 และ 0.411 ตามลำดับ โดยโลหะหนัก Mn Cr และ Ni มีสหสัมพันธ์กับโลหะหนักชนิดอื่นชัดเจนมากที่สุด เนื่องจากโลหะหนักดังกล่าวเป็นโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปในวัสดุธรรมชาติ (ไตรภพ และดรณี, 2545 ; Osan *et al.*, 2002; Manjunatha and Shankar, 1997) รวมทั้งสามารถเป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับได้ด้วยวัสดุธรรมชาติจำพวกอนุภาคดินหรือแร่ดินเหนียว (ศุภมาศ, 2545)

5. ปริมาณแก๊สรั่วเรดอนที่ระบายออกมาจากดินตะกอนท้องน้ำ และการวิเคราะห์ผลเชิงภูมิศาสตร์

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอนที่แพร่กระจายออกมาจากตัวอย่างดินตะกอนขนาดเม็ดตะกอนเล็กกว่า 106 ไมครอนใน 6 ชุมเหมืองเก่าดังแสดงใน Table 2 สามารถแจกแจงผลการวิเคราะห์ในพื้นที่ต่างๆ ได้ดังนี้

5.1 ชุมเหมืองเก่าในพื้นที่อำเภอเมือง

ตัวอย่าง M1 และ M2 มีค่าความแรงของรังสีจากแก๊สเรดอนเท่ากับ 205 Bq/kg และ 170 Bq/kg ตามลำดับ ตัวอย่าง M1 มาจากแหล่งที่พบหินแกรนิตชนิดเขาโต๊ะแฉะแกรนิต (G4 granite ใน Figure 6) ส่วนตัวอย่าง M2 มาจากแหล่งที่พบหินแกรนิตชนิดกะตะแกรนิต (G2 granite ใน Figure 6) ทำให้สามารถพบธาตุต้นกำเนิดของแก๊สเรดอนจากหินที่สะสมตัวในรูปของดินตะกอนดังกล่าว ความแรงรังสีดังกล่าวเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงและใกล้เคียงกับที่พบจากดินรอบๆ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและดินจากอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา (มีค่าอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 201.1 และ 1 ถึง 67.9 Bq/kg ตามลำดับ) ในงานของ ไตรภพ และคณะ (2544) และสุขสวัสดิ์ (2543)

5.2 ชุมเหมืองเก่าในพื้นที่อำเภอกะทู้

ตัวอย่าง K1 มีค่าความแรงของรังสีจากแก๊สเรดอนเท่ากับ 152 Bq/kg มาจากแหล่งที่พบหินชนิดเขาโต๊ะแฉะแกรนิต (G4 granite ใน Figure 6) หูฟังและสะสมตัวอยู่ ส่วนตัวอย่าง K2 มีค่าความแรงของรังสีเท่ากับ 134 Bq/kg มาจากแหล่งที่พบหินชนิดกะตะและเขาโต๊ะแฉะแกรนิต (G2 and G4 granite ใน Figure 6) ความแรงรังสีดังกล่าวจัดว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง ถึงจะไม่สูงเท่ากับของชุมเหมืองเก่าที่ผ่านมาแต่ก็จัดว่าสูงกว่าค่าที่พบในอำเภอนาหม่อม (สุขสวัสดิ์, 2543) แต่ยังคงอยู่ในช่วงค่าเดียวกับที่สามารถพบได้ในพื้นที่ทะเลสาบสงขลา (ไตรภพ และคณะ, 2544)

5.3 ชุมเหมืองเก่าในพื้นที่อำเภอถลาง

ตัวอย่าง T1 และ T2 มีค่าความแรงของรังสี

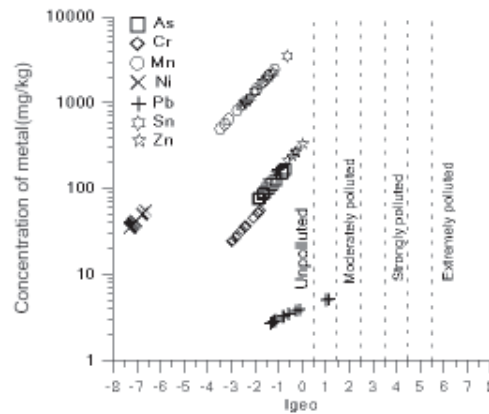


Figure 5. Plots between concentration of metal and Igeo index. Dashed lines indicate degree of contamination of sediment according to Igeo criteria (Stoffers *et al.*, 1986).

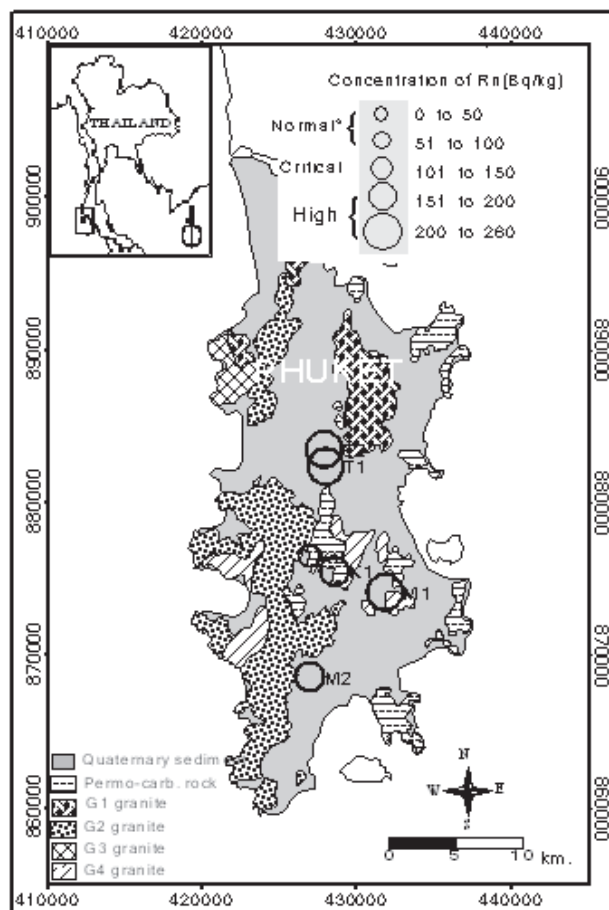


Figure 6. Geology map of concentration Rn from 6 abandoned tin mine reservoirs in Phuket province.

G1 = Khao Prathiu granite, G2 = Kata Beach granite, G3 = Naithon Beach granite and G4 = Khao Tosae granite

จากแก๊สเรดอนเท่ากับ 247 Bq/kg และ 255 Bq/kg ตามลำดับ ทั้งสองตัวอย่างมาจากแหล่งที่มีหินตะกอนยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งผู้พังสะสมตัวในรูปของดินตะกอนชนิดตะกอนสะสมตัวตามไหล่เขา (Qc) ตะกอนที่ราบลุ่มแม่น้ำ (Qf) และตะกอนที่เกิดจากการพังพังของหินแข็ง (Qr) (นิรันดร์ และนราเมศวร์, 2536) และหินแกรนิตชนิดเขาพระทวแกรนิต (G1 granite ใน Figure 6) ซึ่งเป็นค่าความแรงที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 4 ตัวอย่างจากสองพื้นที่ที่ผ่านมา และจัดว่าสูงกว่าที่พบในดินอำเภอนาหม่อมมาก แต่มากกว่าพื้นที่ทะเลสาบสงขลาไม่มากนัก

สรุป

ดินตะกอนขนาดเม็ดตะกอนเล็กกว่า 75 ไมครอน มีสัดส่วนโดยมวลของดินตะกอนท้องน้ำที่มากในสองชุมเมืองเก่าจากอำเภอกะทู้และชุมเมืองเก่าชุมเมืองนกในอำเภอดงตาล ส่วนสามชุมเมืองเก่าที่เหลือจะพบในระดับปานกลางประมาณหนึ่งในสามของน้ำหนักดินตะกอนทั้งหมด การตรวจหาปริมาณโลหะหนัก แมงกานีส (Mn) โครเมียม (Cr) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) นิกเกิล (Ni) ดีบุก (Sn) สังกะสี (Zn) และเหล็ก (Fe) ในดินตะกอนท้องน้ำชุมเมืองเก่าทั้ง 6 แห่ง พบว่ามีธาตุดีบุกคงค้างอยู่ในดินตะกอนจากการทำกิจการชุมเมืองเก่าในอดีตเป็นจำนวนมาก โลหะหนักที่พบมากในลำดับถัดมาคือ เหล็กและแมงกานีส ซึ่งมีแหล่งที่มาจากแร่รองประกอบในวัสดุธรรมชาติที่ผู้พังมาจากดินและหินในพื้นที่ดังกล่าวสะสมตัวในดินตะกอนท้องน้ำ ส่วนโครเมียม และนิกเกิล พบความเข้มข้นในระดับปานกลางอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และพบได้ในวัสดุธรรมชาติที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดแร่ต่างๆ โลหะหนักสารหนู ตะกั่ว และสังกะสี ซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีพิษในสิ่งแวดล้อมที่ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ แม้จะพบอยู่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักที่พบมากทั้ง 5 ชนิดก่อนหน้านี้ แต่ก็เกินเกณฑ์ของค่าที่ยอมรับได้ แต่จัดว่าการปนเปื้อนที่ไม่รุนแรงนัก หากโลหะหนักดังกล่าวมีการเคลื่อนย้ายปะปนในสารละลายดิน หรือรูปของสารแขวนลอยเข้าไปในร่างกายอาจก่อให้เกิดการสะสมตัวของโลหะหนักที่เป็นพิษในร่างกายได้

ความแรงรังสีของแก๊สเรดอนระบายออกมาจากดินตะกอนท้องน้ำชุมเมืองเก่าจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 แห่งมีค่าค่อนข้างมากหากเทียบกับพื้นที่ซึ่งพบแก๊สเรดอนระบายออกมาในธรรมชาติ เนื่องจากดินตะกอนดังกล่าวมาจากการสะสมตัวของวัสดุธรรมชาติที่มีธาตุเรเดียม ยูเรเนียม และทอเรียม เป็นองค์ประกอบค่อนข้างมากได้แก่ พวกหินตะกอนยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งผู้พังสะสมตัวในรูปของดินตะกอนยุคควอเทอร์นารี และหินแกรนิตที่มีแร่ไบโอไทต์ สายแร่ดีบุกสาย ควอตซ์ สายเพกมาไทต์ และสายแอสเบลต์ ดังนั้นหากมีการบริโภคน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของดินตะกอนหรือรับเอาดินตะกอนขนาดเม็ดตะกอนดังกล่าวเข้าไปในร่างกายเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการสะสมตัวของสารกัมมันตรังสีในร่างกาย ส่งผลให้มีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคมะเร็งได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนจากงบประมาณแผ่นดินในส่วนของงานวิจัยจากโครงการตามแผนปฏิบัติการภูเกิดเมืองนานาชาติ โครงการย่อยโครงการพัฒนาบุคลากรด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนน่าอยู่อย่างยั่งยืนยุทธศาสตร์ที่ 3: การพัฒนาคนและสังคม ประจำปี 2546 ให้กับโครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นรังสีอัลฟาในดินตะกอนท้องน้ำจากชุมเมืองในจังหวัดภูเก็ต ที่เป็นโครงการใหญ่ของโครงการงานวิจัยนี้ ขอคุณวิทยาลัยชุมชนภูเก็ต เขตการศึกษาภูเก็ต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย ขอคุณสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Upsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัยทางแม่เหล็ก ขอคุณภาควิชาฟิสิกส์ และหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ทางด้านการวิจัย ขอคุณกรมชลประทาน จังหวัดภูเก็ต สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งน้ำชุมเมืองเก่าต่างๆ ขอคุณสำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) สำหรับข้อมูลทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของเกาะภูเก็ต ขอคุณองค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศที่ได้เอื้อเฟื้อสนับสนุนสารอ้างอิงมาตรฐานตะกอนทะเลสาบ IAEA SL-1

เอกสารอ้างอิง

- ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ ดรุณี ผ่องสุวรรณ. 2545. ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn, Fe, Ni, Pb, Cr และ Cd ในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก ที่ตกตะกอนระหว่างปี พ.ศ. 2520-2538 , ว.สงขลานครินทร์ วทท. 24(1): 89-106.
- ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ธวัช ชิตตระการ สมพร จงคำ พรศรี พลพงษ์ สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล และ อภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์. 2544. การประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชน เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, รายงานการวิจัย, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)
- นิรันดร์ ชัยมณี และ นราเมศวร์ ชีวรังสิกุล. 2536. ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาควอเตอร์นารีเกาะภูเก็ต, กองธรณีวิทยากรมทรัพยากรธรณี. (สำเนา)
- สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. 2543. การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยเทคนิคการกัตรอยนิวเคลียร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (สำเนา)
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำเภอ ทองภัญโญ. 2538. ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต, เอกสารเผยแพร่เล่มที่ 7/2538, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2. (สำเนา)
- Faure, G. 1986. Principles of Isotope Geology 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- Herr, C. and Gray, N.F. 1997. Sampling reverine sediments impacted by acid mine drainage: problems and solution. Environmental Geology, 29(1/2): 37-45.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19: 81-97.
- Lucas, H.F., and Ilcewicz, F.H. 1958. Natural Ra-226 content of Illinois water supplies: J. American Water Works Assos., v 50 , p.1523-1532
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. and Berger, T.A. 2000. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. Arch. Environ Contam. Toxicol. 39: 20-31.
- Manjunatha, B.R. and Shankar, R. 1997. The influence of rivers on the geochemistry of shelf sediments, southwestern coast of India. Environ. Geol., 31 (1/2): 107-116.
- O'Conner, T.P. and Paul, J.F. 2000. Misfit Between Sediment Toxicity and Chemistry. Marine Pollution Bulletin Vol. 40, No. 1, pp. 59-64.
- Osan, J., Kurunczi, S., Torok, 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, 57: 413-422.
- Otton, J.K., Gundersen, Linda C.S. and Schumann, R.R. 1993. The Geology of Radon. <http://sedwww.cr.usgs.gov:8080/radon/georadon.html>.
- Petrosky, E., Kapicka, A., Zapletal, K., Sebestova, E., Spanila, 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. 23(9-10): 1123-1126.
- Potts, P.J., 1992. A handbook of silicate rock analysis, Blackie & Son Ltd., BishopBriggs, Glasow G642NZ, London.
- Robertson, D.J., Taylor, K.G. and Hoon, S.R., 2003. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. App. Geochem. 18: 269-282.
- 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 off Poland. Chem.Geol., 120: 111-126.
- US Environment Protection Agency. 1993b. A Physical's Guide - Radon. Washington, DC.: Office of Air and Radiation.