

สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของดินตะกอนท้องน้ำ จากพื้นที่สภาพธรณีวิทยาที่แตกต่างกัน

ธงชัย สุธีรศักดิ์¹ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ²

Abstract

Suteerasak, T.¹ and Bhongsuwan, T.²

Magnetic properties of bottom sediment from different geological areas

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2006, 28(5) : 1135-1148

The specific magnetic properties of bottom sediment from different geological areas were studied. Magnetic susceptibility has been used for observing movement, distribution and accumulation of magnetic minerals in the bottom sediment from rivers and catchment area. SIRM, S-ratio and k are used to identify the sources and classify the magnetic minerals which are formed in the bottom sediment of abandoned tin mines. Magnetic susceptibility from two rivers increases from river source to catchment area, and from the catchment area to the end of bay. The bottom sediment from abandoned tin mines contains the mixture of ferrimagnetic material and more antiferromagnetic material. The magnetic minerals in the abandoned tin mines, U-Tapao river and Bangyai river are found in geochemical materials such as soil and rock found around the area.

Key words : magnetic properties, bottom sediment, magnetic susceptibility, 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 'Ph.D.(Applied Geophysics) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

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

รับต้นฉบับ 8 กุมภาพันธ์ 2549 รับลงพิมพ์ 17 เมษายน 2549

บทคัดย่อ

ธงชัย สุวีริศศักดิ์ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ

สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของดินตะกอนที่ต้อนน้ำจากพื้นที่สภาพธรณีวิทยาที่แตกต่างกัน

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2549 28(5) : 1135-1148

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของดินตะกอนที่ต้อนน้ำจากพื้นที่ซึ่งมีลักษณะเชิงธรณีวิทยาที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กดูการเคลื่อนตัว การกระจายตัวและสะสมตัวของดินตะกอนในพื้นที่คลองตลอดทั้งสายและพื้นที่ที่รองรับน้ำจากคลอง ส่วนพื้นที่ขุมเหมืองเก่าอาศัยค่า k , SIRM และ S-ratio ช่วยในการบอกถึงที่มาและชนิดของแร่แม่เหล็กที่สะสมตัว ผลการศึกษาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กพบว่า ค่า k จากคลองทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นจากพื้นที่ต้นน้ำไปถึงจุดสิ้นสุดของคลอง และมีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดสิ้นสุดของคลองไปสะสมตัวในบริเวณจุดบรรจบระหว่างพื้นที่ที่รองรับน้ำกับทะเล ในดินตะกอนที่ต้อนน้ำจากขุมเหมืองเก่าทั้ง 6 แห่ง ประกอบด้วยแร่แม่เหล็กในกลุ่มเฟอร์รีแมกเนติกผสมกับแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติกด้วยสัดส่วนของแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติกที่มากกว่า ซึ่งแร่แม่เหล็กดังกล่าวพบในวัฏศรรวมชาติจากพื้นที่รอบคลองอยู่ตะเภาและคลองบางใหญ่ แหล่งที่มาของแร่แม่เหล็กในคลองอยู่ตะเภา คลองบางใหญ่และขุมเหมืองเก่ามาจากวัฏศรรวมชาติ เช่น ดินและหินที่ผุพังสะสมตัวจากยุคบรรพกาลในแต่ละพื้นที่

ดินตะกอนที่ต้อนน้ำที่พบโดยทั่วไปมาจากการผุพังสลายตัวของวัฏศรรวมชาติและสารแขวนลอยที่ถูกพัดพามาปะปนมาที่น้ำทิ้ง สะสมตัวตามบริเวณต่างๆ ในแม่น้ำลำคลอง จากงานวิจัยของ Thompson และ Oldfield (1986) และ Peters และ Thompson (1998) ซึ่งศึกษาสมบัติต่างๆ ทางแม่เหล็กของวัฏศรรวมชาติต่างๆ จำพวกดิน หิน แร่เหล็ก และดินตะกอนจากแหล่งธรรมชาติ นำมาใช้เป็นฐานข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติความเป็นแม่เหล็กในวัฏศรรวมชาติแต่ละชนิดว่ามีอยู่มากหรือน้อยเพียงใด สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กที่ใช้กันมากคือค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility: k) ค่าดังกล่าวสามารถใช้ในการศึกษาการสะสมตัว การเคลื่อนตัวและการกระจายตัวของแร่แม่เหล็ก (magnetic minerals) (Watkins and Maher, 2003; Pozza *et al.*, 2004; Petrosky *et al.*, 1998; Kapicka *et al.*, 2001; Xie *et al.*, 2001; Hay *et al.*, 1997 และ Robertson *et al.*, 2003) ส่วนการศึกษาองค์ประกอบของแร่แม่เหล็กและการจำแนกชนิดของวัฏศรรวมแม่เหล็กจะอาศัยวิธีการเหนี่ยวนำและปลาล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างแบบไอโซเทอร์มัลมาใช้ศึกษาพฤติกรรมของมวลสารทางแม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกแบบความถี่ต่ำ (low frequency) (Charlesworth and Lees, 2001; Peters and Turner,

1999; Petrosky *et al.*, 1998; Xie *et al.*, 2001)

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กดังกล่าวมาช่วยในการศึกษาการปนเปื้อนของวัฏศรรวมชาติบางชนิดในพื้นที่ทั่วไป เนื่องจากแร่แม่เหล็กเป็นแร่พื้นฐานที่พบได้ในวัฏศรรวมชาติและมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักพวกสังกะสี ทองแดง และสารหนูได้ดี (ศุภมาศ, 2545; Garcia *et al.*, 1999) ตัวอย่างเช่น งานของ Kapicka และคณะ (2001) และ Robertson และคณะ (2003) ที่นำสมบัติทางแม่เหล็กมาตรวจสอบและศึกษาการปนเปื้อนของแร่แม่เหล็กและโลหะหนักในดินจากผิวดินภายในภูเขา Krkonose ประเทศสาธารณรัฐเช็ก และผิวดินจากภายในและภายนอกเมืองแมนเชสเตอร์ ประเทศอังกฤษ ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยทั้งสองต่างก็พบการปนเปื้อนของแร่แม่เหล็กในผิวดินในระดับที่ไม่สูงมาก แต่เป็นการปนเปื้อนที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้สามารถนำผลจากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กมาศึกษาร่วมกับข้อมูลจากลักษณะทางภูมิศาสตร์หรือปริมาณโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในวัฏศรรวมชาติ เช่นเดียวกับที่ ไตรภพ และ ดรุณี (2545) ใช้เทคนิคดังกล่าวศึกษาปริมาณโลหะหนักและสมบัติทางแม่เหล็กในดินตะกอนทะเลสาบสงขลา เพื่อหาที่มาของโลหะหนักดังกล่าวจากลักษณะทางภูมิศาสตร์และสมบัติทางแม่เหล็กของวัฏศรรวมชาติในพื้นที่ต่างๆ รอบพื้นที่

ดังกล่าว Petrosky และคณะ (1998) นำสมบัติทางแม่เหล็กมาศึกษาพร้อมกับโลหะหนักในดินตะกอนทะเลสาบ Nechranice ตอนเหนือของโปฮีเมีย ประเทศสาธารณรัฐเช็ก เพื่อดูการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษจากโรงไฟฟ้าโดยนำเอาผลทางแม่เหล็กข้างต้นมาพิจารณาการกระจายตัวของแร่แม่เหล็กในเชิงภูมิศาสตร์ของพื้นที่ดังกล่าวได้ เช่นเดียวกับที่ Xie และคณะ (2001) และ Hay และคณะ (1997) นำสมบัติทางแม่เหล็กมาใช้วิเคราะห์การกระจายตัวเชิงภูมิศาสตร์ของโลหะหนักจากดินชั้นบนในประเทศอังกฤษ และเวลส์ นอกจากนี้สามารถนำค่า k มาศึกษาหาความสัมพันธ์ร่วมกับปริมาณโลหะหนักบางชนิดเช่น เหล็ก สารหนู สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ใช้ในการบอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ดังที่ใช้ในงานวิจัยของ Petrosky และคณะ (2001); Xie และคณะ (2001); Chan และคณะ (1998); Strzyszc และ Magiera (1998) และ Hay และคณะ (1997)

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการงานวิจัยการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแม่เหล็กของตะกอนกับโลหะหนักในตะกอนคลองอู่ตะเภาจังหวัดสงขลา โครงการงานวิจัยการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำจากชุมชนเมืองในจังหวัดภูเก็ต และการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของดินตะกอนท้องน้ำ และวิเคราะห์การกระจายตัวของแร่แม่เหล็กและโลหะหนักเพื่อประเมินถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งศึกษาถึงที่มาของโลหะหนักดังกล่าว

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

1. คลองอู่ตะเภาตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาสันกาลาคีรี ในตำบลสำนักแก้ว อำเภอสะเตาะ มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 90 กม. มีคลองเล็กๆ หลายสายไหลมารวมกัน ได้แก่ คลองวาด คลองต่ำ คลองจำไทร คลองหอยโข่ง คลองสะเตาะ และคลองหว่า คลองอู่ตะเภาจะไหลผ่านเขตอำเภอสะเตาะและอำเภอ

หาดใหญ่ ลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ดัง Figure 1a พื้นที่ซึ่งอยู่ใกล้กับคลองอู่ตะเภาโดยมากจะเป็นราบลุ่ม ซึ่งเกิดจากตะกอนทับถมของลำน้ำสาขาทำให้พื้นที่ดังกล่าวอุดมสมบูรณ์ด้วยพืชพรรณธรรมชาติต่างๆ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12, 2543)

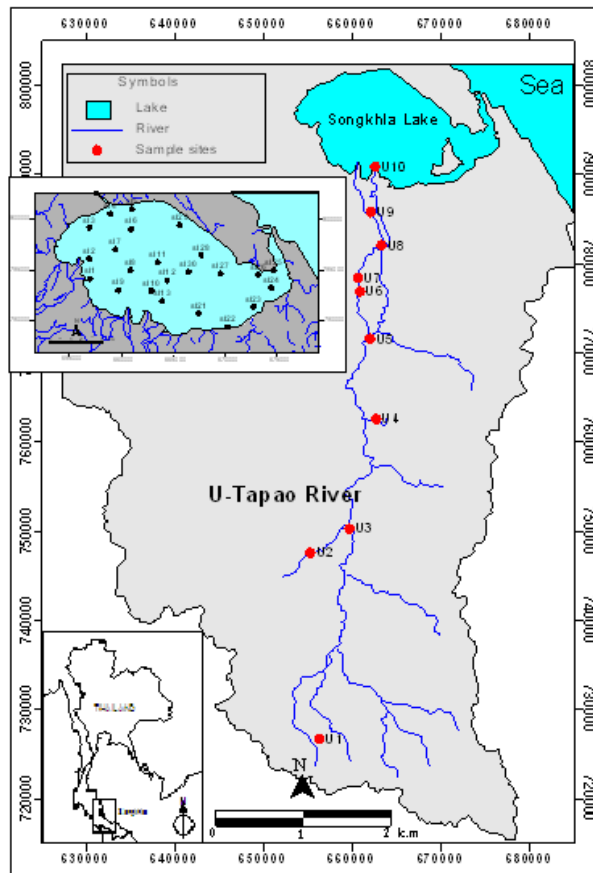
2. คลองบางใหญ่มีความยาว 8,000 เมตร ตั้งอยู่บริเวณตอนล่างของจังหวัดภูเก็ตในเขตพื้นที่อำเภอกะทู้ เขตอำเภอเมือง สิ้นสุดที่ทะเลบริเวณอ่าวภูเก็ต ดัง Figure 1b ต้นน้ำของคลองบางใหญ่มาจากลำห้วยเล็กๆ และจากคลองบางวาดในอำเภอกะทู้ นอกจากนี้มีแหล่งน้ำที่มาจากบ้านเรือนและชุมชนขนาดเล็กที่อาศัยอยู่กระจายใกล้กับพื้นที่ดังกล่าว ในส่วนของพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่มีลักษณะเป็นหาดทรายผสมกับที่ราบลุ่มชายฝั่งสลับกับป่าชายเลน หรือป่าโกงกางที่มีน้ำท่วมถึงทอดยาวออกไปจนถึงอ่าวภูเก็ตในทิศตะวันออกเฉียงใต้

3. ชุมเมืองเก่าที่จะศึกษาดินตะกอนท้องน้ำมีจำนวน 6 ชุมใน 3 อำเภอของจังหวัดภูเก็ต ดัง Figure 1c ได้แก่ ชุมเมืองเก่า (ไม่มีชื่อ) #3 (M1) และชุมเมืองเก่าบริษัท โกยสมบูรณ์ จำกัด #3 (M2) ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง ชุมเมือง บริษัท อนุภาส จำกัด #3 (K1) และชุมเมืองสนามกอล์ฟฟล็อกปาล์ม (K2) ตั้งอยู่ในอำเภอกะทู้ ชุมเมืองนก (T1) และชุมเมืองบางมะรวน #4(T2) ตั้งอยู่ในอำเภอถลาง (สำนักงานผังประเทศและผังภาค, 2546)

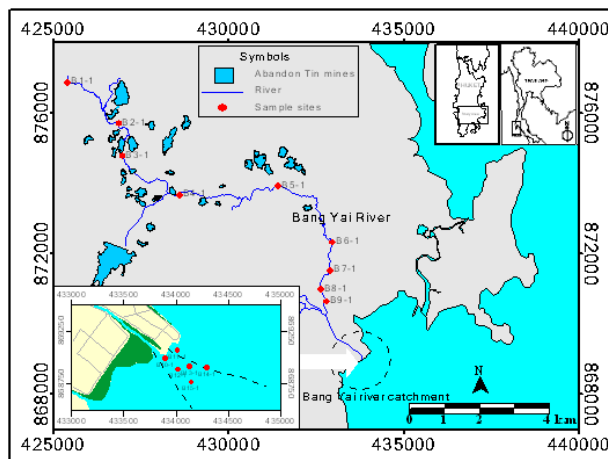
วัตถุประสงค์ และวิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำ

พื้นที่ศึกษาทั้งหมดแยกออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ พื้นที่ภายในคลองตลอดสายซึ่งจัดว่าเป็นระบบเปิดเนื่องจากมีน้ำหมุนเวียนตลอดเวลา ส่วนที่สองเป็นพื้นที่รองรับน้ำจากคลองทั้งสองจัดว่าเป็นระบบปิดและเปิดรวมกันเนื่องจากมีน้ำบางส่วนหมุนเวียนมาปะปนกับน้ำที่สะสมตัวในพื้นที่ดังกล่าว ส่วนสุดท้ายเป็นพื้นที่ชุมเมืองเก่าที่จัดว่าเป็นระบบปิด การเก็บตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำจากพื้นที่ภายในลำคลองอาศัยการเก็บด้วยเครื่องเก็บดินตะกอนท้องน้ำจากบนสะพานข้ามคลอง ส่วนพื้นที่อีกสองส่วนที่เหลืออาศัยการเก็บดินตะกอนจากบนเรือ ซึ่งมีการกำหนด



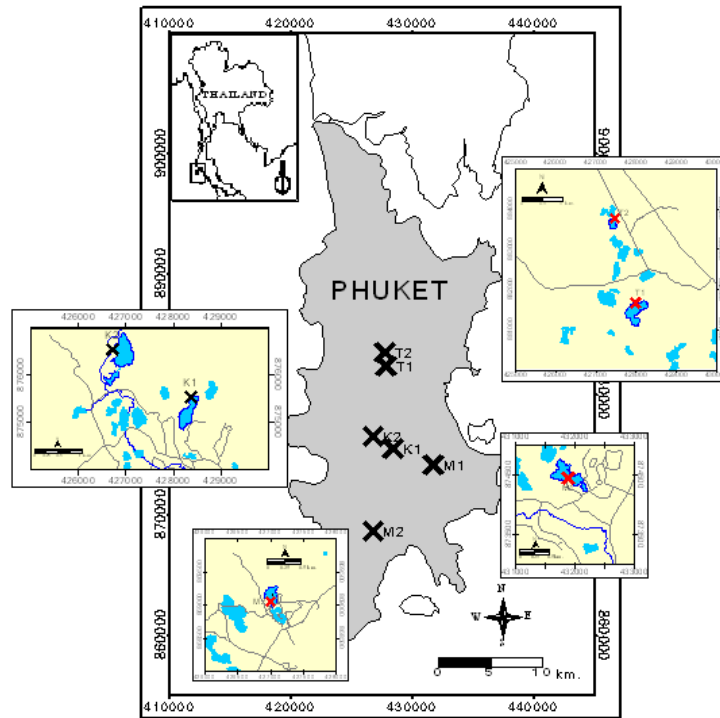
(a)



(b)

Figure 1. Map showing study area (a) U-Tapao river and Songkhla lake, Songkhla province (b) Bang Yai river and Bang Yai river catchment, Phuket province (c) the abandoned tin mine reservoir sampling sites in Phuket province.

[Color figure can be viewed in the electronic version]



(c)

Figure 1. Continued
[Color figure can be viewed in the electronic version]

ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องวัดพิกัดดาวเทียม GPS (Garmin รุ่น etrex) โดยกำหนดให้แต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างแสดงดัง Figure 1a 1b และ 1c ดินตะกอนท้องน้ำที่เก็บได้ทั้งหมดจะถูกนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนแยกขนาดซึ่งทำด้วยเหล็กไรสนิม (Retsch, Germany) เป็น 4 ช่วงขนาดเม็ดตะกอนคือ เล็กกว่า 75 ไมครอน 75 ถึง 106 ไมครอน 106 ถึง 150 ไมครอน และ 150 ถึง 300 ไมครอน เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

2. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็ก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลองในงานวิจัยสมบัติทางแม่เหล็ก ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กอาศัยการตวงดินตะกอน 10 มล. บรรจุลงในกล่องฟิล์ม

พลาสติก เพื่อนำไปวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (KLY-3S spinning kappabridge ของบริษัท AGICO) (Collinson, 1983) ส่วนที่สองเป็นการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดลองการเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างแบบไอโซเทอร์มัล (isothermal remanent magnetization: IRM) โดยนำดินตะกอนมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 ซม. สูง 2.2 ซม. ให้เหมาะสมช่องบรรจุตัวอย่างของเครื่องวัดค่าสภาพตกค้างทางแม่เหล็กธรรมชาติ (JR-4 spinner magnetometer ของบริษัท UGF) (Dunlop and Özdemir, 1997) เพื่อทดสอบหาค่าสภาพตกค้างทางแม่เหล็กจากการเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างแบบไอโซเทอร์มัล

3. การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

สมบัติทางแม่เหล็กที่ถูกนำมาใช้ในการสังเกต

พฤติกรรมของการสะสมตัว การเคลื่อนตัวและการกระจายตัวของดินตะกอนท้องน้ำที่ใช้กันมาก ได้แก่ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) โดยนำผลจากค่า k มาเปรียบเทียบกับเชิงภูมิศาสตร์กับพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้อาศัยการเหนี่ยวนำอำนาจแม่เหล็กตกค้างด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก (saturation isothermal remanent magnetization: SIRM) และค่า S-ratio (ค่า IRM-300 mT/SIRM) มาใช้ในการจำแนกชนิดของแร่แม่เหล็กในดินตะกอนท้องน้ำ ดังที่ Thompson และ Oldfield (1986) นำมาวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุธรรมชาติ โดยตัวอย่างที่มีค่า S-ratio เข้าใกล้ -1 เป็นวัสดุที่มีแร่แม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกได้ง่าย ได้แก่ วัสดุพวกที่มีแร่ในกลุ่มเฟอร์รี่แมกเนติก (ferrimagnetic minerals) ผสมร่วมกับแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติก (antiferromagnetic minerals) ส่วนค่า S-ratio เข้าใกล้ 1 เป็นวัสดุที่มีแร่แม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างได้ยาก แร่แม่เหล็กที่มีพฤติกรรมสอดคล้องกับค่า S-ratio เข้าใกล้ 1 ได้แก่ พวกแร่ที่มีองค์ประกอบเป็นแร่เฟอร์รี่แมกเนติกเป็นจำนวนมาก เช่น แร่เหล็ก และแร่แมกนีไทต์ ส่วนแร่แม่เหล็กที่มีพฤติกรรมสอดคล้องกับค่า S-ratio เข้าใกล้ 0 ได้แก่ พวกแร่ฮีมาไทต์หรือเกอไทต์ ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติก

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

ค่า k ที่นำมาช่วยในการสังเกตพฤติกรรมของการเคลื่อนตัว การกระจายตัว และการสะสมตัวของแร่แม่เหล็กในดินตะกอนท้องน้ำ แบ่งการวิเคราะห์ตามลักษณะของพื้นที่วิจัยออกเป็น 3 ส่วนคือ พื้นที่ซึ่งมีลักษณะเป็นระบบเปิด (คลอง) ระบบปิดและเปิดร่วมกัน (ทะเลสาบและพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง) สุดท้ายพื้นที่ระบบปิด (ขุมเหมืองเก่า)

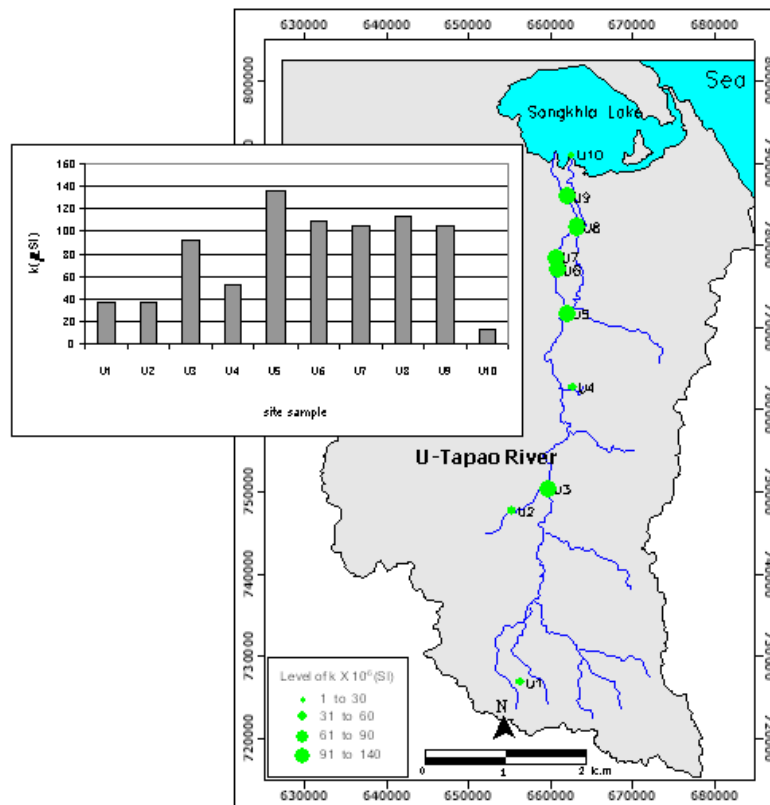
1.1 คลองอุ้ตะเภาและคลองบางใหญ่

ค่า k ของดินตะกอนท้องน้ำคลองอุ้ตะเภาและคลองบางใหญ่โดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 136 μ SI และ 3.85 ถึง 18.56 μ SI ตามลำดับ เมื่อนำมาแสดงผลในเชิงภูมิศาสตร์ดัง Figure 2 พบว่า ค่า k มีพฤติกรรม

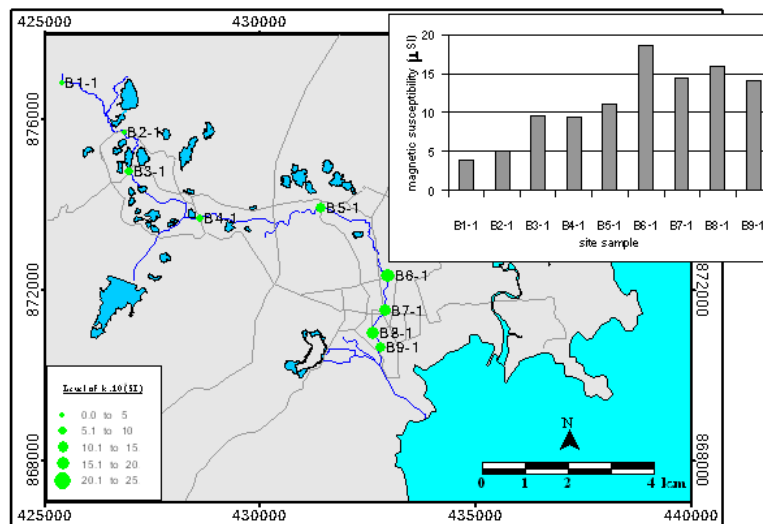
เพิ่มขึ้นจากแหล่งต้นน้ำไปจรดบริเวณท้ายคลองเหมือนกัน และมีพฤติกรรมคงตัวของค่า k ในช่วงใกล้ปากคลองที่เหมือนกัน เนื่องจากช่วงกลางของลำคลองจรดปลายลำคลองทั้งสองผ่านพื้นที่ชุมชน แต่คลองอุ้ตะเภามีค่า k มากกว่าคลองบางใหญ่มาก เนื่องจากคลองอุ้ตะเภายาวกว่าคลองบางใหญ่ค่อนข้างมากทำให้การสะสมตัวของดินตะกอนที่มาจากวัสดุแม่เหล็กรอบๆ ลำคลองในคลองอุ้ตะเภามีมากกว่าคลองบางใหญ่ ส่วนความผิดปกติของค่า k จากคลองอุ้ตะเภาในบางช่วงของลำคลอง (ตัวอย่าง U3) เป็นผลมาจากพื้นที่ที่คลองตัดผ่านดังกล่าวประกอบด้วยสวนยาง ชุมชนต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก ทำให้แร่แม่เหล็กที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มาปะปนในดินตะกอนที่มีอยู่ตามธรรมชาติทำให้เกิดความผิดปกติของค่า k ขึ้นมา ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่า k ที่เกิดขึ้นกับคลองบางใหญ่มีสาเหตุเช่นเดียวกับคลองอุ้ตะเภา แต่พบปริมาณค่า k ที่น้อยกว่า รวมทั้งเกิดจากการเคลื่อนตัวและสะสมตัวของดินตะกอนจากแหล่งต่างๆ รอบลำคลองตามธรรมชาติ ทั้งนี้ดินตะกอนที่ถูกพัดพาได้ดีโดยมากจะเป็นดินตะกอนที่มีขนาดเล็ก

1.2 ทะเลสาบสงขลาและพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่

ดินตะกอนท้องน้ำจากทะเลสาบสงขลาจากตัวอย่าง SL1 ถึงตัวอย่าง SL30 มีค่า k อยู่ในช่วง 34 ถึง 200 μ SI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.9 μ SI ถ้าพิจารณาในลักษณะการกระจายตัวแบบคอนทัวร์เปรียบเทียบกับเชิงภูมิศาสตร์ดัง Figure 3 พบว่า ค่า k จะมีค่าค่อนข้างมากในพื้นที่ใกล้จุดสิ้นสุดของคลองอุ้ตะเภาและเกาะยอ โดยค่า k ในขนาดเม็ดตะกอนเล็กกว่า 75 ไมครอน มีลักษณะการกระจายตัวเพิ่มขึ้นจากในทะเลสาบสงขลาไปสู่บริเวณช่องแคบทางออกสู่ทะเลนอก (Figure 3a) ส่วนขนาดเม็ดตะกอนที่เหลือมีลักษณะของการสะสมตัวของค่า k ในบริเวณพื้นที่ใกล้จุดสิ้นสุดของคลองอุ้ตะเภาและเกาะยอ ส่วนดินตะกอนท้องน้ำจากพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่จากตัวอย่าง B10-1 ถึงตัวอย่าง B15-1 มีค่า k อยู่ในช่วง 2.76 ถึง 21.94 μ SI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.08 μ SI ถ้าพิจารณาในลักษณะการกระจายตัวแบบคอนทัวร์เปรียบเทียบกับเชิงภูมิศาสตร์ดัง Figure 4 พบว่าค่า k จะมีค่าค่อนข้างมากในพื้นที่ใกล้กับอ่าวภูเก็ต (ห่างจากชายฝั่งประมาณ



(a)



(b)

Figure 2. Geological of magnetic susceptibility level of bottom sediment from U-Tapao and Bang Yai river.

[Color figure can be viewed in the electronic version]

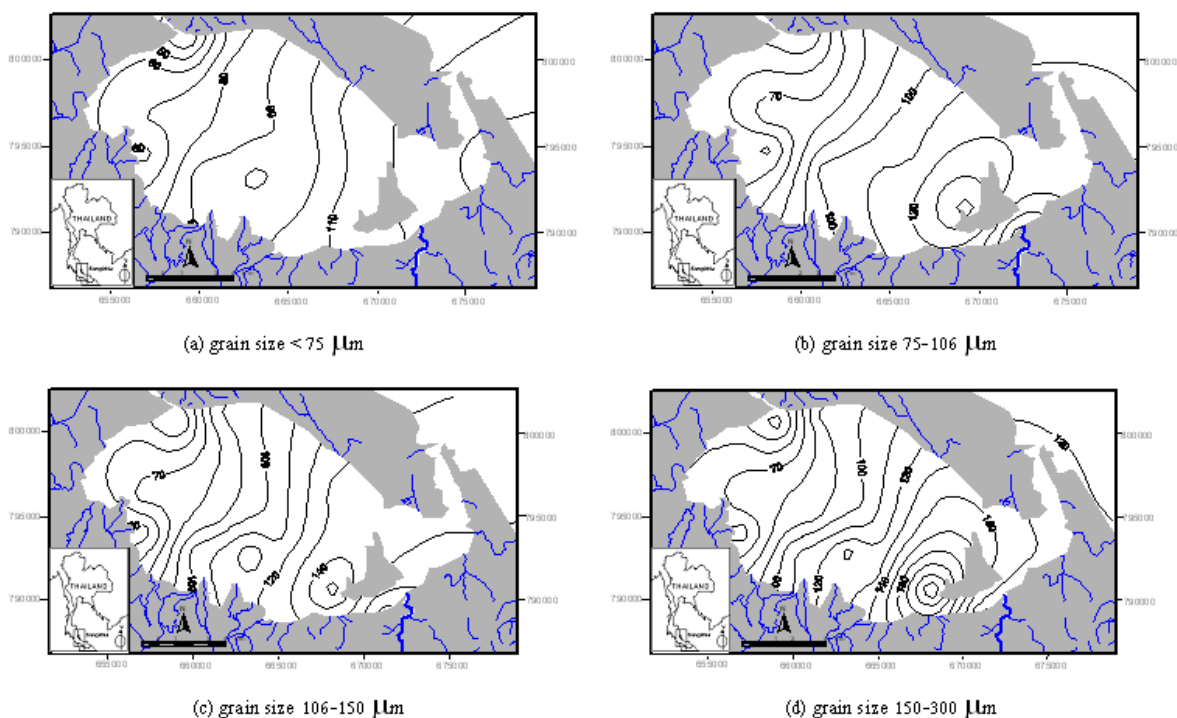


Figure 3. Contour showing distribution of magnetic susceptibility from bottom sediment in Songkhla Lake, Songkhla province.

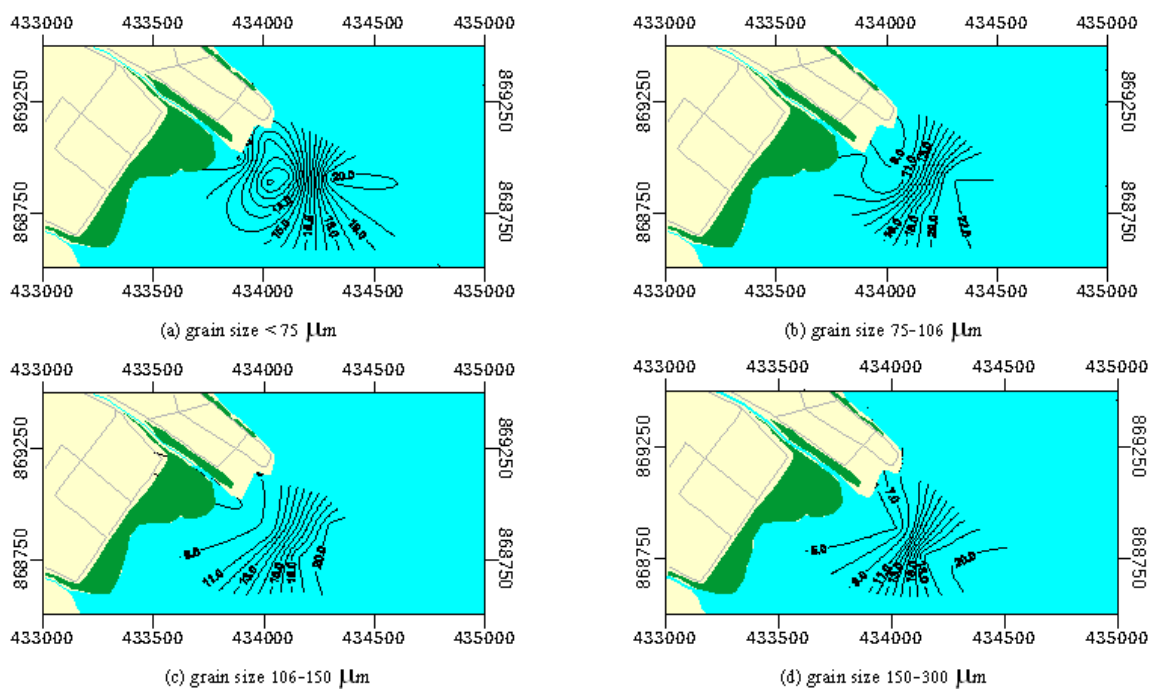


Figure 4. Contour showing distribution of magnetic susceptibility from bottom sediment in Bang Yai catchment, Phuket province.

[Color figure can be viewed in the electronic version]

1 กม.) ลักษณะการกระจายตัวของค่า k ในทุกขนาดเม็ดตะกอนมีลักษณะคล้ายกันคือ มีการแพร่กระจายตัวของค่า k ออกไปรอบๆ พื้นที่ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง และมีการเพิ่มขึ้นของค่า k จากจุดสิ้นสุดของคลองบางใหญ่ไปสู่ทะเลตามเส้นทางกรไหลของน้ำตามร่องน้ำในพื้นที่ดังกล่าว พฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่า k จากจุดสิ้นสุดของคลองไปสู่ทะเลที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ทั้งสองเกิดจากปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงที่เกิดขึ้นเป็นประจำตามธรรมชาติช่วยในการพัดพา ดินตะกอนที่มีขนาดเล็กและเบาออกสู่ทะเล ส่วนดินตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าก็อาจจะพบสะสมตัวในบางจุดที่ไม่ห่างจากจุดสิ้นสุดของคลองมากนักดังที่พบได้จากค่า k ที่แสดงใน Figure 3b-d

1.3 ขุมเหมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ต

ผลของค่า k จากดินตะกอนท้องน้ำขุมเหมืองเก่าภายในจังหวัดภูเก็ตทั้ง 6 ขุมเหมืองที่แต่ละขนาดเม็ดตะกอนแสดงดัง Table 1 ค่า k ของดินตะกอนจากตัวอย่างขุมเหมืองเก่าทั้งหมดทุกขนาดเม็ดตะกอนมีค่าค่อนข้างต่ำคือ มีค่าอยู่ในช่วง 4.27 ถึง 30.60 μSI ถ้าพิจารณาในลักษณะของค่าเฉลี่ยที่คิดจากทุกขนาดเม็ดตะกอนรวมกันพบว่าค่า k เฉลี่ยที่รวบรวมมาจากทุกตัวอย่างอยู่ในช่วง 6.49 ถึง 17.75 μSI ที่ขนาดเม็ดตะกอนเดียวกันในพื้นที่อำเภอเดียวกันจะมีค่า k ที่ไม่เท่ากัน โดยมีค่า k ที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนดัง Figure 5b และไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดตะกอนมีบางตัวอย่างที่ขนาดเม็ดตะกอนแปรผันกับค่า k ได้แก่ ตัวอย่าง T1 และ K1 ดัง Figure 5a เมื่อนำผลของค่า k ทุกๆ ตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับค่า k ของวัสดุในธรรมชาติ ได้แก่ หินแกรนิต (granite) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 50,000 μSI (Telford *et al.*, 1990) และหินตะกอน (sedimentary rock) ซึ่งได้แก่ ดินตะกอนแดง (red sediment) มีค่าอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 μSI

(Collinson, 1983) และหินทราย (sandstone) มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 20,900 μSI (Telford *et al.*, 1990) และจากวัสดุที่ไม่มีแร่เหล็กเป็นองค์ประกอบคือ แร่ควอตซ์ (quartz) มีค่าอยู่ในช่วง -13 ถึง 17 μSI (Collinson, 1983) พบว่าดินตะกอนท้องน้ำดังกล่าวอาจจะมาจากสิ่งที่ยังค้างมาจากการทำเหมืองแร่ดีบุกที่มีการขุดเอาวัสดุธรรมชาติหลายชนิดที่ฝังสะสมในพื้นที่ขุมเหมืองเก่าดังกล่าวขึ้นมา เมื่อหยุดการทำเหมืองแร่แล้ววัสดุที่ถูกขุดขึ้นมาจะถูกพัดพาตกลงไปสะสมตัวในขุมเหมืองเก่าดังกล่าว

2. สหสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับขนาดเม็ดตะกอน

เมื่อนำค่า k มาเขียนกราฟร่วมกับสัดส่วนโดยมวลของเม็ดตะกอนขนาดต่างๆ กันดัง Figure 6 พบว่าดินตะกอนขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนมีสหสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับค่า k ที่สุด ($R = -0.70$) รองลงมาคือ ดินตะกอนขนาด 150-300 ไมครอน ($R = -0.41$) ส่วนขนาดเม็ดตะกอนที่เหลือมีสหสัมพันธ์ที่ไม่ค่อยชัดเจน อิทธิพลของความเป็นแม่เหล็กในดินตะกอนโดยมากมาจากดินตะกอนขนาดเล็กเนื่องจากดินตะกอนขนาดเม็ดตะกอนเล็กๆ โดยมากจะอยู่ในรูปของไดโพลแม่เหล็กอิสระหรือแร่แม่เหล็กแบบโดเมนเดี่ยวขนาดเล็กซึ่งพบมากในแร่แม่เหล็ก รองลงมาเกิดจากรวมแม่เหล็กแบบหลายโดเมนรวมตัวกัน จากแนวโน้มของกราฟทั้งสองพบว่าที่สัดส่วนโดยมวลน้อยๆ จะมีค่า k ที่ค่อนข้างมากแสดงว่าโดยมากแร่แม่เหล็กดังกล่าวประกอบด้วยโดเมนเดี่ยวค่อนข้างมากปะปนอยู่ในแร่แม่เหล็กแบบหลายโดเมน เนื่องจากค่า k จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้น (Thompson and Oldfield, 1986) หากมีแร่แม่เหล็กแบบโดเมนเดี่ยวมากๆ จะสามารถลดทอนอิทธิพลของแร่แม่เหล็กแบบหลายโดเมนได้

Table 1. Magnetic susceptibility of bottom sediment from 6 abandon tin mines. (μSI)

Site	Grain size < 75 μm	Grain size 75-106 μm	Grain size 106-150 μm	Grain size 150-300 μm	Average
T1	8.73	12.36	18.41	30.60	15.61
T2	8.95	9.47	9.29	9.54	9.88
M1	4.72	4.72	4.27	3.28	6.49
M2	17.69	15.47	15.30	16.05	17.75
K1	10.29	11.46	12.09	15.74	12.79
K2	9.68	7.68	6.59	5.17	7.99

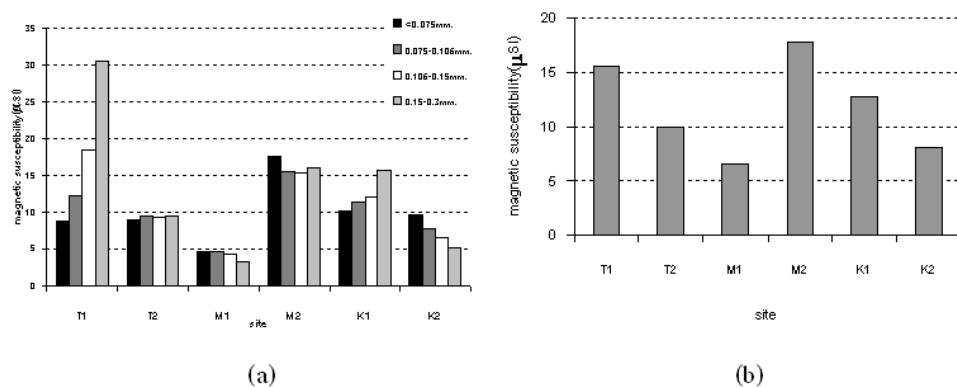


Figure 5. Distribution of magnetic susceptibility from 6 abandon tin mine (a) k from 4 grain size (b) k-average.

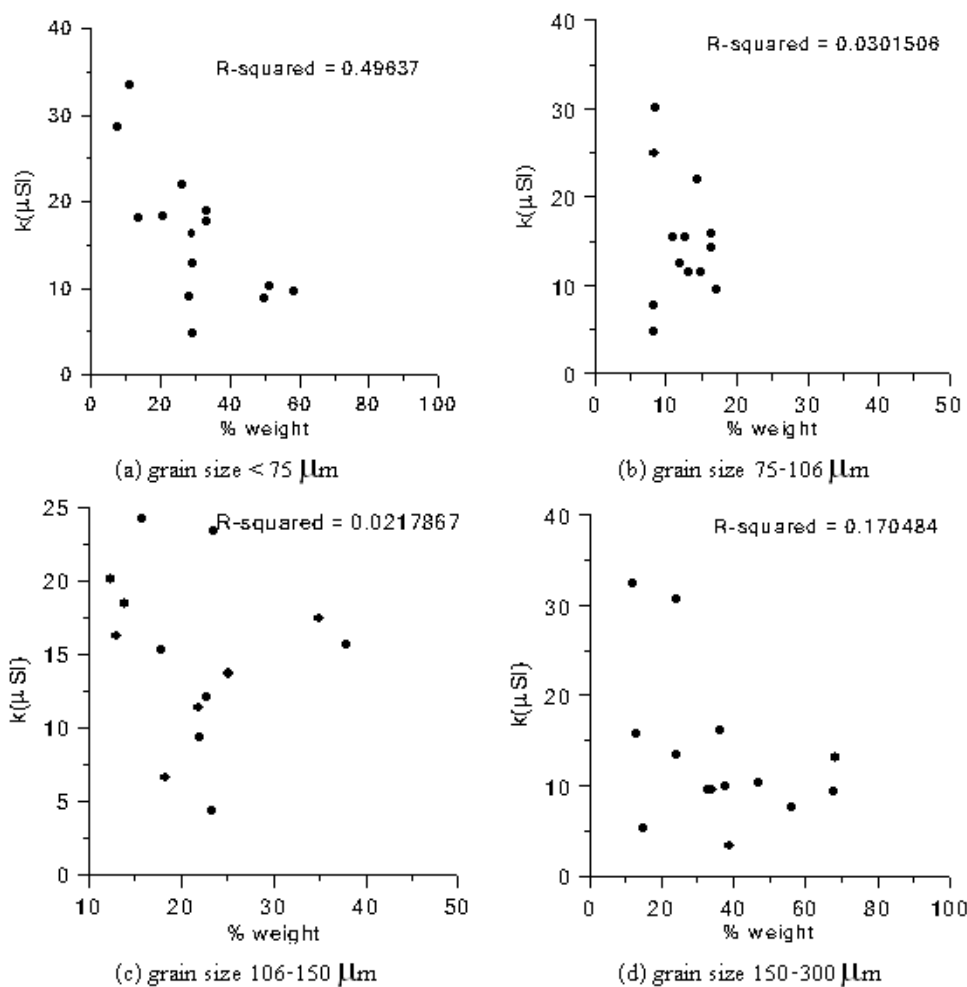


Figure 6. Biplot between k and weight fraction from 6 abandon tin mine and Bang Yai river samples (a) grain size $< 75\ \mu\text{m}</math> ($R = -0.70$) (b) grain size 75-106 $\mu\text{m}</math> ($R = 0.17$) (c) grain size 106-150 $\mu\text{m}</math> ($R = 0.15$) (d) grain size 150-300 $\mu\text{m}</math> ($R = -0.41$)$$$$

Table 2. IRM_{-300 mT}, SIRM S-ratio and k of bottom sediment from 6 abandon tin mines.

Site	Grain size < 75 μm			Grain size 75-106 μm			Grain size 106-150 μm			Grain size 150-300 μm		
	IRM _{-300 mT} (mA/m)	SIRM (mA/m)	S-ratio	IRM _{-300 mT} (mA/m)	SIRM (mA/m)	S-ratio	IRM _{-300 mT} (mA/m)	SIRM (mA/m)	S-ratio	IRM _{-300 mT} (mA/m)	SIRM (mA/m)	S-ratio
T1	-47.6	207	-0.23	93.4	336	0.28	51.7	366	0.14	-3.9	406	-0.01
T2	-66.7	105	-0.64	-64.6	105	-0.62	-58.8	97.7	-0.60	-47	85.5	-0.55
M1	64.2	335	0.19	-31	198	-0.16	-43.6	187	-0.23	-39.7	141	-0.28
M2	-120	152	-0.79	-102	132	-0.77	-93.9	126	-0.75	-119	135	-0.88
K1	-41.7	180	-0.23	-53.8	196	-0.27	-44.6	188	-0.24	-40.4	201	-0.20
K2	-41.6	145	-0.29	-	-	-	-153	218	-0.70	-110	164	-0.67

3. ค่า SIRM และค่า S-ratio ของตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำจากขุมเหมืองเก่า

ในการศึกษาพฤติกรรมของแร่แม่เหล็กโดยการเหนี่ยวนำดินตะกอนท้องน้ำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก จากค่า SIRM ทุกขนาดเม็ดตะกอนดัง Table 2 เมื่อนำมาพิจารณาแยกเป็นพื้นที่จากขุมเหมืองเก่า 6 ขุม จะได้ว่าตัวอย่างจากขุมเหมืองเก่าพื้นที่อำเภอเมืองมีค่า SIRM อยู่ในช่วง 126 ถึง 335 mA/m โดยมีลักษณะการลดลงของค่า SIRM เมื่อขนาดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้น ยกเว้นตัวอย่าง M2 ขนาดเม็ดตะกอน 150-300 ไมครอน ที่มีค่า SIRM เพิ่มขึ้น ถัดมาตัวอย่างจากขุมเหมืองเก่าพื้นที่อำเภอถลางมีค่า SIRM อยู่ในช่วง 85.5 ถึง 406 mA/m และมีการเปลี่ยนแปลงค่า SIRM เมื่อขนาดเม็ดตะกอนเปลี่ยนไปเช่นเดียวกัน โดยในตัวอย่าง T1 จะมีค่า SIRM เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้นแต่ในตัวอย่าง T2 จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะตรงกันข้ามกับตัวอย่าง T1 สุดท้ายตัวอย่างจากขุมเหมืองเก่าอำเภอกะทู้มีค่า SIRM อยู่ในช่วง 145 ถึง 218 mA/m แต่การเปลี่ยนแปลงของค่า SIRM เมื่อขนาดเม็ดตะกอนเปลี่ยนไปไม่มีลักษณะแนวโน้มที่ชัดเจน โดยตัวอย่าง K2 ที่ขนาดเม็ดตะกอน 75 ถึง 106 ไมครอนไม่มีข้อมูลเนื่องจากมีตัวอย่างไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทางแม่เหล็กนี้

ค่า S-ratio ของตัวอย่างดินตะกอนใน Table 2 พบว่าส่วนมากค่า S-ratio จะมีค่าเป็นลบ มีบางค่าที่มีเครื่องหมายบวกแต่มีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้กับศูนย์ ค่า S-ratio ที่พบมีความหลากหลายค่อนข้างมาก ส่วนใหญ่จะมีค่าที่ค่อนข้างที่จะเข้าใกล้ศูนย์ทั้งในทางลบและทางบวก นั้นหมายความว่าส่วนมากดินตะกอนท้องน้ำขุมเหมืองต่างๆ จะเป็นแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติกที่ประกอบด้วยโดเมน

แม่เหล็กแบบโดเมนเทียม (pseudo-single domain) และหลายโดเมน (multidomain) เป็นส่วนใหญ่ (Thompson and Oldfield, 1986) มีเพียงตัวอย่าง T2 และ M2 รวมทั้งขนาดเม็ดตะกอนขนาด 106 ถึง 300 ไมครอนของตัวอย่าง K2 ที่มีค่า S-ratio ที่ค่อนข้างมาก (มากกว่า -0.5) ซึ่งจัดว่าเป็นแร่แม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกได้ค่อนข้างง่าย อาจจะมีสัดส่วนของแร่ในกลุ่มแอนติเฟอร์โรแมกเนติกมากกว่าวัสดุพวกที่มีแร่ในกลุ่มเฟอร์รี่แมกเนติก

หากนำผลข้างต้นมาเปรียบเทียบกับวัสดุธรรมชาติในพื้นที่ซึ่ง อำเภอ (2538) ได้รวบรวมไว้โดยอาศัยหลักการจำแนกชนิดของวัสดุทางแม่เหล็กจากงานของ Thompson และ Oldfield (1986) มาอธิบายร่วมจะได้ว่า แร่เฟอร์รี่แมกเนติกที่พบน่าจะมาจากแร่ดินเหนียวที่อยู่ในดินตะกอนที่มีขนาดเม็ดตะกอนค่อนข้างเล็กสะสมตัวในอดีตในรูปของดินตะกอนยุคควอเทอร์นารี ผสมกับโดเมนเดี่ยวที่มาจากการฟุ้งของหินแกรนิตและหินตะกอนยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส ในพื้นที่ดังกล่าว อีกส่วนหนึ่งน่าจะมาจากแร่ฮีมาไทต์หรือเกอไทต์ ซึ่งพบมากในหินแกรนิตและหินตะกอนผสมกับแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติก ทั้งนี้แร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติกที่มีโดเมนแม่เหล็กแบบโดเมนเดี่ยว โดเมนเทียมและหลายโดเมนพบปะปนอยู่รวมกันในดินตะกอนดังกล่าว โดยมีสัดส่วนของโดเมนเทียมและหลายโดเมนที่มาจากพวกหินทรายที่มีองค์ประกอบเป็นพวกควอตซ์และทรายละเอียดปะปนอยู่ในขนาดเม็ดตะกอนดังกล่าวด้วยปริมาณที่ค่อนข้างมากกว่า ส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแร่ฮีมาไทต์ที่พบจากแหล่งกำเนิดแม่เหล็ก (k อยู่ในช่วง 500-40,000 μSI; Thompson and Oldfield, 1986)

4. สหสัมพันธ์ระหว่างค่า k กับความเข้มข้นโลหะหนัก

โลหะหนักที่นำมาศึกษาสหสัมพันธ์ ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) และทองแดง (Cu) เนื่องจากเป็นโลหะหนักที่เป็นธาตุองค์ประกอบของแร่เหล็กและสามารถถูกดูดซับได้ด้วยแร่เหล็ก (Garcia *et al.*, 1999) ดัง Table 3 ผลที่ได้พบว่าโลหะหนักในคลองอยู่ตะกอนและคลองบางใหญ่ มีสหสัมพันธ์ที่ค่อนข้างชัดเจนกว่าโลหะหนักจากชุมชนเมืองเก่า โลหะหนักที่มีสหสัมพันธ์กับคลองอยู่ตะกอนค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ Fe และ Zn คล้ายกับที่พบจากตัวอย่างดินบนถนนลิเวอร์พูลในประเทศอังกฤษ (Xie *et al.*, 2001) และดินจากทางตอนใต้ของประเทศโปแลนด์ (Strzyszc and Magiera, 1998) ส่วนคลองบางใหญ่ ได้แก่ Cu และ Zn ซึ่งเหมือนกับที่พบจากดินตะกอนจากพื้นดินใต้ถ้ำอ่าวฮ่องกง (Chan *et al.*, 1998) ส่วน Pb มีสหสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนมากเช่นเดียวกับโลหะหนักที่มาจากดินตะกอนชุมชนเมืองทั้ง 6 แห่งซึ่งคล้ายคลึงกับผลที่เกิดขึ้นกับทะเลสาบ Nechranice ตอนเหนือของโบฮีเมีย ประเทศสาธารณรัฐเช็ก (Petrosky *et al.*, 1998) ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับพื้นที่ชุมชนเมืองเก่าดังกล่าว

สรุป

1. ค่า k ของดินตะกอนท้องน้ำจากคลองบางใหญ่ และพื้นที่รองรับน้ำทั้งคลองบางใหญ่มีค่าน้อยถ้าเทียบกับค่า k จากคลองอยู่ตะกอนและทะเลสาบสงขลา แต่มีลักษณะของ

ค่า k ที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากแหล่งต้นน้ำไปถึงบริเวณพื้นที่ใกล้จุดสิ้นสุดของคลองเหมือนกัน สำหรับพื้นที่รองรับน้ำทิ้งและทะเลสาบมีลักษณะการกระจายตัวของค่า k แบบแผ่อกในทางที่เพิ่มขึ้นตามทิศทางของกระแสที่ไหลในร่องน้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ผลดังกล่าวเกิดจากดินตะกอนเล็กกว่า 75 ไมครอนถึง 106 ไมครอนถูกอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงควบคุมการพัดพาให้มีลักษณะการกระจายตัวของค่า k แบบแผ่อกไปรอบๆ พื้นที่แนวร่องน้ำในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งหรือทะเลสาบ

2. จากผลทางแม่เหล็กทั้งหมดสามารถกล่าวได้ว่าในดินตะกอนชุมชนเมืองเก่าทั้ง 6 แห่งของจังหวัดภูเก็ต จะมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่มาจากแร่ดินเหนียวที่อยู่ในดินตะกอนที่สะสมตัวในอดีตในรูปของดินตะกอนยุคควอเทอร์นารี ผสมกับโดเมนเดี่ยวที่มาจากการผุพังของหินแกรนิตและหินตะกอนยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัสในพื้นที่ดังกล่าว อีกส่วนหนึ่งน่าจะมาจากแร่ฮีมาไทต์หรือเกอไทต์ ซึ่งพบมากในหินแกรนิตและหินตะกอนผสมกับแร่แอนทิเฟอร์โรแมกเนติกที่มีสัดส่วนของโดเมนเทียมและหลายโดเมนที่ค่อนข้างมากกว่าจากพวกหินทรายที่มีองค์ประกอบเป็นพวกควอตซ์ และทรายละเอียดปะปนอยู่ในขนาดดินตะกอน ส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่วนหินหรือดินตะกอนขนาดใหญ่ดังกล่าวเมื่อมีการผุพังด้วยอิทธิพลของธรรมชาติเป็นดินตะกอนขนาดเล็กที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน) ส่งผลให้โดเมนแม่เหล็กแบบหลายโดเมนบางส่วนแตกออกมาเป็นโดเมนเดี่ยวไปสะสมตัวใน

Table 3. Correlation Coefficient between k and concentration of heavy metal

Heavy metal	Cu	Fe	Pb	Zn
6 abandon tin mine	0.07	0.40	0.05	0.36
Bang Yai river	0.64	0.16	0.44	0.56
U-Tapao river	-	0.64	0.30	0.51
The alluvial soil from Litavka river ^a	-	-	0.80	0.59
Nechranice Lake, Northern Bohemia ^b	0.38	0.12	-0.14	-0.02
Liverpool street dust, U.K. ^c	-	0.64	0.37	0.50
Sea-floor sediment of Hong Kong harbor ^d	0.73	-	0.82	0.60
Soils of Southern Poland ^e	-	0.75	0.79	0.52
Top soils in England ^f	0.48	0.46	0.21	0.40

^aPetrosky *et al.* (2001); ^bPetrosky *et al.* (1998); ^cXie *et al.* (2001); ^dChan *et al.* (1998);

^eStrzyszc and Magiera (1998); ^fHay *et al.* (1997)

ดินตะกอนขนาดเล็กที่สุดทำให้ค่า k และ SIRM ที่พบมีค่าค่อนข้างสูงกว่าในดินตะกอนขนาดใหญ่

3. โลหะหนักในคลองอู่ตะเภาและคลองบางใหญ่มีสหสัมพันธ์ที่ค่อนข้างชัดเจนกว่าโลหะหนักจากชุมชนเมืองเก่า โดยโลหะหนักที่มีสหสัมพันธ์กับคลองอู่ตะเภาค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ Fe และ Zn ส่วนคลองบางใหญ่ ได้แก่ Cu และ Zn แต่ Pb มีสหสัมพันธ์กับค่า k ที่ไม่ชัดเจนมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนจากงบประมาณแผ่นดินในส่วนของงานวิจัยจากโครงการแผนปฏิบัติการภูเก็ตเมืองนานาชาติ โครงการย่อยโครงการพัฒนาบุคลากรด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนนำอยู่อย่างยั่งยืนยุทธศาสตร์ที่ 3: การพัฒนาคนและสังคมประจำปี 2546 ให้กับโครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของไอออนโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำจากชุมชนเมืองในจังหวัดภูเก็ต และการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำบริเวณพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่จังหวัดภูเก็ต ที่เป็นโครงการใหญ่ของโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณมูลนิธิโทรเพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีประเทศไทย ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2542 ให้กับโครงการวิจัยเรื่องการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติแม่เหล็กของตะกอนกับความเข้มข้นโลหะหนักในตะกอนคลองอู่ตะเภาและทะเลสาบสงขลา ที่เป็นโครงการใหญ่ส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และวิทยาลัยชุมชนภูเก็ต เขตการศึกษาภูเก็ต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Upsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัยทางแม่เหล็ก ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ทางด้านการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) สำหรับข้อมูลทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของเกาะภูเก็ต

เอกสารอ้างอิง

- ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ และ ดร.ณิ ฟ่องสุวรรณ. 2545. ความเข้มข้นโลหะหนัก Mn, Fe, Ni, Pb, Cr และ Cd ในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก ที่ตกตะกอนระหว่างปี พ.ศ.2520-2538, ว.สงขลานครินทร์ วทท. 24(1): 89-106.
- นรินทร์ ชัยมณี และ นราเมศวร์ ชีวรังสิกุล. 2536. ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาควอเทอร์นารีเกาะภูเก็ต, กองธรณีวิทยากรมทรัพยากรธรณี. (สำเนา)
- สำนักงานผังประเทศและผังภาค กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2546. เอกสารผังเมืองรวมเกาะภูเก็ต, การสัมมนาเรื่องวิสัยทัศน์และกรอบบูรณาการ การพัฒนาเกาะภูเก็ตตามนโยบายรัฐบาลโดยคนภูเก็ต วันที่ 6-7 มีนาคม 2546 ณ โรงแรมรอยัลซิติ้ จังหวัดภูเก็ต, ประเทศไทย.
- ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำไพ ทองภิญโญ. 2538. ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต, เอกสารเผยแพร่เล่มที่ 7/2538, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2. (สำเนา)
- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. 2nd ed., Blackie. Glasgow.
- Chan, L.S., Yeung, C.H., Yim, W.W.-S., and Or, O.L. 1998. Correlation between magnetic susceptibility and distribution of heavy metals in contaminated sea-floor sediments of Hong Kong Harbor. Environ. Geol. 36(1-2): 77-86.
- Charlesworth, S.M. and Lees, J.A. 2001. The application of some mineral magnetic measurement and heavy metal analysis for characterising fine sediments in an urban catchment, Coventry, UK. J. App. Geophys. 48, 113-125.
- Collinson, D.W. 1983. Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism Techniques and Instrumentation., London New York Chapman and Hall.
- Dunlop, D.J. and Özdemir, Ö. 1997. Rock Magnetism Fundamentals and Frontiers., Cambridge University Press.
- 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.
- Garcia, A., Sanchez, A., Alastuey, A. and Querol, X. 1999. Heavy Metal adsorption by different mineral: application to the polluted soils., *Sci. Environ.* 242, 179-188.
- Kapicka, A., Petrosky, E., Jordanova, N. and Podrazsky. 2001. Magnetic Parameters of Forest Top Soil in Krkonose, Czech Republic. , *Phys. Chem. Earth.* 26(11-12): 917-922.
- Hay, K.L., Dearing, J.A., Baban, S.M.J. and Loveland, P. 1997. A Preliminary Attempt to Identify Atmospherically- Derived Pollution Particles in English Topsoils from Magnetic Susceptibility Measurements., *Phys. Chem. Earth.* 22(1-2): 207-210.
- Peters, C. and Thompson, R. 1998. Magnetic identification of selected natural iron oxides and sulphides., *J. Magnetism and Materials.* 183: 365-374.
- Peters, C. and Turner, G. 1999. Lake Paringa: A Catchment Study Using Magnetic Techniques, *Phys. Chem. Earth (a).* 24(9): 753-757.
- Petrosky, E., Kapicka, A., Zapletal, K., Sebestov'a, E., Spanil'a, 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.
- Petrosky, E., Kapicka, Jordanova, N. and Boruvka, L. 2001. Magnetic properties of alluvial contaminated with lead, zinc and cadmium. *J. App. Geophys.* 48: 127-136.
- Pozza, M.R., Boyce, J.I. and Morris, W.A. 2004. Lake-based magnetic mapping of contaminated sediment distribution, Hamilton Harbour, Lake Ontario, Canada. *J. App. Geophys.* 57: 23-41.
- Robertson, D.J., Taylor, K.G. and Hoon, S.R. 2003. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. *App. Geochemistry.* 18: 269-282.
- Stryszcz, Z. and Magiera, T. 1998. Magnetic Susceptibility and Heavy Metals Contamination in Soils of Southern Poland. *Phys. Chem. Earth.*, 23(9-10): 1127-1131.
- Thompson, R. and Oldfield, F.1986. *Environmental Magnetism.*, Allen & Unwin (Publisher) Ltd.
- Xie, S., Dearing, J.A., Bloemendal, J., Boyle, J.F. and Morse, A.P. 2001. Association between magnetic properties and element concentrations of Liverpool street dust and it's implications., *J. App. Geophys.* 48: 83-92.
- Watkins, S.J. and Maher, B.A. 2003. Magnetic characterisation of present-day deep-sea sediments and sources in the North Atlantic. *Earth. Planet. Sci. L.* 214: 379-394.