

สมบัติทางแม่เหล็กและความสัมพันธ์ร่วมกับปริมาณของเหล็ก อะลูมิเนียม ไทเทเนียม และซิลิคอนใน
หินและดินของจังหวัดภูเก็ต

**Magnetic properties and relationship with concentration of Fe, Al, Ti and Si in Rock and
Soil of Phuket Province**

ธงชัย สุธีรศักดิ์^{1*} และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ²

¹คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอเกาะภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83120 e-mail :

thongchai@phuket.psu.ac.th

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112 e-mail : tripop.b@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุพื้นฐาน Fe, Al, Si และ Ti ในหิน ดินและทรายของจังหวัดภูเก็ต จากการเก็บตัวอย่าง 10 จุด ทั้งหมด 18 ตัวอย่างในจังหวัดภูเก็ต รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย ผลการตรวจวัดปริมาณ Fe, Al, Si และ Ti ในหินมีค่าอยู่ในช่วง 12,570-36,300, 68,100-118,400, 280,200-330,000 และ 100-5,600 มก/กก. ตามลำดับ ในดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วง 6,800-63,820, 11,000-121,200, 245,400-326,700 และ <100-7,310 มก/กก. ตามลำดับ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและค่า SIRM ของหินอยู่ในช่วง 3.34-337.3 μ SI และ 19.29-3,620 mA/m ตามลำดับ ดินและทรายอยู่ในช่วง 5.01-165.6 μ SI และ 18.87-1,084.7 mA/m ตามลำดับ และค่า S-Ratio บ่งบอกว่าวัสดุธรรมชาติดังกล่าวมีแร่เฟอร์ไรต์แม่เหล็กผสมกับพาราแมกเนติกหรือไดอาแมกเนติกเสมือนว่ามีแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติกผสมอยู่นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมในหิน ดินและทรายพบ 2 ปัจจัยร่วม ปัจจัยร่วมแรกเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุในแร่ไบโอไทต์และควอตซ์ซึ่งเป็นอิสระต่อความเป็นแม่เหล็ก ส่วนปัจจัยร่วมที่สองเกี่ยวข้องกับความเป็นแร่แม่เหล็ก

คำหลัก : สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก, แร่แม่เหล็ก, สมบัติทางแม่เหล็ก, โลหะหนัก, หินและดิน

Abstract

The study was carried out in order to determine magnetic properties and concentration of Fe, Al, Si and Ti in rock, soil and sand sampling from Phuket Province. All together 18 samples from 10 sites were collected and a relationship between k and element concentration was analyzed with the factor analysis method. Results showed that concentration of Fe, Al, Si and Ti were 12,570-36,300, 68,100-118,400, 280,200-330,000 and 100-5,600 mg/kg respectively in rocks and were 6,800-63,820, 11,000-121,200, 245,400-326,700 and <100-7,310 mg/kg respectively in soils and sand. Magnetic susceptibility and SIRM were 3.34-337.3 μ SI and 19.29-3,620 mA/m respectively for rocks, and were 5.01-165.6 μ SI and 18.87-1,084.7 mA/m respectively for soils and sand. S-Ratio showed paramagnetic or diamagnetic domains in ferrimagnetic mineral and behaved as anti-ferromagnetic components. Factor analysis was conducted on rocks, soils and sand samples and 2 factors were determined; factor 1 related to element concentration in biotite mineral and quartz mineral, and factor 2 related to magnetic mineral.

Keywords : magnetic susceptibility, magnetic minerals, magnetic properties, heavy metal, rocks, soil, sediment, Phuket

บทนำ

หินที่พบโดยทั่วไปในจังหวัดภูเก็ตโดยมากเป็นหินแกรนิต หินชั้นและหินแปร เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสินแร่ต่างๆภายในพื้นที่ เช่น แร่เหล็กที่สะสมตัวตามลานแร่มีต้นกำเนิดส่วนใหญ่มาจากสายแร่ควอตซ์ส่งผลให้บริเวณที่ราบลุ่มในพื้นที่ดังกล่าวอุดมไปด้วยแร่ดีบุกและแร่ประกอบอื่นๆจำนวนมาก[1-2] จากข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาที่ Garson *et al.*[3] ได้เคยสำรวจเกี่ยวกับแร่และธาตุโลหะหนักต่างๆที่กระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ พังงาและภูเก็ต พบว่าข้อมูลที่สำรวจไว้ไม่มีข้อมูลของปริมาณธาตุโลหะหนักเหล็ก(Fe) และอลูมิเนียม(Al) ในส่วนของแร่แม่เหล็กที่มีธาตุ Fe Al และ Si สามารถพบได้ในดิน ดินตะกอน และหิน ซึ่งธาตุดังกล่าวเป็นธาตุพื้นฐานที่สามารถพบได้ค่อนข้างมากในสิ่งแวดล้อม ธาตุ Sn และ Ti เป็นธาตุที่พบได้ในแร่ที่มาจากพื้นที่ดังกล่าว โดยมากเกิดขึ้นมาพร้อมๆกับการเกิดของหินนั้นคือมาจากการเย็นตัวของหินเหลวร้อนใต้พื้นโลก ส่วนในวัฏศุนธรณีวิทยาจำพวกดินและดินตะกอนมาจากการผุพังของวัฏศุนธรณีวิทยาจำพวกหินและหน้าดินตามธรรมชาติ ที่มีการสะสมตัวมาตั้งแต่ครั้งอดีต [4] ในงานวิจัยนี้แยกการพิจารณาออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆคือ พิจารณาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กโดยดูจากค่าสภาพรีโซไไว้ได้ทางแม่เหล็กและค่าตัวแปรต่างๆทางแม่เหล็กในวัฏศุนธรณีวิทยา [5-8] ส่วนที่สองเป็นการตรวจหาปริมาณธาตุ Fe, Al, Ti และ Si ที่ปะปนอยู่ในวัฏศุนธรณีวิทยาจำพวกดินและหินว่ามีปริมาณมากหรือน้อย รวมถึงลักษณะการปนเปื้อนของธาตุดังกล่าว ดังเช่นที่พบโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนจากงานที่เคยมีการศึกษาไว้ [9-11] งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Ti, Si, Al และ Fe ที่ปะปนและสะสมตัวในวัฏศุนธรณีวิทยาจำพวกดินและหินในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตพร้อมหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุคั้งที่พบจากงานที่เคยศึกษาไว้ [8,12-13]

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

เกาะภูเก็ตอยู่ทางใต้ของประเทศไทยตั้งอยู่ฝั่งทะเลด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายู อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 7° 45'

23.3" และ 8° 11' 54.5" เหนือ และเส้นแวงที่ 98° 15' 40.0" และ 98° 26' 53.0" ตะวันออก ภูมิประเทศเป็นภูเขาต่อเนื่องมาจากทิวเขาตะนาวศรีทอดยาวในแนวเหนือใต้ เช่นเดียวกับตัวเกาะ [14] สภาพธรณีวิทยาของเกาะภูเก็ตเป็นหินตะกอนยุคเพอร์โมคาร์บอนิเฟอรัส (Permo-Carboniferous Sedimentary Formation) ซึ่งเรียกว่า หินชุดภูเก็ต ประกอบด้วย pebbly mudstone, greywacke, laminated quartzite, limestone, slate และ quartzitic sandstone ส่วนหินแกรนิตที่พบจัดเป็นพวก felsic granite-leucomonzogranite ซึ่งมี quartz monzonite เพียงเล็กน้อย โดยมีสายแร่ quartz, pegmatite และ aphanite พบในพื้นที่ประมาณสองในสามของเกาะภูเก็ต ดังแสดงใน รูปที่ 1 [1-2]

วัตถุประสงค์และวิธีการ

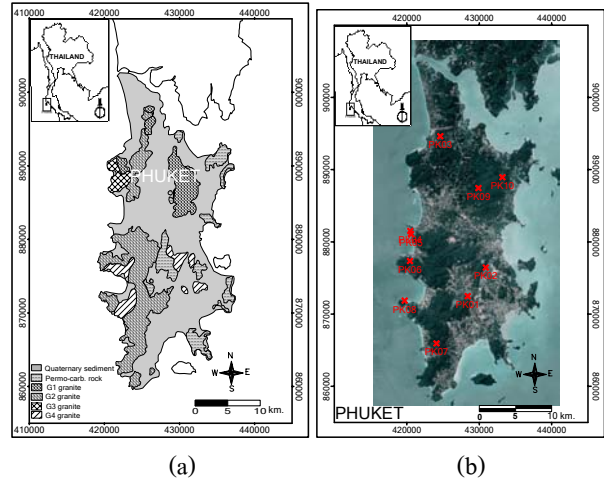
1) การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

สำรวจและเก็บตัวอย่างดินและหินจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ตโดยอาศัยความเหมาะสมของลักษณะทางธรณีวิทยา ภูมิประเทศและความเอื้ออำนวยต่อการเก็บตัวอย่างหิน ดินและทรายโดยแต่ละตำแหน่งจะเก็บตัวอย่างหินและดินหรือทรายทั้งหมด 10 จุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 1 นำตัวอย่างที่เป็นดินและหิน ไปอบที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำดินและหินที่ผ่านการอบแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปศึกษาสมบัติทางแม่เหล็ก ด้วยตรวจวัดค่าสภาพรีโซไไว้ได้ทางแม่เหล็ก(k) ด้วยเครื่อง KLY-3S spinning kappabridge ของบริษัท AGICO และการทดลองเพื่อศึกษาเหนี่ยวนำและการลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างเพื่อหา ค่าการเหนี่ยวนำแมกนีไทเซชันแบบไอโซเทอร์มัลลิมิตตัว(SIRM) ค่าการเหนี่ยวนำแมกนีไทเซชันแบบย้อนกลับด้วยสนามแม่เหล็กขนาด 100 mT ($IRM_{100\text{ mT}}$) [15] และค่า S-Ratio [5-6, 8, 16-17] ส่วนที่สองนำไปวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีทางรังสีเอกซ์[17-18] ด้วยวิธี WDXRF เพื่อตรวจหาปริมาณธาตุ Si, Ti, Al และ Fe ในวัฏศุนธรณีวิทยาดังกล่าว สุดท้ายศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กกับปริมาณธาตุจากการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสอง [9, 12-13, 18]

2) สมบัติทางแม่เหล็ก

สมบัติทางแม่เหล็กสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของแร่แม่เหล็กที่มีโดโพลแม่เหล็กเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน และสามารถอธิบายประเภทของโดเมนแม่เหล็กได้แก่ โดเมนเดี่ยว(SD) โดเมนเทียม(PSD) หลายโดเมน(MD)หรือโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก(SP) ในแร่แม่เหล็กและวัสดุธรรมชาติได้เช่นกัน พฤติกรรมของสมบัติทางแม่เหล็กสามารถนำไปสู่การจำแนกแร่แม่เหล็กที่อยู่ในวัสดุธรรมชาติได้แก่ แร่ไดอาแมกเนติก พาราแมกเนติก เฟอร์โรแมกเนติก เฟอร์รีแมกเนติกและแอนติเฟอร์โรแมกเนติก สมบัติทางแม่เหล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ค่า k และ SIRM ซึ่งสมบัติทางแม่เหล็กทั้งสองสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของโดเมนแม่เหล็กดังที่ Thompson and Oldfield [5] ได้แจกแจงไว้ และสามารถนำไปสู่การระบุชนิดของแร่แม่เหล็ก เช่น แร่ไดอาแมกเนติกมีโดโพลแม่เหล็กที่วางตัวในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายนอกส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าเป็นลบ แร่พาราแมกเนติกมีโดโพลแม่เหล็กที่วางตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายนอกแต่จะปรับสภาพกลับมาเป็นเช่นเดิมเมื่อปราศจากสนามแม่เหล็กส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่าที่ต่ำมากๆ แร่เฟอร์โรแมกเนติกเป็นแร่แม่เหล็กที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กภายนอกสูง ส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าสูงมาก แต่ถ้ามีโดโพลแม่เหล็กที่มีทิศทางตรงกันข้ามปะปนอยู่จะลดทอนความเป็นแร่แม่เหล็กกลายเป็นแร่เฟอร์รีแมกเนติก ถ้ามีองค์ประกอบของโดโพลดังกล่าวมากจะจัดอยู่ในกลุ่มของแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติก ในส่วนของค่า $IRM_{-100\text{ mT}}$ จะใช้พฤติกรรมการถูกลบล้างของ SIRM ด้วยสนามแม่เหล็กแบบย้อนกลับเพื่อคาดการณ์ค่าและจัดตัวกลับของโดโพลแม่เหล็ก ซึ่งค่า $IRM_{-100\text{ mT}}$ เป็นส่วนหนึ่งของการนำไปหาค่า S-Ratio ที่มาจากค่า $IRM_{-100\text{ mT}} / SIRM$ ใช้ในการจำแนกประเภทของโดเมนแม่เหล็กและแร่แม่เหล็ก วัสดุที่มีแร่แม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกได้ง่ายจะมีค่า S-Ratio ประมาณ -1 เช่น วัสดุที่มีแร่เฟอร์รีแมกเนติกผสมร่วมกับแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติก วัสดุที่มีแร่แม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างได้ยาก จะมีค่า S-Ratio ประมาณ 1 เช่น

วัสดุที่มีแร่เฟอร์รีแมกเนติกหรือเฟอร์โรแมกเนติกจำนวนมาก และกลุ่มแร่ที่สามารถถูกลบล้างอำนาจแม่เหล็กได้โดยง่ายด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกหรือเป็นวัสดุแม่เหล็กที่ไม่ดี จะมีค่า S-Ratio ประมาณ 0 [5,19]



รูปที่ 1 (a) ลักษณะทางธรณีวิทยาของหินและดินในจังหวัดภูเก็ต (b) ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างหินและดิน

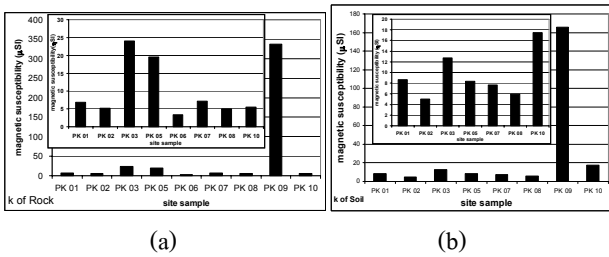
ผลและอภิปรายผล

การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

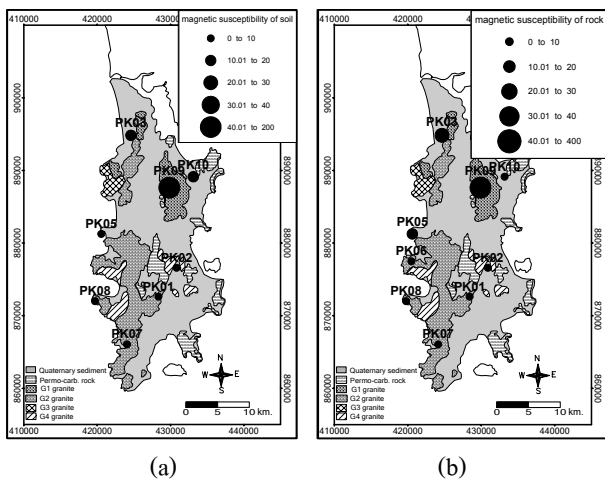
1) ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(k)

ค่า k ของหินและดินของจังหวัดภูเก็ตได้จากตำแหน่ง PK09 มีค่าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 337.33 μSI และ 165.63 μSI ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวมีค่าที่มากกว่าในทุกตัวอย่างที่พบในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตมาก(รูปที่ 2) ค่า k ที่พบจากตัวอย่างหินและดินในจังหวัดภูเก็ตส่วนมากจะมีค่าที่ต่ำดังแสดงใน ตารางที่ 1 (มีค่าอยู่ในช่วง 3.34-337.33 μSI และ 5.01-165.3 μSI ตามลำดับ) ค่า k ในตัวอย่างดินสูงกว่าตัวอย่างหินค่อนข้างมาก มีเฉพาะตัวอย่าง PK04 และ PK05 ที่มีค่า k ของหินมากในระดับเดียวกับดิน ในตัวอย่างที่ดินกับหินเก็บจากตำแหน่งเดียวกัน สาเหตุที่พบค่า k ในดินมากเนื่องจากดินส่วนมากที่เก็บได้ในแต่ละพื้นที่เป็นดินที่มาจากกรวดร้อนหรือสุกร้อนของหินเมื่อมาสะสมตัวและทำปฏิกิริยากับน้ำและอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของแร่ทางแม่เหล็ก ส่วนทรายมีค่า k อยู่ในระดับที่ต่ำมากๆ(มีค่า 1.22 μSI) ในช่วงเดียวกับแร่แม่เหล็ก

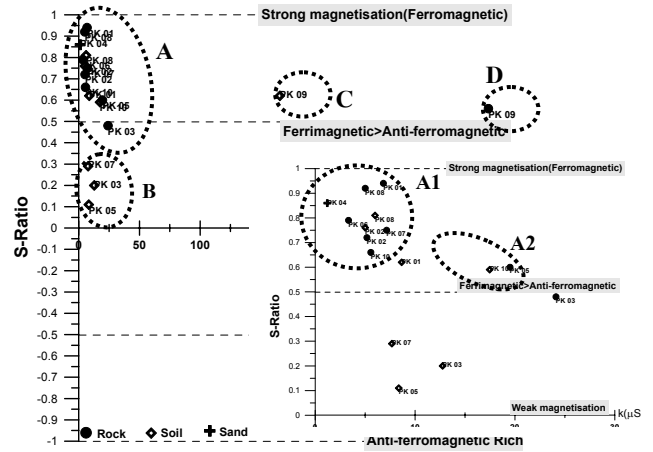
ในควอร์ตซ์(มีค่า k อยู่ในช่วง $-13-17 \mu\text{SI}$ [7]) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จากรูปที่ 3 ค่า k จากตำแหน่ง PK 09 แตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะแหล่งกำเนิดของหินดังกล่าวมาจากหินแกรนิตในหินชุดเขาพระเทว(G1) ซึ่งเป็นหิน Granodiorite [2] หินดังกล่าวเป็นหินที่พบแร่แม่เหล็กได้ค่อนข้างมาก ส่วนค่า k ตัวอย่างที่เหลือโดยมากจะมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่แม่เหล็กในตัวอย่างหินและดินเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี



รูปที่ 2 ค่าสภาพرابไว้ได้ทางแม่เหล็กจากหินและดินจังหวัดภูเก็ต (a) ตัวอย่างหิน (b) ตัวอย่างดิน



รูปที่ 3 ค่าสภาพرابไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ตที่แสดงผลเชิงภูมิศาสตร์และเชิงธรณีวิทยา (a) ตัวอย่างดินแสดงผลเชิงธรณีวิทยา (b) ตัวอย่างหินแสดงผลเชิงธรณีวิทยา



รูปที่ 4 การจำแนกความเป็นแม่เหล็กของตัวอย่างหิน ดิน และทรายจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ตจากค่า S-Ratio และค่าสภาพرابไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ต

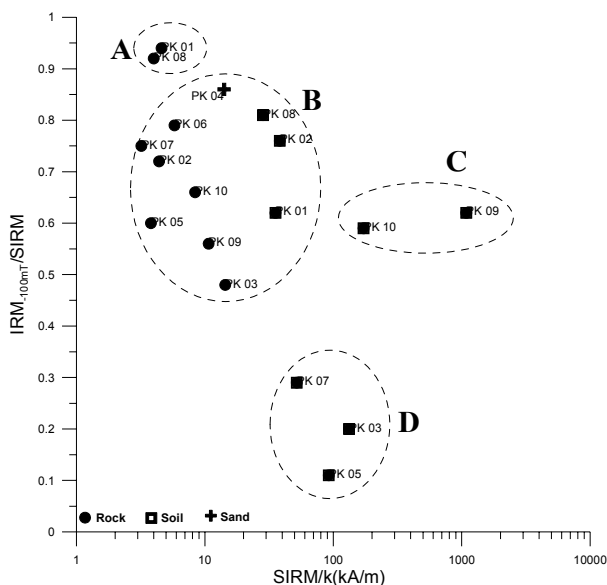
2) พฤติกรรมของค่า S-Ratio

ผลของค่า S-Ratio ที่แยกตามประเภทของวัสดุธรรมชาติที่เก็บจากจังหวัดภูเก็ต พบว่าแร่แม่เหล็กที่ประกอบในหิน ดินและทรายจังหวัดภูเก็ต โดยมากมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกอยู่ภายในค่อนข้างมากมีเฉพาะดินจากตัวอย่าง PK03, PK05 และ PK07 ที่พบว่ามีแร่แอนทิเฟอร์ไรต์แมกเนติกปะปนอยู่ในแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกมากกว่าตัวอย่างทั่วไป เมื่อเขียนกราฟร่วมกับค่า k (รูปที่ 4) พบการรวมกลุ่มกันของข้อมูลทั้งหมดแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่กลุ่ม A สามารถแยกย่อยได้เป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่ม A1 ค่า k ค่อนข้างต่ำแต่มีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกอยู่ค่อนข้างมากซึ่งเป็นผลมาจากโดเมนแร่พาราแมกเนติกปะปนอยู่ในตัวอย่างดังกล่าว ส่วนกลุ่ม A2 มีค่า k สูงกว่าแต่ปริมาณแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกใน A2 น้อยกว่ากลุ่ม A1 น่าจะมาจากแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกถูกอิทธิพลของโดเมนพาราแมกเนติกที่มีค่า k สูงทำให้ภาพรวมดูเหมือนว่ามีความเป็นแร่แอนทิเฟอร์ไรต์แมกเนติก กลุ่ม B สภาพแร่แม่เหล็กมีแร่แอนทิเฟอร์ไรต์แมกเนติกที่ค่อนข้างมากอาจเกิดจากสัดส่วนของไดโพลของไดอามแมกเนติกเนื่องจากไดอามแมกเนติกเป็นวัสดุที่มีค่า k ลดทอนความเป็นแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติก กลุ่ม D เป็นหินแกรนิตที่น่าจะมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่ค่อนข้างแรงจำพวกแมกนีไทต์ปะปนอยู่กับแร่อื่นๆที่มีค่า k ไม่เด่นมากเช่นพวกควอร์ตซ์และเฟลด์สปาร์

ส่งผลให้แร่โดอาแมกเนติกที่ปะปนอยู่ลดทอนสภาพแร่เฟอร์รีแมกเนติกภายในหิน กลุ่ม C เป็นแร่ดินเหนียวที่มาจากหิน (ตำแหน่ง PK09 กลุ่ม D) เกิดการฟุ้งและเปลี่ยนสภาพแร่จากแร่เฟอร์รีแมกเนติกที่มีค่า k สูงเป็นค่า k ที่ต่ำลงกว่าหินต้นกำเนิด

3) การจำแนกแร่แม่เหล็ก

การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กอีกหนึ่งวิธีที่ Thompson and Oldfield [5] ได้นำมาใช้ในการศึกษากับวัสดุธรรมชาติต่างๆและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือการนำค่า SIRM/k มาเขียนกราฟพร้อมกับค่า $IRM_{-100mT}/SIRM$ ค่า SIRM/k เป็นค่าที่สามารถใช้ระบุถึงประเภทแม่เหล็กว่าเป็นโดเมนเดี่ยว (SD) โดเมนเทียม(PSD) หลายโดเมน(MD)หรือโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก(SP) ทั้งนี้โดเมนเดี่ยวและโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติกมักจะมีค่า SIRM/k ที่คาบเกี่ยวกันอยู่บางส่วน โดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติกจะมีค่า SIRM/k ที่ต่ำมาก ไปจนถึงค่าสูงสุด ส่วนที่เหลือจะมีค่าลดหลั่นกันจากมากไปหาน้อยเริ่มจากโดเมนเดี่ยวยาว(ESD) ตามด้วย PSD ไปสิ้นสุดที่ MD ตามลำดับ[5] หากนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า $IRM_{-100mT}/SIRM$ จะสามารถอธิบายองค์ประกอบเชิงแม่เหล็กที่ชัดเจนได้ยิ่งขึ้น



รูปที่ 5 การจำแนกองค์ประกอบของแร่แม่เหล็กด้วยค่า SIRM/k ร่วมกับความเป็นแม่เหล็กที่มาจากค่า $IRM_{-100mT}/SIRM$ ของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ต

ผลจากการเขียนกราฟข้อมูลค่า $IRM_{-100mT}/SIRM$ กับ SIRM/k ของหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ตดังรูปที่ 5 พบการกระจายของข้อมูล 4 กลุ่ม กลุ่ม A มี 2 ตัวอย่างเป็นกลุ่มที่มีความเป็นแร่เฟอร์รีแมกเนติกสูงแต่มีค่า SIRM/k ที่ต่ำอาจเป็นไปได้ว่าในแร่เฟอร์รีแมกเนติกดังกล่าวมีโดเมนแบบ SD ปะปนอยู่ร่วมกับ MD ที่มีทั้งในเฟอร์รีแมกเนติกและพาราแมกเนติก กลุ่ม B มีข้อมูลตัวอย่างหิน ดินและทรายรวมกลุ่มอยู่ซึ่งในกลุ่มข้อมูลนี้จะมี PSD จากแอนติเฟอร์โรแมกเนติกปะปนกับ MD ในแร่เฟอร์โรแมกเนติกทำให้อธิบายผลของแร่เฟอร์รีแมกเนติกเสมือนถูกลดทอนลง กลุ่ม C ก็มีลักษณะข้อมูลที่คล้ายกับกลุ่ม B แตกต่างกันที่กลุ่ม C อาจจะมีโดเมนแบบ SD และ PSD หรือโดเมนที่สามารถพบได้ในแร่ฮีมาไทต์ปะปนอยู่กับ MD ในแร่เฟอร์รีแมกเนติกค่อนข้างมากกว่าสุดท้ายกลุ่ม D น่าจะมีโดเมนส่วนใหญ่เป็นแบบ MD ของพาราแมกเนติกและแอนติเฟอร์โรแมกเนติกอยู่ในแร่เฟอร์รีแมกเนติก

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในวัสดุธรรมชาติ

1. เหล็ก(Fe) เป็นธาตุโลหะหนักที่มักพบได้มากในธรรมชาติในรูปของเหล็กออกไซด์ พบความเข้มข้นของ Fe ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง 12,570 ถึง 36,300 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24,677 มก/กก.) ตัวอย่างดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วง 6,800 ถึง 63,820 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38,769 มก/กก.) ดังแสดงในตารางที่ 2 ปริมาณ Fe ในหินที่พบมากที่สุดมาจาก PK09 ส่วนดินพบมากที่สุดจาก PK03 ซึ่งเป็นดินที่มาจาก การสลายตัวของหินในพื้นที่ดังกล่าว จากข้อมูลโดยรวมพบปริมาณของเหล็กมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและท้ายสุดคือทราย

2. อะลูมิเนียม(Al) เป็นธาตุโลหะหนักที่มักพบได้มากในธรรมชาติในรูปของอะลูมิเนียมออกไซด์หรือสารประกอบอื่นในแร่บางชนิด พบความเข้มข้นของ Al ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง 68,100 ถึง 118,400 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80,957 มก/กก.) ตัวอย่างดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วง 11,000 ถึง 121,200 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94,831 มก/กก.) ดังแสดงในตารางที่ 2 ปริมาณ Al ในหินมีมากที่สุดมาจาก PK01 ที่เป็น

ตารางที่ 1 สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของหิน ดินและทราย จากจังหวัดภูเก็ต

Sample	Magnetic susceptibility(μ SI)			SIRM(mA/m)			S-Ratio			
	Average	Range		Average	Range		Average	Range		
		Minimum	Maximum		Minimum	Maximum		Minimum	Maximum	
Phuket	Rock	46.0 \pm 109.4	3.34	337.33	467 \pm 1187	19.29	3620	0.71	0.48	0.94
	Soil and Sand	28.95 \pm 55.37	1.22	165.63	204 \pm 359	18.87	1084.7	0.54	0.11	0.81

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของธาตุ อะลูมิเนียม(Al) เหล็ก(Fe) ซิลิคอน(Si) และ ไทเทเนียม(Ti) (ในหน่วย มก/กก.) จากหิน ดินและทราย ของจังหวัดภูเก็ต

Sample	Al			Fe			Si			Ti			
	Average	Range		Average	Range		Average	Range		Average	Range		
		Minimum	Maximum		Minimum	Maximum		Minimum	Maximum		Minimum	Maximum	
Phuket	Rock	80957 \pm 15586	68100	118400	24677 \pm 8671	12570	36300	305754 \pm 18591	280200	330000	2644 \pm 1518	100	5600
	Soil and Sand	85517 \pm 34506	11000	121200	35217 \pm 19001	6800	63820	288006 \pm 26793	245400	326700	3783 \pm 2193	<100	7310

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของ Fe, Al, Si, และ Ti จากตัวอย่างหิน ดินและทรายในจังหวัดภูเก็ต

Area	Material	Factor	k	Fe concen	Al concen	Si concen	Ti concen
Phuket	Rock	1	0.719435	0.771184	0.046866	-0.36762	0.976634
		2	0.244841	0.393017	0.788585	-0.91527	0.162286
	Soil and Sand	1	0.956016	0.241294	-0.11177	0.180048	0.489941
		2	0.086342	0.858449	0.8682	-0.03654	0.693991

หินแกรนิตที่เกิดการผุพัง ส่วนดินพบมากที่สุดจาก PK08 ซึ่งเป็นดินที่มาจากผุพังของหินในพื้นที่ จากข้อมูลโดยรวมพบปริมาณของอะลูมิเนียมมากที่สุดที่ดิน รองลงมาคือหินและท้ายสุดคือทราย

3. ซิลิกอน(Si) เป็นธาตุที่มักพบได้มากที่สุดในธรรมชาติในรูปของแร่ซิลิกาเนื่องจากเป็นแร่ประกอบพื้นฐานในดินและหิน พบความเข้มข้นของ Si ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง 280,200 ถึง 330,000 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 305,754 มก/กก.) ตัวอย่างดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วง 245,400 ถึง 326,700 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 293,331 มก/กก.) ดังแสดงในตารางที่ 2 ความเข้มข้นของ Si ที่พบใน หินและดินมีมากที่สุดในตัวอย่ง PK10 ส่วนทรายมีปริมาณ Si น้อยกว่าในหินและดิน ปริมาณของซิลิกอนในหินมากกว่าในดินและทรายแต่ในภาพรวมอยู่ระดับที่แตกต่างกันไม่มาก

4. ไทเทเนียม(Ti) เป็นธาตุโลหะหนักที่สามารถพบได้ในธรรมชาติในรูปของแร่ไทเทเนียมออกไซด์ พบความเข้มข้นของ Ti ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 5,600 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,644 มก/กก.) ตัวอย่างดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วงค่าที่น้อยกว่า 100 ถึง 7,310 มก/กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,244 มก/กก.) โดยไทเทเนียมในตัวอย่างทรายมีค่าน้อยเกินกว่าที่จะตรวจวัดได้ด้วยวิธี WDXRF ไทเทเนียมจัดว่าเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยที่สุดในวัสดูธรรมชาติ เมื่อเทียบกับ 4 ธาตุที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 2 โดยหินที่มี Ti มากที่สุดมาจาก PK09 ส่วนดินพบมากที่สุดจาก PK07 ปริมาณของไทเทเนียมมีมากที่สุดที่ดิน รองลงมาคือดินและท้ายสุดคือทราย

การวิเคราะห์ปัจจัย

1. ตัวอย่างหินจากจังหวัดภูเก็ต มีค่า R อยู่ในช่วงที่แสดงความสัมพันธ์กัน 7 คู่ตัวแปรคือ Fe - k(R = 0.51), Si - k(R = -0.50), Ti - k(R = 0.75), Fe - Si(R = -0.64), Fe - Ti(R = 0.82), Al - Si (R = -0.74) และ Si - Ti(R = -0.51) ผลจากการสกัดปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ [20] ด้วยการหมุนแกนปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax สกัดเอาตัวแปรของปัจจัย

ร่วมได้ 2 ปัจจัยร่วมดังแสดงใน ตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วย ค่า k ปริมาณของ Fe และปริมาณของ Ti สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 54.15 ปัจจัยร่วมที่ เกี่ยวข้องกับปริมาณแร่แม่เหล็กที่มีธาตุทั้ง 2 เป็นองค์ประกอบ ได้แก่แร่ในกลุ่มไททาโนแมกนีไทต์และโอลิมีไนต์ ส่วนปัจจัยร่วมที่ 2 (Factor 2) ประกอบด้วย ปริมาณของ Al และปริมาณของ Si สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 23.92 ปัจจัยร่วมที่ เกี่ยวข้องกับแร่ที่มีปริมาณธาตุทั้งสองซึ่งได้แก่ โบโอไทต์ และแร่ ซิลิเกตจำพวก ควอร์ตซ์ จากปัจจัยร่วมทั้งสองพบว่าแร่จากปัจจัยร่วมที่ 1 อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กมาช่วยในการสืบถึงปริมาณของ แร่ดังกล่าวได้ แต่แร่ในกลุ่มที่ 2 ไม่สามารถใช้ค่าจากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กมาช่วยในการหาปริมาณได้หรือปริมาณของแร่ใน ปัจจัยร่วมที่สองเป็นอิสระกับค่าจากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

2. ตัวอย่างดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต ค่า R อยู่ในช่วงที่มีความสัมพันธ์กัน 4 คู่ตัวแปรคือ Ti - k(R = 0.53), Fe - Al(R = 0.72), Fe - Ti (R = 0.71), และ Al - Ti(R = 0.55) ผลจากการสกัด ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ [20] ด้วยการหมุนแกน ปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax สกัดเอาตัวแปรของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วมดังแสดงใน ตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 (Factor 1) ประกอบด้วย ค่า k เพียงอย่างเดียว สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ ร้อยละ 36.70 เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นแม่เหล็ก ส่วน ปัจจัยร่วมที่ 2 (Factor 2) ประกอบด้วย ปริมาณของ Fe ปริมาณของ Al และปริมาณของ Ti สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ ร้อยละ 28.06 เป็นปัจจัยร่วมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแร่ที่มีธาตุทั้ง 3 เป็นธาตุองค์ประกอบ ได้แก่แร่ในกลุ่มไททาโนแมกนีไทต์ โอลิมี ไนต์ และโบโอไทต์ แต่ไม่ได้ให้ความชัดเจนกับค่า k หมายความว่า ปริมาณของธาตุองค์ประกอบกับความเป็นแม่เหล็กเป็นอิสระต่อกัน จึงไม่อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กในการตรวจหาปริมาณของแร่ ดังกล่าวได้

สรุป

1) ค่า k ของหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต พบค่า k ของตัวอย่าง หินและดินจากตำแหน่ง PK09 มีค่าสูงที่สุด(มีค่าเท่ากับ 337.33

μSI และ 165.63 μSI ตามลำดับ) และค่า SIRM สูงที่สุดคือ PK09 เช่นกัน(มีค่าเท่ากับ 3,620 mA/m และ 1,084.72 mA/m ตามลำดับ) ซึ่งผลดังกล่าวแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ เพราะแหล่งกำเนิดของหินดังกล่าวมาจากหินแกรนิตในหินชุดเขาพระแทว(G1) ซึ่งหินดังกล่าวเป็นหินที่พบแร่แม่เหล็กได้ค่อนข้างมาก

- 2) ตัวอย่างหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต ส่วนมากมีค่า S-Ratio อยู่ในช่วงที่มีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกอยู่ค่อนข้างมากแต่อาจมีไดโพลจากพาราแมกเนติกที่ปะปนอยู่ในออบรบกรวนสภาพทางแม่เหล็ก ส่วนตัวอย่างกลุ่มที่มีค่า S-Ratio น้อยกว่า 0.5 อาจมีองค์ประกอบของแร่แอนทิเฟอร์โรแมกเนติกที่ค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากสัดส่วนของไดโพลจากไดอามแมกเนติกภายในตัวอย่างลดทอนความเป็นแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่มีอยู่ แต่ปริมาณไดโพลดังกล่าวยังไม่มากพอที่จะทำให้แร่ดังกล่าวกลายเป็นแร่แอนทิเฟอร์โรแมกเนติก
- 3) ตัวอย่างหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต ส่วนมากมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่ถูกบกรวนโดยไดโพลที่แตกต่างกัน เป็นผลจากโดเมนอิสระแบบ SD ปะปนอยู่ร่วมกับ MD ในแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกและพาราแมกเนติก ส่วนแร่ที่อยู่นอกเหนือจากกลุ่มดังกล่าวเป็นแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่มีโดเมนไดอามแมกเนติกแบบ SD หรือ PSD ปะปนอยู่กับ MD ของแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติก
- 4) ปริมาณเหล็กพบมากที่สุดที่ดิน รองลงมาคือหินและทรายที่สุดคือทราย ปริมาณอะลูมิเนียมพบมากที่สุดที่ดิน รองลงมาคือหินและน้อยที่สุดคือทราย ปริมาณของไทเทเนียมพบมากที่สุดที่ดิน รองลงมาคือหินและน้อยที่สุดคือทราย ความเข้มข้น Ti ในทรายมีค่าน้อยมากเกินกว่าจะสามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธี WDXRF ปริมาณซิลิกอนพบมากในหินโดยพบมากกว่าในดินและทราย
- 5) ตัวอย่างวัสดุธรรมชาติจากจังหวัดภูเก็ต มีปริมาณธาตุซิลิกอน(Si) ส่วนมากจากแร่ควอตซ์ซึ่งมีสารพวกซิลิเกตอยู่ค่อนข้างมาก ธาตุเหล็ก(Fe) ที่พบมาจากแร่ไบโอไทต์ที่อยู่ในกลุ่มแร่ไมกา($(K(Mg,Fe^{2+})_3(Al,Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH)_2$) ที่

สามารถพบร่วมกับแร่ควอตซ์ นอกจากนี้ยังพบแร่ฟีนมา

(feldspar) ซึ่งมีลักษณะสีชาวด้านๆเหมือนฟันของม้าซึ่งเป็นที่มาของสารประกอบซิลิเกตกับโพแทสเซียมในหิน

- 6) การสกัดปัจจัยร่วมในหิน เพื่อหาปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรได้ ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วมดังตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 เกี่ยวข้องกับแร่แม่เหล็กที่มีปริมาณธาตุ Fe และ Ti ซึ่งได้แก่แร่ในกลุ่มไททานโนแมกนีไทต์และโอลิมีไนต์ ส่วนปัจจัยร่วมที่ 2 เกี่ยวข้องกับแร่ที่มีปริมาณธาตุ Si และ Al ซึ่งได้แก่ ไบโอไทต์ และแร่ซิลิเกตจำพวกควอตซ์ ปัจจัยร่วมที่ 1 อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กมาช่วยในการสื่อถึงปริมาณของแร่ดังกล่าวได้ แต่แร่ในกลุ่มที่ 2 ไม่สามารถใช้ได้
- 7) การสกัดปัจจัยร่วมในดิน เพื่อหาปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรได้ ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วมดังตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 เกี่ยวข้องกับความเป็นแม่เหล็กของดิน ปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับปริมาณของแร่ที่มีธาตุ Fe, Al และ Ti ได้แก่แร่ในกลุ่มไททานโนแมกนีไทต์โอลิมีไนต์ และไบโอไทต์ โดยแร่ดังกล่าวเป็นอิสระกับความเป็นแม่เหล็กจึงไม่อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กในการตรวจหาปริมาณของแร่ดังกล่าวได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โครงการวิจัยเรื่อง แร่แม่เหล็กและโลหะหนัก Fe, Al, Sn ในวัสดุรอบๆจังหวัดภูเก็ตและพังงาดอนล่าง ที่เป็นโครงการใหญ่ของโครงการงานวิจัยนี้ รวมทั้งสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Uppsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัยทางแม่เหล็ก ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆทางด้านการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน) สำหรับความเอื้อเฟื้อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ขอขอบคุณสำนักงาน

ทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) สำหรับข้อมูลทางธรณีวิทยา โดยทั่วไปของเกาะภูเก็ต

เอกสารอ้างอิง

- [1] นรินทร์ ชัยมณี และ นราเมศวร์ ชีร์รังสิกุล. 2536. ธรณีวิทยาและธรณีวิทยาควอเทอร์นารีเกาะภูเก็ต. กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. (สำเนา)
- [2] อำไพ ทองภิญโญ. 2538. ธรณีวิทยาจังหวัดภูเก็ต. เอกสารเผยแพร่เล่มที่ 7/2538, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2.
- [3] Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., 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.
- [4] ชงชัย พึ่งรัศมี. 2531. ธรณีวิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. : โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์.
- [5] Thompson, R. and Oldfield, F. 1986. Environmental Magnetism. Allen & Unwin (Publisher) Ltd.
- [6] Peters, C. and Thompson, R. 1998. Magnetic identification of selected natural iron oxides and sulphides. Journal of Magnetism and Materials. 183, 365-374.
- [7] Hunt, C.P., Moskowitz, B.M. and Banerjee, S.K. 1995. Magnetic Properties of Rock and Minerals. Rock Physics and Phase Relation, A Handbook of Physical Constants, 189-204.
- [8] ชงชัย สุธีร์ศักดิ์ และ ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ. 2549. สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของดินตะกอนต่อน้ำจากพื้นที่สภาพธรณีวิทยาที่แตกต่างกัน. ว.สงขลานครินทร์ วทท. ปีที่ 28, ฉบับที่ 5 ก.ย.-ต.ค., 1135-1148.
- [9] ชงชัย สุธีร์ศักดิ์ และ ไตรภพ ฟ่องสุวรรณ. 2549. ความเข้มข้นโลหะหนัก As Pb Mn Ni Sn Cr Zn Fe และแก๊สเรดอนในดินตะกอนต่อน้ำจาก 6 ชุมเมืองเก่าในจังหวัดภูเก็ต. ว.สงขลานครินทร์ วทท. ปีที่ 28, ฉบับที่ 3 พ.ค.-มิ.ย., 641-654.
- [10] Herr, C., Gray, N.F. 1997. Sampling reverine sediments impacted by acid mine drainage: problems and solution. Environmental Geology. 29 (1/2), 37-45.
- [11] Ghrefat, H., Yusuf, N., 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. Chemosphere. 65, 2114-2121.
- [12] Petroský, E., Kapička, 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. Vol.23, No.9-10, 1123-1126.
- [13] 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. Vol.22, No.1-2, 207-210.
- [14] สำนักงานผังประเทศและผังภาค กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2546. เอกสารผังเมืองรวมเกาะภูเก็ต , การสัมมนาเรื่อง วิสัยทัศน์และกรอบบูรณาการ การพัฒนาเกาะภูเก็ตตามนโยบายรัฐบาล โดยคนภูเก็ต วันที่ 6-7 มีนาคม 2546 ณ โรงแรมรอยัลซิตี จังหวัดภูเก็ต, ประเทศไทย.
- [15] Collinson, D.W. 1983. Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism Techniques and Instrumentation. London New York Chapman and Hall.
- [16] Xie, S., Dearing, J.A., Bloemendal, J. and Boyle, J.F. 1999. Association between the organic matter content and magnetic properties in street dust, Liverpool, UK. The science of the Total Environment. 241, 205-214.
- [17] 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.

[18] Hashim, N.O., Kinyua, A.M., Mangala, M.J. and Rathore, I.V.S. 1998. EDXRF Analysis of Lead Other Toxic Trace Elements in Soil Sample Along Two Major Highways of Kenya. Radiat. Phys. Chem. Vol.51, No.4-6, 629-630.

[19] Lecoanet, H., Leveque, F. and Ambrosi, J.-P. 2003. Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources (south France). Environment Pollution 122, 229-234.

[20] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2550. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัทธรรมสาร จำกัด.