

สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและสหสัมพันธ์ร่วมกับเหล็ก อะลูมิเนียม และไทเทเนียม ในหินและดินของจังหวัดภูเก็ต

ธงชัย สุธีรศักดิ์^{1*}

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ถ.วิชิตสงคราม ต.กะทู้ อ.กะทู้ จ.ภูเก็ต 83120

ภาณุพงษ์ ลิ้มอุสันโน² และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ³

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ถ.กาญจนวนิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

* Corresponding Author: thongchai.s@phuket.psu.ac.th

¹ รองศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

² นักวิทยาศาสตร์ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ

³ รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 22 กันยายน 2563

แก้ไข : 18 พฤษภาคม 2564

ตอบรับ : 20 พฤษภาคม 2564

คำสำคัญ :

สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก /

แร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก /

สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก /

หินและดิน / จังหวัดภูเก็ต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุพื้นฐาน Fe, Al และ Ti ในหิน ดินและทรายของจังหวัดภูเก็ต ทั้งนี้ เก็บตัวอย่างหินและดินจาก 10 จุดในจังหวัดภูเก็ต สำหรับวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณ Fe, Al และ Ti หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย ผลการตรวจวัดปริมาณ Fe, Al และ Ti ในหินมีค่าอยู่ในช่วง 12,570-36,300 มก./กก. 68,100-118,400 มก./กก. และ 100-5,600 มก./กก. ตามลำดับ ส่วนในดินและทรายมีค่าอยู่ในช่วง 6,800-63,820 มก./กก. 11,000-121,200 มก./กก. และ <100-7,310 มก./กก. ตามลำดับ ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและค่าการเหนี่ยวนำแมกนีไทเซชันแบบไอโซเทอร์มัลอิมิตัว (SIRM) ของหินอยู่ในช่วง 3.34-337.3 μSI และ 19.29-3,620 mA/m ตามลำดับ ส่วนในดินและทรายอยู่ในช่วง 5.01-165.6 μSI และ 18.87-1,084.7 mA/m ตามลำดับ ค่า S-Ratio (อัตราส่วนระหว่าง $\text{IRM}_{100\text{ mT}}$ และ SIRM) บ่งบอกว่าวัสดุธรรมชาติดังกล่าวมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกผสมกับพาราแมกเนติกหรือไดอามกเนติก ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมจากวิธีการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบพบ 2 ปัจจัยร่วม โดยปัจจัยร่วมแรกเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุในแร่โอลิซีนต์ ไบโอไทต์และควอตซ์ ส่วนปัจจัยร่วมที่สองเกี่ยวข้องกับความเป็นแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น ไททานอแมกนีไทต์

Magnetic Properties and Correlations with Iron, Aluminum and Titanium in Rock and Soil of Phuket Province

Thongchai Suteerasak^{1*},

Prince of Songkla University, Phuket Campus, Vichitsongkram Road, Kathu, Phuket 83120

Panupong Lim-u-sanno² and Tripop Bhongsuwan³

Prince of Songkla University, Karnjanavanich Road, Hat Yai, Songkhla 90110

* Corresponding Author: thongchai.s@phuket.psu.ac.th

¹ Associate Professor, Faculty of Technology and Environment.

² Scientist, Office of Scientific Instrument and Testing.

³ Associate Professor, Faculty of Science.

Article Info

Article History:

Received: September 22, 2020

Revised: May 18, 2021

Accepted: May 20, 2021

Keywords:

Magnetic Susceptibility /

Magnetic Minerals /

Magnetic Properties /

Rocks and Soil / Phuket

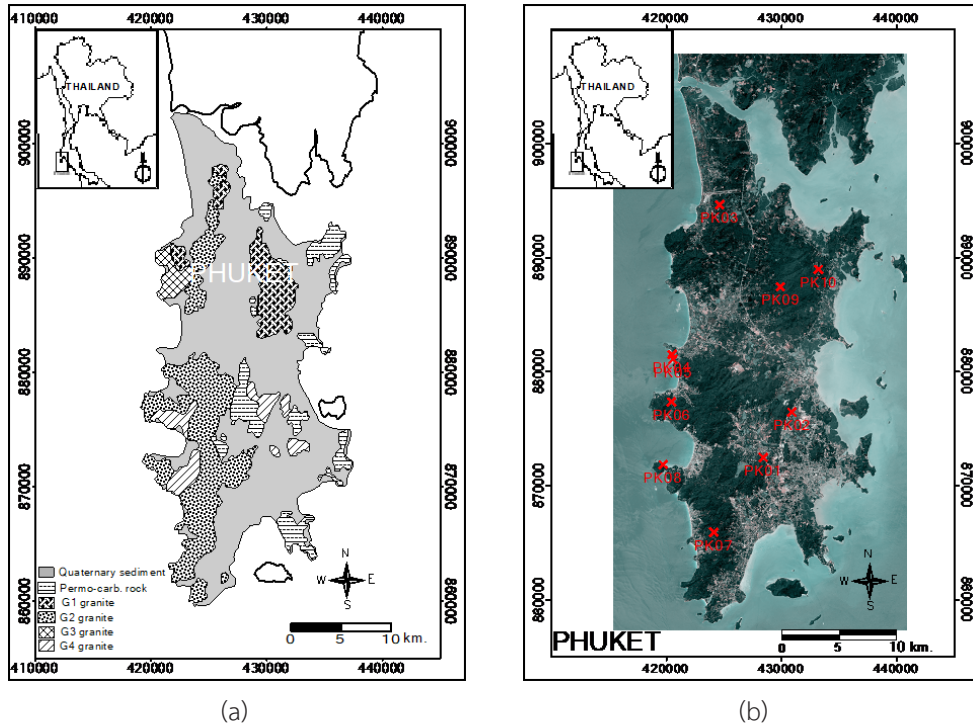
Abstract

The study aimed to investigate correlations between magnetic properties and contents of Fe, Al and Ti in rock, soil and sand samplings from Phuket Province. Rock and soil samples from 10 sites were collected around Phuket island. Magnetic properties and contents of Fe, Al and Ti of the samplings were determined; relationships between the magnetic properties and element contents were then analyzed using the factor analysis method. Results showed that the contents of Fe, Al and Ti were 12,570-36,300 mg/kg, 68,100-118,400 mg/kg and 100-5,600 mg/kg, respectively, in rocks and were 6,800-63,820 mg/kg, 11,000-121,200 mg/kg and <100-7,310 mg/kg, respectively, in soils and sands. Magnetic susceptibility and Saturation isothermail remanent magnetization (SIRM) were 3.34-337.3 μSI and 19.29-3,620 mA/m, respectively, for rocks, and were 5.01-165.6 μSI and 18.87-1,084.7 mA/m, respectively, for soils and sands. The values of S-Ratio (ratio of $\text{IRM}_{100\text{ mT}}$ to SIRM) indicated significance of paramagnetic or diamagnetic domains mixed with ferrimagnetic minerals. Two factors arose from the factor analysis. The first factor was related to the element contents in ilmenite, biotite and quartz minerals, while the second factor was related to magnetic minerals, including titanomagnetite.

1. บทนำ

หินที่พบทั่วไปในจังหวัดภูเก็ตโดยมากเป็นหินแกรนิตและหินตะกอน โดยหินดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของทรัพยากรแร่ธาตุที่พบสะสมตัวตามลานแร่ที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดภูเก็ตในอดีต ในยุคที่ท้องทุ่งของเหมืองแร่เกิดแร่เศรษฐกิจต่างๆ ที่พบล้วนมีต้นกำเนิดมาจากสายแร่ควอตซ์ในพื้นที่ ส่งผลให้สามารถพบแร่ดีบุกและแร่ประกอบอื่นๆ จำนวนมากในพื้นที่ดังกล่าว [1-2] จากข้อมูลการสำรวจทางธรณีวิทยาที่ Garson และคณะ [3] ได้สำรวจและตรวจวัดปริมาณแร่ธาตุหลัก (Major element) และธาตุโลหะหนักต่างๆ ในวัสดุธรรมชาติที่กระจายอยู่ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ พังงาและภูเก็ต พบว่า ข้อมูลที่ได้สำรวจไว้ไม่มีข้อมูลของปริมาณธาตุโลหะหนักเหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al) ในงานสำรวจดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณธาตุเหล็กและอลูมิเนียมมีความสำคัญต่อการใช้ประเมินคุณภาพและการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดินในสิ่งแวดล้อมด้วยตัวชี้วัดปัจจัยการสะสมของโลหะหนัก (Enrichment factor; EF) ซึ่งสามารถใช้ประเมินผลรวมกับตัวชี้วัดคุณภาพตะกอนดินอื่นได้ ดังที่ใช้ในงานวิจัยของ Duncan และคณะ [4] Khongsang และคณะ [5] Suteerasak และคณะ [6] และ Suteerasak และคณะ [7] ที่ใช้อลูมิเนียมเป็นธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมี ของตัวแปร EF ส่วนในงานวิจัยของ Suteerasak และ Bhongsuwan [8] และ Suteerasak และ Bhongsuwan [9] ใช้เหล็กเป็นธาตุหลักในการเปรียบเทียบความผิดปกติของความเข้มข้นโลหะหนักต่างๆ ทั้งนี้แร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กบางชนิดที่มีธาตุ Fe Al และ Ti เป็นองค์ประกอบหลัก โดยสามารถพบแร่ดังกล่าวได้ในดิน ตะกอนดิน และหิน รวมถึงสามารถพบได้ค่อนข้างมากในสิ่งแวดล้อม โดยมากแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเหล่านี้เกิดขึ้นมาพร้อมๆ กับการเกิดของหินในช่วง

ที่มีการเย็นตัวของหินเหลวร้อนใต้พื้นโลก ส่วนในวัสดุธรรมชาติจำพวกดินและตะกอนดินมาจากการผุพังของวัสดุธรรมชาติจำพวกหินและหน้าดินตามธรรมชาติและมีการสะสมตัวมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน [10] ในงานวิจัยนี้แยกการพิจารณาออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ พิจารณาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก โดยดูจากค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility: k) และค่าตัวแปรอื่นๆ ที่สะท้อนถึงสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กต่างๆ ในวัสดุธรรมชาติ เช่น ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไอโซเทอรัลแบบไอโซเทอร์มัลอิ่มตัว (Saturation isothermal remanent magnetization: SIRM) และค่า S-Ratio ที่เป็นผลจากการหาอัตราส่วนของการลบล้างอำนาจแม่เหล็กคงค้างแบบไอโซเทอรัลและค่า SIRM [11-15] ส่วนที่สองเป็นการตรวจหาปริมาณธาตุ Fe, Al และ Ti ที่ปะปนอยู่ในวัสดุธรรมชาติจำพวกดินและหินว่ามีปริมาณมากหรือน้อย เพื่อนำไปใช้เป็นธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมีวัสดุต้นกำเนิดในธรรมชาติของตะกอนดิน โลหะ Al ถูกใช้เป็นธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมีในงานวิจัยของ Khongsang และคณะ [5] Suteerasak และคณะ [6] และ Suteerasak และคณะ [7] เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างในงานวิจัยดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงใช้ประเมินความมากน้อยของธาตุดังกล่าวในวัสดุธรรมชาติเหมือนกัน ทั้งนี้วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของวัสดุธรรมชาติจำพวกดินและหินในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตและวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Ti, Al และ Fe ที่ปะปนและสะสมตัวในวัสดุธรรมชาติดังกล่าวพร้อมหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุดังที่พบจากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ [15-19]



รูปที่ 1 (a) ลักษณะทางธรณีวิทยาของหินและดินในจังหวัดภูเก็ต (b) ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างหินและดิน

2. ลักษณะพื้นที่ศึกษา

จังหวัดภูเก็ตตั้งอยู่ทางใต้ของประเทศไทย มีพื้นที่เป็นเกาะขนาดใหญ่อยู่ทางฝั่งทะเลด้านตะวันตกของคาบสมุทรมลายู อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 7° 45' 23.3" และ 8° 11' 54.5" เหนือ และเส้นแวงที่ 98° 15' 40.0" และ 98° 26' 53.0" ตะวันออก ภูมิประเทศเป็นภูเขาต่อเนื่องมาจากทิวเขาตะนาวศรีทอดยาวในแนวเหนือใต้เช่นเดียวกับตัวเกาะ สภาพธรณีวิทยาของเกาะภูเก็ตประกอบด้วยหินตะกอนยุคเพอร์โมคาร์บอนิเฟอรัส (Permo-Carboniferous Sedimentary Formation) ซึ่งเรียกว่า หินชุดภูเก็ต ที่มี pebbly mudstone, greywacke, laminated quartzite, limestone, slate และ quartzitic sandstone เป็นส่วนประกอบ ส่วนหินแกรนิตที่พบจัดเป็นพวก felsic granite-leucomonzogranite ซึ่งมี quartz monzonite เพียงเล็กน้อย โดยมีสายแร่ quartz, pegmatite และ aphanite พบในพื้นที่ประมาณสองในสามของเกาะภูเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 1 [1-2]

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

การเก็บตัวอย่างวัสดุธรรมชาติจำพวกดินและหินจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ต เป็นการเก็บตัวอย่างวัสดุธรรมชาติที่มาจากการผุพังตามธรรมชาติโดยอาศัยการเก็บตัวอย่างตามความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศและการเอื้ออำนวยของพื้นที่ศึกษาต่อการเก็บตัวอย่างในแต่ละตำแหน่ง ทั้งนี้จุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดที่กำหนดไว้เป็นจุดที่ตั้งอยู่บนพื้นที่เชิงเขาที่เชื่อมต่อกับพื้นที่ราบลุ่มที่รองรับน้ำที่ไหลลงมาจากภูเขาและมีความเชื่อมโยงกับที่ราบลุ่มที่เคยเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ดีบุกเก่าที่เดิมเป็นลานแร่ที่อุดมไปด้วยแร่ดีบุกและแร่ธาตุอื่นๆ ในอดีตหรือมีความเชื่อมโยงกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดภูเก็ต โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างหินและดินบนพื้นฐานข้อมูลการกระจายตัวของชนิดของหินในจังหวัดภูเก็ต [1] ซึ่งในงานวิจัยนี้มีจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 จุดเก็บตัวอย่าง แต่ละจุดเก็บตัวอย่างบันทึกตำแหน่งด้วยเครื่อง GPS (Garmin รุ่น etrex) (รูปที่ 1) การเก็บตัวอย่างหินเป็นการเก็บแบบสุ่มเก็บตัวอย่างจากก้อนหิน

ที่กระจายอยู่ตามบริเวณเชิงเขาและเลือกหินที่ไม่ได้อยู่ในสภาพที่มีการผุพังจนสูญเสียการจับตัวกันของเนื้อหินมาใช้ ส่วนตัวอย่างดินเป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างจาก 5 จุดย่อยในพื้นที่เชิงเขาเดียวกับที่เก็บหินและนำดินจากจุดเก็บย่อยมาผสมรวมกัน จากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นดินและหิน ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำดินและหินที่ผ่านการอบแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำไปศึกษาสมบัติทางแม่เหล็ก ด้วยการขึ้นรูปเป็นชิ้นตัวอย่างและตรวจวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k) ด้วยเครื่อง KLY-3S spinning kappa-bridge ของบริษัท AGICO และการทดลองเพื่อศึกษาเหนี่ยวนำและการลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างเพื่อหา ค่าการเหนี่ยวนำแมกนีไทเซชันแบบไอโซเทอร์มัลลิ้มตัว (SIRM) ค่าการเหนี่ยวนำแมกนีไทเซชันแบบย้อนกลับด้วยสนามแม่เหล็กขนาด 100 mT (IRM-100 mT) [20] และค่า S-Ratio [12-15, 17-19] ส่วนที่สองนำไปวิเคราะห์ธาตุ โดยการนำตัวอย่างดินและหินไปเตรียมขึ้นรูปเป็นตัวอย่างก่อนทดสอบด้วยวิธีทางรังสีเอกซ์ (XRF) [21-23] การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการทดสอบกึ่งเชิงปริมาณ (Semi-Quantitative) ด้วยเครื่อง WD-XRF (Zetium, PANalytical) เพื่อตรวจหาปริมาณธาตุโลหะ Ti, Al และ Fe ในวัสดุธรรมชาติดังกล่าว สุดท้ายศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กกับปริมาณธาตุจากการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยสถิติการวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสอง [15-19]

3.2 การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

สมบัติทางเฉพาะแม่เหล็กสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่มีโดโพลแม่เหล็กเป็นองค์ประกอบพื้นฐานและสามารถอธิบายประเภทของโดเมนแม่เหล็ก ได้แก่ โดเมนเดี่ยว (SD) โดเมนเทียม (PSD) หลายโดเมน (MD) หรือโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก (SP) ในวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ ได้ พฤติกรรมของสมบัติทางแม่เหล็กสามารถนำไปจำแนกแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กขึ้นพื้นฐานที่อยู่ในวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ แร่ไดอาแมกเนติก พาราแมกเนติก เฟอร์โรแมกเนติก เฟอร์รีแมกเนติกและแอนติเฟอร์โรแมกเนติก ทั้งนี้สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ค่า k และ SIRM ซึ่งตัวแปรจากสมบัติทางแม่เหล็กทั้งสองมีคุณสมบัติอันโดดเด่นในการจำแนกประเภทของโดเมนแม่เหล็กดังที่ Thompson and Oldfield [11] ได้แจกแจงไว้ และสามารถ

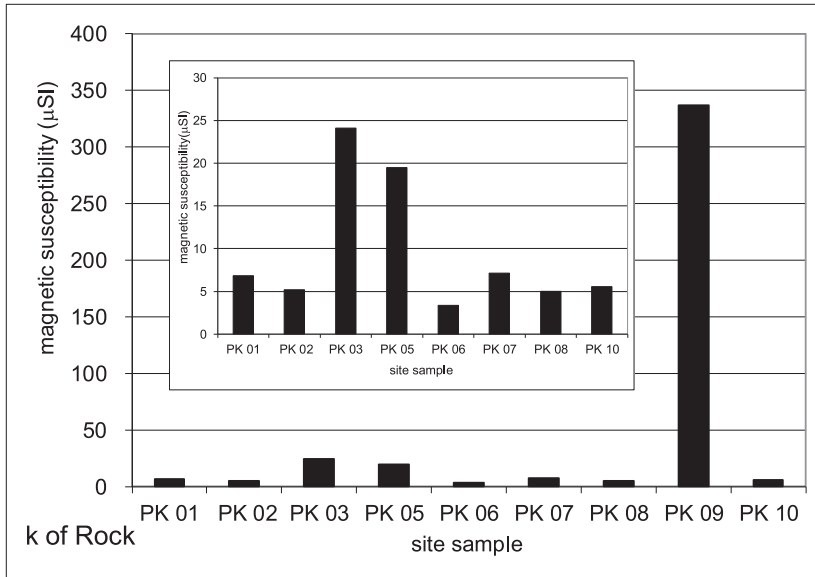
นำไปสู่การระบุชนิดของแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น แร่ไดอาแมกเนติกมีโดโพลแม่เหล็กที่วางตัวในทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายนอกส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าเป็นลบ แร่พาราแมกเนติกมีโดโพลแม่เหล็กที่วางตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายนอกและปรับสภาพโดโพลกลับมาเป็นเช่นเดิมเมื่อปราศจากสนามแม่เหล็ก ส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่าที่ต่ำมากๆ แร่เฟอร์โรแมกเนติกเป็นแร่ที่มีโดโพลแม่เหล็กไวต่อการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกมาก ส่งผลให้ค่า k และ SIRM มีค่าสูงมาก ทั้งนี้หากมีโดโพลแม่เหล็กที่มีทิศทางการวางตัวในทิศทางตรงกันข้ามอยู่อาจลดทอนความเป็นแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่ต่ออย่างแร่เฟอร์โรแมกเนติกเป็นแร่เฟอร์รีแมกเนติก และหากมีส่วนขององค์ประกอบของโดโพลแม่เหล็กที่วางตัวทั้งสองทิศทางมากเท่ากันวัสดุดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มของแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติก ในส่วนของค่า IRM-100 mT นั้นใช้พฤติกรรมถูกลบล้างของ SIRM ได้ด้วยการใช้สนามแม่เหล็กแบบย้อนกลับเพื่อการคงค้างและจัดเรียงตัวกลับของโดโพลแม่เหล็ก ซึ่งค่า IRM-100 mT เป็นส่วนหนึ่งของการนำไปหาค่า S-Ratio ที่มาจากการคำนวณด้วยการใช้ค่า IRM-100 mT/ SIRM ซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกประเภทของโดเมนแม่เหล็กและแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กด้วยเช่นกัน วัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกได้ง่ายมีค่า S-Ratio ประมาณ -1 เช่น วัสดุที่มีแร่เฟอร์รีแมกเนติกผสมร่วมกับแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติก วัสดุที่มีแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่สามารถเหนี่ยวนำและลบล้างอำนาจแม่เหล็กตกค้างได้ยากมีค่า S-Ratio ประมาณ 1 เช่น วัสดุที่มีแร่เฟอร์รีแมกเนติกหรือเฟอร์โรแมกเนติกจำนวนมาก และกลุ่มแร่ที่สามารถถูกลบล้างอำนาจแม่เหล็กได้โดยง่ายด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกหรือเป็นวัสดุแม่เหล็กที่ไม่ดีมีค่า S-Ratio ประมาณ 0 [11-14]

3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ

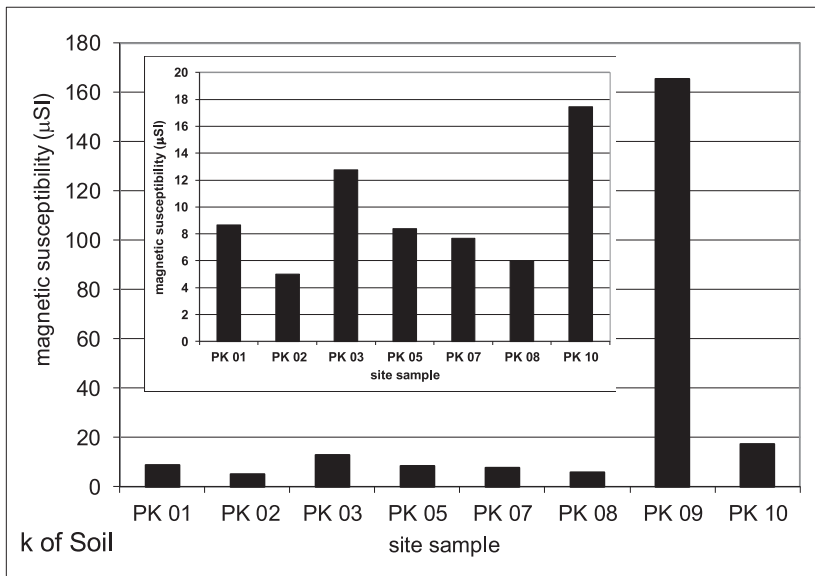
การวิเคราะห์ความเกี่ยวพันกันของสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุโลหะในกลุ่มของธาตุองค์ประกอบหลักในหินและดินในงานวิจัยนี้อาศัยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคู่ตัวแปรหลายตัวแปร วิธีดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของสถิติการวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate analysis) ที่อาศัยการวิเคราะห์ความ

เกี่ยวข้องกันของตัวแปรที่สัมพันธ์กัน ซึ่งพบใช้ค่อนข้างมากในหลายงานวิจัย [24-26] กระบวนการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรธาตุโลหะทุกคู่เพื่อจัดกลุ่มตัวแปร โดยดูจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient, R) ตัวแปรธาตุโลหะที่นำมาพิจารณาควรมีความสัมพันธ์ระหว่างคู่ตัวแปรค่อนข้างสูง (มีค่า R มากกว่า 0.5)

จากนั้นทำการสกัดปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ ด้วยการหมุนแกนปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax สกัดเอาตัวแปรของปัจจัยร่วมให้ได้ 2 ปัจจัยร่วม ทั้งนี้การวิเคราะห์จำนวนองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลนั้นพิจารณาจากผลลัพธ์ของค่า Eigenvalue ที่มากกว่า 1 เพื่อนำไปแปลความว่าปัจจัยปัญหาดังกล่าวประกอบด้วยตัวแปรอะไรบ้าง [27]



(a)



(b)

รูปที่ 2 ค่าสภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็กจากหินและดินจังหวัดภูเก็ต (a) ตัวอย่างหิน (b) ตัวอย่างดิน

4. ผลและวิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

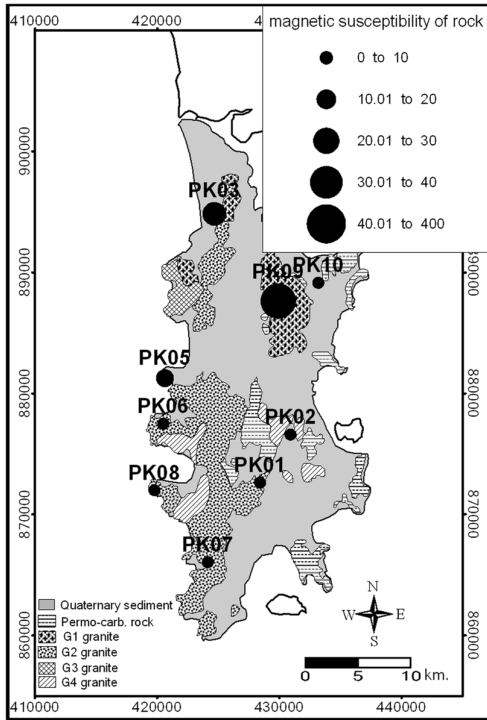
4.1.1 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (k)

ค่า k ของหินและดินของจังหวัดภูเก็ตจากตำแหน่ง 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 ของหินมากในระดับเดียวกับดินในตัวอย่างที่ดินกับหินเก็บจากตำแหน่งเดียวกัน สาเหตุที่พบค่า k ในดินมากเนื่องจากดินส่วนมากที่เก็บได้ในแต่ละพื้นที่เป็นดินที่มาจากกรรหลุร่อนหรือผุร่อนของหินเมื่อมาสะสมตัวและทำปฏิกิริยากับน้ำและอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของแร่ทางแม่เหล็ก ส่วนทรายมีค่า k อยู่ในระดับที่ต่ำมากๆ (มีค่า 1.22 μSI) ในช่วงเดียวกับ

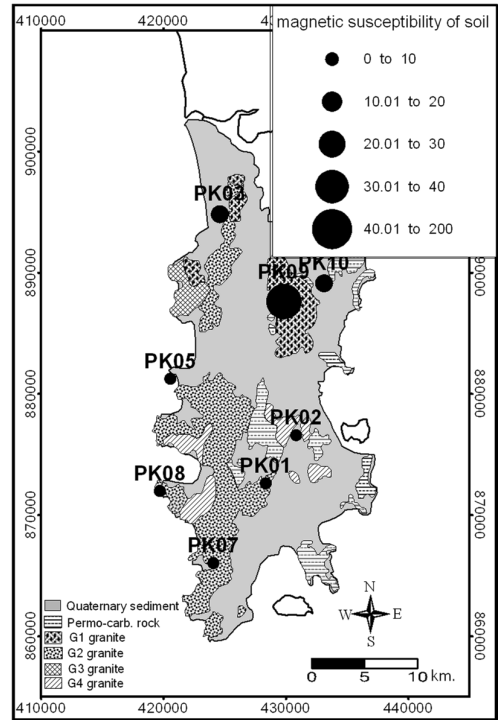
แร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กในควอตซ์ (มีค่า k อยู่ในช่วง -13-17 μSI [14]) ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จากรูปที่ 3 ค่า k จากตำแหน่ง PK 09 แตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะแหล่งกำเนิดของหินดังกล่าวมาจากหินแกรนิตในหินชุดเขาพระแหวก (G1) ซึ่งเป็นหินที่มีลักษณะคล้ายกับหินแกรนิตออไรต์ (Granodiorite) [2] หินดังกล่าวเป็นหินที่พบแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กได้ค่อนข้างมาก หากพิจารณาผลค่า k ของแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กในหินของทั้ง 10 จุดเก็บตัวอย่างกับชนิดของหินอัคนีในงานวิจัยของ Clark [28] พบว่าผลช่วงค่า k ในหินดังกล่าวอยู่ในช่วงค่า k ของกลุ่มหินแกรนิตและ หินแกรนิตออไรต์มีอนุกรมของแร่อีลมีไนต์ (Ilmenite) ในงานวิจัยของ Clark [28] ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่มีค่า k ต่ำเหมือนกัน ส่วนค่า k ตัวอย่างดินที่เหลือโดยมากมีค่าต่ำกว่าหินเป็นผลมาจากการเปลี่ยนสภาพของแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีในทางธรณีเคมีดังที่พบได้ในตัวอย่างหินตะกอนและหินที่เกิดการผุพังตามธรรมชาติที่เป็นวัสดุต้นกำเนิดของดิน [11, 13-14, 28]

ตารางที่ 1 สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กของหิน ดินและทราย จากจังหวัดภูเก็ต

Sample	Magnetic susceptibility(μSI)			SIRM(mA/m)			S-Ratio			
	Average	Range		Average	Range		Average	Range		
		Min	Max		Min	Max		Min	Max	
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

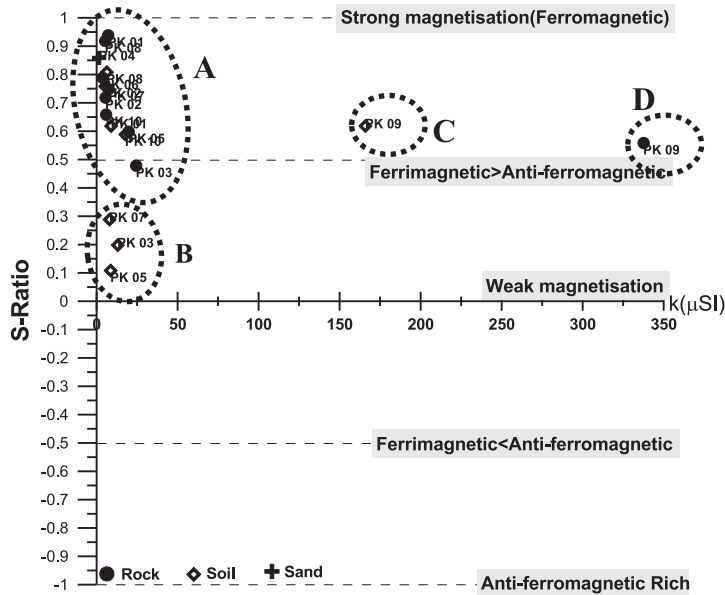


(a)



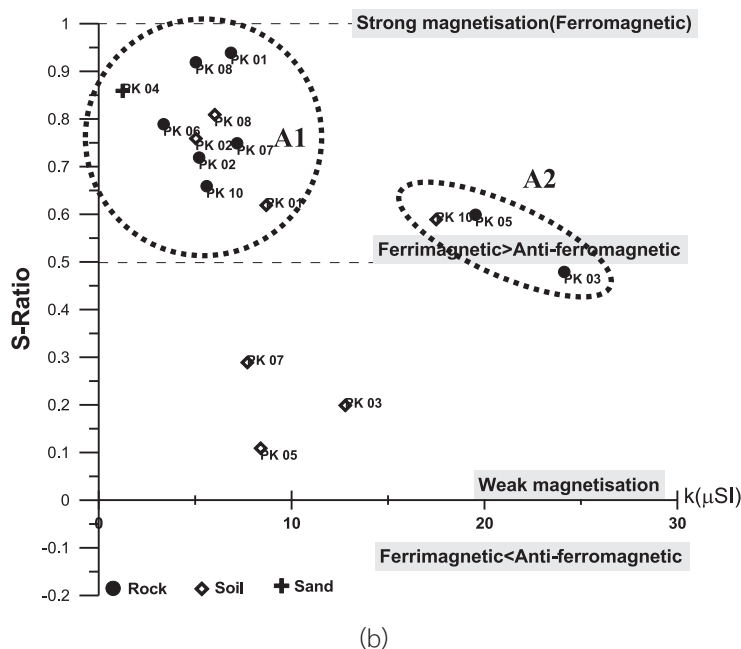
(b)

รูปที่ 3 ค่าสภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ตที่แสดงผลเชิงภูมิศาสตร์และเชิงธรณีวิทยา (a) ตัวอย่างดินแสดงผลเชิงธรณีวิทยา (b) ตัวอย่างหินแสดงผลเชิงธรณีวิทยา



(a)

รูปที่ 4 การจำแนกความเป็นแม่เหล็กของตัวอย่างหิน ดิน และทรายจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ตจากค่า S-Ratio และค่าสภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ต (a) และ ภาพการกระจายตัวของกลุ่ม ข้อมูล A ที่แบ่งเป็นสองกลุ่มย่อย (b)

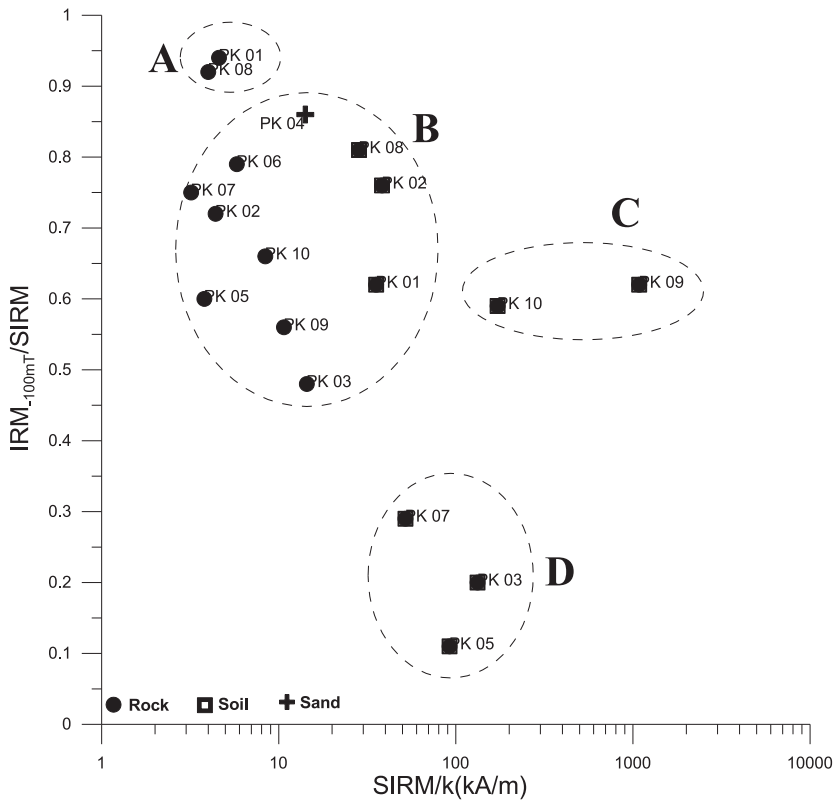


รูปที่ 4 การจำแนกความเป็นแม่เหล็กของตัวอย่างหิน ดิน และทรายจากพื้นที่จังหวัดภูเก็ตจากค่า S-Ratio และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ต (a) และ ภาพการกระจายตัวของกลุ่ม ข้อมูล A ที่แบ่งเป็นสองกลุ่มย่อย (b) (ต่อ)

4.1.2 พฤติกรรมของค่า S-Ratio

ผลของค่า S-Ratio ที่แยกตามประเภทของวัสดุธรรมชาติที่เก็บจากจังหวัดภูเก็ต พบว่าแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่ประกอบในหิน ดินและทรายจังหวัดภูเก็ตโดยมากมีแร่เฟอร์ริแมกเนติกอยู่ภายในค่อนข้างมากมีเฉพาะดินจากตัวอย่าง PK03, PK05 และ PK07 ที่พบว่าแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติกปะปนอยู่ในแร่เฟอร์ริแมกเนติกมากกว่าตัวอย่างทั่วไป เมื่อพิจารณาร่วมกับค่า k (รูปที่ 4a) พบการรวมกลุ่มกันของข้อมูลทั้งหมดแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรก ได้แก่ กลุ่ม A สามารถแยกย่อยเป็น 2 กลุ่มย่อย (รูปที่ 4b) กลุ่ม A1 ค่า k ค่อนข้างต่ำแต่แสดงอิทธิพลของการมีแร่เฟอร์ริแมกเนติกอยู่ค่อนข้างมากที่อาจถูกรบกวนโดยโดเมนแร่พาราแมกเนติกปะปนอยู่ในตัวอย่างดังกล่าว ส่วนกลุ่ม A2 มีค่า k สูงกว่าแต่ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณแร่เฟอร์ริแมกเนติกใน A2 น้อยกว่ากลุ่ม A1 น่าจะมาจากแร่เฟอร์ริแมกเนติกถูกอิทธิพลของโดเมนพาราแมกเนติกที่มีค่า k สูงรบกวนทำให้ภาพรวมเสมือนว่ามีความเป็นแร่แอนติเฟอร์-

โรแมกเนติก ในส่วนของกลุ่ม B แสดงให้เห็นถึงสภาพแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กมีแร่แอนติเฟอร์โรแมกเนติกที่ค่อนข้างมาก สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากอิทธิพลของไดโพลแม่เหล็กของวัสดุไดอาแมกเนติกมีสัดส่วนค่อนข้างมาก เนื่องจากไดอาแมกเนติกเป็นวัสดุที่มีค่า k ต่ำที่อาจลดทอนความเป็นแร่เฟอร์ริแมกเนติก พิจารณากลุ่มข้อมูลกลุ่ม D พบว่าเป็นหินแกรนิตที่น่าจะมีแร่เฟอร์ริแมกเนติกที่ค่อนข้างแรงจำพวกแมกนีไทต์ปะปนอยู่กับแร่อื่นๆ ที่มีค่า k ไม่เด่นมาก เช่น พวกควอตซ์และเฟลด์สปาร์ ส่งผลให้แร่ไดอาแมกเนติกที่ปะปนอยู่ลดทอนสภาพความเป็นแม่เหล็กแร่เฟอร์ริแมกเนติกภายในหิน สุดท้ายกลุ่ม C เป็นแร่ดินเหนียวที่มาจากหิน (ตำแหน่ง PK09 กลุ่ม D) เกิดการฟุ้งและเปลี่ยนสภาพแร่จากแร่เฟอร์ริแมกเนติกที่มีค่า k สูงเป็นค่า k ที่ต่ำกว่าหินต้นกำเนิด



รูปที่ 5 การจำแนกองค์ประกอบของแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กด้วยค่า SIRM/k ร่วมกับความเป็นแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่มาจากค่า IRM-100mT/SIRM ของตัวอย่างดินและหินจากจังหวัดภูเก็ตตามวิธีการของ Thompson and Oldfield [11]

4.1.3 การจำแนกแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก

การวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กอีกหนึ่งวิธีที่ Thompson and Oldfield [11] นำมาใช้ในการศึกษากับวัสดุธรรมชาติต่างๆ และนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือการนำค่า SIRM/k มาเขียนกราฟร่วมกับค่า IRM_{100mT}/SIRM ซึ่งค่า SIRM/k เป็นค่าที่สามารถใช้ระบุถึงประเภทเม็ดแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กว่าเป็นเม็ดแร่ประเภทโดเมนเดี่ยว (SD) โดเมนเทียม (PSD) หลายโดเมน (MD) หรือโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติก (SP) ทั้งนี้โดเมนเดี่ยวและโดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติกมีค่า SIRM/k ที่พบค่าในช่วงค่าเดียวกันในบางส่วน อย่างไรก็ตาม โดเมนแบบซูเปอร์พาราแมกเนติกสามารถพบ SIRM/k ที่มีค่าต่ำมากและอาจพบค่าสูงมากที่สุดได้เช่นกัน ส่วนค่า SIRM/k มีสำหรับเม็ดแร่ที่เหลือนี้อาจแตกต่างกันจากมากไปหาน้อย เริ่มจากโดเมนเดี่ยวยาว (ESD) ตามด้วย PSD ไปสิ้นสุดที่ MD

ตามลำดับ [11] หากนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า IRM_{100mT}/SIRM สามารถอธิบายองค์ประกอบเชิงแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่ชัดเจนได้ยิ่งขึ้น

ผลจากกราฟข้อมูลค่า IRM-100mT/SIRM กับ SIRM/k ของหินและดินจังหวัดภูเก็ตดังแสดงในรูปที่ 5 พบการกระจายของข้อมูล 4 กลุ่ม กลุ่ม A มี 2 ตัวอย่างเป็นกลุ่มที่มีความเป็นแร่เฟอร์รีแมกเนติกสูงแต่มีค่า SIRM/k ที่ต่ำสันนิษฐานว่าในแร่เฟอร์รีแมกเนติกดังกล่าวมีโดเมนแบบ SD ปะปนอยู่ร่วมกับ MD ที่มีทั้งในเฟอร์รีแมกเนติกและพาราแมกเนติก กลุ่ม B มีข้อมูลตัวอย่างหินและดินรวมอยู่ด้วยกัน สันนิษฐานว่าในกลุ่มข้อมูลนี้อาจมี PSD จากแอนติเฟอร์โรแมกเนติกปะปนกับ MD ในแร่เฟอร์โรแมกเนติกส่งผลให้อธิพลของแร่เฟอร์รีแมกเนติกเสมือนถูกลดทอนลง กลุ่ม C ก็มีลักษณะข้อมูลที่คล้ายกับกลุ่ม B แตกต่างกันที่กลุ่ม C อาจมีโดเมนแบบ SD และ PSD หรือ

โดเมนที่สามารถพบได้ในแร่ฮีมาไทต์ปะปนอยู่กับ MD ในแร่ ส่วนใหญ่เป็นแบบ MD ของพาราแมกเนติกและแอนติเฟอร์โร-เฟอร์ไรต์แมกเนติกค่อนข้างมากกว่า สุกทำยกกลุ่ม D อาจมีโดเมน แมกเนติกอยู่ในแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติก

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

Sample	Al			Fe			Ti			
	Average	Range		Average	Range		Average	Range		
		Min	Max		Min	Max		Min	Max	
Phuket	Rock	80957± 15586	68100	118400	24677± 8671	12570	36300	2644± 1518	100	5600
	Soil and Sand	85517± 34506	11000	121200	35217± 19001	6800	63820	3783± 2193	<100	7310

4.2 ปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม และไทเทเนียม ในวัสดุธรรมชาติ

4.2.1 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 ซึ่งเป็นดินที่มาจากกรสลายตัวของหินในพื้นที่ดังกล่าว จากข้อมูลโดยรวมพบปริมาณของเหล็กมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและท้ายสุดคือทราย

4.2.2 อะลูมิเนียม (Al) เป็นธาตุโลหะหนักที่มักพบได้มากในธรรมชาติในรูปของอะลูมิเนียมออกไซด์หรือสารประกอบอย่างอื่นในแร่บางชนิด 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 ที่เป็นหินแกรนิตที่เกิดการผุพัง ส่วนดินพบมากที่สุดจาก PK08 ซึ่งเป็นดินที่มาจากกรสลายตัวของหินในพื้นที่ จากข้อมูลโดยรวมพบปริมาณของอะลูมิเนียมมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและท้ายสุดคือทราย

4.2.3 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 ไทเทเนียมจัดว่าเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยที่สุดในวัสดุธรรมชาติ เมื่อเทียบกับ 4 ธาตุที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 2 โดยหินที่มี Ti มากที่สุดมาจาก PK09 ส่วนดินพบมากที่สุดจาก PK07 ปริมาณของไทเทเนียมมีมากที่สุด ในหิน รองลงมาคือดินและท้ายสุดคือทราย

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของ Fe, Al, และ Ti จากตัวอย่างหิน ดินและทรายในจังหวัดภูเก็ต

Area Study	Material	Factor	k	Fe content	Al content	Ti content
Phuket	Rock	1	0.72	0.77	0.05	0.98
		2	0.24	0.39	0.79	0.16
	Soil and Sand	1	0.96	0.24	-0.11	0.49
		2	0.09	0.86	0.87	0.69

4.3 การวิเคราะห์ปัจจัย

4.3.1 ตัวอย่างหินจากจังหวัดภูเก็ต มีค่า R อยู่ในช่วงที่แสดงความสัมพันธ์กัน 3 คู่ตัวแปรคือ Fe - k ($R = 0.51$), Ti - k ($R = 0.75$), Fe - Ti ($R = 0.82$) ผลจากการสกัดปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ [27] ด้วยการหมุนแกนปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax สกัดเอาตัวแปรของปัจจัยร่วมได้ 2 ปัจจัยร่วมดังแสดงใน ตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 ประกอบด้วย ค่า k ปริมาณของ Fe และปริมาณของ Ti สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 54.15 ปัจจัยร่วมที่ 2 เกี่ยวข้องกับปริมาณแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่มีธาตุทั้ง 2 เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แร่ในกลุ่มไททานโนแมกนีไทต์และโอลิมีไนต์ ส่วนปัจจัยร่วมที่ 2 (Factor 2) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของ Al ที่สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 23.92 ปัจจัยร่วมที่ 2 เกี่ยวข้องกับแร่ที่มีปริมาณธาตุทั้งสองซึ่ง ได้แก่ ไบโอไทต์ที่อยู่ในกลุ่มแร่ไมกา ($K(Mg,Fe^{2+})_3(Al,Fe^{3+})_3Si_3O_{10}(OH)_2$) ที่สามารถพบร่วมกับแร่ควอตซ์ [10] จากปัจจัยร่วมทั้งสองพบว่าองค์ประกอบของธาตุในปัจจัยร่วมที่ 1 อาจสะท้อนถึงความเป็นแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กในวัสดุธรรมชาติ ในทางกลับกันสามารถใช้สมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กดังกล่าวมาช่วยในการจำแนกองค์ประกอบของธาตุดังกล่าวได้เช่นกัน [11-13] อย่างไรก็ตามแร่ขององค์ประกอบในกลุ่มที่ 2 ไม่สามารถใช้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมาช่วยในการจำแนกหาปริมาณธาตุได้หรือประเภทของแร่ได้ เนื่องจากปัจจัยร่วมที่สองเป็นอิสระกับค่าจากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก

4.3.2 ตัวอย่างดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต มีค่า R อยู่ในช่วงที่มีความสัมพันธ์กัน 4 คู่ตัวแปรคือ Ti - k ($R = 0.53$), Fe - Al ($R = 0.72$), Fe - Ti ($R = 0.71$), และ Al - Ti ($R = 0.55$) ผลจากการสกัดปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ [27] ด้วยการหมุนแกนปัจจัยร่วมโดยวิธี Varimax สกัดเอา

ตัวแปรของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วมดังแสดงใน ตารางที่ 3 ปัจจัยร่วมที่ 1 (Factor 1) ประกอบด้วย ค่า k เพียงอย่างเดียวสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 36.70 เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเป็นแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็ก ส่วนปัจจัยร่วมที่ 2 (Factor 2) ประกอบด้วย ปริมาณของ Fe ปริมาณของ Al และปริมาณของ Ti สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ร้อยละ 28.06 เป็นปัจจัยร่วมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแร่ที่มีธาตุทั้ง 3 เป็นธาตุองค์ประกอบ ได้แก่ แร่ในกลุ่มไททานโนแมกนีไทต์ ($Fe^{2+}(Fe^{3+},Ti)_2O_4$) โอลิมีไนต์ ($FeTiO$) และไบโอไทต์ แต่ไม่ได้ให้ความชัดเจนกับค่า k หมายความว่าปริมาณของธาตุองค์ประกอบกับความผันแปรของแม่เหล็กอาจเป็นอิสระต่อกันจึงไม่อาจใช้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กมาหาปริมาณของแร่ขององค์ประกอบของกลุ่มธาตุดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวอาจเป็นผลที่เกิดขึ้นเฉพาะกับวัสดุธรรมชาติเฉพาะดินและทรายอยู่ในพื้นที่นี้ ดังที่พบความแตกต่างของผลความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และ เหล็กในวัสดุธรรมชาติที่มาจากพื้นที่ที่มีธรณีวิทยาแตกต่างกันในงานของ Suteerasak และ Bhongsuwan [15]

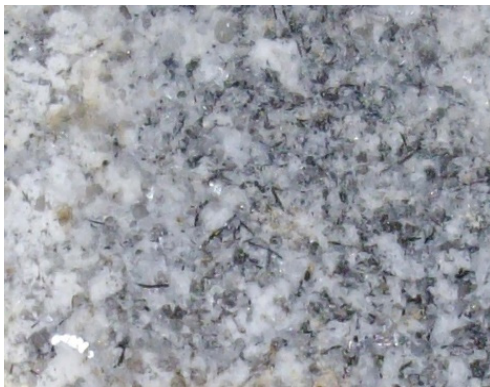
จากผลลัพธ์ของข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและความเข้มข้นของธาตุโลหะ สามารถแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของธาตุที่พบในดินที่โดยมากมาจากการผุพังของหินภายในพื้นที่ตามที่ Phungratsamee [10] ได้กล่าวถึงที่พบค่าต่างๆ จากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กในทุกตัวอย่างดินมีผลค่อนข้างเหมือนกับตัวอย่างหิน อย่างไรก็ตามมีบางตัวอย่างดินที่มีค่าต่างๆ จากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กที่แตกต่างจากหินที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างเดียวกัน สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากดินดังกล่าวมีการการสะสมตัวของแร่แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่แม่เหล็กเนื่องจากการทำปฏิกิริยาเคมีกับสิ่งแวดล้อม



ตัวอย่างหิน PK01



ตัวอย่างหิน PK06



ตัวอย่างหิน PK07



ตัวอย่างหิน PK09

รูปที่ 6 ลักษณะเนื้อหินที่มีความผิดปกติของค่าต่างๆ จากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็ก ในกรณีตัวอย่างหินจากจังหวัดภูเก็ต

พิจารณาผลของแร่แม่เหล็กและแร่ต่างๆ ในหินจากตัวอย่างที่พบความผิดปกติของค่าต่างๆจากสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กค่อนข้างชัดเจน เช่น ตัวอย่าง PK01, PK06, PK07, PK09 (รูปที่ 6) ร่วมกับข้อมูลเชิงแร่วิทยาในหินที่ระบุไว้ในงานวิจัย [1] และ [2] ที่ได้สำรวจเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาและศิลารรณมา (Petrology and Petrography) พบว่า เนื้อหินของตัวอย่าง PK01, PK06 และ PK07 มีเนื้อหินที่ค่อนข้างคล้ายกันเนื่องจากมาจากหินอัคนีกลุ่มเดียวกัน แตกต่างจากตัวอย่าง PK09 ที่มีเนื้อหินที่ประกอบด้วยแร่ต่างๆ หลายประเภทค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อแร่ในหินที่มีสีชาวนุ่นและใสไม่มีสีพบว่าปริมาณแร่สีชาวนุ่นและใสไม่มีสีในตัวอย่าง PK09 มีน้อยกว่าตัวอย่างหิน PK01, PK06 และ PK07 ค่อนข้างชัดเจน ทั้งนี้

ปริมาณเนื้อแร่ในหินที่มีสีชาวนุ่นและใสไม่มีสีอาจสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณแร่ธาตุ Si ที่มาจากสารประกอบจำพวกซิลิเกตที่พบค่อนข้างมากในหินพื้นที่นี้ (มีปริมาณธาตุ Si อยู่ในช่วง 280, 990-330,000 มก./กก.) แร่ที่มีองค์ประกอบของ Si อยู่มีด้วยกันหลายชนิดตัวอย่างเช่น แร่ควอตซ์ที่มีลักษณะเป็นผลึกใสและแร่ฟีนมา (feldspar) ที่มีลักษณะสีชาวนุ่นๆ เหมือนพื้นของม้าที่มีของสารประกอบซิลิเกตกับโพแทสเซียมในหิน [10] หากพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบธาตุเหล็ก (Fe) ที่เป็นธาตุองค์ประกอบสำคัญในแร่ที่มีสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กที่ค่อนข้างชัดเจน พบว่า ผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุเหล็กและความเกี่ยวพันกันของธาตุ Fe และ Ti ที่สะท้อนให้เห็นภาพของความเกี่ยวพันกับผลของ

การพบ แร่ในกลุ่มไททาโนแมกนีไทต์ อิลมีไนต์ และไบโอไทต์ ในหินกลุ่มนี้ ทั้งนี้หากต้องการทราบถึงปริมาณเชิงแร่วิทยาของแร่ในกลุ่มไททาโนแมกนีไทต์ อิลมีไนต์ และไบโอไทต์ที่ชัดเจนมากกว่าที่ระบุไว้ในงานวิจัย [1] และ [2]

ข้อเสนอแนะการวิจัย จากผลการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กและปริมาณธาตุโลหะในดินและหินข้างต้นพบปัจจัยสำคัญของความสำคัญของปัจจัยทั้งสองที่บ่งชี้ถึงความเกี่ยวข้องกันของปัจจัยทั้งสองตามตัวชี้วัดหลักฐานทางสถิติซึ่งผลดังกล่าวไม่สามารถบอกได้ถึงการกระจายตัวของแร่ต่างๆ ในหินได้อย่างชัดเจน แต่บอกได้เพียงความสัมพันธ์เชิงมวลรวมและสมบัติเฉพาะทางแม่เหล็กในภาพรวม การวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับการก่อเกิดและการกระจายตัวของแร่ต่างๆ ในหินสามารถใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นตัวบ่งชี้ถึงสมบัติของเนื้อแร่ที่มาจากกรรมวิธีที่ได้ นอกจากนี้หากมีการนำหินดังกล่าวมาตัดเป็นแผ่นหินบางวิเคราะห์ผลทางศิลปกรรมศาสตร์ด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถ่ายภาพ morphology แบบ polarized microscope และวิเคราะห์ grain size distribution ของแร่ดังกล่าว รวมถึงวิเคราะห์และคำนวณสูตรแร่จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมาประกอบการจำแนกชนิดของแร่และดูพฤติกรรมการกระจายตัวของแร่สามารถช่วยขยายความการปรากฏของแร่ประกอบหินในแต่ละตัวอย่างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้งานวิจัยมีความน่าสนใจและมีประโยชน์ในวงกว้างมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานลักษณะเดียวกันในพื้นที่ที่มีธรณีวิทยาแบบต่างๆ ได้เช่นกัน

5. สรุป

1) ค่า k ของหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต พบค่า k ของตัวอย่างหินและดินจากตำแหน่ง 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 เพราะแหล่งกำเนิดของหินดังกล่าวมาจากหินแกรนิตในหินชุดเขาพระแหวก (G1) ซึ่งหินดังกล่าวเป็นหินที่พบแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กได้ค่อนข้างมาก

2) ตัวอย่างหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต ส่วนมากมีค่า S-Ratio อยู่ในช่วงที่มีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกอยู่ค่อนข้างมากแต่

อาจมีโดโพลแม่เหล็กจากพาราแมกเนติกที่ปะปนอยู่ภายในรบกวนสภาพทางแม่เหล็ก ส่วนตัวอย่างกลุ่มที่มีค่า S-Ratio น้อยกว่า 0.5 อาจมีองค์ประกอบของแร่แอนทิเฟอร์โรแมกเนติกที่ค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากสัดส่วนของโดโพลแม่เหล็กจากไดอาแมกเนติกภายในตัวอย่างลดทอนความเป็นแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่มีอยู่ แต่ปริมาณโดโพลดังกล่าวยังไม่มากพอที่จะทำให้แร่ดังกล่าวกลายเป็นแร่แอนทิเฟอร์โรแมกเนติก

3) ตัวอย่างหิน ดินและทรายจากจังหวัดภูเก็ต ส่วนมากมีแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่ถูกรบกวนโดยโดโพลแม่เหล็กที่แตกต่างกันเป็นผลจากโดเมนอิสระแบบ SD ปะปนอยู่ร่วมกับ MD ในแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกและพาราแมกเนติก ส่วนแร่ที่อยู่นอกเหนือจากกลุ่มดังกล่าวเป็นแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติกที่มีโดเมนไดอาแมกเนติกแบบ SD หรือ PSD ปะปนอยู่กับ MD ของแร่เฟอร์ไรต์แมกเนติก

4) ปริมาณเหล็กพบมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและท้ายสุดคือทราย ปริมาณอะลูมิเนียมพบมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและน้อยที่สุดคือทราย ปริมาณของไทเทเนียมพบมากที่สุดในดิน รองลงมาคือหินและน้อยที่สุดคือทราย ความเข้มข้น Ti ในทรายมีค่าน้อยมากเกินกว่าจะสามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธี WDXRF ทั้งนี้สามารถนำผลของปริมาณอะลูมิเนียมและเหล็กมาใช้เป็นธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมีสำหรับประเมินคุณภาพและการปนเปื้อนโลหะหนักในตะกอนดินในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต

5) ตัวอย่างวัสดุธรรมชาติจากจังหวัดภูเก็ต มีปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ที่พบมาจากแร่ไบโอไทต์ที่อยู่ในกลุ่มแร่เมกา (K(Mg,Fe²⁺)₃(Al,Fe³⁺)Si₃O₁₀(OH)₂) ที่สามารถพบร่วมกับแร่ควอตซ์ นอกจากนี้ยังพบแร่ฟันม้า (feldspar) ซึ่งมีลักษณะสีขาวด้านๆ เหมือนฟันของม้าซึ่งเป็นที่มาของสารประกอบซิลิเกตกับโพแทสเซียมในหิน

6) การสกัดปัจจัยร่วมในหิน เพื่อหาปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรได้ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วม ปัจจัยร่วมที่ 1 เกี่ยวข้องกับแร่ที่มีสมบัติทางแม่เหล็กที่มีปริมาณธาตุ Fe และ Ti ซึ่งได้แก่แร่ในกลุ่มไททาโนแมกนีไทต์และอิลมีไนต์ ส่วนปัจจัยร่วมที่ 2 เกี่ยวข้องกับแร่ที่มีปริมาณธาตุ Al ซึ่งได้แก่ ไบโอไทต์ ปัจจัยร่วมที่ 1 อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กมาช่วยในการสื่อถึงปริมาณของแร่ดังกล่าวได้ แต่ในในกลุ่มที่ 2 ไม่สามารถใช้ได้

7) การสกัดปัจจัยร่วมในดิน เพื่อหาปัจจัยร่วมกันระหว่างตัวแปรได้ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยร่วม ซึ่งปัจจัยร่วมที่ 1 เกี่ยวข้อง

กับความเข้มข้นที่มีสมบัติทางแม่เหล็กของดิน ปัจจัยที่ 2 เกี่ยวข้องกับปริมาณของแร่ที่มีธาตุ Fe, Al และ Ti ได้แก่ แร่ในกลุ่มไททานอแมกนีไทต์ อิลไมไนต์ และไบโอไทต์ โดยแร่ดังกล่าวเป็นอิสระกับความเข้มข้นแม่เหล็กจึงไม่อาจใช้วิธีการทางแม่เหล็กในการตรวจหาปริมาณของแร่ดังกล่าวได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โครงการวิจัยเรื่อง แร่แม่เหล็กและโลหะหนัก Fe, Al, Sn ในวัสดุรอบๆ จังหวัดภูเก็ตและพังงาตอนล่าง ที่เป็นโครงการใหญ่ของโครงการวิจัยนี้ รวมทั้งสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์และครุภัณฑ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบัน IPPS มหาวิทยาลัย Uppsala ประเทศสวีเดน สำหรับเครื่องมือวิจัยทางแม่เหล็ก ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับความช่วยเหลือต่างๆ ทางด้านการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน) สำหรับความเอื้อเฟื้อเพื่อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ขอขอบคุณสำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) สำหรับข้อมูลทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของเกาะภูเก็ต

7. เอกสารอ้างอิง

1. Chaimane, N. and Teerangsekun, N., 1993, *Geology and Quaternary Geology Phuket Island*, Geology Section, Department of Mineral Resources. (In Thai)
2. Tongpinyo, A., 1995, *Geology of Phuket province*, Department of Mineral Resource Subsite 2. (In Thai)
3. 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, HMSO, London.
4. Duncan, A., Vries, N. and Nyarko, K., 2018, "Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sedi-

ments of the River Pra and Its Tributaries," *Water Air Soil Pollut*, 229 (272), pp. 1-10.

5. Khongsang, A., Suteerasak, T. and Chongsrirattanakun, W., 2018, "Contamination of Heavy Metals in Sediment, Polychaetes and Cockles in the Bang Yai River Estuary, Phuket Province," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (4), pp. 439-454. (In Thai)
6. Suteerasak, T., Akkajit, P. Chitchiew, N., Ponggannicha, K. and Chongsrirattanakun, W., 2019, "Assessment Contamination of Copper, Lead and Zinc in Sediment at Bang Yai Canal, Phuket Province," *Burapha Science Journal*, 24 (1), pp. 340-358. (In Thai)
7. Suteerasak, T., Akkajit, P., Muangmool, K., Salaeh, N. and Lamai, A., 2020, "The Contamination of Lead, Chromium, Copper and Zinc in Sediment at Pak Bang Cannel and Catchment Area, Patong District, Phuket Province," *Burapha Science Journal*, 25 (3), pp. 1181-1197. (In Thai)
8. Suteerasak, T. and Bhongsuwan, T., 2006, "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," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 28 (3), pp. 641-654. (In Thai)
9. Suteerasak, T. and Bhongsuwan, T., 2008, "Contamination of Heavy Metals Al, As, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn and Fe in Sediment from Bang-Yai River in Phuket Province," *KMUTT Research and Development Journal*, 31 (4), pp. 767-779. (In Thai)
10. Phungratsamee, T., 1988, *General Geology*, O S Printing House, Bangkok. (In Thai)
11. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, *Environmental Magnetism*, Allen and Unwin, London.
12. Peters, C. and Thompson, R., 1998, "Magnetic Identification of Selected Natural Iron Oxides and Sulphides," *Journal of Magnetism and Materials*, 183, pp. 365-374.

13. Dunlop, D. and Özden, Ö., 1997, *Rock Magnetism Fundamentals and frontiers*, Cambridge University Press, London.
14. 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*, pp. 189-204.
15. Suteerasak, T. and Bhongsuwan, T., 2006, "Magnetic Properties of Bottom Sediment Difference Geological Area," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 28 (5), pp. 1135-1148. (In Thai)
16. 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," *Physics and Chemistry of the Earth*, 23 (9-10), pp. 1123-1126.
17. Lu, S.G. and Bai, S.Q., 2006, "Study on the Correlation of Magnetic Properties and Heavy Metals Content in Urban Soils of Hangzhou City, China," *Journal of Applied Geophysics*, 60 (1), pp. 1-12.
18. Wang, G., Oldfield, F., Xia, D., Chen, F., Liu, X. and Zhang, W., 2012, "Magnetic Properties and Correlation with Heavy Metals in Urban Street Dust: A Case Study from the City of Lanzhou, China," *Atmospheric Environment*, 46, pp. 289-298.
19. Yang, D., Wang, M., Lu, H., Ding, Z., Liu, J. and Yan, C., 2019, "Magnetic Properties and Correlation with Heavy Metals in Mangrove Sediments, The Case Study on the Coast of Fujian, China," *Marine Pollution Bulletin*, 146, pp. 865-873.
20. Collinson, D.W., 1983, *Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism Techniques and Instrumentation*, Chapman and Hall, London.
21. 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." *Journal of Applied Geophysics*. 48, 83-92.
22. 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.," *Radiation Physics and Chemistry*, 51 (4-6), pp. 629-630.
23. Byers, H.L., McHenry, L.J. and Grundl, T.J., 2019, "XRF Techniques to Quantify Heavy Metals in Vegetables at Low Detection Limits," *Food Chemistry: X*, 1, pp. 1-10.
24. Yalcin, F., Kilic, S., Nyamsari, D.G., Yalcin, M.G. and Kilic, M., 2016, "Principal Component Analysis of Integrated Metal Concentrations of Bogacayi Riverbank Sediments in Turkey," *Polish Journal of Environmental Studies*, 25 (2), pp. 471-485.
25. Gergen, I. and Harmanescu, M., 2012, "Application of Principal Component Analysis in the Pollution Assessment with Heavy Metals of Vegetable Food Chain in the Old Mining Areas," *Chemistry Central Journal*, 6 (156), pp. 1-13.
26. Zhiyuan, W., Dengfeng, W., Huiping, Z. and Zhiping, Q., 2011, "Assessment of Soil Heavy Metal Pollution with Principal Component Analysis and Geoaccumulation Index," *Procedia Environmental Sciences*, 10, pp. 1946-1952.
27. Pinyo, T., 2018, "Techniques for Interpreting the Results of Factor Analysis in Research Work," *Panyapiwat Journal*, 10 (Special), pp. 292-304. [In Thai]
28. Clark, D.A., 1997, "Magnetic Petrophysics and Magnetic Petrology: Aids to Geological Interpretation of Magnetic Surveys," *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17 (2), pp. 83-103.