

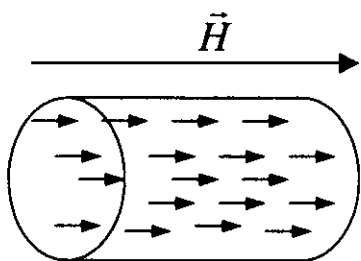
3.6 ระเบียบวิธีวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, κ) เป็นสมบัติทางกายภาพที่แสดงถึงความสามารถของวัตถุที่จะถูกทำให้มีอำนาจแม่เหล็ก (magnetized) สำหรับดิน หิน ตะกอน หรือวัตถุอื่นๆ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ที่เป็นส่วนประกอบในวัตถุเหล่านั้น ดังนั้นค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กจึงสามารถใช้จำแนกชนิดของวัตถุ กระบวนการเกิด และต้นกำเนิดของวัตถุได้ ในการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้นำเอาวิธีการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กนำไปใช้ในหลายๆกรณี เช่น Kosawa (1999) ใช้ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กประเมินแผ่นดินถล่มในบริเวณแนวรอยเลื่อน Chan et al., (1997) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กกับการกระจายตัวของโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนท้องทะเลบริเวณท่าเรือฮ่องกง Bhongsuwan and Chittrakarn (2000) ได้วัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเพื่อหาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา และ Kleiber et al., (2000) ได้แยกแยะแหล่งกำเนิดของสารแม่เหล็กโดยการศึกษาการกระจายตัวที่พื้นผิวของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กใน Laptev Sea

การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กและการปนเปื้อนสารหนูในดินในพื้นที่วิจัย

3.6.1 สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหิน

สมบัติทางแม่เหล็กของหินจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ที่มีความเป็นแม่เหล็ก (magnetization, \vec{M}) ค่าความเป็นแม่เหล็ก \vec{M} ได้ถูกนิยามว่าเป็นปริมาณ โมเมนต์แม่เหล็กต่อหน่วยปริมาตร (A/m) และโดยการประมาณเชิงเส้น การเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กเหนี่ยวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนามแม่เหล็กภายนอก \vec{H}



$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}_i}{V} \quad (3.6-1)$$

และ

$$\vec{M} = \kappa \vec{H} \quad (3.6-2)$$

รูปที่ 3.6-1 A sketch of magnetic dipoles that are aligned in the direction of an external magnetic field

เมื่อ κ เป็นค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเชิงปริมาตร (volume magnetic susceptibility), \vec{m}_i เป็นไดโพลโมเมนต์แม่เหล็ก (magnetic dipole moment) (A.m²) และ \vec{H} เป็นค่าสนามแม่เหล็กภายนอก (external magnetic field) (A/m)

โมเมนต์แม่เหล็กของแร่เป็นผลรวมของโมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน (spin moment) และการเคลื่อนที่ในวงโคจร (spin orbital) ภายในโครงสร้าง เราสามารถแบ่งสารออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ๆ ตามสมบัติทางแม่เหล็ก คือ 1) diamagnetics, 2) paramagnetics และ 3) ferromagnetics (ferrimagnetics and antiferromagnetics)

3.6.1.1 สารแม่เหล็กไดอะ (Diamagnetics)

สารแม่เหล็กแบบ diamagnetics จะมีอิเล็กตรอนครบในทุกระดับพลังงาน (อะตอมมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนคู่) เมื่อสารชนิดนี้อยู่ในบริเวณที่ไม่มีสนามภายนอก โมเมนต์ของอะตอมจะวางตัวระจกกระจายในทุกๆ ทิศทางแบบสุ่ม และทำให้

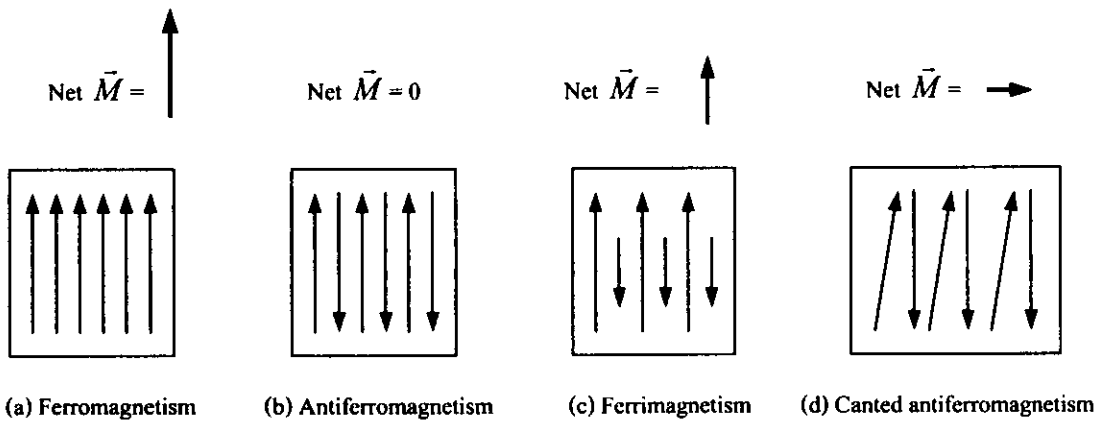
ผลรวมของโมเมนต์แม่เหล็กเป็นศูนย์ หมายความว่าไม่มีค่าโมเมนต์แม่เหล็กรวมในวัสดุนั้น และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอก กระทำแก่วัสดุประเภทนี้ จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกับทิศของสนามที่กระทำ จึงส่งผลให้วัสดุประเภทนี้จึงมีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กต่ำและเป็นลบ ตัวอย่างของแร่ที่เป็น diamagnetics เช่น ควอร์ตซ์, แคลไซต์, เฮไลต์, กาลีนา, เฟลสปาร์ และ โคลโลไมต์

3.6.1.2 สารแม่เหล็กพารา (Paramagnetics)

สารแม่เหล็กในกลุ่มนี้จะมีอิเล็กตรอนในชั้นระดับพลังงานไม่สมบูรณ์ (อะตอมมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนคี่) เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กภายนอก โมเมนต์แม่เหล็กของอะตอมมีแนวโน้มจะเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกับทิศของสนามแม่เหล็ก ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของวัสดุประเภทนี้จึงมีค่าเป็นบวก (โดยปกติแล้วจะมีค่าสูงกว่าวัสดุในกลุ่ม diamagnetic) ในระดับ $70-8920 \times 10^{-6}$ SI (Tarling and Hrouda, 1993) และจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Curie-Weiss law) ตัวอย่างแร่ที่เป็น paramagnetic เช่น Olivine, Pyroxene, Amphibole และ Biotite สารแม่เหล็กประเภท diamagnetic และ paramagnetic จะสูญเสียความเป็นแม่เหล็กไปเมื่อสนามภายนอกมีค่าเป็นศูนย์

3.6.1.3 สารแม่เหล็กเฟอร์โร (Ferromagnetics)

สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของสารประเภท ferromagnetics มีค่าสูงกว่าพวก diamagnetics และ paramagnetics ประมาณ 10^6 เท่า (Telford et al., 1990) เนื่องจากโมเมนต์แม่เหล็กที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความแข็งแรงสูงภายในบริเวณเล็กๆ หรือโดเมนของโครงสร้าง โมเมนต์แม่เหล็กสุทธิจึงไม่เป็นศูนย์แม้ว่าจะไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำ (รูปที่ 3.6-2, a) คุณสมบัตินี้เรียกว่า แม่เหล็กตกค้าง (remanent หรือ permanent magnetization) โดยที่ $\vec{M} = \kappa\vec{H} + \vec{r}$ มีหน่วยเป็น A/m



รูปที่ 3.6-2 The pattern magnetic moments within different magnetic materials.

อย่างไรก็ตาม สภาพความเป็นแม่เหล็กของสาร ferromagnetics จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie's temperature) หลังจากนั้นสารนั้นจะกลายเป็นสารแม่เหล็ก paramagnetics เพราะความร้อนจะทำลายการเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็ก เหล็ก (Fe), โคบอลต์ (Co) และ นิกเกิล (Ni) เป็นตัวอย่างของธาตุประเภทนี้ สารแม่เหล็ก ferromagnetics สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1) Antiferromagnetics; ในกลุ่มนี้โดเมนแม่เหล็กภายในวัตถุจะถูกแบ่งเป็นย่อยเป็นบริเวณที่มีโมเมนต์แม่เหล็กเท่าๆ กันแต่มีการวางตัวในทิศทางที่ตรงข้ามกับโดเมนอื่นๆ จึงไม่มี magnetization สุทธิ (รูปที่ 3.6-2, b) ในบางกรณีที่โครงสร้างของ

วัตถุที่มีความผิดปกติ ความเป็น antiferromagnetics จึงไม่สมบูรณ์และจะทำให้มี magnetization สุทธิในปริมาณน้อยๆ (รูปที่ 3.6-2, d) เรียก magnetization แบบนี้ว่า canted antiferromagnetism ตัวอย่างเช่น แร่ฮีมาไทต์ (Fe_2O_3)

2) Ferrimagnetics; สารกลุ่มนี้มีโมเมนต์แม่เหล็กที่ไม่เท่ากันและวางตัวในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งทำให้เกิด โมเมนต์แม่เหล็กขึ้นในโคเมน เมื่อได้รับอิทธิพลจากสนามภายนอกโมเมนต์แม่เหล็กจะเรียงตัวตามทิศของสนามทำให้เกิด induced magnetization ที่แข็งแรง ส่งผลให้สารในกลุ่มนี้มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ตัวอย่างของแร่ในกลุ่มนี้เช่น แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) และไททานิเมกนีไทต์ ($Fe_xTi_xO_4$) โดยที่ $0 < x < 1$ ตัวอย่างของแร่พวกเหล็กซัลไฟด์ เช่น pyrrhotite ($Fe_{1-x}S$), $0.2 < x < 0.94$ มีส่วนประกอบของ troilite (FeS) และ ไพไรต์ (FeS_2) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของสาร ferromagnetic (Robinson et al., 1988).

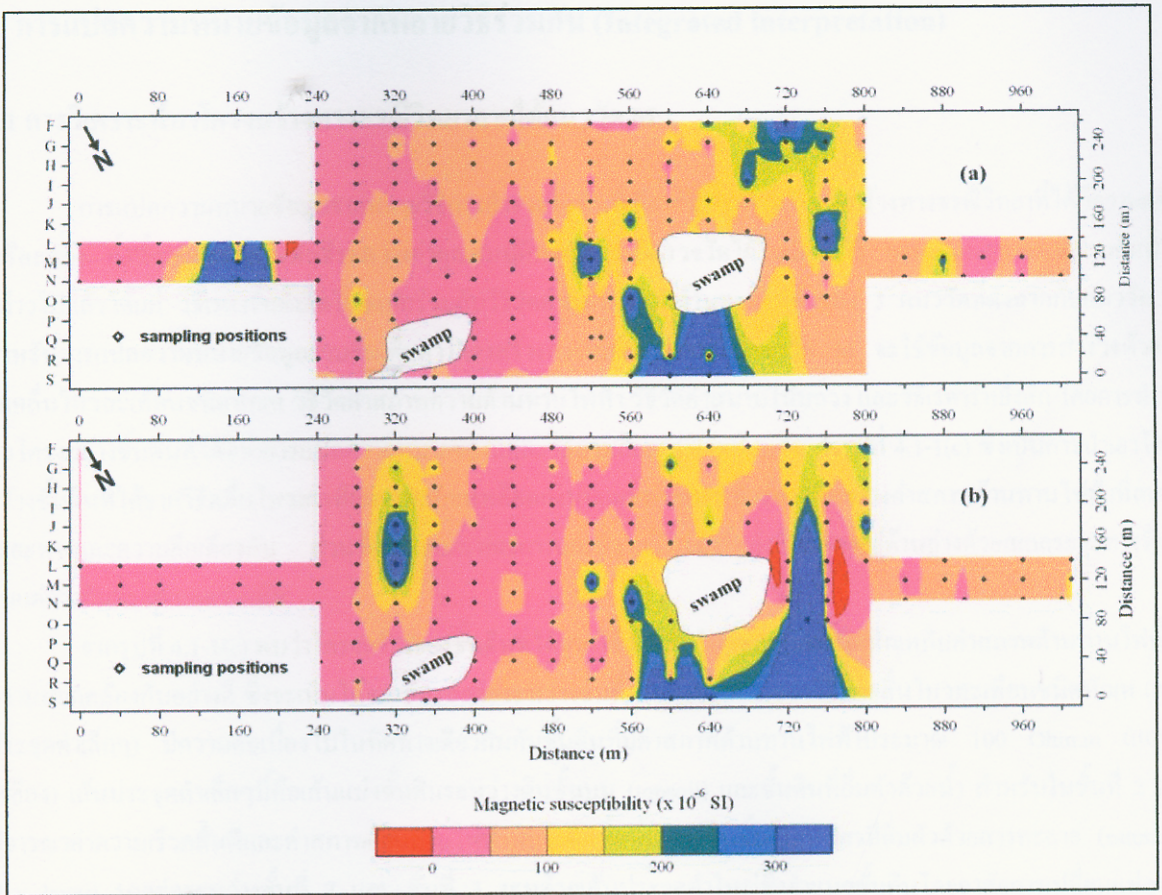
3.6.2 การเก็บตัวอย่างและการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ผิวดินและที่ระดับความลึก 0.3m ระดับละ 5 ตัวอย่าง โดยระยะห่างระหว่างจุดเก็บตัวอย่างเท่ากับ 40m ตลอดทุกแนววัด รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 187 จุด นำตัวอย่างดินทั้งหมดไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ ประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง KLY-3S Kappabridge (AGICO, Czech Republic) ซึ่งตัวอย่างจะอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีค่าต่ำ และมีความไวของการวัดค่าในระดับ $\pm 30 \times 10^{-9}$ SI

3.6.3 ผลและการวิเคราะห์

ผลการวัดของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างนำไปสร้างเป็นแผนที่คอนทัวร์โดยใช้ค่ากลางของค่า K ของแต่ละจุด (median magnetic susceptibility) แสดงดังรูปที่ 3.6-3 สำหรับพื้นที่เล็กๆ สีแดง ซึ่งมีค่า K เป็นลบที่พิกัด (215,137) ในรูปที่ 3.6-3 (a) และ พิกัด (707,240), (775,220) ในรูปที่ 3.6-3 (b) เกิดจากความผิดพลาดจากการคำนวณของโปรแกรม Surfer (Golden software Inc., 1999) ทั้งนี้ได้ตรวจสอบข้อมูลดิบแล้วไม่พบว่าข้อมูลมีค่า K เป็นลบ

รูปที่ 3.6-3 (a) แสดงคอนทัวร์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ผิวดิน ซึ่งมีค่า K เฉลี่ยของตัวอย่างดินเท่ากับ $96 \pm 173 (x 10^{-6} SI)$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงเป็นต้นซึ่งถึงความแปรปรวนค่อนข้างสูงของค่า K ซึ่งอาจจะเกิดจากการแปรสภาพของชั้นดินจากบนลงล่างอันเนื่องมาจากการทำเหมืองแร่ การเผาขยะของชาวบ้าน การทับถมของดินตะกอนน้ำพัดพา หรือเกิดจากการนำเอาดินจากแหล่งอื่นมาถมเพื่อการเพาะปลูก เป็นต้น สำหรับบริเวณที่มีค่า K สูง น่าจะเป็นไปได้ว่าดินที่ผิวดินบริเวณนั้นๆเป็นสารแม่เหล็กชนิดเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetics) หรือ สารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก (paramagnetics) หรือทั้งสองชนิดปะปนกัน อย่างไรก็ตามจากการที่พบว่าค่า K ที่ระดับผิวดินในพื้นที่วิจัยส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า $300 \times 10^{-6} SI$ ดังนั้นดินที่ระดับผิวดินส่วนใหญ่จึงน่าจะประกอบด้วยสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก ซึ่งค่า K ต่ำสุด $16 \times 10^{-6} SI$ พบที่พิกัด (440,110) ส่วนพื้นที่ที่มีค่า K สูงพบทั้งหมด 6 บริเวณซึ่งระบุด้วยแถบสีน้ำเงิน มี 2 บริเวณที่ครอบคลุมพื้นที่ค่อนข้างกว้างได้แก่ พื้นที่ระหว่างตำแหน่ง 120m และ 190m ของแนววัด M, N และ L ค่า K สูงสุดในบริเวณนี้คือ $1874 \times 10^{-6} SI$ อยู่ ที่พิกัด (160,100) อีกบริเวณพบทางด้านเหนือของพื้นที่วิจัย ณ พิกัด (580,0), (665,0), (625,60) และ (655,60) ซึ่งเป็นที่ราบเชิงเขาสรวงจันทร์ ค่า K มากสุดในบริเวณนี้คือ $693 \times 10^{-6} SI$ อยู่ที่พิกัด (600,0) นอกจากนี้ยังพบบริเวณอื่นๆที่มีค่า K ค่อนข้างสูง แต่ครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ ได้แก่ $610 \times 10^{-6} SI$ (520,120), $420 \times 10^{-6} SI$ (560,80), $609 \times 10^{-6} SI$ (760,145) และ $483 \times 10^{-6} SI$ (720,260)



รูปที่ 3.6-3 Contour magnetic susceptibility, (a) at the surface and (b) at 0.3m in depth.

สำหรับแผนภาพคอนทัวร์ของค่า K ของดินที่ระดับความลึก 0.3m แสดงดังรูปที่ 3.6-3 (b) ซึ่งมีค่า K เฉลี่ยของตัวอย่างดินเท่ากับ 87 ± 150 ($\times 10^{-6}$ SI) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแปรปรวนค่อนข้างสูงของค่า K ซึ่งน่าจะเกิดจากสาเหตุเดียวกันกับกรณีของค่า K ของดินที่ผิวดิน ค่า K ที่ระดับ 0.3m นี้ชี้ให้เห็นว่าในตัวอย่างดินประกอบด้วยสารแม่เหล็กชนิดเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetics) หรือ สารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก (Paramagnetics) หรือทั้งสองชนิดปะปนกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า K ของดินในพื้นที่วิจัยที่ระดับความลึกนี้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 300×10^{-6} SI ดังนั้นดินส่วนใหญ่จึงน่าจะประกอบด้วยสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก ค่า K ต่ำสุดคือ 21×10^{-6} SI อยู่ที่พิกัด (280,160) พื้นที่ที่มีค่า K สูงพบทั้งหมด 5 บริเวณ มี 3 บริเวณที่มีครอบคลุมพื้นที่ค่อนข้างกว้าง บริเวณแรกตั้งอยู่ตรงที่ราบเชิงเขาสรวงจันทรอยู่ระหว่างพิกัด (570,0), (645,0), (620,30) และ (580,30) ซึ่งมีค่า K สูงสุดในบริเวณนี้เท่ากับ 693×10^{-6} SI ณ บริเวณเดียวกันนี้พบว่าค่า K ของดินที่ผิวดินมีค่าสูงเช่นกัน บริเวณที่สองอยู่ระหว่างระยะ 725m ถึง 760m บนแกน X และ ระหว่างระยะ 0m ถึง 175m บนแกน Y ค่า K มากสุดมีค่าเท่ากับ 1587×10^{-6} SI บริเวณที่สามอยู่ที่พิกัด (320,140) และ (320,180) มีค่า K เท่ากับ 437×10^{-6} SI ณ บริเวณนี้ค่า K ของดินที่ผิวดินมีค่าต่ำ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแร่ประกอบดินที่ผิวดินและที่ระดับความลึก 0.3m มีความแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้สามารถพบได้อีกที่ระยะระหว่าง 120m ถึง 190m บนแนววัด M, N และ L สำหรับอีกบริเวณที่มีค่า K สูงแต่ครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ คือ ที่พิกัด (520,120) โดยมีค่า K เท่ากับ 390×10^{-6} SI และ ที่พิกัด (560,120) มีค่า K เท่ากับ 366×10^{-6} SI ณ ตำแหน่งหลังพบว่าค่า K ที่ผิวดินมีค่าสูงเช่นเดียวกัน