

การศึกษาอำนาจแม่เหล็กตกค้างโบราณในอิฐดินเผายุคเก่า ของภาคใต้

Archaeomagnetic Intensity Determination on Ancient Bricks from Southern Thailand

สุริยันต์ พรหมดวง (Suriyan Promduang)* ธวัช ชิตตระการ (Thawat Chittrakarn)**
ไตรภพ ผ่องสุวรรณ (Tripob Bhongsuwan)** ดร.ณิธิ ผ่องสุวรรณ (Darunee Bhongsuwan)***

บทคัดย่อ

การศึกษาความเข้มของสนามแม่เหล็กตกค้างโบราณ โดยใช้อิฐดินเผาเก่าของภาคใต้ จำนวน 5 แหล่ง โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อน 2 ครั้งของ Thellier ร่วมกับการทำ pTRM check ของ Coe ผลศึกษาพบว่าค่า k มีความสัมพันธ์เป็นส่วนกลับกับสภาพแอนไอโซทรอปียของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (AMS) โดยพบตัวอย่างที่มีค่า k น้อยกว่า 10 μ SI ถึง 67% มีสภาพ AMS สูงกว่า 25% ผลการศึกษาพบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโบราณของภาคใต้ช่วง 700 – 1,200 ปีที่ผ่านมา มีค่าเฉลี่ยประมาณ 40.2 μ T โดยในปี พ.ศ. 1400 สนามแม่เหล็กโลกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยมีความเข้ม 43.6 $\pm$ 8.5 μ T จากนั้นก็ลดลง จนมีค่าต่ำสุดในปี พ.ศ. 1550 โดยมีค่า 36.8 $\pm$ 6.8 μ T แล้วจึงเพิ่มขึ้น จนถึงปี พ.ศ. 1650 มีค่าประมาณ 41.0 $\pm$ 14.7 μ T แล้วลดลงอีกเล็กน้อยจนมีค่า 40.5 $\pm$ 5.0 μ T ประมาณปี พ.ศ. 1750 จากผลที่ได้สามารถสร้างกราฟอ้างอิงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กในอดีตของภาคใต้ได้

ABSTRACT

We performed the archaeomagnetic intensity determination on ancient bricks from 5 civilizations of Southern Thailand. The experiments were performed on the fired structure samples using the Thellier double heating and Coe methods. We found that the magnetic susceptibility of samples was correlated well with magnetic anisotropy, 67% of samples having the k values of less than 10 μ SI will have the magnetic anisotropy larger than 25%. Results of this study show that the mean archaeomagnetic intensity of the period A.D. 157 – 657 is about 40.2 μ T. The field intensity around A.D. 857 is 43.6 $\pm$ 8.5 μ T and decreases to 36.8 $\pm$ 6.8 μ T at A.D. 1007. In A.D. 1107 the field intensity is about 41.0 $\pm$ 14.7 μ T and about 40.5 $\pm$ 5.0 μ T in A.D. 1207. Results from the different civilizations and ages can be used to construct the secular variation standard curve of the archaeomagnetic intensity for southern Thailand.

คำสำคัญ : ความเข้มสนามแม่เหล็กโบราณ อิฐดินเผา เทคนิคเทลโลเออร์

Key Words : Archaeomagnetic intensity, Fired brick and clay, Thellier technique

* มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ สาขาวิชาธรณีฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทนำ

การศึกษาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกมีความสำคัญในแง่ของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเกิดกระแสไฟฟ้าภายในโลก (Geodynamic) ลักษณะความสัมพันธ์ภายในส่วนลึกของโลก ซึ่งส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่ผ่านมา (Oishi และคณะ, 2005) ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีรูปแบบ ลักษณะ และขนาดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน เช่น Yoshihara และคณะ (2003) ได้สร้างกราฟอ้างอิงของประเทศญี่ปุ่นในช่วง 2,000 ปีที่ผ่านมา พบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกในประเทศญี่ปุ่นมีการลดลงในช่วงปี ค.ศ. 1200 และ 1700 และมีค่าสูงในช่วงปี ค.ศ. 500 และ 1400 ส่วน Ramaswamy และคณะ (1985) พบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่ศึกษามีค่ามากกว่าปัจจุบันจนถึงประมาณ ค.ศ. 900 จากนั้นลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ประมาณ 1,400 ปีที่ผ่านมา และเพิ่มขึ้นจนถึงเมื่อ 2,300 ปีที่แล้ว ซึ่งมีค่าสูงกว่าปัจจุบันถึง 57%

การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งไปที่การศึกษา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกในช่วงอายุต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษา การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลก และใช้ประกอบในการศึกษาอายุของวัตถุโบราณประเภทอิฐดินเผาที่ผลิตในภาคใต้

1. ตัวอย่างที่ศึกษา

ตัวอย่างที่นำมาศึกษาประกอบด้วย

(1) โบราณสถาน (ร้าง) ตุมปัง อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 14-15 (2) กำแพงเมืองนครศรีธรรมราช อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 18 (สถาบันทักษิณคดีศึกษา, 2529) (3) โบราณสถานพระสยาม จ.นครศรีธรรมราช อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 16 (พงศัตถ์, 2547) (4) โบราณสถานเขาศรีวิชัย จ.สุราษฎร์ธานี อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 14-15 (ธราพงศ์, 2542) และ (5) ดินเผาจากชุมชนโบราณ เกาะยอ จ.สงขลา ทั้งที่เป็นอิฐดินเผาเก่า อายุประมาณพุทธศตวรรษที่ 16-18 (สถาบันทักษิณคดีศึกษา, 2529) และอิฐดินเผาใหม่ซึ่งเพิ่งผลิตในปี พ.ศ. 2548

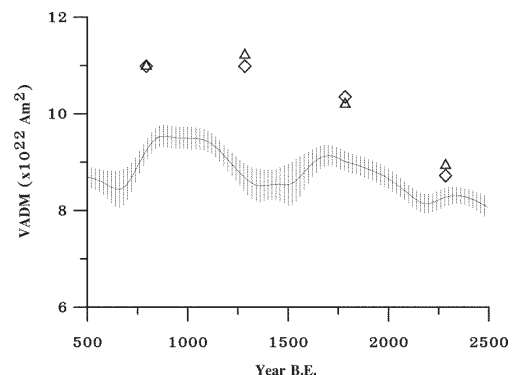
2. การศึกษาอำนาจแม่เหล็กโบราณโดย

เทคนิค Thellier

วิธีหาอายุด้วยวิธีทางแม่เหล็กนั้นจะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างตามธรรมชาติ (Natural remanence magnetization, NRM) ขึ้นกับสารแม่เหล็กภายในวัตถุ เหมาะกับวัตถุซึ่งถูกเผาที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็กโลก เช่น เตาเผา ถ้วยชาม หรือหินภูเขาไฟ วัตถุจะมีแมกนีไทเซชันเกิดขึ้นในทิศทางขนานกับสนามแม่เหล็กโลก ทำให้วัตถุนั้นมีการบันทึกทิศทางและความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกหลังจากที่ได้มีการเผาครั้งสุดท้ายไว้

การหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโบราณโดยการให้ความร้อน 2 ครั้งของ Thellier (1959) และ Coe (1967) กับตัวอย่างอิฐและดินเผาโบราณ เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับกันว่าให้ผลที่น่าเชื่อถือ ซึ่งจะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกของพื้นที่นั้นในช่วงเวลาที่ผ่านมามาตามข้อมูลอายุที่มีอยู่ หากมีข้อมูลเพียงพอจะสามารถสร้างเป็นกราฟอ้างอิง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กบริเวณนั้น และยังสามารถนำมาใช้ในการหาอายุวัตถุโบราณประเภทดินเผาที่ผลิตในพื้นที่นั้นได้อีกทางหนึ่งด้วย

ตัวอย่างผลการศึกษาของ McElhinny และ Senanayake (1982), Yang และคณะ (2000) และที่รวบรวมไว้โดย Korte และ Constable (2005) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า VADM ของ McElhinny และ Senanayake (◇), Yang และคณะ (Δ) และ Korte และ Constable (+)

3. สภาพ AMS และการตรวจสอบการแปรสภาพของสารแม่เหล็ก

เนื่องจากสภาพแอนไอโซทรอปีของสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (anisotropy of magnetic susceptibility, AMS) อาจทำให้ได้ค่าสูงกว่าจริงถึง 5 เท่า (Hus และคณะ, 2002) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับแก้ข้อมูลจากส่วนที่เป็นแอนไอโซทรอปีด้วย (Gallet และคณะ, 2003; Walton, 1988)

เทคนิค Thellier ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาความเข้มแม่เหล็กโบราณจากอิฐและดินเผา ซึ่งสารแม่เหล็กมีความซับซ้อนไม่มากเหมือนหินในธรรมชาติ ที่ส่วนใหญ่จะเป็นโดเมนเทียมหรือมัลติโดเมน (Fabian, 2001) สารแม่เหล็กในวัตถุที่จะใช้ในการหาความเข้มแม่เหล็กโดยเทคนิคนี้ต้องมีเกรนแม่เหล็กที่ละเอียด และมีลักษณะเกรนแบบโดเมนเดี่ยว ซึ่งดินเผาที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันก็เป็นหนึ่งในวัตถุที่เหมาะสมในการใช้หาความเข้มแม่เหล็กนี้ (Thellier, 1977)

ปัญหาสำคัญในการใช้เทคนิค Thellier คือการแปรสภาพของสารแม่เหล็กในระหว่างการทำความร้อน ซึ่ง Coe ได้ปรับปรุงวิธีตรวจสอบ โดยใช้การกลับไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิก่อนหน้านี้ เรียกว่าการทำ pTRM check หรืออาจตรวจสอบเบื้องต้นจากการสังเกตค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility, k) ซึ่งจะคงที่หากสารแม่เหล็กไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ Calvo และคณะ (2002) ชี้ให้เห็นว่าการทำ pTRM check อาจช้าไม่ผ่าน ทั้งๆ ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และการเปลี่ยนแปลงของค่า k ก็ไม่สามารถใช้เป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมอิฐดินเผาให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมกับการวัด โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

1) ตัดตัวอย่างเป็นรูปลูกบาศก์ยาวด้านละ 0.5 ซม. โดยกำจัดส่วนที่อยู่บริเวณผิวหน้า

ของตัวอย่างออก เพื่อเลี่ยงส่วนที่อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

2) ตัดท่อพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 2.3 ซม. ผ่าท่อตามยาวออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน

3) ตัดแผ่นฟอยล์นำมาห่อให้แนบสนิทกับชิ้นตัวอย่าง จากนั้นจึงนำท่อซึ่งผ่าออกเป็น 2 ซีกมาประกบกัน โดยให้แผ่นฟอยล์อยู่ระหว่างกลาง

4) เทพลาสติกเตอร์ลงในท่อให้เต็ม แผ่นฟอยล์จะเป็นตัวแบ่งให้พลาสติกเตอร์แยกเป็น 2 ส่วน แยกแผ่นฟอยล์ ออก จะได้แบบที่มีขนาดเฉพาะกับชิ้นตัวอย่างนั้น

2. การวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก
ทำการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กด้วยเครื่อง KLY-3S Kappabridge โดยวัดทุกครั้งหลังให้ความร้อน เพื่อตรวจสอบการแปรสภาพของสารแม่เหล็ก

3. การวัดค่าแมกนีไทเซชันตกค้าง
ใช้เครื่องแมกนีโตมิเตอร์แบบหมุน JR-4 Spinner magnetometer จัดตัวอย่างให้วางตัวในตำแหน่งต่างๆ เพื่อวัดค่าในแนวแกน x , y และ z ตัวอย่างจะหมุนรอบแกนตั้งภายในชดลวดรับสัญญาณจนครบ 6 ตำแหน่ง ($+x$, $+y$ และ $+z$) ค่าความเข้มและทิศทางของ NRM จะถูกคำนวณและแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

4. การลบล้างแมกนีไทเซชันตกค้างด้วยความร้อน
เทคนิค Thellier และการทำ pTRM check ตัวอย่างถูกลบล้าง NRM ด้วยเครื่องลบล้างแมกนี-ไทเซชันด้วยความร้อน MMTD-18 โดยตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่งจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ในสนามแม่เหล็กภายนอกเป็นศูนย์ (H_0) ซึ่งจะส่งผลให้เกรนแม่เหล็กที่มีอุณหภูมิกักเก็บ (blocking temperature, T_b) ต่ำกว่าอุณหภูมินี้จะมีการวางตัวแบบสุ่ม เสมือนถูกลบล้างอำนาจแม่เหล็กไป เหลือเฉพาะส่วนของเกรนแม่เหล็กที่มี T_b สูงกว่า วัดค่า NRM บันทึกเป็น remaining NRM (x_1 , y_1 , z_1)

จากนั้นนำตัวอย่างมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเดียวกันอีกครั้ง แต่ปล่อยให้เย็นตัวในสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำภายนอก (H_{lab}) ความเข้ม $39.7 \mu T$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กโลก ปัจจุบัน เกรนแม่เหล็กที่มี T_b ต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะถูกเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอกที่ค่าที่ได้ (x_2, y_2, z_2) โดยค่า TRM ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ หรือ TRM gained หาได้จากสมการ

$$TRM_{gained} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

ทำซ้ำแบบเดิมในสนาม H_0 และ H_{lab} โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ $50^\circ C$ จนถึงประมาณ $600^\circ C$ หรือกระทั่งสารแม่เหล็กเกิดการแปรสภาพ ซึ่งสังเกตได้จากค่า k ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม หรือจากการทำ pTRM check

ทำ pTRM check หลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300, 400 และ $500^\circ C$ ในสนาม H_{lab} โดยกลับไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250, 300 และ $350^\circ C$ ตามลำดับ ปล่อยให้เย็นตัวในสนาม H_0 สนามแม่เหล็กซึ่งถูกเหนี่ยวนำที่อุณหภูมิก่อนหน้า (T_1) บางส่วนซึ่งมี T_b ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำ pTRM check (T_2) จะถูกลบล้างไป เหลือเฉพาะค่า NRM ซึ่งมี T_b สูงกว่า T_1 และส่วนของ TRM ที่มี T_b สูงกว่า T_2

5. การเขียนกราฟ NRM-TRM หรือ Arai plot

เขียนกราฟ Arai plot (Nagata และคณะ, 1963) โดยให้ค่า TRM อยู่บนแกน x และค่า NRM อยู่บนแกน y หาความชันของกราฟ (b) และค่าพารามิเตอร์โดยคำนึงถึงเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนของ NRM ที่ใช้ ($f > 0.3$), ความคลาดเคลื่อนของความชัน ($\beta \leq 0.2$), ปัจจัยคุณภาพ ($q > 1$), pTRM check $\leq 15\%$ และ $n \geq 4$ จุด จากนั้นจึงคำนวณหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโบราณ (H_a) จากสมการ

$$H_a = slope \times H_{lab}$$

ค่าความเข้มที่ได้เปลี่ยนให้อยู่ในรูป VADM ได้ดังสมการ

$$VADM = \frac{4\pi r^3}{\mu_0} B_{ancient} (1 + 3 \cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ r คือ รัศมีของโลก (6,372 กิโลเมตร)

μ_0 คือ สภาพซึมซับได้ทางแม่เหล็ก ($4\pi \times 10^{-7}$)

θ คือ ละติจูดร่วม (co-latitude)

ผลการวิจัย

1. สภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (ค่า k)

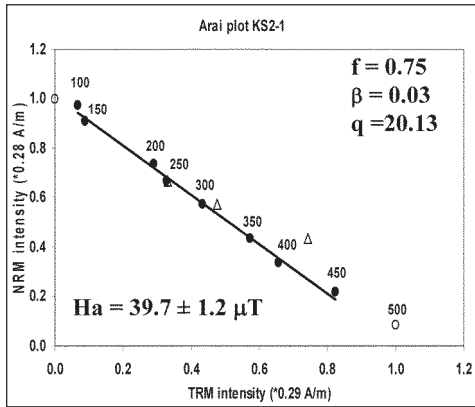
จากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่า k ในระหว่างการให้ความร้อน พบว่าตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่า k คงที่ ทั้งในสนามแม่เหล็กภายนอกเป็นศูนย์และภายใต้สภาวะที่มีสนามแม่เหล็กภายนอก ดินเผาจากชุมชนโบราณเขาศรีวิชัยมีค่า k สูงสุด เฉลี่ย $653.65 \mu SI$ ตัวอย่างจากชุมชนโบราณเกาะยอมีค่าน้อยที่สุด เฉลี่ย $3.54 \mu SI$ ส่วนตัวอย่างจากโบราณสถาน (ร้าง) ตุมปัง กำแพงเมืองนครศรีธรรมราช และโบราณสถานพระสมย มีค่าเฉลี่ย $48.91, 43.40$ และ $18.95 \mu SI$ ตามลำดับ

2. แอนไอโซทรอปีของสภาพปรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก

ตัวอย่างดินเผาจากแหล่งต่างๆ ที่ศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะแอนไอโซทรอปีเกือบเป็นทรงกลม โดยมีค่า E (eccentricity of the ellipsoid) เฉลี่ยไม่เกิน 5% และ P' (anisotropy degree) เฉลี่ยน้อยกว่า 15% ยกเว้นตัวอย่างจากโบราณสถานพระสมย ซึ่งมีค่า E เฉลี่ย 46% และมี P' เกิน 25% คิดเป็น 77.3% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

3. ความเข้มของสนามแม่เหล็กตกค้างโบราณ

จากการนำตัวอย่างดินเผามาทดสอบหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กตกค้าง แล้วนำค่า NRM กับค่า TRM มาเขียนกราฟ Arai plot ได้ผลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างกราฟ Arai plot ของตัวอย่างดินเผาซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการศึกษาสามารถสรุปค่าต่าง ๆ จากการหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโบราณของภาคใต้ได้ค่าดังตารางที่ 2

จากการศึกษามีตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ 44% จากจำนวนทั้งหมด 71 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างจากแหล่งโบราณสถาน (ร้าง) ตุมปัง มีจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์มากกว่าแหล่งอื่นคือประมาณ 71%

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่ได้เปลี่ยนให้อยู่ในรูปของค่า VADM ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในอดีตจากแหล่งต่างๆ ของภาคใต้

ตัวอย่าง	อายุ (ศตวรรษ)	H_a (μT)	VADM ($\times 10^{22} A/m^2$)
TP	14-15	37.2 ± 8.9	9.41 ± 2.24
KS	14-15	45.3 ± 4.5	11.47 ± 1.13
PY	16	36.8 ± 6.8	9.32 ± 1.72
KY	16-18	41.0 ± 14.7	10.39 ± 3.72
NK	18	40.5 ± 5.0	10.25 ± 1.26

อภิปรายผล

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า k พบว่าตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่าเปลี่ยนแปลงจากค่าเดิมน้อยกว่า 10% ในขณะที่พบว่าบางตัวอย่างมีค่า k คงที่ ทั้งที่ผลการทำ pTRM check ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของสารแม่เหล็กในระหว่างการให้ความร้อน แสดงให้เห็นว่าเราไม่สามารถระบุการแปรสภาพของสารแม่เหล็กได้จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่า k เพียงอย่างเดียว ในการวิจัยจึงเลือกที่จะไม่ตัดข้อมูลส่วนที่พบว่าค่า k มีการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับ Gram-Jensen และคณะ (2000)

การพิจารณาสภาพ AMS ของตัวอย่าง โดยสภาพ AMS ไม่ส่งผลต่อค่า NRM เมื่อ $P' \leq 1.25$ หรือ 25% (Gram-Jensen และคณะ, 2000) พบว่าตัวอย่างที่มีค่า k น้อยกว่า 10 μSI ถึง 67% จะมีค่า P' สูงกว่า 25% แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีค่า k น้อยมีแนวโน้มที่สารแม่เหล็กจะมีลักษณะ ellipsoid คลาดเคลื่อนไปจากทรงกลมมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่า NRM ที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมากขึ้นด้วย

ผลจากการศึกษาค่า AMS ของตัวอย่างสามารถใช้ประกอบในการคาดคะเนแร่แม่เหล็กภายในตัวอย่างได้ โดยในที่นี้พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีแร่แมกนีไทต์เป็นแร่ประกอบ ยกเว้นตัวอย่างจากโบราณสถานพระสยาม อาจมีแร่แม่เหล็กที่มีสภาพ AMS สูง เช่น ฮีมาไทต์ หรือฟิโรไทต์ เป็นแร่ประกอบ

ตัวอย่างจากเขาศรีวิชัยและโบราณสถาน (ร้าง) ตุมปัง มีอายุอยู่ในช่วงเดียวกัน แต่มีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกัน เป็นผลจากสภาพพื้นที่ ในขณะที่เผาตัวอย่างมีสนามภายนอกต่างกัน ไม่ได้เกิดจากความแตกต่างของตำแหน่งที่ตั้ง

ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโบราณในพื้นที่ที่ได้ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ยกเว้นตัวอย่างดินเผาจากโบราณสถานพระสยาม ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงศตวรรษที่ 16 ที่มีค่าน้อยกว่าช่วงอายุอื่นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลมาจากดินเผาจากแหล่งนี้มีค่า AMS

ตารางที่ 2 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองวัดความเข้มสนามแม่เหล็กโลกโบราณของภาคใต้

		Ha		σ _{Ha}		β		f		pTRM check		
sample	n	(μT)	(μT)							(%)		
										250	300	350
โบราณสถาน (ร้าง) ดูนัง												
TP1-1*	8	25.6	2.4	0.09	0.70	5.7	2.8	9.9				
TP1-2*	4	26.5	2.3	0.09	0.38	2.7	2.6	1.6	5.0			
TP2-1	3	74.1	1.7	0.02	0.94	24.5	35.1	12.0	166.9			
TP2-2*	5	41.6	6.4	0.15	0.90	3.6	28.6	3.8				
TP3-1	7	13.8	2.0	0.14	0.21	0.6	8.5	5.5				
TP3-2*	6	31.6	3.4	0.11	0.35	2.2	19.0	4.7	0.3			
TP4-1*	8	46.1	2.6	0.06	0.61	7.9	5.1	7.4				
TP4-2*	10	37.2	1.2	0.03	0.86	21.0	11.3	0.4	3.4			
TP6-1*	5	47.1	6.8	0.14	0.90	3.6	94.4	4.5				
TP6-2	3	66.1	9.9	0.15	0.33	0.8	15.3	8.9	99.7			
TP8-1*	8	27.8	0.9	0.03	0.78	13.8	3.8	0.1				
TP8-2*	10	26.2	1.3	0.05	0.85	14.5	4.8	2.1	4.7			
TP9-2*	7	45.0	2.2	0.05	0.34	5.2	0.2	3.2	21.5			
โบราณสถานพระสม												
PY1-1*	8	34.6	0.9	0.03	0.32	7.8	7.8	1.4				
PY1-2*	8	38.0	1.5	0.04	0.44	7.3	2.4	5.6				
PY3-1*	10	35.7	0.9	0.03	0.93	30.2	11.2	11.7	12.8			
โบราณสถานเขาศรีวิชัย												
PY3-2*	10	32.2	1.0	0.03	0.84	23.8	4.9	12.4	10.7			
PY5-1	5	19.8	3.3	0.17	0.31	1.0	23.2	9.4	5.5			
PY6-1*	8	47.6	1.8	0.04	0.57	6.6	1.2	3.6				
PY6-2*	8	42.0	1.8	0.04	0.52	6.1	0.7	6.5				
PY7-2	4	71.2	8.0	0.11	0.09	0.5	55.3	1.3				
PY8-1	5	57.8	10.9	0.19	0.35	1.4	11.9	28.3				
PY8-2	6	49.8	8.2	0.16	0.28	0.6	0.4	31.0				
PY9-1*	7	50.0	3.8	0.08	0.44	4.7	11.6	9.3				
PY14-1	3	30.2	10.4	0.35	0.43	0.5	19.7	4.7	21.0			
PY17-2*	9	32.6	2.2	0.07	0.49	6.1	6.9	4.6	6.7			
โบราณสถานเขาศรีวิชัย												
KSI-2	4	54.3	4.3	0.08	0.20	1.3	16.5	13.0	564.1			
KSI-3	4	54.8	3.0	0.05	0.20	2.2	26.9	1.0	374.1			
KS2-1*	8	39.7	1.2	0.03	0.75	20.1	0.8	10.5	29.1			
KS2-2*	5	45.3	2.5	0.06	0.51	6.8	23.1	5.6	8.2			
KS2-3*	5	48.0	2.6	0.05	0.56	7.7	50.5	13.5	10.3			
KS2-4*	4	42.2	5.5	0.13	0.40	2.1	28.0	9.8	60.5			
KS3-1*	8	45.1	1.2	0.03	0.68	21.0	3.7	6.5	30.9			
โบราณสถานเขาศรีวิชัย												
KY1-1*	9	30.7	2.2	0.07	0.41	3.9	5.3	5.0	12.6			
KY1-2*	8	51.4	4.0	0.08	0.31	2.3	7.2	8.1	45.2			
KY2-1	4	27.7	4.0	0.14	0.09	0.4	21.0	3.3	65.7			
KY2-2	4	29.4	11.2	0.38	0.04	0.1	15.0	2.4	64.9			
KYnl-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.6	13.0	80.6
KYnl-2	4	31.8	3.8	0.20	0.08	0.3	26.7	6.6	59.1			
KYn2-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60.1	17.5	222.6
KYn2-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.4	18.0	113.0

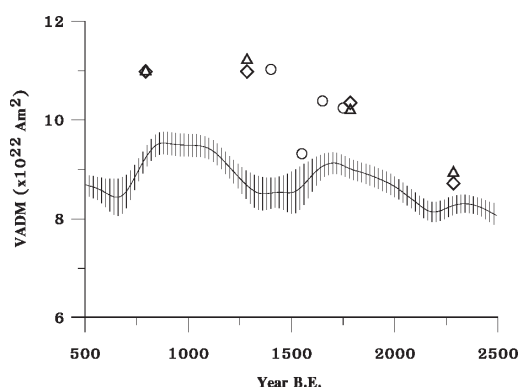
หมายเหตุ: * คือตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ, n คือจำนวนจุดที่เลือกจากกราฟเพื่อใช้ในการคำนวณ, Ha คือความเข้มสนามแม่เหล็กโลกโบราณ, σ_{Ha} คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดัน, β คือความคลาดเคลื่อนของความชัน, f คืออัตราส่วนของ NRM ที่ใช้คำนวณ, q คือปัจจัยคุณภาพของตัวแปร

สูง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้มาก

บทสรุป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโบราณของภาคใต้ จากตัวอย่างดินเผาในยุคสมัยต่างๆ ในช่วงอายุตั้งแต่ 700–1,200 ปีก่อน โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อน 2 ครั้งของ Thellier และ Coe สามารถสรุปได้ว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกของภาคใต้ช่วง 700–1,200 ปีที่ผ่านมา มีค่าเฉลี่ยประมาณ $40.2 \mu\text{T}$ ใกล้เคียงกับข้อมูลความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกปัจจุบันซึ่งมีค่า $41.49 \mu\text{T}$ (IGRF2005) โดยในปี พ.ศ. 1400 สนามแม่เหล็กโลกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยมีความเข้ม $43.6 \pm 8.5 \mu\text{T}$ จากนั้นก็ลดลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่าต่ำสุดในปี พ.ศ. 1550 โดยมีค่า $36.8 \pm 6.8 \mu\text{T}$ แล้วจึงเพิ่มขึ้น จนถึงปี พ.ศ. 1650 มีค่าประมาณ $41.0 \pm 14.7 \mu\text{T}$ แล้วลดลงอีกเล็กน้อยจนมีค่า $40.5 \pm 5.0 \mu\text{T}$ ประมาณปี พ.ศ. 1750

จากข้อมูลต่างๆ เมื่อมาเขียนกราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกบริเวณภาคใต้ของไทย เปรียบเทียบค่า VADM กับข้อมูลอื่นจะได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกของภาคใต้ที่ศึกษา (o) เปรียบเทียบกับ Korte & Constable (Δ), Yang et al. (+) และ McElhinny & Senanayake (2005) ($\diamond$)

ข้อมูลที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่นซึ่งได้มีการศึกษามาก่อนหน้า พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียง และกราฟมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นในปี พ.ศ. 1550 ซึ่งค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกมีการลดลงมากกว่าปกติ อาจเกิดจากผลของสภาพ AMS ของตัวอย่างจากแหล่งโบราณสถานพระสยาม จึงอาจไม่พิจารณาตำแหน่งนี้ในการวิเคราะห์

เราสามารถใช้อ้างอิงกราฟการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกของภาคใต้ที่ได้นี้ เป็นกราฟอ้างอิงเพื่อใช้ประกอบการศึกษาหาความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกเพิ่มเติม หรืออาจใช้ประกอบในการหาอายุของวัตถุโบราณของภาคใต้ต่อไป ซึ่งการใช้กราฟอ้างอิงที่ได้ในการหาอายุของวัตถุโบราณประเภทดินเผาของภาคใต้ สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างนั้นมาหาค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกที่เก็บอยู่ในวัตถุนั้น โดยใช้เทคนิค Thellier จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟอ้างอิงที่ได้จากการศึกษานี้ ก็จะทำให้ได้อายุของวัตถุนั้นได้

เอกสารอ้างอิง

- ธราพงศ์ ศรีสุชาติ. 2542. เตาเผาโบราณชุมชนปะโอ. สารานุกรมวัฒนธรรมภาคใต้ เล่ม 6. อมรินทร์การพิมพ์: กรุงเทพฯ.
- พงศ์ธันว์ สำเภาเงิน. 2547. การขุดแต่งโบราณสถานพระสยาม ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช.
- สถาบันทักษิณคดีศึกษา. 2529. สารานุกรมวัฒนธรรมภาคใต้ เล่ม 2. สถาบันทักษิณคดีศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: สงขลา. 573–606.
- Calvo, M., Prévot, M., Perrin, M., and Riisager, J. 2002. Investigating the reasons for the failure of palaeointensity experiments: a study on historical lava flows from Mt Etna (Italy). *Geophysical Journal International* .149: 44–63.

- Coe, RS. 1967. Palaeointensities of the Earth's magnetic field determined from tertiary and quaternary rocks. *Journal of Geophysical Research*. 72: 3247-3262.
- Fabian, K. 2001. A theoretical treatment of palaeointensity determination experiments on rocks containing pseudo-single or multidomain magnetic particles. *Earth and Planetary Science Letters*. 188: 45-58.
- Hus, J., Ech-Chakrouni, S., and Jordanova, D. 2002. Origin of magnetic fabric in bricks: its implications in archaeomagnetism. *Physics and Chemistry of the Earth*. 27: 1319-1331.
- Gallet, Y., and Genevey, A. 2003. On the possible occurrence of archaeomagnetic jerks in the geomagnetic field over the past three millennia. *Vincent Courtillot a Earth and Planetary Science Letters*. 6743: 1-6.
- Gram-Jensen, M., Abrahamsen, N., and Chauvin, A. 2000. Archaeomagnetic intensity in Denmark. *Physics and Chemistry of the Earth*. 25: 525-531.
- Korte, M., and Constable, CG. 2005. The geomagnetic dipole moment over the last 7000 years-new results from a global model. *Earth and Planetary Science Letters*. 236: 348-358.
- McElhinny, MW., and Senanayake, WE. 1982. Variation in the geomagnetic dipole, I: the past 50000 years. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. 34: 39-51.
- Nagata, T., Arai, Y., and Momose, K. 1963. Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5000 years. *Journal of Geophysical Research*. 68: 5277-5281.
- Oishi, Y., Tsunakawa, H., Mochizuki, N., Yamamoto, Y., Wakabayashi, K., and Shibuya, H. 2005. Validity of the LTD-DHT Shaw and Thellier palaeointensity methods: a case study of the Kilauea 1970 lava. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 149: 243-257.
- Ramaswamy, K., Dheenathayalu, M., and Bharathan, S. 1985. Archaeomagnetic determination of the ancient intensity of the geomagnetic field in Tamilnadu, India. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 40: 61-64.
- Yang, S., Odah, H., and Shaw, J. 2000. Variations in the geomagnetic dipole moment over the last 12000 years. *Geophysical Journal International*. 140: 158-162.
- Thellier, E. 1977. Early research on the intensity of the ancient geomagnetic field. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 13: 241-244.
- Thellier, E., and Thellier, O. 1959. Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans la passé historique et géologique. *Annales Geophysicae*. 15: 285-376.
- Walton, D. 1988. The lack of reproducibility in experimentally determined intensities of the Earth's magnetic field. *Reviews of Geophysics*. 26: 15-22.
- Yoshihara, A., Kondo, A., Ohno, M., and Hamano, Y. 2003. Secular variation of the geomagnetic field intensity during the past 2000 years in Japan. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 210: 219-231.