บทที่ 1

บทนำ

แหล่งโบราณคดีเตาเผาบริเวณคลองโอ เป็นแหล่งโบราณคดีที่สำคัญแหล่งหนึ่งของกลุ่มชุมชนโบราณปะโอ ซึ่งเป็นกลุ่มชุมชนสมัยแรกเริ่มประวัติศาสตร์ที่อยู่ในคาบสมุทรสทิงพระ ร่วมยุคสมัยเดียวกับอาณาจักรศรีวิชัย ได้มีการสันนิษฐานว่าภาชนะดินเผาจากเตาเผาโบราณชุมชนปะโอแพร่ออกสู่ชุมชนภายนอกในช่วงพุทธศตวรรษที่ 16-18 การค้นหาบริเวณที่เป็นเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ ได้เริ่มดำเนินงานโดยคณะสำรวจของกรมศิลปากร มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 และได้รายงานการค้นพบเตาเผาโบราณทั้งสิ้นจำนวน 4 เตา แต่คณะสำรวจได้คาดว่าจำนวนเตาเผาที่แท้จริงน่าจะมีมากกว่าที่พบ เนื่องจากความแพร่หลายของผลิตภัณฑ์ภาชนะดินเผาจากเตาเผาโบราณชุมชนปะโอที่พบในชุมชนร่วมสมัยหลายแห่ง

การดำเนินงานขุดค้นทางโบราณคดีเพื่อหาตำแหน่งของเตาเผาโบราณนั้น ต้องอาศัยเวลาในการดำเนินงานที่ค่อนข้างนาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าควรที่จะมีการนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลาย (NDT-non destructive technique) และใช้เวลาในการดำเนินงานสั้นกว่าการขุดค้นทางโบราณคดีมาก มาช่วยในการกำหนดตำแหน่งของเตาเผาโบราณที่ถูกปิดฝังอยู่ เนื่องจากวิธีการทางธรณีฟิสิกส์จะประสบผลสำเร็จได้ดีก็ต่อเมื่อวัตถุที่สนใจและดินที่ปิดฝังอยู่มีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด แต่เตาเผาโบราณชุมชนปะโอได้ก่อมาจากดินเหนียวผสมเผาไฟจนแกร่ง จึงอาจมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากดินที่ปิดฝังอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งไปที่การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำหนดตำแหน่งเตาเผาโบราณชุมชนปะโอด้วยวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ ซึ่งหากว่าผลที่ได้จากการวัดประสบผลสำเร็จในกำหนดตำแหน่งเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ ก็สามารถที่จะนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ไปประยุกต์หาตำแหน่งของเตาเผาชุมชนโบราณปะโอในบริเวณข้างเคียงได้

บทนำต้นเรื่อง

กลุ่มชุมชนโบราณปะโอ เป็น 1 ใน 6 ของกลุ่มชุมชนโบราณบนคาบสมุทรสทิงพระ ที่เริ่มตั้งแต่บ้านท่าบอน อำเภอระโนด จังหวัดสงขลาถึงบ้านหัวเขาแดง ตำบลหัวเขา อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลาในปัจจุบัน (ภาพประกอบ 1) ความสำคัญของชุมชนโบราณปะโอ คือ เป็นบริเวณที่มี

เตาเผาโบราณตลอดจนหลักฐานของการทำเครื่องปั้นดินเผาอย่างหนาแน่นในชุมชนแรกเริ่มประวัติศาสตร์ที่พบเป็นแห่งแรกและแห่งเดียวในภาคใต้ (ธราพงศ์ ศรีสุชาติ,2542ข) ซึ่งพบในแหล่งโบราณคดีเตาเผาบริเวณคลองโอ ในเขตตำบลม่วงงาม ตำบลวัดขนุน อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา (ภาพประกอบ 2)

ลักษณะเด่นของภาชนะดินเผาจากเตาเผาโบราณปะโอ คือ เป็นภาชนะดินเผาที่เนื้อภาชนะประกอบด้วยดินขาว (White Clay or Kaolin) ปริมาณมากผสมทรายละเอียด จนทำให้ได้ภาชนะเนื้อดินเผาที่มีเนื้อละเอียดและประสานเด่นกว่าภาชนะดินเผาเนื้อดินบางประเภทที่ปรากฏในชุมชนแรกเริ่มประวัติศาสตร์ในที่อื่นๆ ซึ่งเตาเผาโบราณปะโอ สามารถเผาภาชนะเนื้อดินได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียส ถึง 1,100 องศาเซลเซียส เป็นการเผาที่ให้ภาชนะเนื้อดินแกร่งโดยไม่ต้องผสมหิน แบบภาชนะเครื่องหิน โดยคาดว่าสามารถเผาภาชนะได้ตั้งแต่ 400-800 ใบ ในการเผาครั้งหนึ่งๆ (ธราพงศ์ ศรีสุชาติ, 2542ก)

ภาชนะดินเผาจากเตาเผาโบราณปะโอ ได้ปรากฏแพร่หลายไปยังกลุ่มชุมชนร่วมสมัยอื่นๆที่อยู่แถบคาบสมุทรสทิงพระเดียวกัน และกลุ่มชุมชนร่วมสมัยที่อยู่ห่างไกลออกไป เช่น ชุมชนโบราณยะรัง จังหวัดปัตตานี ชุมชนโบราณไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมชนโบราณพระเวียงและท่าเรือ จังหวัดนครศรีธรรมราช แหล่งโบราณคดีที่เปงกาลันบูจัง รัฐเคดาห์ ประเทศมาเลเซีย แหล่งโบราณคดีโกตาจีนา โมรา แจมบี ที่เกาะสุมาตรา และแหล่งโบราณคดีโตรวูลัน สุราบายา ที่เกาะชวาตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย แหล่งโบราณคดีบูตูอัน ประเทศฟิลิปปินส์

กลุ่มเตาเผาโบราณปะโอ ได้ถูกค้นพบจากชาวท้องถิ่นเป็นครั้งแรก โดยพบว่าเป็นเนินดินหรือโคกที่สูงกว่าบริเวณอื่น และเมื่อไถคราดปรับพื้นดิน พบว่าเป็นบริเวณที่มีเศษกระเบื้อง หรือเศษภาชนะดินเผา ปรากฏเกลื่อนกลาดอยู่มากมาย ซึ่งโคกเนินเหล่านี้อยู่ริมคลองโอ หรือ"อู่" ซึ่งเล่าสืบต่อกันมาว่าเป็นคลองที่เคยมีเรือสำเภาแล่นเข้ามาและแล่นออกสู่ทะเลสาบ ในปี พ.ศ.2514-2515 นางเจนิซ เอ็ม สตาร์การ์ตท (Janice M. Stargardt) ได้เข้ามาศึกษาหลักฐานทางโบราณคดีบริเวณคาบสมุทร สทิงพระ ทราบเรื่องโคกเนินดินแห่งหนึ่งที่มีเศษภาชนะดินเผา จึงเข้ามาขุดค้นเนินดินแห่งหนึ่งที่เรียกว่า "โคกหม้อ" แต่การสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีบริเวณที่เป็น"เตาเผา" จริงๆนั้น ได้เริ่มโดยหน่วยศิลปากรที่ 9 สำรวจพบเตาเผาโบราณจำนวน 4 เตาเผา โดยส่วนที่เป็นผนังเตาได้ถูกทำลายไปเพราะความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของชาวบ้าน คงเหลือแต่เพียงส่วนที่เป็นฐานเตาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.30-2.00 เมตร มีลักษณะเป็นดินเหนียวผสมเผาจนแกร่ง เพื่อป้องกันการยุบตัวเท่านั้น

ผลการกำหนดอายุด้วยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (thermoluminescence,TL) จากตัวอย่างเศษภาชนะดินเผาที่เนินดินโคกหม้อ โดยมหาวิทยาลัยออกฟอร์ด ประเทศอังกฤษ เปรียบเทียบกับผลการกำหนดอายุโดยใช้เครื่องเคลือบจีน สมัยราชวงศ์ซ้องตอนปลาย (Song Dynasty) ที่พบในชั้นดินเดียวกันกับเตาเผาโบราณปะโอ ทำให้อนุมานได้ว่าเตาเผาโบราณชุมชนปะโอมีอายุสมัยอยู่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 16-18 และจากความแพร่หลายของภาชนะดินเผาจากเตาเผาโบราณปะโอในชุมชนแรกเริ่มประวัติศาสตร์ทั้งที่ใกล้และไกลออกไป (ธราพงศ์ ศรีสุชาติ,2542ก) ทำให้กรมศิลปากรคาดว่ามีอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปั้นดินเผา เรียงรายอยู่ทั้งสองฝั่งคลองปะโอ และมีจำนวนของเตาเผาโบราณมากกว่า 4 เตาตามที่ได้เคยสำรวจพบ

เนื่องจากฐานเตาเผาเป็นดินเหนียวผสมที่ถูกเผาจนแกร่งแล้วนำมาบดอัดกันให้แน่นดังที่ได้กล่าวไปในข้างต้นนั้น ทำให้ฐานเตาเผามีลักษณะทางกายภายที่แตกต่างไปจากดินที่ปิดฝังอยู่โดยรอบ เช่น สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) สภาพนำไฟฟ้า(conductivity) สภาพต้านทานไฟฟ้า(resistivity) สภาพให้ซึมได้ทางแม่เหล็ก (magnetic permeability) สภาพยอมทางไฟฟ้า(dielectric permitivity) ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณดังกล่าวบนผิวดิน เพื่อจำแนกและกำหนดบริเวณที่มีความแตกต่างทางกายภาพที่อยู่ใต้ดิน จึงสามารถนำมาใช้กำหนดตำแหน่งของโบราณวัตถุที่อยู่ใต้ดินได้

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้วิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก การใช้เทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน หรือรวมเรียกกันว่าวิธีการทางธรณีฟิสิกส์ กำหนดตำแหน่งและความลึกของเตาเผาโบราณ เพื่อนำไปสู่การขุดค้นทางโบราณคดียืนยันตำแหน่งของเตาเผาโบราณปะโอต่อไป

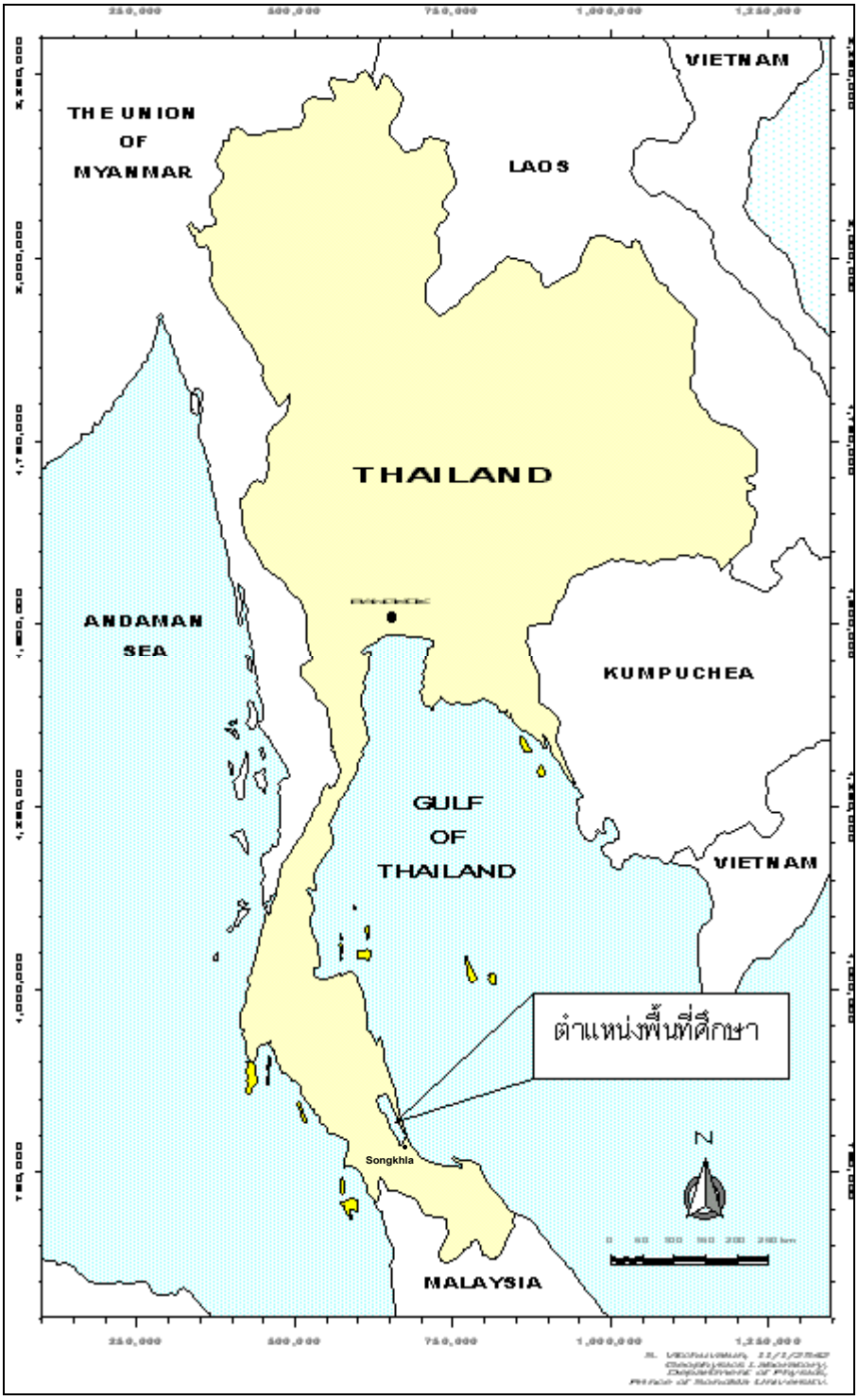
การตรวจเอกสาร

ผลการสำรวจและขุดค้นทางวิชาการ ตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2521 (ธราพงศ์ ศรีสุชาติ,2542ก) บริเวณแหล่งโบราณคดีสทิงพระและแหล่งโบราณคดีข้างเคียง ได้ตรวจพบฐานของเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ จำนวน 2 เตา แต่ตรวจไม่พบผนังเตาที่ก่อขึ้นเป็นรูปโดมหรือลอมฟาง ซึ่งคาดว่าได้พังทลายลงก่อนหน้านั้น เพราะชาวท้องถิ่นขุดดินบริเวณดังกล่าวไปใช้หรือทำการไถปรับพื้นที่ เตาเผาโบราณชุมชนปะโอมีอายุอยู่ในช่วงสมัยพุทธศตวรรษที่ 16-18 และมีลักษณะเด่นคือ เป็นเตาเผาที่สามารถเผาภาชนะดินเผาได้ในอุณหภูมิตั้งแต่ 600 องศาเซลเซียส

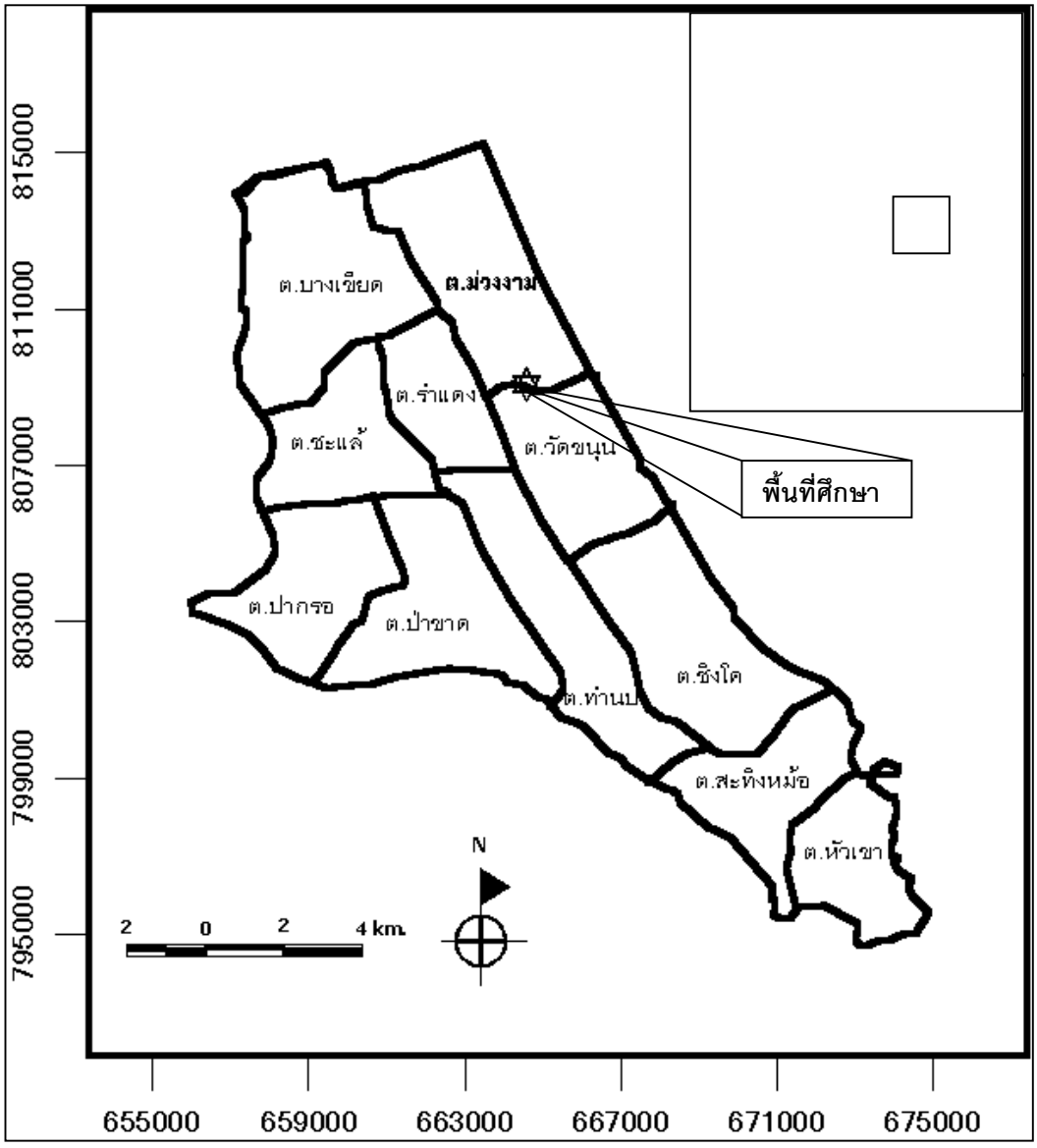
ถึง 1,100 องศาเซลเซียส จึงทำให้ภาชนะดินเผาจากชุมชนปะโอมีคุณภาพและแพร่หลายดีกว่าภาชนะดินเผาจากแหล่งชุมชนร่วมสมัยอื่นๆ

การนำระเบียบวิธีการต่างๆทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์เพื่อใช้ในการสำรวจทางโบราณคดี กำหนดตำแหน่งของโบราณวัตถุประเภทเตาเผา หรือ เศษภาชนะดินเผา มีปรากฏในรายงานของ ธราพงศ์ ศรีสุชาติ (2536) ที่กล่าวถึงลักษณะเด่นจากการนำระเบียบวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในงานทางโบราณคดี ทำให้สามารถทำงานได้สะดวกในพื้นที่จำกัด และให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ความลึกประมาณ 1 เมตรหรือตื้นกว่านั้น และอมรา ศรีสุชาติ (2542) ที่กล่าวถึงผลการสำรวจของ ธราพงศ์ ศรีสุชาติ และ ปรีชา เล่าชู ที่ได้ทำการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง เพื่อตรวจหาและกำหนดตำแหน่งของเตาเผาโบราณบ้านดี ตำบลบาราโหม อำเภอเมืองปัตตานี จังหวัดปัตตานี โดยพบบริเวณที่คาดว่าเป็นตำแหน่งของเตาเผาเพิ่มขึ้นอีก 3 เตา จากเดิมที่ทราบอยู่แล้ว 3 เตา และปรีชา เล่าชู (2538) ได้นำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่งมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจหาแหล่งเตาเผาภาชนะดินเผาสมัยโบราณ บริเวณบ้านท่าแร่ ตำบลโพนงาม อำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนคร โดยได้พบเตาโบราณเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก จำนวน 2 เตา จึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาสำรวจที่บริเวณด้านทิศเหนือของวัดพระพายหลวง อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย ซึ่งได้พบบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กผิดปกติ จำนวน 25 บริเวณ ภายหลังจากการขุดทดสอบบริเวณที่มีค่าความผิดปกติของความเข้มสนามแม่เหล็กจำนวน 12 บริเวณ จาก 25 บริเวณ ปรากฏร่องรอยของเตาเผาสังคโลกทั้ง 12 บริเวณ

Coetzee et al. (1998) ประสบผลสำเร็จจากการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กและการสำรวจทางแม่เหล็กไฟฟ้า ในการระบุตำแหน่งเตาที่ใช้หลอมโลหะและหลักฐานของการหลอมโลหะในยุคแรก ที่หมู่บ้าน Sand River จากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กซึ่งสูงกว่าบริเวณข้างเคียง นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดตำแหน่งฐานรากของสิ่งก่อสร้างและกองขยะที่เหลืออยู่ในสมัยศตวรรษที่ 19 ที่เมือง Voortrekker town ซึ่งเป็นแหล่งโบราณคดีของจังหวัดทางตอนเหนือในประเทศแอฟริกาใต้ ได้จากบริเวณที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง และ Tabbagh (1986) ได้นำเสนอผลการวัดทางแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏ (apparent resistivity) และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กปรากฏ (apparent susceptibility) มาประยุกต์ใช้ในงานสำรวจทางโบราณคดี สองแหล่ง แหล่งแรกคือที่ Gallo-Roman ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเครื่องดินเผา โดยสามารถกำหนดพื้นที่ๆทำการผลิตเครื่องดินเผาได้จากบริเวณที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กปรากฏสูงกว่าบริเวณข้างเคียงและแหล่งที่สอง คือ บริเวณสะสมของทองแดงในบึง โดยพบว่า บริเวณที่เป็นพีต (peat) จะให้ค่าต้านทานไฟฟ้าปรากฏ และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กปรากฏต่ำกว่าบริเวณ



ภาพประกอบ 1 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ



ภาพประกอบ 2 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ

ข้างเคียง นอกจากนี้ Sternberg และ Mcgill (1995) ประสบผลสำเร็จในการใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินสำรวจแหล่งโบราณคดีทางภาคใต้ของรัฐอะริโซน่าประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น อิฐเผา เศษหม้อ ผนังและพื้นปลาสเตอร์ หลุมขยะ ภาชนะและอุปกรณ์ต่างๆ และ Cezar et al. (2001) ได้ประสบผลสำเร็จในการนำเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน ตรวจหาตำแหน่งของเศษภาชนะดินเผา เช่น หม้อ กระถาง กา หรือโกศ ที่แหล่งโบราณคดี Serrano และ Morro Grande ที่กรุง ริโอเดอ จาไนโร ประเทศบราซิล

ความสำเร็จในการนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์กำหนดตำแหน่งของโบราณวัตถุหรือโบราณสถาน ประเภทสุสานหรือเศษชิ้นของโลงศพ ดังเช่นผลงานวิจัยของ อภิชาติ พัฒนวิริยะพิศาล (2542) ซึ่งใช้เทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน (GPR) กำหนดตำแหน่งของโลงศพโบราณของชาวดัชท์ในบริเวณสุสานวิลันดา ซึ่งเป็นโบราณสถานที่มีอายุกว่า 300 ปี ในอำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา และจากการขุดตรวจสอบทางโบราณคดีพบว่า 9 ใน 18 ของสัญญาณเรดาร์ผิดปกติ เป็นชิ้นส่วนของโลงศพชาวดัชท์โบราณโดยมีตำแหน่งและความลึกเป็นไปตามที่ได้ประเมินไว้ นอกจากนั้น Baven (1991) ยังประสบผลสำเร็จในการใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินกำหนดตำแหน่งของหลุมศพ 9 แห่งในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีอายุน้อยกว่าศตวรรษที่ 17

Goodman (1994) ได้สังเคราะห์เรดาร์แกรมจากการทำ Forward Modeling ด้วยเทคนิคการลากเส้นรังสี (ray-tracing technique) โดยประยุกต์ใช้ในการตรวจหาหีบศพหินของบุคคลสำคัญของประเทศญี่ปุ่นในยุคโคฟุน (Kofun period หรือ 300-700 A.D.) ที่ถูกฝังอยู่ในพื้นที่ๆได้รับการอนุรักษ์ไว้ไม่ให้มีการขุดค้น และ Bagan et al. (1998) ได้นำเทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกและการวัดทางแม่เหล็กไฟฟ้า กับแหล่งโบราณคดีวิหารเซนต์มาเรีย เมืองบาสเตีย ประเทศฝรั่งเศส โดยประสบผลสำเร็จในการกำหนดตำแหน่งทางเข้าห้องใต้ดินของโบสถ์ที่ใช้เป็นสุสานของพระและบิชอบ (Bishop) ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวเป็นบริเวณที่สภาพนำไฟฟ้ามีค่าสูง สอดคล้องกับผลที่ได้จากการแปลความด้วย GPR ที่พบสัญญาณผิดปกติตรงตำแหน่งที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูง ส่วนผลการกำหนดตำแหน่งสุสาน Phoenician-Roman (vIII to A.C. - I D.C.) ที่มีลักษณะเป็นห้องฝังอยู่ใต้ดิน ด้วย GPR พบสัญญาณสะท้อนผิดปกติทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ซึ่ง 3 ตำแหน่งที่อยู่ติดกันคาดว่าเป็นตำแหน่งของสุสาน ส่วน 2 ตำแหน่งที่เหลือคาดว่าเป็นแนวกำแพงห้อง สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ Dipole-dipole ที่ตรงบริเวณดังกล่าวแสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่นมาก

การกำหนดตำแหน่งต่างๆภายในโบราณสถานที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์โดยใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ปรากฏในรายงานวิจัยของ Tsokas (1997) ที่ได้ดำเนินการวัดค่าสภาพ

ต้านทานไฟฟ้า ในแหล่งโบราณคดี Europos ทางตอนเหนือของประเทศกรีซ พร้อมทั้งนำเทคนิค Inverse filtering มาช่วยในการแปลความข้อมูล โดยภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ผ่านการทำ Inverse filtering แสดงค่าผิดปกติสูงสุดเหนือวัตถุต้นเหตุได้แม่นยำกว่าภาคตัดขวางของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าทั่วๆไป และเมื่อนำไปทำแผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าข้อมูลที่ผ่านการทำ Inverse filtering จะสามารถแสดงแนวของสิ่งก่อสร้างโบราณได้ดีกว่า แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าทั่วๆไป

Komatina et al. (1999) ได้ใช้กระบวนการทางธรณีฟิสิกส์ สำรวจแหล่งโบราณคดีสามแหล่งในประเทศยูโกสลาเวีย แหล่งที่หนึ่ง คือ Divostin ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง ผลจากการแปลความแสดงบริเวณที่มีค่าผิดปกติสองบริเวณ ที่สอดคล้องกับผลการขุดค้นทางโบราณคดีที่บริเวณดังกล่าวก่อนหน้านั้นซึ่งคาดว่าเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยในยุคหินใหม่ (Neolithic) แหล่งที่สอง คือ Baden ได้ทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ Wenner เพื่อกำหนดตำแหน่งป้อมปราการในสมัยต้นของยุคไบแซนไตน์ (ศตวรรษที่ 4) พบบริเวณที่คาดว่าเป็นซากโบราณวัตถุที่ถูกทับถม ได้จากตำแหน่งที่แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง (มากกว่า 80 Ωm) และวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ Schlumberger ทำให้แบ่งชั้นดินออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นที่หนึ่งเป็นชั้นของการทับถมของ ดินเหนียว,ทราย และเศษวัตถุโบราณ ชั้นที่สองเกิดจากการทับถมของหินตะกอน ชั้นที่สามเป็นชั้นของหินชีสต์และหินไนสต์ สมัย Paleozoic และจากผลการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กและค่าสนามโน้มถ่วง สามารถกำหนดตำแหน่งของแนวท่อน้ำและแนวกำแพงโบราณ แหล่งสุดท้ายคือ ภายในวิหารที่เมือง Kalenic ที่สร้างระหว่างปี 1407-1413 เพื่อกำหนดซากโบราณวัตถุที่ถูกปิดทับ โดยใช้การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ Wenner กำหนดบริเวณที่คาดว่าเป็นซากของวัตถุโบราณ ได้จากตำแหน่งที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง และกำหนดชั้นดินออกไปเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นที่เกิดการทับถมของตะกอน เช่น ดินเหนียว ทราย ก้อนกรวด และชั้นของหินแกบโบร (gabro)และหินชีสต์ (schist)

Sambuelli et al. (1998) ได้กำหนดตำแหน่งส่วนมุขของโบสถ์ Victimulae Salussola Biell ด้วยการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพล ค่าสนามแม่เหล็กในแนวดิ่งและเทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน ผลที่ได้จากเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินสามารถกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่สนใจได้ เช่นเดียวกับแผนที่ค่าสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง ที่ระบุตำแหน่งฐานของเสาหินโบราณได้ ขณะที่ผลของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่สนใจได้ ซึ่งจากผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้กระบวนการทางธรณีฟิสิกส์หลายวิธีในการสำรวจทางโบราณคดี เพื่อนำผลที่ได้มาสนับสนุนกันและกัน

นอกจากนี้แล้ว Young (1986) ได้ใช้กระบวนการทางธรณีฟิสิกส์กำหนดตำแหน่งของสิ่งก่อสร้างโบราณที่ Fort Wilkins รัฐ Michigan ซึ่งสร้างขึ้นในศตวรรษที่ 19 โดยได้ทำการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ Half-Schlumberger และสามารถกำหนดสัณฐานของป้อมทหาร ห้องช่างไม้ โรงตีเหล็ก จากบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น และพบสัณฐานที่คาดว่าจะเป็นส่วนของห้องน้ำจากบริเวณที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ขณะที่ผลจากการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง สามารถกำหนดสัณฐานทางโบราณคดีได้เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการสำรวจการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า หากแต่มีข้อจำกัดในการวัดเนื่องจากสิ่งรบกวนที่เป็นสิ่งก่อสร้างในสมัยปัจจุบันที่อยู่ใกล้กับพื้นที่สำรวจ และ Perez et al. (1998) ได้ใช้เทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน กำหนดบริเวณที่คาดว่าจะเป็นปัญหาต่อสิ่งก่อสร้างที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ เช่น บริเวณที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง ช่องว่างภายกำแพง รอยแตกภายในสิ่งก่อสร้าง โดยข้อมูลที่ได้จาก GPR แสดงถึงบริเวณที่เคยเป็นบ่อน้ำ หรือทางน้ำในอดีต จากบริเวณที่ให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง และกำหนดบริเวณที่คาดว่าจะเกิดความเสียหายได้จากตำแหน่งที่เกิดการผิดรูปของชั้นดินที่อยู่ใต้สิ่งก่อสร้าง

Gracia et al. (2000) ประสบผลสำเร็จในการใช้เทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินกำหนดตำแหน่งของห้องใต้ดิน หลุมฝังศพ และแนวกำแพงโบราณภายในโบสถ์ เมืองบาเลนเซีย ประเทศสเปน และสามารถกำหนดพื้นที่ๆมีความชื้นสูงมากและน้อยของชั้นใต้ดินได้ โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าสภาพยอมได้ทางไฟฟ้าและความเร็วของคลื่นเรดาร์ ซึ่งจะส่งผลต่อความเสียหายของพื้นที่เป็นหินอ่อน และ Vaughan (1986) ประสบผลสำเร็จจากการใช้เทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินกำหนดตำแหน่งของหลุมฝังศพและตำแหน่งสถานีล่าปลาวาฬของชาวแบสค์ ในศตวรรษที่ 16 ที่ชายฝั่งลาบราเดอร์ ประเทศแคนาดา และ Imai et al. (1987) ประสบผลสำเร็จในการใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน กำหนดตำแหน่งที่พักโบราณซึ่งถูกฝังอยู่ใต้ดิน ร่วมกับการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อกำหนดตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้างที่เหลืออยู่ของเมืองโบราณและทางน้ำใต้ดินโบราณของเมืองโบราณนั้น

Conyers (1996) ได้รายงานถึงความสำเร็จจากการใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินกำหนดตำแหน่งของแหล่งโบราณคดีในศตวรรษที่ 6 ที่เมืองซีเรน (Ceren) ประเทศเอลซัลวาดอร์ พบสิ่งก่อสร้างที่ถูกฝังอย่างรวดเร็วโดยฝุ่นละอองของเถ้าภูเขาไฟ (pyroclastic debris) และสามารถสร้างแผนที่แสดงลักษณะของสิ่งที่ถูกฝังใต้หินภูเขาไฟ ซึ่งมีความลึกประมาณ 3-6 เมตร ทำให้สามารถบอกถึงสภาพของสิ่งมีชีวิตและสิ่งปลูกสร้างก่อนที่จะถูกทับถม เช่นเดียวกับ McCann และ Mackie (1996) ได้ใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน กำหนดตำแหน่งของแหล่ง

โบราณคดีจำนวน 2 แหล่งใจกลางกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ เพื่อดูลักษณะสัญญาณสะท้อนผิดปกติ ผลที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งตำแหน่งและรูปทรงทางโบราณคดีกับข้อมูลทางโบราณคดีที่ได้ทราบล่วงหน้าแล้ว

Tohge (1996) ได้รายงานผลการใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน กำหนดตำแหน่งของหมู่บ้านโคโมชิมูรา (Komochimura village) ซึ่งเป็นศูนย์กลางในเขตปกครองกัมมา (Gumma prefecture) ประเทศญี่ปุ่น ที่ถูกฝังด้วยหินภูเขาไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้ยังคงสภาพเดิมของหมู่บ้าน และจากการขุดพิสูจน์ผลการสำรวจ พบบ่อเจาะ ที่เก็บของ พื้นที่เกษตรกรรม แนวรั้วและทางเท้า นอกจากนี้ Iliecto et al. (1998) ได้พัฒนาระบบเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดินขึ้นมาโดยเรียกว่า I.D.S.RIS ซึ่งประสบผลสำเร็จในการนำไปประยุกต์ใช้ทางโบราณคดี เช่น กำหนดซากโบราณวัตถุใต้พื้นที่จอดรถในศาลากลางจังหวัดเมืองโรม แนวของท่อส่งน้ำโบราณและรอยแตกของสิ่งก่อสร้างโบราณที่วิหารเซนต์ปีเตอร์ และที่แหล่งโบราณคดีหมู่บ้าน Adriana Tivoli ภายในเมืองโรม รวมทั้งสามารถนำไปแก้ไขปัญหาการขุดสำรวจกำหนดความลึกของชั้นหินปูนที่ถูกปกคลุมด้วยหินทรายที่ถูกพัดพามาจากที่สูง

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยซึ่งนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในงานโบราณคดีเพื่อกำหนดตำแหน่งของโบราณสถานที่มีรูปทรงเป็นคูหรืออุโมงค์ ดังปรากฏในรายงานวิจัยของ Ciminale et al. (1998) ได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและการสำรวจทางแม่เหล็กที่พื้นดิน กำหนดเครือข่ายของอุโมงค์และทางน้ำโบราณของแม่น้ำ Baseto ที่แหล่งโบราณคดี Metaponto ทางตอนใต้ของประเทศอิตาลี โดยผลจากการแปลความภาพถ่ายทางอากาศ ที่เฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงทางภูมิศาสตร์ สามารถกำหนดเส้นทางของทางน้ำโบราณ ส่วนการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง สามารถกำหนดเส้นทางของอุโมงค์ได้ และ Herwanger et al. (2000) ได้กล่าวถึงผลการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง ผ่านตำแหน่งของแหล่งโบราณคดีสมัยกลางทางตอนเหนือของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อคาดคะเนตำแหน่งและขนาดของบ่อ คู โดยได้กำหนดวิธีการและเครื่องมือให้เหมาะสมกับการวัดจริงในพื้นที่สำรวจ จากการวัดในพื้นที่จำลองที่จัดทำขึ้นให้เหมือนกับพื้นที่สำรวจ ซึ่งพบว่าเมื่อค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กแตกต่างกันน้อยและปราศจากสัญญาณรบกวนต่างๆ ผลที่ได้จากการวัดจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้น โดยผลการวัดจริงในพื้นที่สำรวจสามารถกำหนดบ่อเล็กๆได้ 2 ตำแหน่ง ซึ่ง 1 ใน 2 ตำแหน่งดังกล่าวได้รับการยืนยันจากการขุดค้นทางโบราณคดี จึงมีความจำเป็นที่ก่อนการสำรวจทางแม่เหล็กจะต้องมีการวิเคราะห์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก จากตัวอย่างในบริเวณต่างๆของพื้นที่สำรวจ เช่น ตัวอย่างจากดินชั้นบนหรือที่ระดับตื้น

Payne (1993) ได้ทำการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง และค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก เพื่อกำหนดแนวคูเมืองและตำแหน่งของโบราณวัตถุอื่นๆ ภายในป้อมปราการ Backland Rings ที่ New Forest ผลจากการแปลความพบบริเวณที่มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูง 7 ตำแหน่ง ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งของคูเมือง ส่วนบริเวณที่ให้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำ คาดว่าเป็นซากของวัตถุโบราณอื่นๆ ขณะที่ผลจากค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก พบว่าบางบริเวณแสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูง ซึ่งคาดว่าเป็นบริเวณที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมความร้อนในอดีต เช่น เป็นที่ตั้งของเตาไฟแล้วเกิดการทับถมของดินเมื่อเวลาผ่านไป แต่บริเวณที่ให้ค่าผิดปกติของค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กไม่ได้สอดคล้องกับบริเวณที่มีค่าผิดปกติจากการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง และ Hruska et al. (1998) ได้ใช้เรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน กำหนดเส้นทางของอุโมงค์ที่เชื่อมต่อระหว่างเขตชุมชนไปยังโบสถ์และเวทีกลางแจ้ง ที่แหล่งโบราณคดี เมือง Ephesos ประเทศตรุกี ผลที่ได้สามารถแสดงแนวอุโมงค์ 2 แนวที่มีเส้นทางขนานกันไปและเชื่อมต่อกันที่ทางเข้าโบสถ์ ซึ่งยืนยันได้จากผลการขุดพิสูจน์ทางโบราณคดีสองตำแหน่ง นอกจากนี้ยังตรวจพบสัญญาณสะท้อนผิดปกติได้อีกในหลายระดับความลึก โดยคาดว่าเป็นชิ้นส่วนของเศษวัตถุโบราณ และเมื่อทำการแบ่งช่วงของความลึกแต่ละระดับแล้วสามารถกำหนดตำแหน่งเวทีกลางแจ้งตามแบบของชาวกรีกได้ ที่มีขนาดเล็กแตกต่างไปจากสิ่งก่อสร้างแบบโรมันที่พบในบริเวณใกล้เคียง

ได้มีการกล่าวถึงข้อจำกัดในการนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในงานโบราณคดี ดังที่ปรากฏในรายงานของ Clark (1986) กล่าวถึงปัญหาที่มักพบจากการนำวิธีการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในงานโบราณคดี เช่น ความหนาของชั้นดินที่ปกคลุมวัตถุเป้าหมาย หรือเป็นพื้นที่ซึ่งต้องอาศัยอำนาจการจำแนกจากเครื่องวัด โดยผลการทดลองของ Ancient Monument Laboratory ประเทศอังกฤษให้ข้อสรุปว่า การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า จำเป็นต้องเลือกการจัดวางขบวนขั้วไฟฟ้าให้เหมาะสมกับพื้นที่สำรวจ ขณะที่การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นจะเหมาะสมสำหรับวัตถุเป้าหมายมีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมความร้อนในอดีต เช่น เตาเผา ภาชนะดินเผา หรือมีโครงสร้างเป็นรูปทรงคล้ายอุโมงค์ เช่น บ่อ หรือคูที่ถูกปกคลุมด้วยดินชั้นบน และเนื่องจากความเร็วและอำนาจจำแนกในการสำรวจ ทำให้การสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กในแนวดิ่ง ได้รับความแพร่หลายมากกว่าการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กรวม

Delapierre et al (1998) ได้เสนอข้อจำกัดของการใช้ภาพจำลองกระแสไฟฟ้าแบบสองมิติที่ไม่สามารถนำมาประยุกต์หาโบราณวัตถุที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ใน

การวัด หรือมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างไม่มากกับดินที่ฝังกลบ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้นำข้อมูลจากแบบจำลองกระแสไฟฟ้าแบบสองมิติที่ใช้เทคนิค 2D inversion (Loke and Barker 1996) มารวบรวมเพื่อจัดให้อยู่ในรูปแบบจำลองกระแสไฟฟ้ากึ่งสามมิติ พบว่าสามารถแสดงตำแหน่งโครงสร้างของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น และการจัดขบวนขั้วไฟฟ้าแบบ Dipole-dipole ให้ภาพโครงสร้างของวัตถุทางดิ่งได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับการจัดขบวนขั้วไฟฟ้าแบบ Wenner Wenner-Schlumberger และ Hesse (1997) ได้เสนอข้อควรคำนึงที่สำคัญสองข้อ ในการนำวิธีการทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในงานทางโบราณคดีคือ (1) ทำการวัดหลายๆวิธี ผ่านตำแหน่งของวัตถุที่สนใจซึ่งทราบตำแหน่งอยู่ก่อนแล้ว เพื่อหาลักษณะเด่นและด้อยของแต่ละวิธี(แสดงค่าผิดปกติได้เด่นชัด) หลังจากนั้นจึงเลือกใช้วิธีที่ให้ผลดีที่สุด (2) ในกรณีพื้นที่สำรวจมีขนาดใหญ่ และต้องการสำรวจเพียงหนึ่งวิธี ให้เลือกจากวิธีที่ให้ประสิทธิภาพในการสำรวจได้รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย และให้การตอบสนองทางธรณีฟิสิกส์ที่เด่นชัดสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ

Kampke (1998) ได้กล่าวถึงการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เรียกว่า focused imaging โดยเป็นการเฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ α Wenner และ β Wenner ทำให้ลดปัญหาจากค่าผิดปกติของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้กับขั้วไฟฟ้าในภาพตัดขวางของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและในแผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และ Seren (1998) ได้เสนอการสำรวจด้วยเทคนิคเรดาร์หยั่งความลึกศึกษาชั้นดิน เพื่อแก้ไขปัญหาของการสำรวจทางโบราณคดีที่ต้องการจำแนกวัตถุที่มีขนาดเล็กและอยู่ในระดับตื้นได้อย่างชัดเจน

จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น แสดงให้เห็นถึงความแพร่หลายในการนำเรดาร์หยั่งความลึก การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและการวัดสมบัติทางแม่เหล็ก ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการทางธรณีฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของโบราณวัตถุที่มีรูปทรงต่างๆ ดังนั้นการดำเนินการทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดข้างต้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะประสบผลสำเร็จในการกำหนดตำแหน่งฐานของเตาเผาโบราณชุมชนปะโอในพื้นที่ศึกษา

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจหาและกำหนดตำแหน่งของเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ ด้วยเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์