

150-180 cm.dt.

ได้ทำการขุดค้นในพื้นที่ส่วน SWQ ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1.5 เมตร เพื่อตรวจสอบร่องรอยกิจกรรมมนุษย์หมายเลข 3 พบว่ากลุ่มก้อนตะกอนจากการถลุงเหล็ก ก้อนขนาดใหญ่ยังจับตัวเป็นกลุ่มแข็ง จึงทำการขุดค้นเต็มพื้นที่ SWQ และทำการขุดค้นเพิ่มเติมในพื้นที่ SEQ ให้อยู่ในระดับเดียวกับพื้นที่ SWQ

พื้นที่ NWQ และ NWQ ส่วนที่ขุดขยายเพิ่มเติมนั้น ยังคงเป็นชั้นดินเผาไฟร่วมกับหลักฐานประเภทก้อนตะกอนจากการถลุงเหล็ก ชิ้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูญบลม แต่ตะกอนที่พบจะไม่เกาะตัวแน่น ต่างไปจากพื้นที่ SEQ และ SWQ



180-220 cm.dt.

การขุดค้นในพื้นที่ส่วน SWQ และ SEQ พบว่าร่องรอยกิจกรรมมนุษย์หมายเลข 3 สิ้นสุดที่ระดับความลึก 189 cm.dt. โดยเปลี่ยนเป็นชั้นทรายแน่นแข็งไปจนถึงระดับความลึก 204-205 cm.dt. ซึ่งได้กำหนดให้เป็นร่องรอยกิจกรรมมนุษย์หมายเลข 4 ถัดจากนั้นลงไปจึงเป็นชั้นตะกอนจากการถลุงแร่เหล็กอีกครั้ง จนถึงระดับความลึก 220 cm.dt. ทั้งนี้ที่ระดับความลึก 200 cm.dt. พบชั้นขี้เถ้าที่ม้วนผนังด้านทิศตะวันตก และในพื้นที่ส่วน SEQ พบกลุ่มก้อนตะกอนจากการถลุงเหล็ก ปะปนกับชั้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สุบลม



220-250 cm.dt.

การขุดค้นในพื้นที่ส่วน SWQ และ SEQ พบว่า มีลักษณะเป็นชั้นดินเผาไฟที่พบอยู่ใต้ชั้นตะกอน



250-260 cm.dt.

ในส่วนของพื้นที่ SEQ และ SWQ พบว่าเป็นชั้นพื้นดินสีน้ำตาลอ่อนหนา ประมาณ 2-3 เซนติเมตร และในพื้นที่ด้าน NWQ ชั้นพื้นดินจะมีขนาด ประมาณ 10 -20 เซนติเมตร สันนิษฐานว่าเป็นชั้นกิจกรรมหรือร่วมกับ กิจกรรมการถลุงเหล็ก



260-270 cm.dt.

ในพื้นที่ SEQ และ SWQ ปรากฏเป็นชั้นทับถมประกอบด้วยก้อนตะกรัน ขนาดใหญ่ๆ และในพื้นที่ด้าน NWQ ชั้นตะกรันไม่จับตัวแน่น



- 270-280 cm.dt. ปรากฏเป็นชั้นพื้นดินสีน้ำตาลอ่อนทั้งพื้นที่ทำดำเนินการขุดค้น โดยพื้นที่ด้าน NWQ จะมีขนาดค่อนข้างหนาประมาณ 10 -20 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบชิ้นส่วนเปลือกหอย land snail ในพื้นที่ NWQ ส่วนขยายในพื้นที่ SEQ พบถ่านขนาดประมาณ 2-3 เซนติเมตรที่ระดับ 273 cm.dt.
- 280-320 cm.dt. ทำการขุดค้นต่อในพื้นที่ SEQ และ SWQ พบซากเตาถลุงในพื้นที่ SWQ พบตั้งแต่ปากเตาจนถึงกลางเตา และต่อเนื่องเข้าไปยังพื้นที่ NWQ ในระดับ 320 cm.dt. และระหว่างการขุดค้นในตัวเตาพบว่าส่วนหน้าของเตาใกล้กับปากเตามีเศษก้อนดินอัดติดอยู่ สันนิษฐานว่าเป็นดินที่เกิดจากลมพัดลงเป็นเตาเพื่อทำเป็นชั้นใช้งานใหม่ (Soil profile) นอกจากนี้ยังพบเศษตะกรันที่เกิดจากการถลุงเหล็กติดอยู่กับก้นเตาบริเวณกลางเตา ลักษณะของเตาไม่แตกต่างจากซากเตาที่พบในระดับอื่น โดยวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันตกเฉียงเหนือจึงกำหนดให้เป็นเตาถลุงหมายเลข 6 ลักษณะของดินหรือพื้นที่ใช้งานรอบเตา แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแผ่นดินเหนียวแข็ง เนื่องจากถูกความร้อนของเตา และส่วนที่เป็นพื้นดิน (ดินปนทราย) ที่อัดตัวแน่น โดยพื้นดินเหนียวเป็นส่วนที่อยู่รอบและใกล้เตา ขณะที่พื้นที่ดินอัดอยู่ถัดออกไป ทั้งสองส่วนนี้เป็นส่วนของพื้นที่ใช้งานรอบเตา หรือระดับพื้นที่ทำงานของช่างถลุงเหล็ก



- 320 -350 cm.dt. ทำการขุดค้นต่อในพื้นที่ SEQ ปรากฏเป็นชั้นตะกรันขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร

360-370 cm.dt.

ในพื้นที่ SEQ ปรากฏเป็นชั้นพื้นดินสีน้ำตาลอ่อน พบหลักฐานประเภทดินเผาไฟ และเศษขี้เถ้า สันนิษฐานว่าชั้นตะกอนสิ่งเหลือทิ้งจากการถลุงเหล็ก และอาจเป็นการถมปรับพื้นที่ก่อนกระบวนการถลุงเหล็กเตาหมายเลข 6

380-390 cm.dt.

ในพื้นที่ SEQ พบเศษตะกอนปะปนปริมาณน้อย มีลักษณะเป็นชั้นพื้นคล้ายกับการอัดดินที่มีส่วนผสมของเม็ดทรายละเอียดลงบนพื้นในขนาดที่หนา ทำให้พื้นนั้นอัดตัวแน่นพบซากเตาถลุงตั้งแต่บริเวณปากเตาลงมาจนถึงกลางเตา แต่บริเวณท้ายเตานั้นไม่พบหลักฐานที่สมบูรณ์ โดยวางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ขนาดของเตาวัดจากหลักฐานที่พบจากการขุดค้น ไม่รวมแนวสันนิษฐานของท้ายเตา ด้านยาวมีขนาด 80 เซนติเมตร ด้านกว้างมีขนาด 40 เซนติเมตร พบการกระจายตัวของเศษตะกอนจำนวนมาก และชิ้นส่วนผนังเตาเป็นวงกลม ซึ่งอาจแสดงถึงขอบเขตของบริเวณท้ายเตา จึงได้กำหนดให้เป็นเตาถลุงหมายเลข 7



หลุมขุดค้นที่ 2 (TP.2)

Surface

เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชัน จึงได้เลือกใช้วิธีการขุดค้นแบบหลุมยาว (Trench) โดยแบ่งพื้นที่หลุมออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ A พื้นที่ B และ พื้นที่ C โดยแต่ละส่วนมีขนาดกว้าง 1.50 เมตร ยาว 2.00 เมตร



รูปที่ 3-29 แสดงสภาพหลุมขุดค้นก่อนดำเนินการขุดค้นหลุมขุดค้นที่ 2 (ทิศเหนือ)

พื้นที่ A

ระดับผิวดิน – ระดับความลึก 220 cm.dt.

ชั้นนี้ประกอบด้วยดินร่วนสีน้ำตาลคล้ำ บางส่วนมีสีแดงเนื่องมาจากการสลายตัวของตะกอนจากการถล่มแร่เหล็ก ซึ่งกระจายตัวอยู่หนาแน่น มีรากไม้ขนาดเล็กปะปนอยู่ทั่วพื้นที่ โดยมีรากไม้ขนาดใหญ่วางตัวตามแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก พบก้อนดินเผาสำหรับอุดช่องดักตะกอนที่ผนังเตาถลุง จำนวน 1 ก้อน

220-310 cm.dt.

พบตะกอนจากการถลุงแร่เหล็กจับตัวกันเป็นกลุ่มทั้งพื้นที่ พบร่วมกับชิ้นส่วนดินเผาไฟ ขนาดประมาณ 2-10 เซนติเมตร ชิ้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม ชิ้นส่วนตุ้กดาดดินเผา จำนวน 6 ชิ้น ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาประเภทเนื้อดินจำนวน 6 ชิ้น ขนาดประมาณ 2-10 เซนติเมตร



พื้นที่ C

ระดับ 220-300 cm.dt.

พบตะกอนจากการถล่มแร่เหล็กหนาแน่น แต่ไม่จับตัวแน่น มีรากไม้ขนาดเล็กปะปนอยู่ทั่วพื้นที่ โบราณวัตถุอื่นๆ ที่พบ ได้แก่ ก้อนดินเผาไฟ ซึ่งอาจเป็นส่วนที่แตกมาจากผนังเตา หรืออาจเป็นชิ้นส่วนของท่อดินเผาหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม และชิ้นส่วนก้อนดินเผาสำหรับอุดช่องดักตะกอนที่ผนังเตาถลุง จำนวน 2 ชิ้น ชิ้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม และเศษภาชนะดินเผาประเภทเนื้อดินจำนวน 11 ชิ้น ขนาดประมาณ 2-7 เซนติเมตร



300-400 cm.dt.

ชั้นทับถมทางโบราณคดีในพื้นที่ C มีลักษณะแตกต่างกัน จึงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ส่วนละประมาณ 1 เมตร ที่มีสีดินไม่เหมือนกัน โดยบริเวณทางทิศเหนือนั้นมีสีอ่อนกว่า ซึ่งน่าจะเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากพื้นที่ B ในขณะที่พื้นที่ทางด้านทิศใต้มีจำนวนหลักฐานที่พบมีปริมาณน้อยมาก

400 -520 cm.dt.

เนื่องด้วยพื้นที่ครึ่งหนึ่งทางทิศใต้ของพื้นที่ขุดคั่นนั้นมีตะกอนจากการถลุงแร่เหล็กอยู่ไม่มาก จึงได้เลือกทำการขุดคั่นต่อไปในพื้นที่นี้ก่อน เพื่อหาขอบเขตของกลุ่มตะกอนจากการถลุงแร่เหล็ก ลักษณะการทับถมของตะกอนจากการถลุงเหล็กที่พบในพื้นที่ขุดคั่นนี้ ทำให้สันนิษฐานได้ว่าพื้นที่หลุมขุดคั่นที่ 2 นั้น น่าจะเป็นพื้นที่สำหรับทิ้งตะกอนจากการถลุงแร่เหล็ก ชิ้นส่วนผนังเตา หรือสิ่งเหลือทิ้งที่ไม่ต้องการจากการถลุงโลหะ โดยไม่มีการก่อเตาถลุงแร่เหล็กในพื้นที่ส่วนนี้ ซึ่งทำให้ทราบว่า ในการถลุงเหล็กนั้น คนในสมัยโบราณได้มีการแบ่งพื้นที่ทำงาน โดยแยกพื้นที่ตั้งเตาถลุงแร่เหล็ก และพื้นที่ทิ้งสิ่งเหลือทิ้งจากการถลุงแร่เหล็กจากกัน แต่ไม่ไกลกัน



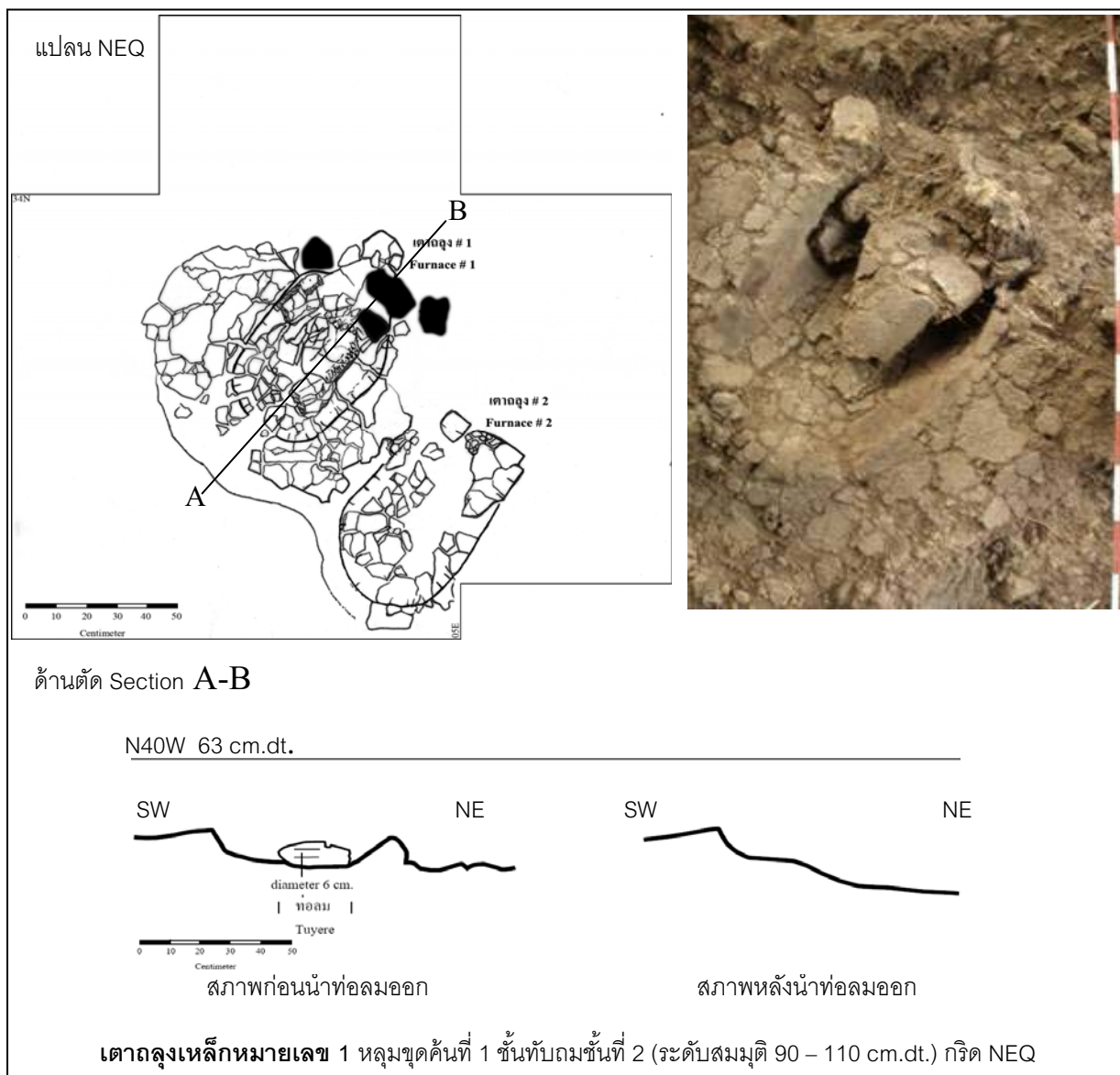
520-720 cm.dt.

การขุดคั่นในระดับความลึกนี้เป็นการใช้เครื่องมือเจาะดิน (Auger) ขุดเจาะเก็บตัวอย่างดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างดินช่วงละ 20 เซนติเมตร จนถึงที่ระดับความลึกที่ 720 cm.dt. ซึ่งไม่พบตะกอนจากการถลุงแร่เหล็ก ปะปนมาในเนื้อดิน อีกทั้งพบว่าเป็นชั้นที่ประกอบด้วยดินปนทรายแป้ง มีเม็ดกรวดปะปน

- หลักฐานทางโบราณคดีประเภทสำคัญที่พบในการขุดค้น

1. ชาก เตาถลุงเหล็ก

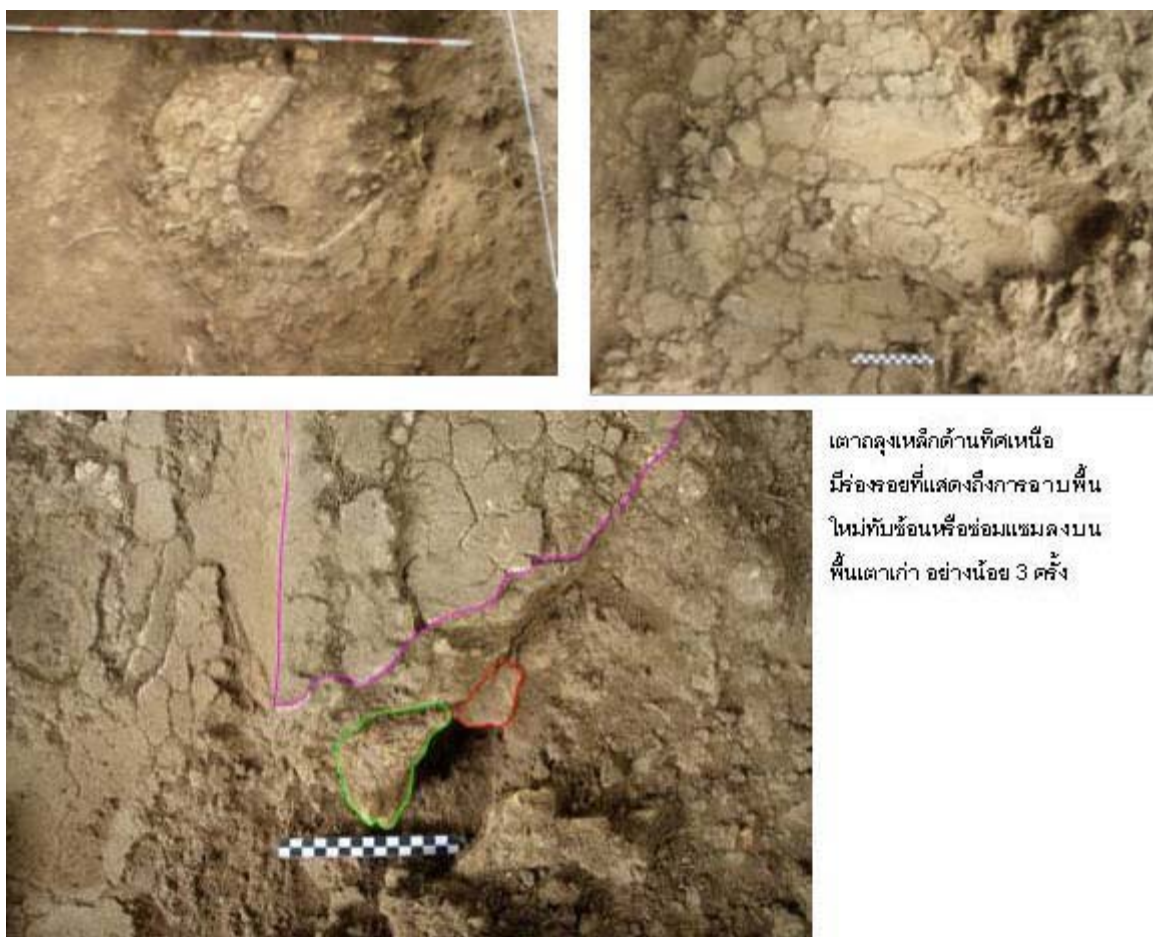
เตาถลุงเหล็กหมายเลข 1



รูปที่ 3-30 แสดงเตาถลุงเหล็กหมายเลข 1 หลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมชั้นที่ 2

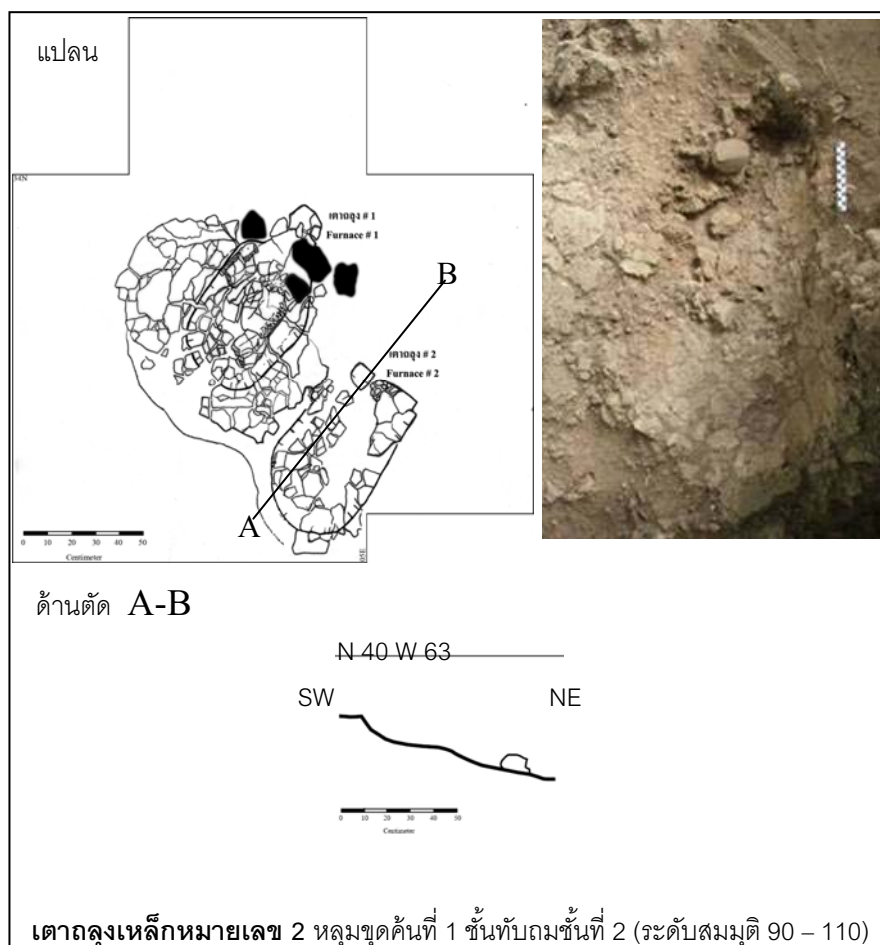
(ระดับสมมุติ 90-110 cm.dt.) กริด NEQ

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นที่ 2 ระดับความลึก 80-90 cm.dt. ขนาดกว้างประมาณ 34 เซนติเมตร ยาว 67 เซนติเมตร สภาพค่อนข้างสมบูรณ์ เป็นส่วนที่เหลืออยู่ของเตาถลุงเหล็กแบบแอ่งหรือเตาอ่าง (Bowl Furnace) รูปร่างเป็นทรงรี สันนิษฐานว่า



รูปที่ 3-31 แสดงเตากลุ้งเหล็กดำนทึบเหนียว

เตาถลุงเหล็กหมายเลข 2

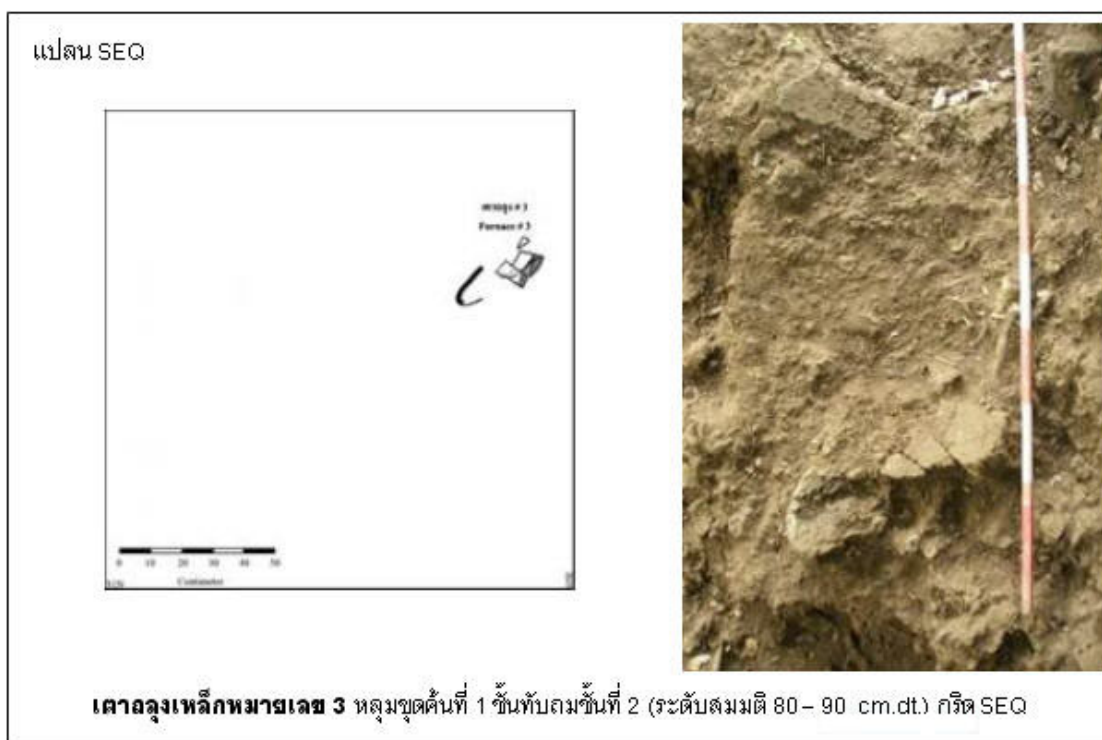


รูปที่ 3-32 แสดงเตาถลุงเหล็กหมายเลข 2 หลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมชั้นที่ 2
(ระดับสมมุติ 90-110 cm.dt.) กริด NEQ

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 2 ระดับความลึก 80-90 cm.dt. ขนาดกว้างประมาณ 39 เซนติเมตร ยาว 78 เซนติเมตร บางส่วนของเตาหายไป น่าจะสร้างขึ้นมาใกล้เคียงกับเตาถลุงหมายเลข 1 หรืออาจก่อนหน้า เนื่องจากบางส่วนของเตาหมายเลข 2 มีร่องรอยคล้ายถูกซ้อนทับโดยบางส่วนของเตาถลุงหมายเลข 1



เตาถลุงเหล็กหมายเลข 3



รูปที่ 3-33 แสดงเตาถลุงเหล็กหมายเลข 3 หลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมชั้นที่ 2
(ระดับสมมติ 90-110 cm.dt.) กริด NEQ

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นที่ 2 ระดับความลึก 80-90 cm.dt. สภาพไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการถูกขุดทิ้งและถูกรบกวนจากการก่อเตาถลุงหมายเลข 2



พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 3 และ 5 ระดับความลึกวัด ณ จุดสูงสุด 151 cm.dt. และจุดลึกสุด 170 cm.dt. ในการทำงานทางโบราณคดีเมื่อ พ.ศ. 2550 พบเฉพาะระดับพื้นใช้งานปากหลุม และบางส่วนของปากเตาเท่านั้น หลักฐานส่วนที่เหลือนั้นอยู่เข้าไปในผนังหลุมขุดค้นด้านทิศตะวันตก ต่อมาเมื่อดำเนินการขุดค้นทางโบราณคดีในปี พ.ศ. 2551 จึงได้ทำการขยายขนาดของหลุมขุดค้นเดิมเพื่อการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเนินถลุงโลหะ พร้อมทั้งขุดค้นเพิ่มเติมบริเวณเตาถลุงหมายเลข 4 อีกด้วย ลักษณะเป็นเตาถลุงที่สร้างโดยใช้วิธีการฉาบปั้นดินเหนียวขึ้นเป็นตัวเตา วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ

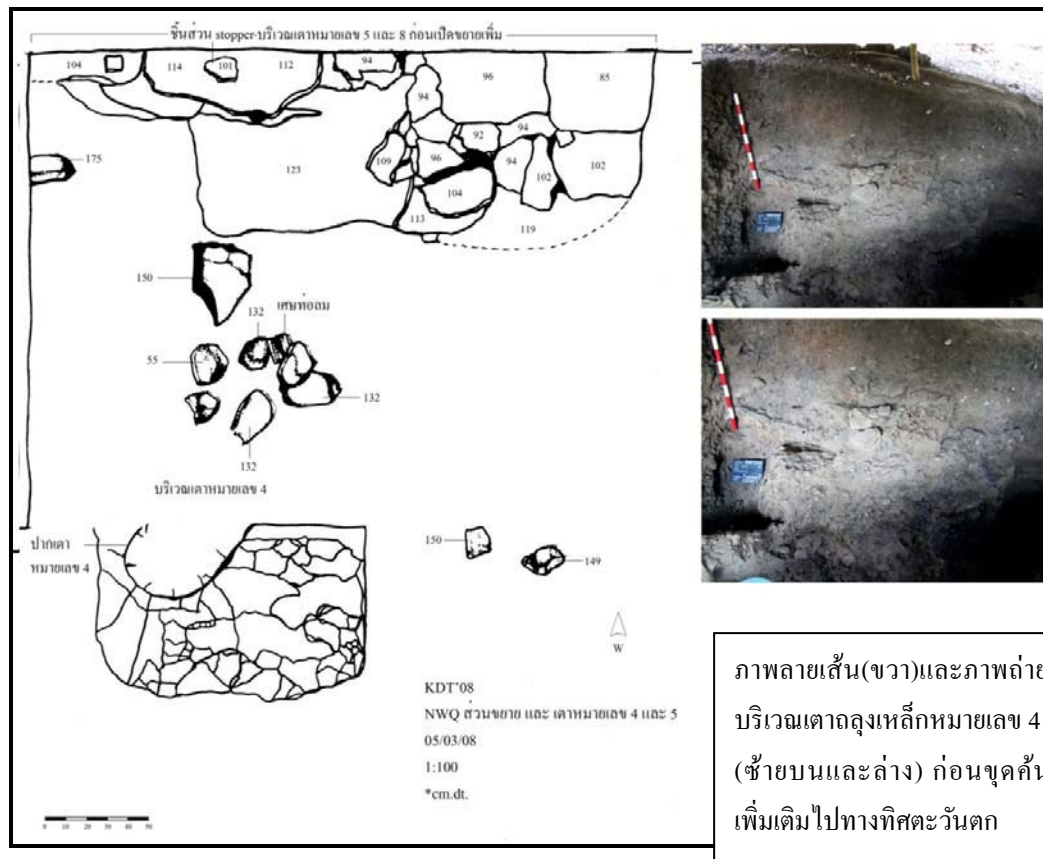
ร่องรอยของเตาหมายเลข 4 พบเหลืออยู่เฉพาะบริเวณพื้นใช้งานด้านปากเตา และพื้นเตา แต่ไม่พบผนังเตา และส่วนท้ายเตา ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจถูกรื้อหลังจากการถลุงครั้งสุดท้าย หรืออาจทลายหลังจากถูกทับถม และจากการขุดค้นทำให้สันนิษฐานได้ว่าเตาถลุงหมายเลข 4 นั้นสร้างโดยใช้ตะกรันที่เกิดจากการถลุงเหล็กเป็นฐานรากรองรับและกำแพงของเตา โดยเริ่มจากการถมตะกรันขึ้นเป็นชั้น และกันตะกรันเป็นช่องสำหรับสร้างเตา หลังจากนั้นจึงใช้ดินเหนียวฉาบขึ้นเป็นตัวเตา

หลักฐานทางโบราณคดีที่พบร่วมกับเตาถลุงเหล็กเตานี้ประกอบด้วย

1. เศษผนังเตา พบกระจายบริเวณรอบเตา ยกเว้นด้านหน้าเตา สันนิษฐานว่าเป็นเศษผนังเตาที่ทลายลงหลังจากการใช้งานหรือพังกลบ เศษผนังเตาเหล่านี้ทำให้สามารถสันนิษฐานขนาดและขอบเขตของเตาได้ เนื่องจากยังคงมีเศษผนังเตาบางส่วนติดอยู่กับโครงสร้างเดิมของเตา

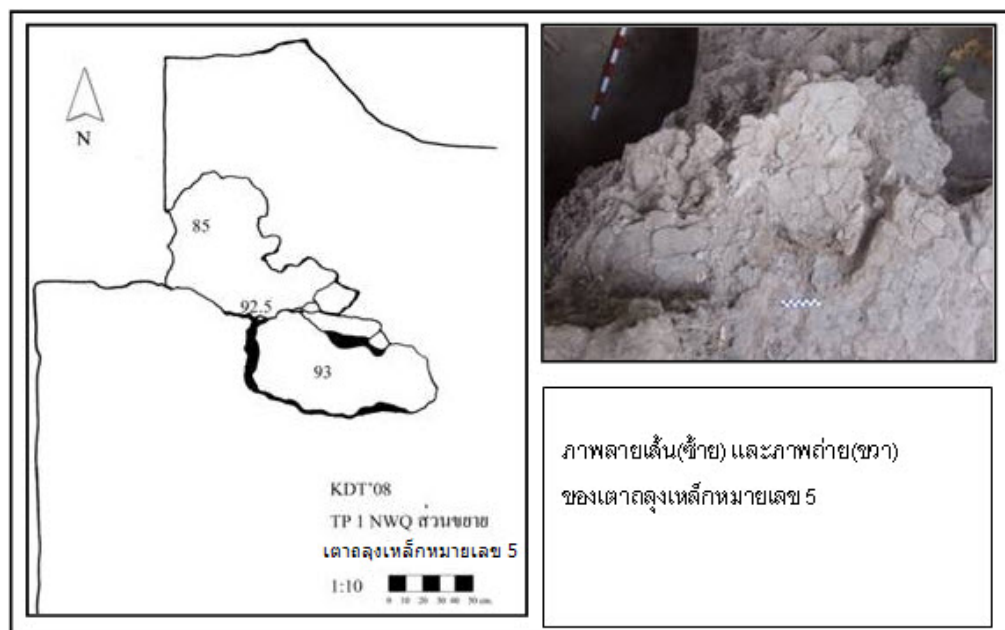
2. ชั้นส่วนท่อลมทำด้วยดินเผา พบบริเวณด้านปลายก้นเตา มีคราบของตะกรันเกาะอยู่ และมีคราบสีเขียวมีความแวววาวซึ่งเกิดจากแร่ธาตุในดินและเถ้าที่อุกความร้อนสูงมากภายในเตาถลุงเหล็กจนหลอมเหลวและเคลือบอยู่ที่ผิวท่อลมดินเผา

เตาถลุงเหล็กหมายเลข 5



ภาพลายเส้น(ขวา)และภาพถ่ายแสดง บริเวณเตาถลุงเหล็กหมายเลข 4 และ 5 (ซ้ายบนและล่าง) ก่อนขุดค้นขยายเพิ่มเติมไปทางทิศตะวันตก

รูปที่ 3-35 แสดงภาพลายเส้นและภาพถ่ายบริเวณเตาถลุงเหล็กหมายเลข 4 และ 5 ก่อนขุดค้นขยายเพิ่มเติมไปทางทิศตะวันตก



ภาพลายเส้น(ซ้าย) และภาพถ่าย(ขวา) ของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 5

รูปที่ 3-36 แสดงภาพลายเส้นและภาพถ่ายของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 5

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 3 ระดับความลึกของจุดสูงสุดของเตาถลุง 85 cm.dt. (พื้นใช้งานรอบเตา) และจุดลึกสุด ซึ่งอาจเป็นส่วนก้นเตา 113 cm.dt. พบที่ตำแหน่งห่างจากผนังทิศตะวันออกส่วนขยาย 62 เซนติเมตร ผนังทิศใต้ส่วนขยาย 122 เซนติเมตร วางตัวซ้อนทับอยู่บนเตาหมายเลข 8 ร่องรอยของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 5 เหลืออยู่น้อยมากจึงไม่สามารถแสดงสภาพเดิมของเตา แต่อาจพออนุมานได้ว่าสภาพและรูปแบบของเตาคงมีลักษณะไม่แตกต่างไปจากเตาถลุงอื่นๆ ที่พบ คือ มีลักษณะเป็นเตาสร้างโดยปั้นดินขึ้นเป็นตัวเตา เช่นเดียวกับเตาถลุงที่พบในหลุมขุดค้นที่ 1 วางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก

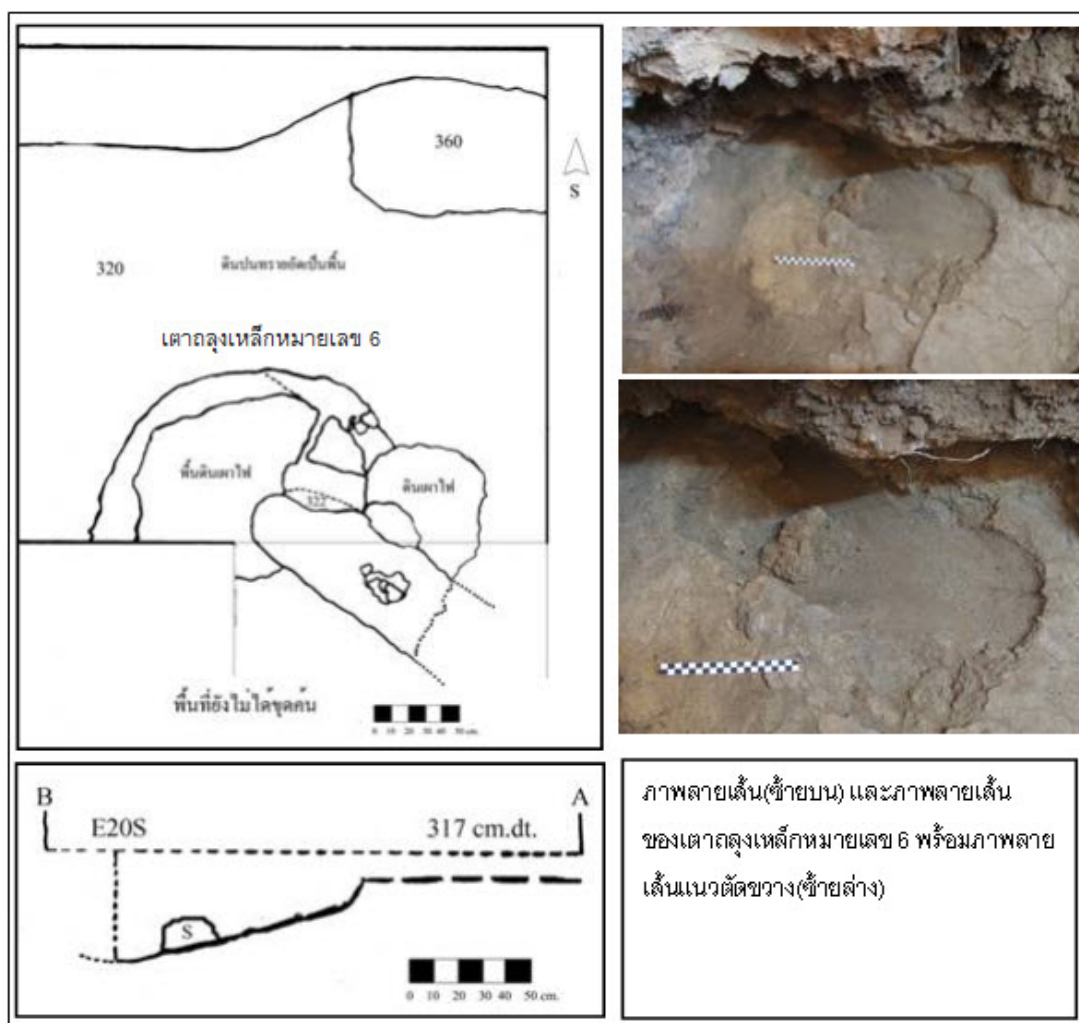
การขุดค้นบริเวณเตาถลุงหมายเลข 5 พบเพียงกองเศษก้อนดินเผาที่สันนิษฐานว่าเป็นผนังเตาที่ผุพังเกือบหมด พื้นเตา และพื้นที่ใช้งานบริเวณปากเตา ปะปนเป็นกองทับอยู่บนเตาถลุงหมายเลข 8

สันนิษฐานว่าช่างอาจสร้างเตาถลุงหมายเลข 5 ซ้อนทับลงบนเตาหมายเลข 8 โดยอาจเป็นการเปลี่ยนหรือปรับปรุงเตาหลังจากไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ โดยใช้วิธีสร้างซ้อนทับลงบนตำแหน่งเตาเดิม

หลักฐานทางโบราณคดีที่พบร่วมกับเตาถลุงเหล็กเตานี้ประกอบด้วย

1. ชิ้นส่วนผนังเตา และพื้นเตา เป็นดินเหนียวที่ถูกความร้อนจากการถลุงเหล็ก มีก้อนขนาดต่างๆ กันหลายชิ้น เกาะกลุ่มกันกองอยู่บนเตาถลุงเหล็กหมายเลข 8
2. พื้นใช้งานบริเวณปากเตา เป็นพื้นดินเหนียวขนาดกว้างประมาณ 50 เซนติเมตร ยาวประมาณ 100 เซนติเมตร พบเฉพาะส่วนด้านเหนือของเตา และอยู่ในระดับความลึกเดียวกับกองชิ้นส่วนเตาของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 5

เตาถลุงเหล็กหมายเลข 6



รูปที่ 3-37 แสดงภาพถ่ายเส้นและภาพถ่ายเส้นของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 6
พร้อมภาพถ่ายเส้นแนวตัดขวาง

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 20 และ 21 จุดสูงสุดของเตา ซึ่งอาจเป็นขอบของปากเตา วัดระดับความลึกได้ 320 cm.dt. ส่วนจุดลึกสุดของเตา วัดระดับความลึกได้ 341 cm.dt. พบอยู่ที่ตำแหน่งห่างจากผนังทิศใต้ 110 เซนติเมตร ผนังทิศตะวันตก 81 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นเตาถลุงที่สร้างโดยใช้ดินเหนียวปั้นขึ้นเป็นโครงสร้างของเตา และได้รับความร้อนจนเป็นชั้นแข็ง วางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้-ตะวันตกเฉียงเหนือ ขนาดของเตาวัดจากหลักฐานที่พบจากการขุดค้น ยาว 175 เซนติเมตร กว้าง 55 เซนติเมตร ประกอบด้วยพื้นที่ใช้งานรอบเตา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแผ่นดินเหนียวแข็ง เนื่องจากถูกความร้อน และส่วนที่เป็นพื้นดินปนทรายที่อัดตัวแน่น โดยพื้นดินเหนียวเป็นส่วนที่อยู่รอบและใกล้เตา

ส่วนประกอบของเตาถลุงหมายเลข 6 พบตั้งแต่ปากเตาจนถึงกลางเตา และระหว่างการขุดค้นในตัวเตาพบว่าส่วนหน้าของเตาใกล้กับปากเตามีเศษก้อนดินอัดติดอยู่ สันนิษฐานว่าเป็นดินที่เกิดจากถมทับลงเป็นเตาเพื่อทำเป็นชั้นใช้งานใหม่ นอกจากนี้ยังพบเศษ ตะกรันที่เกิดจากการถลุงเหล็กติดอยู่กับก้นเตาบริเวณกลางเตา อย่างไรก็ตามไม่สามารถขุดค้นเตา ถลุงหมายเลข 6 ต่อไปได้ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องพื้นที่

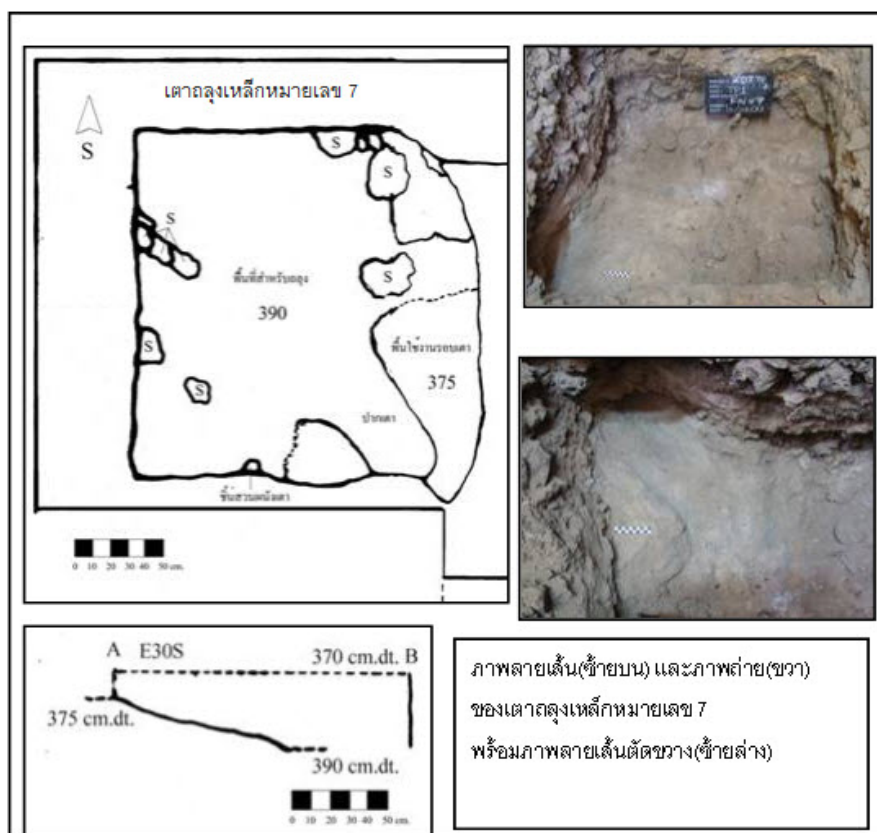


หลักฐานทางโบราณคดีที่พบร่วมกับเตาถลุงเหล็กหมายเลข 6 มีดังนี้

1. ชั้นส่วนของผนังเตา ซึ่งหลุดออกมาจากเตาถลุง
2. เศษตะกรัน แยกเป็น 2 ส่วน คือ เศษตะกรันที่ยังคงติดอยู่กับก้นเตา

และเศษตะกรันที่ตกอยู่ในเตา แต่ไม่เชื่อมติดกับเตา

เตาถลุงเหล็กหมายเลข 7

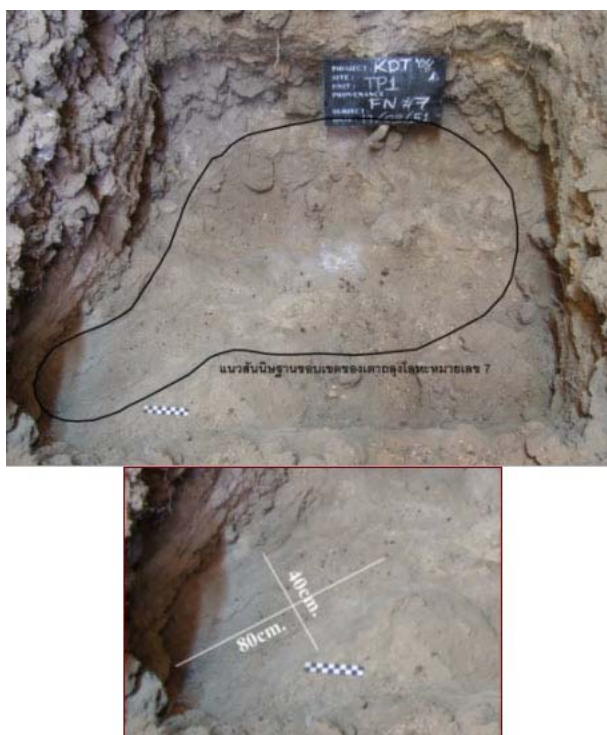


รูปที่ 3-38 แสดงภาพถ่ายเส้นและภาพถ่ายของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 7 พร้อมภาพถ่ายเส้นตัดขวาง

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 22-24 จุดสูงสุดของเตาวัดระดับความลึกได้ 375 cm.dt. และจุดลึกสุด 390 cm.dt. โดยเป็นเตาที่พบในระดับลึกที่สุดในการขุดค้นครั้งนี้ เตาทำโดยใช้ดินเหนียวปั้นขึ้นเป็นโครงสร้างของเตาและได้รับความร้อนจนจับตัวแข็ง ลักษณะโดยรวมไม่แตกต่างไปจากเตาอื่นๆ ที่พบในหลุมขุดค้น สร้างขึ้นในชั้นตะกอนที่เกิดจากการถลุงเหล็กครั้งก่อนหน้า โดยขุดหลุมดินในชั้นตะกอน แล้วจึงใช้ดินเหนียวปั้นและฉาบเป็นรูปทรงเตาในหลุมนั้น หลังจากนั้นอาจเผาหรืออุ่นเตาเพื่อให้แข็งตัว และพร้อมสำหรับการใช้งาน ตัวเตาวางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ขนาดของเตาวัดจากหลักฐานที่พบจากการขุดค้น ไม่รวมแนวสันนิษฐานของท้ายเตา ด้านยาวมีขนาด 80 เซนติเมตร ด้านกว้างมีขนาด 40 เซนติเมตร

ร่องรอยของเตาถลุงหมายเลข 7 พบตั้งแต่บริเวณปากเตาลงมาจนถึงกลางเตา แต่บริเวณท้ายเตานั้นไม่พบหลักฐานที่สมบูรณ์ พบเศษตะกอนกระจายปนอยู่จำนวนมาก โดยกระจายอยู่ในตำแหน่งที่อาจแสดงถึงขอบเขตของบริเวณท้ายเตา

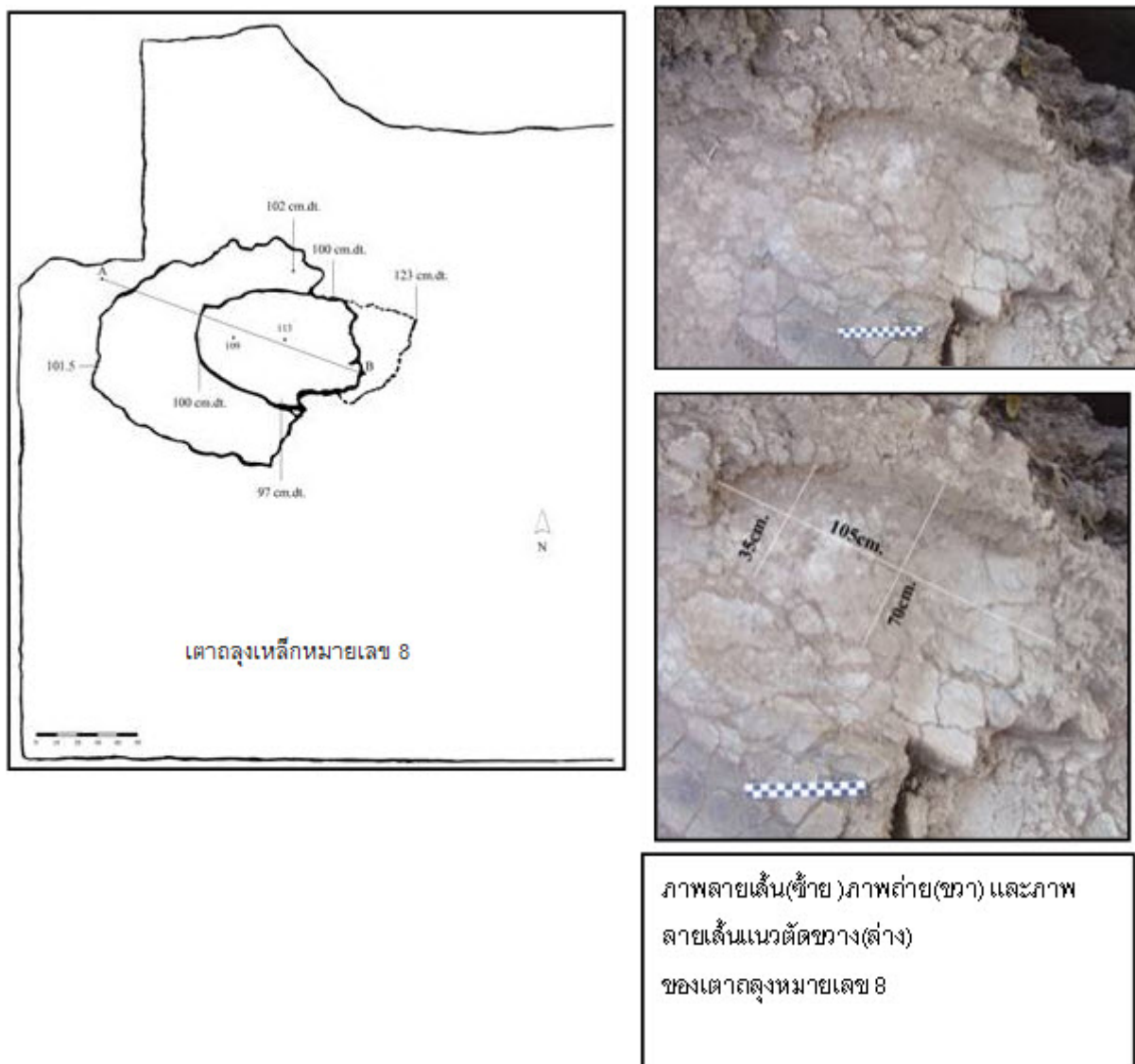
บริเวณปากเตาพบชิ้นส่วนผนังเตาจำนวน 1 ชิ้นในตำแหน่งที่น่าจะเชื่อมต่อกับส่วนของปากเตา และยังได้พบพื้นใช้งานรอบเตาที่เป็นลักษณะของดินเหนียวฉาบลงบนชั้นตะกรัน แต่แตกต่างจากพื้นใช้งานของเตาอื่น คือ พื้นบริเวณปากเตา หรือพื้นที่รอบเตาของเตาอื่นๆ เป็นพื้นฉาบด้วยดินเหนียวบนพื้นหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร เมื่อแตกออกมีลักษณะเป็นแผ่นแยกออกจากกัน ยกเว้นเตาหมายเลข 7 ที่พบว่าเป็นพื้นชั้นดินหนาประกอบด้วยดินที่มีเม็ดทรายละเอียดผสมอัดตัวแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ในระหว่างการขุดค้นบริเวณเตาพบกลุ่มก้อนตะกรันจำนวนมากในบริเวณที่เป็นจุดถูซึ่งแตกต่างจากที่พบในเตาหมายเลข 6 ที่พบเพียงก้อนเล็กขนาดไม่เกิน 3 เซนติเมตร ก้อนตะกรันที่พบในเตาหมายเลข 7 นั้นบางส่วนมีรูปร่างเหมือนก้อนตะกรันที่มีรูปทรงโค้งเว้าคล้ายกับส่วนโค้งของเตา และบางก้อนยังคงหลงเหลือเศษถ่าน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการถลุงเหล็กอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่ามีเศษตะกรัน และชิ้นส่วนผนังเตากระจายเป็นแนววงกลม ซึ่งอาจแสดงถึงขอบเขตของตัวเตา



หลักฐานทางโบราณคดีที่พบร่วมกับเตาหมายเลข 7 มีดังนี้

1. ชิ้นส่วนผนังเตาจำนวน 1 ชิ้นพบตรงด้านทิศตะวันออกของปากเตา ซึ่งคาดว่าอาจเป็นผนังเตาที่หลุดออกมาจากเตา หลังจากที่ใช้เตาครั้งสุดท้ายก็เป็นได้
2. ก้อนตะกรันจากการถลุงเหล็ก มีรูปทรงไม่แน่นอน แต่บางก้อนมีลักษณะด้านหนึ่งโค้งเหมือนกันเตา หรือโค้งของผนังเตา นอกจากนี้บางก้อนยังพบเศษถ่านแทรกปนอยู่ด้วย

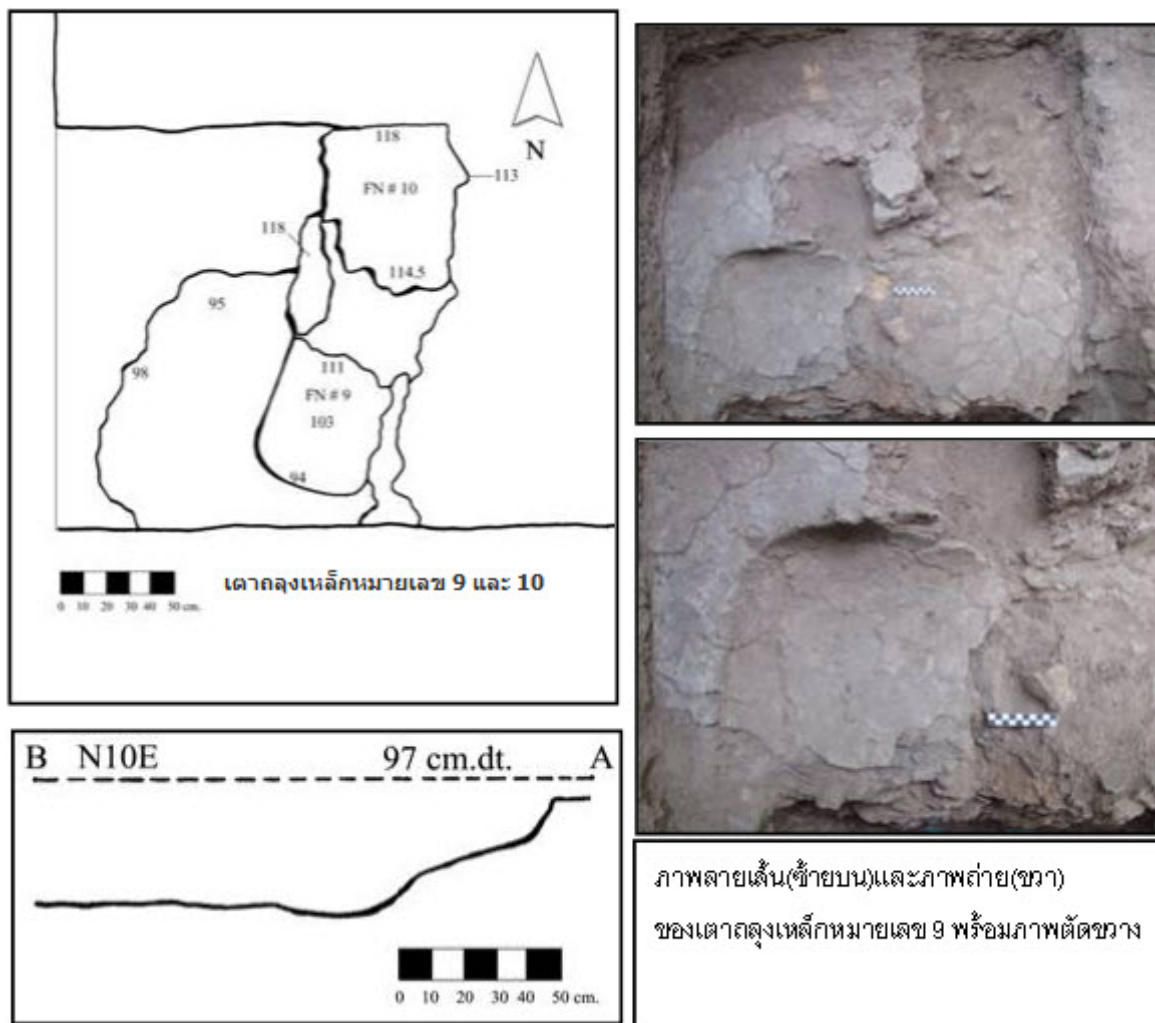
เตาถลุงเหล็กหมายเลข 8



รูปที่ 3-39 แสดงภาพลายเส้น ภาพถ่าย และภาพลายเส้นแนวตัดขวางของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 8

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 3 ระดับความลึกสมมุติวัด ณ จุดสูงสุด 97 cm.dt. และจุดลึกสุด 118 cm.dt. ตำแหน่งห่างจากผนังทิศตะวันออก ส่วนขยาย 59 เซนติเมตร และห่างจากผนังทิศใต้ส่วนขยาย 115 เซนติเมตร พบอยู่ใต้เตาหมายเลข 5 ในตำแหน่งเดียวกัน หลักฐานที่พบนี้นมีเพียงส่วนของปากเตา และส่วนของกลางเตา แสดงให้เห็นว่าช่างถลุงได้สร้างเตาหมายเลข 5 ซ้อนทับลง ณ จุดเดิมหลังจากที่เลิกใช้เตาหมายเลข 8 ขนาดของเตาวัดตามด้านยาวได้ 105 เซนติเมตร ด้านกว้าง ณ หัวเตาได้ 35 เซนติเมตร และกลางเตาได้ 70 เซนติเมตร

เตาถลุงเหล็กหมายเลข 9



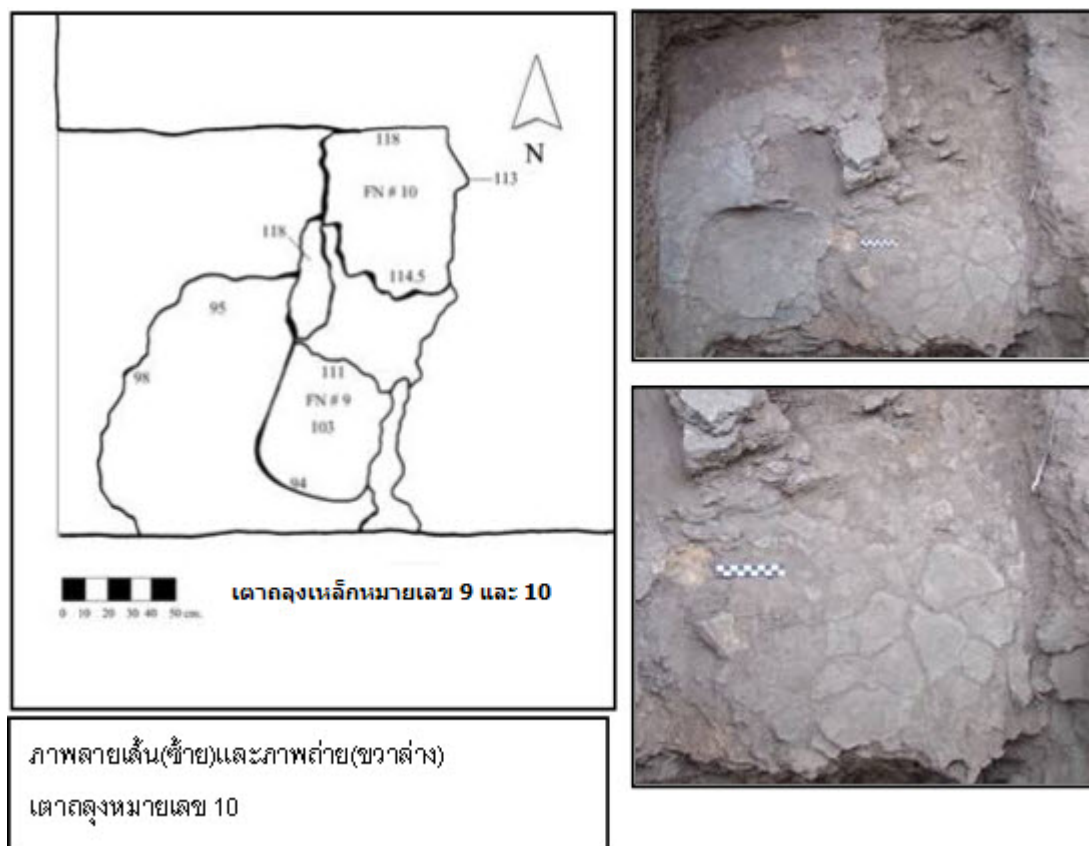
รูปที่ 3-40 แสดงภาพลายเส้นและภาพถ่ายของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 9
พร้อมภาพลายเส้นตัดขวาง

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 3 ระดับความลึกสมมุติวัด ณ จุดสูงสุดของเตาถลุง 95 cm.dt. และจุดลึกสุด 118 cm.dt. ห่างจากผนังทิศตะวันออก ส่วนขยาย 46 เซนติเมตร ติดกับผนังทิศใต้ส่วนขยาย โดยสร้างซ้อนทับเหนือบางส่วนของพื้นที่เป็นของเตาหมายเลข 10 พบหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับเตาเฉพาะส่วนหัวของเตา และพื้นที่ใช้งานบริเวณปากเตาเท่านั้น โดยรูปแบบและลักษณะของเตาไม่แตกต่างไปจากเตาอื่นๆ ที่พบในหลุมขุดค้นที่ 1 คือ สร้างจากดิน และเผาไฟ หรืออบไฟเพื่อให้ดินจับตัวแข็ง โดยปากเตามีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมมุมมน ซึ่งต่างจากเตาถลุงหมายเลขอื่นที่ปากเตามีทรงโค้งมากกว่า

นอกจากนี้ตรงบริเวณปลายเตาที่มีร่องรอยของการฉาบดินขาว ซึ่งอาจเป็น
การซ่อมแซมเพื่อการใช้งานต่อไป ขนาดของเตา วัดตามด้านยาวมีขนาด 65 เซนติเมตร ด้านกว้างมี
ขนาด 55 เซนติเมตร

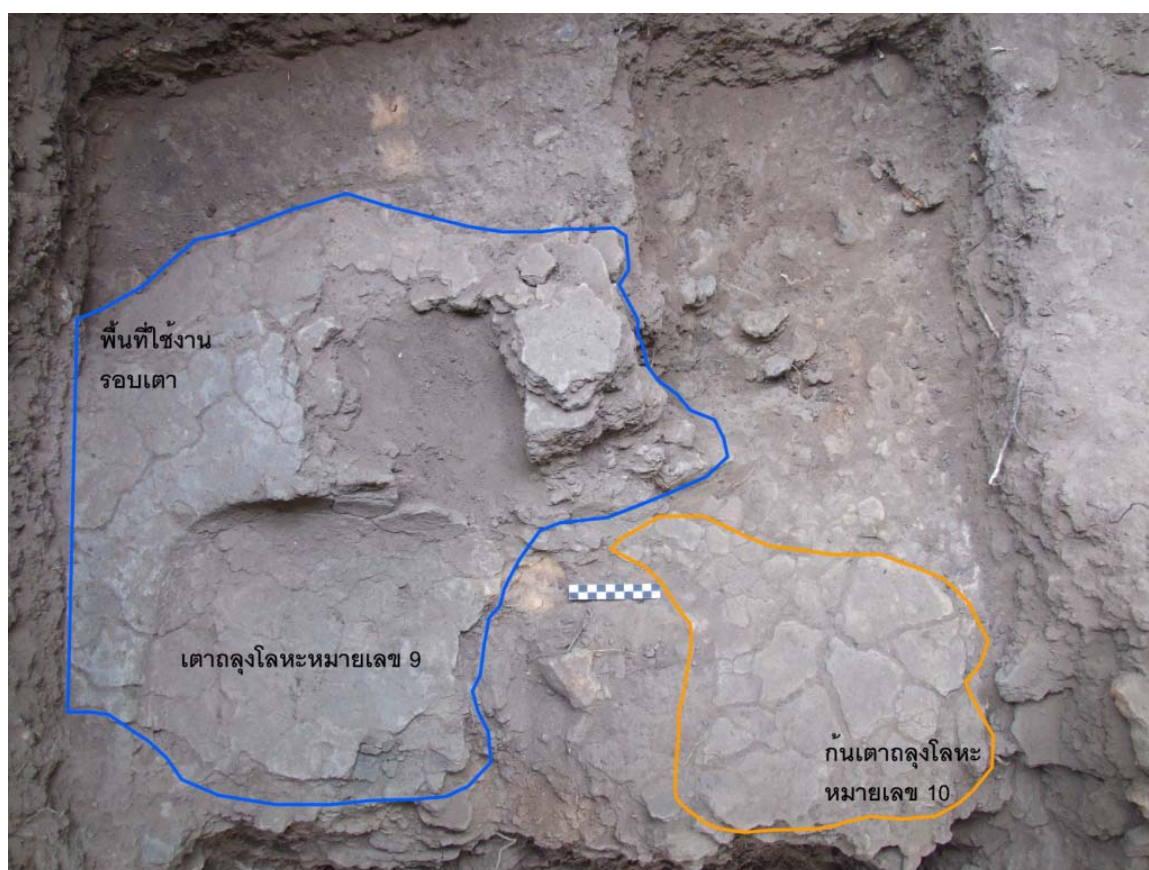
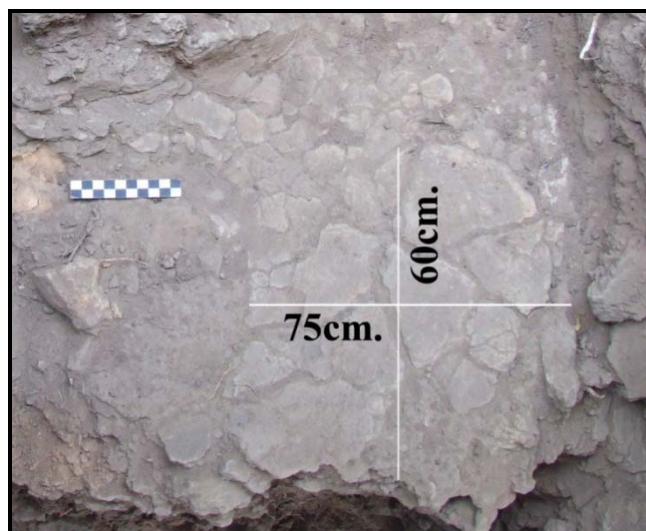


เตาถลุงเหล็กหมายเลข 10



รูปที่ 3-41 แสดงภาพถ่ายเส้นและภาพถ่ายของเตาถลุงเหล็กหมายเลข 10

พบในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีชั้นที่ 3 ระดับความลึกจากระนาบอ้างอิงสมมุติวัด ณ จุดสูงสุดของเตาถลุง 114.5 cm.dt. และจุดลึกสุด 118 cm.dt. ห่างจากผนังด้านทิศใต้ส่วนขยายประมาณ 50 เซนติเมตร ผนังทิศตะวันตกส่วนขยายประมาณ 100 เซนติเมตร สภาพไม่สมบูรณ์ พบเฉพาะพื้นก้นเตาขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาวประมาณ 70 เซนติเมตร และไม่พบหลักฐานอื่นๆ ร่วม โดยพื้นก้นเตาทางด้านทิศใต้ซ้อนอยู่ใต้เตาหมายเลข 9 ลักษณะของเตาพิจารณาจากหลักฐานที่หลงเหลืออยู่แสดงให้เห็นว่า ไม่มีแตกต่างจากเตาถลุงหมายเลขอื่น คือ เป็นเตาที่สร้างด้วยดินเหนียวปั้นขึ้นเป็นโครงสร้าง และใช้ไฟเผาให้จับตัวแข็ง



2. ตะกรันจากการถลุงแร่เหล็ก (Iron Smelting Slag)

เป็น โบราณวัตถุที่พบมากที่สุดในการขุดค้นเนื่องจากเป็นส่วนที่หลงเหลือจากการถลุงเหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- ก้อนตะกรันที่มีลักษณะเป็นฟอง มีรูพรุน รูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งในหลุมขุดค้นที่ 2 พบรวมตัวติดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่



- ตะกรันจากการถลุงแร่เหล็กที่มีลักษณะเป็นแผ่น เนื้อค่อนข้างเรียบ รูปร่างไม่แน่นอน เมื่อหักออกดูเนื้อมีลักษณะคล้ายแก้ว พบกระจายตัวทั่วไปทั้ง 2 หลุมขุดค้น



ตารางที่ 3-11 ตารางสรุปปริมาณโบราณวัตถุประเภทตะกรันจากการถลุงเหล็กที่พบในหลุมขุดค้นที่

1

หลุมขุดค้นที่	ชั้นทับถมชั้นที่	ระดับสมมติ (CM.DT.)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
1	1 - 4	1 (Surface – 80)	1,380,998
1	5	2 – 6 (80 – 130)	1,333,001
1	6	7 (130 – 140)	208,560
1	7	8 – 10(140 – 170)	1,601,862
1	8	11 (170 – 180)	72,000
1	9 - 12	11 – 14 (180 – 230)	296,346

ตารางที่ 3-12 ตารางสรุปปริมาณโบราณวัตถุประเภทตะกรันจากการถลุงเหล็กที่พบในหลุมขุดค้นที่

2

หลุมขุดค้นที่	ชั้นทับถมชั้นที่	ระดับสมมติ (CM.DT.)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
2	1 – 2	1 (Surface – 220)	379,284
2	3 - 5	2 – 31 (220 – 520)	2,662,959

โครงการวิจัยได้ส่งตัวอย่างตะกรันจากการถลุงเหล็กจำนวน 2 ตัวอย่างให้ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ช่วยดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกรัน ด้วยอุปกรณ์ X-ray Fluorescence ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตัวอย่าง หมายเลข	ปริมาณธาตุต่างๆ (ร้อยละ)			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Total
A1	11.60	28.21	60.19	100.00
B1	9.62	39.10	51.28	100.00

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังตารางนี้ แสดงให้เห็นว่าตะกรันจากการถลุงเหล็กสมัยโบราณที่บ้านเขาหินได้ เป็นตะกรันที่มีเหล็กเหลืออยู่ปริมาณค่อนข้างสูง อันเป็นลักษณะสามัญของตะกรันที่เกิดในการถลุงเหล็กด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการถลุงเหล็กแบบ

3. ชิ้นส่วนของท่อดินเผาหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม (Tuyere)

ทำด้วยดินเผา ส่วนใหญ่มีสภาพไม่สมบูรณ์ ท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูบลมที่สมบูรณ์นั้น มีลักษณะเป็นท่อทรงกรวย มีช่องทะลุตลอดจากด้านโคนถึงด้านปลาย โดยด้านปลายซึ่งเป็นด้านที่ลมถูกพ่นออกจากที่สูบลมเข้าสู่เตาถลุงนั้น มีขนาดเล็กกว่าด้านโคนซึ่งอยู่ติดกับผนังเตาถลุง ชิ้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม ที่พบมีความหนาวัดจากผิวด้านนอกมายังด้านในระหว่าง 5-10 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องลมระหว่าง 4-11 เซนติเมตร พบทั้งชิ้นส่วนจากด้านปลายซึ่งเป็นทางออกของลม และชิ้นส่วนจากส่วนลำตัวซึ่งเป็นด้านที่อยู่ติดกับผนังเตาถลุง



นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ระดับจุลภาค โดยคุณบัณฑิตย์ สมประสงค์ นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ดังนี้

1. ชิ้นส่วนของท่อดินเผาหุ้มปลายท่อจากที่สูบลม (Tuyere) จากหลุมขุดค้นที่ 2 ชั้นดินทับถมที่ 4 พื้นที่ A ขนาดยาวประมาณ 11 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร ด้านในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ลักษณะเนื้อประกอบด้วยแร่ควอร์ต (Quartz) ขนาดอนุภาคทรายแป้ง (Silt) และแร่เหล็กผสมมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า การรับความร้อนมีอุณหภูมิไม่สูงมากจึงทำให้เนื้อดินมีสีส้มและสีส้มอ่อน และการจับตัวของเนื้อดินไม่ดีจนทำให้มีรอยร้าวโดยทั่วไป ผิวด้านนอกพบรอยประทับ (Imprint) ของแถบข้าว ยาวประมาณ 0.6 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.3 เซนติเมตร และมีเถาสีขาวของแถบข้าวมีลักษณะเป็นจุดขนาดเล็กโดยทั่วไป ผิวด้านในท่อก็มีลักษณะเรียบเนื้อดินมีจับตัวแข็งสีน้ำตาลปนเทา มีเศษตะกั่วจากการถลุงโลหะขนาดเล็กติดอยู่



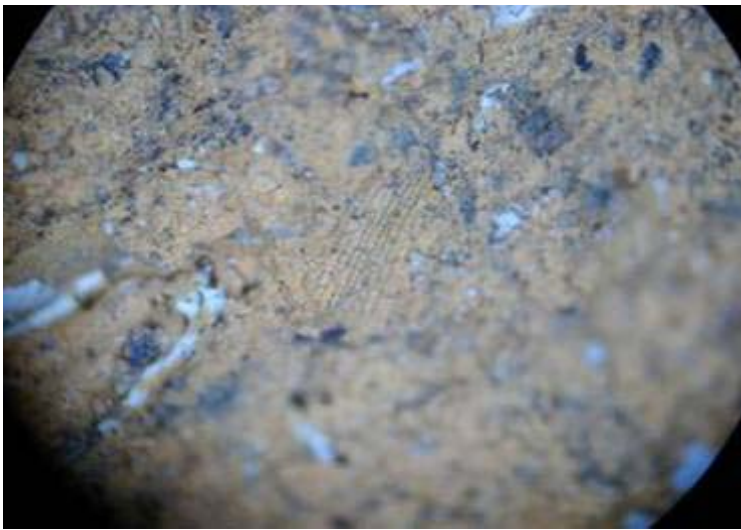
ด้านนอกของท่อลม ยาว
ประมาณ 11 เซนติเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5
เซนติเมตร ท่อมีเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร



ด้านตัดของของท่อลม
เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5
เซนติเมตร เส้นผ่าน
ศูนย์กลางของท่อด้านใน
4 เซนติเมตร



เศษตะกรันจากการถลุง
โลหะ ที่ติดอยู่ด้านในท่อ
ลม



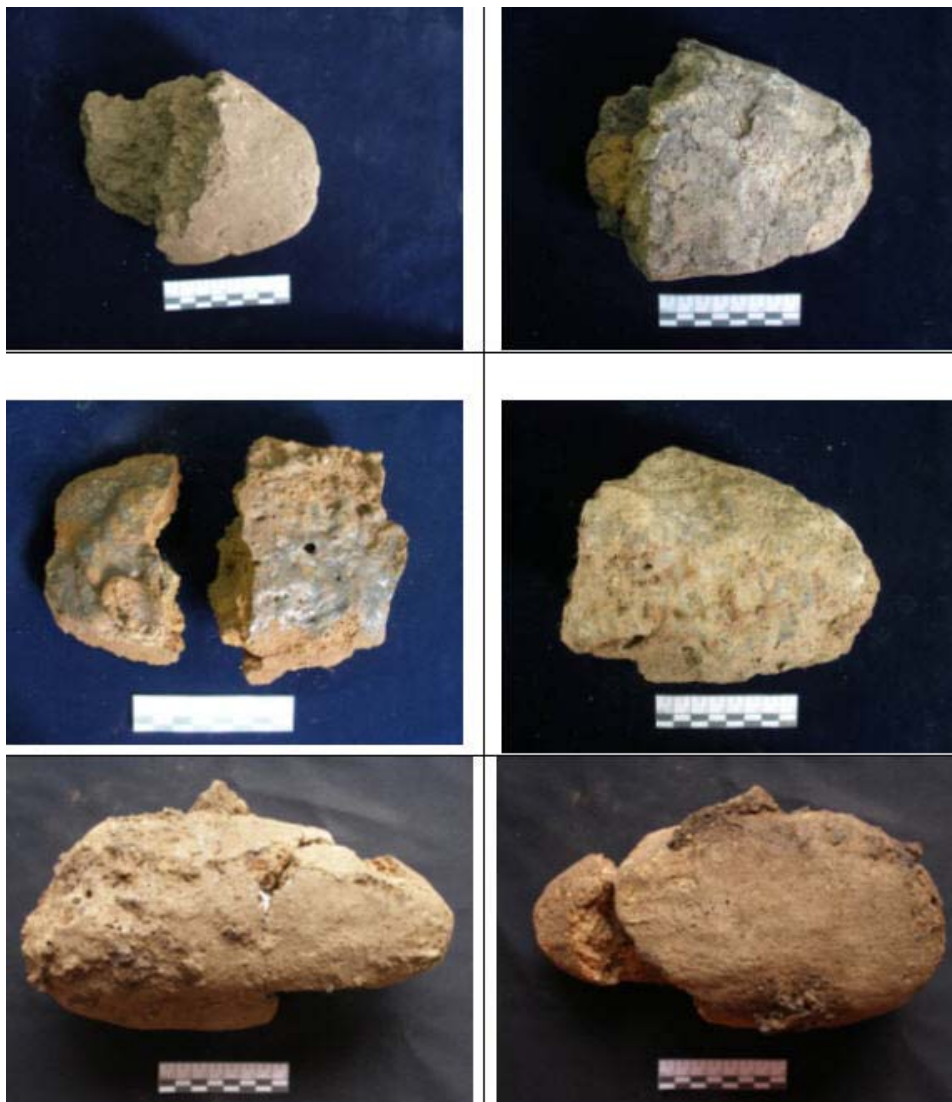
รอยประทับของแถบ
ข้าว ยาวประมาณ 0.6
เซนติเมตร กว้าง
ประมาณ 0.3 เซนติเมตร
และได้ซึ่งสันนิษฐานว่า
เป็นเค้าจากแถบข้าวบน
ผิวด้านนอก ภายใต้กล้อง
จุลทรรศน์กำลังขยาย 3x



ลักษณะเนื้อบริเวณขอบ
ปากด้านในท่อลม มี
ลักษณะจับตัวแข็งผิว
เรียบ ภายใต้กล้อง
จุลทรรศน์กำลังขยาย 1x

4. ก้อนดินเผาสำหรับอุดช่องดักตะกรันที่ผนังเตาถลุงแร่

ทำด้วยดินและเผาไฟ มีลักษณะเป็นก้อนรูปไข่ ปลายด้านหนึ่งของก้อนดินเผาสำหรับอุดช่องดักตะกรันที่ผนังเตาถลุงแร่ มีร่องรอยการถูกไฟในอุณหภูมิสูง จนมีชั้นของเคลือบเนื้อคล้ายแก้วเคลือบอยู่ วัตถุนี้อาจถูกใช้เป็นวัตถุอุดช่องดักให้ตะกรันไหลออกนอกเตาถลุง (Slag Tapping Hole) ซึ่งอยู่ที่ผนังเตาถลุงในระหว่างทำการถลุงเหล็ก



5. ชั้นส่วนก้นดินเผาไฟ

สันนิษฐานว่าเป็นชั้นส่วนของผนังเตาถลุงแร่ พบกระจายแทรกปนทั่วไปในชั้นของตะกอนจากการถลุงแร่เหล็ก บางชั้นพบร่องรอยนิ้วมือปาดเพื่อตกแต่งผนังเตาถลุงให้เรียบเป็นดินเหนียวเผาไฟจนจับตัวแข็ง พบว่าบางชั้นมีการผสมเกลบไม้และมีเกลบข้าว หนาประมาณ 2.4-5 เซนติเมตร สันนิษฐานว่าเป็นชั้นส่วนของผนังเตา พบกระจายตัวโดยทั่วไป บางชั้นพบร่องรอยนิ้วมือปาดเพื่อแต่งขึ้นรูปทรงของเตา

สามารถจัดแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. ปากเตา (Furnace Mouth) มีลักษณะเป็นสัน
2. ผนังเตา (Furnace Ling) ด้านในเตา มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและโค้งมน และมีการบดสีน้ำตาลแดงซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นคราบตะกอนจากการถลุงโลหะ ผิวด้านนอกมีรอยนิ้วมือ เพื่อแต่งขึ้นรูปเตา
3. ก้นเตา (Furnace Floor) มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ และโค้งมน



ตารางที่ 3-13 ตารางรายละเอียดชิ้นส่วนเตาถลุงเหล็กเพื่อสร้างภาพขนาดเตา

หมายเลข	รหัส โบราณวัตถุ	ร่องรอย กิจกรรมมนุษย์	รัศมี (cm.)	กว้าง (cm.)	ยาว (cm.)	หนา (cm.)
1	164/1	เตา#5	28	13	21	4
2	162/1	เตา#5	มากกว่า 28	8	9.5	3.5
3	164/1	เตา#5	7	10	11	3.5

6. ชิ้นส่วนตุ้กตาดินเผา

พบในหลุมขุดค้นที่ 2 จำนวนรวมทั้งสิ้น 6 ชิ้น ลักษณะคล้ายรูปสัตว์ โดยมีชิ้นหนึ่งคล้ายรูปปั้นของวัว



7. ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา แบ่งออกเป็น

ภาชนะเนื้อดิน (Earthenware)

หลุมขุดค้นที่ 1

รูปทรงภาชนะส่วนมากไม่สามารถระบุได้ มีลักษณะสีน้ำตาล สีส้ม สีเทา สีเทา-ดำ โดยมีความหนามากที่สุดประมาณ 1.9 เซนติเมตร มีความหนาน้อยที่สุด

1. ส่วนปากภาชนะ (Rim)
2. ส่วนไหล่ภาชนะ (Shoulder)
3. ส่วนลำตัวภาชนะ (Body)
4. ส่วนก้นภาชนะ (Base)
5. ส่วนฐานภาชนะ (Pedestal)

การตกแต่งผิวภาชนะ ได้แก่

1. กดประทับลายเชือกทาบ เป็นการกดประทับด้วยเชือกควั่นลงบนเนื้อรอบตัวภาชนะ
2. กดประทับลูกกลิ้ง เป็นการกดประทับด้วยลูกกลิ้งซึ่งมีลายลักษณะต่างๆ ลงบนเนื้อรอบตัวภาชนะ
3. ทาหน้าดิน เป็นทาหน้าแซ่ดินเคลือบผิวภาชนะ เพื่อให้ผิวภาชนะมีความมันวาว
4. ชูดขีด เป็นการใช้ไม้ปลายแหลมหรือของมีคมชูดขีดสร้างลวดลายลักษณะต่างๆ ลงบนเนื้อรอบตัวภาชนะ

หลุมขุดค้นที่ 2

การขึ้นรูป ได้แก่

1. การขึ้นรูปเป็นหมุน มีลักษณะเป็นร่องเส้นตรงแนวนอนผาดรอบตัวภาชนะ
2. การขึ้นรูปมือ มีลักษณะเป็นรอยเว้าลึกลงในเนื้อ ซึ่งส่วนมากจะพบร่องรอยที่ด้านในของส่วนลำตัวภาชนะ

รูปทรงไม่สามารถระบุได้ มีลักษณะสีน้ำตาล สีส้ม สีเทา สีเทา-ดำ โดยความหนามากที่สุดประมาณ 1.1 เซนติเมตร และความหนาน้อยที่สุดประมาณ 0.3 เซนติเมตร และสามารถแบ่งเป็นส่วนต่างๆ ของภาชนะดินเผา เช่นเดียวกับหลุมขุดค้นที่ 1

การตกแต่งผิวภาชนะ ได้แก่

1. ชูดขีด เป็นการใช้ไม้ปลายแหลมหรือของมีคมชูดขีดสร้างลวดลายลักษณะต่างๆ ลงบนเนื้อรอบตัวภาชนะ
2. ชูดขีดลายซี่ไม้ เป็นการใช้ซี่ไม้หรือของมีคมชูดขีดสร้างลวดลายลักษณะต่างๆ ลงบนเนื้อรอบตัวภาชนะ



จากการวิเคราะห์ระดับจุลภาค¹ พบร่องรอยต่างๆ ได้แก่

1. โบราณวัตถุหมายเลข 172/1 หลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมทางโบราณคดีระดับชั้นสมมติที่ 10 ระดับ 160-170 cm.dt. กริด SWQ

ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเนื้อดิน (Earthenware) ส่วนลำตัวภาชนะ หนา 0.4 เซนติเมตร ด้านนอกตกแต่งด้วยการกดประทับลายเชือกทาบ และอาจจะมีการเคลือบด้วยน้ำเคลือบไม่สมบูรณ์ ด้านในมีเศษตะกรันจากการถลุงโลหะ เป็นก้อนกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร เนื้อมีรูพรุนปริมาณมาก



ด้านนอกของชิ้นส่วน ภาชนะดินเผาเนื้อดิน ส่วนลำตัวภาชนะ หนา 0.4 เซนติเมตร ตกแต่ง ด้วยการกดประทับลาย เชือกทาบ และอาจจะมี การเคลือบด้วยน้ำเคลือบ ไม่สมบูรณ์



ด้านใน ของชิ้นส่วน ภาชนะดินเผาเนื้อดิน ส่วนลำตัวภาชนะ หนา 0.4 เซนติเมตร และมีเศษ ตะกรันจากการถลุงโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1 เซนติเมตร

¹ บัณฑิตย์ สมประสงค์ นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร



เศษตะกรันจากการถลุง
โลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง
ประมาณ 1 เซนติเมตร
เนื้อมึนพรุนปริมาณมาก
ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
กำลังขยาย 1x

2. โบราณวัตถุหมายเลข 0178/1 หลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นทับถมที่ 7
ชั้นสมมติที่ 9 ระดับ 150-160 cm.dt. กริด SWQ

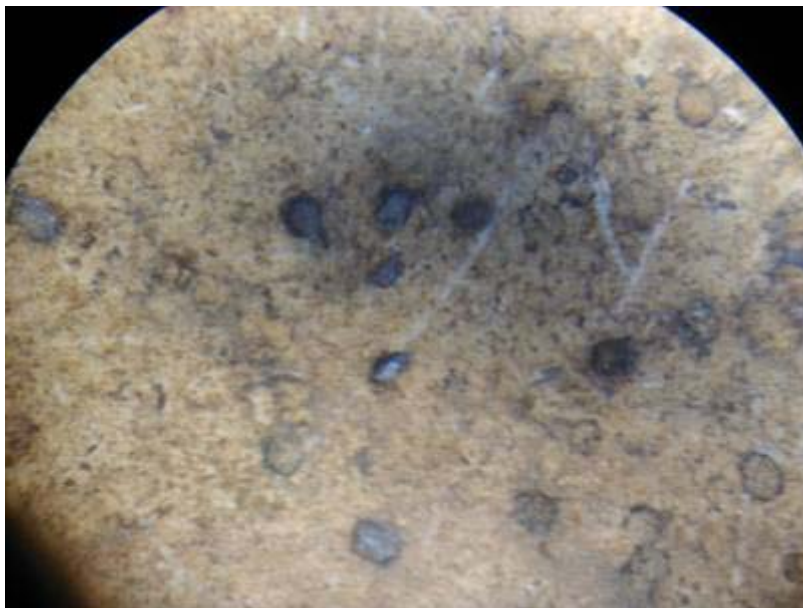
ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเนื้อดิน (Earthenware) ส่วนปากภาชนะ
ทรงหม้อปากผาย เส้นผ่านศูนย์กลางปาก 18 เซนติเมตร (20%) ผิวด้านนอกมีร่องรอยคราบโลหะเป็น
จุด เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร



ด้านนอกของชิ้นส่วน
ภาชนะดินเผาเนื้อดิน ส่วน
ปากภาชนะทรงหม้อปาก
ผาย เส้นผ่านศูนย์กลางปาก
18 เซนติเมตร ปรากฏ
ร่องรอยคราบโลหะเป็นจุด
เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ
0.1 เซนติเมตร



ด้านในของชิ้นส่วนภาชนะ
ดินเผาเนื้อดิน ส่วนปาก
ภาชนะทรงหม้อปากผาย
เส้นผ่าศูนย์กลางปาก 18
เซนติเมตร



ร่องรอยคราบโลหะที่ผิว
ด้านนอก เส้นผ่าศูนย์กลาง
ประมาณ 0.1 เซนติเมตร
ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
กำลังขยาย 1X

ภาชนะเนื้อแกร่ง (Stoneware) พบในหลุมขุดค้นที่ 1 เพียง 1 ชิ้น ชิ้นทับถมทางโบราณคดีชั้นสมมุติที่ 11 ในพื้นที่ NWQ ส่วนขยาย



ภาชนะเนื้อละเอียด (Porcelain) พบเพียง 1 ชิ้นในหลุมขุดค้นที่ 1 ชั้นดินทับถมระดับผิวดิน (Surface) เป็นส่วนขอบปาก ไม่สามารถระบุรูปทรงได้ มีลักษณะเขียนน้ำเงินครามได้เคลือบลายคดโค้งคล้ายพันธุ์พุกยา เนื้อสีนวลขาว กว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตรหนา 0.4 เซนติเมตร ซึ่งขนาดและลวดลายที่เห็นได้น้อยมาก จึงยากต่อการสันนิษฐานเรื่องอายุสมัยของชิ้นส่วนภาชนะดินเผาชิ้นนี้ แต่จากการเปรียบเทียบกับเครื่องถ้วยจีนที่พบในประเทศไทย ซึ่งทำการศึกษาโดยคุณปริวรรต ธรรมาปริชาการ คุณกฤษฎา พิณศรี และคุณณัฐภัทร จันทวิช ทำให้ทราบว่าชิ้นส่วนภาชนะดินเผาชิ้นนี้มีลักษณะคล้ายกับภาชนะเนื้อนวลเขียนลายน้ำเงินครามได้เคลือบที่ผลิตในประเทศจีน ซึ่งสันนิษฐานว่าคล้ายกับเครื่องถ้วยจีน 2 สมัย ได้แก่

สมัยราชวงศ์เอวี่ยน หรือราชวงศ์หยวน ที่เริ่มผลิตขึ้นครั้งแรกเมื่อราวครึ่งหลังพุทธศตวรรษที่ 19 โดยการใช้สีน้ำเงินจากแร่โคบอลต์มาตกแต่งลวดลาย และมีลักษณะเด่นคือเนื้อดินสีขาวแกร่ง ก้นหรือฐานภาชนะไม่เคลือบ รูปทรงที่พบเป็นจาน ชาม กระปุก และไหทรงกวน ตกแต่งลายกิเลน ลายเป็ดกอบัว ลายเห็ดหลังจื่อ ลายกลีบบัว ลายพุทธมงคลแปด ลายปลาท่ามกลางพันธุ์ไม้และลายผลแตงโม เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะพบที่เวียงท่ากาน อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ที่กรุวัดพระพายหลวง จังหวัดสุโขทัย ที่กรุวัดมหาธาตุ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ที่วัดพระธาตุหริภุญไชย จังหวัดลำพูน ที่อำเภอเมือง จังหวัดตาก และในแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดราชบุรี เป็นต้น

สมัยราชวงศ์หมิง ที่มีอายุราวต้นถึงกลางพุทธศตวรรษที่ 21 ผลิตจากเตาในมณฑลเจียงซี ผู้เจี๊ยน และกว้างตง รูปทรงส่วนใหญ่เป็นจาน ชาม กระปุก โถ และกุ่มที่ ลักษณะลวดลายของเครื่องถ้วยก็เป็นแบบที่ทำสืบต่อมาจากลวดลายของเครื่องลายครามจีนในสมัยราชวงศ์หมิงตอนต้น เช่น ลายพุทธมงคลแปดสลับกับลายช่อดอกไม้ ลายมังกร ลายสามเกลอ เป็นต้น



ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเนื้อ

นวล (Porcelain)

ชั้นผิวดิน (Surface)

มีลักษณะเขียนลายน้ำเงิน
ครามได้เคลือบลายคดโค้ง
คล้ายลายพันธุ์พุกผา เนื้อ
สีขาวนวล สันนิษฐานว่า
ผลิตในประเทศจีน สมัย
ราชวงศ์เวียน หรือหยวน
จนถึงสมัยราชวงศ์หมิง

8. ฟันหมู (Lower Incisor)

จำนวน 1 ชิ้น พบในหลุมขุดค้นที่ 1 บริเวณพื้นที่ SWQ ในระดับสมมติ
100-110 cm.dt.



² ปวีวรรณ ธรรมาปรีชาการ และกฤษฎา พิณศรี เรียบเรียง, ศิลปะเครื่องถ้วยในประเทศไทย, (กรุงเทพฯ : บริษัท โอสเสสสา (เต็กเฮงฮง) จำกัด), หน้า 70-89. ; ภัฏฐภัทร จันทวิช, เครื่องถ้วยจีนที่พบจากแหล่งโบราณคดีในประเทศไทย, (กรุงเทพฯ : กรมศิลปากร, 2537), หน้า 28-37.

9. เศษก้นของเครื่องมือเหล็ก

จำนวน 1 ชิ้น พบในหลุมชุดคันที่ 1 ระดับสมมุติ 46 cm.dt. ขนาดยาว 9.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร



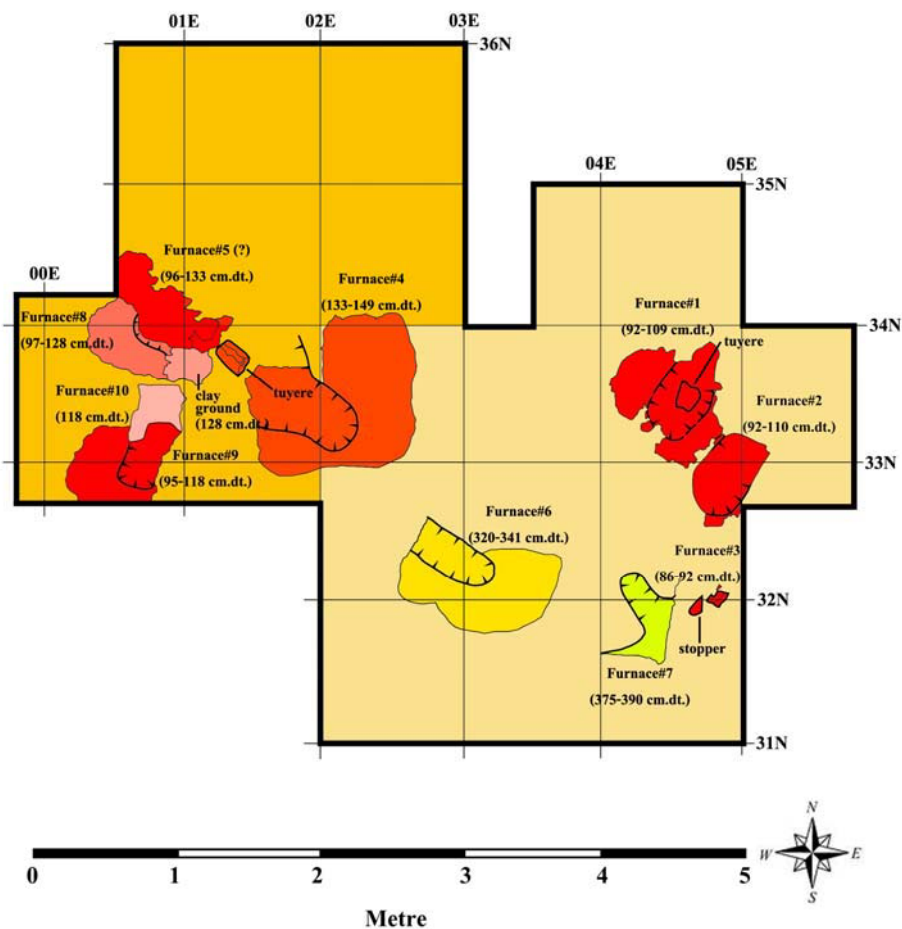
10. ห่วงโลหะ

น่าจะใช้เป็นปลอกเข้าด้ามกับเครื่องมือบางชนิด จำนวน 1 ชิ้น พบในหลุมชุดคันที่ 2 ระดับสมมุติ 220-300 cm.dt.



ลำดับชั้นวัฒนธรรมการถลุงเหล็กจากหลุมชุดคันที่ 1

การขุดค้นในปีพ.ศ. 2550 พบซากเตาถลุงทั้งหมด 4 เตา คือ เตาหมายเลข 1-4 และในปี พ.ศ. 2551 พบเพิ่มอีกจำนวน 6 เตา คือ เตาหมายเลข 5-10 รวมหลักฐานประเภทเตาถลุงที่พบในหลุมชุดคันที่ 1 ทั้งหมด 10 เตา การกระจายตัวของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณที่ขุดค้นพบ มีดังแผนผังต่อไปนี้



แหล่งโบราณคดีบ้านเขาดินไต้ หมู่ 9 อ.บ้านกรวด จ.บุรีรัมย์
การขุดค้น ปี พ.ศ. 2550 - 2551

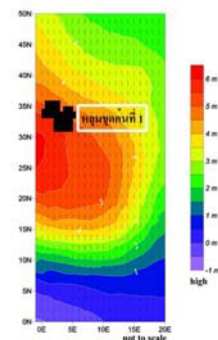
Living Angkor Road Phase II

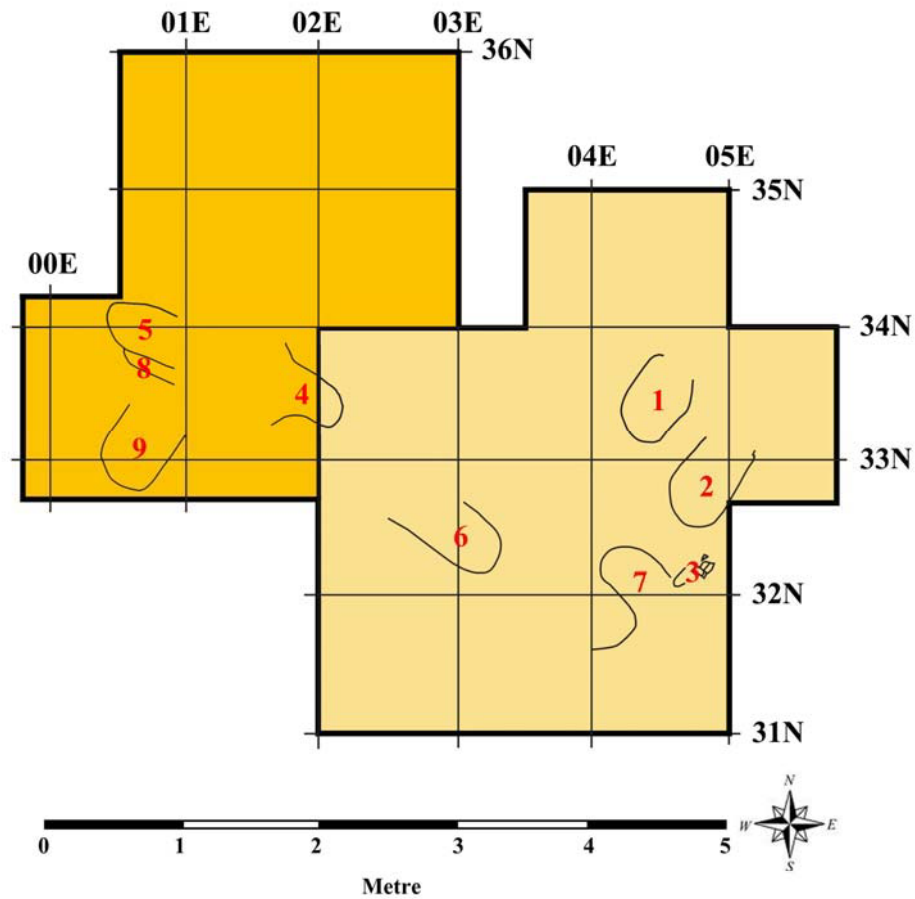
แผนผังการกระจายตัวของเตาลูกเหล็ก

หลุมขุดค้นที่ 1

การขุดค้นปี พ.ศ. 2550 Excavation 2007

การขุดค้นปี พ.ศ. 2551 Excavation 2008





แหล่งโบราณคดีบ้านเขาดินใต้ หมู่ 9 อ.บ้านกรวด จ.บุรีรัมย์
การขุดค้น ปี พ.ศ. 2550 - 2551

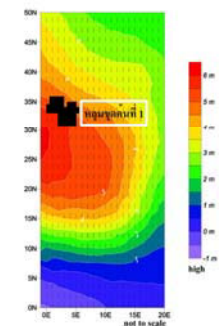
Living Angkor Road Phase II

แผนผังการกระจายตัวของเตาถลุงเหล็ก

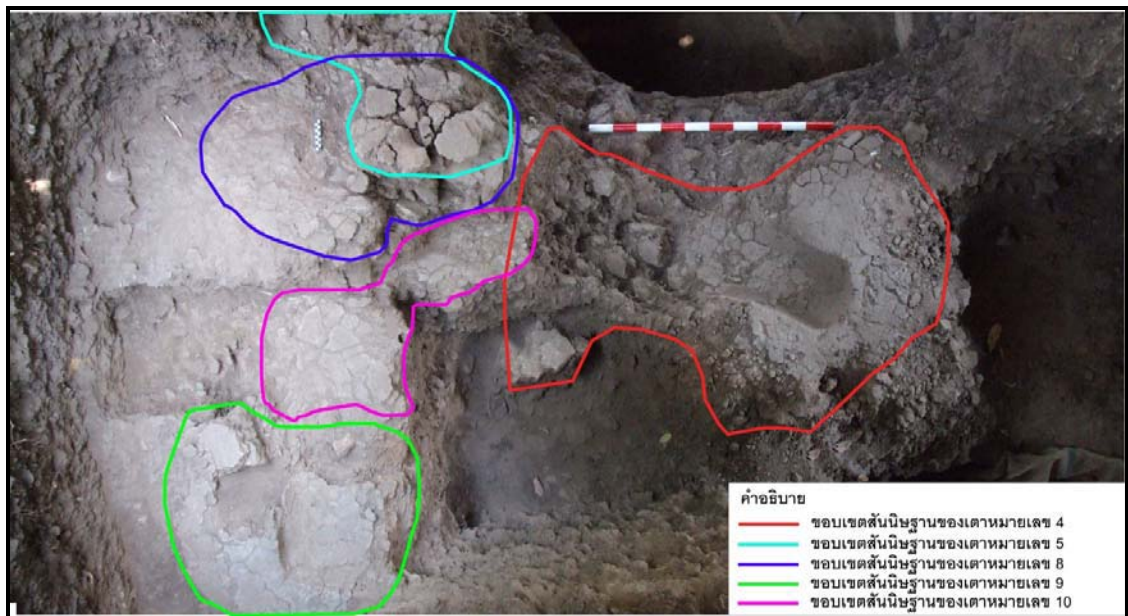
หลุมขุดค้นที่ 1

การขุดค้นปี พ.ศ. 2550 Excavation 2007

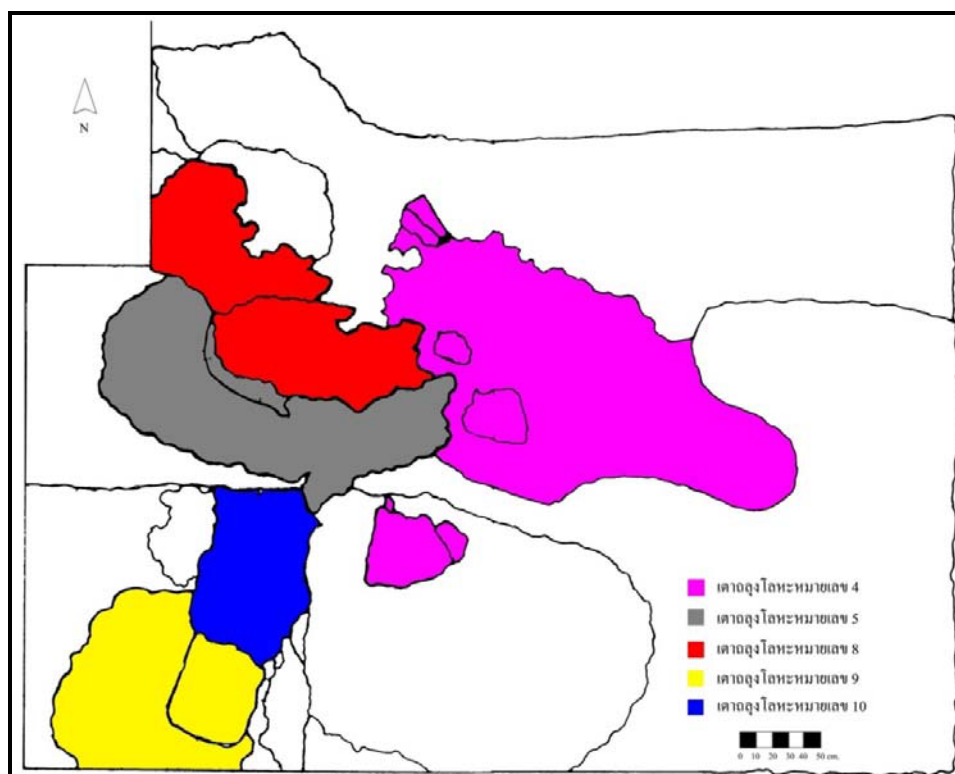
การขุดค้นปี พ.ศ. 2551 Excavation 2008



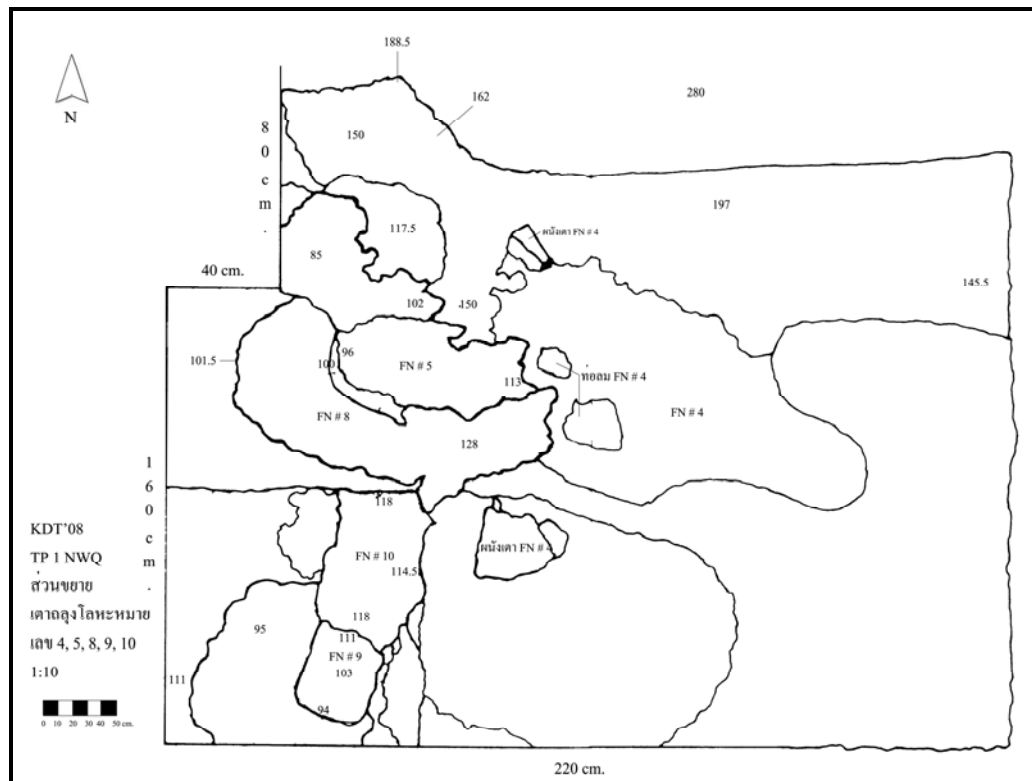
เตากลึ่งที่พบมีการกระจายตัวในบริเวณแนวกลางหลุม และอยู่ในลักษณะซ้อนทับระหว่างกัน หากพิจารณาจากระดับความลึก พบว่าเตาหมายเลข 7 ปรากฏในระดับลึกที่สุด และเตาหมายเลข 1 และ 2 พบในระดับบนสุด



รูปที่ 3-42 ภาพถ่ายแสดงเตาหมายเลข 4, 5, 8, 9 และ 10



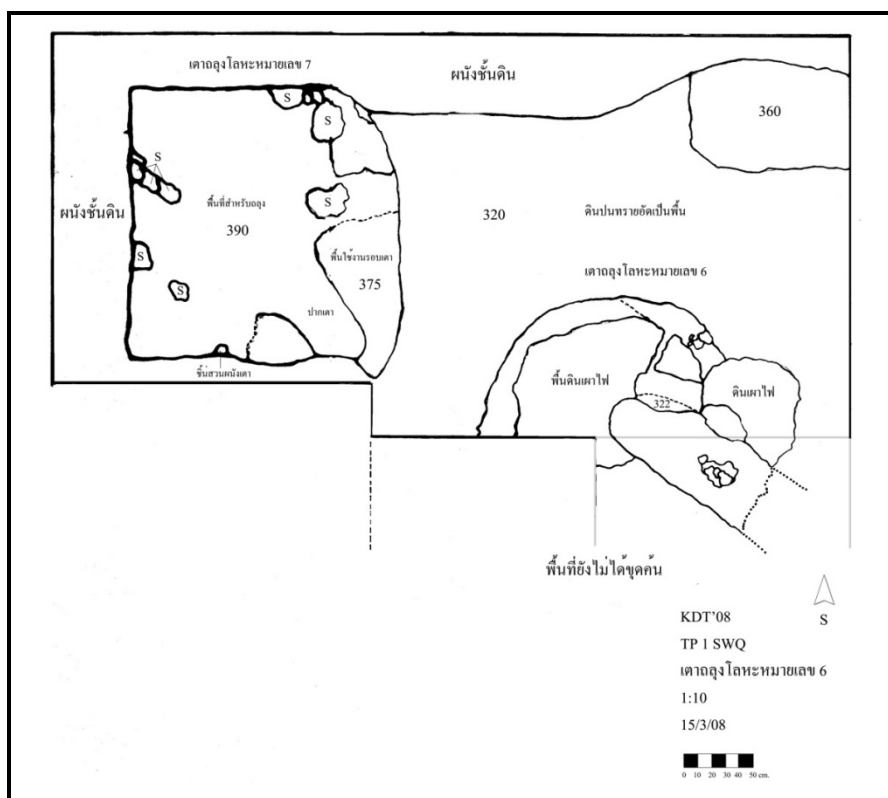
รูปที่ 3-43 ภาพลายเส้นแสดงเตาที่พบในบริเวณหลุมชุดคันที่ 1 NWQ ส่วนขยาย



รูปที่ 3-44 ภาพลายเส้นแสดงเดาดงภายในหลุมขุดค้น TP 1 NWQ ส่วนขยาย
พร้อมระดับสมมุติ ที่พบ



รูปที่ 3-45 ภาพถ่ายแสดงเดาหมายเลข 6 และ 7
ในบริเวณกริด SWQ (หมายเลข 6) และ SEQ (หมายเลข 7)



รูปที่ 3-46 ภาพลายเส้นแสดงเดาหมายเลข 6 และ 7

บริเวณกริด SWQ และ SEQ ของ TP1

เมื่อทำการศึกษาชั้นทับถมทางโบราณคดีภายในหลุมขุดค้นที่ 1 พบว่าประกอบด้วยชั้นของตะกอนจากการถลุงเหล็ก และชั้นดินบางๆ รวมทั้งหมด 24 ชั้น ชั้นดังกล่าวนี้เกิดจากกิจกรรมการถลุงโลหะที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ซึ่งสันนิษฐานว่ากิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 8 ชั้น โดยสันนิษฐานจากหลักฐานที่ปรากฏบนชั้นดิน และเตาถลุงจำนวน 10 เตาที่อนุมานได้ว่า การถลุงเริ่มต้นจากการสร้างเตาบนพื้นดิน เมื่อทำการถลุงเสร็จจะมีสิ่งเหลือทิ้งที่เกิดจากการถลุงเหล็กแต่ละครั้ง เช่น ตะกอนจำนวนมาก เศษผนังเตา เศษท่อลม เป็นต้น โดยส่วนหนึ่งถูกนำไปทิ้งบริเวณทิศใต้ของหลุมขุดค้น ซึ่งคือพื้นที่หลุมขุดค้นที่ 2

ขณะที่อีกส่วนหนึ่งกระจายทั่วไปบนระดับพื้นใช้งานของกิจกรรมครั้งดังกล่าว



รูปที่ 3-47 ลักษณะชั้นทับถมทางโบราณคดีที่ประกอบด้วยชั้นตะกอนจากการถลุงเหล็ก
สลับกับชั้นดินฉาบเป็นระดับพื้นที่ทำกิจกรรมการถลุงเหล็ก

เมื่อพิจารณาจากชั้นทับถมทางโบราณคดีพบว่าเมื่อทำการถลุงเสร็จในคราวหนึ่ง ช่างอาจทำการเกลี่ยปรับพื้นที่โดยนำสิ่งเหลือทิ้งที่หลงเหลือจากการถลุงให้เป็นพื้นที่เหมาะสมสำหรับก่อเตาเพื่อทำการถลุงครั้งต่อไป จากนั้นจึงนำดินเหนียว ซึ่งอาจได้มาจากบริเวณใกล้เคียงมาถมเพื่อปรับพื้นที่ หลักฐานสนับสนุนแนวคิดนี้ คือ ชั้นดินที่พบว่าเป็นการสลับระหว่างชั้นสิ่งเหลือทิ้งจากการถลุงและชั้นดินบางจำนวนหลายชั้น และลักษณะของเตาที่เป็นการก่อในชั้นตะกอน ขณะที่พื้นใช้งานรอบเตาอยู่ในระดับของชั้นดิน เช่นที่พบกับเตาหมายเลข 4 หมายเลข 6 และหมายเลข 7

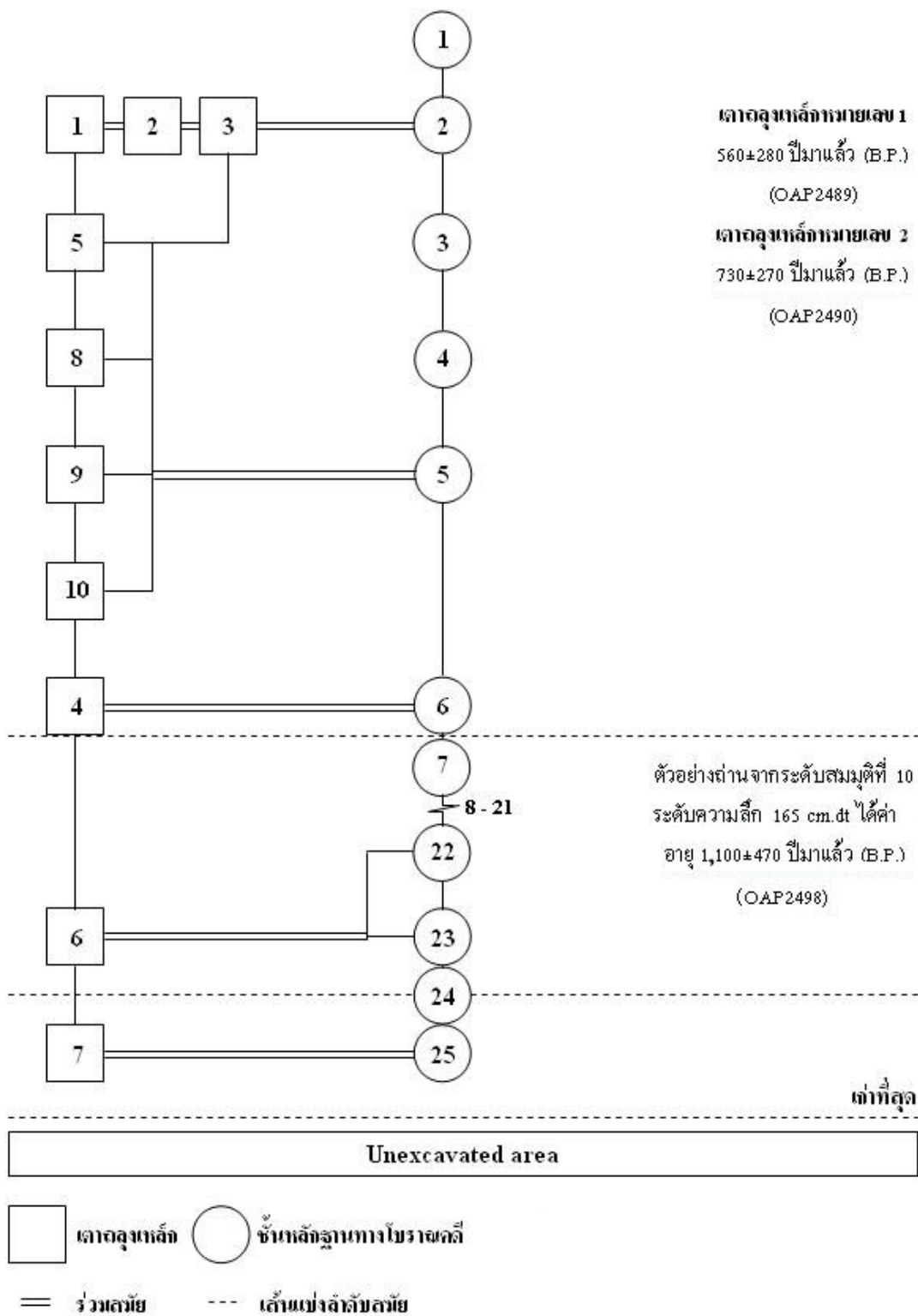
ลำดับการปรากฏหรือการสร้างเตาถลุงเหล็กจากเตาที่มีลำดับการสร้างเก่าที่สุดไปใหม่ที่สุด มีดังแผนภูมิต่อไปนี้

แผนภูมิลำดับอายุเชิงเทียบของเตาตุณเหล็กสมัยโบราณและชั้นหลักฐานทางโบราณคดี
พบในหลุมขุดค้นที่ 1 แหล่งโบราณคดีบ้านเขาหินเฒ่า หมู่ 9 อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์

ลำดับอายุเชิงเทียบของเตาตุณเหล็ก

ลำดับอายุเชิงเทียบของชั้นหลักฐานทางโบราณคดี

ค่าอายุแบบสัมบูรณ์



สรุปผลการดำเนินการขุดค้นทางโบราณคดี

จากการดำเนินงานทางโบราณคดี แหล่งโบราณคดีบ้านเขาดินใต้ อ.บ้านกรวด จ.บุรีรัมย์ เป็นแหล่งโบราณคดีที่ปรากฏร่องรอยกิจกรรมการถลุงเหล็กของมนุษย์ในอดีต จากการขุดค้นทางโบราณคดี ซึ่งดำเนินการแยกเป็น 2 ช่วง คือในระหว่างวันที่ 1-31 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 และระหว่างวันที่ 22 กุมภาพันธ์ - 22 มีนาคม 2551 พบว่า แหล่งโบราณคดีแห่งนี้ ปรากฏหลักฐานกิจกรรมการถลุงเหล็กโดยการถลุงตามกระบวนการทางตรง (direct smelting process) ซึ่งเหล็กที่ได้จากการถลุงแบบนี้ เหล็กที่เกิดขึ้นจะยังอยู่ในสภาพของแข็งที่ยังมีตะกรันแทรกปนอยู่ในเนื้อเหล็ก ซึ่งช่วงจะต้องทำการกำจัดตะกรันที่หลงเหลืออยู่ด้วยการให้ความร้อนจนเป็นสีแดง เพื่อให้ตะกรันนั้นหลอมเหลว แล้วนำไปตีเพื่อบีบอัดเนื้อเหล็ก ริดตะกรันแยกออกมาจากโครงสร้างภายใน ดังนั้นเหล็กที่ได้จะเป็นเหล็กอ่อนที่เรียกว่า Wrought iron ซึ่งเป็นเหล็กเกือบบริสุทธิ์ มีธาตุคาร์บอนผสมน้อยกว่า 0.5% ซึ่งสามารถนำไปตีเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ได้

สำหรับรูปแบบของเตาถลุงที่พบจากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านเขาดินใต้ ทั้งสองครั้ง พบว่า มีลักษณะเป็นเตาที่สร้างขึ้นด้วยดินเหนียวเป็นวัสดุหลัก ทำการปั้นขึ้นรูป และอาจให้ความร้อนเพื่อให้ดินเหนียวจับตัวแน่นและแข็งขึ้นพร้อมสำหรับใช้งาน โดยใช้การเผาในอุณหภูมิต่ำ หรือใช้ความร้อนระหว่างขั้นตอนการถลุง เป็นการเผาเตาครั้งแรก เพื่อให้เตาสามารถทนความร้อนในอุณหภูมิสูงในระหว่างการถลุง แต่อย่างไรก็ตามความคงทนต่อการถลุงนั้นอาจขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้สร้างเตาด้วย

รูปทรงของเตาถลุง สันนิษฐานจากหลักฐานซากของเตาถลุงทั้ง 10 เตา โดยเฉพาะจากซากเตาถลุงหมายเลข 7 ซึ่งปรากฏว่ามีลักษณะคล้ายผลน้ำเต้า คือ บริเวณด้านหน้าที่เป็นส่วนยาวรี และส่วนด้านหลังที่เป็นส่วนโค้งกว้างเหมือนขาม จึงสันนิษฐานว่าน่าจะมีรูปแบบที่เรียกว่า เตาปล่อง (Shaft Furnace) ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ พื้นที่ใช้งานรอบเตา (Activity floor or pavement) ปากเตาส່วนหน้า (Furnace mouth) ผนังเตา (Furnace lining) และก้นเตา (Furnace floor) กล่าวคือ เป็นเตาถลุงที่มีส่วนปล่องสำหรับเป็นห้องสำหรับบรรจุแร่และถ่านเพื่อทำการถลุง ถึงแม้ว่าจะไม่พบส่วนที่สันนิษฐานว่าเป็นปล่อง หรือบริเวณใช้งานหลักของเตา พบเฉพาะพื้นที่ใช้งานรอบเตา ปากเตาส່วนหน้า ผนังเตา และก้นเตา ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะช่างได้ทำลายส่วนดังกล่าวนี้เพื่อเก็บ “Bloom” หรือ ก้อนเหล็กไม่บริสุทธิ์ที่ได้จากการถลุง ออกจากเตา จึงไม่เหลือหลักฐานแน่ชัด แต่ในการขุดค้นพบว่า ชั้นส่วนผนังเตามีการกระจายตัวหนาแน่นบริเวณท้ายเตารวมถึงลักษณะของชั้นส่วนผนังเตาที่มีความโค้ง และบางชั้นมีคราบตะกรันเกาะอยู่ ซึ่งทำให้สามารถระบุตำแหน่งของส่วนปล่องได้ โดยตัวปล่องนี้น่าจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60-80 เซนติเมตรแล้วแต่ขนาดของเตา

โดยมีส่วนหน้าที่ยังคงเหลืออย่างชัดเจน ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นบริเวณสำหรับเดิมเชื้อเพลิง หรืออัดอากาศจากส่วนหน้าเตา ขณะที่ชิ้นส่วนของท่อดินเผาสำหรับหุ้มปลายท่อจากที่สูบลมที่พบ สันนิษฐานว่าน่าจะอยู่ด้านล่างของปล่องในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง เพื่ออัดอากาศเข้าสู่เตา ถลุง

ส่วนช่องดักตะกรันนั้นอาจอยู่ในระดับที่ลึกกว่าเตา สำหรับดักเอาตะกรันที่เกิดจากการถลุง ออกจากเตาในระหว่างการถลุง แต่จากการขุดค้นไม่พบหลักฐานที่ชัดเจนเกี่ยวกับช่องดักตะกรัน และพื้นที่รับตะกรันเหลว แต่อย่างไรก็ตาม จากหลักฐานประเภทตะกรัน พบที่มีลักษณะเป็นริ้ว ซึ่งแสดงถึงตะกรันเหลวที่ถูกดัก และไหลออกมาตามช่องดักตะกรัน

ค่าอายุที่ได้จากการวิเคราะห์จากตัวอย่างถ่านที่ได้จากเตาถลุงโลหะในระดับ 80-90 cm.dt. และระหว่างชั้นดินเผาไฟ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นชั้นกิจกรรมถลุงโลหะกับชั้นตะกรันที่เหลือจากการ ถลุงเหล็ก ในระดับ 160-170 cm.dt. แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 3-14 ค่าอายุ Carbon – 14 ของตัวอย่างถ่านพบในการขุดค้นแหล่งถลุงเหล็กสมัย โบราณ บ้านเขาคินใต้³

ตัวอย่างหมายเลข	ตำแหน่งที่พบ	อายุ <BP>
SF#0002	TP.1 NWQ level 1: Surface – 80 cm.dt.	260±210
SF#0004	TP.1 NEQ Furnace 1	560±280
SF#0022	TP.1 SWQ Furnace 2	730±270
SF#0008	TP.1 SWQ level10: 160 -170 cm.dt.	1100±470

ในเบื้องต้นจึงกำหนดค่าอายุของเตาถลุงอยู่ที่ประมาณ 700-800 ปีมาแล้ว ซึ่งน่าจะร่วมสมัย กับแหล่งเตาเผาภาชนะดินเผาบ้านกรวด ซึ่งกำหนดอายุราว พุทธศตวรรษที่ 18

สำหรับหลุมขุดค้นหมายเลข 2 นั้นสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นพื้นที่ใช้สำหรับทิ้งสิ่งที่เหลือจาก การถลุงเหล็กโดยเฉพาะ ซึ่งหลักฐานทางโบราณคดีที่พบนั้นประกอบไปด้วย ตะกรันจากการถลุง เหล็ก ชิ้นส่วนท่อดินเผาหุ้มปลายท่อลมจากที่สูบลม ชิ้นส่วนผนังเตา และชิ้นส่วนก้นดินเผาอุด ช่องดักตะกรันที่ผนังเตา โดยพื้นที่บริเวณหลุมขุดค้นที่ 2 นี้เชื่อได้ว่าน่าจะถูกใช้งานมานานอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากไม่พบชั้นดินแทรกระหว่างชั้นตะกรันจากการถลุงเหล็ก มีเพียงความแตกต่างของ การเกาะตัวกันของกลุ่มตะกรันจากการถลุงเหล็ก ในแต่ละระดับที่น่าจะเป็นการแสดงถึงกิจกรรมที่ เกิดขึ้นหลายครั้ง

³ Thailand institute of Nuclear Technology (Public Organization)

ข้อคิดเห็นจากการศึกษาทางโบราณคดีของโครงการวิจัย

เมื่อนำผลการศึกษาทางโบราณคดีในแง่มุมต่างดังที่กล่าวถึงข้างต้นทั้งหมดมาประมวลเข้าด้วยกัน สามารถช่วยให้เห็นความสำคัญเมื่อสมัยอดีตของพื้นที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยแนวเส้นทางโบราณจากเมืองพระนครไปยังเมืองพิมาย และพื้นที่ปริมาตรของแนวเส้นทางนี้ได้ชัดเจนขึ้น

แม้ว่ามีหลักฐานว่าแหล่งชุมชนสมัยโบราณที่พบในพื้นที่นี้บางแห่ง ปรากฏขึ้นตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลาย แต่ข้อมูลทางโบราณคดีส่วนใหญ่บ่งชี้ว่าเมื่อช่วงเวลาประมาณพุทธศตวรรษที่ 15-17 นั้น พื้นที่ศึกษาในโครงการนี้ อันประกอบด้วยแนวเส้นทางโบราณจากเมืองพระนครไปยังเมืองพิมาย และพื้นที่ปริมาตรของแนวเส้นทาง จึงกลายเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญในฐานะที่เป็นสื่อและช่องทางเชื่อมโยงแหล่งน้ำที่ต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายทางวัฒนธรรมที่มีความสัมพันธ์กันและต่างพึ่งพากัน รวมทั้งมีพัฒนาการและความเจริญรุ่งเรืองร่วมกันไปทั้งเครือข่ายวัฒนธรรม แหล่งน้ำที่ต่างๆ กันเหล่านั้น อย่างน้อยได้แก่ชุมชนที่อยู่อาศัยประเภทหมู่บ้านเกษตรกรรมขนาดต่างๆ ศาสนสถานที่มีหน้าที่ด้านศาสนาความเชื่อ และแหล่งหัตถกรรมและอุตสาหกรรมที่มีหน้าที่เชิงเศรษฐกิจที่ผลิตสิ่งของสนองต่อความต้องการของผู้คนหรือตลาดในเครือข่าย ซึ่งอย่างน้อยก็ได้แก่แหล่งผลิตเหล็กและภาชนะดินเผา

แหล่งโบราณคดีที่ศึกษาในครั้งนี้ มีหลายแห่งมากที่สามารถพัฒนาเป็นแหล่งเรียนรู้ ประวัติความเป็นมาของสังคมและวัฒนธรรมท้องถิ่น รวมทั้งแหล่งเรียนรู้เรื่องความสัมพันธ์ ความผูกพัน และภูมิปัญญาพื้นถิ่นของประชากรท้องถิ่นเมื่อสมัยอดีต โดยเฉพาะหากสามารถดำเนินการพัฒนาให้เป็นแหล่งทัศนศึกษาเพื่อการเรียนรู้ตลอดชีพและการเรียนรู้ตามอัธยาศัยแล้วน่าจะสามารถเอื้ออำนวยให้เกิดพัฒนาการทางเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของประชากรในปัจจุบันตามมาได้

บทที่ 4

การค้นคว้าและวิธีการทางด้านธรณีฟิสิกส์

4.1 การค้นคว้าและวิธีการทางด้านธรณีฟิสิกส์บริเวณแหล่งถลุงเหล็กโบราณ บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์

4.1.1 ความนำ

1. แหล่งเตาถลุงโลหะ บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์

โครงการวิจัยทางด้านโบราณคดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยของสำนักงานโบราณคดี กรมศิลปากร ได้ตรวจพบแหล่งถลุงเหล็กโบราณในพื้นที่ของอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ มากกว่า 20 ปีแล้ว แหล่งถลุงเหล็กโบราณในบริเวณหมู่บ้านเขาดินใต้เป็นหนึ่งในแหล่งถลุงเหล็กโบราณที่ได้ค้นพบในช่วงเวลาดังกล่าว

การศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์ในแหล่งถลุงเหล็กโบราณ ในบริเวณหมู่บ้านเขาดินใต้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีการทางด้านธรณีฟิสิกส์เพื่อกำหนดตำแหน่งของเตาถลุงเหล็กโบราณ หรือวัสดุที่หลงเหลืออยู่จากกิจกรรมถลุงเหล็กโบราณในบริเวณเนินดินแห่งหนึ่งของหมู่บ้านเขาดินใต้ ซึ่งคาดว่าเป็นแหล่งเตาถลุงเหล็กโบราณ สำหรับการวางแผนการดำเนินการขุดค้นทางด้านโบราณคดีต่อไป

2. การศึกษาด้านธรณีฟิสิกส์

วิธีการด้านธรณีฟิสิกส์สามารถประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งโบราณสถานหรือโบราณวัตถุซึ่งถูกฝังอยู่ใต้ดินในระดับตื้นได้ดี โดยการใช้ประโยชน์ในความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพของโบราณสถานและดินที่อยู่ในบริเวณข้างเคียง เช่น วิธีวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกจะใช้ประโยชน์จากสมบัติความเป็นแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ในขณะที่วิธีเรดาร์หยังความลึกของชั้นดินจะอาศัยสมบัติสภาพยอมทางไฟฟ้า (electric permittivity) หรือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากโบราณสถานหรือโบราณวัตถุที่คั่นหามักจะถูกฝังอยู่ในระดับตื้น เช่น ลึกน้อยกว่า 1 เมตร และมีความกว้างน้อยกว่า 1 เมตร การเลือกใช้วิธีการฟิสิกส์ที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการจำแนกวัตถุทั้งในดิ่งและแนวราบ โดยเหตุที่การวัดด้านธรณีฟิสิกส์ส่วนใหญ่จะทำการเก็บข้อมูลบนผิวดิน ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งของโบราณสถานหรือโบราณวัตถุด้วยวิธีการฟิสิกส์จึงสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว และนิยมนำมาประยุกต์ใช้

วิธีวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในกรณีที่วัตถุเป้าหมายเป็นสารแม่เหล็กที่มีค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงกว่าดินท้องถิ่นที่ เช่น ตะกรันในแหล่งเตาถลุงโลหะโบราณ ตะกรันเหล่านี้จะมีส่วนผสมของเหล็กมากกว่าดินในบริเวณข้างเคียง หรือมีสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กสูงกว่าดินท้องถิ่น ดังนั้นการปรากฏอยู่ของตะกรันในแหล่งเตาถลุงโลหะจะทำให้สนามแม่เหล็กโลกในบริเวณดังกล่าวถูกรบกวน วิธีการวัดค่าสนามแม่เหล็กจึงเป็นการตรวจสอบบริเวณที่สนามแม่เหล็กของโลกถูกรบกวนไป ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการการวัดสนามแม่เหล็กในงานโบราณคดี ได้แก่ ปรีชา เล่าชู (2538) Chavez et al.(2001) Wood et al. (2004) Chianese et al.(2004) Valfidis et al. (2005) และ Ansoy et al. (2007) เป็นต้น

วิธีการหยั่งลึกชั้นดินด้วยคลื่นเรดาร์ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งของโบราณสถานใต้ดิน โดยอาศัยหลักการส่งพัลส์สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง หรือย่านความถี่คลื่นเรดาร์ เช่น พัลส์เรดาร์ซึ่งมีความถี่กลาง 200 MHz ลงไปในดิน เมื่อพัลส์เรดาร์เดินทางถึงผิวรอยต่อระหว่างชั้นดิน หรือผิวรอยต่อระหว่างดินกับโบราณวัตถุใต้ดินที่มีสภาพยอมให้ผ่านได้ทางไฟฟ้า (electric permeability) หรือความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างกัน พัลส์เรดาร์ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับมายังผิวดินและถูกตรวจจับไว้โดยสายอากาศรับสัญญาณของเครื่องมือวัด ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหยั่งลึกชั้นดินด้วยคลื่นเรดาร์ในงานด้านโบราณคดี ได้แก่ กรณีเกาะรัตนโกสินทร์ (วรวิไล โลหะวิจารณ์, 2543) กรณีสุสานวัดคันตา (อภิชาติ พัฒนะวิริยะพิศาล, 2542) กรณีแหล่งโบราณคดีในแคนาดาและสหรัฐอเมริกา (Vaughan, 1986; Bevan, 1991; Sternberg and McGill, 1995) เป็นต้น

4.1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อกำหนดตำแหน่งของเตาถลุงโลหะในบริเวณแหล่งเตาถลุงโลหะบ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ โดยประยุกต์ใช้วิธีธรณีฟิสิกส์ซึ่งประกอบด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กโลก (Total magnetic field measurement) และเรดาร์หยั่งความลึกของชั้นดิน (GPR measurement)

4.1.3 วิธีดำเนินการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในหมู่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ หรืออยู่ระหว่างพิกัด 293048E ถึง 293066E และ 1596984N ถึง 1597036N ของระบบพิกัด WGS-84 พื้นที่

2. การวัดค่าสนามแม่เหล็กกรวมของโลก

ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กกรวมของโลกจำนวน 21 แนววัด (แนววัด 0E ถึงแนววัด 20E) ดังแสดงในรูปที่ 4-3 โดยแนววัดทุกแนววางตัวอยู่ในทิศใต้-เหนือ (00N ถึง 50N) ด้วยระยะห่างระหว่างแนววัดเท่ากับ 1.0 เมตร และระยะห่างระหว่างจุดวัดในแต่ละแนววัดเท่ากับ 1.0 เมตร จำนวนจุดวัดรวมทั้งสิ้น 400 จุด

ใช้เครื่องมือ Proton Precession Magnetometer ยี่ห้อ Geometric รุ่น G-856 จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดจัดวางหัววัดให้อยู่สูงจากพื้น 1.85 เมตร โดย Proton magnetometer ชุดที่หนึ่ง หรือ Rover Unit ใช้สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กกรวมของโลกที่จุดวัดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ส่วน Proton magnetometer ชุดที่สอง หรือ Base Unit ใช้ทำหน้าที่บันทึกการแปรผันของสนามแม่เหล็กกรวมโลกตามเวลาที่จุดวัดฐาน (base station) ซึ่งจะทางด้านใต้ของพื้นที่ศึกษา และจะนำมาใช้เพื่อทำการปรับแก้ drift หรือการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กกรวมของโลกตามเวลาที่วัดได้ที่จุดวัดต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา

พล็อตแผนที่ค่าสนามแม่เหล็กกรวมของโลกที่ผิดปกติของพื้นที่ศึกษา โดยค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติได้จากการหักลบค่าสนามแม่เหล็กโลกที่ไว้ได้ออกจากค่าสนามแม่เหล็กภูมิหลังของพื้นที่ศึกษา ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกำหนดตำแหน่งและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กในพื้นที่ศึกษา

3. การสำรวจเรดาร์หยั่งความลึกชั้นดิน (Ground Penetrating Radar; GPR)

ทำการสำรวจเรดาร์หยั่งความลึกชั้นดิน จำนวน 21 แนววัด (แนววัด 0E ถึง แนววัด 20E) ดังแสดงในรูปที่ 4-4 แนววัดแต่ละแนวยาวเท่ากับ 50 เมตร (00N ถึง 50N) โดยมีระยะห่างระหว่างแนววัดเท่ากับ 1 เมตร และระยะห่างระหว่างจุดวัดในแต่ละแนววัดเท่ากับ 0.25 เมตร

การสำรวจเรดาร์หยั่งความลึกชั้นดิน ใช้เครื่องมือ RAMAC/GPR เลือกใช้สายอากาศรับและส่งสัญญาณที่มีความถี่กลางเท่ากับ 200 MHz โดยจัดให้สายอากาศส่งสัญญาณและสายอากาศรับสัญญาณอยู่ห่างกันเท่ากับ 0.6 เมตร

การประมวลผลข้อมูลใช้โปรแกรม Interpex/GRADIX โดยมีขั้นตอนในการประมวลผลดังต่อไปนี้ คือ (1) dewow หรือการกรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 MHz ออก (2) set time zero ตั้งเวลาเริ่มต้นของสัญญาณให้เป็นศูนย์ (3) static correction หรือ การจัดวาง

4.1.4 ผลการศึกษา

1. ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กรวมของโลก

ค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลกในหน่วยนาโนเทสลา (nT) ของแหล่งเตาถลุงโลหะโบราณบ้านเขาคินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ แสดงด้วยแผนที่เจดสี ดังรูปที่ 4.5 (ข)

ในบริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา หรือ พื้นที่ระหว่าง 10N ถึง 22N ซึ่งมีลักษณะเป็นไหล่ของเนินดินที่มียอดสูงประมาณ 5 เมตร เราจะสังเกตเห็นค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมที่มีค่าต่ำกว่า -400 nT แสดงด้วยแถบสีน้ำเงินที่ตำแหน่ง 03E-15E และ 17N-22N โดยมีความยาวในแนวตะวันออก-ตะวันตกประมาณ 10 เมตร และมีความกว้างในแนวเหนือใต้ประมาณ 5 เมตร และค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมที่มีค่าสูงกว่า 600 nT แสดงด้วยแถบสีแดงที่ตำแหน่ง 00E-15E และ 08N-15N โดยมีความยาวในแนวตะวันออก-ตะวันตกประมาณ 15 เมตร และมีความกว้างในแนวเหนือใต้ประมาณ 5 เมตร ในขณะที่พื้นที่ส่วนอื่นมีค่าผิดปกติในสนามแม่เหล็กรวมของโลก -400 nT ถึง 100 nT และอาจพิจารณาเป็นค่าผิดปกติภูมิหลังของสนามแม่เหล็กรวมของโลกในพื้นที่ศึกษานี้ ค่าผิดปกติในสนามแม่เหล็กรวมของโลกในบริเวณทางด้านใต้ของพื้นที่ศึกษาระหว่าง 8N-22N และ 0E-15E น่าจะมีสาเหตุมาจากวัตถุใต้ผิวดินที่มีสภาพความแม่เหล็กสูงกว่าดินท้องถิ่น ซึ่งอาจจะเป็นบริเวณของเตาถลุงโลหะ หรือบริเวณที่ตะกอนของการถลุงโลหะถูกนำมากองรวมกันไว้

แบบจำลองของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กของแนววัด มีรูปทรงเป็นแผ่นมวลเพื่อกำหนดตำแหน่งและความลึกของวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กที่เป็นต้นเหตุของค่าผิดปกติของสนามแม่เหล็กรวมของโลก ดังรูปที่ 4.6 (ข) ได้สร้างเป็นรูปแผ่นมวล และคาดหมายว่าวัตถุผิดปกติทางแม่เหล็กเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างเตาถลุงโลหะที่ยังคงหลงเหลืออยู่

2. ผลการสำรวจเรดาร์หยังความลึกชั้นดิน

แผนภาพเรดาร์ของแนววัดทั้ง 20 แนว ประกอบด้วยแนววัด 01E ถึง 20E แสดงไว้ในรูปที่ 4-7 รูปที่ 4-8 รูปที่ 4-9 รูปที่ 4-10 และรูปที่ 4-11 พร้อมกับตำแหน่งที่สัญญาณเรดาร์มี

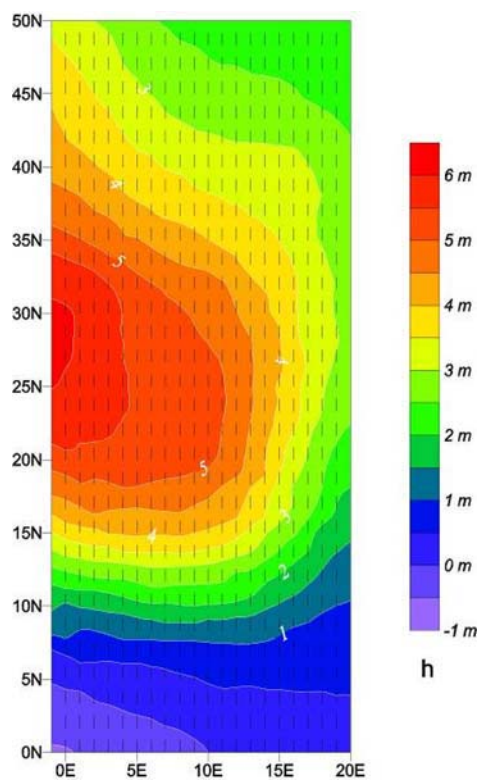
ตำแหน่งที่มีสัญญาณเรดาร์ผิดปกติทั้งหมดในพื้นที่สำรวจแสดงไว้ในรูปที่ 4-12 ตำแหน่งเหล่านี้คาดว่าเป็นตำแหน่งของวัตถุผิดปกติที่ถูกฝังอยู่ใต้ผิวดิน นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นว่าในบริเวณตอนใต้ของพื้นที่สำรวจ หรือพื้นที่ระหว่าง 00N ถึง 20N เราตรวจเจอว่าเป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กโลกผิดปกติด้วยเช่นกัน ในขณะที่บริเวณตอนเหนือของพื้นที่สำรวจ หรือพื้นที่ระหว่าง 20N ถึง 50N เราตรวจพบว่าสนามแม่เหล็กโลกมีค่าปกติในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงคาดว่าบริเวณตอนใต้ของพื้นที่สำรวจ มีวัตถุผิดปกติที่ถูกฝังอยู่ใต้ผิวดินมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงกว่าดินบริเวณข้างเคียง วัตถุผิดปกติเหล่านี้อาจได้เป็นกองขี้แร่ หรือ ส่วนใดส่วนหนึ่งของเตาหลงโลหะ ในขณะที่วัตถุผิดปกติใต้ผิวดินในบริเวณตอนเหนือของพื้นที่สำรวจไม่ได้มีสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างจากดินในบริเวณข้างเคียง วัตถุผิดปกติเหล่านี้อาจเป็นตัวเตาหลงโลหะที่มีสมบัติทางแม่เหล็กใกล้เคียงกับดินในบริเวณข้างเคียง

3. การตรวจสอบผลด้านธรณีฟิสิกส์กับการขุดค้นทางโบราณคดี

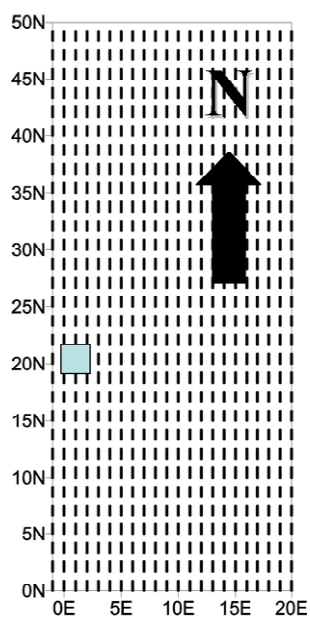
ทีมงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยศิลปากรได้ดำเนินการขุดค้นทางโบราณคดีจำนวน 2 หลุม โดยหลุมแรก หรือ Tested pit 1 ในบริเวณด้านเหนือก่อนไปทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษา หรือระหว่างแนววัด 03.5E-05.0E และ 32.5N-34.0N และหลุมขุดค้นที่สอง หรือ Tested pit 2 ในบริเวณด้านใต้ก่อนไปทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา หรือ ระหว่างแนววัด 06.0E-07.5E และ 09.0N-15.0N

3.1 ผลการขุดค้นในหลุมขุดค้นที่หนึ่ง หรือ Tested pit 1 ได้ตรวจพบเตาหลงโลหะจำนวน 2 เตาที่ระดับความลึกประมาณ 0.4 เมตรจากผิวดิน ซึ่งในบริเวณดังกล่าวนี้ไม่มีสนามแม่เหล็กผิดปกติ แต่สัญญาณเรดาร์ของแนววัด 04E และแนว 05E มีลักษณะผิดปกติ ดังที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ด้วยกรอบสีแดง

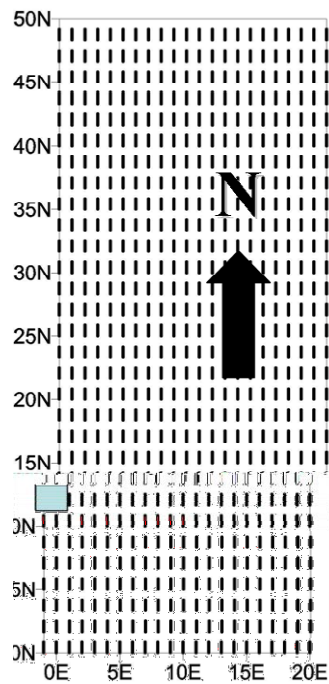
3.2 ผลการขุดค้นในหลุมขุดค้นที่สอง หรือ Tested pit 2 ได้ตรวจพบแผ่นตะกั่วที่ระดับความลึกจากผิวดินประมาณ 1.0 เมตร โดยแผ่นตะกั่วนี้มีความหนาประมาณ 0.5 เมตร ซึ่งในบริเวณดังกล่าวสนามแม่เหล็กรวมของโลกมีค่าผิดปกติ และสัญญาณเรดาร์ของแนววัดที่ 06E และ 08E มีลักษณะผิดปกติ แต่ไม่พบลักษณะผิดปกติของสัญญาณเรดาร์ในแนววัดที่ 07E จึงมั่นใจได้ว่าตะกั่วถูกนำมากองสะสมไว้แบบไม่สม่ำเสมอ แต่ในภาพรวมแล้วมีตะกั่วกระจายครอบคลุมพื้นที่ระหว่างแนววัด 15.0N-25.0N และ 04.0E-14.0E



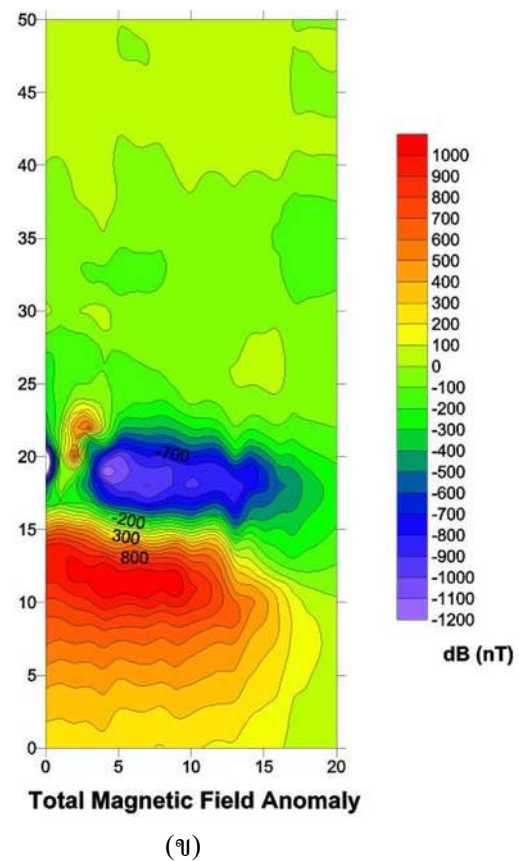
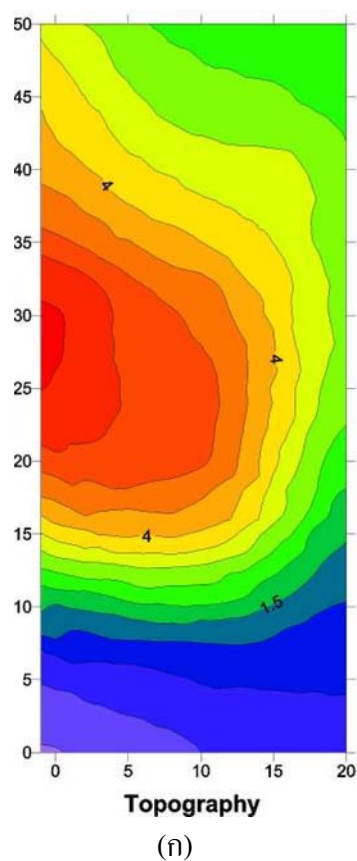
รูปที่ 4-2 แผนที่ความสูงของพื้นที่ศึกษา



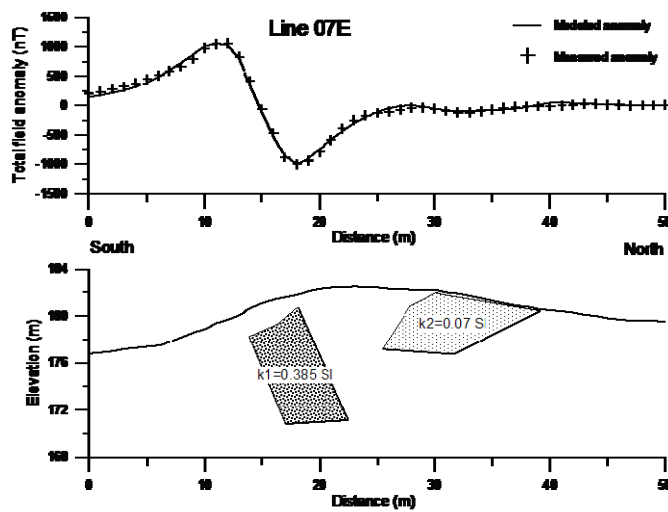
รูปที่ 4-3 การสำรวจสนามแม่เหล็กโลกในพื้นที่ศึกษา



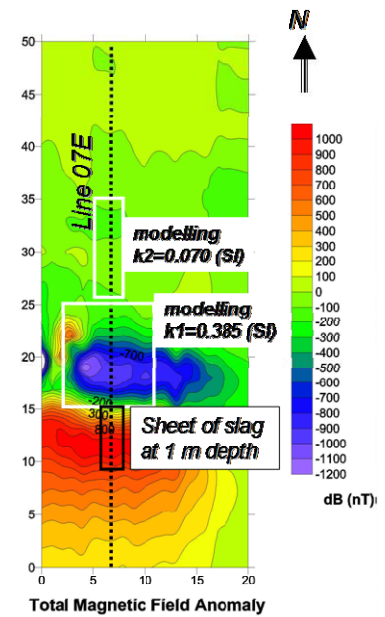
รูปที่ 4-4 การสำรวจเรดาร์หยังความลึกของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-5 (ก) แผนที่ระดับความสูง และ (ข) แผนที่ค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติของพื้นที่ศึกษา

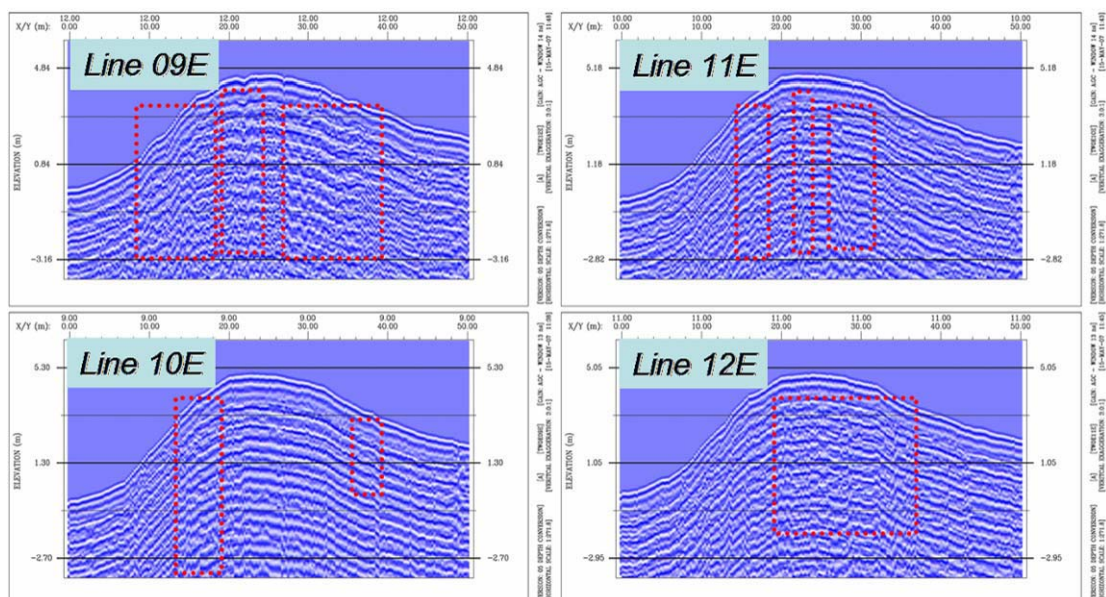


(ก)

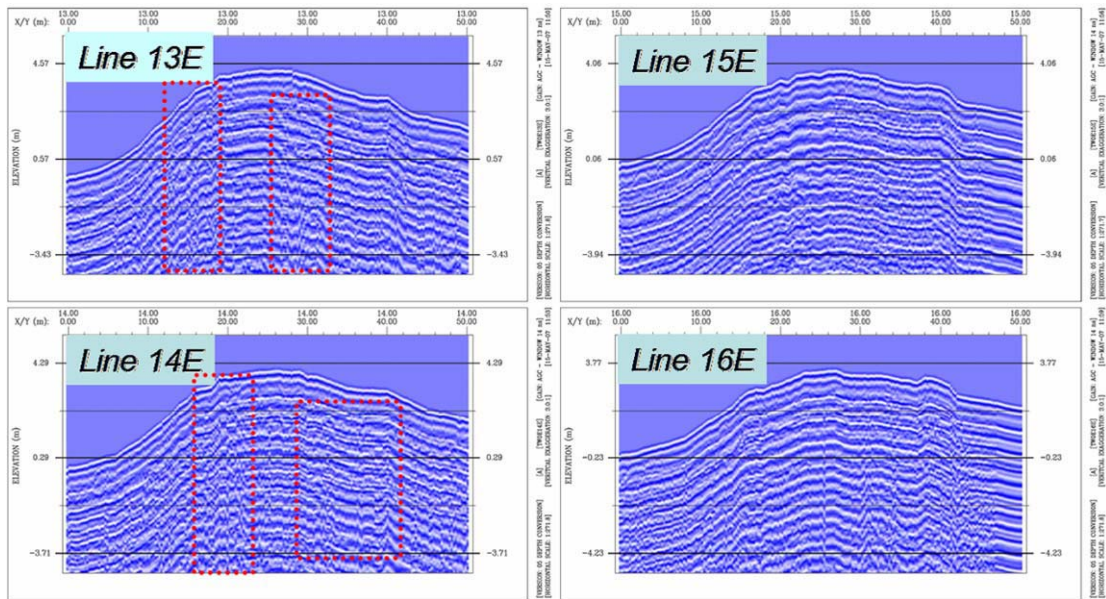


(ข)

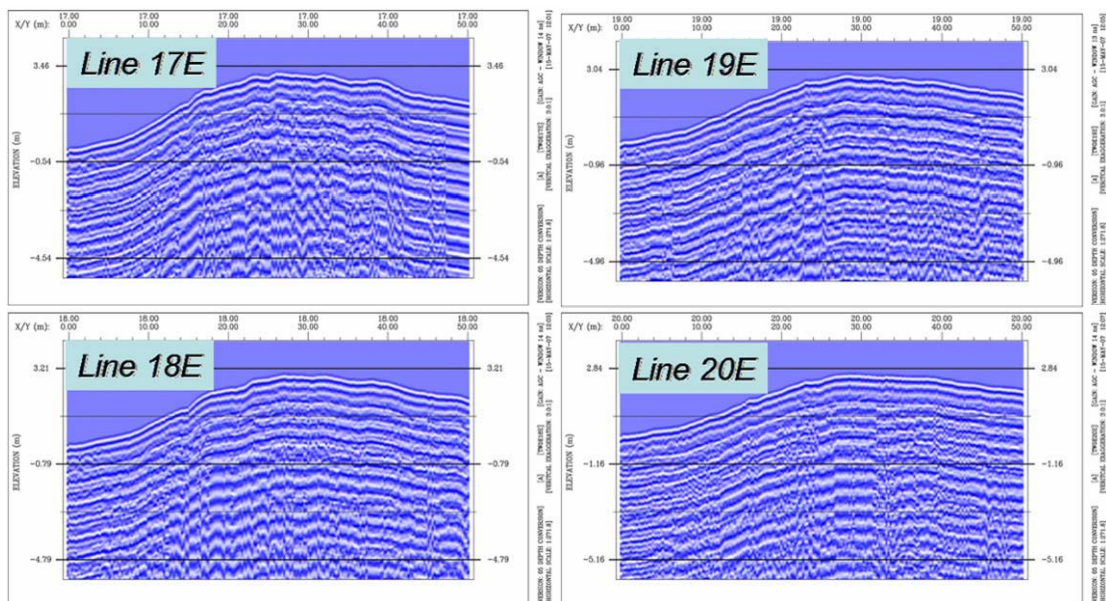
รูปที่ 4-6 (ก) ตำแหน่งและรูปทรงของวัตถุฝังกบิตทางแม่เหล็ก และค่าฝังกบิตทางแม่เหล็ก
ในแนววัด 07E (ข) แผนที่สนามแม่เหล็กฝังกบิตของพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งของแนววัด 07E



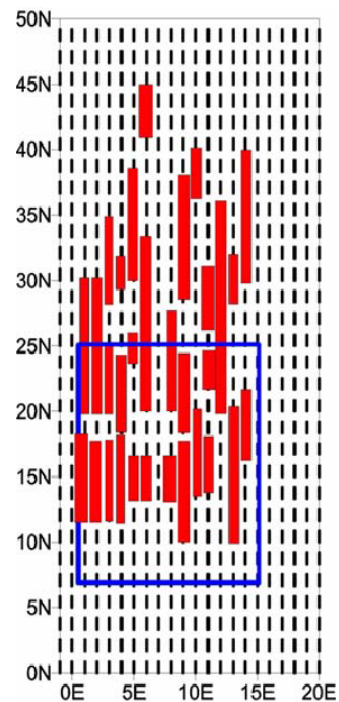
รูปที่ 4-7 แผนที่เรดาร์ของแนววัดที่ 09E, 10E, 11E และ 12E พร้อมตำแหน่งและความลึกของ
บริเวณที่มีสัญญาณเรดาร์ฝังกบิต (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-8 แผนภาพเรดาร์ของแนววัดที่ 13E, 14E, 15E และ 16E พร้อมตำแหน่งและความลึกของบริเวณที่มีสัญญาณเรดาร์ผิดปกติ (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

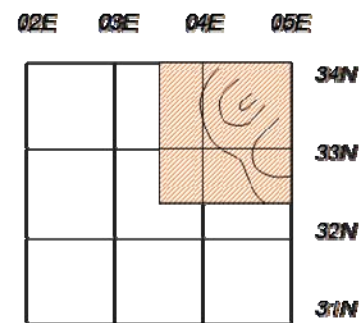
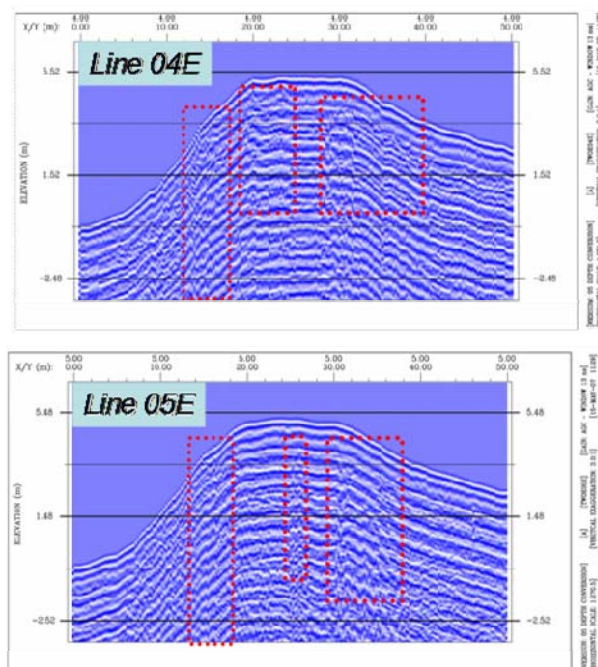


รูปที่ 4-9 แผนภาพเรดาร์ของแนววัดที่ 17E, 18E, 19E และ 20E พร้อมตำแหน่งและความลึกของบริเวณที่มีสัญญาณเรดาร์ผิดปกติ (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

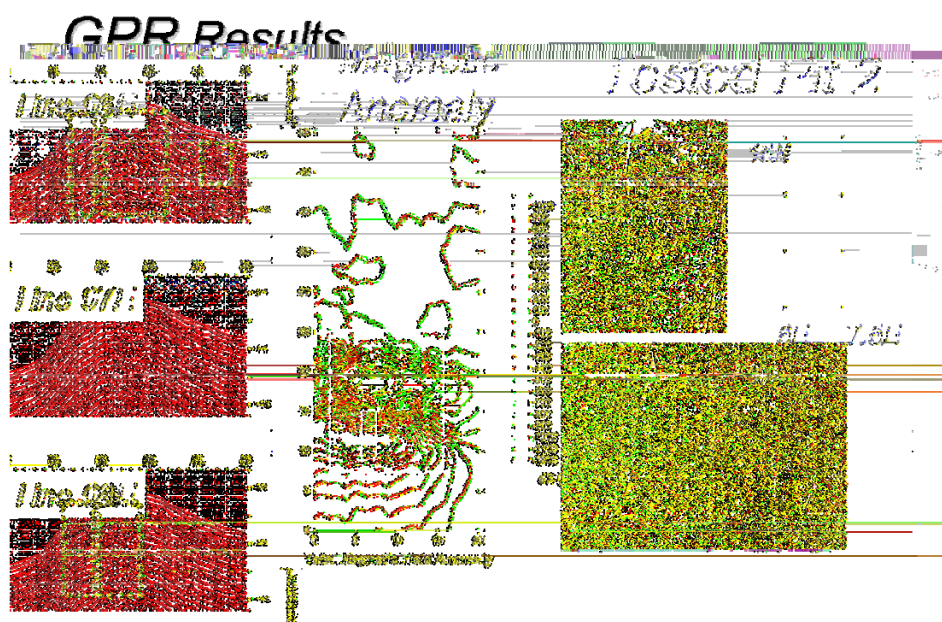


รูปที่ 4-10 ตำแหน่งที่สัญญาณเรดาร์มีลักษณะผิดปกติ (แถบสีแดง)
และบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กผิดปกติ (สีเหลี่ยมสีน้ำเงิน) ในพื้นที่ศึกษา

Tested Pit 1



รูปที่ 4-11 หลุมขุดค้นทางโบราณคดีหลุมที่ 1 (Tested pit 1) เปรียบเทียบกับผลการสำรวจเรดาร์
ในแนววัด 04E และ 05E ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4-12 หลุมขุดค้นทางโบราณคดีหลุมที่ 2 (Tested pit 2) เปรียบเทียบกับผลการสำรวจเรดาร์
ในแนววัด 06E 07E และ 08E ในพื้นที่ศึกษา

4.2 การศึกษาธรณีฟิสิกส์ของจังหวัดบุรีรัมย์

4.2.1 ความนำ

ตามที่มีการค้นพบเตาถลุงเหล็กโบราณในเขตอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ เช่น แหล่งเตาถลุงเหล็กบ้านเขาหินใต้ จึงเป็นที่ถกเถียงเกี่ยวกับวัตถุโบราณซึ่งใช้สำหรับการถลุงเหล็กในสมัยโบราณ ทั้งนี้โดยเชื่อว่าอุตสาหกรรมถลุงเหล็กในสมัยโบราณมักจะตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งวัตถุดิบ กอปรกับไม่ปรากฏมีแหล่งแร่เหล็กในบริเวณพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียง จะมีเพียงแหล่งศิลาแลง ซึ่งการนำศิลาแลงมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการถลุงเหล็กนั้น ศิลาแลงต้องมีปริมาณของเหล็กที่ค่อนข้างสูง และศิลาแลงจะสัมพันธ์กับแหล่งหินที่มีธาตุเหล็กสูง เช่น หินบะซอลต์ที่มีอยู่แพร่หลายในจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียง

เหตุที่หินบะซอลต์และศิลาแลงที่มีปริมาณเหล็กสูงมักจะมีค่าสภาพความเป็นแม่เหล็กสูงกว่าหินตะกอนซึ่งเป็นหินท้องที่ในพื้นที่ศึกษา และทำให้สนามแม่เหล็กโลกในบริเวณที่ปกคลุมด้วยหินบะซอลต์หรือศิลาแลงเบี่ยงเบนไปจากค่าสนามแม่เหล็กปกติ เรียกว่า มีสนามแม่เหล็กผิดปกติในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้แผนที่สนามแม่เหล็กผิดปกติ (กรมทรัพยากรธรณี, 2531) เพื่อกำหนดบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กผิดปกติของโลกหรือมีค่าต่ำกว่าบริเวณข้างเคียงในบริเวณพื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งอาจสัมพันธ์กับขอบเขตของหินบะซอลต์ที่เป็นแหล่งธาตุเหล็กให้กับศิลาแลงในพื้นที่ศึกษาหรือขอบเขตของศิลาแลงที่มีปริมาณเหล็กสูง

4.2.2 แหล่งแร่เหล็กในประเทศไทย

แร่เหล็กที่พบมากและนำมาใช้ประโยชน์ภายในประเทศเป็นแร่เหล็กจำพวกออกไซด์ ได้แก่ Hematite (Fe_2O_3) Magnetite (Fe_3O_4) และ Limonite หรือ goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) สำหรับศิลาแลง (Laterite) อาจจะเป็นแหล่งแร่เหล็กได้เพราะในศิลาแลงอาจมีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กสูงถึง 30-40% แต่เนื่องจากในศิลาแลงมีสารปนเปื้อนสูงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการถลุง (ที่มา : อภินิษฐ์ สุวรรณสิงห์, 25??)

แร่เหล็กที่พบในประเทศไทยเกิดอยู่ 4 แบบด้วยกัน ดังนี้คือ

- 1) เกิดแบบแทนที่ (replacement deposit) ในหินคาร์บอนेटใกล้เขตการแปรสภาพโดยการแทนที่ (contact metasomatic zone) หินท้องถิ่นที่พบอยู่ในยุคออร์โดวิเซียนหรือเพอร์เมียน และคาร์บอนิเฟอรัส ส่วนหินอัคนีแทรกซอนชนิดกรวดหรือปานกลางมักอยู่ในยุคไทรแอสซิก
- 2) เกิดแบบสายแร่ (vein deposit) ในหินชั้นและหินแปรซึ่งมีอายุในช่วงมหายุคพาเลโอโซ-อิกเป็นส่วนใหญ่
- 3) เกิดเป็นชั้นร่วมกับหินชั้น (stratiform deposit) ตัดผ่านในหินซึ่งคาดว่ามีความอยู่ในยุคพรีแคมเบรียน
- 4) เกิดแบบตกตะกอนทับถมอยู่กับที่ (residual deposit) ในลักษณะศิลาแลง (laterite) โดยเกิดจากการผุพังของหินชนิดต่างๆ ซึ่งมีธาตุเหล็กในปริมาณสูง

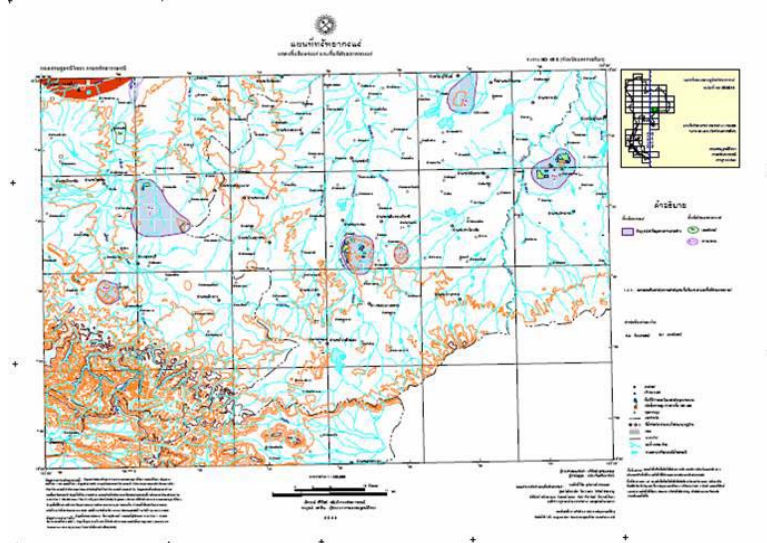
แหล่งแร่เหล็กในประเทศไทยพบที่จังหวัด กระบี่ กาญจนบุรี กำแพงเพชร จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี เชียงใหม่ ตรัง ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี พัทลุง เพชรบูรณ์ แม่ฮ่องสอน ระนอง ระยอง ลพบุรี ลำปาง นครศรีธรรมราช นครสวรรค์ เลย สระบุรี และสุโขทัย (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2544) โดยแหล่งใหญ่ในประเทศไทยที่มีปริมาณเกินกว่า 1 ล้านตันมีเพียง 6 แหล่งเท่านั้น ทั้งนี้ไม่นับแหล่งศิลาแลง คือ (1) แหล่งเขาทับควาย จังหวัดลพบุรี (2) แหล่งอิมคริม จังหวัดกาญจนบุรี (3) แหล่งหนองบอน จังหวัดฉะเชิงเทรา (4) แหล่งภูยาง ในเขตอำเภอเชียงคาน และแหล่งภูอ่างในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเลย (5) แหล่งแม่โก ในเขตอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ และ (6) แหล่งท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช (ที่มา : อภินิษฐ์ สุวรรณสิงห์, 25??)

สำหรับศิลาแลง หินที่เป็นแหล่งกำเนิดศิลาแลงที่ดีมักจะมีส่วนประกอบของเหล็ก และอลูมิเนียมมาก เช่น หินบะซอลต์ หินแกรนิต หินชีสต์ หินดินดาน และหินทรายแดง เป็นต้น เพราะหินเมื่อผุพังจะเป็นต้นกำเนิดของสารละลายแร่เหล็ก ซิลิกา อลูมิเนียม เป็นต้น การผุพังมีทั้งการผุพังอยู่กับที่และผุพังเป็นตะกอนแล้วถูกพัดพาไปสะสมตัว ณ ที่ใดที่หนึ่ง ต่อมาจึงเปลี่ยนสภาพ

หินบะซอลต์ในจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียงเป็นหินบะซอลต์ที่มีแร่โอลิวีนเป็นแร่ประกอบและจัดอยู่ในกลุ่มหินอัลคาไลน์ หินบะซอลต์มีลักษณะการเกิดจากการไหลของลาวาที่มีความหนืดน้อย หรือเกิดจากการระเบิดที่ไม่รุนแรง โดยทั่วไปของหินภูเขาไฟนี้มีลักษณะผุสลายและบางแห่งกลายเป็นศิลาแลงและดินแดง (ที่มา: <http://www.buriram.go.th/general/resource.html>, 8 มีนาคม 2551)

บริเวณที่พบหินบะซอลต์มีดังนี้

- 1) บริเวณเขากระโดง บริเวณนี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 15 ตารางกิโลเมตร ยอดเขาประกอบด้วยเขากระโดงและเขาใหญ่ มีระดับความสูงเทียบกับพื้นที่โดยรอบประมาณ 60 เมตร พื้นที่โดยรอบเนินเขากระโดงนี้จะเป็เนินธารลาวาซึ่งเป็นพีคหินครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 90 ตารางกิโลเมตร ชั้นลาวานี้มีความหนาเท่ากับ 20 เมตรและแผ่กระจายไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของยอดเขามากกว่าทางทิศทางอื่น
- 2) บริเวณเขาพนมรุ้ง บริเวณนี้เป็นลักษณะของกรวยภูเขาไฟอยู่กลางที่ราบของหินตะกอนชุดโคราช โดยยอดของเขพนมรุ้งสูงจากพื้นที่ข้างเคียงประมาณ 180 เมตร บริเวณเขาพนมรุ้งปกคลุมพื้นที่ 15 ตารางเมตร และธารลาวาไหลไปทางทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่
- 3) บริเวณภูพระอังคาร บริเวณนี้มีความสูงจากพื้นที่ข้างเคียงประมาณ 130 เมตร โดยมีธารลาวาไหลปกคลุมพื้นที่ 52 ตารางกิโลเมตร ช่องประตูเป็นแอ่งกว้างถึง 600 เมตร และปล่องของภูพระอังคารนี้อยู่ห่างจากปล่องของเขพนมรุ้งประมาณ 12 กิโลเมตร



รูปที่ 4-13 ตำแหน่งของแหล่งหินบะซอลต์ในจังหวัดบุรีรัมย์
(ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

4.2.3 ธรณีวิทยาของจังหวัดบุรีรัมย์

(ที่มา : Sattayarak, 1985 และ <http://www.buriram.go.th/general/resource.html>, 8 มีนาคม 2551)

พื้นที่ของจังหวัดบุรีรัมย์ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยกลุ่มหินชุดโคราช แผ่กระจายตั้งแต่ตอนใต้สุดตามแนวเทือกเขาพนมดงรัก ซึ่งเป็นหินแข็งตลอดขึ้นไปทางทิศเหนือ และมีลักษณะการเอียงเทของชั้นหินเข้าสู่ใจกลางแอ่งโคราช-อุบล ตั้งแต่บริเวณตอนใต้ของตัวเมืองบุรีรัมย์ ลงไปจนถึงอำเภอนางรอง อำเภอประโคนชัย และอำเภอละหานทราย มีหอยอมหินอัคนีประเภทหินบะซอลต์ ปรากฏเป็นพืดหินและเป็นเนินเขาไม่สูงนัก เช่น เขากระโดง ภูพระอังคาร เขาพนมรุ้ง และเขาไปรบัด เป็นต้น

ลักษณะการลำดับของชั้นหินในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งเรียงจากหินที่มีอายุมากไปยังหินที่มีอายุน้อยเป็นดังนี้

กลุ่มหินชุดโคราช เป็นกลุ่มหินตะกอนที่มีอายุประมาณยุคไทรแอสซิกถึงยุคครีเทเชียส หรือประมาณ 230 ล้านปีมาแล้ว ซึ่งประกอบด้วยหมวดหินที่พบในพื้นที่จำนวน 5 หมวดหินดังนี้

หมวดหินพระวิหาร (Jpw) ประกอบด้วยหินทรายสีขาว สีชมพู มีชั้นเนียงระดับชัดเจน ชั้นหนา พบหินกรวดมน หรือหินทรายปนกรวดอยู่ส่วนบน ความหนาไม่เกิน 60 เมตร โผล่ให้เห็นตามแนวเขาพนมดงรัก และบริเวณหน้าผา

หมวดหินมหาสารคาม (KTms) ประกอบด้วยหินทรายแป้ง และหินทราย มีชั้นโพแทช ยิปซัมและเกลือหิน หนาเฉลี่ย 200 เมตร หมวดหินนี้มีความหนาประมาณ 600 เมตร เกิดจากการสะสมตัวของแอ่งซึ่งอาจแยกกันเป็น 2 แอ่งคือ แอ่งสกลนครกับแอ่งโคราช อายุของหินมหาสารคามนี้มีอายุประมาณยุคครีเทเชียสตอนปลาย จากหลักฐานสนามแม่เหล็กบรรพกาล และจากไอโซโทป ของแร่มีอายุประมาณ 100 ล้านปี

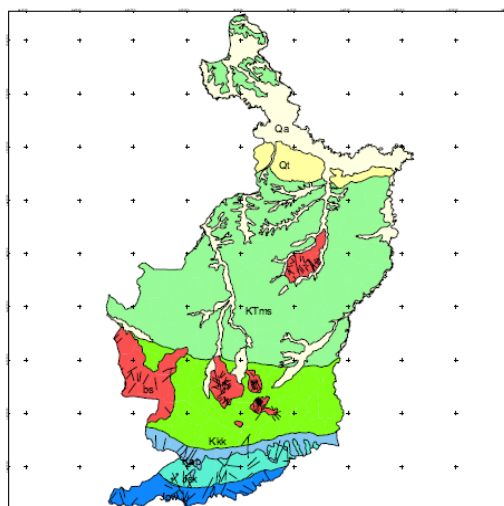
หมวดหินเสาขัว (Jsk) ประกอบด้วยหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดงมีหินโคลนแทรกบ้าง อาจพบชั้นหินปูนบ้าง และมีซากหอยแทรกอยู่บ้าง พบในบริเวณหุบเขาของเทือกเขาพนมดงรัก

หมวดหินภูพาน (Kpp) มีหินกรวดมนและหินทรายปนกรวด เป็นลักษณะเด่น สีขาวถึงเทาอ่อน มีเศษกรวดสีเข้มปะปนบ้าง สีน้ำตาลอ่อนอมเหลืองบ้าง พบในบริเวณที่เป็นเทือกเขาซึ่งอยู่ถัดจากบริเวณหุบเขาในเทือกเขาพนมดงรัก

หมวดหินโคลกรวด (Kkk) ประกอบด้วยหินทรายสีน้ำตาลแดงเป็นส่วนใหญ่มีหินทรายแป้ง หินโคลนและหินกรวดปนเม็ดปูนแทรกอยู่บ้าง อาจพบชั้นยิปซัมแทรกอยู่ด้วย พบในบริเวณถัดจากแนวเขาพนมดงรักออกไปทางตอนเหนือคลุมพื้นที่ถึงตัวเมืองบุรีรัมย์ มีความกว้างในแนวเหนือ-ใต้ประมาณ 30 กิโลเมตร

หินอัคนี หินอัคนีส่วนใหญ่เป็นหินบะซอลต์ที่มีแร่โอลิวีนเป็นแร่ประกอบหลัก และจัดอยู่ในกลุ่มหินอัลคาไลน์บะซอลต์ ซึ่งเกิดจากการไหลของลาวาที่มีความหนืดน้อย ซึ่งเกิดจากการระเบิดที่ไม่รุนแรง หินบะซอลต์มีอายุประมาณ 7-9 แสนปี พบที่บริเวณเขากระโดง บริเวณเขาพนมรุ้ง และบริเวณภูพระอังคาร

ตะกอนลำน้ำ (Qa) พบในบริเวณพื้นที่ลุ่มและเนินติดกับที่ลุ่มเป็นส่วนใหญ่ พบตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถม เช่น ทราย กรวด มีอายุอยู่ในยุคควอเทอร์นารี ถึงปัจจุบัน บริเวณที่พบมากได้แก่พื้นที่ตอนเหนือของจังหวัดบุรีรัมย์ บริเวณใกล้ลำน้ำมูลและลำน้ำสาขาต่างๆ ในเขตอำเภอคูเมือง อำเภอพุทไธสง และอำเภอสตึก เป็นต้น



คำอธิบายหน่วยหิน

- Jpw : หินทรายเนื้อควอร์ตซ์ ชั้นหนาสีขาว ชมพูและเทา หินทรายแป้ง หินโคลน; ยุคจูแรสซิก-ครีเทเชียส
- Jsk : หินทรายแป้ง หินทราย หินดินดาน สีน้ำตาลแดง ม่วงแดง มีเนื้อปูนปน; ยุคจูแรสซิก-ครีเทเชียส
- Ktms : หินทรายแป้ง หินเคลย์ สีน้ำตาลแดง มีชั้นเกลือหิน แร่โปแตส ยิปซัมและแอนไฮไดรต์แทรก; ยุคครีเทเชียส-เทอร์เชียรี
- Kkk : หินทรายแป้ง หินทราย สีน้ำตาลแดง เนื้อปูนปน หินเคลย์และหินกรวดมน; ยุคครีเทเชียส
- Kpp : หินทราย สีเทาขาว ชั้นหนา หินทรายแป้ง หินกรวดมนขนาดเล็ก ประกอบด้วยเม็ดกรวดหลายขนาด; ยุคครีเทเชียส
- Qa : ตะกอนที่ราบสะสมตัวโดยทางน้ำ ตะกอนกรวด ทราย ดินสะสมตามร่องน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง; ยุคควอเทอร์นารี
- Qt : ตะกอนตะกัก กรวด ทรายแป้ง ดินเคลย์และดินแดง; ยุคควอเทอร์นารี
- bs : หินบะซอลต์ สีเทาดำ เนื้อแน่น แข็ง หินโอสิวินบะซอลต์; ยุคควอเทอร์นารี

รูปที่ 4-14 แผนที่หน่วยหินของจังหวัดบุรีรัมย์
(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

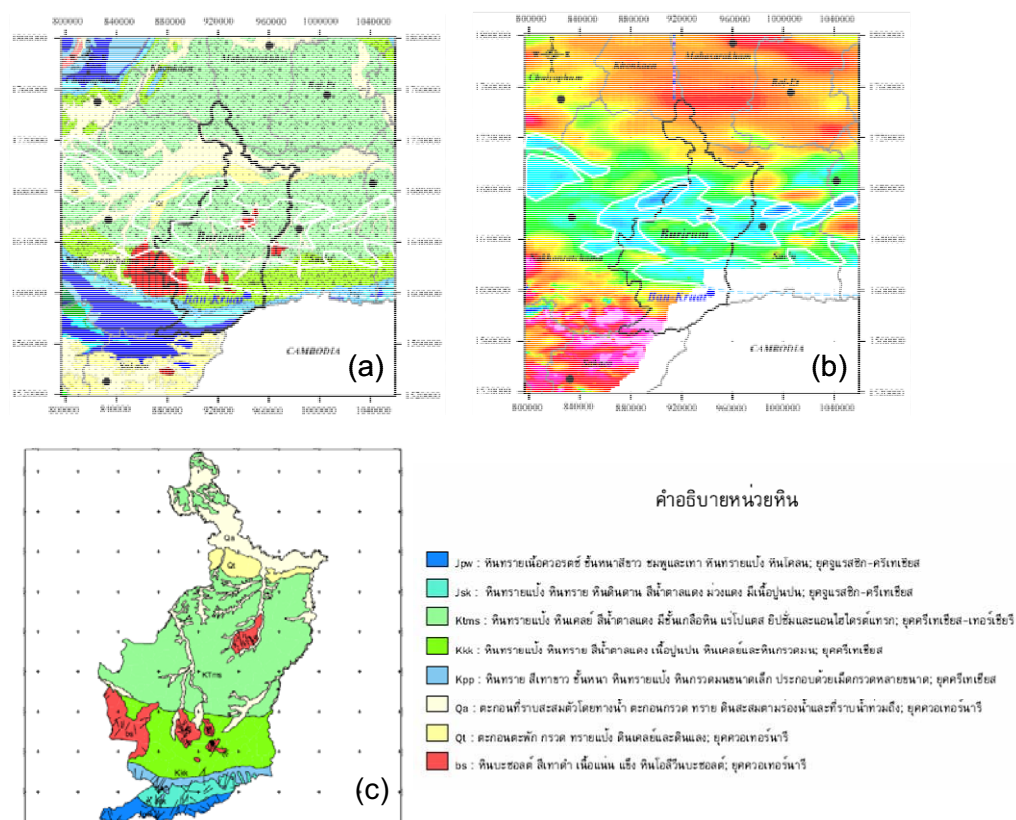
4.2.4 ธรณีฟิสิกส์ของจังหวัดบุรีรัมย์

แผนที่เจดสีของสนามแม่เหล็กผิดปกติของจังหวัดบุรีรัมย์แสดงไว้ดังรูปที่ 4-15b (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2551) ซึ่งจะสังเกตว่าค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติมีค่าสูง หรือ -39 ถึง 144 nT (เจดสีส้มถึงเจดสีม่วง) ในบริเวณพื้นที่ตอนเหนือและพื้นที่ตอนใต้ของจังหวัดบุรีรัมย์ และสนามแม่เหล็กผิดปกติมีค่าต่ำ หรือ -255 ถึง -39 nT (เจดสีเขียวถึงเจดสีน้ำเงิน) ในบริเวณพื้นที่ตอนกลางของจังหวัดบุรีรัมย์

ในพื้นที่ตอนเหนือของจังหวัดบุรีรัมย์ ค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติที่มีค่าสูงซึ่งปรากฏอยู่ในพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหมวดหินมหาสารคาม(KTms) ซึ่งเป็นหินตะกอนยุคครีเทเชียส-เทอร์เชียรี และ

หว่า คำ

พื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหมวดหินภูพาน (Kpp) หมวดหินเสาขัว (Jsk) และ หมวดหินพระวิหาร (Jpw)



รูปที่ 4-15 (a) แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดใกล้เคียงและขอบเขตของบริเวณที่สนามแม่เหล็กผิดปกติมีค่าต่ำซึ่งแทนด้วยวงปิดสีขาว (b) แผนที่สนามแม่เหล็กผิดปกติของพื้นที่ศึกษา (c) แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดบุรีรัมย์ (ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี, 2531, 2551)

สำหรับในพื้นที่ตอนกลางของจังหวัดบุรีรัมย์ สนามแม่เหล็กผิดปกติที่มีค่าต่ำ หรือระหว่าง -39 nT ซึ่งแสดงด้วยเฉดเขียวถึงเฉดสีน้ำเงิน (รูปที่ 4-15a และ 4-15b) ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหมวดหินมหาสารคาม (KTms) และตะกอนควอเตอร์นารี (Qa และ Qt) และค่าสนามแม่เหล็กผิดปกติซึ่งมีค่าต่ำนี้ยังต่อขยายไปยังพื้นที่ของจังหวัดสุรินทร์ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกและพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมาซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของจังหวัดบุรีรัมย์ นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าสนามแม่เหล็กผิดปกติที่มีค่าอยู่ระหว่าง -126 ถึง -184 nT (เฉดสีฟ้า) ปรากฏอยู่พื้นที่ซึ่งปกคลุมด้วยหมวดหินภูพาน (Kpp)