โบราณโลหะวิทยาของเมืองลอง: ความสำคัญของเหล็กต่อประวัติศาสตร์และผู้คนในดินแดนล้านนา

โดย

นายพลพยุหะ ไชยรส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาโบราณคดี แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาโบราณคดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

โบราณโลหะวิทยาของเมืองลอง: ความสำคัญของเหล็กต่อประวัติศาสตร์และผู้คนในดินแดนล้านนา

โดย
นายพลพยุหะ ไชยรส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาโบราณคดี แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาโบราณคดี
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ARCHAEOMETALLURGY OF MUANG LONG: THE SIGNIFICANCE OF IRON IN THE HISTORY AND PEOPLE OF LANNA

By

MR. Phonphayuha CHAIYAROS

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Arts ARCHAEOLOGY

Department of Archaeology

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	โบราณโลหะวิทยาของเมืองลอง: ความสำคัญของเหล็กต่อประวัติศาสตร์และผู้คนในดินแดนล้านนา
โดย	นายพลพยุหะ ไชยรส
สาขาวิชา	โบราณคดี แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ภีร์ เวณุนันทน์

คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะโบราณคดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงพล อินทร์จันทร์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กรรณิการ์ สุธีรัตนาภิรมย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. ภีร์ เวณุนันทน์)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรัสสา คชาชีวะ)

61101201 : โบราณคดี แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : การถลุงเหล็ก, ห่วงโซ่กระบวนการผลิต, โบราณโลหะวิทยา, โครงสร้างทางสังคมของเทคโนโลยี, เมืองลองโบราณ

นาย พลพยุหะ ไชยรส: โบราณโลหะวิทยาของเมืองลอง: ความสำคัญของเหล็กต่อประวัติศาสตร์และผู้คนในดินแดนล้านนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. ภีร์ เวณุนันทน์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะสร้างภาพห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็กและโครงสร้างทางสังคมของเทคโนโลยีของการผลิตเหล็กที่เมืองลองโบราณโดยใช้กระบวนการศึกษาทางโบราณคดี ภาคสนามร่วมกับวิธีวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยา (การวิเคราะห์ทางกายภาพ จุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี) ของหลักฐานทางโลหกรรม ณ แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ซึ่งเป็นแหล่งถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณ

การสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีที่บ้านนาตุ้มพบหลักฐานทางโบราณโลหะวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็กในทุกขั้นตอน เช่น ซากเตาถลุง เทคนิคคอลเซรามิก (ผนังเตาและท่อลม) ตะกรัน เศษแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ที่สันนิษฐานว่ามาจากเหมืองแร่เหล็กโบราณดอยเหล็ก พร้อมทั้งเศษภาชนะดินเผา กำหนดอายุแหล่งโบราณคดีราวพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 ผลการวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยาและข้อสังเกตจากการทดลองทางโบราณคดีชี้ให้เห็นว่าการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นใช้การวิธีการถลุงเหล็กแบบทางตรงที่ใช้อุณภูมิในการถลุงประมาณ 1,175 – 1,200 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนแร่ต่อเชื้อเพลิงประมาณ 1 : 2 ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงและไม่มีการใช้เชื้อถลุง

จากการวิเคราะห์และตีความหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีพบข้อมูลที่มีนัยยะสำคัญว่าการถลุงเหล็กของเมืองลองเป็นการผลิตเหล็กในระบบบรรณาการของดินแดนล้านนาซึ่งตกอยู่ภายใต้การปกครองของรัฐบาลสยาม เหล็กของเมืองลองถือว่าเป็นเหล็กที่มีคุณภาพและราคาสูง มีพันธะผูกพันธ์ในการผลิตเพื่อส่งเป็นบรรณาการไปยังเมืองนครลำปาง เจ้าผู้ครองเมืองนครลำปางควบคุมสั่งการการผลิตอย่างเข้มข้น โดยเมืองลองจะต้องจัดส่งเหล็กปีละ 2.4 ตัน โดยเหล็กที่จัดส่งจะถูกแปรรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้โดยราชสำนักเมืองนครลำปางเพื่อส่งขายในท้องตลาด หลังจากรัฐบาลสยามยกเลิกระบบบรรณาการทำให้การผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณลดระดับความสำคัญลงเป็นการผลิตในครัวเรือนแทน

61101201 : Major ARCHAEOLOGY

Keyword : Iron smelting, Chaîne opératoire, Archaeometallurgy, Social organization of technology, Maeung Long

MR. Phonphayuha CHAIYAROS : Archaeometallurgy of Muang Long: the Significance of Iron in the History and People of Lanna Thesis advisor : Pira Venunan, Ph.D.

This research aims to reconstruct the chaîne opératoire of iron production and its social organization of technology in ancient Maeung Long, a tributary town under the administration of Nakhon Lampang. Field archaeology, archaeometrical analysis, including macro and microstructural examination and elemental analysis, and experimental archaeology were employed to study. Surveyed and excavated collections from the Ban Na Tum archaeological site.

Field archaeology identified archaeometallurgical components, including multiple furnaces, technical ceramics (furnace fragments and tuyères), slag, and iron ores, possibly imported nearby iron ore deposits at Doi Lek. Ceramic fragments were also retrieved. The AMS dating of in-slag charcoal collected from slag cakes suggested that the smelting activity was practisced around the 18th to 19thcenturies. The archaeometallurgical analysis and archaeological experiment data demonstrates that the iron smelting technology at Ban Na Tum was based on the direct method at the estimated temperature of 1,175 – 1,200 celsius degrees. The ratio of ore and fuel is around 1:2 with no use flux.

The iron production locale at Maeung Long was operated under the Lanna tributary system which answered the Siamese government in Bangkok. Praised for its high quality, the high-valuable iron from Maeung Long was sent to Nakhon Lam Pang who had stronger administrative control over the production demanding at least 2.4 tonnes of iron per annual. Exported iron to Nakhon Lampang was then consumed with the state, i.e. the manufacturing of iron tools and objects as well as being sold to wider markets. This organisation had been continued until the Siamese government ceased the tribute system in 1889 in which consequentially saw an immediate decline of local iron production to only household-level production.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ

ศ.ดร ม.ร.ว สุริยวุฒิ สุขสวัสดิ์ ศ.ดร รัศมี ชูทรงเดช รศ. สุรพล นาถะพินธุ รศ.ดร จิรัสสา คชาชีวะ รศ.ดร ธนิก เลิศชาญฤทธิ์ รศ.ดร กรรณิการ์ สุธีรัตนภิรมย์ รศ.ดร สฤษดิ์พงษ์ ขุนทรง ผศ. ชวลิต ขาวเชียว อ.ดร ประสิทธิ์ เอื้อตระกูลวิทย์ อ.ดร สายันต์ แดงกลม รศ.ดร รุ่งโรจน์ ภิรมย์อนุกุล และอ.ดร.ภีร์ เวณุนันทน์ “ครูโบราณคดี” ของข้าพเจ้า ผู้มีส่วนช่วยเหลือทางวิชาการและสร้างแรงบันดาลใจในการทำงานโบราณคดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

คุณภูเดช แสนสา ดร.โฉมฉาย กาศโอสถ คุณประพจน์ เรืองรัมย์ คุณเพชร เรืองรัมย์และคุณสนิท เสนากุล ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านระหว่างทำการวิจัยในพื้นที่จังหวัดแพร่และจังหวัดอุตรดิตถ์

ท่านอนันต์ ชูโชติ อดีตอธิบดีกรมศิลปากร คุณสุพจน์ พรหมมาโนช คุณชินณวุฒิ วิลยาลัย และคุณจตุรพร เทียมทินกฤต ที่เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาความรู้แก่นักโบราณคดี กรมศิลปากร โดยอนุญาตให้ข้าพเจ้าลาศึกษาต่อ รวมทั้งช่วยอำนวยความสะดวก ความช่วยเหลือ กำลังใจและคำปรึกษาแนะนำตลอดระยะเวลาที่ศึกษาต่อ

คุณชิดชนก ถิ่นทิพย์ คุณยอดดนัย สุขเกษม คุณอริย์ธัช นกงาม คุณอธิพัฒน์ ไพบูลย์และคุณสายกลาง จินดาสุ กัลยาณมิตรและรุ่นพี่รุ่นน้องโบราณคดี ที่ค่อยให้กำลังใจ เป็นที่ปรึกษาที่ดีเยี่ยมในทุกช่วงเวลาที่ยากลำบากของข้าพเจ้า

สุดท้าย บิดาและมารดาของข้าพเจ้า ผู้สนับสนุนและปลูกฝังความสำคัญของการศึกษาแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าได้เป็นนักโบราณคดีจวบจนปัจจุบันนี้

นาย พลพยุหะ ไชยรส

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 5

1.3 ขอบเขตการศึกษา 6

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 6

1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย 6

1.6 วิธีการศึกษา 6

1.7 แหล่งข้อมูล 9

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการค้นคว้า 9

1.9 การนำเสนอผลงาน 9

1.10 แหล่งทุน 10

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย 11

2.1 โบราณโลหะวิทยา 11

2.2 ห่วงโซ่กระบวนการผลิต (Chaîne Opératoire) 13

2.3 ทฤษฎีช่างฝีมือทักษะพิเศษ (Craft Specialization) 15

2.4 กรอบวิจัยเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ 17
บทที่ 3 เทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงสมัยโบราณในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นทวีป 20
3.1 การรู้จักใช้เหล็กในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (ดินแดนล้านนา) 20
3.1.1 ยุคก่อนประวัติศาสตร์ 22
3.1.2 ยุคประวัติศาสตร์ 23
3.2 สังเขปลักษณะกระบวนการถลุงเหล็กสมัยโบราณ 24
3.2.1 การเลือกสรรแร่เหล็ก 24
3.2.2 การทำเหมืองแร่เหล็ก 26
3.2.3 การเตรียมแร่ 27
3.2.4 การถลุงเหล็ก 29
3.3 ลักษณะโครงสร้างเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณจากหลักฐานทางโบราณคดี 35
3.3.1 เตาถลุงเหล็กที่มีการขุดเจาะลงในพื้นดิน (Burial Installation) 35
3.3.2 เตาถลุงเหล็กแบบเจาะเข้าไปในผนังดิน (Dug in Furnace) 36
3.3.3 เตาถลุงที่ตั้งอยู่เหนือพื้นดิน (Installation above ground level) 37
3.4 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นทวีป 39
3.4.1 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย 39
3.4.2 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศลาว 43
3.4.3 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในพื้นที่ประเทศพม่า 43
3.4.4 เตาถลุงเหล็กในอาณาจักรเขมรโบราณ 45
3.4.5 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศมาเลเซีย 46
บทที่ 4 พัฒนาการทางวัฒนธรรมเมืองลองโบราณจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี 50
4.1 พัฒนาการทางวัฒนธรรมเมืองลองโบราณ ระยะที่ 1 (ก่อนพุทธศตวรรษที่ 20) 50
4.2 พัฒนาการทางวัฒนธรรมของเมืองลองโบราณ ระยะที่ 2 (ครึ่งหลังพุทธศตวรรษที่ 20 ถึง 22) 54

4.3 พัฒนาการทางวัฒนธรรมของเมืองลองโบราณ ระยะที่ 3 (หลังพุทธศตวรรษที่ 22 ถึง 25)... 57

บทที่ 5 วิธีวิทยาประยุกต์ : ภาคสนามและเทคนิคการวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยาในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณ..... 62

5.1 ภาคสนามทางโบราณคดีและการคัดเลือกตัวอย่างหลักฐานในการวิเคระห์..... 62

5.1.1 การสำรวจทางโบราณคดี..... 63

5.1.2 การขุดค้นทางโบราณคดี..... 63

5.2 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา..... 65

5.2.1 การกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตร์..... 65

5.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา..... 65

5.3 การทดลองทางโบราณคดี..... 69

บทที่ 6 ผลการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี..... 70

6.1 ปัญหาการกำหนดอายุสมัยแหล่งโบราณคดี..... 70

6.2 ผลการสำรวจทางโบราณคดี..... 73

6.2.1 แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (Ban Na tum)..... 73

6.2.2 แหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก (Doi Lak)..... 84

6.3 ผลการขุดค้นทางโบราณคดี..... 94

6.3.1 ชั้นวัฒนธรรมที่ 1..... 94

6.3.2 ชั้นวัฒนธรรมที่ 2..... 107

บทที่ 7 ผลการศึกษาด้านโบราณโลหะวิทยาและห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณ..... 108

7.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเตาถลุงเหล็กจากข้อมูลการขุดค้นทางโบราณคดี..... 108

7.2 การวิเคราะห์ปลายหุ้มท่อลมดินเผาของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม..... 109

7.3 ผลการวิเคราะห์ด้านโบราณโลหะวิทยาในห้องปฏิบัติการ..... 112

7.3.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างตะกรัน..... 112

7.3.2 ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของตะกรัน..... 113

7.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกรัน 114
7.4 ผลการทดลองทางโบราณคดี 120
7.4.1 การออกแบบเตาถลุงเหล็กบนพื้นฐานของหลักฐานทางโบราณคดี 120
7.4.2 การสรรหาวัตถุดิบในการสร้างเตา แร่เหล็กและเชื้อเพลิง 122
7.4.3 ระบบสูบลม 123
7.4.4 การเติมแร่และเชื้อเพลิงขณะทำการถลุง 124
7.4.5 การทดลองถลุงเหล็ก 124
7.4.6 สรุปผลการทดลองทางโบราณคดีเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022) 126
7.4.7 การถลุงเหล็กในเตาถลุงที่ BNT OPERATION02/2022 128
7.4.8 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ 129
7.5 กระบวนการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาต้ม (Iron Smelting Chaîne pératoire) . 130
7.5.1 องค์ประกอบในการถลุงเหล็ก 130
7.5.2 กรรมวิธีการถลุงเหล็ก 143
บทที่ 8 เหล็กเมืองลอง: ภาพสะท้อนบริบททางประวัติศาสตร์ สังคมและเศรษฐกิจของเมืองลอง ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 จากหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์ 147
8.1 ระบบการผลิตเหล็กของเมืองลอง 147
8.1.1 ผู้ผลิต โครงสร้างทางสังคม และผู้บริโภคที่มีผลต่อระบบการผลิตเหล็ก 147
8.1.2 ช่างฝีมือ 153
8.1.3 ผลผลิต การขนส่งผลผลิตและเส้นทางการค้า 154
8.1.4 ความถี่และความเข้มข้นในการผลิต 159
8.2 ความเชื่อเรื่องผีและระบบสวามิภักดิ์ต่างตอบแทน 160
บทที่ 9 สรุปและข้อเสนอแนะ 162
รายการอ้างอิง 163
ประวัติผู้เขียน 170

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะและการประมาณการปริมาตรตะกรันของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม . 77

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพเชิงขนาดของโครงสร้างเตาถลุงเหล็กทั้ง 9 เตาของแหล่งโบราณคดีบ้านนนาตุ้ม 108

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพเชิงขนาดของปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่พบในแหล่งโบราณคดีบ้านนนาตุ้ม 110

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (จำนวน 105 ชิ้น) 115

ตารางที่ 5 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของสินแร่เหล็กที่ขุดค้นในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม จำนวน 10 ตัวอย่าง 117

ตารางที่ 6 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของสินแร่เหล็กที่พบในแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก จำนวน 4 ตัวอย่าง 118

ตารางที่ 7 แสดงค่าเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงและแร่เหล็กที่ใช้ในการทดลองถลุงเหล็ก 128

ตารางที่ 8 แสดงค่าความกว้าง หนาและความน่าจะเป็นของความสูงเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 134

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ผังแนวความคิดห่วงโซ่กระบวนการผลิตของเฮร์เทอร์ มิลเลอร์ 14

ภาพที่ 2 กรอบวิจัยเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ 18

ภาพที่ 3 การคัดแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21) 27

ภาพที่ 4 การย่อยแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21) 28

ภาพที่ 5 การทำความสะอาดแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21) 28

ภาพที่ 6 การย่างแร่ (ขวา) ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21) 29

ภาพที่ 7 การทดลองทางโบราณคดีเพื่อถลุงเหล็กในแบบทางตรงปรากฏก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) 30

ภาพที่ 8 ตะกรันก้นเต้า (Slag Cake) ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม จังหวัดแพร่ 31

ภาพที่ 9 ตะกรันแบบหยดน้ำ (Slag Prill) 31

ภาพที่ 10 ตะกรันในหลุมดักตะกรัน (Slag Block) 32

ภาพที่ 11 ตะกรันแผ่น (Slag Tap) 33

ภาพที่ 12 เตาถลุงเหล็กทางอ้อมของจีนในสมัยราชวงศ์ชิง 34

ภาพที่ 13 ตะกรันที่ได้จากการถลุงเหล็กทางอ้อม 34

ภาพที่ 14 เตาถลุงเหล็กทรงอ่าง (Bowl Furnace) ยุคแรกเริ่มในแหล่งโบราณคดีบริเวณพื้นที่ 36

ภาพที่ 15 เตาถลุงเหล็กทรงอ่าง (Bowl Furnace) ที่มีการพัฒนาช่องดักตะกรันด้านหน้าเตา 36

ภาพที่ 16 เตาถลุงเหล็กแบบเจาะเข้าไปในผนังดิน (Dug in Furnace) 37

ภาพที่ 17 เตาถลุงเหล็กทรงโดม (Domed Furnace) ในประเทศเยอรมัน 37

ภาพที่ 18 เตาถลุงเหล็กทรงผนังสูง (Surft Furnace) ในประเทศไนจีเรีย 38

ภาพที่ 19 เตาถลุงเหล็กที่มีหลุมดังตะกรัน (Slag Pit Furnace) 38

ภาพที่ 20 เตาถลุงเหล็กที่มีช่องระบายตะกรัน (Slag Tapping Furnace) 39

ภาพที่ 21 เตาถลุงเหล็กทางตรงของแหล่งโบราณคดีเมืองอู่ตะเภาโดยกรมศิลปากร เมื่อปี พ.ศ. 2534 40

ภาพที่ 22 ตะกรันก้นเตาที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านปางป่วย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน 41

ภาพที่ 23 ภาพลายเส้นสันนิษฐานรูปแบบโครงสร้างเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านปางป่วย 41

ภาพที่ 24 เศษตะกรันเหล็กที่ได้จากการตีหลอมเหล็กอ่อน (Smithing) ขุดค้นพบในแหล่ง 42

ภาพที่ 25 ภาพลายเส้นแสดงโครงสร้างเตาถลุงเหล็กในแหล่งโบราณคดีซาพิม ประเทศลาว 43

ภาพที่ 26 โครงสร้างภายในของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณพื้นที่เมืองซิโอ ประเทศพม่า 44

ภาพที่ 27 ภาพลายเส้นแสดงโครงสร้างของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณพื้นที่เมืองซิโอ ประเทศพม่า . 45

ภาพที่ 28 ภาพลายเส้นแสดงการถลุงเหล็กของชาวกุย ประเทศกัมพูชา 46

ภาพที่ 29 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีสุไหงบาตู บูจังวาเลย์ ประเทศมาเลเซีย 47

ภาพที่ 30 เตาถลุงเหล็กทางตรงแบบก่อด้วยด้วยดินเหนียวปั้นเป็นก้อนของประเทศอินเดีย 48

ภาพที่ 31 ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงแนวคูคันดินของชุมชนโบราณเวียงคือเวียง จังหวัดแพร่ 51

ภาพที่ 32 แนวหลุมเสาบ้านใต้ชั้นคันดินของชุมชนโบราณเวียงคือเวียง 51

ภาพที่ 33 ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงลักษณะของชุมชนโบราณเมืองลองยุคที่ 1 52

ภาพที่ 34 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะแนวคูคันดินชุมชนโบราณเมืองลองยุคที่ 1 52

ภาพที่ 35 ภาพถ่ายฐานเขียงเจดีย์ก่อด้วยศิลาแลงของเจดีย์ประธานองค์เดิมภายในวัดพระธาตุไฮสร้อย 53

ภาพที่ 36 ตำแหน่งหัวเมืองล้านนา 57 เมือง ที่ตกอยู่ภายใต้การปกครองของราชอาณาจักรพม่า... 57

ภาพที่ 37 ตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ 62

ภาพที่ 38 ตารางกริดพื้นที่โครงการขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ. 2562 64

ภาพที่ 39 การหล่อขึ้นเรือนของตัวอย่างหลักฐานประเภทตะกรันเหล็ก 66

ภาพที่ 40 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์แบบพกพา (Handheld x-ray Fluorescence: HHXRF) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น Delta Professional โหมด Geochem 68

ภาพที่ 41 เครื่องถ้วยจีนเนื้อแกร่ง เขียนสีน้ำเงินใต้เคลือบจากแหล่งเตามณฑลฝู้เจี่ยน กำหนดอายุอยู่ในปลายรัชศกเจียฉิ้งถึงต้นรัชศกเต้ากวงแห่งราชวงศ์ชิง ราวปลายพุทธศตวรรษที่ 24..... 71

ภาพที่ 42 เศษเครื่องถ้วยเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (ซ้าย) และเศษเครื่องถ้วยพิมพ์ลายจากประเทศญี่ปุ่น (ขวา)..... 71

ภาพที่ 43 ผลการหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธี “Accelerator Mass Spectrometry-AMS” 72

ภาพที่ 44 ตำแหน่งที่ตั้งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มบนแผนที่ทางทหารลำดับชุด L7018 ระวาง อำเภอลอง 4945 II แสดงตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม มาตราส่วน 1: 500000..... 74

ภาพที่ 45 แผนที่ภูมิประเทศแสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่..... 75

ภาพที่ 46 แผนที่ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่..... 76

ภาพที่ 47 ภาพถ่ายทางอากาศแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มโดยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) เมื่อปี พ.ศ. 2565 77

ภาพที่ 48 ชิ้นส่วนผนังเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มที่ผู้วิจัยนำไปกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตรด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL Dating)..... 78

ภาพที่ 49 โครงสร้างเตาถลุงเหล็ก BNT#007 ที่พบจากการสำรวจทางโบราณคดี 78

ภาพที่ 50 ลักษณะทางกายภาพของตะกรันก้นเตาที่สำรวจพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มโดยผิวด้านบนปรากฏคราบสนิมเหล็กบริเวณพื้นผิวที่เคยสัมผัสกับก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) และเศษถ่าน..... 79

ภาพที่ 51 ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Clay nozzle or Tuyère) ประเภทที่ 1 80

ภาพที่ 52 ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Clay nozzle or Tuyère) ประเภทที่ 2 80

ภาพที่ 53 ทั่งหินและพะเนินหินของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 81

ภาพที่ 54 เศษเครื่องถ้วยเนื้อแกร่ง พิมพ์ลายพันธุ์พฤกษาสีน้ำเงินจากแหล่งเตาในประเทศจีนหรือญี่ปุ่น 81

ภาพที่ 55 เศษเครื่องถ้วยเซี่ยงไฮ ประเทศจีน 82

ภาพที่ 56 มวลเหล็ก (Iron Ingot) ที่มีการตีขึ้นรูปเป็นลักษณะแท่งยาวเก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์วัดแสล่ง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ 83

ภาพที่ 57 ตำแหน่งที่ตั้งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มบนแผนที่ทางทหารลำดับชุด L7018 ระวาง อำเภอลอง 4945 II แสดงตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม มาตราส่วน 1: 500000 85

ภาพที่ 58 ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) บริเวณโดยรอบแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก 86

ภาพที่ 59 ตำแหน่งแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กแผนที่ลักษณะภูมิประเทศและแนวลอยเลื่อน 87

ภาพที่ 60 ลักษณะทางกายภาพของแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กบนภาพถ่ายทางดาวเทียม 88

ภาพที่ 61 แร่เหล็กของแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก 92

ภาพที่ 62 ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างผลึกของแร่เหล็กฮีมาไทต์จากแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กเมื่อส่องในกล้องจุลทรรศน์ 92

ภาพที่ 63 ลักษณะทางกายภาพของแร่เหล็กฮีมาไทต์ชนิดตับเหล็กจากแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก . 93

ภาพที่ 64 ลักษณะการกระจายตัวแหล่งเตาถลุงเหล็กทั้ง 9 เตา ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มหลังการขุดค้นทางโบราณคดี 94

ภาพที่ 65 แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มหลังจากดำเนินการขุดค้นขุดแต่งแล้วเสร็จ พร้อมแผนผังชั้นดิน 95

ภาพที่ 66 โครงสร้างเตาถลุง BNT#001 96

ภาพที่ 67 ลักษณะโครงสร้างผนังเตาถลุงและคราบตะกรันเกาะติดที่ผนังเตาถลุง BNT#001 97

ภาพที่ 68 ลักษณะโครงสร้างท้ายเตาถลุงและพื้นเตาถลุง BNT#001 98

ภาพที่ 69 แนวก่ออิฐเสริมความมั่นคงของผนังเตาถลุง BNT#001 99

ภาพที่ 70 โครงสร้างเตาถลุง BNT#002 100

ภาพที่ 71 โครงสร้างภายในเตาถลุง BNT#002 101

ภาพที่ 72 การวางแนวก้อนหินกรวดแม่น้ำ อิฐและเศษตะกรันเพื่อเสริมความมั่นคงผนังเตาถลุง .. 102

ภาพที่ 73 โครงสร้างเตาถลุง BNT#003 102

ภาพที่ 74 โครงสร้างเตาถลุง BNT#004 103

ภาพที่ 75 โครงสร้างเตาถลุง BNT#005 103

ภาพที่ 76 ช่องสอดปลายหุ้มท่อบมดินเผาด้านท้ายโครงสร้างเตาถลุง BNT#005 104

ภาพที่ 77 โครงสร้างเตาถลุง BNT#006 104

ภาพที่ 78 โครงสร้างเตาถลุง BNT#007 105

ภาพที่ 79 โครงสร้างเตาถลุง BNT#008 106

ภาพที่ 80 โครงสร้างผนังเตาถลุง BNT#009 มีการนำเอาปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ชำรุดแล้ว 106

ภาพที่ 81 โครงสร้างเตาถลุง BNT#009 107

ภาพที่ 82 ภาพลายเส้นสันนิษฐานโครงสร้างเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม..... 109

ภาพที่ 83 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1)..... 111

ภาพที่ 84 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1) มีการตกแต่งด้วยการเซาะร่องที่ผิวด้านนอกปลายท่อต่อกับท่อลมมีลักษณะการตกแต่งด้วยลายขูดขีด (B2) 111

ภาพที่ 85 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A2)..... 112

ภาพที่ 86 ลักษณะเฟสแบบต่างๆ ที่ปรากฏในโครงสร้างผลึกตะกรันเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 1 113

ภาพที่ 87 ลักษณะเฟสแบบต่างๆ ที่ปรากฏในโครงสร้างผลึกตะกรันเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 2 114

ภาพที่ 88 จุด Plot อุณหภูมิเตาถุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในแผนผังสมดุลของเฟส 116

ภาพที่ 89 ลักษณะสินแร่เหล็กที่ถูกย่อยแล้วจากการขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม..... 119

ภาพที่ 90 จุด Plot อุณหภูมิ ในพื้นที่ “optimum 2” ของเตาถุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในแผนผังสมดุลเฟสของโลหะผสม ทั้ง 3 โลหะ (เหล็กออกไซด์ ซิลิคอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์) (Ternary Phase Diagram)..... 120

ภาพที่ 91 ภาพลายเส้นของเตาถลุงเหล็กโบราณที่ออกแบบจากหลักฐานทางโบราณคดีในเตาถลุง BNT#002 ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 121

ภาพที่ 92 เตาถลุงเหล็กจำลองของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (BNT OPRERATION01/2022).... 121

ภาพที่ 93 ดินเหนียวคุณภาพ (ดินจอมปลวก) ที่ใช้นำมาปั้นเตาถลุงเหล็กจำลอง..... 122

ภาพที่ 94 ถ่านไม้คุณภาพ (ไม้เนื้อแข็ง) ที่นำมาใช้ในการทดลองถลุง 122

ภาพที่ 95 แร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ที่ค้นพบในแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก 123

ภาพที่ 96 เครื่องสูบลมและท่อลมที่เป็นโลหะ ของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022) 123

ภาพที่ 97 การทดลองถลุงเหล็กในเตาถลุงหมยเลข (BNT OPRERATION01/2022)..... 125

ภาพที่ 98 ก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022)..... 125

ภาพที่ 99 การนำก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022) น้ำหนักรวม 11 กิโลกรัม มาตีกำจัดมลทินในเตาตีเหล็ก . 126

ภาพที่ 100 มวลเหล็กอ่อนที่ได้ตีกำจัดมลทินแล้ว..... 127

ภาพที่ 101 ก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กในเตาถลุง BNT OPERATION02/2022 129

ภาพที่ 102 ร่องรอยถ่านไม้เนื้อแข็งปรากฏบนตะกรันก้นเตาของเตาถลุงเหล็กเมืองลองโบราณ ... 132

ภาพที่ 103 ตะกรันก้นเตาของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีเมื่อปี พ.ศ.2562..... 135

ภาพที่ 104 ตะกรันเหลวหนืดที่ออกจากเตาถลุงเหล็กประยุกต์ BNT OPERATION02/2022 หลังจากมีการสร้างห้องเตาที่สอบแคบ..... 135

ภาพที่ 105 ลักษณะโครงสร้างเตาถลุง BNT#009 ที่พื้นก้นเตามีลักษณะเทลาดประมาณ 15 องศา 137

ภาพที่ 106 ตะกรันที่ค้างอยู่ภายในเตาถลุง .BNT#005 137

ภาพที่ 107 ภาพจากกล้องจุลทรรศ์แสดงลักษณะองค์ประกอบของเนื้อปลายหุ้มท่อลมดินเผา..... 138

ภาพที่ 108 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow)..... 139

ภาพที่ 109 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow) ปรากฏในภาพสลักนูนต่ำ โบราณสถานจันทิสุกุ (Candi Sukuh) บริเวณเทือกเขาลาวู (Lawu) เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย 140

ภาพที่ 110 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow) ของกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ในประเทศลาว 141

ภาพที่ 111 กระบอกสูบแบบลูกสูบเดียว (Single piston bellow) ของกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ในประเทศลาว 142

ภาพที่ 112 ห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็ก (Chaîne Opératoire of Iron Ingot Production) ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ 145

ภาพที่ 113 การทดลองถลุงโดยใช้เศษเหลือทิ้งดังกล่าวมาถลุงในการทดลองทางโบราณโลหะวิทยาในเตาถลุง BNT OPERATION02/2022 146

ภาพที่ 114 โครงสร้างหน่วยควบคุมการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณในช่วงพุทธศตวรรษที่ 23 ถึง 25 149

ภาพที่ 115 คาราวานวัวต่างในดินแดนล้านนา 156

ภาพที่ 116 แผนที่เส้นทางลำเลียงมวลเหล็กจากเมืองลองไปยังเมืองนครลำปาง (เส้นทางกิ่วระสี) 157

ภาพที่ 117 ผังแสดงความสัมพันธ์ในระบบการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณ 161

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

"เหล็ก" ถือเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสังคมจากชุมชนหมู่บ้านเข้าสู่ชุมชนเมืองหรือรัฐ โดยเป็นเทคโนโลยีการผลิตที่ต้องอาศัยช่างเฉพาะด้านเกิดกลุ่มชนชั้นแรงงานฝีมือที่มีผลต่อการผลิตและการค้าขายทั้งภายในและนอกรัฐ[1] ในดินแดนภาคเหนือของประเทศไทยพบหลักฐานทางโบราณคดีประเภทเครื่องมือเหล็กหลากหลายแบบในชุมชนสมัยก่อนประวัติศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือชีวิตประจำวันจำพวกเครื่องมือทำการเกษตรหรืออาวุธ ที่พบในชุมชนโบราณสมัยก่อนประวัติศาสตร์หลายแห่ง เช่น แหล่งโบราณคดีบ้านยางทองใต้ ในแอ่งที่ราบเชียงใหม่-ลำพูน[2] แหล่งโบราณคดีหลุมฝังศพสมัยก่อนประวัติศาสตร์เมืองโบราณเวียงลอ ในแอ่งที่ราบพะเยา[3] หรือแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน[4] เป็นต้น แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของเครื่องมือและมีกลุ่มช่างเฉพาะทาง สะท้อนการมีโครงสร้างทางสังคมที่ซับซ้อนขึ้นซึ่งต่อมาผู้คนเหล่านี้จะบูรณาการทางวัฒนธรรมกับกลุ่มคนที่รับวัฒนธรรมอินเดียเกิดเป็นบ้านเมืองตามแอ่งต่างๆ[5] ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 13 – 19 ต่อไป ดังเช่น แหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูนที่ปรากฏการใช้พื้นที่ของแหล่งโบราณคดีตั้งแต่สมัยเหล็กต่อเนื่องจนถึงพุทธศตวรรษที่ 18 หรือปลายสมัยวัฒนธรรมหริภุญชัย[6] เป็นต้น

การทำความเข้าใจเรื่อง "เหล็ก" ในฐานะเทคโนโลยีสมัยโบราณของอาณาจักรล้านนาจำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการในการผลิตเหล็ก ตั้งแต่ขั้นตอนที่ได้มาซึ่งมวลเหล็ก (Iron ingot) หรือกระบวนการถลุงเหล็กที่ต้องอาศัยวิธีทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับการศึกษาข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดีที่ได้จากกระบวนการทางโบราณคดี[7] ซึ่งประเด็นการศึกษาดังกล่าวค่อนข้างใหม่ในงานศึกษาโบราณคดีในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (ดินแดนล้านนา) และยังมีการศึกษาที่น้อย โดย

---

[1] Gordon Childe, "The Urban Revolution," **The Town Planning Review** 21, 1 (April 1950): 11.

[2] กรมศิลปากร, **โบราณคดีภาคเหนือ เหมืองแม่เมาะ ออบหลวงและยางทองใต้** (กรุงเทพ ; กรมศิลปากร, 2531) ,102.

[3] _____, **รายงานการขุดค้นทางโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์เมืองโบราณเวียงลอ ตำบลลอ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560** (น่าน : สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน กรมศิลปากร, 2560), เอกสารอัดสำเนา.

[4] Jean-Pierre Pautreau, Patricia Mornais, **Ban Wang Hai : excavations of an iron-age cemetery in Northern Thailand** (Chiangmai : Silkworm Books, 2003), 8.

[5] ศรีศักร วัลลิโภดม, **เหล็ก โลหปฏิวัติ เมื่อ 2,500 ปีมาแล้ว : ยุคเหล็กในประเทศไทย : พัฒนาการทางเทคโนโลยีและสังคม** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2548), 83.

[6] ก่องแก้ว วีระประจักษ์, สายันต์ ไพรชาญจิตร์ และสุภมาศ ดวงสกุล, **โบราณคดีล้านนา** (กรุงเทพฯ : สมาพันธ์, 2540), 76.

[7] Heather Margaret-Louise Miller, **Archaeological Approaches to Technology** (California: Left Coast Press Inc., 2009), 154 - 155.

งานศึกษาเรื่องเหล็กส่วนใหญ่เน้นการสำรวจหรือขุดค้นเพื่อค้นหาแหล่งโบราณคดีสมัยเหล็กที่มีความเก่าแก่ที่สุดหรือการศึกษาเครื่องมือเหล็กเชิงเปรียบเทียบรูปแบบของโบราณวัตถุเพื่อใช้ในการตีความพัฒนาการทางด้านวัฒนธรรมของแหล่งโบราณคดีนั้นๆ ทำให้การศึกษาเรื่อง “เหล็ก” ของพื้นที่ภาคเหนือในประเทศไทยยังไม่ชัดเจนนักโดยเฉพาะเรื่องเทคโนโลยีการถลุงเหล็ก แม้จะมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์หลายชิ้นกล่าวถึงการถลุงเหล็กโดยเฉพาะในสมัยประวัติศาสตร์ก็ตาม

หลักฐานเอกสารที่กล่าวถึงการถลุงเหล็กของดินแดนล้านนามีมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองหรือตำนานศาสนาหลายฉบับระบุว่าชาติพันธุ์ “ลัวะ” ซึ่งเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ดังเดิมบริเวณแอ่งที่ราบต่างๆ ของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่มีความรู้ความสามารถในการถลุงเหล็กและผลิตเครื่องมือเครื่องใช้จากเหล็กมาตั้งแต่ก่อนการตั้งรัฐหริภุญชัยหรือก่อนพุทธศตวรรษที่ 13[8] ซึ่งเรื่องราวดังกล่าวสอดคล้องกับการขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งเตาถลุงเหล็กบ้านปางป่วย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ที่กรมศิลปากรได้ดำเนินงานไปเมื่อปี พ.ศ. 2561 โดยพบเตาถลุงเหล็กที่มีห้องเผาสัณฐานกลมสูง (Shaft Furnace) กำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีเร่งและแยกจำนวนไอโซโทปของคาร์บอน “Accelerator Mass Spectrometry หรือ AMS Dating” ได้ค่าอายุราวพุทธศตวรรษที่ 12[9] ซึ่งถือเป็นยุคก่อนประวัติศาสตร์ในภาคเหนือของประเทศไทย ร่วมสมัยกับแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ในชั้นดินสมัยเหล็กซึ่งกำหนดด้วยวิธีเดียวกันได้ค่าอายุของแหล่งอยู่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 10 – 12[10]

ต่อมาในสมัยประวัติศาสตร์ปรากฏเอกสารระบุถึงการผลิตเหล็กมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นโดยมีฐานะเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของอาณาจักร ราชสำนักมีการควบคุมและอุปถัมภ์ช่างเหล็ก ดังปรากฏในตำนานจามเทวีวงศ์ที่กล่าวถึงเหตุการณ์พระนางจามเทวีเสด็จมาครองราชย์เมืองหริภุญชัยเมื่อราวพุทธศตวรรษที่ 13 โดยได้นำช่างแขนงต่างๆ ติดตามพระองค์มาด้วยหนึ่งในกลุ่มช่างนั้นคือ “ช่างเหล็กจำนวน 500 คน”[11] หรือในรัชสมัยพญามังรายได้มีการพัฒนางานช่างเหล็กโดยการนำเอาช่างเหล็กจากพุกามเข้ามายังเวียงกุมกาม ดังปรากฏในตำนานสิบห้าราชวงศ์ ฉบับสอบชำระ ความว่า “...พระเจ้าอังวะจึงแต่งช่างเหล็ก ช่างทอง ช่างเงิน ช่างคำ ประมาณ 500 ครัวถวายแก่พญามังราย เมื่อนำช่างเหล่านี้กลับเวียงกุมกาม...”[12]

การควบคุมการผลิตเหล็กมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นในสมัยราชวงศ์มังราย ราชสำนักเชียงใหม่เข้าควบคุมการทำเหมืองเหล็กและถลุงเหล็กในหลายกรณีดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงแสนว่า ในรัชสมัยพญาแสนพูให้ใช้วัดเป็นสถานที่ควบคุมการถลุงเหล็กโดยให้แบ่งพื้นที่วัดป่าสัก เมืองเชียงแสน

---

[8] พระยาประชากิจกรจักร, **พงศาวดารโยนก** (กรุงเทพ : ศรีปัญญา, 2557), 177.

[9] ยอดดนัย สุขเกษม, “แหล่งถลุงเหล็กโบราณบ้านป่าป่วย : ข้อมูลใหม่ของโบราณคดีสมัยแกเริ่มประวัติศาสตร์ในดินแดนล้านนา” (เอกสารในการสัมมนาทางวิชาการ “วิจัย วิจักขณ์ การนำเสนอผลงานทางวิชาการกรมศิลปากร ประจำปี พ.ศ.2561 ณ หอสมุดแห่งชาติ ท่าวาสุกรี กรุงเทพมหานคร, 24 - 25 กันยายน 2561), 42.

[10] Jean-Pierre Pautreau, Patricia Mornais, **Ban Wang Hai : excavations of an iron-age cemetery in Northern Thailand** (Chiangmai : Silkworm Books, 2003), 9.

[11] **ตำนานมูลศาสนา** (นนทบุรี : ศรีปัญญา, 2557), 142.

[12] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ตำนานสิบห้าราชวงศ์ ฉบับสอบชำระ** (เชียงใหม่ : สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540), 29.

เป็นที่ถลุงเหล็ก ความว่า “...พายแคว้นพุทธป่าสัก มีบอกเส่าเตาเหล็ก ทังค้อนคีมรางพร้ารางคีม ฝ่ายวันตกแคว้นเมืองกองมีร้อยบั้งแหส้อยแหไว้หื้อเปนสักขี..”[13] หรือในรัชสมัยพญาสามฝั่งแกนได้มีการปักตาหล่าวหรือเฉลว เพื่อกำหนดขอบเขตการทำและช่วงระยะเวลาการทำเหมืองเหล็กในเมืองเชียงแสน ความว่า “...คันขุดบ่อ เดือน 3 เข้า เดือน 6 ถอน (ที่) ตั้งตาแหลวมีฉันนี้...”[14]

นอกจากการควบคุมการส่งส่วยเหล็กภายในอาณาจักรแล้ว อาณาจักรล้านนายังต้องส่งส่วยเหล็กไปยังราชสำนักจีนดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่ว่าจีน (สำนักปกครองที่มณฑลยูนนาน) เรียกส่วยเหล็กจากพระเจ้าติโลกราชกว่า 300 ตัน (5,000 หาบ) ความว่า “...ถัดนั้นอยู่บ่นานเท่าใด เจ้าลุ่มฟ้าใช้ห้อผู้ใหญ่สองคน มาถามเอาเส้นกุ้งของคัล...”[15] สะท้อนให้เห็นว่าอาณาจักรล้านนาเป็นแหล่งแร่เหล็กสำคัญในพื้นที่ตอนบนของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้[16] และเหล็กมีคุณภาพดีเป็นสินค้าที่มีความต้องการในท้องตลาดภายนอกอาณาจักรสูงโดยเฉพาะในหมู่พ่อค้าวัวต่างชาวฮ้อ ที่ส่งสินค้าดังกล่าวไปขายตามแนวเส้นทางทองคำ (ยูนนาน-ล้านนา)[17] โดยลักษณะของส่วยเหล็กนั้นคือก้อนเหล็กที่ทำการถลุงเป็นมวลเหล็ก (Iron Ingot) อาจมีการตีอัดเป็นแท่งหรือก้อนกลมก็ได้เพื่อสะดวกในการขนส่งทางไกล[18]

การส่งส่วยเหล็กยังคงดำเนินมาจนกระทั่งสมัยหลังล้านนา (พุทธศตวรรษที่ 22 - 23) และสมัยรัตนโกสินทร์ (พุทธศตวรรษที่ 23 – 25) โดยราชสำนักเชียงใหม่จะต้องส่งส่วยเหล็กให้ราชสำนักพม่าตามคำเรียกร้องของกษัตริย์พม่า[19] หรือในสมัยรัตนโกสินทร์ หัวเมืองที่มีการผลิตเหล็กจะต้องส่งส่วยเหล็กให้ราชสำนักนครรัฐที่ปกครองหัวเมืองตน เช่น เมืองอวนและเมืองสาต้องส่งส่วยเหล็กเป็นจำนวนปีละ 30 หาบ และ 20 หาบ ตามลำดับให้กับราชสำนักนครน่าน[20] หรือเมืองลองต้องส่งส่วยเหล็กให้ราชสำนักนครลำปางปีละ 40 หาบ[21] เป็นต้น โดยส่วยเหล็กที่ส่งนั้นจะนำไปทำเป็นหัตถกรรม

---

[13] สรัสวดี อ๋องสกุล, **พื้นเมืองเชียงแสน** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์, 2546), 188.

[14] เรื่องเดียวกัน, 196-197.

[15] อรุณรัตน์ วิเชียรเขียว และเดวิด เค. วัยอาจ, **ตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่** (เชียงใหม่ : ซิลค์เวอร์มบุคส์, 2547), 103.

[16] ชวิศา ศิริ, “การค้าของอาณาจักรล้านนาตั้งแต่ต้นพุทธศตวรรษที่ 19 ถึงต้นพุทธศตวรรษที่ 22,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2550), 147.

[17] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 521.

[18] ภูเดช แสนสา, “เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 138.

[19] Than tun, **The Royal Order of Bruma Part II 1649 – 1750 A.D** (Kyoto : The center of southeast asia study Kyoto University,1985), 66.

[20] สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน, **รายงานเบื้องต้นภูมิหลังเมืองน่าน โครงการสืบค้นแหล่งวัฒนธรรมลุ่มแม่น้ำน่านแม่น้ำว้าโดยประชาชนมีส่วนร่วม** (น่าน : สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน กรมศิลปากร, 2549), 127.

[21] หจช.ร5กร 5 รล-พศ.10/60, นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนครลำปาง

จำพวกข้าวของเครื่องใช้เหล็กแลกเปลี่ยนกันในตลาดภายใน[22] การส่งส่วยเหล็กถูกยกเลิกเมื่อมีการจัดเก็บภาษีในรูปแบบของเงินตราในช่วงการปฏิรูปมณฑลเทศาภิบาล พ.ศ.2442[23]

จากเอกสารทางประวัติศาสตร์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าในดินแดนล้านนามีการถลุงเหล็กมาอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 12 และมีความเข้มข้นในการผลิตในช่วงสมัยล้านนา (พุทธศตวรรษที่ 19 - 22) สมัยพม่าปกครอง (พุทธศตวรรษที่ 22 - 24) ต่อเนื่องมาจนถึงสมัยเจ้าเจ็ดตนหรือทิพยจักราช (สมัยรัตนโกสินทร์ พุทธศตวรรษที่ 24 - 25) ในแง่ของหลักฐานทางโบราณคดี กรมศิลปากรสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งถลุงแร่เหล็กในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในสมัยประวัติศาสตร์ ซึ่งปัจจุบันพบเพียง 5 แหล่งเท่านั้น คือ แหล่งถลุงเหล็กภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หริภุญไชย จังหวัดลำพูน แหล่งถลุงเหล็กเชิงดอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งถลุงเหล็กดอยคำ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งถลุงเหล็กบ้านบ่อสลี้ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่และแหล่งถลุงเหล็กบ้านนาตุ้ม อำเภอลอง จังหวัดแพร่

โดยเฉพาะแหล่งถลุงเหล็กบ้านนาตุ้ม อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้นซึ่งเป็นแอ่งที่ราบย่อยของแอ่งที่ราบแพร่ เอกสารทางประวัติศาสตร์หลายฉบับโดยเฉพาะบันทึกการเดินทางชาวตะวันตกต่างระบุว่าพื้นที่เมืองลองเป็นแหล่งทรัพยากรแร่เหล็กที่สำคัญและมีคุณภาพดินแดนล้านนาเช่น บันทึกของคาร์ล อัลเฟรด บ็อค[24] “...เห็นได้ชัดว่าเมืองละครนี้ร่ำรวย ไม่เพียงแต่ร่ำรวยป่าไม้เท่านั้นแต่ยังอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุ ใกล้ตัวเมือง มีเหมืองแร่เหล็กที่อุดมสมบูรณ์อย่างยิ่ง หนึ่งถึงสองแห่ง ข้าพเจ้าได้เห็นแร่กาลีนา จำนวนหนึ่งซึ่งคาดว่าแร่เหล่านี้มีอยู่เต็มภูเขาละแวกนี้ นอกจากนี้ยังมีทองแดงด้วยชาวพื้นเมืองที่นี่เป็นช่างฝีมือโลหะและผลิตปืนใช้เอง..”[25] หรือบันทึกของสาธคุณฮิวจ์ เทย์เลอร์ (Hugh Taylor)[26] ที่กล่าวว่า “...จากเมืองแพร่ เราได้เดินทางต่อไปยังเมืองลอง เมืองทางตะวันตกซึ่งได้ระงับการทำเหมืองแร่เหล็กไปเมืองหลายปีมาแล้วเนื่องจากได้มีการนำเข้าเหล็กหลอม ซึ่งคุณภาพอาจไม่ดีเท่าไหร่แต่สามารถขนส่งไปกรุงเทพได้มากกว่า...”[27] นอกจากนี้ในงานวรรณกรรมยังกล่าวถึงคุณภาพของเหล็กลองด้วย ดังเช่น ค่าวฉลองคุ้มหลวงของเจ้าหลวงนครแพร่

---

[22] รัตนาพร เศรษฐกุล, **ประวัติศาสตร์เศรษฐกิจวัฒนธรรมแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน** (กรุงเทพ : ซิลค์เวอร์ม,2552), 108.

[23] ภูเดช แสนสา, “เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), หน้า 89.

[24] คาร์ล อัลเฟรด บ็อค (Carl Alfred Bock) นักธรรมชาติวิทยาและนักสำรวจชาวนอเวย์ เดินทางเข้ามาสำรวจดินแดนล้านนาของสยามในช่วงรัชกาลพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว โดยเข้ามายังเมืองละครหรือเมืองลำปางในปี พ.ศ.2424 ในขณะนั้นเมืองลองเป็นแขวงเมืองหนึ่งของเมืองลำปาง

[25] Carl Alfred Bock, **Temples and Elephant The Narrative of a journal of Exporation through Upper Siam and Lao** (New York: Cornell University Library, 1884), 174.

[26] สาธคุณฮิวจ์ เทย์เลอร์ (Hugh Taylor) มิชชันนารีสังกัดเพรสไบทีเรียนผู้เดินทางเข้ามาเผยแพร่ศาสนาคริสต์ในเมืองน่าน แพร่ และลำปางในปลายรัชกาลพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

[27] ปรีดี พิศภูมิวิถี และคณะ, **ฝรั่งในล้านนา** (กรุงเทพฯ : กรมศิลปากร, 2561), 156.

ของศรีวิไชยกวีในราชสำนักแพร่ เมื่อ พ.ศ.2453 ความว่า “...มีเจ็ดสิบสอง เหล็กลองกล่มเกลี้ยงจดจันเจียงแซ่ไว้ ...ห้าสิบสอง เหล็กลองไหลดั้นข่ามคงกะพันมากนัก... ถ้วนเจ็ดสิบสอง เหล็กลองแข็งนักต่ำหนักมิ่งแก้วมงคล...” เป็นต้น ด้วยคุณภาพของเหล็กลองทำให้เมืองลองต้องส่งส่วยเหล็กต่อหัวเมืองที่ปกครองตั้งแต่สมัยล้านนาจนถึงสมัยรัตนโกสินทร์ โดยเมืองลองต้องส่งส่วยเหล็กให้ราชสำนักนครลำปางปีละ 40 หาบ[28] หรือประมาณ 2,428 กิโลกรัม (2.4 ตัน)[29] จากการสำรวจทางโบราณคดี กรมศิลปากร เมื่อปีพ.ศ. 2561 พบแหล่งถลุงเหล็กตั้งอยู่ริมห้วยปากลองห่างจากเมืองลองโบราณไปทางทิศเหนือประมาณ 1 กิโลเมตร แหล่งถลุงมีลักษณะเป็นเนินตะกรันยอดเนินปรากฏโครงสร้างผนังเตาถลุงสร้างจากดินเผาจำนวน 4 จุด มีเศษท่อลม เศษดินถูกไฟเผา เศษตะกรันเหล็กก้นเตา (Slag Cake) และเศษตระกันจำนวนมากกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนินดิน กำหนดอายุเบื้องต้นด้วยวิธีการเปรียบเทียบไว้ราวพุทธศตวรรษที่ 25 จากเครื่องถ้วยเนื้อแกร่งตกแต่งด้วยการพิมพ์ลายสีน้ำเงินแบบพิมพ์ลาย (Transferred Print) จากแหล่งเตาในประเทศจีนหรือญี่ปุ่น[30]

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าในดินแดนล้านนามีการถลุงเหล็กอย่างน้อยตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 12 และทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในสมัยล้านนา มีการผลิตเรื่อยมาจนกระทั่งถึงสมัยรัตนโกสินทร์ซึ่งในช่วงระยะหลังนี้เหล็กถูกใช้เป็นสินค้าและบรรณาการสำคัญที่หัวเมืองเดิมในล้านนาต้องส่งส่วยให้กับกลุ่มเจ้าหลวงที่สืบเชื้อสายมาจากราชวงศ์ทิพยจักรราช (เจ้าเจ็ดตน) ดังปรากฏในเอกสารทางประวัติศาสตร์หลายฉบับ โดยเฉพาะเมืองลองโบราณ อย่างไรก็ตามในเอกสารมิได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตหรือเทคโนโลยีการถลุงที่ชัดเจนนักและจากสำรวจทางโบราณคดีของกรมศิลปากรแม้จะพบแหล่งเตาถลุงเหล็กในสมัยประวัติศาสตร์หลายแห่ง หากแต่แหล่งส่วนใหญ่ถูกทำลายลงจนไม่พบโครงสร้างของเตาถลุงอันเป็นหลักฐานสำคัญในการศึกษากระบวนการผลิต งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีความสนใจในการศึกษากระบวนการผลิตเหล็กและบริบททางประวัติศาสตร์ที่สัมพันธ์และมีผลต่อกระบวนการผลิตเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม เมืองลองโบราณ เพื่อสร้างความชัดเจนของเรื่องราวของ “เหล็ก” ในฐานะหลักฐานทางโบราณคดีสำคัญที่มีผลต่อพัฒนาการทางวัฒนธรรมเศรษฐกิจและสังคมของดินแดนภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (ดินแดนล้านนา) ก่อนการเข้ามาของเหล็กจากต่างประเทศ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

---

[28] หจช.ร5กร 5 รล-พศ.10/60, นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนครลำปาง

[29] 1 หาบ เท่ากับ 60 กิโลกรัม

[30] จตุรพร เทียมทินกฤตและพลพยุหะ ไชยรส, 2562, **รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีภาคสนามเบื้องต้นในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่** (เชียงใหม่: สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากรม, เอกสารอัดสำเนา), 143.

1.3 ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่วิจัยขนาดจุลภาค (Site Microenvironment) เน้นการวิจัยแหล่งโบราณคดีเพียงหนึ่งแหล่ง (Single Site) คือแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ และเชื่อมความสัมพันธ์กับบริบทแวดล้อมในระดับท้องถิ่นคือ แอ่งที่ราบลองวังชิ้น จังหวัดแพร่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ตั้งประเด็นคำถามวิจัย วัตถุประสงค์ในการวิจัย สมมุติฐานหรือข้อสันนิษฐานที่จะทำการตรวจสอบ

1.4.2 ทบทวนวรรณกรรมโดยรวบรวมข้อมูลเอกสารทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย เช่น เอกสารทางประวัติศาสตร์ รายงานวิชาการโบราณคดี เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่วิจัย (ภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ปฐพีวิทยา อุทกศาสตร์ แผนที่ แผนผัง ฯลฯ) รวมทั้งสำรวจแนวคิด ทฤษฎี และระเบียบวิธีวิจัยที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

1.4.3 การรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วย งานสำรวจทางโบราณคดี งานขุดค้นทางโบราณคดี รวมทั้งงานรวบรวมข้อมูลภาคสนามด้านโบราณคดีชาติพันธุ์และประวัติศาสตร์ท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่วิจัย เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ ตีความ และสังเคราะห์ข้อมูล

1.4.4 การวิเคราะห์ ตีความ และสังเคราะห์ข้อมูล เป็นการวิเคราะห์หลักฐานทางโบราณคดีทั้งทางกายภาพและเคมี และตีความการรูปแบบสันนิษฐานของตาถลุงเหล็ก กระบวนการถลุงเหล็กเปรียบเทียบกับเตาถลุงเหล็กในพื้นที่วัฒนธรรมอื่นๆ รวมทั้งวิเคราะห์บริบททางประวัติศาสตร์ของแหล่งโบราณคดีด้วย สังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเป็นองค์ความรู้ทางโบราณคดี

1.4.5 การนำเสนอผลงานวิจัย นำเสนอในผลวิจัยทุกขั้นตอนในรูปแบบวิทยานิพนธ์

1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย

4 ปี (ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ.2565)

1.6 วิธีการศึกษา

1.6.1 แนวคิดและทฤษฎีทางโบราณคดี

ใช้แนวคิดเรื่องการศึกษาเทคโนโลยีสมัยโบราณ (Archaeological Approaches to Technology) เพื่อลำดับกระบวนการการถลุงเหล็กในอดีตของแหล่งโบราณคดีในลักษณะห่วงโซ่กระบวนการผลิต (Chaîne opératoire)[31] โดยประยุกต์ใช้วิธีการทางโบราณโลหะวิทยา (Archaeometallugy) วิธีการทางโบราณคดีชาติพันธุ์ (Enthnoarchaeology) และวิธีการทางประวัติศาสตร์ (Historical Approach) ในการรวบรวม วิเคราะห์ ตีความ และสังเคราะห์ ข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดี ข้อมูลชาติพันธุ์กับเทคโนโลยีการถลุงเหล็ก นอกจากนี้ยังขยายกรอบการวิจัยในประเด็นการถลุงเหล็กในฐานะงานช่างฝีมือชั้นสูง (Craft Specialization) โดยเทคโนโลยีการถลุงเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิต (Production system) ยังไม่สะท้อนให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต ผู้ควบคุมการผลิต การจัดจำหน่าย ผู้บริโภคกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ฯลฯ หรือในอีกแง่หนึ่งคือยัง

[31] Heather Margaret-Louise Miller, **Archaeological Approaches to Technology** (California: Left Coast Press Inc., 2009), 144 - 166.

ไม่สามารถสะท้อนให้เห็นพฤติกรรมของมนุษย์ในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้เทคโนโลยีนั้นๆ ได้ชัดเจนนัก ซึ่งการศึกษาเรื่องการถลุงเหล็กในแง่ของงานช่างฝีมือนั้น นักโบราณคดีผู้ทำการศึกษาจำเป็นต้องอธิบายคุณลักษณะของปัจจัยในระบบการผลิตซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ 6 ปัจจัย[32] ได้แก่ ช่างฝีมือหรือศิลปิน (Artisan) ปัจจัยในการผลิต (Mean of production) องค์กรหรือโครงสร้างทางสังคมที่มีความสัมพันธ์กับการผลิต (Organization and social relation) ผลิตภัณฑ์ (Object) เป็นผลิตผลเชิงรูปธรรมที่ได้จากระบบการผลิต ความสัมพันธ์กับการจัดจำหน่ายสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ (Relation of distribution) และผู้บริโภค (Consumer) เพื่อให้เรื่องราวในอดีตของงานโบราณโลหะวิทยานั้นๆ มีความชัดเจนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

1.6.2 วรรณกรรมปริทัศน์

สำรวจแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและรวบรวมข้อมูลทางด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะทำการศึกษา ทั้งข้อมูลทางด้านประวัติศาสตร์ โบราณคดี ภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ปฐพีวิทยา อุทกศาสตร์ แผนที่ แผนผัง หรือรายงานวิจัยทางโบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่จะทำการวิจัย นอกจากนี้ยังมีการประเมินสถานะองค์ความรู้ ปริมาณข้อมูลหลักฐานในเรื่องที่จะทำการวิจัย รวมทั้งวางแผนในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ เทคนิควิธีการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี การนำเสนอข้อมูลในขั้นตอนนี้จะเป็นรูปแบบเชิงพรรณนาแยกเป็นหมวดหมู่ของข้อมูล โดยแทรกแผนผัง แผนที่ ภาพถ่ายและตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.3 การรวบรวมข้อมูลด้านโบราณคดีและโบราณคดีชาติพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็ก

เป็นการรวบรวมข้อมูลทางด้านโบราณคดีที่เกี่ยวกับการถลุงเหล็กทั้งข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดีของแหล่งถลุงในประเทศไทย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จีน และอินเดีย ที่มีการขุดค้นทางโบราณคดีและศึกษาด้วยกระบวนการโบราณโลหวิทยา รวมทั้งข้อมูลโบราณคดีชาติพันธุ์ที่มีการศึกษาการถลุงเหล็กของกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ ที่ได้มีการศึกษามาแล้วในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินเดีย เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการเปรียบเทียบสันนิษฐานรูปแบบเตาและกระบวนการผลิตของแหล่งถลุงเหล็กบ้านนาตุ้มในกรณีที่ข้อมูลการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีมีปริมาณไม่เพียงพอในการสันนิษฐานองค์ประกอบของเตาถลุงหรือในบางขั้นตอนของกระบวนการถลุง โดยแทรกแผนผัง แผนที่ ภาพถ่ายและตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.4 การรวบรวมข้อมูลด้านโบราณคดี (สำรวจทางโบราณคดี)

สำรวจพื้นที่แอ่งที่ราบลองวังชิ้น จังหวัดแพร่ เพื่อสืบค้นข้อมูลทางด้านโลหกรรมโบราณประเภทเหล็กเช่น เหมืองแร่เหล็ก แหล่งถลุงเหล็ก ชุมชนโบราณ แหล่งทรัพยากร และบริบทหลักฐานทางโบราณคดีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการเก็บข้อมูลเชิงกายภาพของแหล่ง หลักฐานทางโบราณคดีที่พบในระดับผิวดิน ข้อมูลทางด้านประวัติศาสตร์ท้องถิ่นโดยรอบแหล่งและการกำหนดอายุแหล่งโบราณคดีเป็นการเบื้องต้นจากหลักฐานที่พบ หรือเก็บตัวอย่างหลักฐานเพื่อไปกำหนดหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ (เลือกใช้วิธีคือการกำหนดอายุสัมบูรณ์ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนแบบใช้ความร้อนกระตุ้นอิเล็กตรอน (Thermoluminescence Dating หรือ TL Dating) จากตัวอย่างผนังเตาถลุงเหล็ก (ทำจากดิน) ที่สำรวจพบ ในขั้นตอนการสำรวจทางโบราณคดีจะมีการจัดเก็บข้อมูลลงใน

---

[32] Cathy Lynne Costin, “ Craft Production,” in **Handbook of Method in Archaeology** (London : AltaMira Press, 2005), 1038-1039.

ฐานข้อมูลระบบปฏิบัติภูมิสารสนเทศโดยเลือกใช้โปรแกรมประยุกต์ “Google Earth Pro 2022” และโปรแกรมประยุกต์ “ArcGIS 10.6” ส่วนการนำเสนอข้อมูลจะเป็นรูปแบบเชิงพรรณนาแยกเป็นหมวดหมู่ของข้อมูล โดยแทรกแผนผัง แผนที่ และตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.5 การรวบรวมข้อมูลด้านโบราณคดี (ขุดค้นทางโบราณคดี)

ขุดค้นทางโบราณคดีในแหล่งเตาถลุงเหล็กที่ได้ทำการประเมินศักยภาพไว้คือแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ด้วยเทคนิคการขุดค้นตามระดับชั้นดินสมมุติ (Arbitrary levels) และชั้นดินธรรมชาติ (Natural Levels) เพื่อศึกษากิจกรรมการถลุงเหล็กในอดีต โดยเน้นขุดศึกษาลักษณะโครงสร้างของเตา การกระจายตัวของเตาและหลักฐานที่เกี่ยวข้อง โดยต้องวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเตา ความลึกของเตา ความหนาของผนังเตา ขนาดถ่านหรือเชื้อเพลิง (ถ้ามี) ก้อนดินเผาหรืออิฐอุดช่องดักตระกันเพื่อใช้ศึกษารูปแบบเตา การเก็บข้อมูลลักษณะดินภายในหลุมเพื่อระบุการใช้พื้นที่ของแหล่งว่าเป็นพื้นที่เตรียมแร่ ย่อยแร่ ถลุงหรือตีเหล็ก พร้อมทั้งเก็บรวบรวมหลักฐานทางโบราณคดีที่เป็นองค์ประกอบของเตาและสิ่งที่หลงเหลือจากการถลุง เช่น องค์ประกอบของเตาถลุง ตะกรันเหล็กชนิดต่างๆ ท่อลม ท่อลมที่มีเศษตะกรันติดที่ปลายท่อ เศษผนังเตา คราบตะกรันผนังเตา อิฐ เศษแร่เหล็ก เศษถ่าน ฯลฯ เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ตามกระบวนงานโบราณโลหะวิทยา

นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างที่สามารถนำไปกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ได้ โดยเลือกเก็บถ่านที่สกัดจากก้อนตะกรันเหล็กที่อยู่ในบริบทเดิมภายในแหล่ง (Insitu) เพื่อนำไปกำหนดอายุจากคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเครื่องเร่งและแยกจำนวนไอโซโทปของคาร์บอน (Accelerator Mass Spectrometry หรือ AMS Dating) หลักจากการขุดค้นต้องมีการทำแผนผังชั้นดินเพื่อใช้ศึกษาชั้นทับถมทางโบราณคดี แผนผังเตา และการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของเตาถลุงและพื้นที่โดยรอบแหล่งหลังการขุดค้นทางโบราณคดีด้วยอากาศยานไร้นักบิน (Drone) จัดเก็บข้อมูลและนำเสนอในรูปแบบเชิงพรรณนา โดยแทรกแผนผัง แผนที่ และตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.6 การวิเคราะห์หลักฐานทางโบราณคดี

วิเคราะห์จัดหมวดหมู่หลักฐานทางโบราณคดีที่ขุดค้นพบโดยมีการศึกษาทางกายภาพ เช่นการวัดขนาด ระบุรูปพรรณ สัณฐาน เพื่อระบุว่าเป็นส่วนองค์ประกอบใดของเตาถลุงเหล็กหรือกระบวนการถลุงเหล็ก มีการจัดทำทะเบียนโบราณวัตถุทั้งหมดโดยการจัดหมวดหมู่ และนับจำนวนหรือปริมาณ (ปริมาณเป็นลูกบาศก์เมตรหรือกิโลกรัม) และเลือกสุ่มหลักฐานทางโบราณคดี (Sampling) ที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็กของแหล่ง เช่น ตะกรันหรือเทคนิเคิลเซรามิค (Technical Ceramics) เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี เช่น การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์โลหวิทยา (Metallographinc Microscope) และวิธีเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)

1.6.7 การตีความและสังเคราะห์องค์ความรู้ทางโบราณคดี

เป็นการประมวลข้อมูลภาคสนามและข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หลักฐานเพื่อตีความและสังเคราะห์องค์ความรู้ในเรื่องการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในรูปแบบของห่วงโซ่กระบวนการผลิต ตั้งแต่กระบวนการแรกจนถึงกระบวนสุดท้ายที่ได้มวลเหล็ก (Ingot) นอกจากนี้ยังศึกษาประเด็นงานฝีมือเชิงช่าง (Craft Specialization) และบริบททางประวัติศาสตร์ที่สะท้อนให้เห็นพฤติกรรม เทคโนโลยีและความสำคัญของเหล็กเมืองลองต่อบริบททางสังคม วัฒนธรรมในช่วพุทธ

ศตวรรษที่ 24 - 25 โดยจัดเก็บข้อมูลและนำเสนอในรูปแบบเชิงพรรณนา โดยแทรกแผนผัง แผนที่ ภาพถ่ายและตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.8 การทดลองทางโบราณโลหะวิทยา (Experimental Archaeometallurgy)

การทดลองทางโบราณคดีเป็นการตรวจสอบข้อสันนิษฐานลักษณะเตาถลุงเหล็กที่ได้ตั้งข้อสังเกตไว้ โดยเป็นการจำลองเตาถลุงเหล็กและกระบวนการถลุงเหล็กให้ใกล้เคียงกับองค์ความรู้โบราณคดีที่ทำการสังเคราะห์ในขั้นตอนข้างต้นมากที่สุด เพื่อยืนยันว่าเตาถลุงเหล็กที่ทำการสันนิษฐานนั้นสามารถถลุงเหล็กให้ได้ก้อนเหล็กที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพได้จริง โดยมีการวางแผนการทดลองและกำหนดตัวแปรควบคุมเช่น วัตถุดิบ อุณภูมิความร้อน ลม ปริมาณถ่านหรือปริมาณแร่ ระยะเวลาในการถลุง เป็นต้น นอกจากนี้การทดลองยังช่วยเพิ่มข้อมูลทางโบราณคดีที่ไม่สามารถทำการศึกษาได้จากหลักฐานที่มีทั้งหมดจากขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล เช่น ปริมาณอัตราส่วนระหว่างถ่าน แร่เหล็กและตัวทำละลาย *(Flux)* ปริมาณสุทธิของก้อนเหล็กที่ได้จากการถลุงต่อปริมาณแร่ที่ใช้ ปริมาณตะกรันเหล็กที่ได้จากการถลุง ลักษณะการเปลี่ยนสภาพไปของผนังเตาในช่วงก่อนและหลังถลุง ขั้นตอนนี้จัดเก็บข้อมูลและนำเสนอในรูปแบบเชิงพรรณนา โดยแทรกแผนผัง แผนที่ ภาพถ่าย ภาพถ่ายและตารางข้อมูลที่จำเป็น

1.6.9 การนำเสนอผลการวิจัย

นำเสนอผลการวิจัยทุกขั้นตอนในรูปแบบของวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ตามรูปแบบที่มหาวิทยาลัยศิลปากรกำหนด

1.7 แหล่งข้อมูล

1.7.1 กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม
1.7.2 สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร
1.7.3 สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
1.7.4 หอศาสตราวุธเมืองฮอม จังหวัดแพร่
1.7.5 คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการค้นคว้า

เครื่องมือวิเคราะห์ทางวัสดุศาสตร์ อุปกรณ์ในกระบวนงานโบราณคดี หนังสือ งานวิจัย วารสารทางด้านโบราณโลหวิทยา ประวัติศาสตร์ล้านนา วิทยาศาสตร์ทางโบราณคดี เอกสารทางประวัติศาสตร์และจดหมายเหตุล้านนาที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็ก ฯลฯ

1.9 การนำเสนอผลงาน

1.9.1 รูปแบบวิทยานิพนธ์เสนอต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ไรรูปแบบสื่อต่างภายในสำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร

1.9.2 ส่วนผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทางโบราณคดีของวิทยานิพนธ์ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ “ดำรงวิชาการ” ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคมถึงธันวาคม 2565) ของคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากรซึ่งเป็นวารสารทางวิชาการ ขั้น 1 (Tier 1) จากศูนย์อ้างอิง

ดัชนีวารสารไทย (TCI) ในชื่อบทความ “เทคโนโลยีการถลุงเหล็กสมัยโบราณของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม เมืองลองโบราณ จังหวัดแพร่”

1.9.3 ผลการศึกษาได้นำเสนอในเวทีสัมมนาวิชาการโบราณคดีระดับนานาชาติ ในคราวการประชุมสมาคมโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์แห่งภูมิภาคเอเชียแปซิฟิค ครั้งที่ 22 (The 22th Indo-Pacific Prehistory Association Conference) ในหัวข้อเรื่อง “An Iron Smelting Technology at Ban Na Tum Archaeological Site, Phrae Province, Thailand” ณ โรงแรมเลอ เมอริเดียน อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ.2565

1.10 แหล่งทุน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิตจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปี พ.ศ.2563

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย

แต่เดิมการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กสมัยประวัติศาสตร์ของประเทศไทยเป็นการศึกษาเชิงการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี โดยมีจุดมุ่งหวังที่จะกำหนดอายุความเก่าแก่ของแหล่งถลุงเหล็กหรือสันนิษฐานเทคนิคการถลุงเหล็กเบื้องต้นว่าเป็นลักษณะใด (ทางตรงหรือทางอ้อม) ยังไม่มีการศึกษาการถลุงเหล็กในฐานะหลักฐานทางโบราณคดีที่สะท้อนให้เห็นมิติความสัมพันธ์ระหว่างผู้คน เทคโนโลยีและบริบททางประวัติศาสตร์ ในบทนี้ผู้วิจัยได้ปริทัศน์วรรกรรมในส่วนของทฤษฎีและแนวคิดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้และพัฒนาเป็นกรอบและระเบียบวิธีวิจัยในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กสมัยประวัติศาสตร์ที่ครอบคลุมมิติดังกล่าวได้

2.1 โบราณโลหะวิทยา

โบราณโลหะวิทยา (Archaeometallurgy) เป็นแขนงวิชาย่อยของวิทยาศาสตร์ทางโบราณคดี และเป็นสหวิทยาการที่ศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับการผลิต การใช้งาน การอุปโภคเครื่องมือเครื่องใช้โลหะของมนุษย์ตั้งแต่ 8,000 ปี ก่อนคริสตกาลจนถึงปัจจุบัน[33] ถือเป็นศาสตร์ทางโบราณคดีแขนงใหม่ที่ยังไม่เป็นที่นิยมศึกษาในกลุ่มนักโบราณคดีไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นักเมื่อเทียบกับศาสตร์ทางโบราณคดีแขนงอื่นๆ เช่น ประติมานวิทยา เครื่องถ้วย วิทยาการเครื่องมือหินหรือวิทยาการกระดูกมนุษย์ เป็นต้น

ในงานโบราณโลหวิทยาจะมีการประเมินหลักฐานทางโบราณคดีที่พบออกเป็น 2 ประเภท กล่าวคือหลักฐานชั้นต้นทางโบราณโลหะวิทยา (Primary Diposit) คือหลักฐานที่ยังคงบริบทเดิมของหลักฐานเอาไว้ (Insitu) ซึ่งหลักฐานเหล่านี้อาจได้มาจากกระบวนงานสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี ส่วนหลักฐานอีกประเภทคือหลักฐานชั้นรองทางโบราณโลหวิทยา (Secondary Diposit) คือหลักฐานที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงบริบทเดิมของหลักฐานไป เช่นการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนตำแหน่งของหลักฐานทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติหรือวัฒนธรรม นอกจากนี้เอกสารทางประวัติศาสตร์และข้อมูลชาติพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับงานโลหกรรมถือเป็นหลักฐานชั้นรองทางโบราณโลหวิทยาด้วยเช่นเดียวกัน งานโบราณโลหะวิทยายังให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์และแปลผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ต้องมีผลการวิเคราะห์แปลความที่แม่นยำ เชื่อถือได้ก่อนที่จะนำข้อมูลดังกล่าวไปสังเคราะห์และสร้างองค์

---

[33] David Killick and Thomas Fenn, “Archaeometallurgy: The Study of Preindustrial Mining and Metallurgy,” **The Annual Review of Anthropology,** 41 (2012): 559 -575.

ความรู้ทางด้านโบราณคดี[34]ต่อไป กระบวนงานหรือขั้นตอนการศึกษาเฉพาะโบราณโลหะวิทยายุคประวัติศาสตร์[35] สามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตั้งคำถามทางโบราณคดีเพื่อศึกษาในประเด็นใดประเด็นหนึ่ง โดยจำแนกออกเป็น 2 ประเด็นคำถามคือการศึกษาโบราณโลหวิทยาที่เป็นเหล็ก (Ferrous Archaeometallurgy) หรือ โบราณโลหะวิทยาที่ไม่ใช่เหล็ก (Non-Ferrous Archaeometallurgy)

ขั้นตอนที่ 2 การปริทัศน์วรรรกรรมทางโบราณโลหะวิทยาเป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลทางด้านเอกสารทั้งหลักฐานทางประวัติศาสตร์ เช่น เอกสารทางธรณีวิทยา จดหมายเหตุพงศาวดาร บันทึกต่างๆ เป็นต้น และเอกสารงานวิจัยทางโบราณโลหวิทยาที่มีการศึกษาในอดีต รวมทั้งบริบทหลักฐานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่วิจัย

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการงานโบราณโลหะวิทยา ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานภาคสนามทางโบราณคดี (การสำรวจและการขุดค้นทางโบราณคดี) การเก็บและคัดเลือกตัวอย่างหลักฐานทางโบราณโลหะวิทยาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ตัวอย่างหลักฐานทางโบราณโลหวิทยาในห้องปฏิบัติการโดยอาศัยวิธีและเทคโนโลยีการวิเคราะห์เชิงกายภาค จุลภาค และเคมีที่เหมาะสมกับงานวิจัย โดยขั้นตอนนี้ถือเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่การสังเคราะห์องค์ความทางด้านเทคโนโลยีทางโบราณโลหะวิทยา เช่น การสำรวจขุดค้นทางโบราณคดีเตาถลุงเหล็กเพื่อนำตัวอย่างหลักฐานมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อสันนิษฐานเทคโนโลยีการถลุงและรูปแบบเตา หรือหรือการสำรวจทางโบราณคดีที่ใช้ให้ข้อมูลหลักฐานการตั้งถิ่นฐานและลำดับพัฒนาการทางวัฒนธรรมของพื้นที่วิจัย รวมทั้งองค์ความรู้ของร่องรอยหลักฐานทางด้านโลหกรรมที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านโลหะกรรมของมนุษย์ในอดีตอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองทางโบราณคดี (Experimental Archaeology) เป็นกระบวนการศึกษาโดยใช้การออกแบบการทดลองจากข้อมูลที่ได้จากกระบวนงานขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ทั้งข้อมูลการวิเคราะห์ตีความและข้อมูลสันนิษฐานเทคโนโลยีโลหกรรม เพื่อตรวจสอบองค์ความรู้ที่ได้ตีความและสังเคราะห์เอาไว้ ด้วยการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง[36] การทดลองทางโบราณคดีเริ่มมีความตื่นตัวในการศึกษาวิจัยตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1950s ภายใต้แนวคิดของนักโบราณคดีสำนักคิดโบราณคดีกระบวนการ (Processual Archaeology) หรือโบราณคดีใหม่ (New Archaeology)

---

[34] Historic England, **Archaeometallugy : Guidelines for beast practice** (London: Historic England, 2001), 10-11.

[35] _____, **Metal and Metalworking : A research framework for Archaeometallurgy** (London: English Heritage, 2008), 23-37.

[36] Benjamin Roberts Walter and others, **Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses** (NewYork: Springer, 2014), 162 -163.

ของโลกตะวันตก[37] ที่เน้นการตรวจสอบสมมุติฐานหรือข้อสันนิษฐานทางโบราณคดีด้วยกระบวนการและเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์[38] โดยเริ่มแรกเป็นงานทดลองถลุงโลหะประเภทต่างๆ โดยเฉพาะการถลุงทองแดงและเหล็กทั้งในยุคก่อนประวัติศาสตร์และประวัติศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อตอบคำถามทางด้านกระบวนการถลุงโลหะสมัยโบราณ (Smelting Operation) โดยมีหลักการสำคัญคือการออกแบบงานทดลอง รื้อฟื้น (Reconstruction) และควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้มีความสอดคล้องกับหลักฐานทางโบราณคดีที่ขุดค้นพบในแหล่งถลุงโลหะนั้นๆ ให้ได้มากที่สุด[39] เช่น วัสดุในการสร้างเตา แร่ ระบบลม อุณหภูมิ เชื้อเพลิง หรือแม้กระทั่งพิธีกรรมที่เกี่ยวกับการถลุง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้การเก็บข้อมูลทางโบราณคดีชาติพันธุ์ในกลุ่มคนที่ยังคงรักษาเทคโนโลยีการถลุงโลหะแบบโบราณดั้งเดิมเอาไว้ เพื่อนำข้อมูลมาเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนงานทางโบราณโลหะวิทยา[40] นอกจากนี้ยังมีการใช้ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ จดหมายเหตุความทรงจำหรือแม้กระทั่งมุขปาฐะ มาประกอบกับหลักฐานทางโบราณคดีอีกด้วย[41] โดยจุดมุ่งหมายสูงสุดคือเพื่อลำดับกระบวนการผลิตมวลโลหะ จากก้อนแร่ (Iron Ore) สู่การเป็นมวลโลหะ (Ingot) ซึ่งจะช่วยทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและอิทธิพลของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการถลุงโลหะสมัยโบราณได้[42]

2.2 ห่วงโซ่กระบวนการผลิต (Chaîne Opératoire)

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนงานโบราณโลหะวิทยามีจุดประสงค์เพื่อลำดับขั้นตอนของเทคโนโลยีการผลิตงานโลหกรรมชิ้นๆ หนึ่งว่ามีกระบวนการการได้มาซึ่งโบราณวัตถุชิ้นนั้นๆ อย่างไร (Reconstruction) ซึ่งการลำดับกระบวนการถลุงเหล็กในงานวิจัยชิ้นนี้ อาจกล่าวได้ว่าอยู่มีพื้นฐานภายใต้แนวคิดห่วงโซ่กระบวนการผลิต ในทางโบราณคดี โดยนักโบราณคดีจะทำการศึกษากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนโดยขั้นตอนการผลิตแต่ละขั้นจะมีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กันไม่สามารถขาดขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งได้เนื่องจากผลผลิตในขั้นตอนหนึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอีก

---

[37] Forrest, Carolyn, 2008, "The Nature of Scientific Experimentation in Archaeology: Experimental Archaeology from the Nineteenth to the Mid Twentieth Century" in **Experiencing Archaeology by Experiment** (Oxford: Oxbow Books), 61-68.

[38] สว่าง เลิศฤทธิ์, 2547, **โบราณคดี : แนวคิดและทฤษฎี** (กรุงเทพฯ : ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน),141-142.

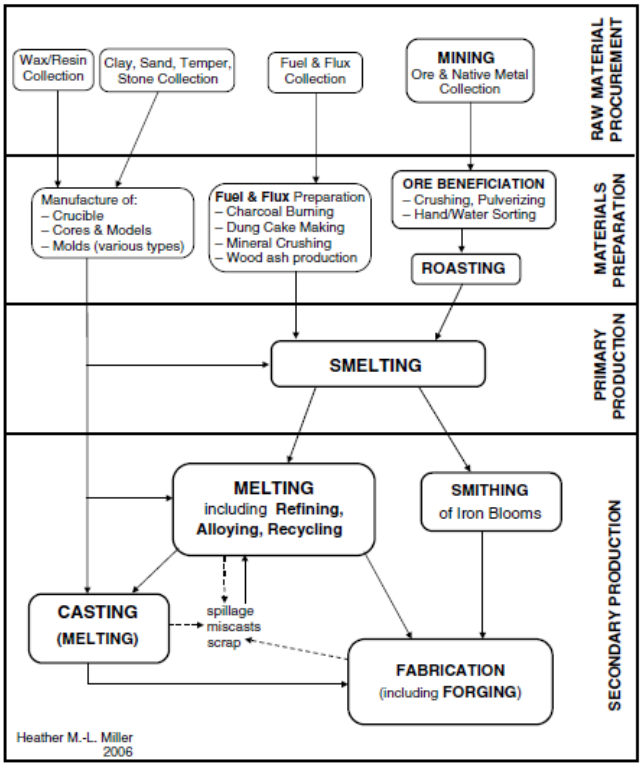
[39]Roberts, Benjamin W. and others, 2014, **Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses** (NewYork : Springer), 1 – 10.

[40] Roberts, Benjamin W. and others, 2014, **Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses** (NewYork : Springer), 195.

[41] Justine Bayley, David Crossley and Matthew Ponting,**Metal and Metalworking : A research framework for Archaeometallurgy** (London : English Heritage, 2008), 16-17.

[42] Heather Margaret-Louise Miller, **Archaeological Approaches to Technology** (California: Left Coast Press Inc,2009), 154-155.

ขั้นตอน มีลักษณะเป็นลูกโซ่เช่นนี้จนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายและส่งผลิตภัณฑ์ถึงมือผู้บริโภค[43] สำหรับประเด็นเรื่องการถลุงเหล็กนั้นมีนักโบราณคดีได้ทำการศึกษาแบบแผนการผลิตที่เป็นหลักสากลภายใต้แนวความคิดกระบวนการลูกโซ่ในการ ที่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการวิจัยได้คือแนวความคิดของเฮร์เทอร์ มิลเลอร์ นักโบราณคดีผู้มีความสนใจในแบบแผนเทคโนโลยีและการผลิตสินค้าต่างๆ ในอดีต โดยได้ทำการสร้างแบบกระบวนการถลุงเหล็กที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่วิจัยในยุโรปและเอเชียตะวันตกเฉียงใต้หรือเอเชียใต้ได้[44] โดยแบ่งขั้นตอนการถลุงเหล็กออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การรวบรวมวัตถุดิบหรือการทำเหมือง การเตรียมแร่ การถลุงแร่ และการกำหนดอายุสมัยของกิจกรรมการถลุง



ภาพที่ 1 ผังแนวความคิดห่วงโซ่กระบวนการผลิตของเฮร์เทอร์ มิลเลอร์

ที่มา Heather Margaret-Louise Miller,2009 ,**Archaeological Approaches to Technology** (California : Left Coast Press), 29.

---

[43] Colin Renfrew and Paul Bahn, **Archaeology: The Key Concepts** (London : Routledge, 2005), 25-26.

[44] Heather Margaret-Louise Miller, **Archaeological Approaches to Technology** (California : Left Coast Press, 2009) 29 – 30.

อย่างไรก็ตามแบบแผนการถลุงเหล็กดังกล่าวนั้นยังมีปัญหาใน 2 ประเด็น กล่าวคือ ประเด็นที่หนึ่งแบบแผนการถลุงเหล็กของเฮร์เทอร์ มิลเลอร์ ได้จากการสังเคราะห์จากแหล่งถลุงเหล็กในซีกโลกตะวันตกย่อมมีความแตกต่างในเงื่อนไขต่างๆ กับแหล่งถลุงเหล็กในซีกโลกตะวันออก ซึ่งเป็นฝ่ายรับเอาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กมาจากซีกโลกตะวันตกมาปรับใช้และพัฒนาตามลักษณะองค์ความรู้เทคโนโลยี (การควบคุมไฟ รูปแบบและโครงสร้างเตา การเลือกใช้แร่เหล็ก การเตรียมแร่เหล็ก ฯลฯ) และบริบทแวดล้อมของแหล่งถลุง (ปริมาณแร่ ลักษณะเชื้อเพลิงในท้องถิ่น การควบคุมการผลิตจากโครงสร้างทางสังคมระดับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็ก) ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถใช้แบบแผนดังกล่าวได้ทันที หากแต่ใช้เป็นแนวคิดพื้นฐาน ร่วมกับการดำเนินงานตามกระบวนการทางโบราณโลหวิทยาเพื่อลำดับกระบวนการกลุงเหล็กตามหลักฐานทางโบราณคดีที่ค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลำดับแบบแผนการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีแหล่งดังกล่าวในแง่หนึ่ง อีกแง่หนึ่งเป็นการตรวจสอบแบบแผนการถลุงเหล็กที่ผู้วิจัยเลือกใช้ว่ามีความเป็นกฎสากล (Generalization) หรือไม่

2.3 ทฤษฎีช่างฝีมือทักษะพิเศษ (Craft Specialization)

ส่วนประเด็นปัญหาที่สองคือลักษณะของงานโบราณโลหะวิทยาและแบบแผนกระบวนการผลิตที่กล่าวถึงข้างต้นนั้นยังไม่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับบริบททางด้านประวัติศาสตร์ล้านนา จึงมีความจำเป็นต้องขยายกรอบการวิจัยในประเด็นการถลุงเหล็กในฐานะงานช่างฝีมือทักษะพิเศษ (Craft Specialization) ซึ่งการศึกษาเรื่องเทคโนโลยีการถลุงจะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบการผลิต (Production system) ยังไม่สะท้อนให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต ผู้ควบคุมการผลิต การจัดจำหน่าย ผู้บริโภคกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ฯลฯ หรือในอีกแง่หนึ่งคือยังไม่สามารถสะท้อนให้เห็นพฤติกรรมของมนุษย์ในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้เทคโนโลยีนั้นๆ ได้ชัดเจนนัก ซึ่งการศึกษาเรื่องการถลุงเหล็กในแง่ของงานช่างฝีมือนั้น นักโบราณคดีผู้ทำการศึกษาจำเป็นต้องอธิบายคุณลักษณะของปัจจัยในระบบการผลิตซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ 6 ปัจจัย[45] จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีที่ค้นพบดังนี้

2.3.1 ช่างฝีมือหรือศิลปิน (Artisan) เป็นบุคคลหรือกลุ่มคนที่ผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาวิจัย โดยบุคคลหรือกลุ่มคนเหล่านี้เป็นผู้ผลิตสินค้าเพื่อส่งออกหรือแจกจ่ายมากกว่าใช้สินค้าที่ตนผลิตขึ้นมาเอง เช่น คนงานเหมือง ช่างถลุงเหล็ก หรือสล่าตีเหล็ก เป็นต้น โดยนักโบราณคดีที่ทำการศึกษาต้องระบุลักษณะของช่างฝีมือว่ามีระดับของการผลิต (Scale) เป็นเรื่องของระดับในการผลิตตั้งแต่ระดับครัวเรือนถึงระดับอุตสาหกรรมของรัฐ โดยแบ่งออกได้หลายระดับ เช่น ช่างฝีมือส่วนบุคคล (Individual Specialization กลุ่มช่างฝีมือ (Dispersed Workshop) ชุมชน

[45] Cathy Lynne Costin, “ Craft Production,” in **Handbook of Method in Archaeology** (London : AltaMira Press, 2005), 1038-1039.

ช่างฝีมือ (Community Specialization) ชุมชนช่างฝีมือระดับใหญ่ (Nucleated Workshop) ชุมชนช่างฝีมือที่มีอยู่กระจายตัว (Dispersed Corvée) และช่างหลวง (Retainer Workshop) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังต้องระบุความเข้มข้นในการผลิต (Intensity) เป็นการผลิตของผู้ผลิตตลอดเวลาหรือเป็นการผลิตในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ความเป็นอิสระในการผลิตว่ามีเป็นช่างฝีมือที่มีการควบคุมหรืออุปถัมภ์ (Attaced Specialist) หรือเป็นช่างฝีมืออิสระ (Indipendent Specialist) รวมทั้งลักษณะอื่นๆของช่างฝีมือเช่น เพศ การแบ่งหน้าที่ในการผลิตและการฝึกทักษะ เป็นต้น

2.3.2 ปัจจัยในการผลิต (Mean of Production) ประกอบด้วยวัตถุดิบ เครื่องมือในการผลิต องค์ความรู้ และทักษะที่จำเป็นในการผลิต เช่น การลำดับกระบวนการการถลุงเหล็กที่ได้จากการศึกษาห่วงโซ่การผลิต (Chaîne Opératoire) หรือการควบคุมไฟและการใช้อุณภูมิในการถลุงเหล็ก เป็นต้น ปัจจัยการผลิตถือเป็นหัวใจสำคัญในการศึกษาระบบการผลิต นักโบราณคดีสามารถศึกษาเรื่องดังกล่าวโดยใช้หลักฐานทางโบราณคดีที่ค้นพบจากกระบวนการทางโบราณคดี (สำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี) ข้อมูลจากการวิเคราะห์หลักฐานทางโบราณคดีทั้งเชิงภายภาพและในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.3.3 องค์กรหรือโครงสร้างทางสังคมที่มีความสัมพันธ์กับการผลิต (Organization and Social Relation) เป็นลักษณะความสัมพันธ์ทางด้านนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตระหว่างโครงสร้างทางสังคมระดับต่างๆ กับหน่วยการผลิต เช่น การเกณฑ์แรงงาน การควบคุมมาตรฐานการผลิต การคลังสินค้า การผลิตฝีมือ การขนส่งและแจกจ่ายสินค้า การร่วมมือระหว่างหน่วยการผลิตและผู้อุปโภคบริโภค ซึ่งอาจเป็นหน่วยงานของรัฐ ขุนนางหรือราชสำนักที่มีการควบคุมการผลิตสินค้าต่างๆ เช่น ราชสำนักเชียงใหม่ตั้งเมือง สำหรับใช้เป็นเมืองในการผลิตเหล็กให้แก่ราชสำนัก เป็นต้น

2.3.4 ผลิตภัณฑ์ (Object) เป็นผลิตผลเชิงรูปธรรมที่ได้จากระบบการผลิตและเป็นผลสำเร็จสุดท้ายของห่วงโซกระบวนการผลิต

2.3.5. ความสัมพันธ์กับการจัดจำหน่ายสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ (Relation of Distribution) หลักการและกลไกการเปลี่ยนผ่านสินค้าหรือผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค เช่น ผู้ค้าคนกลางหรือเส้นทางการค้า เป็นต้น โดยการขนส่งนั้นถือเป็นการสร้างมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในการขนส่งแต่ละครั้งอาจมีความยากลำบากในการขนส่ง นักโบราณคดีต้องอธิบายความสัมพันธ์ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลิตภัณฑ์ และระยะทางในการขนส่ง นอกจากนี้การขนส่งอาจหมายรวมถึงเส้นทางและระยะทางในการเข้าถึงแหล่งวัตถุ แหล่งผลิตและตลาดหรือคลังสินค้าที่เป็นจุดจำหน่ายหรือขนส่งสินค้าไปยังผู้บริโภคด้วย

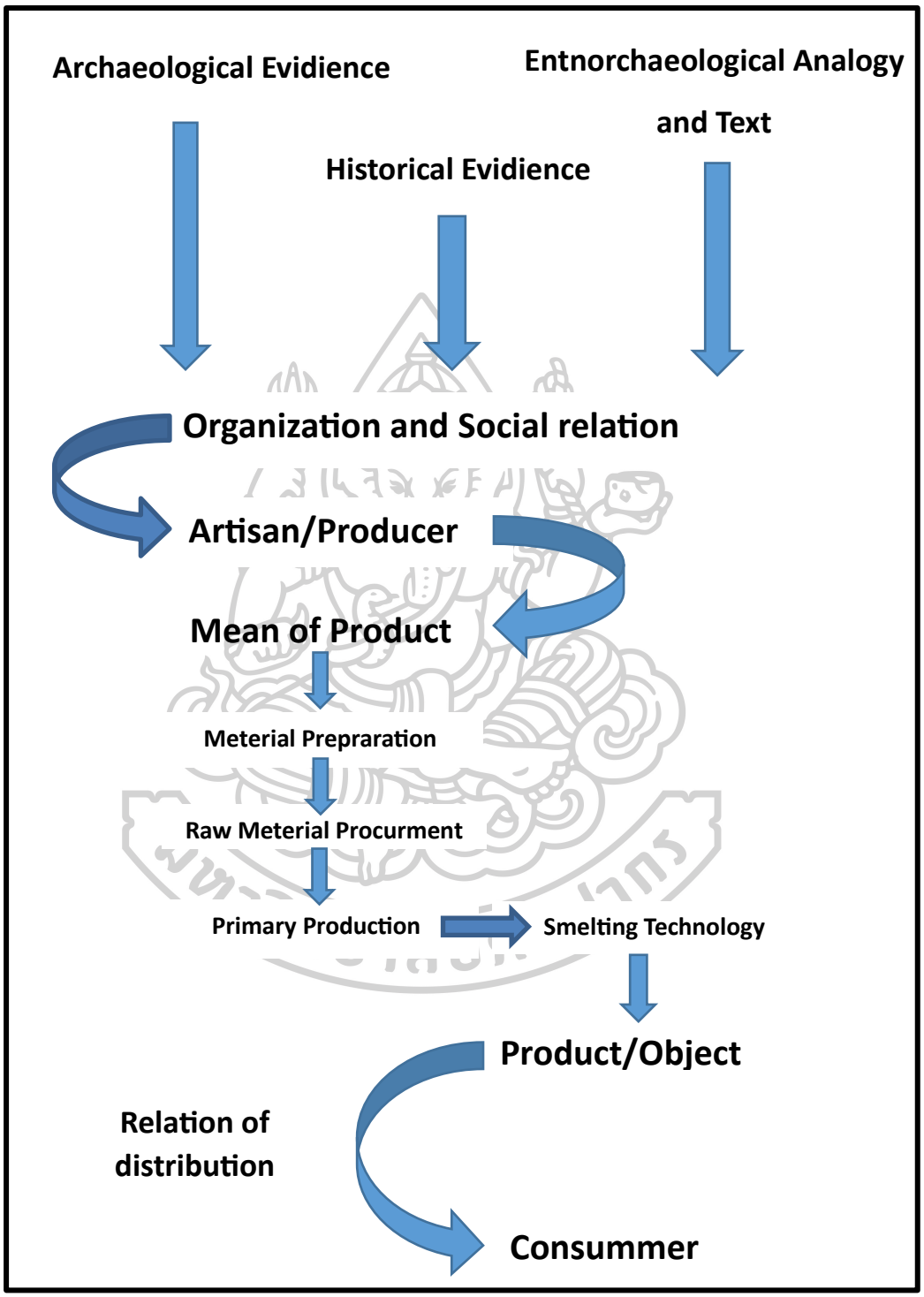
2.3.6 ผู้บริโภค (Consumer) เป็นบุคคลที่มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นและมีความเกี่ยวข้องกับสถาบันทางสังคมต่างๆ ที่มีความต้องการอุปโภคบริโภคผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น การส่ง

ส่วยเหล็กของเมืองอวนที่ผลิตได้ ปีล่ะ 30 หาบ ตามคำเรียกร้องของเค้าสนามหลวง (องค์กรการปกครองของสยามโดยชนพื้นเมืองเป็นข้าราชการ) ราชสำนักเมืองน่าน ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 25 เป็นต้น

การศึกษาระบบการผลิตนอกจากจะศึกษาจากหลักฐานและบริบททางโบราณคดีที่ได้จากการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคแล้ว ยังสามารถศึกษาได้จากการเปรียบเทียบกับหลักฐานทางโบราณคดีชาติพันธุ์ (Entnoarchaeological Analogy) และหลักฐานเอกสารทางประวัติศาสตร์เกี่ยวข้องกับชาติพันธุ์ที่ผลิตผลิตภัณฑ์ ที่นักโบราณคดีทำการศึกษาได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเฉพาะในกระบวนงานทดลองทางโบราณโลหะวิทยาในงานวิจัยชิ้นนี้ ที่ต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางชาติพันธุ์โบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็กสมัยโบราณ (ยุคประวัติศาสตร์) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบการทดลองและกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรควบคุม ซึ่งต้องอยู่บนพื้นฐานของหลักฐานทางโบราณคดี หลักฐานทางประวัติศาสตร์ชั้นต้นและข้อมูลโบราณคดีชาติพันธุ์ที่ได้ทำการสืบค้นไว้

2.4 กรอบวิจัยเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์

จากแนวคิดและทฤษฎีข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบกรอบวิจัยเพื่อศึกษากระบวนการถลุงเหล็กโบราณยุคประวัติศาสตร์ในพื้นที่วิจัย โดยประกอบด้วยการใช้ข้อมูล 3 ชุดข้อมูลที่สำคัญประยุกต์กับกระบวนงานโบราณโลหะวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลทางโบราณคดี ข้อมูลทางประวัติศาสตร์และข้อมูลทางโบราณคดีชาติพันธุ์ เพื่อสังเคราะห์กระบวนการและเทคโนโลยีการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณในลักษณะของห่วงโซ่กระบวนการผลิต และมีการตรวจสอบข้อสันนิษฐานดังกล่าวด้วยกระบวนงานทดลองทางโบราณคดี นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมขั้นตอนการวิเคราะห์ ตีความและสังเคราะห์องค์ความรู้ทางโบราณคดีในประเด็นบริบททางสังคมและวัฒนธรรมในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็กโดยเฉพาะทักษะงานช่างฝีมือ (Craft Production) อีกด้วย เพื่อให้การสร้างภาพในอดีตบนพื้นฐานของหลักฐานทางโบราณคดีมีความชัดเจนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 กรอบวิจัยเทคโนโลยีการถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์

เมื่อนำกรอบแนวคิดดังกล่าวข้างต้นมาประเมินศักยภาพแหล่งถลุงเหล็กสมัยโบราณที่พบในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประไทยพบว่าแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นแหล่งถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณที่มีศักยภาพสูงมาก มีระดับคะแนน 3.04/4.00 เป็นมรดกทางวัฒนธรรมสำคัญ ตามการประเมินศักยภาพแหล่งโบราณคดีของกรมศิลปากรเมื่อปี พ.ศ.2561[46] มีความโดดเด่นในแง่ของแหล่งโลหะกรรมที่มีสภาพแหล่งค่อนข้างสมบูรณ์ ถูกทำลายในระดับต่ำ สามารถวิจัยทางโบราณคดีได้ครบทุกกระบวนงานทางโบราณโลหะวิทยาข้างต้น เพื่อผลิตองค์ความรู้ทางด้านการถลุงเหล็กสมัยโบราณโดยเฉพาะการเป็นแหล่งโบราณคดีสำคัญ (Key Site) สมัยสุดท้ายของการถลุงเหล็กทางตรงแบบโบราณของดินแดนล้านนาก่อนที่จะมีการนำเข้าเหล็กแท่งและสำเร็จรูปจากต่างประเทศในรัชสมัยพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว

มหาวิทยาลัยศิลปากร

[46] ดูเพิ่มเติมใน พลพยุหะ ไชยรส. 2561. **รายงานการสำรวจทางโบราณคดีแหล่งโลหกรรมสมัยโบราณในบริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้น จังหวัดแพร่ ตามหลักกระบวนงานโบราณโลหะวิทยา (Archaeometallurgy)**. เชียงใหม่: สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร. เอกสารอัดสำเนา.

บทที่ 3
เทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงสมัยโบราณในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นทวีป

ในบทนี้ผู้วิจัยได้ปริทรรศน์วรรณกรรมในส่วนขององค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงสมัยโบราณในภูมิภาคต่างๆ ที่สำคัญ โดยใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ ตีความเชิงเปรียบเทียบข้ามวัฒนธรรม (Cross Culture) ด้านโครงสร้างเตาถลุง เทคโนโลยีและบริบททางด้านประวัติศาสตรของเทคโนโลยีการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณ เพื่อสร้างภาพห่วงโซ่การผลิต พฤติกรรม บริบททางสังคม เศรษฐกิจและวัฒนธรรมในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณต่อไป

3.1 การรู้จักใช้เหล็กในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (ดินแดนล้านนา)

เหล็กเป็นธาตุโลหะชนิดหนึ่งมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ “Fe” ซึ่งย่อมาจากคำในภาษาละตินว่า “ferrum” ซึ่งมีความว่า “เหล็ก” ส่วนในภาษาอังกฤษเรียกโลหะเหล็กว่า “Iron” มาจากคำภาษาอังกฤษโบราณที่ยืมมาจากคำในภาษาเซลติกคือ “isarnon” ธาตุเหล็กมีเลขเชิงอะตอม 26 และน้ำหนักเชิงอะตอมเท่ากับ 55.847 ซึ่งในธรรมชาติธาตุเหล็กจะไม่เกิดเป็นธาตุเดี่ยว แต่จะเกิดเป็นสารประกอบในลักษณะของแร่เหล็กชนิดต่างๆ โดยธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบร้อยละ 5 ของชั้นเปลือกโลก

การรู้จักถลุงเหล็กของมนุษยชาตินั้น เกิดจากความบังเอิญจากการใช้แร่เหล็กเป็นตัว (Flux) ในการถลุงถลุงทองแดงในภูมิภาคตะวันออกกลางเมื่อประมาณ 3,000 – 2,000 ปี ก่อนคริสตกาล[47] ในทวีปเอเชียพบร่องรอยหลักฐานเตาถลุงเหล็กที่แก่ที่สุดในพื้นที่มณฑลซินเจียง เมื่อราว 900 ปี ก่อนคริสตกาลโดยรับองค์ความรู้จากวัฒนธรรมในบริเวณทุ่งหญ้าสเตรปป์ของเอเชียกลาง ต่อมาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กของจีนพัฒนาอย่างมากจนกระทั่งสามารถผลิตเหล็กหล่อ (Cast Iron) ที่ต้องใช้อุณหภูมิมากถึง 1,535 องศาเซลเซียส ได้ในสมัยราชวงศ์จิ้น เมื่อราว 536 ปี ก่อนคริสตกาล[48] ส่วนในประเทศอินเดียพบหลักฐานทางโบราณคดีในแหล่งโบราณคดี “Ujjain” ซึ่งปรากฏร่องรอยการถลุงเหล็กในช่วง 500 ปีก่อนคริสตกาล[49]

สำหรับการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กในดินภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยยังเป็นประเด็นคำถามที่ค่อนข้างใหม่ในงานวิชาการโบราณคดีภาคเหนือของประเทศไทย แม้ว่าจะปรากฏหลักฐานเอกสารทางประวัติศาสตร์ที่กล่าวถึงเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับ “เหล็ก” โดยเฉพาะตำนานพื้นเมืองหรือตำนานทางศาสนาระบุว่าชาติพันธุ์ลัวะ ซึ่งเป็นกลุ่มชนดั้งเดิมบริเวณแอ่งที่ราบ

---

[47] Tylecote, R.F, **A history of metallurgy** (London : Institute of Materials, c1992), 47.

[48] Ibid, 56.

[49] Gordon, D.H. , “The Early Use of Metals in India and Pakistan” in **Journal of the Royal Anthropological Institute**, 1950, 55-78.

ต่างๆ ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่มีความรู้ความสามารถในถลุงเหล็กและผลิตเครื่องมือเหล็ก ดังปรากฏในพงศวดารโยนกว่าเมื่อ 2,500 ปี มาแล้วว่า “พญาลวจักรราช” เป็นหัวหน้าชาวลัวะมีจกหรือจอบขุดดินมากกว่า 500 เล่ม สำหรับแจกจ่ายบริวารให้ไปทำไร่[50] หรือในตำนานจามเทวีวงศ์ได้กล่าวถึงการเสด็จมาครองราชย์เมืองหริภุญไชยของพระนางจามเทวีโดยพระนางได้นำเอาช่างเหล็กจากเมืองละโว้ (ดินแดนภาคกลางของประเทศไทย) มาพร้อมกับพระนางด้วย[51] หากพิจารณาช่วงระยะเวลาที่ระบุในตำนานอาจกล่าวได้ว่าเรื่องราวของเหล็กในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเริ่มต้นขึ้นราวพุทธศตวรรษที่ 1 ถึง 12 ตรงกับช่วงสมัยเหล็ก (2,500 – 1,500 ปีมาแล้ว) ตามการจำแนกยุคสมัยทางโบราณคดีด้วยเครื่องมือเครื่องใช้หรือเทคโนโลยี[52]

เรื่องราวของสมัยเหล็กในภาคเหนือของประเทศไทยเริ่มมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อมีการงานขุดค้นทางโบราณคดียุคก่อนประวัติศาสตร์ถึงยุคแรกเริ่มประวัติศาสตร์ โดยในปี พ.ศ.2531 กรมศิลปากรขุดค้นพบใบหอกเหล็กมีบ้อง ส่วนปลายหักงอในแหล่งโบราณคดีบ้านยางทองใต้ อำเภอออบหลวง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยในสมัยเหล็กตอนปลาย กำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 1 – 5[53] เมื่อเปรียบเทียบโบราณวัตถุที่พบแล้วมีความคล้ายคลึงกับที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่าแหล่งโบราณคดีบ้านยางทองใต้เป็นแหล่งโบราณคดีสมัยเหล็กแหล่งแรกที่ขุดค้นพบในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ต่อมาในปี พ.ศ.2539 – 2540 มีการขุดค้นทางโบราณคดีที่บ้านวังไฮ อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นแหล่งฝังศพสมัยเหล็ก กำหนดอายุไว้ในสมัยเหล็กตอนปลายประมาณ 1,500 ปีมาแล้วจนถึงพุทธศตวรรษที่ 14[54] ถือเป็นแหล่งโบราณคดีสมัยเหล็กที่สำคัญแหล่งหนึ่งในประเทศไทย โดยความร่วมมือระหว่างสำนักโบราณคดีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติที่ 6 เชียงใหม่ กรมศิลปากร และรัฐบาลฝรั่งเศส จากการขุดค้นพบหลักฐานเครื่องมือเครื่องใช้ที่ทำจากเหล็กจำนวนมาก หากแต่ไม่พบร่องรอยของแหล่งถลุงเหล็กและแหล่งผลิตเครื่องมือเหล็ก หลักฐานชิ้นเด่นเช่นเครื่องมือเหล็กปลายง้อหรือแวก ขวาน มีด มีดมีกั่น เป็นต้น จากการศึกษาเชิงโบราณคดีชาติพันธุ์พบว่าเครื่องมือเครื่องใช้เหล็กที่พบในแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ มีความคล้ายคลึงกับเครื่องมือเหล็กของชาวลัวะปัจจุบันที่อาศัยอยู่ในตำบลบ่อหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่[55] เป็นอย่างมาก

---

[50] พระยาประชากิจกรจักร (แช่ม บุนนาค), **พงศาวดารโยนก** (นนทบุรี : ศรีปัญญา, 2557), 177.

[51] สงวน โชติสุขรัตน์, **ประชุมตำนานล้านนาไทย** (กรุงเทพฯ : ศรีปัญญา, 2555), 17.

[52] สุรพล นาถะพินธุ, **รากเหง้า บรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์** (กรุงเทพฯ: มติชน, 2550), 16-17.

[53] กรมศิลปากร, **โบราณคดีภาคเหนือ เหมืองแม่เมาะ ออบหลวงและยางทองใต้** (กรุงเทพ : กรมศิลปากร, 2531), 102.

[54] ฌอง ปแยร์ โปโทร และคณะ, **บ้านวังไฮ : แหล่งฝังศพโบราณยุคเหล็กในภาคเหนือของประเทศไทย** (เชียงใหม่ : ซิงค์เวอร์ม, 2546), 143.

[55] ชิดชนก ถิ่นทิพย์, การศึกษาชาติพันธุ์วรรณาทางโบราณคดี : กรณีศึกษาการผลิตเครื่องมือเหล็กของกลุ่มชาติพันธุ์ละว้า ตำบลบ่อหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ กับเครื่องมือเหล็กจากแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ

เมื่อดินแดนภาคเหนือของประเทศไทยเข้าสู่ยุคประวัติศาสตร์โดยเฉพาะในสมัยล้านนา ปรากฏหลักฐานเอกสารกล่าวถึงการทำเหมืองเหล็กและการถลุงเหล็กที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น ตำนานพื้นเมืองเชียงราย กล่าวถึงในรัชสมัยพญาสามฝั่งแกนได้มีการปักตาหล่าวหรือเฉลว เพื่อกำหนดขอบเขตการทำและช่วงระยะเวลาการทำเหมืองเหล็กในเมืองเชียงแสน ความว่า "...คันขุดบ่อ เดือน 3 เข้า เดือน 6 ถอน (ที่) ตั้งตาแหลวมีฉันนี้..."[56] หรือในรัชสมัยพญาแสนพู มีการสร้างเตาเหล็กอยู่ในเขตวัดป่าสักเมืองเชียงแสนในว่า "...พายแคว้นพุทธป่าสัก มีบอกเส่าเตาเหล็ก ทังค้อนคีมรางพร้ารางคีม ฝ่ายวันตกแคว้นเมืองกองมีร้อยบั้งแหส้อยแหไว้หื้อเปนสักขี.."[57] โดยเหล็กในสมัยล้านนาถือเป็นสินค้าสำคัญที่มีความต้องการในตลาดสูงโดยเฉพาะพ่อค้าฮ้อ ดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่ที่กล่าวถึงการเรียกเก็บส่วยเหล็กกว่า 60 ตัน (1000 หาบ)[58] จากเจ้าลุ่มฟ้าพญาฮ่อ (ยูนนาน) ดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่ ความว่า "...ถัดนั้นอยู่บ่นานเท่าใด เจ้าลุ่มฟ้าใช้ห้อผู้ใหญ่สองคน มาถามเอาเส้นกุ้งของคัล..."[59] แสดงให้เห็นว่าในสมัยล้านนามีการถลุงเหล็กในลักษณะอุตสาหกรรมระดับรัฐ

จากข้อมูลข้างต้นแม้จะปรากฏหลักฐานเอกสารและหลักฐานทางโบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับการทำเหมืองเหล็ก การถลุงเหล็กและเครื่องมือเครื่องใช้ที่ทำจากเหล็กที่สำคัญหลายอย่าง หากแต่ยังไม่ปรากฏร่องรอยหลักฐานทางโบราณคดีอันแสดงถึงกิจกรรมการถลุงเหล็กที่ชัดเจนนัก จนกระทั่งในปี พ.ศ.2540 กรมศิลปากรได้ดำเนินการขุดค้นทางโบราณคดีในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ หริภุญไชย อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน มีการค้นพบร่องรอยของการถลุงและตีโลหะครั้งแรกในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยพบชั้นดินที่ถูกความร้อนจัดจากการเผาไหม้ เมล็ดข้าวสาร ตะกรันแร่ เบ้าหลอมโลหะและเศษเครื่องมือเหล็กที่ยังตีไม่เสร็จ กำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 14[60] หลังจากการขุดค้นครั้งนี้ ยังไม่มีรายงานการค้นพบแหล่งถลุงเหล็กเป็นระยะเวลานานจนกระทั่งในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึง 2565 กรมศิลปากรโดยสำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ ดำเนินงานวิจัยแหล่งถลุงแร่เหล็กสำคัญๆ เพิ่มเติมหลายแหล่งโดยแบ่งออกได้ 2 ยุค คือ

3.1.1 ยุคก่อนประวัติศาสตร์

กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ ได้เก็บตัวอย่างก้อนตะกรันเหล็กของแหล่งถลุงเหล็กในพื้นที่บ้านแม่ลาน อำเภอลี้ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อสกัดเอาถ่านที่อยู่ภายใน

ตำบลเวียงยอง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน (เอกสารการศึกษาเฉพาะบุคคล ระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตร ศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555), 126-127.

[56] สรัสวดี อ๋องสกุล, **พื้นเมืองเชียงแสน** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์, 2546), หน้า 196 – 197.

[57] เรื่องเดียวกัน, หน้า 188.

[58] Penth, Hans, **A brief history of Lan Na : Northern Thailand from past to present** (Chiang Mai : Silkworm Books, 2004), 154.

[59] อรุณรัตน์ วิเชียรเขียว และเดวิด เค. วัยอาจ, **ตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่** (เชียงใหม่ : ซิลค์เวอร์มบุคส์, 2547), 103.

[60] ก่องแก้ว วีระประจักษ์, สายันต์ ไพรชาญจิตร์ และสุภมาศ ดวงสกุล, โบราณคดีล้านนา (กรุงเทพ : สมาพันธ์,2540), 79-81.

ไปกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องเร่งและแยกจำนวนไอโซโทปของคาร์บอน (AMS Dating) พบว่ากิจกรรมการถลุงเหล็กของพื้นที่ดังกล่าวมีอายุอยู่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 3 ถึง 4 ก่อนการเกิดรัฐหริภุญไชย ราว 1,000 ปี หรือไม่เก่าแก่ไปกว่า 2,500 ปีมาแล้ว แหล่งถลุงเหล็กในพื้นที่บ้านแม่ลาน อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน จัดเป็นแหล่งถลุงเหล็กที่มีอายุเก่าแก่ที่สุดในภาคเหนืออยู่ในช่วงยุคต้นของสมัยเหล็กในประเทศไทย[61]

3.1.2 ยุคประวัติศาสตร์

3.1.2.1 บริเวณแอ่งฮอดซึ่งเป็นแอ่งที่ราบย่อยของแอ่งที่ราบเชียงใหม่ พบร่องรอยกิจกรรมการถลุงเหล็กที่แหล่งโบราณคดีบ่อสลี อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ โดยสำรวจพบร่องร่อยกิจกรรมการถลุงขนาดใหญ่ จำนวน 3 แหล่ง กระจายตัวอยู่ตามแนวเทือกเขา ปรากฏหลักฐานเกี่ยวกับการถลุงเหล็กจำนวนมากประกอบด้วย ตะกรันเหล็ก ปลายหุ้มท่อสูบลมดินเผา ผนังเตาถลุง ก้อนแร่เหล็กชนิดแมกนิไทต์ และทั่งหินสำหรับย่อยแร่ นอกจากนี้ภายในบริเวณแหล่งถลุงยังพบเบี้ยดินเผา เศษชิ้นส่วนเครื่องถ้วยจีนสมัยราชวงศ์หมิงและเครื่องถ้วยจากแหล่งเตาล้านนาจำนวนมาก กำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 20[62]

3.1.2.2 บริเวณเชิงดอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ถลุงเหล็กเป็นพื้นที่ศักดิ์สิทธิ์มาแต่เดิม โดนสะท้อนผ่านตำนานปู่แสะย่าแสะหรือกลุ่มชาติพันธุ์ลัวะที่อยู่อาศัยก่อนการตั้งเมืองเชียงใหม่ การขุดค้นทางโบราณคดีเริ่มต้นขึ้นในปี พ.ศ.2558 จากการขุดค้นพบร่องรอยของการถลุงเหล็กในเขตพื้นที่ โดยพบเศษผนังเตา เศษตะกรันเหล็ก เศษแร่เหล็กชนิดแมกนิไทต์ เศษเครื่องถ้วยเวียงกาหลง กำหนดอายุแหล่งโบราณคดีไว้ราวพุทธศตวรรษที่ 20 - 22[63]

3.1.2.3 บริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้นซึ่งเป็นแอ่งที่ราบย่อยของแอ่งที่ราบแพร่ กรมศิลปากรได้สำรวจพบแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตั้งอยู่ในเขตท้องที่ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ โดยแหล่งถลุงเหล็กอยู่ใกล้กับเมืองลองโบราณริมฝั่งแม่น้ำยม ซึ่งเป็นเมืองโบราณที่มีพัฒนาการการตั้งถิ่นฐานตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 17 ถึงปัจจุบัน นอกจากการค้นพบแหล่งถลุงเหล็กแล้วยังพบแหล่งแร่เหล็กหลายจุดในบริเวณแอ่งที่ราบเดียวกัน จากเอกสารทางประวัติศาสตร์ระบุว่าการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณมีการผลิตเพื่อส่งส่วยเหล็กแก่เมืองนครลำปางในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการศึกษาเรื่องราวของเหล็กในวัฒนธรรมก่อนล้านนาและหลังล้านนา ยังมีการศึกษาไม่มากนักโดยเฉพาะการศึกษาทางด้านเทคโนโลยีการถลุงเหล็ก

---

[61]ยอดดนัย สุขเกษม, “แหล่งถลุงเหล็กโบราณบ้านแม่ลาน: ข้อมูลใหม่ของแหล่งโลหกรรมช่วงต้นสมัยเหล็กของดินแดนล้านนา” ใน **ศิลปากร** ,65,2 (มี.ค. - เม.ย. 2565), 16

[62] สัมภาษณ์ นายยอดดนัย สุขเกษม นักโบราณคดีปฏิบัติการ กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่, 15 เมษายน 2562.

[63] สำนักศิลปากรที่ 8 เชียงใหม่ กรมศิลปากร, **รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีพื้นที่ทางด้านทิศใต้ของดอยสุเทพและดอยคำ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่** (เชียงใหม่ : บริษัท งานโบราณ จำกัด, 2558), 39-57.

การค้นพบแหล่งถลุงเหล็กส่วนใหญ่พบโดยความบังเอิญจากการแจ้งข่าวสารจากราษฎรผู้พบเห็น สถานะองค์ความรู้เรื่องการถลุงเหล็กในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในปัจจุบันจึงเป็นเพียงข้อมูลชั้นต้นจากการสำรวจทางโบราณคดีเพื่อระบุตำแหน่ง การหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์เพื่อสืบหาแหล่งถลุงเหล็กที่มีความเก่าแก่มากที่สุด ส่วนการขุดค้นทางโบราณคดีเป็นการขุดค้นเพื่อศึกษาการกระจายตัวของแหล่งโบราณคดีและกำหนดค่าอายุแหล่งโบราณคดี และรวบรวมหลักฐานองค์ประกอบของแหล่งเตาเพื่อสันนิษฐานโครงสร้างเตาถลุงเหล็กในเบื้องต้น ยังไม่มีการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ จุลภาคและเคมีของเตาถลุงและเทคโนโลยีการถลุง เพื่อลำดับห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็ก รวมทั้งการศึกษาบริบททางประวัติศาสตร์ของกระบวนการถลุงเหล็กที่ชัดเจน อันเป็นองค์ความรู้ที่ยังขาดหายไปในกระแสประวัติศาสตร์ล้านนา แม้ว่าในเอกสารทางประวัติศาสตร์จะระบุว่าเหล็กนั้นมีความสำคัญต่อการสร้างบ้านแปงเมือง พัฒนาการทางวัฒนธรรม และเป็นอุตสาหกรรมและสินค้าสำคัญของอาณาจักรล้านนาก็ตาม

3.2 สังเขปลักษณะกระบวนการถลุงเหล็กสมัยโบราณ

การถลุงเหล็กคือเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนและปฏิกิริยารีดักชั่น (Reduction) ภายในเตาถลุงที่สร้างขึ้นมาในแบบต่างๆ เพื่อถลุงเอาแร่บริสุทธิ์ (Base Metal) ออกจากก้อนแร่ (Ore) โดยความร้อนและปฏิกิริยาดังกล่าวยังช่วยแยกเอามลทิน (Gangue) ออกจากแร่บริสุทธิ์ในรูปแบบของตระกรัน โดยต้องให้ความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวของแร่ธาตุชนิดนั้นๆ ซึ่งการเพิ่มอุณภูมิความร้อนให้ถึงระดับจุดหลอมเหลวนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการระบบลมที่จะนำเข้าสู่ห้องถลุงและยังต้องใช้เชื้อเพลิงในการเพิ่มความร้อนและก่อให้เกิดปฏิกิริยาในห้องเตาโดยในระยะแรกมีการใช้ถ่านไม้ต่อมาในระยะหลัง (ราวพุทธศตวรรษที่ 23) มีการใช้ถ่านหินแทนถ่านไม้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ในขั้นตอนการถลุงอาจมีการใส่เชื้อถลุง (Flux) เช่น หินปูนหรือวัตถุที่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปในระหว่างการถลุงเพื่อช่วยแยกมลทินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น[64] การถลุงเหล็กให้ได้มวลเหล็ก (Iron Ingot) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่สำคัญคือ การเลือกสรรแร่เหล็ก การเตรียมแร่เหล็ก การถลุงเหล็กและการตีขึ้นรูป

3.2.1 การเลือกสรรแร่เหล็ก

แร่เหล็กถือเป็นสินแร่ที่มีมากเป็นอันดับที่ 4 ของโลก โดยมักปรากฏในรูปของแร่ลิโมไนท์ แร่เหล็กประเภทที่มีสารประกอบของคาร์บอเนต และแร่ฮีมาไทต์ โดยแร่เหล็กดังกล่าวยังคงมีออกไซต์อยู่ในแร่เหล็กแต่โดยทั่วไปแล้วมักมีแร่เหล็กในก้อนแร่มากถึงร้อยละ 70 อย่างไรก็ตามแร่เหล็กยังคงมีมลทิน (Gangue) ปะปนในก้อนแร่อยู่มาก[65] มักก่อให้เกิดตะกรันเหล็กจำนวนมากในการ

---

[64] สารนุกรมออนไลน์ “ENCYCLOPEDIA BRITANNICA” สามารถเข้าถึงได้ใน https://www.britannica.com/technology/smelting

[65] Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam : Vrije University, 2004), 10.

ถลุงแต่ละครั้ง ทั้งนี้แร่เหล็กในประเทศไทยพบทั้งสิ้น 4 ชนิด ได้แก่แร่ฮีมาไทต์ (Hematite) แร่แมกนีไทต์ (Magnitite) แร่เกอร์ไทต์ (Geotite) และแร่ไพไรต์ (Pylite)

นอกเหนือจากเหล็กที่พบบนโลกแล้วมนุษย์ยังรู้จักใช้เหล็กอุกกาบาต (Meteoric Iron) โดยปรากฏการใช้เหล็กอุกกาบาตมาตั้งแต่ก่อน 3,000 ปีก่อนคริสตกาล เช่น ลูกเหล็กกลม 3 ชิ้น จากแหล่งโบราณคดี “Tepe Sialk” ในตอนเหนือของประเทศอิหร่าน ลูกปัดเหล็กอุกาบาต จำนวน 9 เม็ด จากแหล่งโบราณคดี “El Gerzeh” ในประเทศอียิปต์ และแหวน 1 วง จากแหล่งโบราณคดี “Armant” ในประเทศอียิปต์ เหล็กอุกกาบาตยังพบในการทำเครื่องมือขวานเหล็กแบบมีบ้องในแหล่งโบราณคดีวัฒนธรรม “Hallstatt” อายุราว 800 – 300 ปีก่อนคริสตกาล โดยมีนิเกลเป็นส่วนประกอบราวร้อยละ 4 โดยพบแร่นิกเกลเป็นชั้นบางๆ ในชิ้นงานแสดงให้เห็นว่าช่างเหล็กรู้จักการประสานชิ้นส่วนเหล็กที่มีที่มาแตกต่างกัน[66] อย่างไรก็ตามเหล็กอุกาบาตรในสมัยโบราณนั้นมักประกอบด้วยแร่นิกเกิลมากถึงร้อยละ 10 มีความแข็งมากยากต่อการนำมาใช้งาน และจากการศึกษาทางโบราณโลหวิทยาจนถึงปัจจุบันยังไม่พบว่ามีแร่นิกเกิลในปริมาณมากถึงร้อยละ 10 ในการถลุงเหล็กทางตรงในสมัยโบราณ[67] ส่วนเหล็กบริสุทธิ์ หรือ “Native Iron” พบได้น้อยมากบนโลกมักปรากฏเป็นเม็ดขนาดเล็กแทรกตัวในเนื้อหิน เรียกเหล็กชนิดดังกล่าวว่า “Telluric Iron” มีส่วนประกอบของนิเกลและเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกันไปในแต่ล่ะพื้นที่ พบได้ในประเทศกรีนแลนด์ นิวซีแลนด์ เยอรมัน สหรัฐอเมริกาและรัสเซีย[68]

การกำเนิดของแร่เหล็กในประเทศไทยนั้นมีหลายลักษณะ หากแต่สำหรับพื้นที่แอ่งที่ราบลองวังชิ้นเป็นแหล่งแร่เหล็กที่กำเนิดแบบแมกมา (Magmatic iron deposit) จัดเป็นแหล่งแร่แบบปฐมภูมิ (Primary ore deposit) มีความสัมพันธ์กับการแทรกซ้อนขึ้นมาของแมกมาจากชั้นใต้ผิวเปลือกโลก โดยแมกมาเป็นแหล่งต้นกำเนิดของสารละลายไอเอิร์นออกไซด์ ที่มีทั้งแร่ฮีมาไทต์และแร่แมกนีไทต์ โดยในขณะที่แมกมากำลังเย็นตัวลงและแทรกขึ้นมาตามรอยแตก รอยเลื่อนหรือตามช่องทางที่ง่ายต่อการแทรกขึ้นมาในหินท้องที่ แล้วเย็นตัวเป็นแร่เหล็กทั้งชนิดแร่แมกนีไทต์และแร่ฮีมาไทต์ซึ่งจะแทรกตัวอยู่ในรอยแตกและรอยเลื่อนเหล่านั้น แหล่งแร่เหล็กที่มีกำเนิดเช่นนี้ ยังพบแหล่งแร่เหล็กตำบลนาแขม อำเภอเมือง จังหวัดเลยและแหล่งแร่เหล็ก ตำบลน้ำรอบ อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี อีกด้วย

นอกจากนี้ในเขตบริเวณตำบลเวียงต้า อำเภอลองจังหวัดแพร่ยังพบแหล่งแร่เหล็กที่สะสมตัวอยู่ตามเชิงเขาและที่ลุ่ม (Colluvial deposit) เป็นแหล่งแร่เหล็กที่เกิดจากสายแร่เหล็ก

---

[66] อิสราวรรณ อยู่ป้อม, “การศึกษาเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณที่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553), 7.

[67] Tylecote R. F. , **A History of Metallurgy** (London : Institute of Materials,1992), 7.

[68] Roberts, Benjamin W. and others, **Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses** (NewYork : Springer,2014) , 29.

ในบริเวณที่สูงกว่าได้ ผุพังแตกหักเป็นก้อนแร่เหล็กขนาดต่างๆ แล้วเคลื่อนตัวตามแรงโน้มถ่วงของโลกลงมาตามไหล่เขา สะสมตัวปะปนอยู่ในชั้นดินปนเศษหินในบริเวณเชิงเขา ส่วนแหล่งแร่เหล็ก ที่สะสมตัวอยู่กับที่ (in-situ deposit) เป็นแหล่งแร่เหล็กที่เกิดจากแร่เหล็กที่ผุพังแตกหักจากสายแร่เหล็กในบริเวณนั้น แล้วสะสมตัวทับถมกันอยู่ในที่เดิม กลายเป็นแหล่งแร่เหล็กที่มีกำเนิดในยุคปัจจุบัน หรือศิลาแลง (Literite) ถือเป็นชนิดของเหล็กที่มีลักษณะดังกล่าวข้างต้น จากหลักฐานทางโบราณคดีถือเป็นสินแร่เหล็กที่สามารถถลุงเหล็กได้[69] เนื่องจากหาได้ง่ายและมีเหล็กในปริมาณมากพอที่สามารถนำมาถลุงเหล็ก[70] การเกิดของศิลาแลงนั้นมักเกิดในพื้นที่ที่มีภูมิกาศร้อนชื้น เกิดจากการผุกร่อนและตกตะกอนของแร่เหล็กออกไซต์ โซเดียม แมงกานีส และแคลเซียม เมื่อธาตุดังกล่าวรวมตัวกันจะก่อให้เกิดชั้นของแลงที่มีส่วนประกอบของซิลิกาและเซสควิออกไซต์ (กลุ่มอนุภาคของเหล็กออกไซต์ อะลูมิเนียมและแมงกานีส) ซึ่งในแลงมีแร่เหล็กจำนวนมากและอาจมีส่วนประกอบของแร่แมงกานีสในปริมาณมากอีกด้วย[71]

3.2.2 การทำเหมืองแร่เหล็ก

การทำเหมืองแร่เหล็กมีความคล้ายคลึงกับการทำเหมืองแร่ทองแดงในสมัยโบราณโดยอาจมีการทำเหมืองในลักษณะเหมืองหาบหรือเหมืองเปิด (Open cast mining) โดยการขุดหลุมลึกคล้ายบ่อน้ำหรือเป็นหลุมสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว (Trance) ขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของสายแร่ ส่วนใหญ่แร่เหล็กที่ทำเหมืองในลักษณะนี้มักเป็นแร่เหล็กลิโมไนต์ ฮีมาไทต์ เกอร์ไทต์ แมกนิไทต์ และแร่เหล็กคาร์บอเนต[72] นอกจากนี้ยังมีการทำเหมืองขุด (Underground mining) ซึ่งอาจเป็นลักษณะเหมืองปล่อง (Sharf) เหมืองอุโมงค์ตามแนวนอน (Adits) หรือเหมืองที่มีลักษณะคล้ายถ้ำหรือคูหาขนาดใหญ่ (Galleries)[73] การทำเหมืองแร่เหล็กสมัยโบราณในประเทศไทยมีบันทึกไว้ในเอกสารทางประวัติศาสตร์และมุขปาฐะในลักษณะการทำเหมืองแบบเหมืองเปิด

---

[69] T. O. Pryce and S. Natapintu, “Smelting Iron from Laterite: Technical Possibilityor Ethnographic Aberration?” in **Asian Prespective**, (48), 2,2009, 256.

[70] Bennett Bronson, “ Pattern in the early southeast asian metals trade” in **Early metallurgy trade and urban centres in thailand and Southeast Asia** (Bangkok : Withe Lotus,1992), 77.

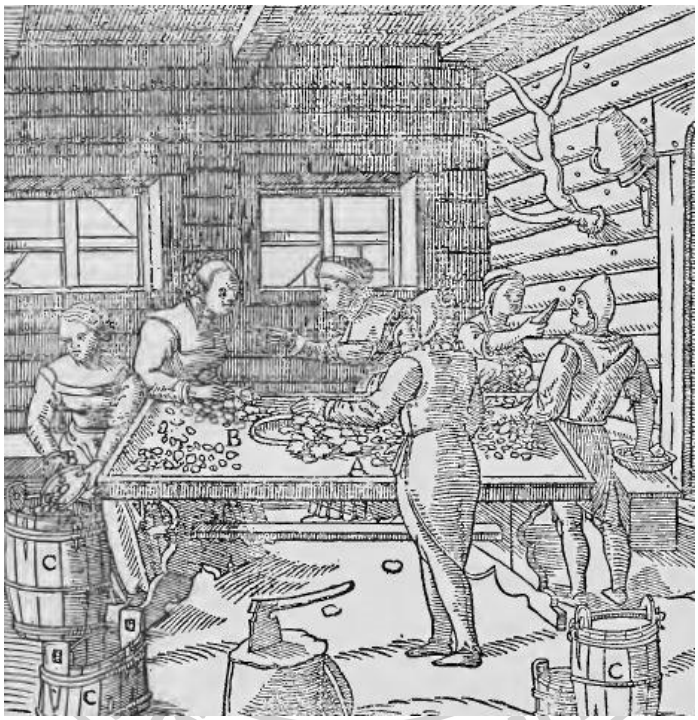
[71] Hayden James Cawte and William E. Boyd, “Laterite Nodules: A Credible Source of Iron Ore in Iron Age Northeast Thailand?” in **Geoarchaeology: An International Journal**, Vol. 25, No. 5, (2010), 630.

[72] Radomir Pleiner, **Iron in archaeology : The European bloomery smelter** (Praha: Archeologický ústav AVČR, 2000) 94 – 95.

[73] อิสราวรรณ อยู่ป้อม, “การศึกษาเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณที่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553), 10.

3.2.3 การเตรียมแร่

เป็นการทำความสะอาดก้อนแร่เหล็กที่จะนำมาถลุงเพื่อคัดเอามลทิน (Gangue) เช่น อินทรียวัตถุ เศษก้อนกรวด ทราย ฯลฯ โดยอาจมีการย่อยแร่ด้วยการทุบให้เป็นก้อนเล็กละเอียด เพื่อคดเอาก้อนแร่ที่มีปริมาณแร่มากและมีมลทินน้อย เพื่อเตรียมการถลุง นอกจากนี้ยังมีการทำความสะอาดแร่และการย่างแร่ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยกำจัดความชื้นและซัลเฟอร์ออกจากแร่เหล็ก โดยจะย่างแร่โดยใช้เชื้อเพลิงจำพวกถ่านไม้หรือถ่านหินในอุณหภูมิประมาณ 500 - 800 องศาเซลเซียส[74] ก่อนนำแร่ไปถลุง



ภาพที่ 3 **การคัดแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21)**

ที่มา Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover, **De Re Metallica : translated form the first latin edition 1556** (New York : Dover Publication.INC,1950), 291.

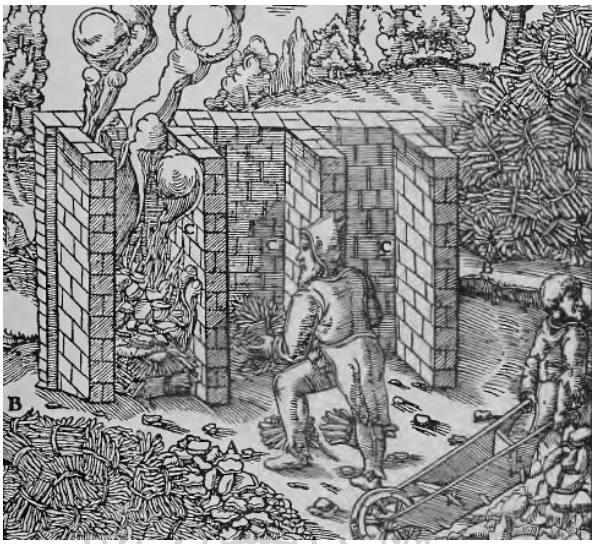
[74] Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam : Vrije University, 2004), 10.

ภาพที่ 4 การย่อยแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21)

ที่มา Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover, **De Re Metallica : translated form the first latin edition 1556** (New York : Dover Publication.INC, 1950), 351.

ภาพที่ 5 การทำความสะอาดแร่ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21)

ที่มา Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover, **De Re Metallica : translated form the first latin edition 1556** (New York : Dover Publication.INC, 1950), 268.



ภาพที่ 6 การย่างแร่ (ขวา) ในสมัยยุคกลางของยุโรป (พุทธศตวรรษที่ 20 -21)

ที่มา Herbert Clark Hoover and Lou Henry Hoover, **De Re Metallica : translated form the first latin edition 1556** (New York : Dover Publication.INC,1950), 270.

3.2.4 การถลุงเหล็ก

การถลุงแร่เหล็กนั้นมีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 ชนิดในขณะทำการถลุงคือปฏิกิริยารีดักชั่นที่ทำให้เหล็กออกไซต์กลายเป็นเหล็กและปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดตะกรันแร่เหล็กเหลว (liquid Slag)[75] จากการหลอมละลายมลทินภายในก้อนแร่เหล็ก ในการถลุงเหล็กจะต้องกำจัดออกไซต์รวมทั้งมลทินเพื่อให้เหลือเหล็กบริสุทธิ์ การถลุงแร่เหล็กสามารถจำแนกแกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

3.2.4.1 การถลุงเหล็กทางตรง (Direct) การถลุงเหล็กทางตรงมีวิธีการที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้ตั้งแต่ระดับครัวเรือนและเป็นเทคโนโลยีการถลุงเหล็กที่มีมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ โดยเริ่มต้นจากการนำแร่เหล็กที่ย่อยได้ขนาดและทำความสะอาดแล้ว คลุกเคล้าเข้ากับถ่านไม้หรือเชื้อเพลิง ในการถลุงจะกำหนดอัตราส่วน เหล็ก (1) ต่อ ถ่าน (3) จากนั้นจึงสูบลมเพื่อเร่งอุณหภูมิภายในเตาให้สูงจนถึงระดับ 1,200 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส โดยในระหว่างการถลุงจะต้องเติมถ่านเป็นระยะเพื่อเพิ่มก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ในห้องเตาให้ถึงระดับที่สามารถทำปฏิกิริยากับแร่เหล็กโดยดึงก๊าซออกซิเจนออกจากแร่เหล็ก ทำให้แร่เหล็กกลายสภาพเป็นเหล็ก มีลักษณะเป็นก้อนหนืดรวมตัวกันบริเวณก้นเตา เรียกว่า “Bloom” ส่วนธาตุอื่นๆ ที่ผสมอยู่ในแร่เหล็กก็จะถูกหลอมละลายกลายเป็นตะกรัน (Slag) สะสมตัวอยู่ใต้ชั้น “Bloom” การถลุงตามกรรมวิธีดังกล่าวข้างต้นก้อน “Bloom” จะยังมีตะกรันปะปนต้องนำไปหลอมในเตาตีเหล็ก (Smithing) อีกครั้ง เพื่อตีเอาเศษ

[75] The Historic Metallurgy Society datasheets : Iron bloomery smelting and associated process สามารถเข้าถึงได้ใน http://hist-met.org/images/pdf/HMSdatasheet301.pdf

ขี้แร่หรือมลทินออกจนเหลือแต่ก้อนเหล็กอ่อนบริสุทธิ์ที่เรียกว่า “Wrought Iron”[76] สามารถนำไปตีเครื่องมือเครื่องใช้ต่อไป

ภาพที่ 7 การทดลองทางโบราณคดีเพื่อถลุงเหล็กในแบบทางตรงปรากฏก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom)
ที่มา Historic England**, Archaeometallugy : Guidelines for beast practice** (London : Historic England, 2001), 2.

นอกจากนี้การถลุงเหล็กทางตรงยังก่อให้เกิดก้อนตะกรันประเภทต่างๆ[77] ดังนี้

1. ตะกรันก้นเตา (Slag Cake) เป็นก้อนตะกรันที่มักมีก้อนถ่านหรืออินทรียสารปะปนร่วมด้วย ผิวด้านบนมักแบนราบและขรุระ ผิวด้านข้างมักโค้งเว้าซึ่งเป็นการก่อตัวจากการสัมผัสกับผนังของเตาถลุง ในบางก้อนอาจปรากฏจุดสีส้มซึ่งเป็นสนิมของแร่เหล็กในพื้นผิวด้านบนก้อนตะกรัน ซึ่งพื้นผิวดังกล่าวแต่เดิมเป็นพื้นผิวที่มีการสัมผัสหรืออยู่ติดกับก้อน “Bloom” ในบางกรณีผิวใต้มีการก่อตัวโดยไม่สัมผัสกับก้อนเตาซึ่งในกรณีนี้จะเกิดก้อนตระกรันทีมีลักษณะไหลย้อย (Slag Flow) ต่อออกจากผิวด้านใต้

[76] สุรพล นาถะพินธุ, **รากเหง้า บรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2550), 172 – 173.

[77] Brice Girbal, **Michelmerch Romsey and Hampshire Analysis of slag : Technological Report** (London : English Heritage,2010), 11 – 14.

ภาพที่ 8 ตะกรันก้นเต้า (Slag Cake) ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม จังหวัดแพร่

2. ตระกันหยดน้ำ (Slag Prill) เป็นตะกรันที่มีลักษณะคล้ายหยดน้ำ เป็นตะกรัยที่เกิดการเย็นตัวอย่างฉับพลัน มีลักษณะเป็นแท่งยาวปรากฏริ้วรอยการไหลตัวของตะกรันเหลวในแนวดิ่ง มีสีเทา หรือสีเขียวอมเทา หรือสีดำ

ภาพที่ 9 ตะกรันแบบหยดน้ำ (Slag Prill)

ที่มา Brice Girbal, **Michelmerch Romsey and Hampshire Analysis of slag : Technological Report** (London : English Heritage,2010), 13.

3. ตะกรันในหลุมดักตะกรัน (Slag Block) มักพบในเตาถลุงที่มีหลุมดักตะกรัน (Slag Pit) มักเป็นก้อนตะกรันที่มีร่องรอยของถ่าย เศษอินทรียวัตถุ มีสีเทา สีดำ หรือสีเทาดำ

ภาพที่ 10 ตะกรันในหลุมดักตะกรัน (Slag Block)

ที่มา Brice Girbal, **Michelmerch Romsey and Hampshire Analysis of slag : Technological Report** (London: English Heritage, 2010), 12.

4. ตะกรันแผ่น (Slag Tap) เป็นตะกรันเหลวที่ถูกระบายออกทางช่องระบายตะกรันด้านหน้าเตาถลุงเหล็ก มีการก่อตัวด้านนอกหรือด้านในเตาถลุง ด้านบนของก้อนตะกรันจะปรากฏริ้วลอยคล้ายน้ำไหลแสดงการไหลหนืดของตะกรันหลอมเหลว ส่วนด้านใต้มักมีเศษทรายกรวด หรืออินทรียวัตถุปะปนซึ่งปะปนพร้อมกับการไหลหนืดของตะกรันหลอมเหลวที่ไหลออกนอกตัวเตา ภายในเนื้อตะกรันมักมีฟองอากาศขนาดใหญ่ เนื้อตะกรันมักมีสีดำ หรือเทาดำ อาจมีสีแดงน้ำตาลแดงบริเวณพื้นผิวด้านบนด้วย

ภาพที่ 11 ตะกรันแผ่น (Slag Tap)

ที่มา Historic England, **Archaeometallugy : Guidelines for beast practice** (London: Historic England, 2001), 11.

3.2.4.2 การถลุงทางอ้อม (Indirect Process) เป็นเทคโนโลยีการถลุงเหล็กที่เตามีลักษณะสูงใหญ่ (Sharf Furnace) มีช่องผนังหรือก้นเตาเพื่อปล่อยให้เหล็กหรือตะกรันที่หลอมเหลวสามารถระบายออกนอกเตาได้ ในการถลุงเหล็กวิธีนี้จำเป็นต้องให้ความร้อนที่สูงมากพอให้เหล็กถึงจุดหลอมเหลวประมาณ 1,500 องศาเซลเซียสและต้องใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซต์เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับแร่เหล็ก โดยเหล็กและตะกรันจะมีลักษณะเหลวจะแยกตัวออกจากกันเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำกว่า[78] โดยตะกรันจะหลอมละลายเป็นของเหลวในอุณหภูมิประมาณ 1,150 ถึง 1,400 องศาเซลเซียส เหล็กที่ได้จะเป็นเหล็กหล่อ (Cast iron) จะถูกแยกออกไปยังแม่พิมพ์ที่เตรียมเอาไว้ เหล็กหล่อที่ได้นั้นจะมีความแข็งแต่เปราะ ต้องนำไปลดคาร์บอนลงโดยการนำไปหลอมอีกครั้งหนึ่งเพื่อกำจัดคาร์บอนที่มีอยู่มากกว่าร้อยละ 0.5 ออกจากโครงสร้าง (Conversion) โดยผลที่ได้คือเหล็กอ่อนที่สามารถนำไปตีเครื่องมือเครื่องใช้ต่อไปได้[79] ทั้งนี้เชื่อว่าชาวจีนเป็นชนชาติแรกที่รู้จักการถลุงเหล็กทางอ้อม[80] ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในประเทศไทยนั้นรู้จักกรรมวิธีถลุงเหล็กทางอ้อมในสมัยอยุธยา[81]

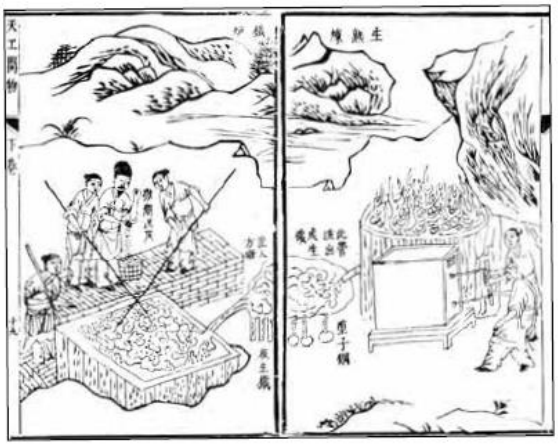
---

[78] สุรพล นาถะพินธุ, **รากเหง้า บรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2550), 173.

[79] Tylecote, R.F, **Metallurgy in archaeology : a prehistory of metallurgy in the British Isles** (London : Edward Arnold, 1962), 304-306.

[80] Bennet Bronson, “ Note on the history of Iron in Thaialnd” in **Journal of Siam Society**, 72 (250), 210.

[81] Ibid, 215 – 216.



ภาพที่ 12 เตาถลุงเหล็กทางอ้อมของจีนในสมัยราชวงศ์ชิง

ที่มา He Tangkun, “Metallurgy” in **Ancient China’s Technology and Science** (Beijing : The Foreign Language Press, 1983), 397.”

การถลุงทางอ้อมจะก่อให้เกิดตะกรันที่มีลักษณะข้นหนืดเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีลักษณะคล้ายแก้วมีเขียว สีฟ้า หรือทั้งสีเขียวและสีฟ้า สีน้ำตาลหรือสีเทาปะปนกันในก้อนตะกรัน ภายในตะกรันจะมีองค์ประกอบของเหล็กน้อยกว่าก้อนตะกรันที่ได้จากการถลุงเหล็กทางตรง ตะกรันที่ได้จากการถลุงทางตรงจะมีปริมาณมากอาจมีการหล่อตะกรันเหลวให้มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ (Simple Brick) เพื่อการขนส่งไปทิ้งบริเวณเนินตะกรันที่อยู่ไกลออกไปจากแหล่งถลุงหรือใช้เป็นอิฐสำหรับปูขอบหรือพื้นทางเดิน ในบางแห่งมีการนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับเกษตรกรรม[82]อีกด้วย

ภาพที่ 13 ตะกรันที่ได้จากการถลุงเหล็กทางอ้อม

ที่มา Historic England, **Archaeometallugy : Guidelines for beast practice** (London: Historic England, 2001), 28.

[82] Historic England, **Archaeometallugy : Guidelines for beast practice** (London : Historic England,2001), 28.

3.3 ลักษณะโครงสร้างเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณจากหลักฐานทางโบราณคดี

ในทวีปเอเชียพบร่องรอยหลักฐานเตาถลุงเหล็กที่แก่ที่สุดในพื้นที่มณฑลซินเจียง ประเทศจีน เมื่อราว 900 ปีก่อนคริสตกาลโดยรับองค์ความรู้จากวัฒนธรรมในบริเวณทุ่งหญ้าสเตรปป์ของเอเชียกลาง ต่อมาเทคโนโลยีการผลิตเหล็กของจีนพัฒนาอย่างมากจนกระทั่งสามารถผลิตเหล็กหล่อ (Cast Iron) ที่ต้องใช้อุณหภูมิมากถึง 1,535 องศาเซลเซียสได้ในสมัยราชวงศ์จิ้น เมื่อราว 536 ปีก่อนคริสตกาล[83] ส่วนในประเทศอินเดียพบหลักฐานทางโบราณคดีในแหล่งโบราณคดี “Ujjain” ซึ่งปรากฏร่องรอยการถลุงเหล็กในช่วง 500 ปีก่อนคริสตกาล โดยนักวิชาการสันนิษฐานว่าเตาถลุงเหล็กในระยะแรก มีรูปร่างเหมือนเตาถลุงทองแดง โดยมีลักษณะเป็นรูปอ่าง หรือ เบ้า โดยทำการขุดลึกลงในดินหรือก่อขึ้นเหนือพื้นดิน และมีส่วนของท่อลมติดอยู่กับผนังเตา[84] ต่อมามีการพัฒนารูปแบบเตาให้มีความหลากหลายรูปแบบและขนาดมากยิ่งขึ้น สามารถจัดแบ่งประเภทของเตาถลุงเหล็กออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

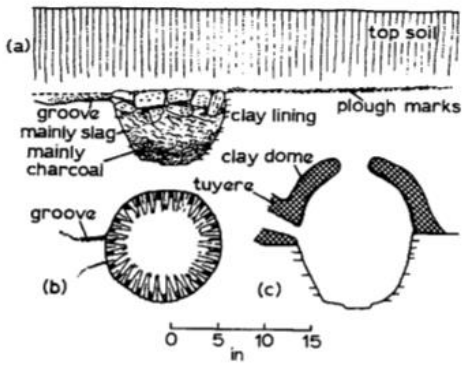
3.3.1 เตาถลุงเหล็กที่มีการขุดเจาะลงในพื้นดิน (Burial Installation)

3.3.1.1 เตาทรงอ่าง (Bowl Furnace) เป็นเตาที่มีการขุดเจาะเป็นวงรีลงในพื้นดิน ขนาดความกว้างประมาณ 30 – 100 เซติเมตร ผนังก่อด้วยดินหรือหิน ผนังต่ำพื้นที่ห้องเผาจะอยู่ใต้ดินมีพื้นที่ทำปฏิกิริยาในการถลุงเป็นพื้นที่แคบๆ แร่เหล็กที่ใช้ถลุงในเตาลักษณะนี้มักเป็นแร่เหล็กที่มีการผุหรือย่อยสลายไประดับหนึ่งแล้ว (Reducible) เช่น bog iron หรือแลงเป็นต้น หากใช้แร่ฮีมาไทท์หรือแมกนีไทท์มาถลุงจำเป็นต้องมีการย่อยแร่และย่างแร่ก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยารีดักชั่นในระหว่างการถลุงในระยะแรกไม่มีช่องดักตะกรันออกนอกเตา ในขั้นตอนการถลุงตะกรันจะรวมตัวกันอยู่บริเวณด้านบนของเหล็กหลอมเหลว ต่อมามีการพัฒนาให้มีช่องดักตะกรันอยู่ทางด้านนอกเตา เมื่อทำการถลุงจะต้องอุดช่องดังกล่าวเอาไว้ก่อน เมื่อตะกรันหลอมเหลวมากพอจึงเปิดช่องเพื่อระบายตะกรันออกจากเตา แร่เหล็กหลอมเหลวจะรวมตัวกันอยู่ก้นเตา เมื่อเตาเย็นตัวลงจึงเอาก้อนแร่เหล็ก (Ingot) ที่เย็นตัวออกจากเตา

---

[83] Tylecote R. F. , **A History of Metallurgy**, (London : Institute of Materials,1992), 56.

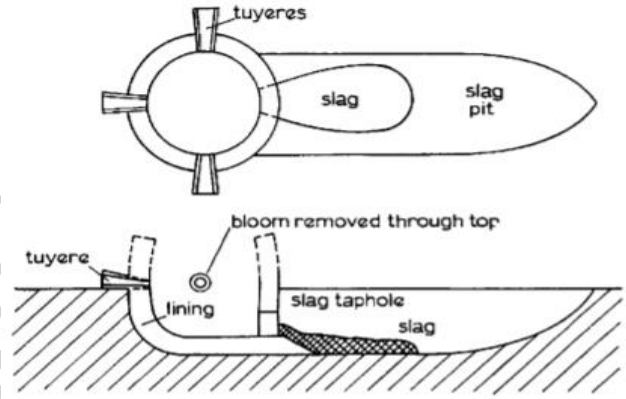
[84] Gordon, D.H. , “The Early Use of Metals in India and Pakistan” in **Journal of the Royal Anthropological Institute**, 1950, Page 55-78.



a section; *b* plan; *c* conjectural reconstruction

ภาพที่ 14 เตาถลุงเหล็กทรงอ่าง (Bowl Furnace) ยุคแรกเริ่มในแหล่งโบราณคดีบริเวณพื้นที่ "West Brandon" ประเทศอังกฤษ

ที่มา R. F. Tylecote, **A History of Metallurgy**, (London: Institute of Materials, 1992), 49.

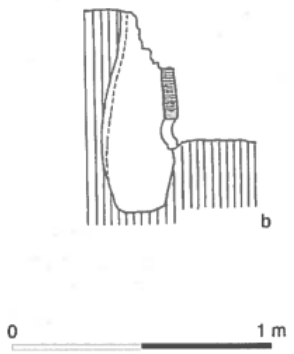


ภาพที่ 15 เตาถลุงเหล็กทรงอ่าง (Bowl Furnace) ที่มีการพัฒนาช่องดักตะกรันด้านหน้าเตาของอาณาจักรโรมันโบราณ

ที่มา R. F. Tylecote, **A History of Metallurgy**, (London : Institute of Materials, 1992), 64.

3.3.2 เตาถลุงเหล็กแบบเจาะเข้าไปในผนังดิน (Dug in Furnace)

เริ่มมีการใช้เตาประเภทนี้ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 5 โดยเตามักตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ลาดเอียงหรือพื้นที่ตลิ่งหรือพื้นที่ชัน โดยผนังเตาด้านหลังจะฝังอยู่ในผนังดิน ห้องเผามีขนาด 22 – 35 เซนติเมตร เตาอาจมีท่อลมหรือใช้ระบบลมธรรมชาติก็ได้ สามารถแบ่งแยกย่อยออกได้เป็น 2 ประเภทย่อยคือ เตาที่มีช่องระบายตะกรันเหล็ก (Tapping slag) และเตาที่ไม่มีช่องระบายตะกรันเหล็ก (Non tapping slag)

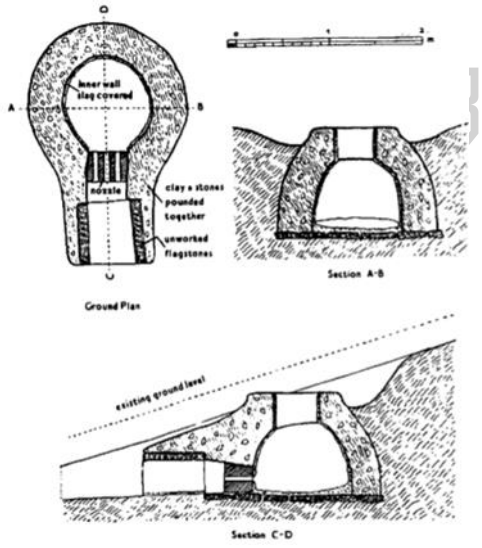


ภาพที่ 16 เตาถลุงเหล็กแบบเจาะเข้าไปในผนังดิน (Dug in Furnace)

ที่มา Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam : Vrije University, 2004), 14.

3.3.3 เตาถลุงที่ตั้งอยู่เหนือพื้นดิน (Installation above ground level)

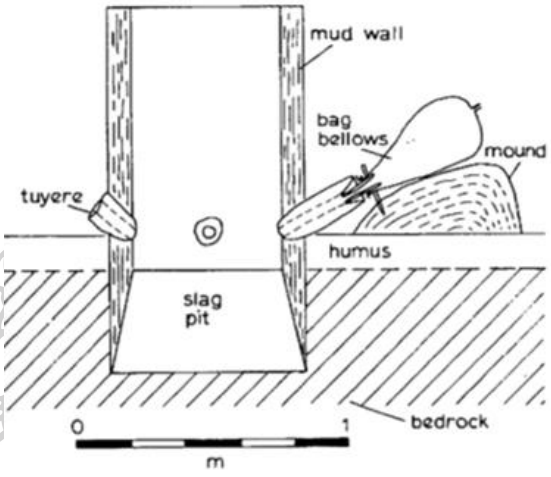
3.3.3.1 เตาถลุงเหล็กทรงโดม (Domed Furnace) เป็นเตาที่มีการพัฒนามาจากเตาทรงอ่าง โดยส่วนบนของผนังเตาก่อเป็นทรงโค้งเพื่อเพิ่มพื้นที่ภายในเตา ส่วนบนของเตามีลักษณะเป็นปล้องสำหรับระบายอากาศและเป็นช่องใส่เชื้อเพลิง แร่เหล็กและเชื้อถลุง ท่อลมมักอยู่บริเวณก้นเตาหรือบางแห่งอาจอยู่บริเวณส่วนอื่นๆ ของผนังเตา ห้องเผามีขนาดประมาณ 60 – 140 เซนติเมตร



ภาพที่ 17 เตาถลุงเหล็กทรงโดม (Domed Furnace) ในประเทศเยอรมัน

ที่มา R. F. Tylecote, **A History of Metallurgy**, (London: Institute of Materials, 1992), 55.

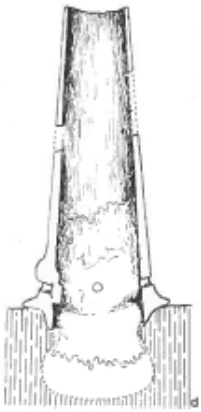
3.3.3.2 เตาถลุงเหล็กทรงปล้อง (Sharft Furnace) เป็นเตาถลุงเหล็กที่ก่อสร้างขึ้นคล้ายปล้องไฟ มีช่องสำหรับระบายตะกรัน ที่ผนังเตามีท่อลมดินเผาทรงกระบอกที่ส่วนหนึ่งสอดยื่นเข้าไปภายในห้องเตา อีกส่วนยื่นออกด้านนอกเพื่อต่อกับที่สูบลม ผนังเตามักก่อด้วยดินหรือหินความสูงของผนังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดักชั่น



ภาพที่ 18 เตาถลุงเหล็กทรงผนังสูง (Surft Furnace) ในประเทศไนจีเรีย

ที่มา R. F. Tylecote, **A History of Metallurgy**, (London : Institute of Materials, 1992), 55.

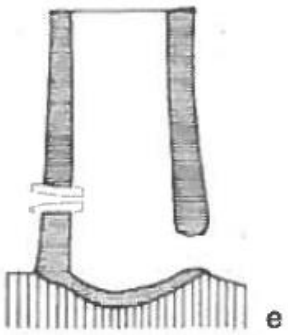
3.3.3.3 เตาถลุงเหล็กที่มีหลุมดักตะกรัน (Slag Pit Furnace) เป็นถลุงที่มีหลุมดักตะกรันใต้ห้องเผา ด้านข้างของเตาจะมีลักษณะสอบเข้า อาจมีการสร้างช่องกั้นระหว่างห้องเตาและหลุมดักตะกรัน



ภาพที่ 19 เตาถลุงเหล็กที่มีหลุมดังตะกรัน (Slag Pit Furnace)

ที่มา Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam : Vrije University, 2004), 14.

3.3.3.4 เตาถลุงเหล็กที่มีช่องระบายตะกรัน (Slag Tapping Furnace) เป็นถลุงที่มีช่องระบายตะกรัน ซึ่งมักตั้งอยู่ในตำแหน่งตรงกันข้าวกับท่อลม ห้องเตาจะมีลักษณะเว้าโค้ง ในการถลุงอาจใช้ระบบท่อสูบลมหรือระบบลมวนเวียนตามธรรมชาติก็ได้



ภาพที่ 20 เตาถลุงเหล็กที่มีช่องระบายตะกรัน (Slag Tapping Furnace)

ที่มา Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam : Vrije University, 2004), 14.

จากข้างต้นเตาถลุงเหล็กทั้งหมดมักสร้างด้วยดินที่อาจมีการผสมกรวด หิน หรือส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อช่วยให้โครงสร้างผนังเตาเกิดความแข็งแรง ซึ่งโดยปกติแล้วผนังเตาถลุงจะสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,300 องศาเซลเซียส ก่อนที่ผิวนอกที่สัมผัสกับความร้อนจะละลายจนปรากฏคราบแคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นผนังเตาถลุงจึงถือเป็นเชื้อถลุง (Flux) ในกระบวนการถลุงเหล็กเช่นเดียวกัน

3.4 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นทวีป

3.4.1 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย

ในยุคประวัติศาสตร์พบแหล่งถลุงเหล็กที่เก่าแก่ที่สุดคือแหล่งโบราณคดีบ้านดีลัง จังหวัดลพบุรี จากการขุดค้นพบว่าลักษณะเตาถลุงเหล็กมีความสืบเนื่องทางด้านเทคโนโลยีมาจากยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลาย มีลักษณะเป็นเตาถลุงเหล็กทางตรง เตาก่อผนังสูงและใช้การสูบลมเพื่อเร่งอุณหภูมิภายในเตา โดยครึ่งหนึ่งของส่วนปลายท่อลมจะยื่นยาวผ่านผนังเตาเข้าไปในพื้นที่ว่างของห้องเตา โครงสร้างของเตาเป็นดินเหนียวโดยใช้โครงสร้างไม้ไผ่เป็นแกนผนังเตา เตามีความกว้างและสูงไม่เกิน 2 เมตร กำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ไว้ราว พุทธศตวรรษที่ 11 – 12 หรือยุคแรกเริ่มประวัติศาสตร์

เมืองโบราณอู่ตะเภาเป็นแหล่งโบราณคดีที่ปรากฏการถลุงเหล็กตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายถึงสมัยอยุธยา ในชั้นดินที่ 1 ถึง 4 พบกิจกรรมการถลุงเหล็กอย่างชัดเจน ปรากฏร่องรอยการย่อยแร่เหล็กเป็นก้อนเล็กๆ เพื่อเตรียมการถลุง เตาถลุงก่อด้วยดินเผา สัณฐานกลมขนาดกว้างประมาณ 1.10 ถึง 1.20 เมตร สูงประมาณ 60 ถึง 90 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบ

ดินเผารูปทรงกระบอก สันนิษฐานว่าเป็นท่อลมแบบง่ายๆ เศษตระกรันเหล็กยังกระจายตัวอยู่โดยรอบแหล่งเตา

จากความหนาแน่นของกลุ่มเตาภายในเมืองอู่ตะเภาแสดงให้เห็นว่าการถลุงเหล็กเป็นกิจกรรมหลักของชุมชนโบราณนี้ โดยลักษณะการกระจายตัวของกลุ่มเตาพบจนถึงชั้นดินบนสุด (สมัยอยุธยา) เนินดินที่กระจายตัวอยู่ทั้งภายในและนอกเมืองมักพบเศษตะกรันจำนวนมาก จากการกำหนดอายุสันนิษฐานว่ามีการถลุงเหล็กในลักษณะเป็นอุตสาหกรรมตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายจนถึงสมัยอยุธยาราวพุทธศตวรรษที่ 18 - 19[85]

ภาพที่ 21 เตาถลุงเหล็กทางตรงของแหล่งโบราณคดีเมืองอู่ตะเภาโดยกรมศิลปากร เมื่อปี พ.ศ. 2534
ที่มา กรมศิลปากร, **โบราณคดีเมืองอู่ตะเภา** (กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิชาการ กองโบราณคดี, 2534), 154-155.

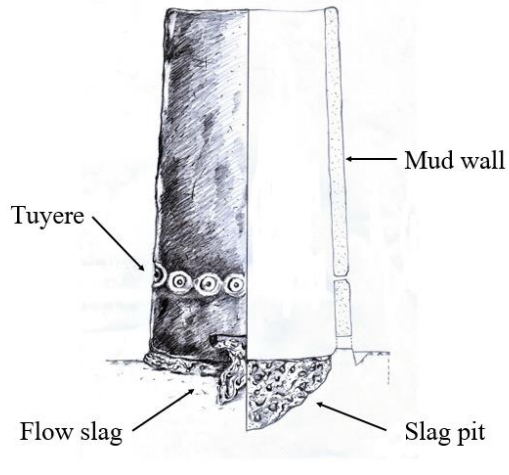
ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยพบหลักฐานการใช้เหล็กมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ในแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ จังหวัดลำพูน หากแต่ยังไม่พบแหล่งถลุงเหล็ก จนกระทั่งสำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ ได้ทำการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีบ้านปางป๋วย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน จากการขุดค้นพบกลุ่มของตะกรันก้นเตาขนาดใหญ่จำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบชิ้นส่วนผนังเตาที่ทำจากดินเผาและช่องดูไฟ ปะปนอยู่กับเศษตระกันขนาดเล็กและใหญ่จำนวนมาก สันนิษฐานว่าเตาถลุงเหล็กบ้านปางป๋วยมีลักษณะเตาทรงสูงและเป็นเตาถลุงเหล็กแบบทางตรง จากการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีเอเอ็มเอส (AMS Dating) ทำให้ทราบว่าบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยเฉพาะแอ่งที่ราบลำพูน-เชียงใหม่ รู้จักการถลุงเหล็กมาแล้วตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 11 – 12[86] หรือในช่วงสมัยก่อนวัฒนธรรมหริภุญไชย

---

[85] กรมศิลปากร, **โบราณคดีเมืองอู่ตะเภา** (กรุงเทพฯ : ฝ่ายวิชาการ กองโบราณคดี, 2534),หน้า 154-155.

[86] ยอดดนัย สุขเกษม, “แหล่งถลุงเหล็กโบราณบ้านป่าป๋วย : ข้อมูลใหม่ของโบราณคดีสมัยแรกเริ่มประวัติศาสตร์ดินแดนล้านนา” ใน เอกสารประกอบการสัมมนา **“วิจัย วิจักษณ์” การนำเสนอผลงานทางวิชาการกรมศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561** (กรุงเทพ : กรมศิลปากร,2561), เอกสารอัดสำเนา,หน้า 40 - 42 .

ภาพที่ 22 ตะกรันก้นเตาที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านปางป๋วย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน
ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร

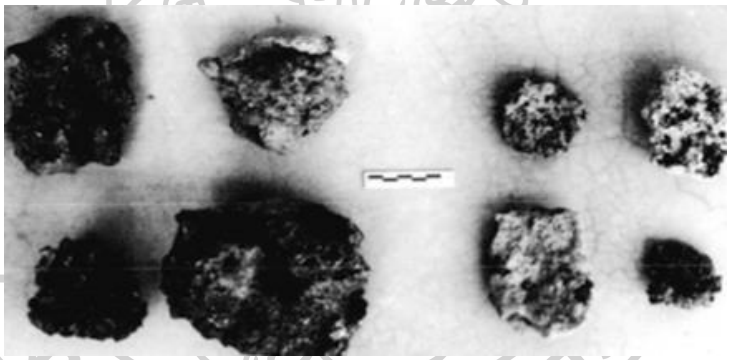


ภาพที่ 23 ภาพลายเส้นสันนิษฐานรูปแบบโครงสร้างเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านปางป๋วย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน
ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการถลุงเหล็กที่เก่าแก่ไม่ต่ำกว่า 2,500 ปีมาแล้ว อุตสาหกรรมการถลุงเหล็กทวีความสำคัญขึ้นอีกครั้งในราวพุทธศตวรรษที่ 18 ถึง 19 บริเวณเส้นทางราชมรรคาที่มุ่งมายังเมืองพิมาย โดยเฉพาะบริเวณหมู่บ้านเขาดินใต้ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยเป็นเตาถลุงเหล็กทางตรง จากการขุดค้นพบว่าเตามีลักษณะเป็นเตาทรงปล่อง ตัวเตาเป็นรูปทรงกลม ทำด้วยดินเหนียวและใช้ไม้เป็นโครงสร้าง มีการต่อท่อลมซึ่งมีปลายหุ้มท้อลมดินเผาทรงกรวยอยู่ด้านหนึ่งของเตา เตาถลุงมีช่องระบายตะกรันเหลวอยู่บริเวณด้านล่างของเตา โดยขุดเป็นช่องตาม

ความลาดเอียงของพื้นที่เพื่อความสะดวกในการระบายตะกรันเหลว เตามีอายุการใช้งานไม่มากนัก ประมาณ 2 ถึง 3 ครั้ง[87] จากลักษณะดังกล่าวเมื่อถลุงแล้วเสร็จจะต้องมีการทุบเตาเพื่อเอาก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) ออกจากเตา ทำให้มีการใช้งานเตาเพียงชั่วคราวเนื่องจากต้องก่อเตาขึ้นใหม่

ส่วนพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย แม้ว่าจะมีการพบร่องรอยกิจกรรมการผลิตเครื่องมือเหล็กบริเวณเขาสามแก้ว จังหวัดชุมพร หากแต่ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเป็นเตาถลุงเหล็กหรือเตาตีเหล็ก จนกระทั่งมีการขุดค้นทางโบราณคดี เมื่อปี พ.ศ.2547 จากการขุดค้นทางโบราณคดีแสดงให้เห็นว่าเป็นกิจกรรมการตีเหล็ก โดยพบตะกรันที่เกิดจากการถลุงในขั้นตอนหลอมเหล็กอ่อนและท่อลมดินเผาสำหรับเร่งอุณหภูมิ โดยอาจได้รับเอาแร่เหล็ก ก้อนเหล็กอ่อน มาจากเครือข่ายทากการค้าเพื่อมาทำเครื่องมือเหล็ก เนื่องจากไม่พบแหล่งแร่เหล็กในพื้นที่ใกล้เคียง นอกจากนี้รูปแบบเครื่องมือที่พบยังมีความคล้ายคลึงกับเครื่องมือเหล็กที่พบในภาคกลางของประเทศไทย เช่น เครื่องมือปลายแหลมแบบขอเกี่ยว (Hillhook) ทีมีความคล้ายคลึงกับแหล่งโบราณคดีบ้านดอนตาเพชร จังหวัดกาญจนบุรีจากการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์พบว่าแหล่งโบราณคดีเขาสามแก้วมีการผลิตเครื่องมือเหล็กราวพุทธศตวรรษที่ 8[88]



ภาพที่ 24 เศษตะกรันเหล็กที่ได้จากการตีหลอมเหล็กอ่อน (Smithing) ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีเขาสามแก้ว จังหวัดชุมพร

ที่มา Thomas Oliver Pryce, Bérénice Bellina-Pryce, and Anna T. N. Bennett, The development of metal technologies in the Upper Thai-Malay Peninsula: initial interpretation of the archaeometallurgical evidence from Khao Sam Kaeo in **Bulletin de l'Ecole française d'Extrême-Orient**, Année 2006, 93, 297.

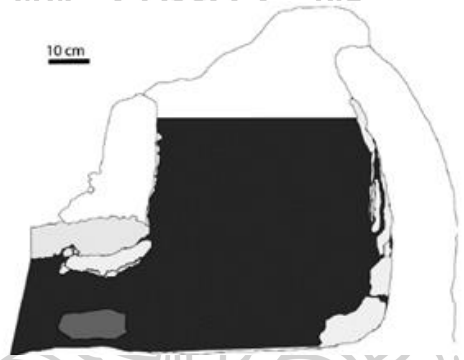
---

[87] อิสราวรรณ อยู่ป้อม, “การศึกษาเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณที่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553), หน้า 111-112.

[88] Thomas Oliver Pryce, Bérénice Bellina-Pryce,and Anna T. N. Bennett, The development of metal technologies in the Upper Thai-Malay Peninsula: initial interpretation of the archaeometallurgical evidence from Khao Sam Kaeo in **Bulletin de l'Ecole française d'Extrême-Orient**, Année 2006, 93,Page 296-299.

3.4.2 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศลาว

จากการขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีซาพิมในภาคเหนือตอนบนของประเทศลาวพบลักษณะโครงสร้างเตาถลุงเหล็กทรงสูง (Sharft Furnace) ห้องเผามีลักษณะค่อนข้างกลม มีการเร่งอุณหภูมิของห้องเผาด้วยการสูบลมเนื่องจากพบเศษชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผาเหล็กที่ได้สันนิษฐานว่าถลุงจากแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์เพราะพบเศษก้อนสินแร่ดังกล่าวบริเวณเตาถลุง กำหนดอายุเตาไว้ที่พุทธศตวรรษที่ 14 – 15[89] และจากการศึกษาทางด้านโบราณคดีชาติพันธุ์พบว่าลักษณะเตามีความคล้ายคลึงกับกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด (Lamet) ซึ่งเป็นกลุ่มคนพูดภาษามอญ-เขมรบนที่สูงใกล้กับแหล่งโบราณคดีที่ยังประกอบอาชีพการผลิตเครื่องมือเหล็กเพื่อนำมาแลกสิ่งของยันชีพกับกลุ่มคนที่อยู่บริเวณที่ราบ



ภาพที่ 25 ภาพลายเส้นแสดงโครงสร้างเตาถลุงเหล็กในแหล่งโบราณคดีซาพิม ประเทศลาว

ที่มา Thomas Oliver Pryce, Chanthaphilith Chiemsisouraj, Valéry Zeitoun and Hubert Forestier, “An 8th-9th century AD iron smelting workshop near Saphim village, NW Lao PDR” in **Historical metallurgy** Volumn 45, January 2011, 85.

3.4.3 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในพื้นที่ประเทศพม่า

ในประเทศพม่าปรากฏการถลุงเหล็กในยุคประวัติศาสตร์ตั้งแต่สมัยวัฒนธรรมปยู โดยสำรวจพบเตาบริเวณยอดเขา “Konzin” ทางด้านตะวันออกของเมืองศรีเกษตร จากการขุดค้นพบว่ามีการก่อสร้างเตาบริเวณพื้นที่ลาดเอียงของเนินดิน โดยขุดเตาให้ลึกลงในใต้ดินถึงกว่า 3 เมตร บริเวณที่ฐานมีการทำช่องเพื่อให้อากาศไหลผ่าน เมื่อจะทำการถลุงจะใช้ก้อนอิฐและดินเหนียวปิดทับ นอกจากนี้ยังมีการใช้ท่อลมเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเตาแต่ไม่มีการใช้เครื่องสูบลม เนื่องจากเป็นเตาถลุงที่อยู่บนยอดเนินสูง อาศัยเพียงลมที่พัดเข้าท่อลมเท่านั้น ลักษณะดังกล่าวเป็น

---

[89] Thomas Oliver Pryce, Chanthaphilith Chiemsisouraj, Valéry Zeitoun and Hubert Forestier, “An 8th-9th century AD iron smelting workshop near Saphim village, NW Lao PDR” in **Historical metallurgy** Volumn 45, January 2011,Page 85.

เทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงเดียวกันกับที่ใช้ในประเทศศรีลังกากำหนดอายุแหล่งเตาไว้ราวพุทธศตวรรษที่ 13[90]

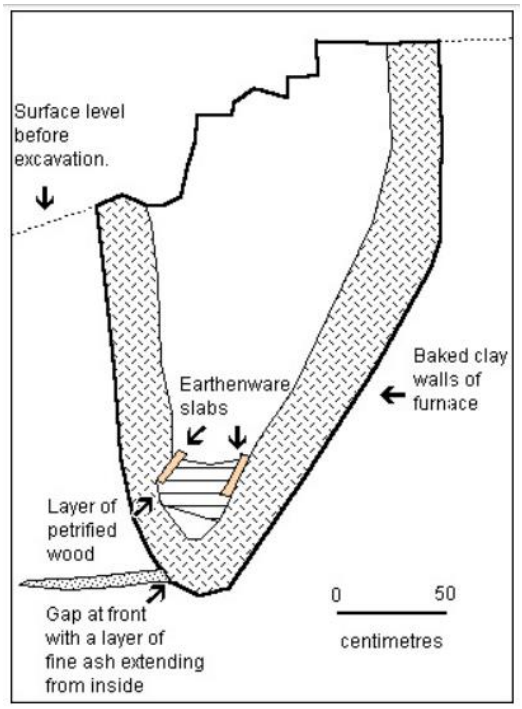
นอกจากนี้ยังพบแหล่งถลุงเหล็กในบริเวณดินแดนตอนในทางด้านทิศตะวันออกของเมืองพุกาม โดยแหล่งเตาจะกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ 2 บริเวณคือ ภายในหมู่บ้านปานิดวิน (Panidwin) และหมู่บ้านซิโอ (Zi O) โดยมีแหล่งเตากระจายตัวอยู่มากกว่า 100 แห่ง รอบบริเวณสองหมู่บ้านนี้ แม้ว่าจะสำรวจพบแหล่งถลุงจำนานมาก หากแต่มีการดำเนินงานขุดค้นทางโบราณคดีเพียงแหล่งเดียว โดยเฉพาะบริเวณด้านนอกของหมู่บ้านซิโอ จากการขุดค้นพบโครงสร้างเตาถลุงขนาดใหญ่และมีเทคนิคการสร้างผนังเตาเฉพาะตัวกล่าวคือมีการก่อด้วยดินตากแห้ง (Baked Clay Walls) และฉาบดินห้องเผาด้วยวิธีการตบ (Perforated Clay Slap) และเผาให้แห้งอย่างเป็นระบบ ห้องเผาลักษะคล้ายรูปสามเหลี่ยมกลับหัวที่ฐานส่วนในระดับที่สูงขึ้นปั้นเป็นห้องสี่เหลี่ยม ที่ฐานมีช่องสำหรับดูไฟและใส่เชื้อเพลิงที่มีแผ่นอิฐสำหรับอุดช่องดังกล่าว (Earthenware Slabs) จากการตรวจสอบหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ได้ค่าอายุที่พุทธศตวรรษที่ 21 – 25 ซึ่งอาจมีการผลิตมาก่อนหน้านั้นแล้ว[91]

ภาพที่ 26 โครงสร้างภายในของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณพื้นที่เมืองซิโอ ประเทศพม่า

ที่มา Bob Hudson, “Iron In Myanmar” in Enchanting Myanmar, Vol 5, 8.

[90]Bob Hudson, “Iron In Myanmar” in **Enchanting Myanmar**, Vol 5, Page 6-9.

[91]Bob Hudson and U Nyein Lwin, **Old iron-producing furnaces in the eastern hinterland of Bagan, Myanmar. Field survey and initial excavation 2002** access URL http://www.oldindustry.org/Iron_Info/myanmar_iron.PDF.



ภาพที่ 27 ภาพลายเส้นแสดงโครงสร้างของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณพื้นที่เมืองซิโอ ประเทศพม่า

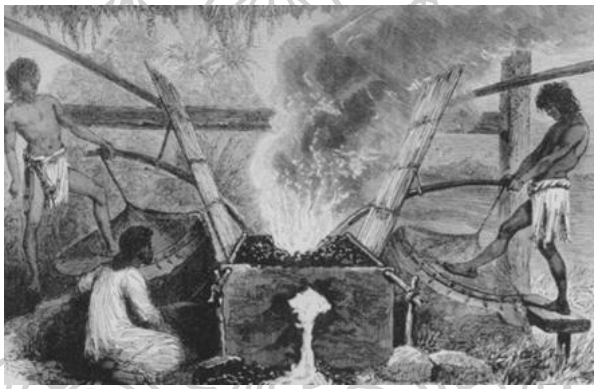
ที่มา Bob Hudson and U Nyein Lwin, Old iron-producing furnaces in the eastern hinterland of Bagan, Myanmar. Field survey and initial excavation 2002
access URL http://www.oldindustry.org/Iron_Info/myanmar_iron.PDF.

3.4.4 เตาถลุงเหล็กในอาณาจักรเขมรโบราณ

ในประเทศกัมพูชามีลักษณะที่แตกต่างไปจากทุกประเทศในภาคพื้นแผ่นดินใหญ่ โดยพบว่าอาณาจักรเขมรโบราณมีความสามารถในการถลุงเหล็กทางตรงมาตั้งแต่ก่อนพุทธศตวรรษที่ 19 โดยจากการขุดค้นทางโบราณคดีบริเวณปราสาทพระขรรค์แห่งกัมปงสวายและบริเวณเทือกเขาพนมเดก (เขาเหล็ก) พบเทคโนโลยีการถลุงเหล็กคล้ายกับการถลุงเหล็กของชาวกุ่ย ซึ่งเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่อาศัยอยู่บริเวณเขาพนมเดกโดยเทคโนโลยีการถลุงที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับเทคโนโลยีของชาวกุย โดยสามารถสันนิษฐานรูปแบบจากหลักฐานทางโบราณคดีที่ขุดค้นพบเปรียบเทียบกับกรรมวิธีของชาวกุย โดยเตาถลุงจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมโดยมีการสร้างแกนแท่งไม้ไผ่และบุด้วยดินชนิดพิเศษที่มีสีเหลือง มีท่อลมต่อออกจากเตาจำนวน 20 ถึง 26 จุด เชื่อมต่อกับท่อสูบลมแบบใช้แรงงานคนเหยียบ (Foot-operated bough-sprung bellow) ที่เตาจะมีช่องสำหรับระบายตะกรันเหล็กหลอมเหลว เมื่อเสร็จสิ้นการถลุงจะมีการนำเอาก้อนเหล็กที่ยังมี

มลทินเจือปนเล็กน้อย (Iron Bars) ทำให้เย็นทันทีก่อนนำไปแลกเปลี่ยนสินค้าหรือทำเครื่องมือเครื่องใช้ในอีกทอดหนึ่ง[92]

จากการกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตร์พบว่ามีการผลิตในช่วงพุทธศตวรรษที่ 18 ถึง 23 โดยอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่บริเวณปราสาทพระขรรค์แห่งกัมปงสวายและเขาพนมเดกน่าจะเป็นแหล่งอุตสาหกรรมผลิตเหล็กที่สำคัญในสมัยเมืองพระนครตอนปลายที่ถูกควบคุมโดยรัฐส่วนกลางและชาวกุยที่อยู่ภายใต้การควบคุมของเมืองพระนคร (Angkorian Kuy) เป็นผู้ที่อยู่ในภาคของการผลิตภายใต้การควบคุมของศาสนสถาน โดยใช้เหล็กเป็นสินค้าแลกเปลี่ยนจำพวกข้าวหรือสิ่งของจำเป็น ผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กที่ได้จากบริเวณส่วนหนึ่งอาจนำไปใช้เป็นเครื่องมือเหล็กจำพวกตัวยึด (Crampon) หินในปราสาทต่างๆ ที่อยู่ในเมืองพระนคร[93]



ภาพที่ 28 ภาพลายเส้นแสดงการถลุงเหล็กของชาวกุย ประเทศกัมพูชา

ที่มา Thomas Oliver Pryce and Other, “The Iron Kuay of Cambodia: tracing the role of peripheral populations in Angkorian to colonial Cambodia via a 1200 year old industrial landscape” in Journal of Archaeological Science, 47 (2014), 144.

3.4.5 เตาถลุงเหล็กยุคประวัติศาสตร์ในประเทศมาเลเซีย

บริเวณคาบสมุทรมาลายูพบแหล่งถลุงแร่เหล็กยุคประวัติศาสตร์สำคัญที่มีความเก่าแก่ที่สุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นแผ่นดินใหญ่คือ แหล่งโบราณคดีสุไหงบาตู ซึ่งตั้งอยู่ในเขตเมืองโบราณบูจังวาเลย์ จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่าเป็นเตาถลุงเหล็กทางตรงโดยใช้ดินเหนียวเป็นส่วนประกอบในการทำผนังเตาและท่อลม โดยท่อลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

[92] Thomas Oliver Pryce and Other, “The Iron Kuay of Cambodia: tracing the role of peripheral populations in Angkorian to colonial Cambodia via a 1200 year old industrial landscape” in **Journal of Archaeological Science,** 47 (2014), Page 144 – 148.

[93] S. Leroy and Other, “The ties that bind : archaeometallurgical typology of architectural crampons as a method for reconstructing the iron economy of Angkor, Cambodia tenth to thirteenth c.” In **Springer**, Published Online : 20 July 2017, Page 20.

ประมาณ 2.1 ถึง 3.6 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบก้อนอิฐสำหรับอุดช่องตะกรันและอาจใช้ก่อส่วนฐานของเตาถลุง เนื่องจากพบเศษก้อนอิฐดังกล่าวจำนวนมากถึง 100 ก้อน จากการวิเคราะห์ด้านโครงสร้างจุลภาคของเศษตะกรันที่พบแสดงให้เห็นว่าเหล็กที่นำมาถลุงนั้นเป็นชนิดฮีมาไทต์และเมกนิไทต์ โดยมีแหล่งแร่เหล็กคุณภาพบริเวณเทือกเขากัมปงเมอร์บอก (Kampung Merbok)

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบยังแสดงให้เห็นค่าของธาตุแคลเซียมออกไซต์ ในขั้นตอนการถลุงอาจมีการใส่เชื้อถลุง (Flux) ที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต เช่น หินปูน ทราย หอย เป็นต้น ซึ่งจากการขุดค้นทางโบราณคดีพบเศษเปลือกหอยหลายชิ้นอยู่ใกล้กับพื้นที่ถลุงเหล็ก โดยเชื้อถลุงนั้นมีคุณสมบัติช่วยแยกแร่ธาตุอื่นๆ ออกจากเหล็กหลอมเหลวในห้องเตา ให้ไปรวมตัวกันที่ก้นเตาได้เป็นอย่างดี

จากการขุดค้นทางโบราณคดีในแหล่งโบราณคดีสุไหงบาตู แสดงให้เห็นอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กขนาดใหญ่ในคาบสมุทรมาลายูและจากการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีเอเอ็มเอส (AMS Dating) และวิธีโอเอสแอล (OSL Dating) ทำให้ทราบว่ามีการถลุงเหล็กในแหล่งโบราณคดีตั้งแต่ พุทธศตวรรษที่ 8 ถึง 10 เป็นอย่างน้อยและมีการใช้พื้นที่ของแหล่งจนถึงพุทธศตวรรษที่ 22[94]

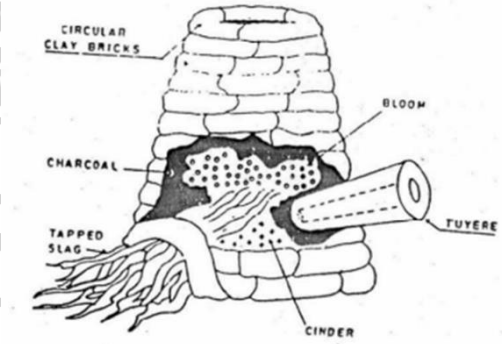
ภาพที่ 29 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีสุไหงบาตู บูจังวาเลย์ ประเทศมาเลเซีย

ที่มา Naizatul Akma Mokhtar, Mokhtar Saidin and Jeffrey Abdullah, “THE ANCIENT IRON SMELTING IN SG. BATU, BUJANG VALLEY, KEDAH” in Bujang Valley and early civilisations in Southeast Asia (Malaysia : Department of National Heritage, Ministry of Information, Communications and Culture, 2011), 352.

[94] Naizatul Akma Mokhtar, Mokhtar Saidin and Jeffrey Abdullah, “ THE ANCIENT IRON SMELTING IN SG. BATU, BUJANG VALLEY, KEDAH” in **Bujang Valley and early civilisations in Southeast Asia** (Malaysia : Department of National Heritage, Ministry of Information, Communications and Culture, 2011), Page 350-360.

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเตาถลุงเหล็กทางตรงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภาคพื้นแผ่นดินใหญ่ยุคประวัติศาสตร์มีรูปแบบเตาทรงก่อผนังสูง (Sharft Furnace) มีส่วนของท่อลมยื่นเข้าไปในผนังเตา โดยรูปแบบของเตาอาจมีการพัฒนาสืบเนื่องมาจากยุคก่อนประวัติศาสตร์ สมัยเหล็กตอนปลายอย่างในกรณีของแหล่งโบราณคดีในประเทศไทยและประเทศลาว โดยพบว่าแหล่งถลุงเหล็กในช่วงแรกเริ่มประวัติศาสตร์มักอยู่บนที่สูงและมีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มชาติพันธุ์กลุ่มภาษามอญ-เขมร โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยอาจได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ซึ่งได้รับเทคโนโลยีการถลุงมาจากวัฒนธรรมในเขตลำแม่น้ำแดงของประเทศเวียดนาม ซึ่งได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากประเทศจีนอีกทอดหนึ่ง[95]

เป็นที่น่าสังเกตว่าเตาทรงก่อผนังสูงในแหล่งโบราณคดีสุไหงบาตู มีลักษณะที่ต่างออกจากกลุ่มอื่นๆ คือตัวผนังเตาก่อด้วยอิฐ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเตาถลุงเหล็กในประเทศอินเดีย ทั้งนี้อาจได้รับการถ่ายพร้อมกับวัฒนธรรมอื่นๆ ที่เผยแพร่เข้ามาจากเส้นทางการค้าทางทะเล ในกรณีนี้สอดคล้องกับแนวคิดของบรอนสันที่สันนิษฐานว่าเทคโนโลยีการถลุงเหล็กได้รับอิทธิพลจากอินเดีย โดยเข้ามาพร้อมกับเทคโนโลยีการผลิตลูกปัดแก้วและเครื่องประดับที่ทำจากหินกึ่งอัญมณี[96] หรือในอีกกรณีหนึ่งพบว่าเครื่องมือเหล็กที่มีความคล้ายคลึงกับที่พบในแหล่งโบราณคดีบ้านเก่า จังหวัดกาญจนบุรี เทคโนโลยีการถลุงเหล็กอาจได้รับการถ่ายทอดมาจากบริเวณภาคกลางของประเทศไทยอีกทางหนึ่งได้ด้วย



ภาพที่ 30 เตาถลุงเหล็กทางตรงแบบก่อด้วยด้วยดินเหนียวปั้นเป็นก้อนของประเทศอินเดีย

ที่มา B. PRAKASH, *"ANCIENT IRON MAKING IN INDIA"* in **Iron & Steel Heritage of India**, ATM 97, 43.

---

[95] Charles Higham, **Early Mainland Southeast Asia** (Bangkok : River Book,2014), 197-198.

[96] _____, **Early Culture of Mainland Southeast Asia** (Bangkok : River Book,2002), 170.

จากการปริทรรศน์วรรณกรรมข้างต้นจะพบนัยยะสำคัญทางโบราณคดี กล่าวคือ ลักษณะเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีลักษณะโครงสร้างเป็นเตาที่มีลักษณะทรงสูงมีช่องระบบลมและช่องระบายตะกรันอย่างน้อย 1 ช่อง ก่อด้วยดินเหนียวและเป็นเตาถลุงที่สามารถใช้ได้เพียง 1 ครั้ง หากจะใช้ซ้ำต้องมีการก่อซ่อมเตา ซึ่งลักษณะพื้นฐานดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มหากแต่เตาถลุงเหล็กบ้านนาตุ้มได้รับการพัฒนาให้มีความแตกต่างบางประการเพื่อประโยชน์ในการผลิตเหล็กในระดับรัฐซึ่งต้องควบคุมมาตรฐานและผลผลิต

บทที่ 4
พัฒนาการทางวัฒนธรรมเมืองลองโบราณจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี

เมืองลองโบราณตั้งอยู่บริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้น ซึ่งเป็นแอ่งที่ราบย่อยของแอ่งแพร่ ริมฝั่งตะวันตกของแม่น้ำยมที่ไหลผ่านอำเภอลอง อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ โดยเป็นแอ่งขนาดเล็กที่ล้อมรอบด้วยแนวเทือกเขาทุกด้านโดยมีเทือกเขาสำคัญได้แก่ ภูเขาพญาฝอ ภูเขาม่อนกระทิง ภูเขากิ่วคอเมือง ภูเขาหลวง ภูเขาแปเมือง และภูเขาก้อ โดยเทือกเขาสูงเหล่านี้กำเนินขึ้นจากผลของการชนกันระหว่างเปลือกโลกยูเรเซียและอินเดีย โดยขณะที่เกิดการชนกันพื้นดินบางส่วนได้ยกตัวสูงเป็นแนวทิวเขา พื้นที่บางส่วนได้ยุบตัวลงเป็นแอ่งที่ราบขนาดต่างๆ การชนกันยังก่อให้เกิดการแทรกตัวของหินละลาย (Magma) ในชั้นแผ่นเปลือกโลกที่ยกตัวสูงขึ้นเกิดเป็นภูเขาหินอัคนีดังกล่าว ซึ่งมีสายแร่หลากหลายชนิดแทรกในชั้นหิน เช่น เหล็ก ทองแดง ทองคำ ตะกั่ว แบร์ไรต์ ฟลูออไรต์ ทังสเตน หรือแร่รัตนชาติจำพวกแซฟไฟต์ (พลอยสี นิล และไพลิน) อีกด้วย ซึ่งทรัพยากรแร่ธาตุเหล่านั้นมีผลต่อพัฒนาการตั้งถิ่นฐานและวัฒนธรรมของเมืองลองโบราณในประวัติศาสตร์ตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 19 ถึง 25 อย่างมาก

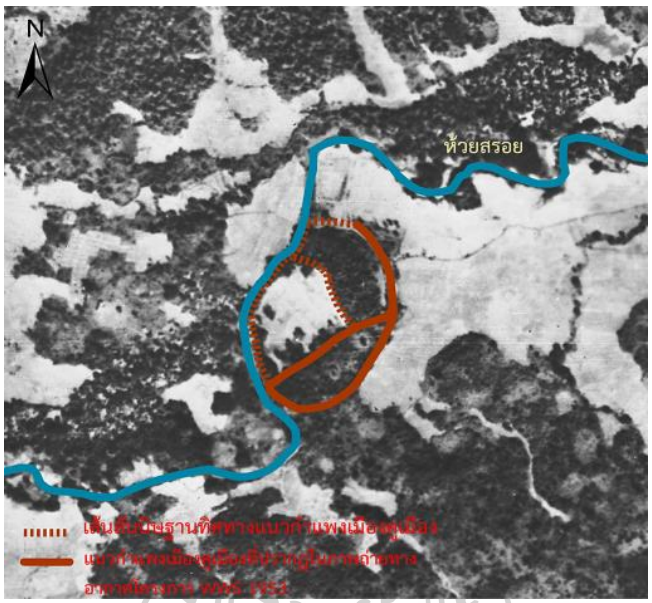
4.1 พัฒนาการทางวัฒนธรรมเมืองลองโบราณ ระยะที่ 1 (ก่อนพุทธศตวรรษที่ 20)

การตั้งถิ่นฐานบริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้นในยุคก่อนประวัติศาสตร์ยังไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากยังไม่มีการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีเพื่อศึกษาพัฒนาการตั้งถิ่นฐานภายในแอ่ง ชุมชนโบราณที่เก่าแก่ที่สุดในแอ่งที่ราบลองวังชิ้น คือแหล่งโบราณคดีคือเวียง (เวียงด้ง) เป็นแหล่งโบราณคดีที่มีคูน้ำคันดินล้อมรอบห่างจากเมืองลองโบราณไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ประมาณ 30 กิโลเมตร จากการขุดค้นทางโบราณคดีโดยกรมศิลปากรเมื่อปี พ.ศ.2559 พบว่ามีการตั้งถิ่นฐานครั้งแรกในราวพุทธศตวรรษที่ 14 โดยพบชั้นดินที่ปรากฏหลุมเสาบ้านและเริ่มมีการขุดคูน้ำคันดินครั้งแรกในราวพุทธศตวรรษที่ 16-17[97] หรือในสมัยที่มีการสร้างบ้านแปลงเมืองระยะแรกของแอ่งที่ราบลองวังชิ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าอายุที่ปรากฏในตำนานเมืองลองว่าตั้งเมืองในราวพุทธศตวรรษที่ 17 โดยเจ้าศรีกุกกุฏฏะ ราชบุตรเจ้าเมืองเขลางค์นคร[98] โดยในระยะแรกเมืองลองเป็นเมืองเครือข่ายอำนาจของเมืองลำปางซึ่งในขนาดนั้นเป็นการขยายอำนาจของเมืองลูกหลวงของอาณาจักรหริภุญไชยมายังแอ่งที่ราบแพร่

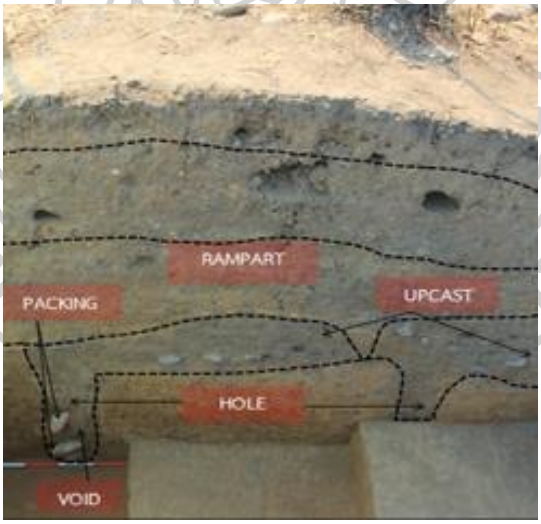
---

[97] พลพยุหะ ไชยรส, **รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีคือเวียง ตำบลป่าสัก อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ ประจำปีงบประมาณ 2559** (กรมศิลปากร : สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน, 2560) เอกสารอัดสำเนา, 35.

[98] บุญชู ชุ่มเชื้อ, **ตำนานพระธาตุวัดศรีดอนคำ (ห้วยอ้อ) และประวัติเมืองลอง** (กรุงเทพ : ไทยวิริยะกิจ, 2495), ฆ.

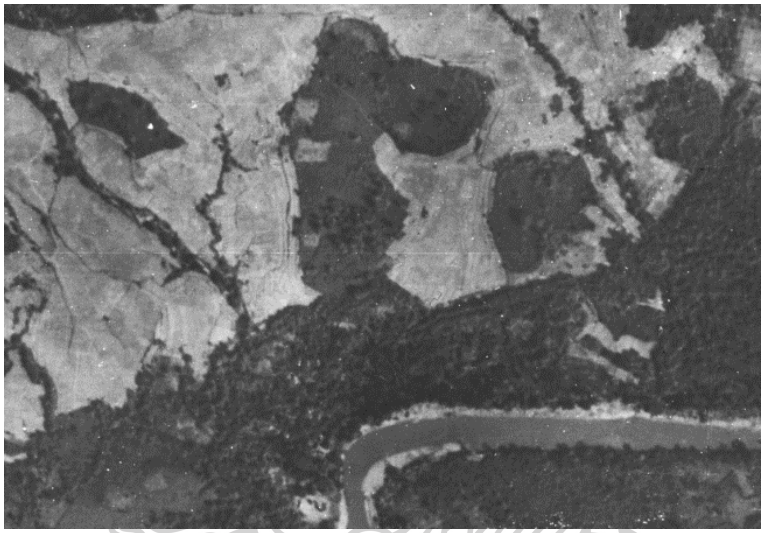


ภาพที่ 31 ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงแนวคูคันดินของชุมชนโบราณเวียงคือเวียง จังหวัดแพร่



ภาพที่ 32 แนวหลุมเสาบ้านใต้ชั้นคันดินของชุมชนโบราณเวียงคือเวียง

นักประวัติศาสตร์มีความเห็นว่าเมืองลองในสมัยแรกตั้งอยู่บริเวณเวียงลองในหมู่บ้านไฮสร้อย ตำบลปากกาง อำเภอลอง จังหวัดแพร่[99] จากการสำรวจทางโบราณคดีพบแนวคูคันดินที่มีลักษณะวางตัวเรียงซ้อนกันหลายวง ซึ่งเวียงโบราณรูปแบบดังกล่าวมีอายุอยู่ในช่วงก่อนพุทธศตวรรษที่ 19[100] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่พบหลักฐานทางโบราณคดีที่มีอายุเก่าแก่ไปถึงช่วงระยะเวลาดังกล่าว หลักฐานทางโบราณคดีที่สำรวจพบล้วนแต่อายุหลังพุทธศตวรรษที่ 19 ทั้งสิ้น



ภาพที่ 33 ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงลักษณะของชุมชนโบราณเมืองลองยุคที่ 1

ภาพที่ 34 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะแนวคูคันดินชุมชนโบราณเมืองลองยุคที่ 1

---

[99] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์, 2554), 63.

[100] วราวุธ ศรีโสภาค, “ชุมชนโบราณที่มีคู-คันดินล้อมรอบในลุ่มน้ำแม่อิง : การศึกษาเชิงภูมิศาสตร์การตั้งถิ่นฐานและความสัมพันธ์ในระบบ โครงสร้างสังคมเมือง,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2538), หน้า 176.

ต่อมาในสมัยสุโขทัยการตั้งถิ่นฐานของเมืองลองอยู่บริเวณเดียวกันกับช่วงสมัยแรกโดยมีวัดไฮสร้อยเป็นศูนย์กลางของเวียง ซึ่งปัจจุบันยังปรากฏเจดีย์ก่อด้วยศิลาแลงและพบเศษเครื่องถ้วยล้านนาและเครื่องถ้วยจีนราชวงศ์หมิง ซึ่งกำหนดอายุได้ราวพุทธศตวรรษที่ 19 ถึง 21 ภายในบริเวณวัดอีกด้วย

ภาพที่ 35 ภาพถ่ายฐานเขียงเจดีย์ก่อด้วยศิลาแลงของเจดีย์ประธานองค์เดิมภายในวัดพระธาตุไฮสร้อย
ที่มา วัดพระธาตุไฮสร้อย อำเภอลอง จังหวัดแพร่

ในระยะนี้อาณาจักรสุโขทัยได้ขยายขอบเขตขัณฑสีมาทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของอาณาจักรดังปรากฏชื่อเมือง “ลักขะ” ในจารึกสุโขทัยหลักที่ 93 หรือจารึกวัดอโสการาม เนื้อความในจารึกเป็นการประกาศรัฐสีมาของอาณาจักรสุโขทัย โดยมีเมือง “ลักขะ” หรือเมืองลองเป็นเมืองในขอบเขตอำนาจของอาณาจักรสุโขทัย[101] ดังความในจารึกว่า “....ที่แยกแม่น้ำยม ได้ทรงสร้างเมืองขึ้น ณ ที่นั้น เรียกว่าเมืองลักขะอยู่ในด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เป็นรัฐสีมา...”[102] นอกจากนี้ยังพบหลักฐานจารึกสุโขทัย หลักที่ ลป 14 หรือจารึกจำเนียรพาน กำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 20 เป็นหลักฐานชั้นต้นที่แสดงให้เห็นว่าเมืองลองมีผู้ปกครองระดับ “ขุน” และมีความสัมพันธ์กับเมืองสุโขทัย ซึ่งเนื้อความกล่าวถึงมารดาได้ทำบุญอุทิศส่วนบุญส่วนกุศลให้กับ

[101] ธีระวัฒน์ แสนคำและคนอื่น ๆ ,บรรณาธิการ พิพัฒน์ กระแจะจันทร์. **สุโขทัยกับอาเซียน : มองปัจจุบันผ่านอดีตจากมิติประวัติศาสตร์ ศิลปะ โบราณคดี** (ปทุมธานี : คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558.), หน้า 18.

[102] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร, จารึกวัดอโสการาม หรือจารึกสุโขทัยหลักที่ 93 สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2561 จาก ฐานข้อมูลจารึกในประเทศไทย : URL http://www.sac.or.th/databases/ inscriptions /inscribe_detail.php?id=235.

บุตรชายซึ่งมีฐานันดรศักดิ์เป็น “ขุน” ความว่า “...ถึงเมื่อพายแก่ขุนผู้เนียรพานนั้นแล บวรบริษุทธิ์อุดมเสงี่ยมสถิตย์สฤษดิ์ ...”[103] ในช่วงเวลานี้เมืองลองมีปริมณฑลอำนาจจำนวน 2 เมือง ได้แก่

1. เมืองตรอกสลอบ เป็นชุมชนโบราณที่มีคูคันดินล้อมรอบ ริมฝั่งแม่น้ำยม ในพื้นที่ตำบลวังชิ้น อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ ห่างจากเมืองลองไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 30 กิโลเมตร มีศูนย์กลางเวียงอยู่บริเวณวัดบางสนุก ซึ่งเป็นสถานที่ค้นพบจารึกวัดบางสนุก (จารึก พ.ร. 1) ระบุปีจารึกไว้ที่ปีกัดเม้าหรือราว พ.ศ.1882 มีการกล่าวถึงการหล่อพระพิมพ์โลหะผสม (Alloy) ประเภท “ชิน” แสดงให้ว่าบริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้นมีความสามารถในงานโลหกรรมมาตั้งแต่สมัยก่อนล้านนา (ก่อน พ.ศ. 1900) แล้ว ดังความในจารึกว่า“...กล่าวเถิงขุนอู..ว เจ้าเมืองตรอกสลอบแลแชงุนแผ่ใจรักมักบุญธรรม เป็นขุนผู้ใจดีชวนลูกเจ้าลูกขุน มูลนายไพร่ไท ทั้งชาวแม่ชาวเจ้าทั้งหลายพิมพ์รูปพระด้วยเหียกด้วยดินได้ พันร้อยแปดอัน พระธาตุอันหนึ่ง สอง พระงาสอง ทั้งขันหมากเงินขันหมากทอง...”[104]

2. เมืองต้า เป็นชุมชนโบราณตั้งอยู่ภายในแอ่งที่ราบเล็กระหว่างหุบเขา (Valley) กรมศิลปากรสำรวจพบโบราณสถานก่อด้วยอิฐในร่วมสมัยสุโขทัย-ล้านนาและเนินดินถลุงทองแดงและเหล็กหลายจุด ผู้เขียนได้สำรวจพบแหล่งแร่เหล็กแมกนิไทต์ (Magnitite) บริเวณห้วยเหล็กซึ่งอยู่ห่างจากเมืองไปทางด้านทิศตะวันตกประมาณ 10 กิโลเมตร อีกด้วย เมืองต้ามีตำแหน่งเจ้าเมืองนามว่า “หมื่น” ต้องส่งส่วยเหล็กและร่วมประกอบพิธีดำหัวเจ้าเมืองลองเป็นประจำในทุกๆ ปี

4.2 พัฒนาการทางวัฒนธรรมของเมืองลองโบราณ ระยะที่ 2 (ครึ่งหลังพุทธศตวรรษที่ 20 ถึง 22)

ในปี พ.ศ.2020 ตรงกับรัชสมัยของพระเจ้าติโลกราช เมืองลองถูกผนวกเข้าเป็นส่วนหนึ่งของอาณาจักรล้านนาขึ้นตรงกับราชสำนักเชียงใหม่จากแต่เดิมที่ขึ้นกับเมืองเขลางค์นคร โดยได้ส่งพญาหัวเมืองแก้วมาปกครองเมืองลองและตัวเมืองได้ขยายออกไปบริเวณเวียงเหล่าเวียงและบริเวณโดยรอบพระธาตุศรีดอนคำ ในช่วงระยะเวลานี้อาณาจักรล้านนาเข้าควบคุมเมืองลองอย่างเข้มงวด โดยเมืองลองจะต้องส่งส่วยเหล็กให้กับเมืองเชียงใหม่[105] ดังปรากฏหลักฐานจารึกบนแผ่นไม้ 7 ชิ้น ภายในถ้ำบริเวณประตูผา โดยในจารึกระบุว่าพระเจ้าติโลกราชห้ามมิให้ผู้ใดรบกวน “คราว” หรือคนเก็บส่วยอากรของราชสำนักและให้ปักอาชญานี้ทั่วทุกเมือง[106] ความว่า “...ไปหน้าผู้ใด เจ้าเหนือหัวไซร้ก็ดี

---

[103] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร, จารึกเมืองลอง หรือจารึกหลักที่ ลป 14 สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2561 จาก ฐานข้อมูลจารึกในประเทศไทย : URL www.sac.or.th/databases/ inscriptions/ inscribe_detail.php?id=18136

[104] ประเสริฐ ณ นคร, **จารึกล้านนา ภาค 1** (กรุงเทพฯ : มูลนิธิเจมส์ เอช ดับเบิ้ลยู ทอมป์สัน, 2534), 246 – 247.

[105] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์, 2554), 46.

[106] วิวรรณ แสงจันทร์, **รายงานการสำรวจทางโบราณคดีในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง** (ลำปาง : การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แม่เมาะ, 25561), เอกสารอัดสำเนา 52-54.

เจ้าหมื่นเจ้าพันไชร้ก็ดี อย่าเยดร้านแก่คราว ดังจ่าทองแสนลีนนี้ จักหื้อคราวทั้งหลายมาร้องเทิงเจ้าเหนือหัวแล ผิหาบอัน เพิงส่งเย้หาบสองหาบ อย่าห้อยอย่าแขวน ผระหมานหนัก 16000 น้ำ พ้นนั้นอย่าส่ง..."[107] การเก็บส่วยดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากการเรียกเก็บส่วยเหล็กกว่า 60 ตัน (1000 หาบ)[108] จากเจ้าลุ่มฟ้าพญาฮ่อ (ยูนนาน) ดังปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่ ความว่า "...ถัดนั้นอยู่บ่นานเท่าใด เจ้าลุ่มฟ้าใช้ห้อผู้ใหญ่สองคน มาถามเอาเส้นกุ้งของคัล..."[109] หรือในอีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการที่อาณาจักรล้านนาทำสงครามกับอาณาจักรอยุธยาจำเป็นต้องใช้เหล็กในการทำอาวุธสงครามด้วยเช่นกัน ดังปรากฏในหลักฐานประวัติศาสตร์ระยะหลังว่าเมื่อกรุงศรีอยุธยาจะเข้าตีอาณาจักรล้านนามักจะเข้ายึดเมืองสำคัญๆ ตามแนวขอบชายแดนของอาณาจักรที่มีแหล่งแร่เหล็กเป็นอันดับแรก[110] เช่นในรัชสมัยพระนารายณ์เมื่อครั้งที่ยกทัพเข้าตีเมืองเชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2205 ได้เข้ายึดเมืองเถิน เมืองลอง เมืองตัง เมืองลำปาง[111] ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมืองที่มีทรัพยากรแร่ธาตุสมบูรณ์ทั้งแร่ทองแดง ทองคำและเหล็ก โดยเฉพาะแร่เหล็ก สำหรับกรุงศรีอยุธยาแล้ว ถือเป็นสินค้าสำคัญที่สัมพันธ์กับระบบอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐานและยุทธปัจจัยในการรบเป็นสินค้าที่มีความต้องการสูงในตลาดอยุธยาดังปรากฏว่ามีย่านชาวจีนตั้งแต่ปากคลองสวนพลูถึงหน้าวัดพระพนัญเชิงมีการตั้งร้านรับเหล็กไปแปรรูปเป็นสินค้าอุตสาหกรรมและผลิตเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ โดยมักได้จากดินแดนตอนในของอยุธยาเช่นหัวเมืองเพชรบูรณ์ซึ่งในบันทึกของขุนหลวงหาวัดระบุของป่าประเภทเหล็กไว้ว่า "...เมืองเพชรบูรณ์ นายยมบรรทุกครั่ง กำยาน เหล็กหางกุ้ง เหล็กล่มเลย เหล็กน้ำพี้ ไต้ ..."[112]

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเหล็กลองมีการผลิตระดับอุตสาหกรรมและมีผลต่อระบบเศรษฐกิจภายในของรัฐล้านนา[113] โดยถือเป็นสินค้าสำคัญที่ราชสำนักเชียงใหม่ต้องเข้าทำการควบคุม นอกจากหัวเมืองล้านนาจะต้องส่งส่วยเหล็กไปที่ศูนย์กลางการปกครองแล้ว ราชสำนักเชียงใหม่ยังทำการเข้าควบคุมการทำเหมืองเหล็ก ในหลายกรณี เช่น การตั้งเมืองตีนบริเวณอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่

---

[107] ประเสริฐ ณ นคร, **จารึกล้านนา ภาค 2** (กรุงเทพฯ : คณะกรรมการชำระประวัติศาสตร์ไทย กรมศิลปากร, 2551), 270.

[108] Penth, Hans, **A brief history of Lan Na : Northern Thailand from past to present** (Chiang Mai : Silkworm Books, 2004), 154.

[109] อรุณรัตน์ วิเชียรเขียว และเดวิด เค. วัยอาจ, **ตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่** (เชียงใหม่ : ซิลค์เวอร์มบุคส์, 2547), 103.

[110] **พระราชพงศาวดารกรุงศรีอยุธยา ฉบับพันจันทนุมาศ (เจิม) กับพระจักรพรรดิพงศ์ (จาด)** (พระนคร : คลังวิทยา, 2507), 35.

[111] สมเด็จฯ กรมพระยาดำรงราชานุภาพ, **พงศาวดารเรื่องไทยรบพม่า** (กรุงเทพฯ : ไทยควอลิตี้บุ๊คส์, 2560), 241.

[112] **คำให้การชาวกรุงเก่า คำให้การขุนหลวงหาวัด และพระราชพงศาวดารกรุงเก่า ฉบับหลวงประเสริฐอักษรนิติ์**(พระนคร : กรมศิลปากร, 2515), 57.

[113] วิชาญ มาแก้ว, "ระบบเศรษฐกิจและความเปลี่ยนแปลงทางสังคมในยุคทองของอาณาจักรล้านนา (ค.ศ.1355-1525)," (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559), 188.

เพื่อใช้เป็นเมืองควบคุมการทำเหมืองแร่เหล็ก หรือในตำนานพื้นเมืองเชียงราย กล่าวถึงในรัชสมัยพญาสามฝั่งแกนได้มีการปักตาหล่าวหรือเฉลว เพื่อกำหนดขอบเขตการทำและช่วงระยะเวลาการทำเหมืองเหล็กในเมืองเชียงแสน ความว่า "...คันขุดบ่อ เดือน 3 เข้า เดือน 6 ถอน (ที่) ตั้งตาแหลวมีฉันนี้..."[114] ในกรณีนี้การขุดเหล็กอาจมีความสัมพันธ์กับการจัดการไพร่หลังจากการทำนา ซึ่งส่วนหนึ่งอาจถูกเกณฑ์มาทำงานโลหกรรมประเภทเหล็กทั้งการขุดเหมือง ถลุงเหล็กหรือทำเครื่องมือเครื่องใช้เหล็ก[115] เป็นที่น่าสังเกตว่าในปัจจุบันที่เมืองลองยังสืบประเพณีการเปิดเหมืองขุดเหล็กในช่วงระยะเวลาเดียวกันกับที่ระบุไว้ในตำนานพื้นเมืองเชียงแสน คือในช่วงขึ้นสามค่ำ เดือนสามของทุกปี

ภายหลังพระเจ้าติโลกราชสวรรคต เจ้าหัวเมืองแก้วปกครองเมืองลองจนถึงปี พ.ศ.2060 พระยอดเชียงรายให้เมืองลองขึ้นตรงกับเมืองลำปางตามเดิม โดยมีเจ้าช้างแดง แม่ทัพของเมืองลองในสมัยเจ้าหัวเมืองแก้วเป็นเจ้าเมืองและสถาปนาสกุลวงศ์ "เจ้าช้างแดง" เมืองลองเปลี่ยนจากการส่งส่วยเหล็กให้เมืองเชียงใหม่มาส่งให้กับเมืองลำปางตามเดิม จนกระทั่งเมืองเชียงใหม่ถูกผนวกเป็นส่วนหนึ่งของอาณาจักรพม่าในปี พ.ศ.2017

ในปี พ.ศ. 2142 เมืองลองเปลี่ยนเจ้าผู้ครองเมืองจากสกุลวงศ์ช้างแดงเป็นสกุลวงศ์ช้างปาน โดยมี "พญาช้างปาน" เป็นเจ้าเมือง เมืองลองเป็นเมือง 1 ใน 57 หัวเมืองประเทศราชล้านนา ที่ถูกพม่าปกครอง[116] เมืองลองแม้จะเป็นหัวเมืองขนาดกลางแต่ยังมีความสำคัญต่ออาณาจักรพม่าในแง่ของแหล่งทรัพยากรโดยเฉพาะเหล็กดังปรากฏในเอกสารพระราชดำรัสกษัตริย์พม่าให้หัวเมืองต่างๆ ในล้านนาส่งส่วยเหล็กไปยังราชสำนัก[117] ในช่วงระยะเวลานี้เมืองลองยังคงขึ้นกับเมืองลำปาง โดยเจ้าเมืองลองจะกินตำแหน่ง "แสน" เมืองต้ากินตำแหน่ง "หมื่น" มีการกำหนดตำแหน่ง "หมื่นกลางโฮง" "แสนบ่อ" และ "พ่อเมือง" มีหน้าที่เลี้ยงผีเมืองและเกณฑ์ทำส่วยเหล็กเมืองลอง[118]

---

[114] สรัสวดี อ๋องสกุล, **พื้นเมืองเชียงแสน** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์, 2546), 196 – 197.

[115] ชาญ มาแก้ว, "ระบบเศรษฐกิจและความเปลี่ยนแปลงทางสังคมในยุคทองของอาณาจักรล้านนา (ค.ศ. 1355-1525)," 189.

[116] Sithu Gamani Thingyan, **Zinme yazawin : Chronicle of Chiang Mai** (Yangon : Universities Historical Research Centre, 2003), 88.

[117] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 301.

[118] ภูเดช แสนสา, **ศรีมูลาลัย** (เชียงใหม่ : โรงพิมพ์แม็กซ์พริ้นติ้ง, 2558), 42 -43.

ภาพที่ 36 ตำแหน่งหัวเมืองล้านนา 57 เมือง ที่ตกอยู่ภายใต้การปกครองของราชอาณาจักรพม่า

ที่มา Sithu Gamani Thingyan, **Zinme yazawin: Chronicle of Chiang Mai** (Yangon : Universities Historical Research Centre, 2003), 88.

4.3 พัฒนาการทางวัฒนธรรมของเมืองลองโบราณ ระยะที่ 3 (หลังพุทธศตวรรษที่ 22 ถึง 25)

ในช่วงระยะเวลานี้เมืองลำปางเข้าควบคุมเมืองลองอย่างใกล้ชิด เนื่องจากล้านนาเกิดกลุ่มอำนาจใหม่คือราชวงศ์ทิพย์จักรราชหรือราชวงศ์เจ้าเจ็ดตน มีเจ้าขนานทิพย์ช้างเจ้าเมืองลำปางเป็นต้นราชวงศ์ โดยเป็นกลุ่มคนที่ตั้งถิ่นฐานในหมู่บ้านแถบเชิงเขาลุ่มแม่น้ำจาง (อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง) มักนำผู้คนเข้ามาขุดแร่เหล็กบริเวณเมืองลอง เนื่องด้วยขนานทิพย์ช้างมีอาชีพเป็นช่างตีเหล็ก เมื่อพม่าสถาปนาขนานทิพย์ช้างขึ้นเป็น “เจ้าทิพยาเทพบุญเรือง” ได้สั่งให้เกณฑ์ไพร่พลเข้าถลุงเหล็กเมืองลองเพื่อผลิตอาวุธ เหล็กลองยังปรากฏในค่าวเจ้าเจ็ดตน กล่าวถึงการใช้ดาบเหล็กทดสอบขนานทิพย์ช้างที่วัดศรีล้อม จังหวัดลำปาง ก่อนสถาปนาขึ้นเป็น “พญาสุลวะลือไชย”[119] ความว่า “...หื้อคนทั้งหลาย

[119] เดช แสนสา, **ศรีมูลาลัย** (เชียงใหม่ : โรงพิมพ์แม็กซ์พริ้นติ้ง, 2558), 43-44.

เอาแส้ค้อนไม้ มาตีต่อหน้า คนชุมสไบแผ่นทุ้ม ลวดชุมสูญหาย กลายเป็นแมว นอนหงายล้องห้อง เอาดาบเหล็กลอง ฟันลงหื้อต้อง บ่ห่อนไป ถูกเนื้อ..."[120] การปรากฏ "ดาบเหล็กลอง" ในวรรณกรรมราชสำนักลำปางดังกล่าวย่อมแสดงให้เห็นว่าเหล็กลองเป็นเหล็กที่มีคุณภาพในความรับรู้ของคนท้องถิ่นและชนชั้นปกครองล้านนา ซึ่งต่อมาจะมีวรรณกรรมล้านนาอีกหลายชิ้นในสมัยรัตนโกสินทร์ที่กล่าวถึงคุณภาพของเหล็กลอง ต่อมาในปี พ.ศ.2275 "พญาสุวะเทพลือไชย" ได้กอบกู้เมืองลำปางจากการเป็นเมืองขึ้นของนครลำพูน ได้ใช้เหล็กลองในการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์สู้รบกับเจ้ามหายศจนสามารถปลดแอกและตั้งตนเป็นนครรัฐขึ้นตรงกับราชสำนักพม่า มีฐานันดรศักดิ์ขึ้นเป็น "เจ้าพญาไชยสงคราม" จากพระเจ้าทนินกันเว กษัตริย์พม่าแห่งราชวงศ์ยองยาน เมืองลำปางจึงได้เข้าควบคุมเมืองลองอย่างใกล้ชิดมากกว่าในยุคก่อนและมีประเพณีที่เจ้าเมืองลำปางจะต้องเสด็จประพาสเป็นองค์ประธานเลี้ยงผีบ่อเหล็กลองในทุกๆ ปี ตั้งแต่นั้นมา[121]

เมื่อพิจารณาสาเหตุสำคัญที่เมืองลำปางเข้าควบคุมเมืองลองอาจเกิดจากเหตุการณ์ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 23 เหล็กแท่งของล้านนาถือเป็นสินค้าที่มีความต้องการในท้องตลาดโดยเฉพาะในหมู่พ่อค้าวัวต่างชาวฮ้อที่ส่งสินค้าดังกล่าวไปขายตามแนวเส้นทางทองคำ (ยูนนาน-ล้านนา)[122] โดยเส้นทางการค้านี้ทวีความสำคัญขึ้นจากเหตุการณ์ที่โชกุนโตกุกาวะ มีนโยบายห้ามส่งออกทองแดง ทำให้เกิดภาวะขาดแคลนทองแดงเป็นอย่างมาก กลุ่มพ่อค้าจึงต้องแสวงหาแหล่งแร่ทองแดงแห่งใหม่เพื่อป้อนสู่ตลาด โดยมุ่งความสนใจไปยังประเทศจีน ในมณฑลยูนนาน ราชสำนักชิงได้สนับสนุนการผลิตทองแดงเพื่อส่งออก ก่อให้เกิดกองคาราวานการค้าระหว่างยูนนานกับภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ขยายตัวอย่างมาก[123] โดยเส้นทางการค้าดังกล่าวที่เข้ามาในเขตอาณาจักรล้านามีหลายเส้น เส้นทางหนึ่งจะผ่านเมืองลองคือ เส้นทางการค้าภายในหรือเส้นทางสายรอง จำนวน 2 เส้นทาง ได้แก่ เส้นทางจากเมืองเทิง – ลอ – ปง – เชียงม่วน – ลอง – ท่าอิฐ – ศรีสัชนาลัย และเส้นทาง เทิง – ลอ – ปง – เชียงม่วน – สอง – ลอง – วังชิ้น – เถิน – ลี้ – สันป่าตอง – เชียงใหม่[124] เป็นต้น

---

[120] ชยันต์ วรรธนะภูติ, **กวีนิพนธ์ล้านนา : โคลงด่าวริร่ำถ้อยเมืองพิงค์ค่าวซอเจ้าเจ็ดตน** (เชียงใหม่ : โครงการศึกษาวิจัยคัมภีร์ใบลานในภาคเหนือ สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2533), 25.

[121] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์, 2554), 121-122.

[122] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 521.

[123] วินัย พงศ์ศรีเพียร และคนอื่น, **หมิงสือลู่-ชิงสือลู่ : บันทึกเรื่องจริงแห่งราชวงศ์หมิงและราชวงศ์ชิงฯ ตอนว่าด้วยสยาม และหนังสือระยะทางราชฑูตไปกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ตั้งแต่ ณ เดือน 8 ปีกุนตรีศกและปีชวดจัตวาศกในแผ่นดินพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระอินทรมนตรีแย้ม ได้เรียบเรียงไว้ในรัชกาลที่ 5** (กรุงเทพฯ : มูลนิธิสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา, 2559), 235 - 236

[124] ชวิศา ศิริ "การค้าของอาณาจักรล้านนาตั้งแต่ต้นพุทธศตวรรษที่ 19 ถึงต้นพุทธศตวรรษที่ 22," (วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2550), 170 – 171.

ในสมัยรัตนโกสินทร์หรือพุทธศตวรรษที่ 25 หลังยุคเก็บผักใส่ซ่าเก็บข้าใส่เมืองของล้านนา เมืองลองลดสถานะลงเป็นเมืองที่อยู่ภายใต้การปกครองของเมืองลำปางดังปรากฏในจารึกทำเนียบหัวเมือง ความว่า "...๑ เมืองจาง ๑ เมืองเมาะ ๑ เมืองท่า ๑ เมืองลอง ๑ เมืองพยาก (พยาว) ๑ เมืองงาว ๑ อยู่ตอนเหนือละคร ๒ เมืองเตาะอยู่ฝั่งตะวันออกน้ำเตาะ ๑ เมืองวัง ๑ เมือง ๓. แจ้ห่ม อยู่ลำแม่วังฝั่งตะวันออก ๒ ขึ้นนครลำปาง ๙ เมือง..."[125]

เมืองลองยังมีเมืองที่อยู่ภายใต้การปกครองของตนเพียงหนึ่งเมืองคือ เมืองต้า ในช่วงระยะเวลานี้ราชสำนักเชียงใหม่ได้ยกระดับเจ้าเมืองลองขึ้นเป็น "แสนหลวง" เทียบเท่า "พญา" อยู่ภายใต้การบังคับบัญชาของเมืองลำปางมีโครงสร้างการปกครองที่น่าสนใจคือมีการแบ่งแยกหน่วยควบคุมการผลิตเหล็กอย่างชัดเจน โดยมีตำแหน่งพญาเมืองชื่น ดูแลการเกณฑ์ทำส่วยเหล็กและจัดพิธีเลี้ยงผีเมืองลอง มีขุนเมือง (ผู้ช่วย) ในตำแหน่งแสนบ่อ ค่อยช่วยเหลือในการดูแลรักษาบ่อเหล็ก บ่อแร่ธาตุอื่นๆ ทำหน้าที่เกณฑ์ทำส่วยอาวุธสงครามต่าง ๆ[126] สาเหตุที่มีการแบ่งแยกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กอาจเป็นนโยบายของเมืองลำปางที่ต้องเข้าควบคุมการส่งส่วยเหล็ก ซึ่งเมืองลำปางให้ความสำคัญกับเหล็กเมืองลองมาตั้งแต่สมัยเจ้าสุวฤๅไชยสงคราม (หนานทิพย์ช้าง) เจ้าเมืองลำปางดังกล่าวไปแล้วข้างต้น

ในสมัยรัตนโกสินทร์การทำส่วยเหล็กเมืองลองแก่เมืองนครลำปางจะกระทำการทุกปีๆ ละ 40 หาบ (2,400 กิโลกรัม)[127] เพื่อแสดงความจงรักภักดีต่อเจ้าผู้ครองนครลำปางในฐานะเมืองใหญ่ที่ปกครองเมืองลอง โดยเป็นหน้าที่ของ แสนบ่อ หมื่นกลางโหง และพ่อเมืองในการเกณฑ์แรงงานทำส่วยเหล็ก โดยการขุดแร่เหล็กแล้วนำมา "เอ่าเหล็ก" หรือถลุงเหล็ก จากนั้นนำเอาแร่เหล็กที่บริสุทธิ์มาตีทำเป็นก้อนเหล็กส่งไปเค้าสนามหลวงเมืองลอง เพื่อจัดส่งไปเค้าสนามหลวงเมืองนครลำปาง ส่วยเหล็กที่เหลือจะนำมาแบ่งให้กับไพร่ที่เกณฑ์เพื่อไปใช้ในการทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ[128] ก้อนเหล็กจะถูกแบ่งให้กับเจ้าผู้ครองนคร เจ้าอุปราช เจ้าราชวงศ์ เจ้านายอื่นๆ[129] อีกส่วนหนึ่งใช้ใน

---

[125] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร, จารึกทำเนียบหัวเมืองและผู้ครองเมือง ทิศเหนือ (เมืองจาง เมืองเมาะ เมืองท่า เมืองลอง เมืองพยาก เมืองงาว เมืองเตาะ เมืองวัง เมืองแจ้ห่ม) สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2561 จาก ฐานข้อมูลจารึกในประเทศไทย : URL http://www.sac.or.th/databases/inscriptions/inscribe_detail.php?id=10667

[126] ภูเดช แสนสา, "เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน," (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 46.

[127] หจช.ร5กร 5 รล-พศ.10/60, นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนครลำปาง

[128] ภูเดช แสนสา, "เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน," (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 57.

[129] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 522.

การผลิตเครื่องมือเครื่องใช้นำออกขาย ในตลาดของเมืองลำปางเนื่องจากในขณะนั้นเมืองนครลำปางถือเป็นตลาดการค้าขนาดใหญ่ที่สุดในภาคเหนือรองจากเมืองนครเชียงใหม่

เหล็กเมืองลองในท้องตลาดถือว่าเป็นเหล็กที่มีคุณภาพสูงดังปรากฏในงานกวีภาคเหนือช่วงพุทธศตวรรษที่ 25 หลายฉบับ เช่น ค่าวฉลองคุ้มหลวงของเจ้าหลวงนครแพร่ของศรีวิไชยกวีในราชสำนักแพร่ เมื่อ พ.ศ.2453 ความว่า“...มีเจ็ดสิบสอง เหล็กลองกล่มเกลี้ยงจดจันเจียงแซ่ไว้ ...ห้าสิบสอง เหล็กลองไหลดั้นข่ามคงกะพันมากนัก... ถ้วนเจ็ดสิบสอง เหล็กลองแข็งนักต่ำหนักมิ่งแก้วมงคล ...”[130] หรือ พระพรหมโวหารกวีสำคัญของราชสำนักลำปาง กล่าวถึงเหล็กลองไว้ว่า “...ชาติเหล็กดำปิว บ่จัดเลือกเนื้อ ปืนเก่าเกื้อโบราณ...จักขัดขวาง บ่เมือสู่ห้อง กลัวเหล็กเมืองลอง ว้องคัด”[131]

ในแง่อุตสาหกรรมหลังจากการเข้ามาของรถไฟ ในช่วง พ.ศ. 2464 ชาวเมืองลองเริ่มมีวีชีวิตสมัยใหม่ เหล็กเมืองลองถูกแทนที่ด้วยเหล็กแท่งจากต่างประเทศและบ่อเหล็กลองกลายเป็นป่าสงวนแห่งชาติ แม้ว่าในปี พ.ศ.2461 พระเจ้าน้องยาเธอกรมขุนกำแพงเพชรอัครโยธินเสนอให้ทำเหมืองแร่เหล็ก แร่ทองแดง และแร่วุลเฟรม ในแขวงเมืองลอง เนื่องจากเป็นที่ต้องการในตลาดและช่วยส่งเสริมรถไฟสายเหนือให้เพิ่มรายได้ให้แผ่นดินจากการขนส่งรถไฟอีกทางหนึ่ง แต่ไม่ได้รับพระบรมราชานุญาต[132] ประกอบกับในช่วงระยะเวลาดังกล่าวรูปแบบการค้าของเมืองลำปางมีการเปลี่ยนแปลงไป สินค้าประเภทเครื่องเหล็กและเหล็กแท่งเป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ ถูกนำเข้ามาขายโดยพ่อค้าชาวจีนในเมืองลำปาง[133] การทำงานโลหกรรมเหล็กแบบดั้งเดิมจึงกระทำขึ้นแต่ในระดับท้องถิ่นเพื่อผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน[134] แทน ปัจจุบันหลงเหลือให้เห็นแต่เพียงขนบประเพณีเลี้ยงผีบ่อเหล็กที่กระทำสืบทอดกันในเชิงสัญลักษณ์เพื่อระลึกถึงความสามารถชั้นสูงด้านงานโลหกรรมของผู้คนเมืองลองในอดีตเท่านั้น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพัฒนาการทางประวัติศาสตร์ของเมืองลองแล้วจะพบนัยยะสำคัญคือการเข้าควบคุมการผลิตเหล็กเหล็กของทั้งราชสำนักเชียงใหม่และราชสำนักเมืองนครลำปาง ซึ่งเอกสารและข้อมูลทาประวัติศาสตร์ดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิเคราะห์และตีความทาง

---

[130] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์, 2554), 137 – 138.

[131] อุดม รุ่งเรืองศรี, **กำสรวลพระยาพรหม : คราวสิ่บทและคำจ่มของพระยาพรหมโวหาร** (เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2524), 9.

[132] กจช.ร.6 คค.5.3/8 รายงานการเสด็จตรวจทางรถไปสายเหนือของกรมขุนกำแพงเพชร 13 กรกฎาคม 2461

[133] ปลายอ้อ ชนะนนท์ “บทบาทนายทุนพ่อค้าที่มีต่อการก่อและขยายตัวของทุนนิยมภาคเหนือของประเทศไทย พ.ศ.2464-2523,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529), 55-57.

[134] United Department of State and Thai Royal Department of Mines, “Geologic Reconnaissance of The Mineral Deposit of Thailand,” Geological Investigation Bulletin 984, (1957), 75-76.

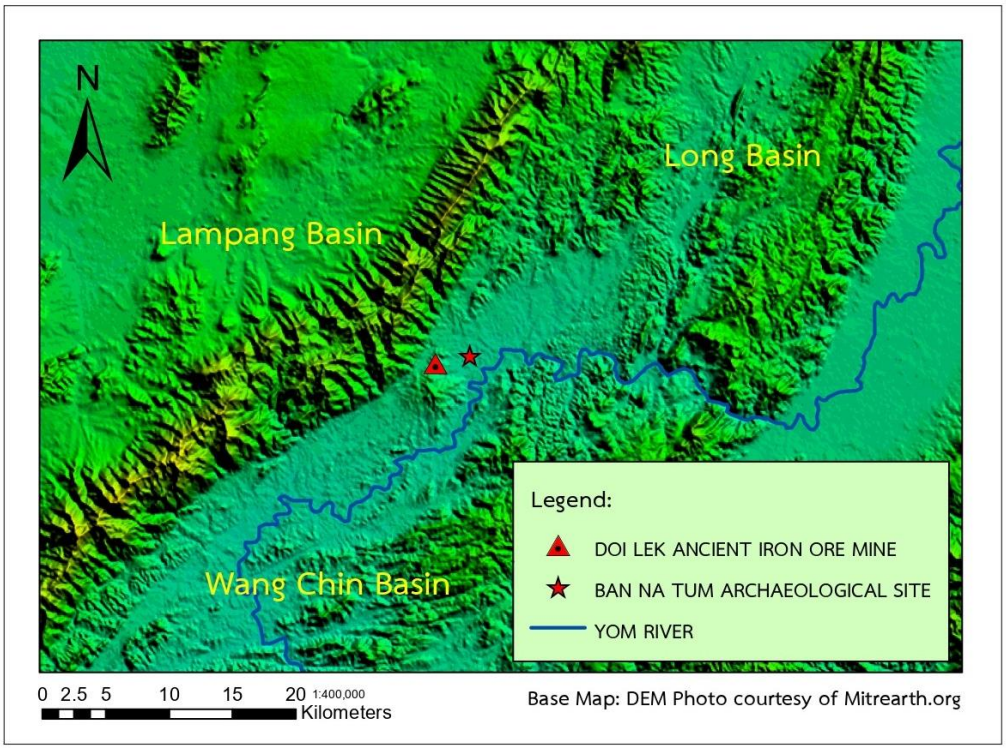
โบราณคดีร่วมกับหลักฐานทางโบราณคดีและผลการวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยาในประเด็นบริบททางประวัติศาสตร์ที่มีผลต่อโครงสร้างการผลิต (Carft Production) และทักษณะงานช่างฝีมือทักษะพิเศษ (Craft Specialization) ซึ่งผู้วิจัยจักได้อภิปรายในบทที่ 8 ต่อไป

บทที่ 5
วิธีวิทยาประยุกต์ : ภาคสนามและเทคนิคการวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยาในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณ

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงวิธีวิทยาประยุกต์ (Applied Methodology) ที่ได้ออกแบบตามกรอบวิจัยตามทฤษฎีและแนวคิดที่ได้ปริทรรศน์วรรณกรรมในส่วนของแนวคิดและทฤษฎีทางโบราณโลหะวิทยาในบทที่ 2 โดยเป็นการนำเสนอขั้นตอนทำการวิจัยตามกระบวนงานโบราณคดี เครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงวิธีการวิเคราะห์และตีความต่างๆ ทางโบราณโลหะวิทยาที่จะเป็นพื้นฐานในการวิจัยในบทที่ 6 ถึง 8 รวมไปถึงข้อตกลงเบื้องต้นหรือข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย

5.1 ภาคสนามทางโบราณคดีและการคัดเลือกตัวอย่างหลักฐานในการวิเคราะห์

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นแหล่งโบราณคดีหลักในการศึกษาวิจัย ซึ่งจากการปริทรรศน์วรรณกรรมและการประเมินศักยภาพของแหล่งโบราณคดี พบว่าแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นแหล่งถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณ สามารถสร้างองค์ความรู้ด้านการถลุงเหล็กทางตรงสมัยโบราณในดินแดนล้านนาหรือพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในสมัยสุดท้าย (สมัยรัตนโกสินทร์) ก่อนการเข้ามาของเหล็กจากต่างประเทศได้และปัจจุบันแหล่งโบราณคดียังคงสภาพสมบูรณ์ในแง่ของหลักฐานทางโบราณคดี



ภาพที่ 37 ตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

5.1.1 การสำรวจทางโบราณคดี

การสำรวจทางโบราณคดีมีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบหาหลักฐานทางโบราณคดีทั้งที่อยู่บนผิวดิน ใต้ดินและใต้น้ำ ของแหล่งโบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็กเมืองลองโบราณจำนวน 2 แหล่ง ได้แก่แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มและแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหลักฐานต่างๆ ที่คนในอดีตทิ้งไว้[135] โดยใช้การสำรวจทางโบราณคดีแบบเบื้องต้น (Reconnaissance Ground Survey) โดยใช้หมู่บ้านเป็นตัวบ่งชี้ในการลงพื้นที่เข้าสำรวจและสัมภาษณ์เพื่อให้สามารถเข้าถึงแหล่งโบราณคดีที่ยังไม่มีข้อมูลหรือแหล่งโบราณคดีแหล่งใหม่ได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น[136] นอกจากนี้ยังมีการทบทวนวรรกรรมในเบื้องต้นเพื่อสืบค้นแหล่งโบราณคดีและตำแหน่งที่แน่นอนในปัจจุบันทั้งจากเอกสารจดหมายเหตุ แผนที่เก่า และการสัมภาษณ์นักวิชาการ ทั้งนี้ในกระบวนการภาคสนามจะมีการตรวจสอบพื้นที่ การเก็บตัวอย่างโบราณวัตถุ นิเวศวัตถุ การสัมภาษณ์ การจัดทำแผนที่และการถ่ายภาพ จากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา

5.1.2 การขุดค้นทางโบราณคดี

การขุดค้นทางโบราณคดีมีวัตถุประสงค์ที่จะรวบรวมข้อมูลโครงสร้างเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม รวมทั้งการตรวจสอบอายุสมัย การใช้พื้นที่แหล่งโบราณคดีและการรวบรวมตัวอย่างหลักฐานที่จะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา โดยดำเนินงานขุดค้นทางโบราณคดีในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ.2562

5.1.2.1 การวางแผนผังหลุมขุดค้นทางโบราณคดี

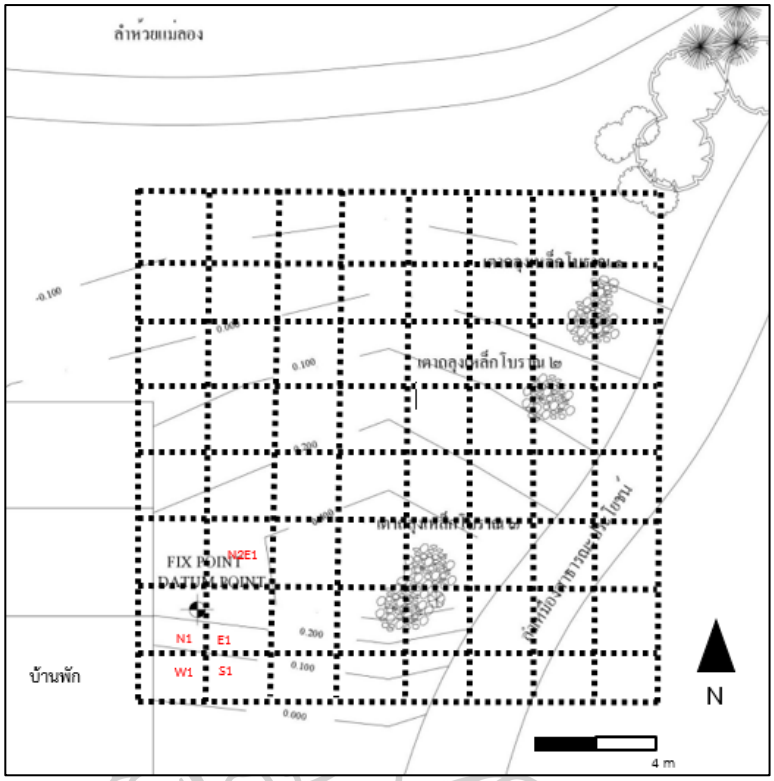
ในการขุดค้นทางโบราณคดีครั้งนี้ใช้การวางตารางกริดครอบคลุมพื้นที่แหล่งโบราณคดีทั้งหมดโดยตารางกริดจะเป็นกริดเดียวกันที่จะทำการขุดค้นทางโบราณคดีโดยวางระบบตามแนวแกนทิศเหนือใต้ผ่ากลางเนินดินแหล่งโบราณคดี[137] เพื่อความสะดวกในการกำหนดตำแหน่งหลุมขุดค้นและการเก็บข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดี โดยมีจุดพิกัดตายตัวอยู่ที่จุดตัดแกนทิศซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับหมุดหลักฐาน (Branch Mark – B.M.) ที่ระดับ 0.00 บริเวณหัวมุมพื้นปูนของบ้านพักข้าราชการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพบ้านนาตุ้ม พิกัด UTM WGS 1984 47Q 582252.96 E 1995710.98 N ความสูง 131 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลางและอยู่ต่ำจากจุดสูงสุดของยอดเนินดินประมาณ 30 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังได้ถ่ายระดับจุดระดับเส้นสมมุติที่ 0.00 ไปไว้ยังต้นไม้ที่ตั้งอยู่บริเวณเนินดินแหล่งโบราณคดี โดยอยู่สูงจากจุดกระจายตัวของเตาถลุงประมาณ 50 เซนติเมตร

---

[135] กรมศิลปากร, **คู่มือปฏิบัติงานด้านโบราณคดี** (กรุงเทพ : สำนักโบราณคดี กรมศิลปากร, 2551), 6.

[136] Drewett Peter, **Field archaeology** (London: Routledge, 2004), 44.

[137] Steve Roskams, **Excavation** (Cambrige : Cambrige University Press, 2001), 96.



ภาพที่ 38 ตารางกริดพื้นที่โครงการขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ปี พ.ศ. 2562

5.1.2.2 ลักษณะหลุมขุดค้นทางโบราณคดี

5.1.2.2.1 หลุมขุดค้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Pit) หลุมขุดค้นลักษณะนี้สามารถวางผังหลุมได้ครอบคลุมพื้นที่ที่จะทำการขุดค้นทางโบราณคดีได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้นและสามารถเลือกสุ่มขุดเฉพาะพื้นที่สำคัญที่สามารถให้ข้อมูลทางโบราณคดีในปริมาณมากได้[138] โดยเลือกวางผังครอบคลุมเนินเตาถลุงและพื้นที่หน้าเตาถลุง โดยมีวัตถุประสงค์ในการขุดค้นเพื่อศึกษาโครงสร้างเตา ลักษณะการกระจายตัวของเตา ลักษณะชั้นทับถมทางโบราณคดีของแหล่งและใช้กำหนดทิศทางการเปิดขยายหลุมขุดค้นตามแนวหลักฐานทางโบราณคดีที่พบในหลุมขุดค้นแบบเปิดกว้าง (Open Area Excavation)

5.1.2.2.2 หลุมขุดค้นแบบเปิดกว้าง (Open Area Excavation) เป็นการประยุกต์ใช้เพื่อให้เห็นการกระจายตัวของหลักฐานทางโบราณคดีและการใช้พื้นที่ของแหล่งโบราณคดีทั้งแหล่งโดยการขุดค้นในลักษณะนี้การขุดค้นจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่างๆ

[138] กรมศิลปากร, **คู่มือปฏิบัติงานทางโบราณคดี** (กรุงเทพ : กองโบราณคดี กรมศิลปากร,2551), 17 – 18.

ของแหล่งโบราณคดี[139] ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการขุดขยายตามตำแหน่งกริดที่ได้วางเอาไว้ ครั้งละ 1 ถึง 2 กริด

5.1.2.3 วิธีการขุดค้นทางโบราณคดี

ใช้การขุดค้นแบบเนวนอน (Horizontal Method) และการขุดค้นตามระดับชั้นดินสมมุติ (Abritaraly Level) ซึ่งเป็นการขุดลอกโดยขุดปรับระดับพื้นผิวให้อยู่ในระนาบเดียวกันก่อน จากนั้นขุดค้นตามระดับที่สมมุติขึ้น ระดับละ 10 ถึง 20 เซนติเมตร จนถึงระดับดินเดิมของแหล่งโบราณคดี (Living Floor) ซึ่งผลจากการขุดค้นพบว่าอยู่ในระดับ 50 cm.DT หรือประมาณ 20 ถึง 40 เซนติเมตรจากพื้นผิวดินปัจจุบัน จนกระทั้งไม่ปรากฏหลักฐานทางโบราณคดีในชั้นดินนั้นๆ

5.1.2.4 การเก็บตัวอย่างหลักฐานเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา

เน้นการเก็บตัวอย่างหลักฐานประเภทตะกรันประเภทต่างๆ ที่ขุดค้นพบโดยเฉพาะตะกรันก้นเตา (Slag Cake) จำนวนมากกว่า 300 ตัวอย่างเพื่อนำมาสกัด ย่อยและคัดเลือกสำหรับนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยาจำนวนไม่ต่ำกว่า 100 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังเน้นเก็บตัวอย่างเทคนิคอลเซรามิคประเภทผนังเตาถลุง ชิ้นส่วนหุ้มปลายท่อลมดินเผาประเภทต่างๆ และเครื่องถ้วยล้านนาหรือเครื่องถ้วยจีนเพื่อนำกำหนดอายุร่วมกับผลการหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์และถ่านไม้ภายในตะกรันก้นเตาเพื่อนำไปกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์

5.2 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา

5.2.1 การกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยใช้การหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ 2 วิธี คือ กำหนดอายุจากเครื่องเร่งและแยกจำนวนไอโซโทปของคาร์บอน (Accelerator Mass Spectrometry หรือ AMS Dating) โดยการสกัดถ่านไม้ที่เหลือภายในก้อนตะกรันก้นเตา นอกจากนี้ยังนำหลักฐานทางโบราณโลหะวิทยาประเภทเทคนิคิลเซรามิค (ผนังเตา) ไปหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL Dating) อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้นำค่าอายุทั้งสองมาเปรียบเทียบร่วมกับโบราณวัตถุประเภทเครื่องถ้วยล้านนาและจีนที่สำรวจและขุดค้นพบ รวมทั้งเอกสารทางประวัติศาสตร์ โดยพบข้อขัดแย้งบางประการของค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ทั้งสองแบบซึ่งจะได้อภิปรายในบทที่ 6 ต่อไป

5.2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยา

ในการเลือกโบราณวัตุวิเคราะห์เป็นการสุ่มเลือตัวอย่างหลักฐานทางโบราณคดีโดยเลือกเฉพาะตะกรันเหล็กที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีเท่านั้น โดยเน้นเฉพาะตะกรันก้นเตา ตะกรันหยดน้ำและตะกรันแผ่น โดยเลือกเก็บตัวอย่างที่คัดเลือกแล้ว จำนวน 100 ตัวอย่าง จากทะเบียนโบราณวัตถุที่ได้ทำการจัดทำทะเบียนไว้ ส่วนชิ้นส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเตาถลุง

---

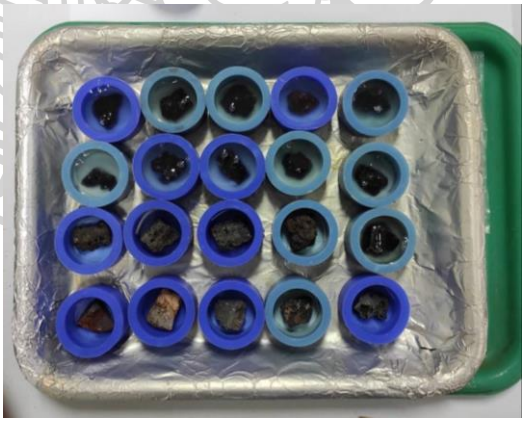
[139] Peter L. Drewett, **Field Archaeology : An Introduction** (London : Routledge,1999), 97-98.

ประกอบด้วย ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา ชิ้นส่วนผนังเตา ก็จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโดยมีวิธีเตรียมตัวอย่างและเทคนิคในการวิเคราะห์ ดังนี้

5.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเป็นการศึกษาโครงสร้างผลึกจำเป็นต้องทำให้ผิวตัวอย่างที่จะนำมาศึกษามีความราบเรียบ เหมาะสำหรับการส่องในกล้องจุลทรรศน์ จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อนการศึกษา ประกอบด้วยการตัดแต่งตัวอย่าง การหล่อหรือขึ้นเรือนและการขัดผิว มีรายละเอียดดังนี้

5.2.2.1.1 การตัดตัวอย่าง เริ่มจากการเลือกตะกรันที่จะนำมาศึกษาจากนั้นทำการทุบหรือตัดด้วยเครื่องตัดกระเบื้องให้ได้ขนาดไม่ต่ำกว่า 3 เซนติเมตร จากนั้นทำการลบความคมของพื้นผิวตัวอย่างออกก่อนด้วยกระดาษทรายเพื่อป้องกันความเสียหายต่อวัสดุที่ทำการขัดในขั้นตอนต่อไป ในขั้นตอนนี้ผิวตัวอย่างจะมีความราบเรียบในระดับหนึ่ง เพื่อให้สามารถดำเนินการต่อในขั้นตอนการหล่อหรือขึ้นเรือน

5.2.2.1.2 การหล่อหรือขึ้นเรือนเป็นการทำให้ยึดตัวอย่างให้อยู่ในสารเคมีแข็งและใส เพื่อความสะดวกในการเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนของการขัดผิวและในขั้นตอนการส่องกล้องจุลทรรศน์ ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วัสดุพอลิเมอร์ ประเภท “Epoxy Resin” เป็นวัสดุในการยึดตัวอย่างโดยกรรมวิธีหล่อเย็น (Cold Monting) โดยวางตัวอย่างด้านที่ขัดมันไว้เบื้องต้นแล้วลง ในแม่พิมพ์ยางรูปวงกลม จากนั้นผสมสารเคมีเรซิ่น (EpoxiCure™ 2 Epoxy) และสารช่วยแข็ง (EpoxiCure™ 2 Epoxy Hardener) ในอัตราส่วน 1 : 35 กรัม เทลงในแม่พิมพ์จนท่วมตัวอย่าง จากนั้นทิ้งให้แข็งตัวเป็นระยะเวลา 1 วัน



ภาพที่ 39 การหล่อขึ้นเรือนของตัวอย่างหลักฐานประเภทตะกรันเหล็ก

5.2.2.1.3 การขัดผิว เป็นการขัดตัวอย่างที่หล่อเรซินแล้วในด้านที่มีการขัดผิวมาแล้วเบื้องต้น มีความละเอียดคมชัด เหมาะแก่การส่องกล้องจุลทรรศน์ โดยแบ่งการขัดผิวได้ 2 ระดับ คือ

1) การขัดแบบหยาบ (Griding) เป็นการขัดผิวแบบเปียกด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดจากน้อยไปหามาก ทำการขัดผิวโดยใช้น้ำเป็นตัวช่วยในการขัด ทั้งนี้ กระดาษทรายที่ใช้จะเริ่มต้นจากเบอร์ 180 240 800 1,200 โดยทั้ง 4 เบอร์ ใช้การขัดแบบเปลี่ยนทิศทางไปทางขวา 90 องศาทุกครั้งที่เปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย เพื่อเป็นการทำให้รอยขัดเดิมก่อนหน้าถูกแทนที่ด้วยรอยขัดใหม่ที่มีความละเอียดมากกว่า ทำให้มีตัวอย่างที่ขัดความราบเรียบขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากนั้นขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 2,400 และ 4,000 โดยใช้เครื่องขัดแบบจานหมุน (Polishing Machine) ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างมีความละเอียดราบเรียบเพียงพอสำหรับการขัดแบบละเอียดหรือการขัดมันต่อไป

2) การขัดแบบละเอียดหรือการขัดมัน (Polishing) เป็นการขัดผิวโดยใช้ใยสังเคราะห์ร่วมกับสารแขวนลอยผงเพชรเป็นสารขัดเงาและหล่อด้วยน้ำมันหล่อลื่น โดยเริ่มจากการทำความสะอาดตัวอย่างด้วย “Acetone” จากนั้นนำไปขัดกับผ้าและผงเพชรที่อนุภาค 3 ไมครอน และ 1 ไมครอน บนจานหมุนผงเพชร (Diamond Paste) ร่วมกับการใช้สารหล่อลื่นชนิดน้ำ (Water-based Lubricating Fluid) การขัดแบบละเอียดหรือการขัดมันจะทำให้ตัวอย่างมีความราบเรียบและภาพที่ส่องในกล้องจุลทรรศน์มีคมชัดความละเอียดสูง

5.2.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคหรือระดับโครงสร้างผลึก (Microstructure Analysis) เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างหรือผลึกของวัตถุที่ถูกขัดให้เรียบแล้ว โดยโครงสร้างของผลึกจะมีความเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ทั้งนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยการเตรียมตัวอย่างและส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายมากกว่า 25 เท่า ในการศึกษาโครงสร้างผลึกของเหล็กจะประกอบด้วย เกรน (Grian) และ เฟส (Phase) โครงสร้างผลึก (Crystal Orientations of a Metal) ซึ่งสามารถศึกษาได้จากกล้องจุลทรรศน์หลายประเภท เช่น กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscopy) กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง (Reflective Light Optical Microscopy) ในทางโบราณโลหวิทยาการศึกษาโครงสร้างผลึกทำให้ทราบองค์ประกอบส่วนประกอบของโครงสร้างผลึก ขอบเขตของการผุกร่อน หรือลักษณะการเกิดผลึกและเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถใช้ในการศึกษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กได้จากตะกรันเหล็กได้เช่นกัน[140]สำหรับการวิเคราะห์ตะกรันเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม เป็นการศึกษาเฟสของผลึกที่ปรากฏในตะกรันเหล็ก เพื่อใช้อธิบายย้อยกลับไปยังขั้นตอนการถลุงเหล็กก่อนที่จะได้ตะกรันเหล็กออกมา โดยเฟสที่ปรากฏแตกต่างกันช่วยทำให้ทราบถึงปริมาณแร่ ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ วัตถุผสม (Flux) หรือแม้กระทั่งเชื้อเพลิงและยังสามารถสันนิษฐานสภาวะภายในห้องเตาถลุง อุณภูมิในการถลุง รวมถึงการเย็นตัวของตระกันอีกด้วย

5.2.2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบ คุณภาพและคุณสมบัติทางเคมีอื่นๆ ของตะกรันเหล็ก ชิ้นส่วนหลักฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเตาถลุงเหล็กและก้อนแร่เหล็กที่สำรวจและขุดค้นพบ โดยจะได้ข้อมูลที่ช่วย

---

[140] Roberts, Benjamin W. and others, 2014, **Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses** (NewYork : Springer), 67.

สนับสนุนในการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพและโครงสร้างระดับจุลภาคได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปวิเคราะห์และตีความร่วมกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี ในประเด็นๆ ต่างๆ เช่น เทคนิคการผลิต ขั้นตอนและกระบวนการการผลิต รวมไปถึงการจำลองภาพกิจกรรมการถลุงเหล็กในอดีต เป็นต้น สำหรับเครื่องมือในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้ เวลา และงบประมาณ ในงานวิจัยชั้นนี้เลือกใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์แบบพกพา (Handheld x-ray Fluorescence: HHXRF) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น Delta Professional โหมด Geochem ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 40 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์แบบพกพา (Handheld x-ray Fluorescence: HHXRF) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น Delta Professional โหมด Geochem

หลักการทำงานของ Handheld x-ray Fluorescence : HHXRF มีลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่อง X-ray หากแต่มีขนาดเล็กและมีข้อกำจัดในการใช้งานมากกว่าเนื่องจากไม่สามารถระบุองค์ประกอบของธาตุที่มีปริมาณน้อยมากและไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมน้อยกว่า 11 ประกอบด้วย ไฮโดรเจน ฮีเลียมลิเทียม เบริลเลียม โบรอน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟลูออไรด์นีออน และโซเดียม ส่งผลข้อมูลที่ได้จากเครื่อง HHXRF เป็นเพียงผลการวิเคราะห์เบื้องต้นซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่อง XRF แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องมือชนิดนี้ยังคงเป็นที่นิยมในการใช้งานเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่างและสามารถวิเคราะห์ได้หลากหลายธาตุพร้อมกัน แต่ทั้งนี้ควรมีการขัดพื้นผิวให้เรียบก่อนที่จะทำการยิงด้วยเครื่อง HHXRFเพื่อให้รังสีเอกซ์ทะลุพื้นผิวของตัวอย่างได้มากที่สุดและทำให้เครื่องมือคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการทำงานของเครื่อง HHXRF ขึ้นอยู่กับรังสีเอกซ์ตั้งต้น (Primary X-ray) ที่ปล่อยออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์เรย์มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีความยาวคลื่นสั้นประมาณ 0.1ถึง 100 A (อังสตรอม) เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบกับตัวอย่างวัตถุ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ว่าง

ในชั้นผิวของอะตอม (K, L, M) ในระดับโมเลกุลจากสภาวะปกติ (Ground state) ไปสู่การดูดกลืนพลังงาน (Absorb) ทำให้อะตอมเกิดสภาวะไร้ความเสถียรจึงมีการปล่อยพลังงานสะท้อนกลับ (Scattering) โดยการทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่รอบอะตอมของตัวอย่างเคลื่อนย้ายตำแหน่งและคายพลังงานออกมา ตำแหน่งที่ว่างเหล่านี้จะถูกแทนที่จากพลังงานภายนอกโดยการผลิตเอกซเรย์ทุติยภูมิหรือที่เรียกว่า เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ 70 รังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาจากองค์ประกอบในตัวอย่างจะถูกตรวจวัดโดยเครื่องตรวจ X-Ray การเปรียบเทียบพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเหล่านี้ทำให้สามารถระบุชนิดของธาตุและหาปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างได้[141] ผู้วิจัยเลือกแปลความจากองค์ประกอบเคมีที่เครื่อง HHXRF สามารถตรวจพบได้มากกว่า 0.1% ประกอบด้วยสารประกอบจำนวน 7 ชนิด ได้แก่ MgO Al_2O_3 SiO_2 K_2O CaO MnO และ FeO ซึ่งเป็นข้อมูลที่เพียงพอต่อการแปลความทางโบราณโลหะวิทยาเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการถลุงเหล็กสมัยโบราณโดยค่าปริมาณสารประกอบที่นำมาใช้เป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีจำนวน 3 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่างและทำการ normalized ทุกชิ้นให้องค์ประกอบเคมีมีค่าเท่ากับ 100% เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างได้และเป็นการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณ (Semi-Quantitative)

5.3 การทดลองทางโบราณคดี

จากการดำเนินการทางโบราณคดีในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ แม้จะทราบลักษณะโครงสร้างเตา กระบวนการถลุงเหล็กแบบทางตรง (Direct Process) อุณหภูมิในการถลุง (ประมาณ 1,175 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส) และอายุสมัยเบื้องต้นของเตาถลุงแล้ว (พุทธศตวรรษที่ 23 ถึง 25) หากแต่องค์ความรู้ดังกล่าวถือเป็นข้อสันนิษฐานเบื้องต้นที่มีความจำเป็นต้องตรวจสอบ จึงก่อให้เกิดแนวคิดการประยุกต์ใช้การทดลองทางโบราณคดีมาช่วยในการตรวจสอบข้อสันนิษฐานดังกล่าว โดยออกแบบงานทดลองทางโบราณคดีที่อาศัยข้อมูลหลักฐานทางโบราณคดีเป็นพื้นฐานในการจำลองเตาถลุงเหล็กและกระบวนการถลุงเหล็ก ร่วมกับองค์ความรู้ด้านการถลุงเหล็กโบราณของกลุ่มช่างฝีมือที่มีประสบการณ์การถลุงที่โดยการทดลองทางโบราณคดีดำเนินการในระหว่างวันที่ 14 ถึง 16 กันยายน 2565 ที่โรงงานถลุงเหล็กและตีดาบเหล็กของคุณประพจน์ เรืองรัมย์ ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์

กล่าวโดยสรุปวิธีวิทยาประยุกต์ข้างต้นนอกจากก่อให้เกิดสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านการถลุงเหล็กสมัยโบราณของแหล่งโบราณคดีบ้านานตุ้มได้แล้ว ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาบริบททางประวัติศาสตร์ เศาษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรมในอดีตของเมืองลองโบราณได้อีกทางหนึ่งด้วยทำให้การศึกษาทางโบราณโลหะวิทยาในงานวิจัยชิ้นนี้มีการศึกษาในมิติของพฤติกรรมและสังคมในอดีตของมนุษย์ผ่านเทคโนโลยีซึ่งเป็นกระบวนงานที่ยังไม่แพร่หลายในงานวิชาการโบราณคดีไทย

[141] อุราวรรณ อุ่นแก้ว, “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์,” ใน **กรมวิทยาศาสตร์บริการ**, 44, 140 (2539), 29.

บทที่ 6
ผลการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี

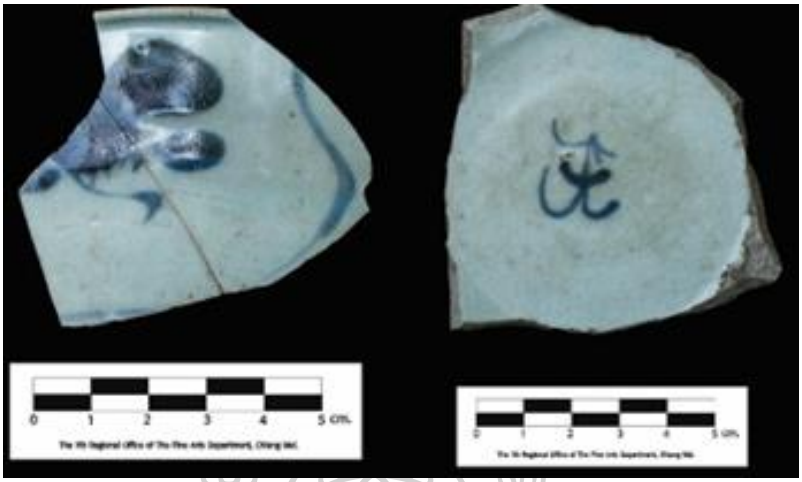
ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอข้อมูลการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนงานวิจัยทางโบราณโลหะวิทยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมหลักฐานทางโบราณคดีและบริบทของหลักฐานทางโบราณคดี นำไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์และตีความหลักฐานทางโบราณคดี ทั้งนี้ได้ดำเนินงานสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีต่างช่วงระยะเวลากันโดยได้สำรวจทางโบราณคดีในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2561 เพื่อประเมินศักยภาพและวางแผนขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มและดำเนินงานขุดค้นทางโบราณคดีในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายน พ.ศ.2562

6.1 ปัญหาการกำหนดอายุสมัยแหล่งโบราณคดี

ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้นำส่งตัวอย่างผนังเตาถลุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มที่ได้จากการสำรวจทางโบราณคดี ไปหาค่าอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL Dating) ได้ค่าอายุที่ “430±16 ปีมาแล้ว” หรือ พ.ศ. 2047 ถึง 2079 อย่างไรก็ตามค่าอายุข้างต้นยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีดังกล่าวอาจไม่เหมาะในการนำมากำหนดอายุเตาถลุงเหล็กโดยตรงเนื่องจากอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าอายุที่ได้สูงจากความร้อนที่ผนังเตาถลุงได้รับในช่วงการถลุงในอดีตที่ผ่านมา[142] ซึ่งค่าอายุไม่สอดคล้องกับหลักฐานประเภทเครื่องถ้วยที่สำรวจและขุดค้นพบ ผู้วิจัยจึงได้นำตัวอย่างถ่านที่อยู่ในก้อนตะกรันก้นเตาที่ขุดค้นพบไปหาค่าอายุด้วยวิธีเอเอ็มเอส (AMS Dating) ได้ค่าอายุ 202±16 ปีมาแล้ว หรือราว พ.ศ. 2347 ถึง 2379 ตรงกับรัชสมัยราชวงศ์เจ้าเจ็ดตนครองอาณาจักรล้านนาซึ่งค่าอายุดังกล่าวมีความสอดคล้องกับเศษเครื่องถ้วยที่ขุดค้นพบโดยเฉพาะเครื่องถ้วยจีน เนื้อแกร่ง เขียนสีน้ำเงินใต้เคลือบจากแหล่งเตามณฑลฝู้เจี่ยน กำหนดอายุอยู่ในปลายรัชศกเจียฉิ้งถึงต้นรัชศกเต้ากวงแห่งราชวงศ์ชิง ราวปลายพุทธศตวรรษที่ 24 เมื่อพิจารณาร่วมกับเอกสารทางประวัติศาสตร์ที่กล่าวถึงการเรียกส่วยเหล็กจากเมืองลองในช่วงสยามปกครองล้านนาโดยเฉพาะในสมัยรัชกาลที่ 5 และเอกสารของชาวต่าวชาติที่กล่าวถึงการถลุงเหล็กและบ่อเหล็กของเมืองลอง รวมทั้งเศษเครื่องถ้วยจีนและญี่ปุ่นที่ผลิตขึ้นในช่วงพุทธศตวรรษที่ 25 ที่ขุดค้นพบจึงกำหนดกิจกรรมการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มไว้ราวพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

---

[142] Peter Kresten, Chirstian Godicke ,and Ana Manzano, “TL-DATING of verified materail,”**Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology**, 22 (2003): 11-12.



ภาพที่ 41 เครื่องถ้วยจีนเนื้อแกร่ง เขียนสีน้ำเงินใต้เคลือบจากแหล่งเตามณฑลฝู่เจี่ยน กำหนดอายุอยู่ในปลายรัชศกเจียฉิ้งถึงต้นรัชศกเต้ากวงแห่งราชวงศ์ชิง ราวปลายพุทธศตวรรษที่ 24

ภาพที่ 42 เศษเครื่องถ้วยเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (ซ้าย) และเศษเครื่องถ้วยพิมพ์ลายจากประเทศญี่ปุ่น (ขวา)

THE UNIVERSITY OF
WAIKATO
Te Whare Wānanga o Waikato

Private Bag 3105
Hamilton,
New Zealand.
Ph +64 7 838 4278
email c14@waikato.ac.nz

Radiocarbon Dating Laboratory

Friday, 13 September 2019

Report on Radiocarbon Age Determination for Wk- 49763

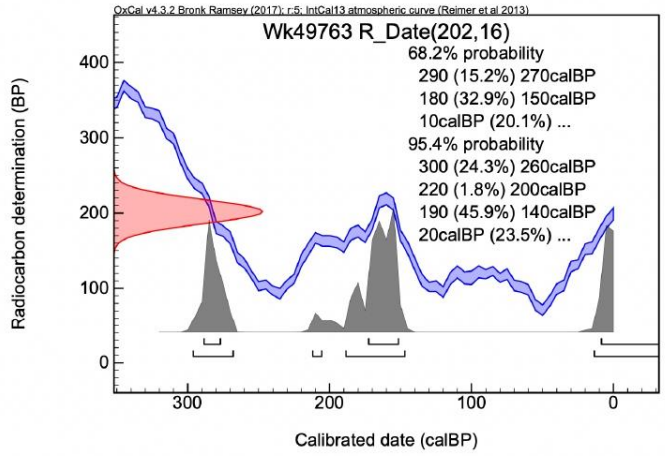
Submitter	Prasit Auetrakulvit
Submitter's Code	PR'BNT'2019 #C002
Site & Location	Test Pit 301, Ban Natum Archaeological Site, Bo Lak Long Sub-district, Long District, Phrae Province, Thailand
Sample Material	Charcoal
Physical Pretreatment	Sample cleaned.
Chemical Pretreatment	Sample washed in hot HCl, rinsed and treated with multiple hot NaOH washes. The NaOH insoluble fraction was treated with hot HCl, filtered, rinsed and dried.

$D^{14}C$	-24.8 ± 1.9 ‰
$F^{14}C$%	97.5 ± 0.2 %
Result	**202 ± 16 BP**

(AMS measurement)

Comments

Please note: The Carbon-13 stable isotope value ($\delta^{13}C$) was measured on prepared graphite using the AMS spectrometer. The radiocarbon date has therefore been corrected for isotopic fractionation. However the AMS-measured $\delta^{13}C$ value can differ from the $\delta^{13}C$ of the original material and it is therefore not shown.



- Explanation of the calibrated Oxcal plots can be found at the Oxford Radiocarbon Accelerator Unit's calibration web pages (http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=explanation.php)
- Result is *Conventional Age or Percent Modern Carbon (pMC)* following Stuiver and Polach, 1977, Radiocarbon 19, 355-363. This is based on the Libby half-life of 5568 yr with correction for isotopic fractionation applied. This age is normally quoted in publications and must include the appropriate error term and Wk number.
- Quoted errors are 1 standard deviation due to counting statistics multiplied by an experimentally determined Laboratory Error Multiplier.
- The isotopic fractionation, $\delta^{13}C$, is expressed as ‰ wrt PDB and is measured on sample CO_2.
- $F^{14}C$% is also known as *Percent Modern Carbon (pMC)*.

ภาพที่ 43 ผลการหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธี “Accelerator Mass Spectrometry-AMS” ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม จากห้องปฏิบัติการ ณ มหาวิทยาไวกาโต้ นิวซีแลนด์

6.2 ผลการสำรวจทางโบราณคดี

6.2.1 แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (Ban Na tum)

6.2.1.1 รหัสแหล่ง: PR'18/LW001SS (Fe)

6.2.1.2 ชื่อทางราชการ: แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

6.2.1.3 ที่ตั้งแหล่ง: หมู่ที่ 2 บ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

6.2.1.4 อาณาเขต: ทิศเหนือ ห้วยแม่ลอง

ทิศใต้ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาตุ้ม

ทิศตะวันออก ลำเหมืองและที่ดินราษฎร

ทิศตะวันตก โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาตุ้ม

6.2.1.5 แผนที่ทางทหาร: มาตราส่วน 1: 500000 ลำดับชุด L7018

พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD ระวาง อำเภอลอง 4945II

6.2.1.6 พิกัดกริด: UTM WGS 1984 47Q 582259 E 1995713 N

6.2.1.7 พิกัดภูมิศาสตร์: Lat. 18° 2' 54.23" N Long. 99° 46' 38.02" E

6.2.1.8 ระดับความสูง: 133 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

6.2.1.9 ลักษณะทางปฐพีวิทยาเบื้องต้น:

ชุดดิน 47 ชุดดินลี้ (Li) ชุดดินมวกเหล็ก (Ml) ชุดดินนครสวรรค์ (Ns) ชุดดินโป่งน้ำร้อน (Pon) ชุดดินสบปราบ (So) และชุดดินท่าลี่ (Tl) เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นเศษหินหนาแน่น บางบริเวณอาจพบชั้นหินพื้นในระดับตื้น ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียวปนเศษหิน สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวปนเศษหินหนาแน่นมาก สีแดงหรือสีแดงปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ความลาดชัน 4-13 % ลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเป็นเนินเขา

6.2.1.10 ลักษณะของหมวดหิน:

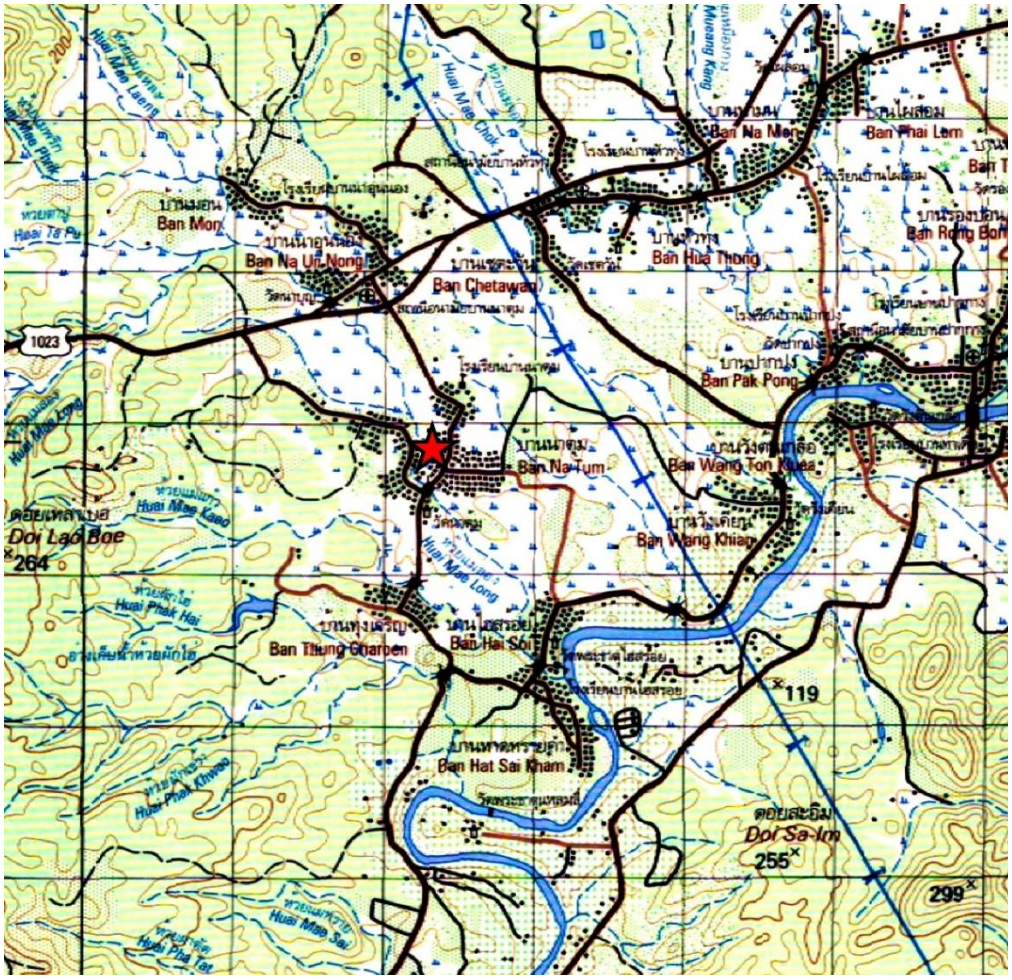
หน่วยที่ 12 หินอัคนีอุลตราเบสิกชนิดหินบะซอลต์ หินไพรอกซีไนต์ ประกอบดวยหินบะซอลต หินไพรอกซีไนต หินเพอริโดไทตและหินแปรชนิด หินเซอเพนทีนไนต มักมีสีดำเขม เขียวเข้มผุกรอนงาย ทำใหภูมิประเทศในบริเวณนี้ไมคงสภาพเปนภูเขาสูง หินเหล่านี้เปนตนกำเนิดของแรโลหะหลายชนิด เชน เหล็ก นิกเกิล โคบอลตแมกนีเซียม และ ทองแดง เป็นต้น หนวยหินนี้โผลใหเห็นทางทิศตะวันตกของบานปงหัวหาด บานนาตุม อำเภอลอง หวยแมปาน และอำเภอเดนชัย จังหวัดแพร่

6.2.1.11 กรรมสิทธิ์ที่ดิน:

ที่ดินราชพัสดุของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพบ้านนาตุ้ม หมู่ที่ 2 บ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

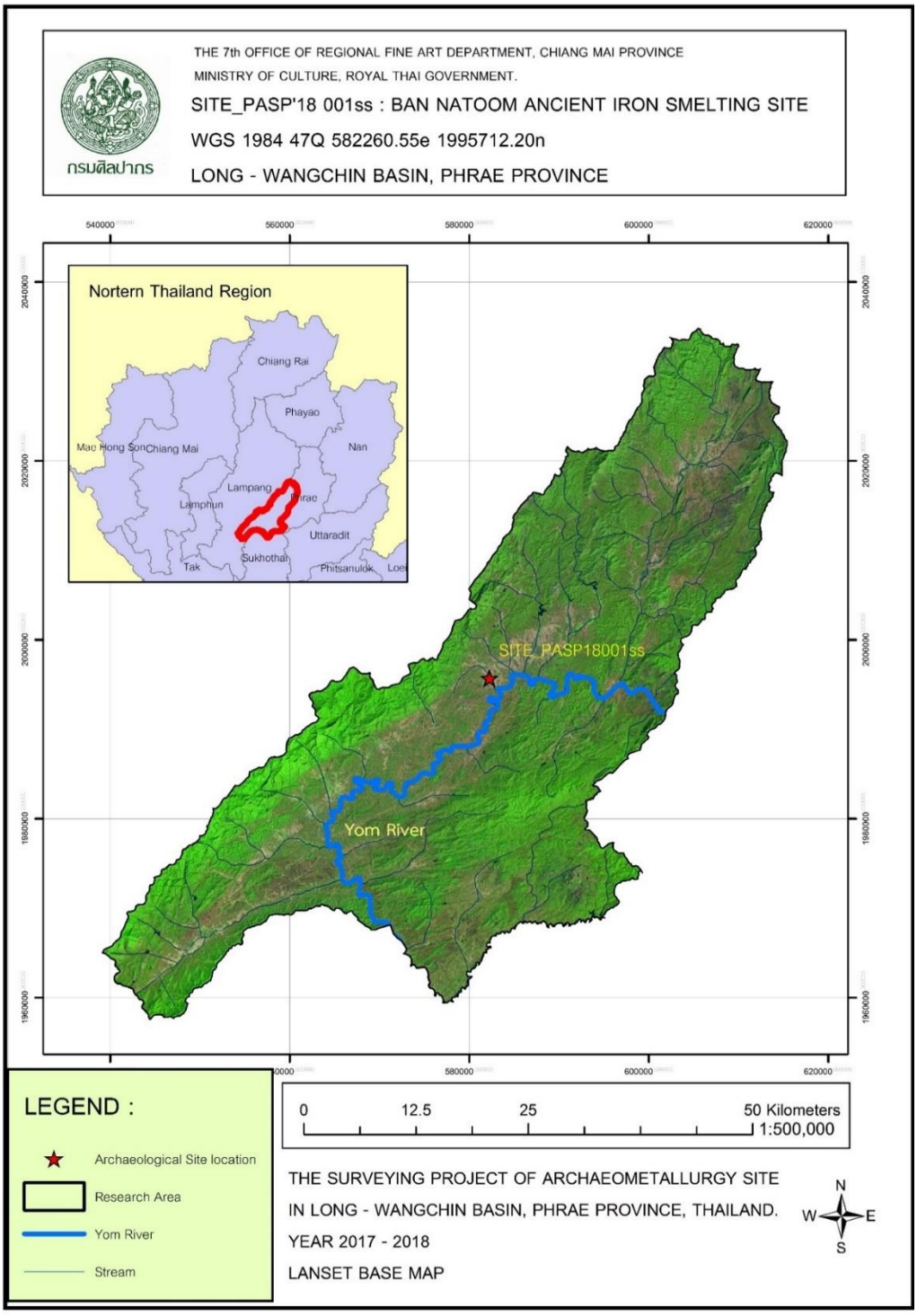
6.2.1.12 เส้นทางเข้าสู่แหล่ง

จากที่ว่าการอำเภอลองใช้ทางหลวงหมายเลข 1023 (แพร่ – ลำปาง) มุ่งหน้าไปยังสี่แยกแม่แขม ผ่านหมู่บ้านดอนทราย หมู่บ้านไผ่ล้อม หมู่บ้านนามน หมู่บ้านหัวทุ่ง หมู่บ้านเชตวัน จากนั้นเลี้ยวซ้ายเข้าสู่ทางเข้าหมู่บ้านนาตุ้ม ผ่านที่ทำการเทศบาลตำบลบ่อเหล็กลอง เมื่อผ่านโรงเรียนบ้านนาตุ้มให้เลี้ยวซ้าย ตรงไปจนกระทั่งถึงสะพานข้ามห้วยปากกางบริเวณด้านหน้าวัดนาตุ้ม ให้เลี้ยวขวาเข้าไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาตุ้ม แหล่งโบราณคดีอยู่ด้านหลังบ้านพักข้าราชการ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาตุ้ม ริมห้วยปากกาง



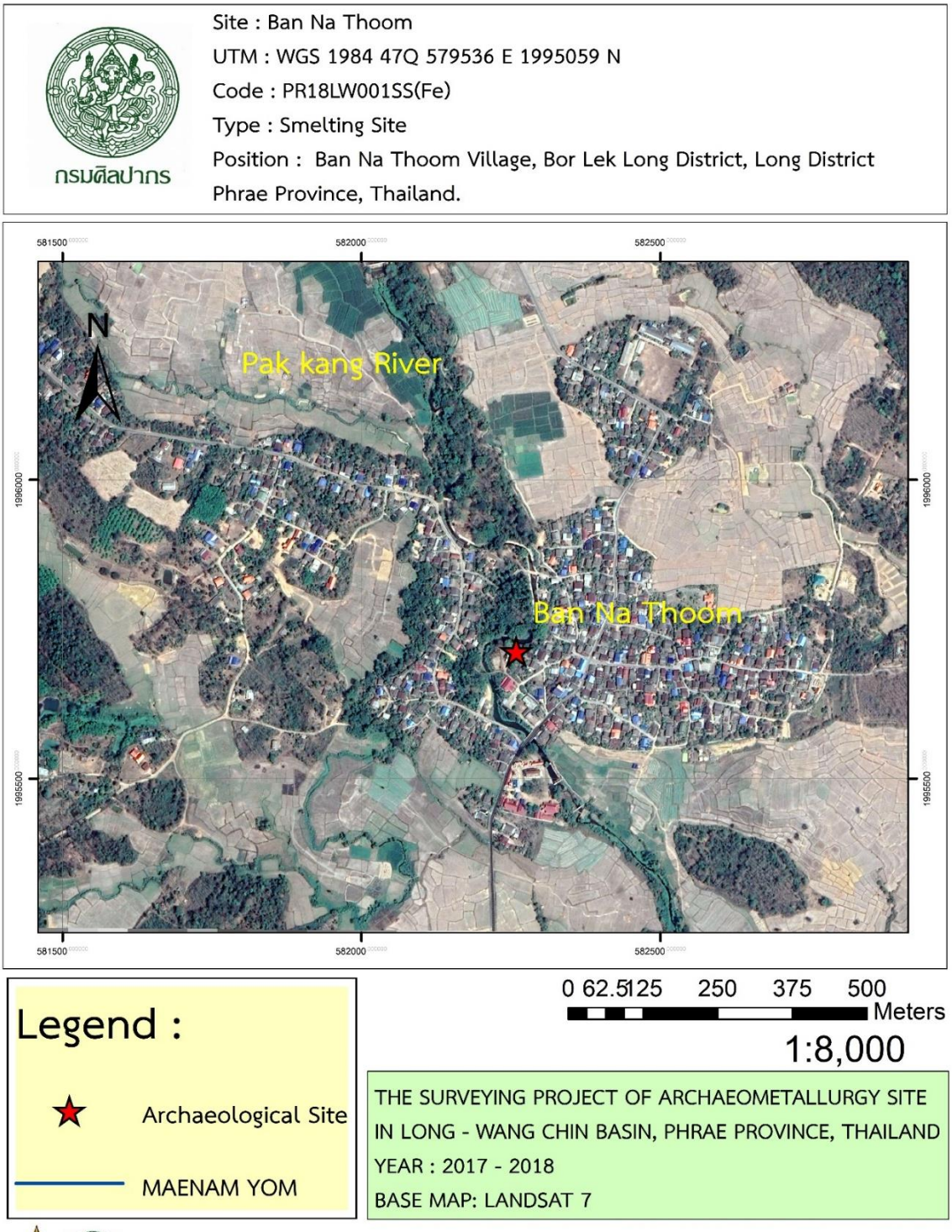
ภาพที่ **44 ตำแหน่งที่ตั้งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มบนแผนที่ทางทหารลำดับชุด L7018 ระวาง อำเภอลอง 4945 II แสดงตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม มาตราส่วน 1: 500000**

ที่มา กรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม



ภาพที่ 45 แผนที่ภูมิประเทศแสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร



ภาพที่ 46 แผนที่ภาพถ่ายทางดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร

6.2.1.13 อายุสมัย: พุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

6.2.1.14 สาระสำคัญทางองค์ความรู้โบราณคดีและโบราณโลหะวิทยา:

ผู้วิจัยใช้การสำรวจทางโบราณคดีแบบละเอียด (Intensive Survey) ในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเพื่อระบุขอบเขตและการกระจายตัวของหลักฐานบริเวณเนินดิน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างโบราณวัตถุ จัดทำแผนผังบริเวณของแหล่งโบราณคดีไปพร้อมกัน สามารถคำนวณข้อมูลคุณลักษณะของเนินดินถลุงเหล็กและสูตรคำนวณ ดังตารางที่ 1

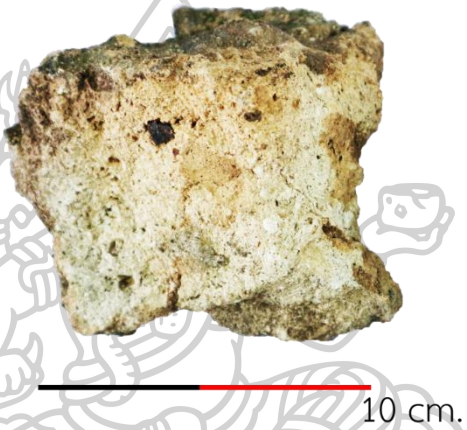
คุณลักษะของเนินดินถลุงเหล็ก			
แหล่งโบราณคดี	**กว้าง (เมตร)**	**ยาว (เมตร)**	**สูง (เมตร)**
บ้านนาตุ้ม	24	33	1
ขอบเขตของเนินดินถลุงเหล็กและปริมาตรตะกรันเหล็ก			
รายการ	**สูตรคำนวณ**	**การคำนวณ**	**ผลการคำนวณ**
พื้นที่ของเนินดินถลุงเหล็ก	พื้นที่ = กว้าง x ยาว	24 x 33	792 ตารางเมตร
ปริมาตรตะกรันเหล็ก	ปริมาตร = 3.14 x พื้นที่ฐาน x สูง	3.14 x 729 x 1	2,486.88 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะและการประมาณการปริมาตรตะกรันของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

ภาพที่ 47 ภาพถ่ายทางอากาศแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มโดยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) เมื่อปี พ.ศ. 2565

จากการสำรวจทางโบราณคดีพบหลักฐานทางโบราณคดีที่สำคัญดังนี้

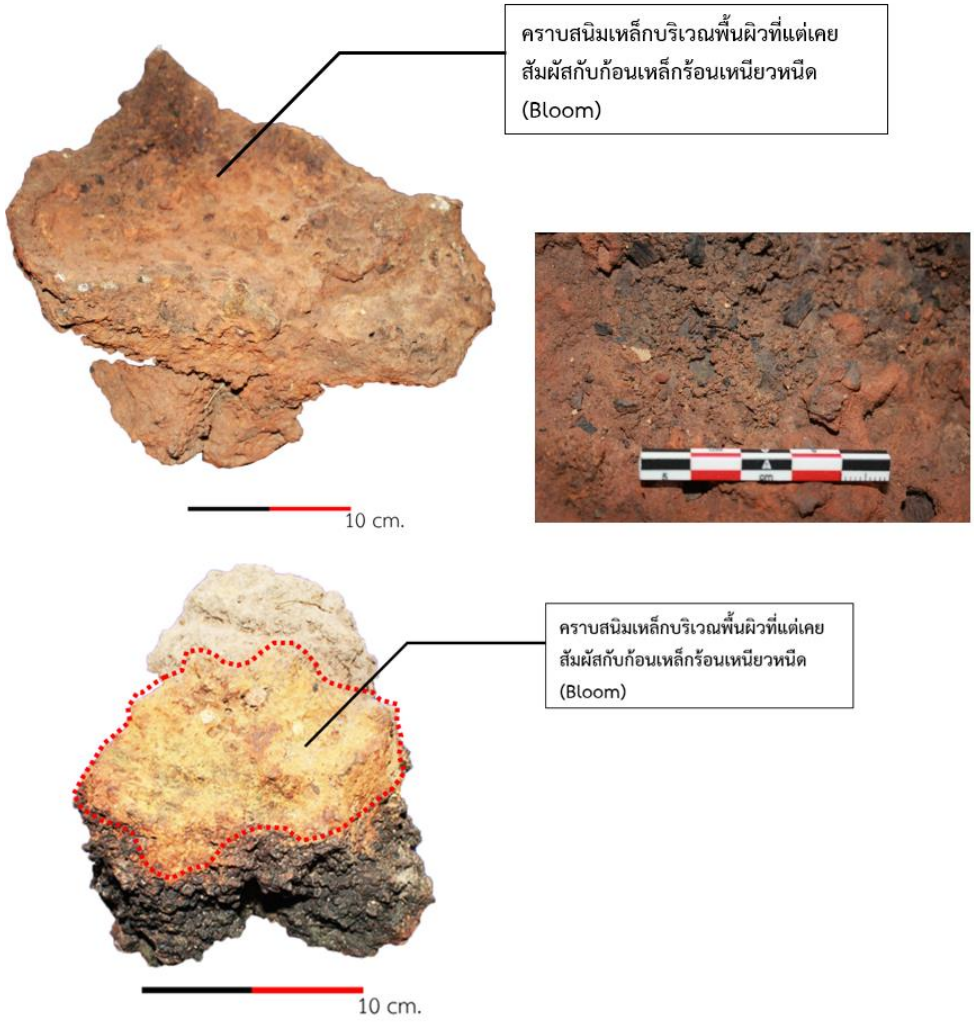
1. โครงสร้างผนังเตาถลุงจากการสำรวจพบเตาถลุงเหล็กจำนวน 2 เตา เตาก่อด้วยดินเผามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30 และ 60 เซนติเมตร สูง 20 และ 30 เซนติเมตร ตามลำดับ ผนังเตามีความหนาประมาณ 10 ถึง 15 เซนติเมตร ลักษณะผนังเตามีความโค้ง เนื้อภายในเป็นเนื้อดินเผาสีขาวมีเศษกรวด เม็ดแลงและแกลบข้าวปะปน ผิวผนังเตาภายในค่อนข้างราบเรียบผิวนอกค่อนข้างขรุขระ ได้เก็บตัวอย่างผนังเตาถลุง จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อนำไปหาค่าอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL Dating)



ภาพที่ 48 ชิ้นส่วนผนังเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มที่ผู้วิจัยนำไปกำหนดค่าอายุทางวิทยาศาสตรด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL Dating)

ภาพที่ 49 โครงสร้างเตาถลุงเหล็ก BNT#007 ที่พบจากการสำรวจทางโบราณคดี

2. เศษตะกรันแร่เหล็ก สำรวจพบหลายขนาดและหลายประเภททั้งเศษตะกรันแผ่น เศษตระกันหยดน้ำและเศษตะกรันก้นเตา (Slag Cake) โดยตะกรันเหล็กชนิดหลังนั้นมีลักษณะเด่น คือก้นกลมและผิวบนมีลักษณะแผ่กว้างออก ถือเป็นตัวชี้วัดว่าคือก้นเตาถลุงเหล็กเนื่องจากตะกรันเหล็กเหล่านี้จะขังอยู่ก้นเตาใต้ชั้นของก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) โดยผิวบนสุดที่พบมักจะมีร่องรอยของสนิมเหล็กสีส้มติดอยู่เนื่องจากเป็นพื้นผิวที่เคยอยู่ติดกับก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว บางก้อนปรากฏเศษถ่านอีกด้วย



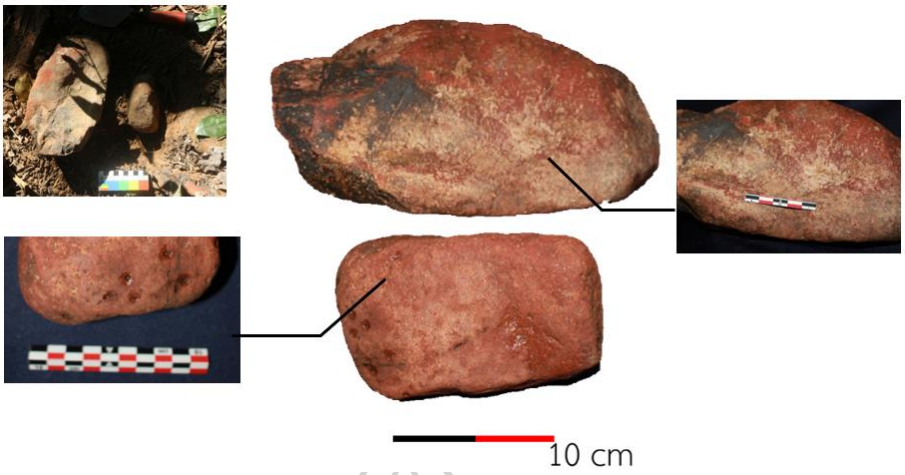
ภาพที่ 50 ลักษณะทางกายภาพของตะกรันก้นเตาที่สำรวจพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มโดยผิวด้านบนปรากฏคราบสนิมเหล็กบริเวณพื้นผิวที่เคยสัมผัสกับก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) และเศษถ่าน

3. ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Clay nozzle or Tuyère) พบ 2 ประเภทคือ ประเภทแรกมีรูปทรงกระบอกปลายมนตรงกลางท่อกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 3 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 13 เซนติเมตร ลักษณะเนื้อดินเผาแบบธรรมดา (Earthenware) มีเศษก้อนกรวด เม็ดแลงปะปน ส่วนใหญ่ที่ส่วนปลายมีคราบซิลิกาหลอมละลายและคราบตะกรันเหล็กติดอยู่ ส่วนประเภทที่สองมีลักษณะทรงกระบอกปลายมนด้านหนึ่งอีกด้านมีลักษณะปากผายออกตรงกลางท่อกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 3 - 4 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 13 – 18 เซนติเมตร ลักษณะเนื้อดินเผาแบบธรรมดา (Earthenware) มีเศษก้อนกรวด เม็ดแลงปะปน ส่วนใหญ่ที่ส่วนปลายมีคราบซิลิกาหลอมละลายและคราบตะกรันเหล็กติดอยู่

ภาพที่ 51 ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Clay nozzle or Tuyère) ประเภทที่ 1

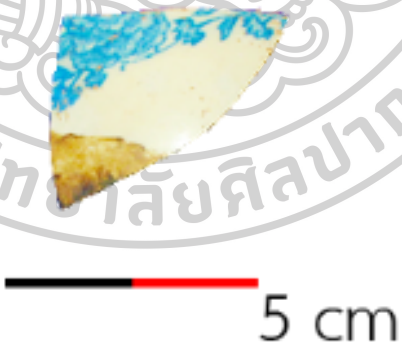
ภาพที่ 52 ชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Clay nozzle or Tuyère) ประเภทที่ 2

4. ทั่งหินและพะเนิน สำรวจพบด้านหลังเตาถลุงเหล็ก #BNT002 เป็นหินกรวดแม่น้ำสีแดง ทั่งหินมีขนาดกว้างประมาณ 10 ถึง 13 เซนติเมตร ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ที่ผิวมีรอยสึกหรออันเกิดการใช้เป็นพื้นผิวรองรับการทุบบดเป็นเวลานาน ส่วนพะเนิน ขนาดกว้างประมาณ 11 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร มีลักษณะคล้ายสากปลายด้านหนึ่งกลมมนมีรอยสึกหรออันเกิดจากใช้บดหรือทุบวัตถุเป็นระยะเวลานาน



ภาพที่ 53 ทั่งหินและพะเนินหินของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

5. เศษเครื่องถ้วยเนื้อแกร่ง พิมพ์ลายพันธุ์พฤกษาสีน้ำเงิน พบบริเวณด้านหลังเตาถลุงเหล็ก #BNT001 เนื้อภาชนะดินเผาแบบเนื้อแกร่ง หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ตกแต่งด้วยการพิมพ์ลายพันธ์พฤกษาสีน้ำเงิน เทคนิคการผลิตเครื่องถ้วยแบบพิมพ์ลายเป็นที่นิยมในประเทศจีนและประเทศญี่ปุ่น ในพุทธศตวรรษที่ 25[143] นอกจากนี้ยังพบเศษเครื่องถ้วยเซี่ยงไฮ ประเทศจีน ซึ่งมีลักษณะการตกแต่งด้วยการพิมพ์ลาย กำหนดอายุพุทธศตวรรษที่ 25 จำนวนอีก 1 ชิ้นด้วย



ภาพที่ 54 เศษเครื่องถ้วยเนื้อแกร่ง พิมพ์ลายพันธุ์พฤกษาสีน้ำเงินจากแหล่งเตาในประเทศจีนหรือญี่ปุ่น

[143] กรมศิลปากร, **รายงานการขุดค้นและขุดแต่งทางโบราณคดี โครงการขุดค้นและขุดแต่งทางโบราณคดีบริเวณพระราชวังบวรสถานมงคล ระยะที่ 2 พื้นที่สนามหญ้าด้านหน้าโรงราชรถ ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนคร** (กรุงเทพฯ: กรมศิลปากรและบริษัทนอร์ทเทิร์นซัน 1935, 2556), 139 – 140 และ 189.

ภาพที่ 55 เศษเครื่องถ้วยเซี่ยงไฮ ประเทศจีน

การผลิตเหล็กของเมืองลองเริ่มมีความสำคัญมากขึ้นในช่วงพุทธศตวรรษที่ 23 โดยประมาณ พ.ศ.2275 “พญาสุวะเทพลือไชย” ได้กอบกู้เมืองลำปางจากการเป็นเมืองขึ้นของนครลำพูน ได้ใช้เหล็กลองในการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์สู้รบกับเจ้ามหายศจนสามารถปลดแอกและตั้งตนเป็นนครรัฐขึ้นตรงกับราชสำนักพม่าได้ โดยได้รับฐานันดรศักดิ์ขึ้นเป็น “เจ้าพญาไชยสงคราม” จากพระเจ้าทนินกันเว กษัตริย์พม่าแห่งราชวงศ์ยองยาน (ราชวงศ์ตองอูตอนปลาย) เมืองลำปางได้เข้าควบคุมเมืองลองอย่างใกล้ชิดมากกว่าในยุคก่อนและมีประเพณีที่เจ้าเมืองลำปางจะต้องเสด็จประพาสเป็นองค์ประธานเลี้ยงผีบ่อเหล็กลองในทุกๆ ปี ตั้งแต่นั้นมา[144]

ในสมัยรัตนโกสิทร์เมืองลองเป็นเมืองที่อยู่ของชาวไทยวน เงี้ยว และพม่า มีการทำเกษตรกรรม กิจการป่าไม้ และการถลุงเหล็กซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่สร้างรายได้ให้กับเมืองลองถึงชั่งละหนึ่งสลึงและถือเป็นสินค้าชนิดเดียวที่เมืองลองต้องส่งส่วย สถานะของเหล็กในเมืองลองนอกจากจะเป็นเหล็กที่ใช้สำหรับผลิตเครื่องมือเครื่องใช้และเป็นสินค้าค้าขายแล้ว ยังมีสถานะเป็นสินค้าสำหรับการส่งส่วยภายใต้การบังคับบัญชาของเมืองลำปาง มีโครงสร้างการปกครองที่น่าสนใจ คือมีการแบ่งแยกหน่วยควบคุมการผลิตเหล็กอย่างชัดเจน โดยมีตำแหน่งพญาเมืองชื่น ดูแลการเกณฑ์ทำส่วยเหล็กและจัดพิธีเลี้ยงผีเมืองลอง มีขุนเมือง (ผู้ช่วย) ในตำแหน่งแสนบ่อ ค่อยช่วยเหลือในการดูแลรักษาบ่อเหล็ก บ่อแร่ธาตุอื่นๆ ทำหน้าที่เกณฑ์ทำส่วยอาวุธสงครามต่าง ๆ[145]

---

[144] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ**, 121-122.

[145] ภูเดช แสนสา, “เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 46.

การทำส่วยเหล็กเมืองลองแก่เมืองนครลำปางจะกระทำทุกปีๆ ละ 40 หาบ (2,400 กิโลกรัม)[146] เพื่อแสดงความจงรักภักดีต่อเจ้าผู้ครองนครลำปางในฐานะเมืองใหญ่ที่ปกครองเมืองลอง โดยเป็นหน้าที่ของ แสนบ่อ หมื่นกลางโหง และพ่อเมืองในการเกณฑ์แรงงานทำส่วยเหล็ก โดยเมื่อขุดแร่เหล็กแล้วจะนำมา “เอ่าเหล็ก” หรือถลุงเหล็ก ก้อนเหล็กจะถูกแบ่งให้กับเจ้าผู้ครองนคร เจ้าอุปราช เจ้าราชวงศ์ เจ้านายอื่นๆ[147] อีกส่วนหนึ่งใช้ในการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้นำออกขาย ในตลาดของเมืองลำปางเนื่องจากในขณะนั้นเมืองนครลำปางถือเป็นตลาดการค้าขนาดใหญ่ที่สุดในภาคเหนือรองจากเมืองนครเชียงใหม่

ภาพที่ 56 มวลเหล็ก (Iron Ingot) ที่มีการตีขึ้นรูปเป็นลักษณะแท่งยาวเก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์วัดแสล่ง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

[146]“นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนครลำปาง,” ร5กร 5 รล-พศ.10/60, หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรุงเทพฯ.

[147] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 522.

6.2.2 แหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก (Doi Lak)

6.2.2.1 รหัสแหล่ง: PR’18/LW001AM (Fe)

6.2.2.2 ชื่อทางราชการ: แหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก

6.2.2.3 ที่ตั้งแหล่ง: หมู่ที่ 2 บ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

6.2.2.4 อาณาเขต: ทิศเหนือ ป่าชุมชน

ทิศใต้ ป่าชุมชน

ทิศตะวันออก ป่าชุมชน

ทิศตะวันตก ป่าชุมชน

6.2.2.5 แผนที่ทางทหาร: มาตราส่วน 1: 500000 ลำดับชุด L7018

พิมพ์ครั้งที่ 1-RTSD ระวาง อำเภอลอง 4945II

6.2.2.6 พิกัดกริด: UTM WGS 1984 47Q 579529 E 1995141 N

6.2.2.7 พิกัดภูมิศาสตร์: Lat. 18° 2' 35.99" N Long. 99° 45' 5.09" E

6.2.2.8 ระดับความสูง: 190 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

6.2.2.9 ลักษณะทางปฐพีวิทยาเบื้องต้น:

ชุดดิน 47 ชุดดินลี้ (Li) ชุดดินมวกเหล็ก (Ml) ชุดดินนครสวรรค์ (Ns) ชุดดินโป่งน้ำร้อน (Pon) ชุดดินสบปราบ (So) และชุดดินท่าลี่ (Tl) เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นเศษหินหนาแน่น บางบริเวณอาจพบชั้นหินพื้นในระดับตื้น ดินบนเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียวปนเศษหิน สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินเหนียวปนเศษหินหนาแน่นมาก สีแดงหรือสีแดงปนเหลือง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ความลาดชัน 4-13 % ลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเป็นเนินเขา

6.2.1.10 ลักษณะของหมวดหิน:

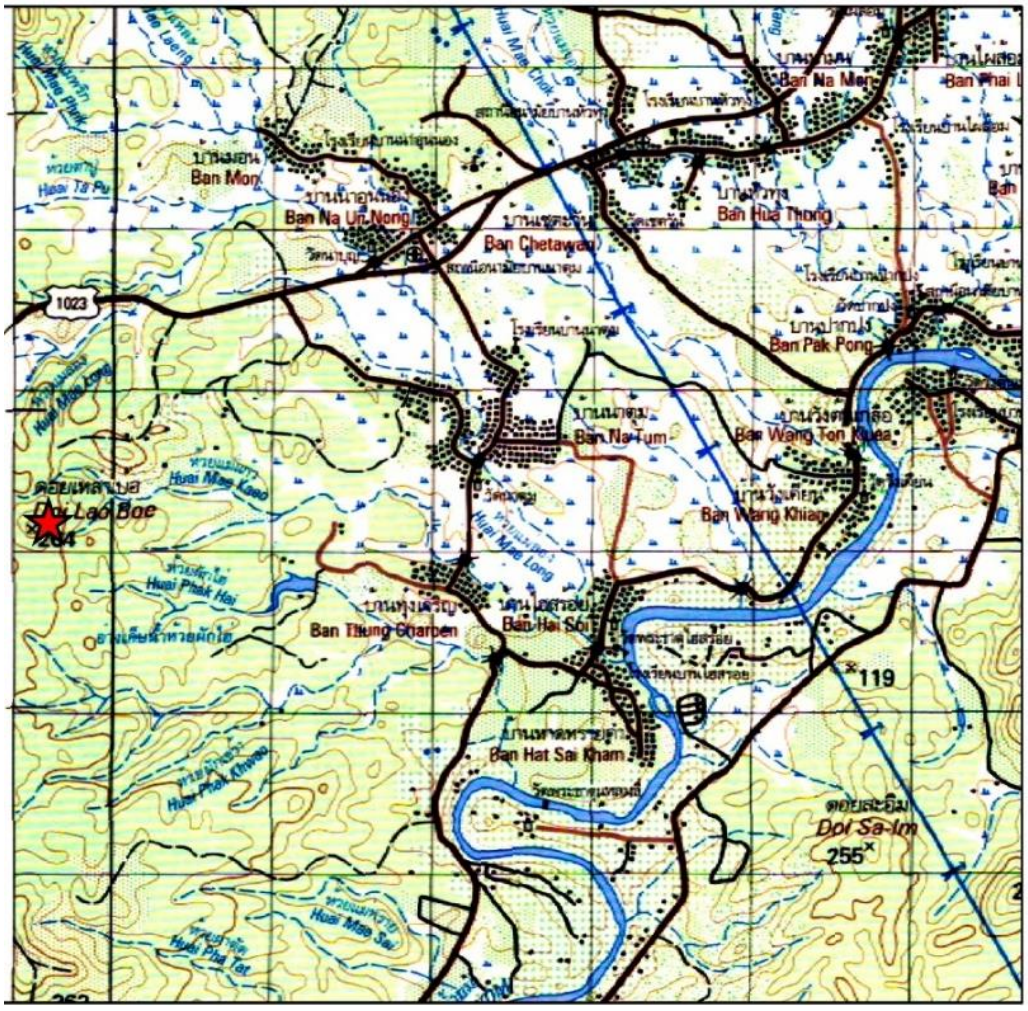
หน่วยที่ 12 หินอัคนีอุลตราเบสิกชนิดหินบะซอลต์ หินไพรอกซีไนต์ ประกอบดวยหินบะซอลต หินไพรอกซีไนต หินเพอริโดไทตและหินแปรชนิด หินเซอเพนทีนไนต มักมีสีดำเขม เขียวเข้มผุกรอนงาย ทำใหภูมิประเทศในบริเวณนี้ไมคงสภาพเปนภูเขาสูง หินเหล่านี้เปนตนกำเนิดของแรโลหะหลายชนิด เชน เหล็ก นิกเกิล โคบอลตแมกนีเซียม และ ทองแดง เป็นต้น หนวยหินนี้โผลใหเห็นทางทิศตะวันตกของบานปงหัวหาด บานนาตุม อำเภอลอง หวยแมปาน และอำเภอเดนชัย จังหวัดแพร่

6.2.1.11 กรรมสิทธิ์ที่ดิน:

เหมืองแร่เหล็กตั้งอยู่ในเขตป่าชุมชนบ้านนาตุ้มตามประกาศกรมป่าไม้ที่ ทส 1605.33/8576 ลงวันที่ 18 พฤษภาคม 2552

6.2.1.12 เส้นทางเข้าสู่แหล่ง

ใช้ทางหลวงหมายเลข 1023 จากที่ว่าการอำเภอลองไปทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านบ้านห้วยอ้อ บ้านนาจอมขวัญ บ้านไผ่ล้อม บ้านนามน บ้านหัวทุ่ง บ้านเชตวัน บ้านนาอุ่นนอง เมื่อเดินทางก่อนเข้าห้วยแม่ลอง ทางซ้ายมือจะมีป้ายบอกทางว่า “บ่อเหล็กลอง” ให้ใช้ทางลูกรังดังกล่าวเดินทางจนถึงแหล่งโบราณคดี

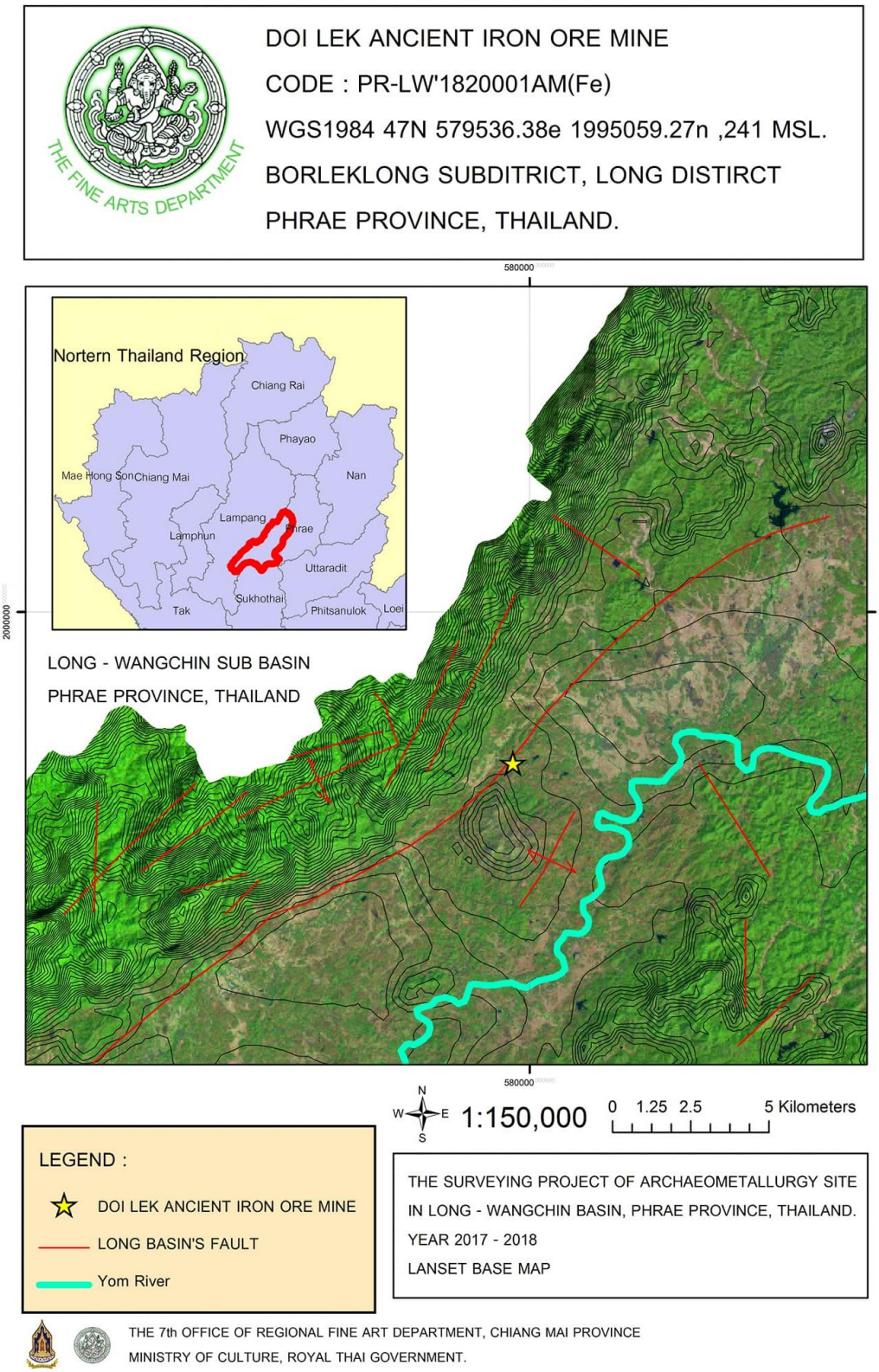


ภาพที่ 57 ตำแหน่งที่ตั้งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มบนแผนที่ทางทหารลำดับชุด L7018 ระวาง อำเภอลอง 4945 II แสดงตำแหน่งแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม มาตราส่วน 1: 500000

ที่มา กรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม

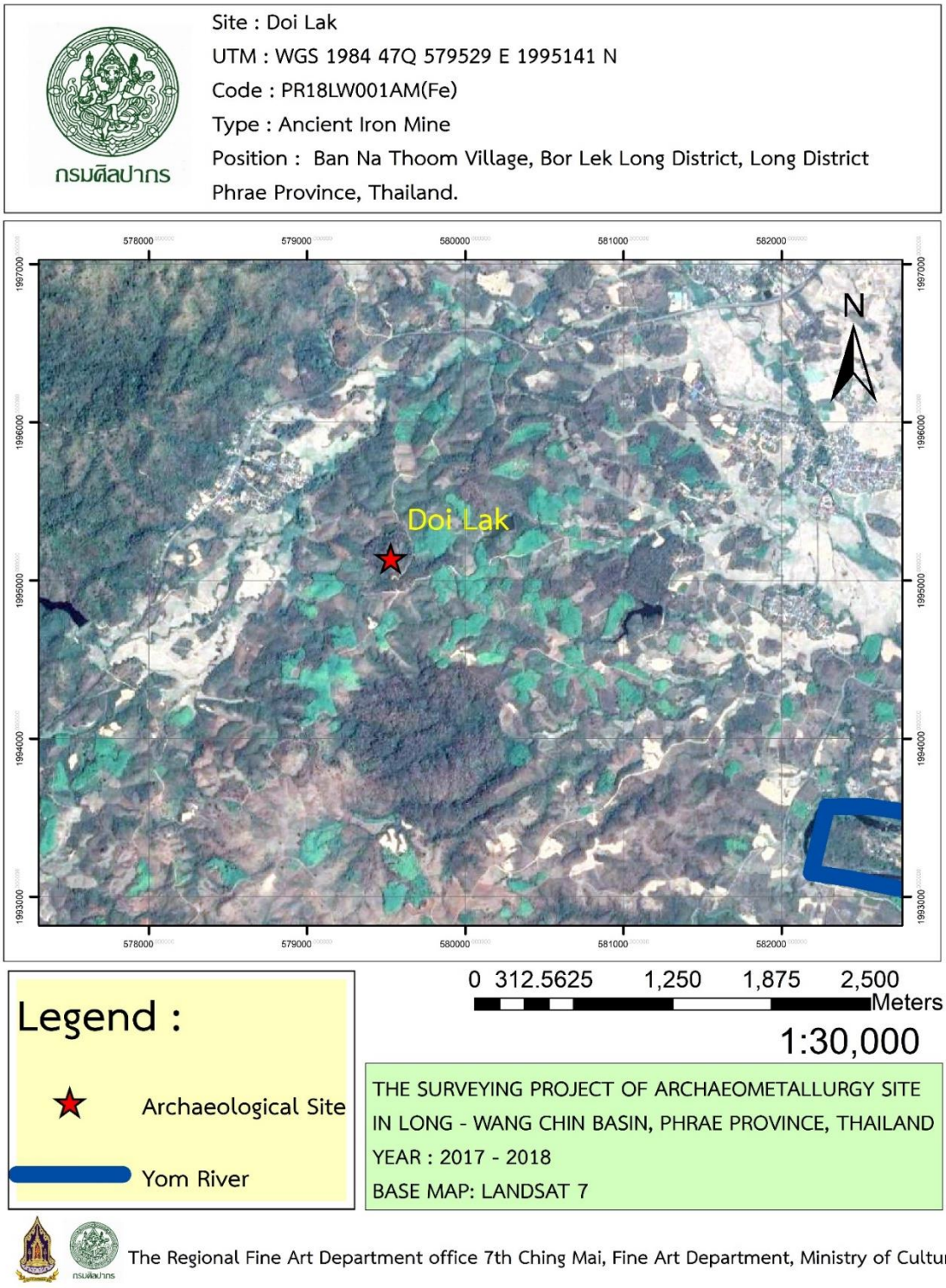
ภาพที่ 58 ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Drone) บริเวณโดยรอบแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 59 ตำแหน่งแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กแผนที่ลักษณะภูมิประเทศและแนวลอยเลื่อน

ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร



ภาพที่ 60 ลักษณะทางกายภาพของแหล่งโบราณคดีถลุงเหล็กบนภาพถ่ายทางดาวเทียม

ที่มา กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร

6.2.2.13 อายุสมัย: พุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25

6.2.2.14 สาระสำคัญทางองค์ความรู้โบราณคดีและโบราณโลหะวิทยา:

แหล่งโบราณคดีดอยเหล็กมีลักษณะเป็นเหมืองตั้งอยู่บนเนินเขาขนาดเล็กที่สูงโดดขึ้นจากพื้นที่ลอนลูกคลื่น มีการบุกรุกและรบกวนค่อนข้างน้อย โดยพื้นที่ลุ่มต่ำที่ลาดเชิงเขาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของราษฎร มีการเพาะปลูกพืชไร่และปลูกสวนยางพารา ด้านบนเหมืองมีการปรับพื้นที่สำหรับประกอบพิธีกรรมที่เกี่ยวข้องกับบ่อเหมือง มีการตั้งศาลผี และพื้นผิวของเนินเขาเต็มไปด้วยดินลูกรัง เศษก้อนหินที่มีส่วนประกอบของแร่เหล็กที่ข้างศาลผีพบก้อนหินที่มีแร่เหล็กผสมขนาดใหญ่จำนวน 1 ก้อน ตามแนวเขามีหินโผล่ประเภทหินปูนแทรกขึ้นมาเป็นระยะ

เหมืองแร่เหล็กดอยบ่อเหล็ก เป็นเมืองแร่เหล็กที่ใหญ่และสำคัญที่สุดของเมืองลอง โดยตั้งอยู่บนแนวรอยเลื่อนที่อยู่บริเวณที่ราบที่มีลักษณะฉีกออกจากกัน ยังผลให้ลาวาพุ่งออกทับถมบนพื้นดิน โดยรอยเลื่อนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเกิดแร่เหล็กของเหมือง โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางธรณีในช่วงยุคไตรแอสซิกถึงพรีแคมเบียร์น หรือราว 250 ล้านปีมาแล้ว ดอยเหล็กจึงเป็นแหล่งแร่เหล็กที่ตั้งอยู่บนชั้นหินดินดานและหินทราย มีลักษณะคล้ายชุดหินกาญจนบุรีและชุดหินลี้ซึ่งมีอายุในช่วงยุคพาเลโอโซอิค (Paleozoic) โดยสายแร่เหล็กจะวางตัวในแนวนอน มีชั้นหินทรายและหินดินดานดันแทรกเป็นระยะๆ มีการกัดเซาะและผุสลายของสายแร่ค่อนข้างมาก จึงปรากฏลักษณะของหินที่คล้ายศิลาแลงและดินลูกรังอยู่โดยรอบภูเขา โดยมีสีออกเหลืองหรือดำ แสดงให้เห็นว่ามีองค์ประกอบของแร่เหล็กในเนื้อหินดังกล่าว อย่างไรก็ตามในชั้นหินผุพังของสายแร่ยังพบแร่เหล็กประเภทเกอร์ไทร์และแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ด้วย จากการทดสอบและประมาณการของกรมทรัพยากรธรณีพบว่า แร่เหล็กที่พบในเหมืองดอยเหล็กเป็นเหล็กที่ค่อนข้างมีคุณภาพ โดยมีเหล็กออกไซต์เป็นส่วนผสมมากถึงร้อยละ 71 ซิลิกาออกไซต์ร้อยละ 10 อะลูมิเนียมออกไซต์ร้อยละ 4 และแมงกานีสออกไซต์ร้อยละ 2 คาดการณ์ว่ามีปริมาณสำรองประมาณ 100 เมตริกตัน[148]

จากบันทึกชาวต่างชาติระบุไว้ว่าอย่างน้อยในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 แร่เหล็กดอยเหล็กเป็นที่รู้จักว่าเป็นเหล็กที่มีคุณภาพ โดยปรากฏในเอกสารการเดินทางชาวตะวันตกกล่าวถึงพื้นที่เมืองลองเป็นแหล่งทรัพยากรแร่เหล็กที่สำคัญและมีคุณภาพของดินแดนล้านนา เช่น บันทึกของคาร์ล อัลเฟรด บ็อค ที่กล่าวว่า “...เห็นได้ชัดว่าเมืองละครนี้ร่ำรวย ไม่เพียงแต่ร่ำรวยป่าไม้เท่านั้นแต่ยังอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุ ใกล้ตัวเมือง (เมืองลอง) มีเหมืองแร่เหล็กที่อุดมสมบูรณ์อย่างยิ่ง หนึ่งถึงสองแห่งข้าพเจ้าได้เห็นแร่กาลีนา จำนวนหนึ่งซึ่งคาดว่าแร่เหล่านี้มีอยู่เต็มภูเขาละแวกนี้ นอกจากนี้ยังมีทองแดงด้วยชาวพื้นเมืองที่นี่เป็นช่างฝีมือโลหะและผลิตปืนใช้เอง..”[149] หรือบันทึกของสาธคุณฮิวจ์ เทย์เลอร์ที่กล่าวว่า “...จากเมืองแพร่ เราได้เดินทางต่อไปยังเมืองลอง เมืองทางตะวันตกซึ่งได้ระงับ

---

[148] United Department of State and Thai Royal Department of Mines, “Geologic Reconnaissance of The Mineral Deposit of Thailand,” **Geological Investigation Bulletin** 984 (1957): 73-76.

[149] Carl Alfred Bock, **Temples and Elephant The Narrative of a journal of Exporation through Upper Siam and Lao** (New York: Cornell University Library, 1884), 174.

การทำเหมืองแร่เหล็กไปเมืองหลายปีมาแล้วเนื่องจากได้มีการนำเข้าเหล็กหลอม ซึ่งคุณภาพอาจไม่ดีเท่าไหร่แต่สามารถขนส่งไปกรุงเทพได้มากกว่า..."[150]

จากการสำรวจทางโบราณคดีพบว่ามีร่องรอยการขุดเหมืองโดยรอบ โดยมีลักษณะการขุดบ่อเหมืองแบบเปิดซึ่งการทำเหมืองแร่เหล็กมีความคล้ายคลึงกับการทำเหมืองแร่ทองแดงในสมัยโบราณโดยอาจมีการทำเหมืองในลักษณะเหมืองหาบหรือเหมืองเปิด (Open cast mining) โดยการขุดหลุมลึกคล้ายบ่อน้ำหรือเป็นหลุมสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว (Trance) ขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของสายแร่ ส่วนใหญ่แร่เหล็กที่ทำเหมืองในลักษณะนี้มักเป็นแร่เหล็กลิโมไนต์ ฮีมาไทต์ เกอร์ไทต์ แมกนิไทต์ และแร่เหล็กคาร์บอเนต[151] การทำเหมืองแร่เหล็กสมัยโบราณในประเทศไทยมีบันทึกไว้ในเอกสารทางประวัติศาสตร์และมุขปาฐะในลักษณะการทำเหมืองแบบเหมืองเปิด ดังนี้

1. บันทึกของชาวต่างชาติ เช่นบันทึกของบาทหลวงตาชาร์ด ที่บันทึกกรรมวิธีการสกัดก้อนแร่เหล็กไว้ว่า "...โรงถลุงเหล็กนั้นมีเตาเพียงสองหรือสามเตาเท่านั้น เอาถ่านแร่ที่ขุดขึ้นมาได้ไปใส่ไว้...บ่อแร่แห่งนี้อยู่ทางทิศตะวันตกของภูเขาค่อนข้างสูงลูกหนึ่งชื่อเขาเพชรกะเดก (Caou Petque-dec)... เราจึงต้องหันไปจัดการกับก้อนใหญ่และสกัดชิ้นที่แตกระแหงอยู่ออกมาโดยยาก เพราะก้อนเหล็กนั้นถูกดูดอยู่เสมอ ในที่สุดเราก็สกัดออกได้สองสามชิ้น และไม่สงสัยเลยว่าถ้าขุดคุ้ยลงไปลึกๆ แล้ว คงจะได้ชิ้นแม่เหล็กที่ดีกว่านี้แน่..."[152]

2. การเก็บรวมรวมข้อมูลทางชาติพันธ์ทางโบราณคดี เช่น นายฮัทชินสันได้บันทึกถึงการหาแร่เหล็กของชาวลัวะบ้านบ่อหลวงเมื่อปี พ.ศ.2477 ไว้ดังนี้ "...ชาวละว้าที่บ้านบ่อหลวง ในเขตจังหวัดเชียงใหม่มีวิธีการถลุงเหล็ก โดยทั้งผู้ชายและผู้หญิงจะไปเก็บแร่ที่เหมืองเหล็กซึ่งอยู่ตามพื้นแล้วจะแบกตะกร้าที่ใส่ก้อนแร่นี้กลับบ้าน..."[153]

ส่วนในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศไทยพบลักษณะการทำเหมืองแร่เหล็กชัดเจนเป็นลักษณะของเหมืองเปิดได้แก่เหมืองแร่เหล็กเขาแก้ว อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร โดยเป็นลักษณะการขุดเหมืองตามสายแร่ในชั้นศิลาแลง มีการปรับแต่งหน้าเหมืองเป็นชั้นๆ เพื่อไต่ระดับลงไปตามความลึกของเหมือง โดยเมื่อขุดแร่แล้วจะมีการย่อยแร่และยังสร้างเตาถลุงเหล็กใกล้กับเหมืองอีก

---

[150] ปรีดี พิศภูมิวิถี และคณะ, **ฝรั่งในล้านนา** (กรุงเทพฯ: กรมศิลปากร, 2561), 156.

[151] Radomir Pleiner, **Iron in archaeology : The European bloomery smelter** (Prague: Institute of Archaeology of the Czech Academy of Science, 2000), 94 – 95.

[152] กีย์ ตาชารด์, **จดหมายเหตุการเดินทางสู่ประเทศสยามครั้งที่ 1 และจดหมายเหตุการเดินทางครั้งที่ 2 ของบาทหลวงตาชารด์** (กรุงเทพฯ: ศรีปัญญา, 2551), 293-294.

[153] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินทร, "ยุคเหล็กในประเทศไทย : พัฒนาการทางเทคโนโลยีและสังคมกับพิพิธภัณฑ์และประวัติศาสตร์ท้องถิ่น : กระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน," (เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการโครงการเมธีวิจัยอาวุโส ส.ก.ว. ณ ห้องประชุมวิชาการ ชั้น 4 ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร จัดโดย ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร. 2540, 26 -27 พฤศจิกายน 2540), 19.

ด้วย กำหนดอายุพุทธศตวรรษที่ 19-20 หรือในสมัยวัฒนธรรมสุโขทัย[154] นอกจากนี้ในภาคเหนือของประเทศไทยยังพบร่องรอยการทำเหมืองแร่เหล็กแบบเหมืองเปิดในแหล่งโบราณคดีเหมืองเหล็กโบราณแม่โถ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีลักษณะเป็นเหมืองเปิด มีการขุดเปิดหน้าดินและใช้เครื่องมือทุบย่อยก้อนแร่เหล็กเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อนำไปถลุง โดยแหล่งถลุงเหล็กแม่โถกำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 21-22[155] เป็นที่น่าสังเกตว่าการทำเหมืองเปิดดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับการทำเหมืองเปิดที่มีการสุ่มไฟบริเวณแหล่งแร่จนหินร้อนจัด แล้วจึงใช้น้ำราดทันทีจะทำให้หินแตกออกเป็นแผ่นๆ สามารถเก็บแร่ได้โดยการใช้พะเนินหินหรือเครื่องมือสกัดช่วย การทำเหมืองในลักษณะนี้เป็นที่รู้จักมาตั้งแต่สมัยสำริด โดยเป็นเหมืองเปิดที่มักตั้งอยู่บนพื้นที่ขนาดใหญ่ อาจมีการขุดตามสายแร่และพัฒนาเป็นเหมืองขุดในระยะเวลาต่อมา[156]

สำหรับการขุดบ่อเหมืองดอยเหล็กมีความน่าสนใจในเรื่องระยะเวลาการขุดซึ่งมีการกำหนดโดยชัดเจนเป็นช่วงระยะเวลาเดียวกันกับที่ปรากฏในตำนานพื้นเมืองเชียงแสน ความว่า “...คันขุดบ่อ เดือน 3 เข้า เดือน 6 ถอน (ที่) ตั้งตาแหลวมีฉันนี้...”[157] ในกรณีนี้การขุดเหล็กอาจมีความสัมพันธ์กับการจัดการไพร่หลังจากการทำนา ซึ่งส่วนหนึ่งอาจถูกเกณฑ์มาทำงานโลหกรรมประเภทเหล็กทั้งการขุดเหมือง ถลุงเหล็ก หรือทำเครื่องมือเครื่องใช้เหล็ก[158]

ลักษณะก้อนแร่เหล็กที่พบเหมืองในดอยเหล็กสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ก้อนแร่เหล็กที่มีลักษณะเกิดจากการผุพังและทับถมคล้ายศิลาแลงและอีกประเภทคือก้อนแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์หรือท้องถิ่นเรียกว่า “ตับเหล็ก” ถือเป็นของศักดิ์สิทธิ์มาแต่โบราณตามความเชื่อของชาวเมืองลอง ทั้งนี้เหล็กฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) เป็นแร่ในกลุ่มแร่ออกไซต์ (Oxide) มีรูปผลึกระบบเฮกซะโกนาล โดยเป็นแผ่นบางถึงหนามากจนเนื้อสมานแน่นชนิดที่บางมากขนาดเท่าแผ่นไมกา มีสีเทาสเปกคูลาไรต์แบบโลหะเหล็ก อาจพบในลักษณะเป็นรูปไต เนื้อร่วน รอยแตกขรุขระ ถ้าเป็นผลึกจะแข็งจะมีสีแดงเลือดหมูเข้มจนเกือบดำหรือเทาแบบเหล็ก ถ้าเนื้อสมานแน่นจะมีผิวด้านคล้ายดิน แต่ถ้าหากเป็น

---

[154] จารึก วิไลแก้ว, “แหล่งเหมืองแร่เหล็กและแหล่งถลุงเหล็กเขาแก้ว อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร” **ศิลปากร** 44, 2 (มีนาคม – เมษายน 2544): 97.

[155] สัมภาษณ์ นายยอดดนัย สุขเกษม, นักโบราณคดีปฏิบัติการ กลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร, วันที่ 20 สิงหาคม 2562.

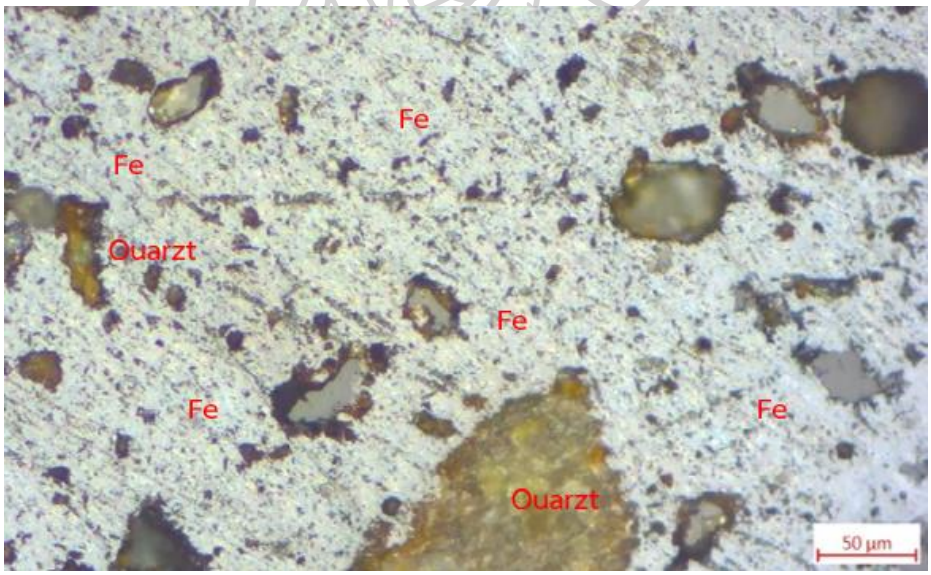
[156] Radomir Pleiner, **Iron in archaeology: The European bloomery smelter**, 95.

[157] สรัสวดี อ๋องสกุล, **พื้นเมืองเชียงแสน**, 196 – 197.

[158] วิชาญ มาแก้ว, “ระบบเศรษฐกิจและความเปลี่ยนแปลงทางสังคมในยุคทองของอาณาจักรล้านนา (ค.ศ.1355-1525),” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559), 189.

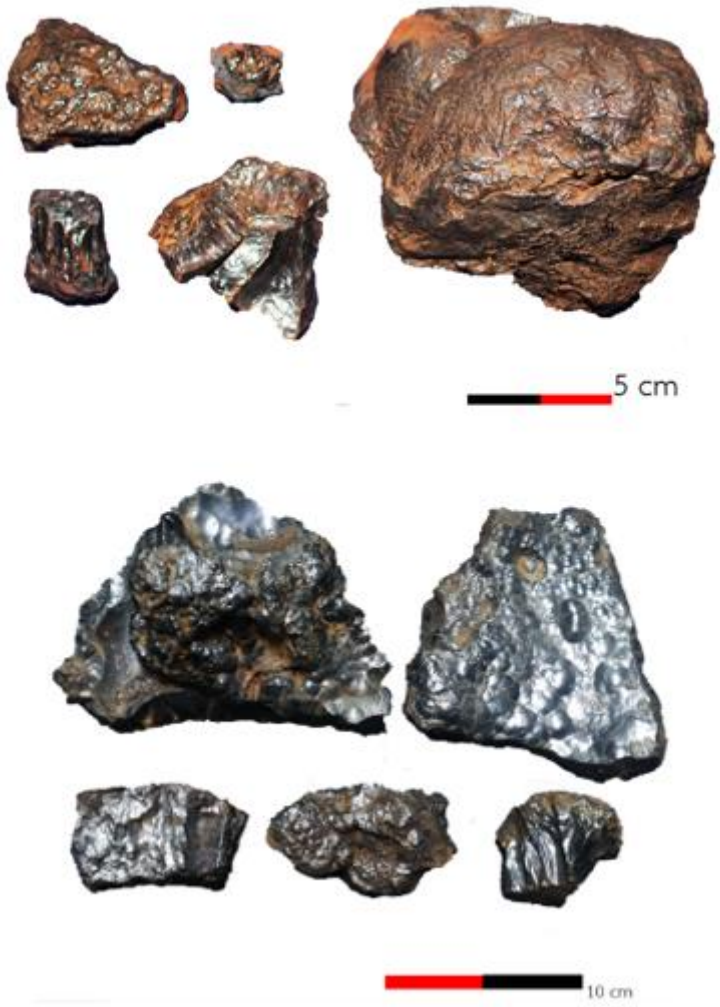
ผลึกจะวาวคล้ายโลหะ มีความแข็ง 5 ความถ่วงจำเพาะ 5.3 แร่ฮีมาไทต์มีเหล็กในก้อนแร่ประมาณร้อยละ 70% ละลายได้ช้าในกรดเกลือเข้มข้นร้อน สารละลายมีสีเหลืองปนแดง[159]

ภาพที่ 61 แร่เหล็กของแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก



ภาพที่ 62 ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างผลึกของแร่เหล็กฮีมาไทต์จากแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กเมื่อส่องในกล้องจุลทรรศน์

[159] กรมทรัพยากรธรณี, **รายงานวิชาการฉบับที่ กวท 13/2546 : คุณสมบัติแร่เหล็กชนิดต่างๆ ในประเทศไทย** (กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี, 2546), 3 – 11.



ภาพที่ 63 ลักษณะทางกายภาพของแร่เหล็กฮีมาไทต์ชนิดตับเหล็กจากแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก

เหมืองแร่เหล็กดอยเหล็กมีการใช้ต่อเนื่องมาจนถึงในช่วง พ.ศ. 2464 ชาวเมืองลองเริ่มมีวีชีวิตสมัยใหม่ เหล็กเมืองลองถูกแทนที่ด้วยเหล็กแท่งจากต่างประเทศ และบ่อเหล็กลองกลายเป็นป่าสงวนแห่งชาติ แม้ว่าในปี พ.ศ.2461 พระเจ้าน้องยาเธอกรมขุนกำแพงเพชรอัครโยธินเสนอให้ทำเหมืองแร่เหล็ก แร่ทองแดง และแร่วุลเฟรม ในแขวงเมืองลอง เนื่องจากเป็นที่ต้องการในตลาดช่วยส่งเสริมรถไฟสายเหนือให้เพิ่มรายได้แก่แผ่นดินจากการขนส่งรถไฟอีกทางหนึ่ง แต่ไม่ได้รับพระบรมราชานุญาต[160]

[160] “รายงานการเสด็จตรวจทางรถไปสายเหนือของกรมขุนกำแพงเพชร,”13 กรกฎาคม 2461, กจช.ร.6 คค.5.3/8ม., หอสมุดแห่งชาติ กรุงเทพฯ.

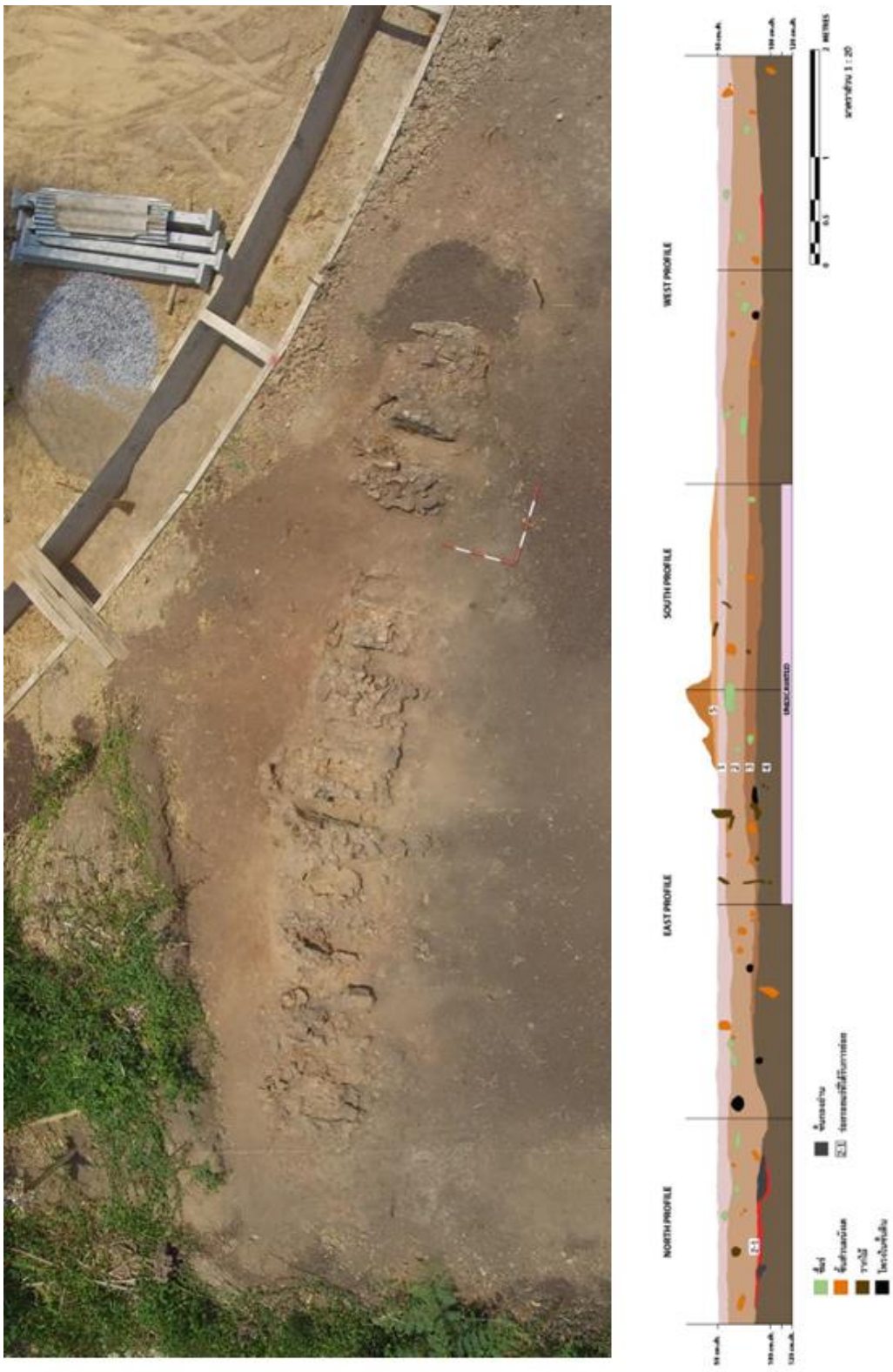
6.3 ผลการขุดค้นทางโบราณคดี

จากการขุดค้นทางโบราณดีสามารถแบ่งชั้นวัฒนธรรมที่ได้จากการจำแนกชั้นดินทางโบราณคดีออกเป็น 2 ชั้นวัฒนธรรม ดังนี้

6.3.1 ชั้นวัฒนธรรมที่ 1

เป็นชั้นดินที่ปรากฏกิจกรรมการถลุงเหล็กโดยอยู่ลึกจากพื้นดินปัจจุบันประมาณ 30 เซนติเมตร ปรากฏร่องรอยเตาถลุงและโบราณวัตถุที่เกี่ยวข้องกับการถลุงเหล็ก เช่น เศษชิ้นส่วนหุ้มปลายท่อลมดินเผาและเศษตะกรันเหล็กจำนวนมาก โดยชั้นวัฒนธรรมมีความหนาประมาณ 40 ถึง 50 เซนติเมตร ขุดค้นพบเตาถลุงโบราณจำนวน ทั้งสิ้น 9 เตา นอกจากโครงสร้างเตาถลุงเหล็กแล้วยังพบชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผาจำนวนมาก เศษแร่เหล็กขนาดต่างๆ อีกด้วย ซึ่งผู้วิจัยจะนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางโบราณโลหะวิทยาต่อไป

ภาพที่ 64 ลักษณะการกระจายตัวแหล่งเตาถลุงเหล็กทั้ง 9 เตา ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มหลังการขุดค้นทางโบราณคดี



ภาพที่ 65 แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มหลังจากดำเนินการขุดค้นขุดแต่งแล้วเสร็จ พร้อมแผนผังชั้นดิน

จากการขุดค้นทางโบราณคดีสามารถระบุโครงสร้างเตาถลุงเหล็กโบราณ ทั้ง 9 เตา ได้ดังนี้

6.3.1.1 เตาถลุงเหล็ก BNT#001 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 42 เซนติเมตร เตายาว 1.13 เมตร ความลึกจากผนังเตาด้านบนสุดลงไปยังก้นเตาอยู่ที่ 50 - 58 เซนติเมตร (ระดับบนสุดของเตาอยู่ที่ระดับความลึก 7 cm.DT ระดับล่างสุดอยู่ที่ 51 cm.DT) ผนังเตามีความหนาประมาณ 12 เซนติเมตร มีตะกรันติดอยู่ที่ผิวผนัง ด้านทิศใต่ต่อจากผนังเตาพบการก่ออิฐเสริมความมั่นคงของเตาโดยพบการวางเรียงอิฐประมาณ 5 ชั้น ระหว่างผนังเตาด้านทิศใต้ของเตาหมายเลข 1 และผนังเตาด้านทิศเหนือของเตาหมายเลข 3 อิฐมีขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร กว้าง 15 เซนติเมตร ยาวประมาณ 24 เซนติเมตร ส่วนที่เสริมความมั่นคงของผนังเตาหมายเลข 1 มีความกว้างประมาณ 45 เซนติเมตร

ภาพที่ 66 โครงสร้างเตาถลุง BNT#001

ภาพที่ 67 ลักษณะโครงสร้างผนังเตาถลุงและคราบตะกรันเกาะติดที่ผนังเตาถลุง BNT#001

ภาพที่ 68 ลักษณะโครงสร้างท้ายเตาถลุงและพื้นเตาถลุง BNT#001

ภาพที่ 69 แนวก่ออิฐเสริมความมั่นคงของผนังเตาถลุง BNT#001

6.3.1.2 เตาถลุงเหล็ก BNT#002 ห้องเตามีขนาดกว้าง 44 เซนติเมตร ตัวเตามีความยาวประมาณ 1.23 เมตร ความลึกจากผนังเตาด้านบนสุดลงไปยังก้นเตาอยู่ที่ 58 เซนติเมตร (ระดับบนสุดของเตาอยู่ที่ระดับความลึก 7 cm.DT ระดับล่างสุดอยู่ที่ 51 cm.DT) ผนังเตามีความหนาประมาณ 12 เซนติเมตร ไม่ปรากฏก้อนขี้แร่ก้นเตา ภายในเตาปรากฏคราบขี้แร่ติดกับผิวของผนังเตา และยังพบก้อนขี้แร่ขนาดใหญ่ตกค้างอยู่ในเตา บริเวณผนังเตาด้านทิศใต้มีลักษณะคล้ายกับเตาหมายเลข 1 คือมีการเสริมความมั่นคงของผนังเตาด้วยการก่ออิฐ หากแต่ด้านบนชั้นก่ออิฐมีการนำหินกรวดแม่น้ำขนาดใหญ่หลายก้อนมาวางเรียงซ้อนกัน ถัดจากชั้นเสริมความมั่นคงผนังเตาพบเตาถลุงเหล็กหมาเลข 4

ภาพที่ 70 โครงสร้างเตาถลุง BNT#002

ภาพที่ 71 โครงสร้างภายในเตาถลุง BNT#002

ภาพที่ 72 การวางแนวก้อนหินกรวดแม่น้ำ อิฐและเศษตะกรันเพื่อเสริมความมั่นคงผนังเตาถลุง BNT#002

6.3.1.3 เตาถลุงเหล็ก BNT#003 ตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของเตาถลุงหมายเลข 1 ห้องเตามีความกว้าง 44 เซนติเมตร ยาว 1.10 เมตร ผนังเตามีความหนาประมาณ 11 เซนติเมตร พบก้อนตะกรันก้นเตาบริเวณปลายด้านทิศตะวันออกของเตา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 26 เซนติเมตร เตาถูกทำลายไปมากจนปรากฏเหนือพื้นดินเดิม (Living Floor) ประมาณ 10 เซนติเมตร

ภาพที่ 73 โครงสร้างเตาถลุง BNT#003

6.3.1.4 เตาถลุงเหล็ก BNT#004 ตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของเตาถลุงหมายเลข 2 ห้องเตากว้าง 34 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร ผนังเตามีความหนา 9 เซนติเมตร

ภาพที่ 74 โครงสร้างเตาถลุง BNT#004

6.3.1.5 เตาถลุงเหล็ก BNT#005 ห้องเตามีขนาดยาว 1 เมตร กว้าง 40 เซนติเมตร ผนังเตาหนา 10 เซนติเมตร เตามีความสูง 62 เมตร ที่ข้างผนังเตาทั้งสองด้านพบการนำก้อนตะกรัน ก้อนหิน เศษผนังเตา ก่อเสริมกับดินเหนียวเพื่อค้ำยันผนังเตาภายในเตายังพบตะกรันก้นเตาค้างอยู่ภายใน ที่ปลายก้นเตาพบรูสอดปลายหุ้มท่อลมดินเผาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร

ภาพที่ 75 โครงสร้างเตาถลุง BNT#005

ภาพที่ 76 ช่องสอดปลายหุ้มท่อบมดินเผาด้านท้ายโครงสร้างเตาถลุง BNT#005

6.3.1.6 เตาถลุงเหล็ก BNT#006 พบเพียงส่วนของก้นเตาเช่นกัน มีขนาดกว้างประมาณ 37 เซนติเมตร ผนังเตาหนา 11 เซนติเมตร ก้นเตาลักษณะเป็นผืนดินที่ถูกความร้อนสูงจนมีลักษณะเป็นดินเผาแข็งสีดำ เตามีความยาวประมาณ 1 เมตร ผนังถูกทำลายทั้งสองด้าน

ภาพที่ 77 โครงสร้างเตาถลุง BNT#006

6.3.1.7 เตาถลุงเหล็ก BNT#007 มีลักษณะคล้ายคลึงกับเตาหมายเลข 1 ถึง 4 เตามีความกว้างประมาณ 70 เซนติเมตร ยาว 1 เมตร ผนังยังคงความสมบูรณ์โดยมีความหนาประมาณ 11 เซนติเมตร จากการขุดแต่งเตาพบว่าเตามีความลึกประมาณ 40 เซนติเมตร ภายในปรากฏก้นเตามีลักษณะเป็นผืนดินที่ถูกความร้อนสูงจนมีลักษณะเป็นดินเผาแข็งสีดำ ภายในห้องเตายังปรากฏก้อนขี้แร่ภายใน พื้นเตาอยู่ในระดับความลึก 33 cm.DT ภายในห้องเตามีความกว้างกว่าเตาอื่นๆ ที่ขุดค้นพบ โดยพบว่าภายในมีต้นไม้อยู่ ซึ่งรากได้ดันให้ห้องเตามีขนาดใหญ่มากยิ่งขึ้น

ภาพที่ 78 โครงสร้างเตาถลุง BNT#007

6.3.1.8 เตาถลุงเหล็ก BNT#008 พบเป็นแนวก้นเตาเพิ่มเติมมีลักษณะเป็นพื้นดินที่ถูกความร้อนสูงจนมีลักษณะเป็นดินเผาแข็งสีดำ อยู่ใต้ชั้นทับถมของขี้แร่และเศษผนังเตา ที่ระดับความลึก 48 cm.DT กำหนดเป็นเตาหมายเลข 8 อย่างไรก็ตาม เตาที่ขุดค้นพบปรากฏเพียงส่วนก้นเตาเท่านั้น ส่วนอื่นๆ ถูกทำลายไปแล้ว

ภาพที่ 79 โครงสร้างเตาถลุง BNT#008

6.3.1.8 เตาถลุงเหล็ก BNT#009 อยู่ติดกับเตาถลุงหมายเลข 7 จากการขุดแต่งทางโบราณคดีพบว่าเตามีความกว้าง 40 เซนติเมตร ผนังเตาหนา 10 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร มีการซ่อมภายในห้องเตาด้วยการฉาบดินเหนียวสำหรับเตรียมการถลุงในครั้งต่อไป ผู้วิจัยได้ขุดตรวจทางโบราณคดีลึกลงไปจากพื้นผิวในงานในดิต (Living Floor) พบว่าเตาสร้างยอุ่นบนชั้นทับถมของเศษขี้เถ้า เศษเตา เศษปลายหุ้มท่อลมดินเผาและเศษตะกรันจำนวนมากโดยชั้นดินดังกล่าวมีความหนาประมาณ 18 เซนติเมตร ถัดจากชั้นทับถมดังกล่างลงไปเป็นชั้นดินน้ำท่วม ไม่ปรากฏร่องรอยกิจกรรมการถลุงอีกแล้ว

ภาพที่ 80 โครงสร้างผนังเตาถลุง BNT#009 มีการนำเอาปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ชำรุดแล้วมาก่อเสริมความมั่นคงให้กับผนังเตา

ภาพที่ 81 โครงสร้างเตาถลุง BNT#009

6.3.2 ชั้นวัฒนธรรมที่ 2

เป็นชั้นดินปัจจุบัน ที่ถูกรบกวนโดยการสร้างบ้านพักข้าราชการของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านนาตุ้ม และแปลงเกษตรของราษฎร ชั้นดินมีความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

จากการดำเนินงานภาคสนามทางโบราณคดีข้างต้นทำให้ทราบว่าแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นแหล่งถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณที่มีการก่อสร้างเตาในลักษณะการผลิตเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีอายุสมัยตรงกับที่ระบุไว้ในเอกสารทางประวัติศาสตร์ราวพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างและส่วนประกอบของเตาถลุงเหล็กครบทุกส่วนรวมทั้งเศษก้อนแร่เหล็กอันเป็นวัตถุดิบในการถลุง ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำข้อมูลและหลักฐานทางโบราณไปวิเคราะห์เชิงกายภาพและเคมีเพื่อสร้างภาพกระบวนการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในลักษณะห่งดซกระบวนการผลิตต่อไปในบทที่ 7 และ 8

บทที่ 7
ผลการศึกษาด้านโบราณโลหะวิทยาและห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณ

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำหลักฐานและข้อมูลทางโบราณคดีที่ได้จากการดำเนินงานภาคสนามในบทที่ 6 มาวิเคราะห์ทั้งทางด้านกายภาพ จุลภาคและเคมี เพื่อสังเคราะห์และสร้างภาพกระบวนการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในลักษณะของห่วงโซกระบวนการผลิต

7.1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเตาถลุงเหล็กจากข้อมูลการขุดค้นทางโบราณคดี

จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่าเตาถลุงเหล็กทั้งหมดที่ขุดค้นพบก่อด้วยดินเหนียวนและมีขนาดใกล้เคียงกัน สรุปได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพเชิงขนาดของโครงสร้างเตาถลุงเหล็กทั้ง 9 เตาของแหล่งโบราณคดีบ้านนนาตุ้ม

หมายเลขเตา	ความยาว (เมตร)	ความกว้าง (เซนติเมตร)	ความหนาของผนังเตา (เซนติเมตร)	ความสูง (เซนติเมตร)	รูปทรง
1	0.94	31	13	58	วงรี
2	1.1	34	10	58	วงรี
3	0.64	34	10	12	วงรี
4	1.1	24	9	13	วงรี
5	1	30	10	62	วงรี
6	1.5	27	11	22	วงรี
7	1.1	70 (35)**	12	40	วงรี
8	0.08	ระบุไม่ได้	10	ระบุไม่ได้	ระบุไม่ได้
9	0.88	30	10	44	วงรี
ค่าเฉลี่ย* **	**10**	**30.625**	**10.5**		

* เป็นความสูงของเตาที่ยังคงปรากฏให้เห็นในปัจจุบัน

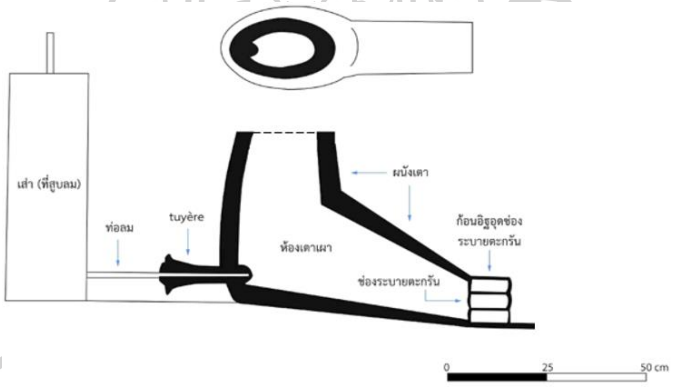
** เตาถูกรากไม้แทรกจนเตาแผ่กว้างออกอย่างมาก เดิมสันนิษฐานว่ามีขนาดความกว้าง 30 – 35 เซนติเมตร

*** ไม่นำเตาหมายเลข 8 มาคิดค่าเฉลี่ย

เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยแล้วเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีลักษณะรูปทรงวงรีมีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 30 ถึง 31 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1 เมตร ผนังมีความหนาประมาณ 10 ถึง 11 เซนติเมตร ส่วนความสูงนั้นไม่สามารถทราบข้อเท็จจริงได้ จึงคาดคะเนโดยให้มีความสูงเป็น 2 เท่า ของความกว้าง โดยอาจมีความสูงไม่ต่ำกว่า 70 เซนติเมตร สัณฐานของเตาถลุง

เมื่อมองจากมุมบนจะมีลักษณะเป็นรูปวงรี โครงสร้างแต่ละเตาก่อด้วยดินเผาเรียงตัวในแนวเดียวกัน (ทิศเหนือ – ใต้) เสริมความมั่นคงให้กับผนังเตาแต่ละเตาด้วยการเติมช่องว่างระหว่าเตาซึ่งมีระยะห่างประมาณ 0.5 – 1 เมตร ด้วยการก่อแนวอิฐ ปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ชำรุด แนวหิน หรือใช้ก้อนตะกรันผสมดินเหนียวก่อเติมเต็มช่องว่างระหว่างเตาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ผนังเตาทุกเตา

สำหรับรูปทรงของเตาถลุง อาจมีลักษณะเป็นเตาถลุงเหล็กทรงสูง (Sharf Furnace) มีสัณฐานเป็นรูปวงรี พื้นเตามีความลาดเอียงประมาณ 15 องศา มีความหนาประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร ที่ปลายก้นเตาด้านทิศตะวันออกของเตาทุกเตามีการเจาะช่องวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 – 15 เซนติเมตร สำหรับเป็นช่องสอดใส่ช่องปลายหุ้มท่อลมดินเผา ปลายปากเตาด้านทิศตะวันตกเป็นช่องระบายตะกรันออกมีขนาดความกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่ามีการใช้ก้อนอิฐอุดปากเตาในขณะที่ทำการถลุง โดยพบก้อนอิฐบริเวณด้านหน้าเตาจำนวนหนึ่ง



ภาพที่ 82 ภาพลายเส้นสันนิษฐานโครงสร้างเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (แสดงเฉพาะส่วนโครงสร้างผนังเตา ไม่แสดงพื้นที่ค้ายันของเตา)

7.2 การวิเคราะห์ปลายหุ้มท่อลมดินเผาของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

นอกจากเตาถลุงแล้วองค์ประกอบสำคัญของเตาถลุงเหล็กคือปลายหุ้มท่อลมดินเผาซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างระบบสูบลมและห้องเตาถลุง สามารถจำแนกชิ้นส่วนปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพเชิงขนาดของปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่พบในแหล่งโบราณคดีบ้านนนาตุ้ม

รหัส	ยาว	ส่วนกว้างมากที่สุด	ส่วนกว้างน้อยที่สุด	ศ.ก.นอก	ศ.ก.ใน	รูปแบบสัณฐาน	รูปแบบการตกแต่งผิวนอก	รูปแบบปลายท่อ	ความยาวของคราบตะกรัน
F09/1	21	8.2	6.5	8.2	3.2	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	7
F09/2	21	9	7	9	2	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	10
F09/3	20	9	7	9	2	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	9
F09/4	19	8	7	8	2.2	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	9.3
F09/5	23	9	8	9	2.5	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	7.5
F09/6	27	9	8.5	9	2.5	A1	เซาะร่อง	B1	7.5
F01/1	23	9	8	9	3.3	A1	เซาะร่อง	B1	5
S1E1/1	23	9	8.5	9	2	A1	เซาะร่อง	B1	9
N5W1/2	23	12	10	12	2.6	A1	เซาะร่อง	B1	5
N5W2/2	23	10.1	9.3	10.1	2.6	A1	เซาะร่อง	B2	3.5
N6W1/1	13	9.5	8.5	9.5	2.2	A1	เซาะร่อง	B1	3.6
N3E4/1	26	8.5	8	8.5	1.5	A1	เซาะร่อง	B1	9
N5E4/1	16.5	6.5	6	6.5	2	A2	เรียบ	ระบุไม่ได้	5
Pit03/2	25	7.5	6.5	7.5	2	A2	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	10
N3E2/1	20	7.5	7	7.5	2	A1	เซาะร่อง	B1	11.5
F11/1	16	8.5	7.5	8.5	2.4	A1	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	7
F11/2	21	7.5	7	7.5	2	A2	เซาะร่อง	ระบุไม่ได้	12
ค่าเฉลี่ย		**8.69**	**7.66**	**8.69**	**2.16**				

จากตารางการสุ่มจำแนกรูปแบบปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ขุดค้นพบข้างต้น พบว่ามี 3 ลักษณะ ดังนี้

1. ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1) มีการตกแต่งด้วยการเซาะร่องที่ผิวด้านนอก ปลายท่อต่อกับท่อลมมีลักษณะเรียบ ส่วนใหญ่ปลายหุ้มท่อลมดินเผาลักษณะนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8.5 ถึง 12 เซนติเมตร รูช่องลมด้านในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ถึง 3.3 เซนติเมตร ทำจากดินเหนียวปนทรายไม่มีการผสมกรวดหินหรือแกลบข้าว

ภาพที่ 83 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1)

2. ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1) มีการตกแต่งด้วยการเซาะร่องที่ผิวด้านนอก ปลายท่อต่อกับท่อลมมีลักษณะการตกแต่งด้วยลายขูดขีด (B2) ส่วนใหญ่ปลายหุ้มท่อลมดินเผาลักษณะนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ทำจากดินเหนียวปนทรายไม่มีการผสมกรวดหินหรือแกลบข้าว

ภาพที่ 84 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A1) มีการตกแต่งด้วยการเซาะร่องที่ผิวด้านนอกปลายท่อต่อกับท่อลมมีลักษณะการตกแต่งด้วยลายขูดขีด (B2)

3. ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A2) จะมีขนาดเรียวเล็กกว่าสองแบบแรก มีการตกแต่งด้วยการเซาะร่องที่ผิวด้านนอกหรืออีกลักษณะหนึ่งจะเป็นแบบเรียบ ปลายหุ้มท่อลมดินเผาลักษณะนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6.5 ถึง 7.5 เซนติเมตร รูช่องลมด้านในมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำจากดินเหนียวปนทรายไม่มีการผสมกรวดหินหรือแกลบข้าว

ภาพที่ 85 ปลายหุ้มท่อลมดินเผาแบบตรง (A2)

7.3 ผลการวิเคราะห์ด้านโบราณโลหะวิทยาในห้องปฏิบัติการ

เพื่อสร้างภาพเบื้องต้นของเทคโนโลยีการถลุงเหล็กที่แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม การวิเคราะห์จึงเน้นที่ตัวอย่างตะกรันเหล็ก จำนวนทั้งสิ้น 105 ตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ใน 2 ประเด็น คือลักษณะทางกายภาพระดับมหาภาคและจุลภาค (Macrostructure and Microstructure Analysis) และองค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition Analysis) โดยมีผลการศึกษาเบื้องต้น ดังนี้

7.3.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างตะกรัน

7.3.1.1 ตะกรันก้นเตา (Slag Cake) มีลักษณะเป็นก้อนตะกรันที่มักมีก้อนถ่านปะปนร่วมด้วย ผิวด้านบนมักแบนราบและขรุระ ผิวด้านข้างของตะกรันมักโค้งเว้าซึ่งเป็นการก่อตัวจากการสัมผัสกับผนังของเตาถลุง ในบางก้อนอาจปรากฏจุดสีส้มซึ่งเป็นสนิมอยู่ด้านบนก้อนตะกรัน ซึ่งพื้นผิวดังกล่าวแต่เดิมเป็นพื้นผิวที่มีการสัมผัสหรืออยู่ติดกับก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ในบางกรณีผิวใต้ตะกรันมีการก่อตัวโดยไม่สัมผัสกับก้นเตาซึ่งในกรณีนี้จะเกิดก้อนตระกรันทีมีลักษณะไหลย้อย (Slag Flow) ต่อออกจากผิวด้านใต้ของตะกรันได้

7.3.1.2 ตะกรันหยดน้ำ (Slag Prill) เป็นตะกรันที่มีลักษณะคล้ายหยดน้ำหรือการไหลของน้ำตาเทียน เป็นตะกรันที่เกิดการเย็นตัวอย่างฉับพลัน มีลักษณะเป็นแท่งยาวปรากฏร่องรอยการไหลตัวของตะกรันเหลวในแนวดิ่ง มีสีเทา สีเขียวอมเทาหรือสีดำ

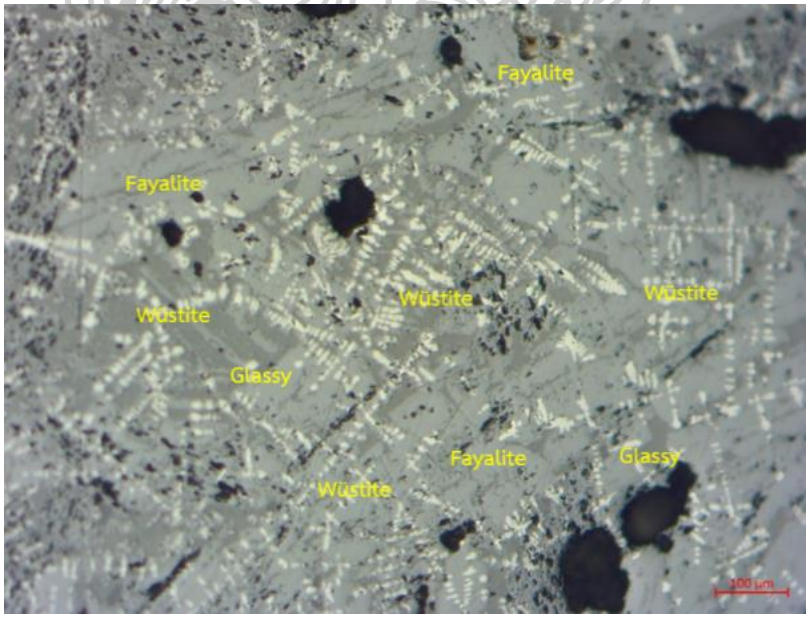
7.3.1.3 ตะกรันแผ่น (Slag Tap) เป็นตะกรันเหลวที่ถูกระบายออกทางช่องระบายตะกรันด้านหน้าเตาถลุงเหล็ก อาจมีการก่อตัวด้านนอกหรือด้านในเตาถลุง ด้านบนของก้อนตะกรันจะปรากฏริ้วรอยคล้ายน้ำไหลแสดงการไหลหนืด (ไหลอย่างช้าๆ) ของตะกรันหลอมเหลว ส่วนด้านใต้

มักมีเศษทราย กรวด หรืออินทรียวัตถุปะปน ซึ่งเกิดจากการไหลหนีดของตะกรันหลอมเหลวที่ไหลออกนอกตัวเตา ภายในเนื้อตะกรันมักมีฟองอากาศขนาดใหญ่ เนื้อตะกรันมักมีสีดำ สีเทาอมดำ หรือสีเทาอมแดง

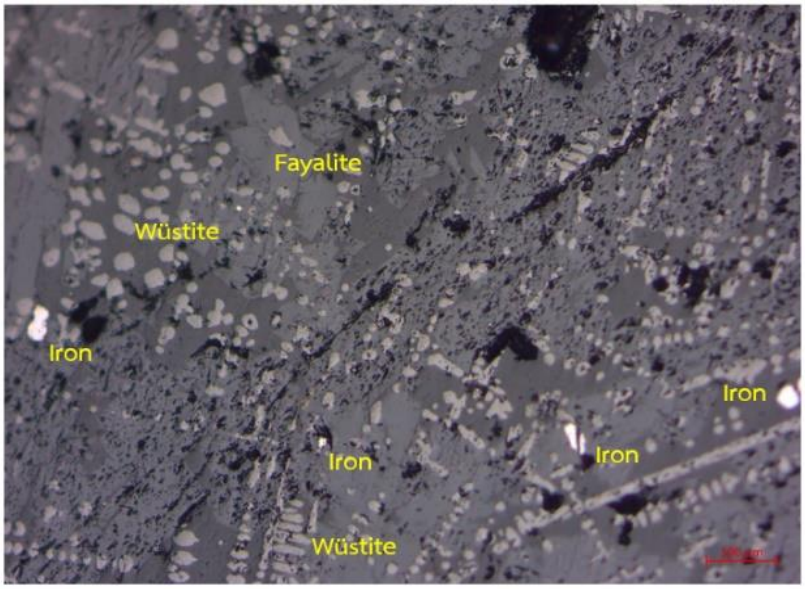
7.3.2 ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของตะกรัน

ผู้เขียนได้สุ่มเลือกตัวอย่างตะกรันจากทุกประเภท จำนวน 20 ชิ้นมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค โดยนำไปขึ้นเรือนแบบเย็นในเรซิ่น มีการขัดหยาบและละเอียดแล้วจึงส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ รุ่น “Zeiss Axio Lab.A1” และ บันทึกภาพด้วยกล้อง “Axiocam ERc 5s” เพื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้างหรือเฟส (Phase) ที่ปรากฏในเนื้อตะกรัน การระบุเฟสในที่นี้ใช้การเปรียบเทียบกับลักษณะสัณฐานของเฟสในรายงานผลการศึกษาตะกรันจากแหล่งโบราณคดีอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวอย่างตะกรันพบว่ามีความคล้ายคลึงกันทั้งหมด โดยพบเฟสทั้งหมด 4 เฟส คือ ฟายาไลต์ (Fayalite) ที่มีลักษณะเป็นผลึกแท่งยาวขนาดใหญ่ (Elogated) วูซไทต์ (Wüstite) ที่มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ “Rounded Dendrites” เฟสที่คล้ายแก้ว (Glassy Matrix) และโลหะเหล็ก (Iron) โดยผลึกฟายาไลต์ที่ใหญ่ สะท้อนให้เห็นว่าตะกรันที่อยู่ในเตาอาจถูกปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ส่งผลให้เฟสของฟายาไลต์ (Fayalite) ขยายใหญ่ ส่วนโลหะเหล็กจะมีลักษณะกลม สะท้อนแสง เป็นเหล็กที่ตกค้างที่บางส่วนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันกับกลุ่มเหล็กก้อนหลักได้ในขณะทำการถลุง จึงคงหลงเหลือค้างอยู่ในเนื้อตะกรันซึ่งมักปรากฏเป็นจำนวนน้อย



ภาพที่ 86 ลักษณะเฟสแบบต่างๆ ที่ปรากฏในโครงสร้างผลึกตะกรันเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 1



ภาพที่ 87 ลักษณะเฟสแบบต่างๆ ที่ปรากฏในโครงสร้างผลึกตะกรันเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม 2

7.3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกรัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจากตัวอย่างตะกรันเหล็กจำนวน 105 ชิ้น ปฏิบัติการด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ แบบมือถือ (hHandheld x-ray Fluorescence: HHXRF) ยี่ห้อ “Olympus” รุ่น “Delta Professional” ซึ่งใช้ “Rh anode x-ray tube” เป็นแหล่งกระตุ้นพลังงานและหัววัดรังสีเอ็กซ์ (Detector) เป็นแบบ “SDD” (Silicon drift Detector) การวิเคราะห์ใช้โหมด “Geochem” ตั้งค่าพลังงานที่ 40 kV บีมที่ใช้วิเคราะห์มีขนาด 10 และ 3 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่วิเคราะห์และใช้เวลาในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างนาน 90 วินาที โดยยิงรังสีเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้ทั้งสามค่ามาหาค่าเฉลี่ยด้วยเครื่องวิเคราะห์รับการตรวจเทียบ (Calibration) ค่าปริมาณในผลการดำเนินงานนี้เลือกแสดงเฉพาะออกไซด์หลักบางตัวที่มีนัยยะสำคัญต่อกระบวนการถลุงเหล็ก ประกอบด้วย แมกนิเซียมออกไซต์ (MgO) อะลูมิเนียมออกไซต์ (Al_2O_3) ซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิก้า (SiO_2) โพแทสเซียมออกไซต์ (K_2O) แคลเซียมออกไซต์ (CaO) แมงกานีสออกไซต์ (MnO) และเหล็กออกไซด์ (FeO) โดยผลรวมทั้งหมดจะคำนวณให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 (Normalisation) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างได้ และเป็นการวิเคราะห์เชิงกึ่งปริมาณ (semi-quantitative)

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตะกรันเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มพบว่ามีปริมาณเหล็กออกไซด์ (FeO) มีปริมาณมากที่สุด อยู่ระหว่าง 63 – 86 wt% ซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิก้า (SiO_2) อยู่ระหว่าง 3 – 20 wt% อะลูมิเนียมออกไซต์ (Al_2O_3) อยู่ระหว่าง 1 – 8 wt% แมกนิเซียมออกไซต์ (MgO) อยู่ระหว่าง 2 – 5 wt% แคลเซียมออกไซต์ (CaO) อยู่ระหว่าง 0.5 – 6 wt% แมงกานีสออกไซต์ (MnO) อยู่ระหว่าง 1 - 4 wt% และ โพแทสเซียมออกไซต์ (K_2O) อยู่ระหว่าง 0.1 – 2 wt% โดยมีค่าเฉลี่ยของออกไซต์ต่างๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (จำนวน 105 ชิ้น)

N=105	องค์ประกอบทางเคมี								
	wt%							F- Value	RII
	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	FeO		
Min	2.065170801	1.905713937	3.822154511	0.154539572	0.56728337	0.06811018	63.72841862	1.92	0.14
Max	5.189327601	8.204106992	20.66761298	2.648927997	6.964012135	4.273968697	86.15302232	2.51	0.54
Average	3.234229896	5.148998385	10.93011947	0.890793322	2.011909872	0.917158375	76.86679068	2.12	0.33
SD	0.60	1.22	3.10	0.41	1.17	0.61	4.52		

ผลองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างตะกรัน สอดคล้องกับลักษณะของเฟสที่ปรากฏจากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของตัวอย่างตะกรันที่มีเฟสฟายาไลต์และวูสไทต์เป็นเฟสหลักและตัวอย่างวิเคราะห์มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความคล้ายคลึงกันระหว่างตัวอย่างทั้งหมด โดยสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่า “SD” (Standard Deviation) ที่ค่อนข้างต่ำ จึงไม่ปรากฏนัยยะที่แสดงความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างประเภทของตะกรันทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างที่มีเฟสฟายาไลต์และวูสไทต์ร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีของการเกิดตะกรันเหล็กที่พบแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีความสัมพันธ์กับเทคนิคการถลุงเหล็กด้วยวิธีทางตรง (Direct Process) ซึ่งเป็นการถลุงได้ผลผลิตเป็นก้อนเหล็กอยู่ในรูปของแข็งหรือกึ่งของแข็งปะปนตะกรัน (Bloom) มีปริมาณคาร์บอนไม่สูงและไม่เท่ากันทั่วทั้งก้อน ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตีเหล็กขั้นต้น (Primary Smithing) เพื่อกำจัดตะกรันออก เพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับเหล็กและตีอัดเหล็กให้รวมเป็นมวลเหล็ก ก่อนการนำไปใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่อไป โดยวิธีดังกล่าวพบหลักฐานทางโบราณคดีตั้งแต่สมัยเหล็กแรกเริ่มของมนุษย์ในเขตโลกเก่า[161] รวมถึงประเทศไทยที่รู้จักการนำสินแร่เหล็กมาเปลี่ยนเป็นมวลเหล็กเมื่อประมาณ 2,500 ปีมาแล้ว[162]

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมียังสะท้อนให้เห็นข้อสังเกตเบื้องต้นบางประการเกี่ยวกับเทคนิคการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ดังนี้

- อุณหภูมิในการถลุงเหล็ก

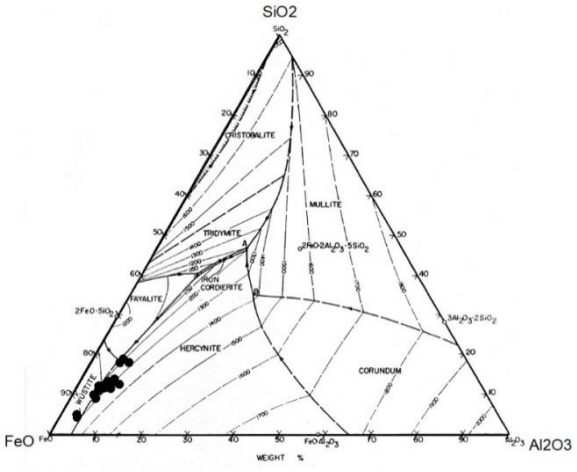
อุณหภูมิที่ใช้ในการถลุงเหล็กสามารถคาดคะเน (Estimate) โดยใช้ข้อมูลปริมาณออกไซต์ของตะกรันจำนวน 3 ชนิด คือ เหล็กออกไซด์ (FeO) ซิลิคอนไดออกไซต์หรือซิลิก้า (SiO) และอะลูมิเนียมออกไซต์หรืออะลูมิน่า (Al_2O_3) วาง (plot) ลงบนแผนภูมิสุมดลของเฟส “FeO-SIO_2-Al_2O_3”

---

[161] Tylecote, R.F, **A history of metallurgy** (London : Institute of Materials,1992), 47.

[162] สุรพล นาถะพินธุ, **รากเหง้า บรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2550), 174.

(Ternary Phase Diagram) ที่ปรากฏข้อมูลอุณหภูมิโดยประมาณของตะกรันที่มีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในจุดหลอมเหลว



ภาพที่ 88 จุด Plot อุณหภูมิเตาถุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในแผนผังสมดุลของเฟส “FeO-SIO2-Al2O3” (Ternary Phase Diagram)

จากผลการคาดคะเนข้างต้นทำให้ทราบว่าในระบบการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีอุณหภูมิในการถลุงเหล็กทางตรงประมาณ 1,175 – 1,200 องศาเซลเซียส (Ineke Joosten 2004: 39) ก่อให้เกิดก้อนตะกรันเหล็กแบบฟายาไลต์ (Fayalite) หรือตะกรันแบบไหลที่มีความหนืดต่ำสามารถเคลื่อนตัวได้อิสระภายในเตาถลุง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการแยกโลหะเหล็กออกจากตะกรันและมลทินต่างๆ โดยตะกรันที่มีความหนืดต่ำสามารถเคลื่อนย้ายเหล็กออกไซต์ไปรวมตัวกันเป็นก้อนเหล็ก (โดยปกติมักรวมตัวอยู่บริเวณที่มีลมอัดเข้ามาในระบบเตาถลุง หรือบริเวณปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Tuyère)) ได้ดีมากกว่าตะกรันที่มีความหนืดสูงหรือตะกรันที่มีการหลอมละลายของซิลิกาจากผนังเตาถลุงสูงและตะกรันเหล็กแบบหนืดต่ำมักจะไม่หลงเหลือเหล็ก (Iron) หรือหลงเหลือน้อยมากในเนื้อตะกรันเมื่อส่องตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

- ข้อสังเกตเรื่องสินแร่เหล็ก

จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบเศษก้อนแร่เหล็ก กระจายตัวอยู่ทางด้านท้ายเตาถลุงเหล็ก โดยก้อนแร่เหล็กที่พบมีเนื้อสีแดงอมน้ำตาล ขนาดระหว่าง 1 - 3 เซนติเมตร บางก้อนมีสภาพผุกร่อนและมีคราบสีเหลือง เมื่อนำแม่เหล็กมาทดสอบการเหนี่ยวนำแม่เหล็กพบว่าตัวอย่างแร่ไม่มีปฏิกิริยากับแม่เหล็กจึงเป็นไปได้สูงว่าเป็นแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ (Hematite) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่เหล็กพบว่ามีความใกล้เคียงกัน กล่าวคือ เป็นสินแร่เหล็กที่มีคุณภาพสูงโดยมีปริมาณเหล็กออกไซด์เฉลี่ย 89 wt%

ตารางที่ 5 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของสินแร่เหล็กที่ขุดค้นในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม จำนวน 10 ตัวอย่าง

ID	POSITION	องค์ประกอบทางเคมี							
		wt%							
		MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	FeO	รวม
080620_#66	บ้านนาตุ้ม	4.2393128	3.915975383	3.664490726	0.430637538	0.103827237	0.165021837	87.48073448	100
080620_#67	บ้านนาตุ้ม	3.799093458	2.465242463	3.608543316	0	0.159585744	0.051686726	89.91584829	100
080620_#68	บ้านนาตุ้ม	3.795689702	2.737276228	2.725110556	0.024574658	0.115938855	0.05231239	90.54909761	100
080620_#69	บ้านนาตุ้ม	3.490331428	2.747456834	4.386497606	0.014385825	0.115794103	0.053416221	89.19211798	100
080620_#71	บ้านนาตุ้ม	4.657844023	2.228179838	1.837063164	0	0.1278833	0.054400774	91.0946289	100
080620_#78	บ้านนาตุ้ม	4.192755541	4.493032463	4.971251265	0.166042017	0.110435179	0.031584684	86.03489885	100
080620_#73	บ้านนาตุ้ม	3.737897669	3.181944535	3.536808238	0.09297429	0.099834988	0.055003874	89.29553641	100
080620_#75	บ้านนาตุ้ม	3.819063354	3.24326611	3.313771895	0.050411636	0.119272286	0.123385124	89.33082959	100
080620_#76	บ้านนาตุ้ม	4.108336135	2.318111451	7.080568144	0	0.134037335	0.095363892	86.26358304	100
080620_#77	บ้านนาตุ้ม	4.318736863	2.476232278	1.865975982	0	0.098462506	0.065954623	91.17463775	100
ค่าเฉลี่ย		**4.015906097**	**2.980671758**	**3.699008089**	**0.077902596**	**0.118507154**	**0.074813014**	**89.03319129**	**100**

นอกจากนี้ข้อมูลทางธรณีวิทยาบ่งชี้ว่ามีแหล่งสินแร่เหล็กหรือดอยเหล็กซึ่งอยู่ห่างออกไปทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มประมาณ 1 กิโลเมตร โดยเป็นแหล่งทรัพยากรสินแร่เหล็กที่มีคุณภาพสูงจากการสำรวจทางธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีเมื่อ ปี พ.ศ. 2518 พบว่าสินแร่เหล็กที่พบในดอยเหล็กมีค่าเหล็กออกไซต์เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 70[163] และเมื่อ

[163] United Department of State and Thai Royal Department of Mines, “Geologic Reconnaissance of The Mineral Deposit of Thailand,” in **Geological Investigation Bulletin** 984, (1957), 75-76.

ตารางที่ 6 แสดงค่าองค์ประกอบทางเคมี (Wt%) ของสินแร่เหล็กที่พบในแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก จำนวน 4 ตัวอย่าง

ID	POSITION	องค์ประกอบทางเคมี							
		wt%							
		MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	FeO	รวม
080620_#54	ดอยเหล็ก	4.245524656	2.187088459	1.777740352	0.009941311	0.154031845	0.001871306	91.62380207	100
080620_#80	ดอยเหล็ก	4.721258753	2.851453306	9.430831222	0	0.164309154	0.326982227	82.50516534	100
080620_#56	ดอยเหล็ก	4.887511061	2.004231155	1.488522553	0	0.121660347	0.077004671	91.42107021	100
080620_#70	ดอยเหล็ก	2.803496463	2.815477217	2.216439512	0.093330075	0.091892384	0.110941783	91.86842257	100
ค่าเฉลี่ย		4.164447733	2.464562534	3.72838341	0.025817846	0.132973432	0.129199997	89.35461505	100

เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพสินแร่เหล็กขององค์การกำหนดมาตรฐานสากล (International Organization for Standard) มาตรฐานที่ “ISO/R1248-1970.E” ซึ่งจัดแบ่งตามกลุ่มสี โดยสินแร่เหล็กที่ได้จากดอยเหล็กถือเป็นสินแร่เหล็กสีแดง (Red Iron Ore) เกรด “B” ที่มีเหล็กออกไซต์ในก้อนแร่เฉลี่ยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 - 90[164]

แหล่งแร่เหล็กดอยเหล็กมีการกล่าวถึงกิจกรรมการทำเหมืองตั้งแต่พุทธศตวรรษที่ 23 เป็นอย่างน้อย[165] สอดคล้องกับการสำรวจทางโบราณคดีที่พบร่องรอยการทำเหมืองบนดอยเหล็ก จึงมีความเป็นไปได้ว่าช่างถลุงเหล็กจากแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มจะใช้ประโยชน์จากสินแร่เหล็กของดอยเหล็กมาถลุง

[164] พจนีย์ ไพศาลตันติวงศ์. **คุณภาพของแร่เหล็กจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย** (กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี, 2546), 21.

[165] ภูเดช แสนสา, 2554, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์, 2554), 119-120.

ภาพที่ 89 ลักษณะสินแร่เหล็กที่ถูกย่อยแล้วจากการขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

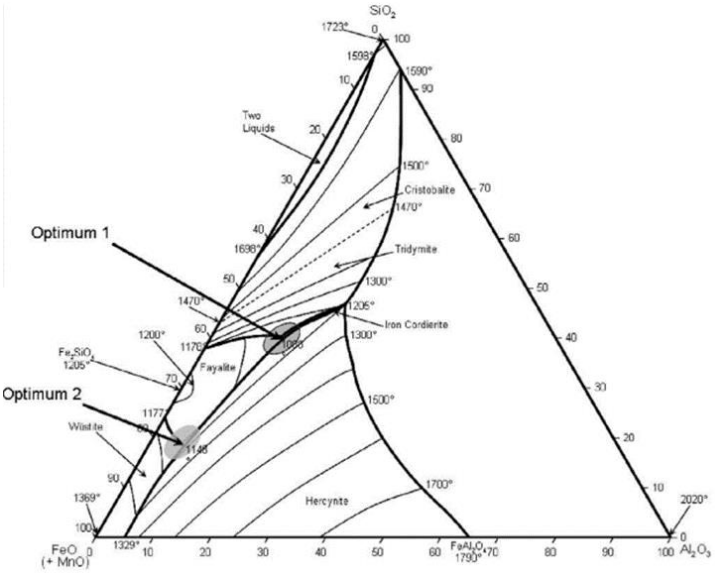
- ประสิทธิภาพในการถลุง

ประสิทธิภาพในการถลุงสามารถวิเคราะห์ได้จากการตรวจสอบและการประเมินความสามารถในการผลิตโลหะเหล็กจากค่า RII หรือ “Reducible Iron Index” ซึ่งเป็นค่ากลางที่มาจากสัดส่วนของเหล็กออกไซด์อิสระที่หลงเหลืออยู่ในตะกรัน มีสูตรคำนวณ คือ $\frac{2.39\times SiO2}{Feo+MnO}$ โดยผลการคำนวณค่า RII ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีค่าเท่ากับ 0.33 หรือน้อยกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าการถลุงไม่สามารถเปลี่ยนเหล็กออกไซด์อิสระ (Free Iron oxide) ให้กลายเป็นโลหะเหล็กได้ทั้งหมด ทำให้คงเหลืออยู่ในตะกรันมากถึง 60 – 90 %wt ดังนั้นจึงอาจสะท้อนให้เห็นว่า การถลุงเหล็กที่แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มอาจไม่เข้มงวดหรือไม่จำเป็นที่ช่างจะต้องปรับสภาวะภายในเตาถลุง เช่น อุณหภูมิหรือปริมาณลมที่สูบอัดเข้าไปในระบบถลุง เป็นต้น เพื่อเพิ่มผลผลิตจากการถลุงให้ได้เหล็กในปริมาณมาก

นอกจากนี้เมื่อสังเกตตำแหน่งของตะกรันในแผนภูมิเฟส “FeO-SiO2-Al2O3” (Ternary Phase Diagram) จะพบว่าอุณภูมิของตะกรันของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเกาะกลุ่มในพื้นที่ๆ เรียกว่าพื้นที่ “Optimum 2” ซึ่งมีข้อสังเกตว่าพฤติกรรมของการถลุงในพื้นที่นี้จะใช้ปริมาณเชื้อเพลิงน้อยในอัตราส่วนระหว่างแร่และเชื้อเพลิงที่ 1 : 2 หรือ 1 : 1.2 และไม่มีความเข้มงวดในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาเพื่อให้ตะกรันหลอมเหลวหรืออีกแง่หนึ่งมีความยืดหยุ่นในการปรับลดอุณหภูมิในห้องถลุง และปริมาณของโลหะเหล็กที่ได้จากการถลุงจะมีปริมาณที่น้อยกว่าการถลุงในพื้นที่ “Optimum 1” ที่จะใช้เชื้อเพลิงมากเพื่อสร้างสภาวะภายในเตาให้มีสภาวะที่เอื้อต่อการถลุงสูง สามารถเพิ่มผลผลิตที่เป็นโลหะเหล็กในปริมาณมากได้[166] ซึ่งการถลุงในช่วงอุณหภูมิ “Optimum 1” อาจมีแรง

[166] Michael Charlton, “Explaining the evolution of ironmaking recipes – An example from northwest Wales,”in **Journal of Anthropological Archaeology** 29 (2010): 357.

กดดันให้ช่างถลุงเหล็กต้องหาเชื้อเพลิงเพิ่มมากยิ่งขึ้นและต้องการแรงงานอย่างมากในการสูบลมเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องถลุงให้คงที่ตลอดเวลา เป็นต้น



ภาพที่ 90 จุด Plot อุณหภูมิ ในพื้นที่ “optimum 2” ของเตาถุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มในแผนผังสมดุลเฟสของโลหะผสม ทั้ง 3 โลหะ (เหล็กออกไซด์ ซิลิคอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์) (Ternary Phase Diagram)

ที่มา Michael Charlton, “Explaining the evolution of ironmaking recipes – An example from northwest Wales,” **Journal of Anthropological Archaeology** 29 (2010): 357.

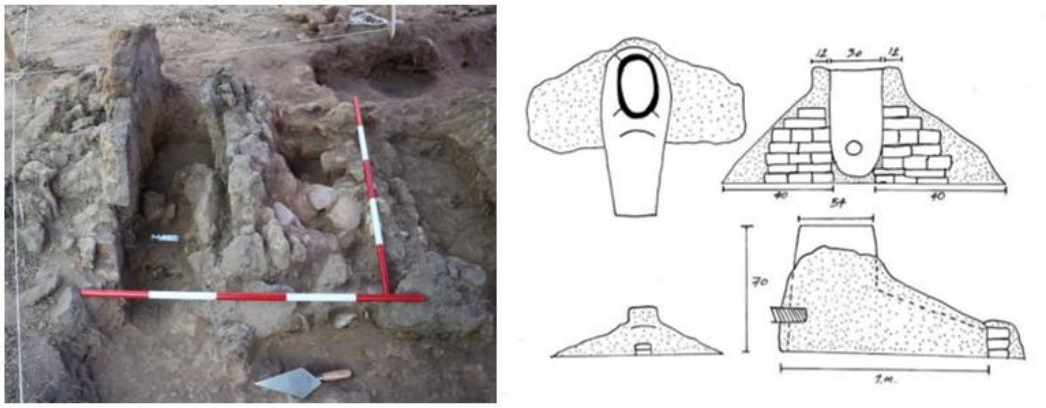
7.4 ผลการทดลองทางโบราณคดี

การทดลองทางโบราณคดีมีขั้นตอนและกระบวนงานโดยสังเขป ดังนี้

7.4.1 การออกแบบเตาถลุงเหล็กบนพื้นฐานของหลักฐานทางโบราณคดี

จากการรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างเตาถลุงเหล็กจากผลการดำเนินงานทางโบราณคดีของกรมศิลปากรในปี พ.ศ.2561 และพ.ศ.2562 จากผลการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่าเตาถลุงเหล็กทั้งหมดที่ขุดค้นพบก่อด้วยดินและมีขนาดเกือบจะเท่ากันทุกเตา เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยแล้วเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีลักษณะเป็นรูปทรงวงรี มีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 29.75 เซนติเมตร (หรือ 30 เซนติเมตร) ยาวไม่ต่ำกว่า 1 เมตร ผนังมีความหนาประมาณ 10-15 เซนติเมตร ส่วนความสูงนั้นไม่สามารถทราบข้อเท็จจริงได้ จึงคาดคะเนโดยให้มีความสูงเป็น 2 เท่า ของความกว้าง โดยอาจมีความสูงไม่ต่ำกว่า 70 เซนติเมตร สัณฐานของเตาถลุงเมื่อมองจากมุมบนจะมีลักษณะเป็นรูปวงรี โครงสร้างแต่ละเตาก่อด้วยดินเผาเรียงตัวในแนวเดียวกัน (ทิศเหนือ – ใต้) มีการเสริมความมั่นคงให้กับผนังเตาแต่ละเตาด้วยการเติมช่องว่างระหว่างเตาที่มี

ระยะห่างประมาณ 0.5 – 1 เมตร ด้วยการก่อแนวอิฐ แนวหิน หรือใช้ก้อนตะกรันผสมดินเหนียวก่อเติมเต็มช่องว่างระหว่างเตาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ผนังเตาทุกเตา สันนิษฐานว่าเตามีลักษณะเป็นทรงสูง (Sharf Furnace) มีส่วนยื่นยาวออกมาทางด้านหน้าเตาเป็นทางระบายตะกรัน สัณฐานเมื่อมองจากมุมบนเป็นรูปวงรี ปากเตาด้านบนมีการสอบเข้าหากัน พื้นเตามีลักษณะลาดเอียงประมาณ 25 องศา มีความหนาประมาณ 10 – 15 เซนติเมตร ปากเตามีความกว้างไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ที่ปลายก้นเตาด้านตะวันออกของเตามีการเจาะช่องวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 – 15 เซนติเมตร สำหรับเป็นที่ใส่ช่องปลายหุ้มท่อลมดินเผา ปลายปากเตาด้านหน้าเป็นช่องระบายตะกรันออกมีขนาดกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่ามีการใช้ก้อนอิฐอุดปากเตาในขณะที่ทำการถลุง โดยพบก้อนอิฐบริเวณด้านหน้าเตาจำนวนหนึ่ง ทั้งนี้ ในการจัดสร้างเตาถลุงจะใช้ข้อมูลเตาถลุงเหล็กหมายเลข 1 และ 2 เป็นสำคัญ เนื่องจากเตามีความสมบูรณ์มากกว่าเตาถลุงอื่นๆ ที่สำรวจและขุดค้นพบ



ภาพที่ 91 ภาพลายเส้นของเตาถลุงเหล็กโบราณที่ออกแบบจากหลักฐานทางโบราณคดีในเตาถลุง BNT#002 ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

ภาพที่ 92 เตาถลุงเหล็กจำลองของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม (BNT OPRERATION01/2022)

7.4.2 การสรรหาวัตถุดิบในการสร้างเตา แร่เหล็กและเชื้อเพลิง

กำหนดให้ใช้วัสดุที่ใกล้เคียงจากข้อมูลทางโบราณคดี เช่น ดินปั้นเตาใช้ดินเหนียวละเอียดคุณภาพสูง (ดินจอมปลวก) ผสมทรายและแกลบข้าว อิฐใช้อิฐทนไฟ เป็นต้น ส่วนแร่ที่ใช้ในการถลุงใช้แร่ฮีมาไทร์ (Hematite) ซึ่งเป็นชนิดและแหล่งเหมืองแร่เหล็กเดียวกับที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม โดยให้จัดหาแร่จากพื้นที่อำเภอลอง จังหวัดแพร่ (แหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก) ในลักษณะการรวบรวมจากชาวบ้านที่สะสมแร่ไว้ โดยมิให้มีการขุดเปิดหน้าดินใหม่เพื่อเอาแร่เหล็กจากแหล่งโบราณคดีดังกล่าว ทั้งนี้ แร่ที่ใช้ในการถลุงจะใช้จำนวน 30 กิโลกรัม ส่วนถ่านเชื้อเพลิงใช้ถ่านไม้เนื้อแข็งคุณภาพสูงโดยเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่พบได้ตามป่าของภาคเหนือประเทศไทย นำมาย่อยจนมีขนาดประมาณ 3 – 5 เซนติเมตร ก่อนนำไปถลุง

ภาพที่ 93 ดินเหนียวคุณภาพ (ดินจอมปลวก) ที่ใช้นำมาปั้นเตาถลุงเหล็กจำลอง

ภาพที่ 94 ถ่านไม้คุณภาพ (ไม้เนื้อแข็ง) ที่นำมาใช้ในการทดลองถลุง

ภาพที่ 95 แร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ที่ค้นพบในแหล่งโบราณคดีดอยเหล็ก

7.4.3 ระบบสูบลม

ตามหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีแล้ว ใช้ระบบสูบลมแบบสองสูบ (Double piston bellow) ประกอบด้วยกระบอกสูบลมที่ทำจากท่อนซุงไม้จำนวน 2 กระบอก มีด้านไม้สำหรับชักลมเข้าออกทั้งสองกระบอกที่ส่วนท้ายของกระบอกลมทั้งสองกระบอกที่มีท่อลมยื่นออกมาบรรจบกันที่ปลายท่อหุ้มท่อลมดินเผาที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดยาวประมาณ 30 เซนติเมตร โดยปลายหุ้มท่อลมดินเผาจะยาวยื่นต่อเข้าไปในห้องถลุงประมาณ 5 - 6 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามในการทดลองทางโบราณคดีครั้งนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องการจัดสร้างเส่าสูบลมแบบโบราณที่ต้องใช้งบประมาณมากจึงดัดแปลงและประยุกต์ใช้เครื่องสูบลมและท่อลมที่เป็นโลหะแทน (มีการดัดแปลงช่องดูไฟต่อกับท่อลมโลหะด้วย) เพื่อการควบคุมอัตราเข้าของลมที่คงที่ไปสู่ห้องถลุงและเป็นการประหยัดพลังงานคนในการสูบลมด้วยเส่า ทั้งนี้ จะเจาะช่องลมด้านท้ายเตาเพียงช่องเดียวตามหลักฐานเตาถลุงเหล็กที่ค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

ภาพที่ 96 เครื่องสูบลมและท่อลมที่เป็นโลหะ ของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022)

7.4.4 การเติมแร่และเชื้อเพลิงขณะทำการถลุง

กำหนดให้มีการชั่งและตวง แร่เหล็กและถ่านเชื้อเพลิง พร้อมบันทึกข้อมูลทุกครั้งก่อนนำเข้าห้องถลุง โดยให้เติมตามอัตราส่วนที่อ้างอิงจากตำแหน่งของตะกรันในแผนภูมิเฟส “FeO-SiO2-Al2O3” (Ternary Phase Diagram) ซึ่งพบว่าอุณภูมิการหลอมเหลวของตัวอย่างตะกรันของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มจะเกาะกลุ่มในพื้นที่ๆ เรียกว่าพื้นที่ “Optimum 2” ซึ่งมีข้อสังเกตว่าพฤติกรรมของการถลุงในพื้นที่นี้จะใช้ปริมาณเชื้อเพลิงน้อยในอัตราส่วนระหว่างแร่และเชื้อเพลิงที่ 1 : 2 หรือ 1 : 1.2 และไม่มีความเข้มงวดในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาเพื่อให้ตะกรันหลอมเหลวหรืออีกแง่หนึ่งมีความยืดหยุ่นในการปรับลดอุณหภูมิในห้องถลุง ดังนั้น การเติมแร่และถ่านจะเลือกใช้ในอัตราส่วน 1 : 2 ตามผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและอุณหภูมิหลอมเหลวของตะกรันเหล็กเป็นสำคัญ

7.4.5 การทดลองถลุงเหล็ก

จะเริ่มจากการอุ่นเตาโดยการเติมถ่านเชื้อเพลิงอัดแน่นภายในห้องถลุงจนถึงปากปล่องเตา และปล่อยให้เชื้อเพลิงเผาไหม้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เมื่อมีเปลวไฟพ่นออกจากปล่องเตาแล้วจึงเริ่มเติมแร่เหล็กลงไป โดยเริ่มต้นที่ 0.5 กิโลกรัม เมื่ออุณภูมิห้องถลุงคงที่แล้ว จึงเริ่มใส่แร่เหล็กครั้งละ 1 กิโลกรัม สลับกับเติมถ่านเชื้อเพลิงครั้งละ 2 กิโลกรัม โดยเว้นระยะการเติมแร่และถ่านเชื้อเพลิงตามลักษณะการยุบตัวของถ่านเชื้อเพลิงที่บริเวณปากปล่องเตา จากการทดลองใช้ระเวลาทิ้งช่วงประมาณ 6 ถึง 10 นาที ในการเติมแร่และถ่านเชื้อเพลิงในแต่ละครั้ง ในช่วงระหว่างการถลุงให้สังเกตสีไฟ การไหลของตะกรันเหลว และการก่อตัวของก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) โดยดูได้จากช่องดูไฟที่อยู่ติดกับท่อลมโลหะ หากมีการสะสมตัวของตะกรันเหลวมากจนเกินไปให้รีบเจาะผนังเตาหรือเปิดปากเตาเพื่อระบายเอาตะกรันออกไม่ให้อุดตันช่องลมในห้องเผา เมื่อเติมแร่เหล็กจนครบปริมาณ 30 กิโลกรัมและภายในเตามีการก่อตัวของก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) (ใช้เหล็กยาวเรียวกระทุ้งเข้าไปในช่องดูไฟจะสัมผัสได้ถึงลักษณะก้อนเหล็กแข็งแน่นเหล็กเรียวยาวไม่สามารถทะลุผ่านได้เมื่อกระทุ้ง) แล้ว ให้ปล่อยให้ถ่านเชื้อเพลิงทำการเผาไหม้ต่อประมาณ 30 ถึง 45 นาที จึงเปิดผนังเตานำเอาก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ออกจากเตาแล้วแช่น้ำเย็น ก่อนจะทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงแล้วนำไปตีกำจัดมลทินต่อไป

ภาพที่ 97 การทดลองถลุงเหล็กในเตาถลุงหมายเลข (BNT OPRERATION01/2022)

ภาพที่ 98 ก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022)

7.4.6 สรุปผลการทดลองทางโบราณคดีเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022)

กำหนดให้มีการชั่งน้ำหนักก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ซึ่งยังมีตะกรันปะปนค่อนข้างมากต้องนำไปหลอมในเตาตีเหล็ก (Smithing) อีกครั้ง เพื่อตีเอาเศษตะกรันหรือมลทินออก จนเหลือแต่ก้อนเหล็กอ่อนบริสุทธิ์ที่เรียกว่า “Wrought Iron” และชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณอัตราส่วนปริมาณวัตถุดิบและผลผลิตที่ได้ต่อไป

ภาพที่ 99 การนำก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กของเตาถลุง (BNT OPRERATION01/2022) น้ำหนักรวม 11 กิโลกรัม มาตีกำจัดมลทินในเตาตีเหล็ก

ภาพที่ 100 มวลเหล็กอ่อนที่ได้ตีกำจัดมลทินแล้ว

จากการทดลองถลุงเหล็กถือได้ว่าประสบผลสำเร็จซึ่งได้ผลผลิตเป็นปริมาณมวลเหล็กเกือบบริสุทธิ์ (Iron Ingot) ในปริมาณที่น่าพอใจ โดยได้มวลเหล็กเกือบบริสุทธิ์ (Iron Ingot) น้ำหนัก 2 กิโลกรัม โดยตีกำจัดมลทินออกจากก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) น้ำหนัก 11 กิโลกรัม ในการถลุงใช้แร่เหล็กฮีมาไทต์ปริมาณ 30 กิโลกรัม ถ่านเชื้อเพลิงปริมาณ 86.1 กิโลกรัม มีอัตราส่วนแร่และถ่านอยู่ที่ 1 : 2 และอัตราส่วนมวลเหล็กเกือบบริสุทธิ์และแร่เหล็ก อยู่ที่ 15 : 1 ใช้ระยะเวลาในการถลุงประมาณ 4 ชั่วโมง รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

7.4.7 การถลุงเหล็กในเตาถลุงที่ BNT OPERATION02/2022

นอกจากนี้ยังได้ทดลองถลุงเหล็กในเตาถลุงเหล็กแบบประยุกต์ (เตาที่ BNT OPERATION02/2022) โดยเป็นการทดลองถลุงเหล็กจากแร่ฮีมาไทร์ที่เหลืออยู่จากการถลุงในเตาที่ BNT OPERATION01/2022 เป็นปริมาณ 15 กิโลกรัม ทั้งนี้ เตาที่ใช้เป็นเตาถลุงกึ่งสำเร็จรูปที่นายประพจน์ เรืองรัมย์ ได้ทำการคิดค้นขึ้นจากประสบการณ์การถลุงเหล็กที่ผ่านมา ถือเป็นเตาถลุงเหล็กที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพในการถลุงแล้ว สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ในการถลุงได้ค่อนข้างดี (ลมการระบายตะกรัน ปริมาณถ่าน ฯลฯ) และให้ปริมาณผลผลิตในระดับที่น่าพอใจ ทั้งนี้ เตาถลุงเหล็กดังกล่าวมีลักษณะเป็นเตาถลุงทรงสูง (Shaft Furnace) มีท่อลมเข้าสู่ห้องเผาจำนวน 4 จุด ใช้เครื่องเป่าลม (Air Blower Pump) จำนวน 2 เครื่อง ระยะเวลาในการถลุงประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง จากการทดลองถลุงผลปรากฏว่าได้มวลเหล็กเกือบบริสุทธิ์ น้ำหนักมากถึง 4.3 กิโลกรัม (อัตราส่วนแร่และถ่านอยู่ที่ 1 : 2 และอัตราส่วนมวลเหล็กเกือบบริสุทธิ์และแร่เหล็กอยู่ที่ 3.5 : 1) ถือว่าได้ปริมาณมวลเหล็กค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับปริมารแร่เหล็กที่ใช้ไป

ตารางที่ 7 แสดงค่าเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงและแร่เหล็กที่ใช้ในการทดลองถลุงเหล็ก

ครั้งที่	เวลา	ปริมาณแร่ (กิโลกรัม)	ปริมาณถ่าน (กิโลกรัม)	ครั้งที่	เวลา	ปริมาณแร่ (กิโลกรัม)	ปริมาณถ่าน (กิโลกรัม)
-	เติมถ่านเข้าเตาถลุงจนเต็ม		22.1	17	13.07	1	2
1	11.00	0.5	2	18	13.13	1	2
2	11.05	0.5	2	19	13.24	1	2
3	11.14	0.5	2	20	13.30	1	2
4	11.20	0.5	2	21	13.36	1	2
5	11.28	1	2	22	13.43	1	2
6	11.37	1	2	23	13.52	1	2
7	11.45	1	2	24	14.00	1	2
8	11.51	1	2	25	14.05	1	2
9	12.00	1	2	26	14.18	1	2
10	12.08	1	2	27	14.25	1	2
11	12.17	1	2	28	14.34	1	2
12	12.24	1	2	29	14.40	1	2
13	12.30	1	2	30	14.05	1	2
14	12.41	1	2	31	14.55	1	2
15	12.49	1	2	32	15.05	1	2
16	12.58	1	2	**รวม**		**30**	**86.1**

หมายเหตุ :
1.ดำเนินการถลุงเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ.2565 ณ ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์
2.ควบคุมงานโบราณคดีโดยนายพลพยุหะ ไชยรส นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่

ภาพที่ 101 ก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ที่ได้จากการถลุงเหล็กในเตาถลุง BNT OPERATION02/2022

7.4.8 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองทางโบราณคดีข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการทดลองทางโบราณคดีครั้งนี้ สามารถนำข้อมูลไปปรับปรุงเตาที่ BNT OPERATION01/2022 เพื่อการทดลองทางโบราณคดีในอนาคตได้ โดยเตาที่ BNT OPERATION01/2022 ยังมีห้องเผาที่กว้างมากเกินไป ในอนาคตควรมีการบีบห้องเผาให้มีความแคบมากยิ่งขึ้น เพื่อก่อในเกิดสภาวะที่เหมาะสมในการถลุงเหล็กภายในเตา เหมือนในเตาถลุงที่ BNT OPERATION02/2022 ซึ่งให้ผลผลิตค่อนข้างมากและการควบคุมปริมาณลมเข้าห้องเผาที่ควรมีการควบคุมที่เข้มข้นขึ้น รวมทั้งควรมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิในจุดต่างๆ ของห้องเตา เพื่อคำนวณอุณภูมิที่เหมาะสมในการถลุงครั้งต่อไป

นอกจากนี้ยังมีประเด็นเรื่องการประยุกต์ใช้ระบบสูบลมแบบโบราณที่ยังมิได้ทดลองในการดำเนินงานครั้งนี้ เนื่องด้วยปัญาด้านวิธีการสร้าง วัสดุ งบประมาณ ระยะเวลา รวมถึงทักษะในการสูบลม อย่างไรก็ตามจากเอกสารทางประวัติศาสตร์ ข้อมูลทางโบราณคดีชาติพันธุ์ของกลุ่มชาติพันธุ์ที่และงานประติมากรรมโบราณในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ปรากฏลักษณะร่วมของระบบสูบลมโบราณโดยเป็นลักษณะระบบสูบลมแบบสองสูบ (Double piston bellow) ซึ่งในประเด็นนี้ควรได้รับการจำลองและทดลองทางโบราณคดีอย่างยิ่งในอนาคต

7.5 กระบวนการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาต้ม (Iron Smelting Chaîne pératoire)

7.5.1 องค์ประกอบในการถลุงเหล็ก

7.5.1.1 แร่เหล็ก

แร่เหล็กเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในการถลุงเหล็ก หากไม่มีแร่เหล็กจะไม่สามารถทำการถลุงเหล็กให้ได้ก้อนเหล็กได้ การถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มใช้แร่เหล็กจากแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กซึ่งเป็นแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ (Hematite: Fe_2O_3) มีลักษณะการทำเหมืองแบบเหมืองเปิด มีการกำหนดช่วงระยะเวลาการทำเหมืองชัดเจน แร่เหล็กที่ได้จากการขุดจะมีการเกณฑ์แรงงาน ทำการขุดโดยใช้เครื่องมือเบา เช่นจอบ เสียม มีการกำหนดปริมาณแร่ที่ไพร่หนึ่งคนจะต้องขุดได้ คือ 12 ชั่ง (1.2 กิโลกรัม) เมื่อได้จำนวนครบแล้ว จะนำลงมายังแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเพื่อทำการถลุง จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของแร่เหล็กที่พบภายในแหล่งโบราณคดีสะท้อนให้เห็นว่ามีการคัดเลือกแร่ที่จะนำมาถลุงโดยพบว่าค่าองค์ประกอบของเหล็กออกไซต์มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ในทุกตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ สอดคล้องกับบันทึกเอสารบันทึกชาวต่างชาติที่ระบุว่าเหล็กเมืองลองคือเหล็กที่มีคุณภาพ เช่น บันทึกของคาร์ล อัลเฟรด บ็อค (Carl Alfred Bock) กล่าวว่า “...รอบๆ พื้นที่เมืองละคอน นอกจากจะมีป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์แล้ว ยังมีแหล่งสินแร่มากมายใกล้ๆ เมือง (ละคอน) ปรากฏการทำเหมืองเหล็กที่อุดมไปด้วยสินแร่เหล็กในปริมาณมาก...”[167] ทั้งนี้การคัดแร่อาจใช้การสังเกตลักษณะทางกายภาพของก้อนแร่ ทั้งสี ความแวววาวของผลึกแร่ หรือปริมาณมลทินที่ปะปนในแร่ เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีการย่างแร่ (Roasting) ในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม อาจเป็นเพราะในแร่เหล็กฮีมาไทต์มีความชื้นน้อย ไม่เหมือนแร่เหล็กเกอร์ไทต์ (Geotite:FeO.OH) ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ที่สำคัญการกำจัดน้ำหรือความชื้นสามารถเกิดขึ้นได้ในเตาถลุงโดยจะเกิดขึ้นที่อุณภูมิห้องอยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยออกจากก้อนแร่เหล็กดังสมการเคมีดังนี้

$$2FeOOH \longrightarrow Fe_2O_3 + H_2O \uparrow$$

การคัดย่อยแร่นั้นจะใช้ทั่งและพะเนินหินทุบย่อยแร่เหล็กมีขนาดเล็กลง 1-3 เซนติเมตรเพื่อช่วยเพิ่มพื้นผิวสัมผัสระหว่างก้อนแร่เหล็กกับความร้อนในห้องเตาถลุง ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั้นได้ดีมากยิ่งขึ้น สำหรับหินที่เป็นทั่งและพะเนินของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นหินกรวดแม่น้ำสีแดง สำหรับคุณภาพของแร่เหล็กของแหล่งโบราณคดีดอยเหล็กถือเป็นเหล็กที่มีคุณภาพโดยช่างถลุงมิได้เลือกใช้แร่เหล็กฮีมาไทต์แบบที่เรียกว่า “ตับเหล็ก” แม้จะมีคุณภาพของเหล็กสูงกว่าแร่เหล็กฮีมาไทต์ธรรมดาของดอยเหล็ก โดยอาจเนื่องมาจากแร่เหล็กแบบตับเหล็กมีความ

[167]Carl Alfred Bock, 1884, **Temples and Elephant The Narrative of a journal of Exporation through Upper Siam and Lao** (New York: Cornell University Library), 174.

หนาแน่นของเหล็กออไซต์สูงและยังไม่มีมลทินจำพวกซิลิกาเหมือนแร่เหล็กฮีมาไทต์ธรรมดา ซึ่งมลทินเหล่านี้มีประโยชน์ในแง่การเป็นเชื้อถลุง (Flux) โดยธรรมชาติ นอกจากนี้จากการขุดค้นทางโบราณคดียังไม่พบเศษแร่เหล็กฮีมาไทต์แบบตับเหล็กในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีโดยผู้วิจัยขุดค้นพบแต่เพียงก้อนแร่เหล็กฮีมาไทร์แบบธรรมดาเท่านั้น

7.5.1.2 เชื้อเพลิง

ถ่านเป็นเชื้อเพลิงสำคัญในการก่อเกิดปฏิกริริยารีดักชั่นในกระบวนการถลุงเหล็ก โดยเมื่อถ่านถูกเผาผลาญแล้วก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ ก๊าซดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนที่คู่กับอะตอมของเหล็ก เมื่อทำการกำจัดออกไซต์ออกแล้วจึงเหลือเหล็กบริสุทธิ์ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่อุณภูมิประมาณ 720 องศาเซลเซียส ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์จะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกซ์และถูกกำจัดออกทางปล่องของเตาถลุง ดังสมการเคมี

$$3Fe_2O_3 (solid) + CO (gas) \longrightarrow 2Fe_3O_4 (solid) + CO_2 (gas)$$

$$Fe_3O_4 (solid) + CO (gas) \longrightarrow 3FeO (solid) + CO_2 (gas)$$

$$FeO (solid) + CO (gas) \longrightarrow Fe (solid) + CO_2 (gas)$$

$$2CO (gas) + O_2 (gas) \longrightarrow 2CO_2 (gas)$$

จากการขุดค้นทางโบราณคดีแม้จะไม่พบหลักฐานประเภทก้อนถ่านในปริมาณที่สามารถนำมาจำแนกชนิดไม้ได้ แต่จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของก้อนตะกรันบางก้อนที่ยังปรากฏร่องรอบของเส้นใยถ่ายไม้ที่ลักษณะหนาและยาว ซึ่งเป็นลักษณะของถ่านไม้เนื้อแข็ง ถ่ายไม้เนื้อแข็งมีคุณสมบัติที่ค่อยข้างดีเมื่อนำมาถลุงเหล็กโดยมีการทนความร้อนได้สูง (ให้ความร้อนได้นาน) ทนทานดัดแปลงรูปร่างได้ง่าย โดยการผลิตถ่านไม้เนื้อแข็งคุณภาพจะต้องเผาไฟในอุณภูมิอยู่คงที่ๆ 400 องศาเซลเซียส สำหรับเตาผลิตถ่านไม้มีหลายรูปแบบ โดยในพื้นที่เมืองลองในปัจจุบันหรือพื้นที่ภาคเหนือยังปรากฏเตาเผาถ่านทำจากดินเผาอยู่ โดยเป็นลักษณะของเตาดินหรือเตาดินเหนียวก่อ

สำหรับชนิดของถ่านไม้เนื้อแข็งที่นำมาถลุงเหล็กนั้น จากการสังเกตการณ์การดำเนินงานโบราณโลหวิทยาเชิงทดลองของกลุ่มโบราณคดี สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ.2563 โดยเป็นการจำลองเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดี อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน จากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีแห่งนี้พบถ่านไม้เนื้อแข็งจำนวนหนึ่ง (อยู่ในขั้นตอนการนำส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ชนิดของไม้ในห้องปฏิบัติการ) ในการดำเนินงานโบราณโลหวิทยาเชิงทดลองครั้งนั้น จึงได้นำถ่านไม้เนื้อแข็งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการถลุงเหล็ก โดยอ้างอิงชนิดไม้จากกลุ่มชาติพันธุ์ไทยวนที่ยังทำการถลุงเหล็กอยู่ในปัจจุบัน คือ กลุ่มช่างถลุงเหล็กบ้านน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยไม้เนื้อแข็งที่กลุ่มช่างเลือกใช้คือ ไม้มะขาม ไม้สัก เป็นต้น ซึ่งไม้เนื้อแข็งชนิดดังกล่าวสามาถให้ความร้อนสูงและสม่ำเสมอ ควันน้อย ขี้เถ้าน้อย ไม่มีการแตกของประกายไฟขณะดำเนินการถลุงเหล็ก ทั้งนี้ ชนิดไม้

ดังกล่าวเป็นไม้ที่เติบโตในพื้นที่ป่าทั่วไปของภาคเหนือตอนบนของในประเทศไทย นอกจากนี้ในการดำเนินงานโบราณโลหวิทยาในครั้งนั้นยังได้ใช้ถ่านจากไม้โกงกาง ซึ่งถือเป็นถ่านไม้ที่มีคุณภาพและราคาสูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ด้านความต้องการและการขนส่งแล้ว การถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มควรใช้ทรัพยากรป่าไม้ที่ใกล้กับแหล่งถลุงมากกว่าการนำเข้าถ่านไม้แม้ว่าถ่านไม้หลายประเภทจะมีคุณภาพสูงและหาไม่ได้ในพื้นที่ที่ป่ารอบแหล่งโบราณคดีก็ตาม ซึ่งลักษณะของป่าไม้โดยรอบแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบ (ไม้สัก ไม้ประดู่ ไม้แดง และไผ่) ป่าแพะหรือป่าแดง (ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้เหียง ไม้หลวง) และป่าดงดิบเขา (ไม้ก่อและไม้ยืนต้นขนาดใหญ่) จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าบริเวณพื้นที่เมืองลองมีพันธุ์ไม้ที่เพียงพอต่อการนำมาทำเชื้อเพลิงในการถลุงเหล็ก และการถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นการถลุงที่มีการกำหนดช่วงระยะเวลาหนึ่งของปีเท่านั้น มิได้มีการถลุงเป็นกิจลักษณะ ดังนั้น การใช้เชื้อเพลิงในท้องถิ่นจึงมีความเพียงพอแล้วสำหรับการถลุงเหล็กของเมืองลอง นอกจากนี้ความอุดมสมบูรณ์ของป่ายังสะท้อนให้เห็นจากการที่เมืองลอวงเป็นผืนป่าที่ให้สัปทานการทำไม้สักในสมัยรัชกาลที่ 5 และการประกาศเขตป่าสงวนแห่งชาติบริเวณเมืองลองในสมัยรัชกาลที่ 6 เป็นต้น

ภาพที่ 102 ร่องรอยถ่านไม้เนื้อแข็งปรากฏบนตะกรันก้นเตาของเตาถลุงเหล็กเมืองลองโบราณ

ในแง่ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและถ่าน นอกจากเรื่องเชื้อเพลิงแล้ว ถ่านยังช่วยเพิ่มคุณภาพด้านความแข็งแกร่งให้กับเหล็กอีกด้วย โดยคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจากถ่านสามารถแทรกซึมเข้าไปยังเนื้อของเหล็กได้ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเหล็กตามระดับคาร์บอนที่แทรกซึมในเนื้อเหล็ก เช่น เหล็กที่มีคาร์บอน เรียกว่า เหล็กกล้า และเป็นที่น่าสนใจว่าในทางภาษาศาสตร์มีสำนวนโบราณหนึ่งที่รับรู้ในการในหมู่คนไทยว่า “เด็กไม่เอาถ่าน” เป็นสำนวนที่กร่อนมาจากประโยค “เหล็กไม่เอาถ่าน” มีความหมายว่า ไม่เอาการงาน หรือไม่เอาไหน ทั้งนี้ที่มาของสำนวนพรชัย สุจิตร์

ได้ให้ทรรศนะที่น่าสนใจว่า สำนวน “เหล็กไม่เอาถ่าน” หมายถึงเปรียบการถลุงหรือตีเหล็ก ที่มีคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็กในปริมาณที่พอเหมาะ ทำให้เหล็กมีความแข็งแกร่ง คำว่าถ่านจึงหมายถึง คาร์บอนที่เกิดจากการเผาถ่านที่แทรกซึมเข้าไปในเหล็กในความรับรู้ของช่างถลุงเหล็กไทยสมัยโบราณ

ในกระบวนการถลุงเหล็ก ถ่านยังปล่อยธาตุหลายอย่างแทรกซึมไปยังตะกรันเหล็กโดยเฉพาะธาตุหรือ เป็นต้น สำหรับกระบวนการก่อเกิดเป็นถ่านนั้นจะทำในเตาเผาถ่านที่มีการขุดลึกลงไปในชั้นดิน เตามีการจำกัดการเข้าออกของอากาศ มักสร้างเตาแบบถาวร การเผาถ่านจะใช้ระยะเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการเผาถ่าน จะเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น (Carbonization) หรือการกลายเป็นถ่าน คือกระบวนการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสภาวะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างการเผาถ่านจะช่วยกำจัดน้ำ น้ำมันดินและสารประกอบอื่น ๆ ออกจากไม้ฟืน ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการ คือ ถ่านที่มีสารต่าง ๆ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 80 ไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 10 – 20 และแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น กำมะถันและฟอสฟอรัส เป็นต้น ถ่านที่ได้หลังจากกระบวนการผลิตจะมีประมาณของคาร์บอนสูงและไม่มีความชื้น ทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูง โดยมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาณพลังงานในไม้แห้ง โดยกระบวนการกลายเป็นถ่านจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 270 ถึง 400 องศาเซลเซียส สำหรับคุณภาพของถ่านขึ้นอยู่กับ 7 ปัจจัย กล่าวคือ ปัจจัยแรกคือชนิดของถ่านไม้ โดยการใช้ไม้เนื้อแข็งย่อมให้ถ่านที่มีคุณภาพมากกว่าการใช้ไม้เนื้ออ่อน ปัจจัยที่สองขนาดของไม้ฟืนยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ได้ถ่านคุณภาพที่ดีกว่าการใช้ไม้ขนาดใหญ่ โดยไม้ขนาดใหญ่จะก่อเกิดปฏิกิริยาการกลายเป็นถ่านได้ช้ากว่าไม้ขนาดเล็ก และประการสุดท้ายคือเนื้อไม้ฟืน เนื้อไม้ที่ผุ มีรูพรุน และไม้ที่ไม่ได้รูปทรงจะให้ผลผลิตถ่านที่ไม่ค่อยมีคุณภาพนัก ปัจจัยที่สี่ความชื้นของไม้ฟืน หากมีความชื้นมากอาจก่อให้เกิดการเผาไหม้ก่อนเกิดกระบวนการกลายเป็นถ่าน ปัจจัยที่ห้าภายในเตาดินต้องมีความแห้ง ผนังแข็ง และมีปล้องระบายอากาศ ปัจจัยที่หกฤดูกาลในการเผาถ่านควรเป็นฤดูร้อนหรือฤดูหนาว มากกว่าทำในฤดูฝน ปัจจัยสุดท้ายคือการควบคุมอุณหภูมิในการเผาอย่างมีประสิทธิภาพและความร้อนคงที่

7.5.1.2 เทคนิคเครื่องปั้นดินเผา (Technical Ceramic)

เทคนิคเครื่องปั้นดินเผาถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของเตาถลุงเหล็กประกอบด้วยส่วนของผนังเตาถลุงและปลายหุ้มท่อลมดินเผา

7.5.1.2.1 โครงสร้างเตาถลุงเหล็ก

ลักษณะเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม มีลักษณะเป็นเตาถลุงเหล็กทรงสูง (Shaft Furnace) ที่มีการสร้างช่องระบายตะกรันยื่นออกทางด้านหน้าเตา ด้านตัดมุมบนเป็นรูปวงรี ยาว 1 ถึง 1.2 เมตร กว้าง 35 ถึง 45 เซนติเมตร ก่อผนังขึ้นสูงประมาณ 70 ถึง 80 เซนติเมตร ผนังเตามีความหนาประมาณ 9 ถึง 12 เซนติมตร นอกจากนี้ยังมีการเสริมความแข็งแรงของเตาด้วยการด้วยเรียงอิฐหรือหินชิดขอบเตาด้านนอกให้หนาแล้วพอกทับด้วยดินเหนียวอีกชั้น ด้านหน้าเตามีช่องระบายตะกรันเป็นช่องขนาดเล็ก ด้านหลังมีการเจาะรูวงกลมที่ก้นเตาขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องใส่ปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ต่อกับท่อลมไปยังที่สูบลมหรือเส่า การสร้างเตาถลุงจะสร้างเรียงติดต่อกันเป็นลักษณะแนวยาวหลายเตาไปตามลำเหมืองโบราณ

สำหรับการเตรียมเตาถลุงจะมีการปั้นเตาเผาที่มีมลทินจำพวกกรวดทราย เม็ดแลงหรือแม้กระทั่งเศษตระกรันมีการฉาบดินเหนียวละเอียดภายในห้องเผาอีกชั้นหนึ่ง เตามีลักษณะการใช้งานหลายครั้ง โดยพบว่าเตาบางเตามีการซ่อมและฉาบผิวภายในห้องถลุงเอาไว้แล้ว หากแต่ยังมิได้ดำเนินการถลุง นอกจากนี้พบว่าการสร้างเตามีการวางแบบแผนระเบียบไว้ชัดเจนเป็นมาตรฐาน (Standardization) โดยเฉพาะห้องถลุงที่ทุกเตากำหนดให้มีลักษณะสัณฐานเป็นรูปวงรีสอบแคบมีความกว้างในอัตราส่วนเพียง 1 : 3 ของความยาวเตา (ไม่เกิน 45 เซนติเมตร) และตำแหน่งของรูสอดปลายหุ้มท่อลมดินเผาจะต้องอยู่เหนือผนังเตาไม่เกิน 13-15 เซนติเมตร ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 แสดงค่าความกว้าง หนาและความน่าจะเป็นของความสูงเตาถลุงเหล็กของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม

หมายเลขเตา	ความกว้างของห้องเตา (เซนติเมตร)	ความหนาของผนังเตา (เซนติเมตร)	ความน่าจะเป็นของขนาดความกล้างของตะกรันก้นเตาหลังการถลุง (เซนติเมตร)
BNT#01	42	12	18
BNT#02	44	12	20
BNT#03	44	11	22
BNT#04	34	9	16
BNT#05	40	10	20
BNT#06	37	11	15
BNT#07	35	11	13
BNT#08	ระบุไม่ได้	10	ระบุไม่ได้
BNT#09	40	10	20
ค่าเฉลี่ย	**40 - 41**	**10 - 11**	**19 - 20**

จากตารางข้างต้นจะสังเกตได้ว่าเมื่อนำค่าความหนาของผนังเตาถลุงทั้งสองด้านลบออกจากความกว้างของเตาถลุงทั้งหมดจะพบพื้นที่ว่างภายในห้องถลุงที่สามารถก่อให้เกิดตะกรันก้นเตาขนาดประมาณ 19 ถึง 20 เซนติเมตร ได้ซึ่งจากการขุดค้นทางโบราณคดีเมื่อปีพ.ศ.2562 พบว่าตะกรันก้นเตาที่สมบูรณ์จะมีขนาดความกว้างประมาณ 20 ถึง 23 เซนติเมตร สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยดังกล่าว

ภาพที่ 103 ตะกรันก้นเตาของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีเมื่อปี พ.ศ.2562

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองถลุงเพื่อตรวจสอบลักษณะเฉพาะของโครงสร้างห้องเผาดังกล่าวว่ามีนัยยะสำคัญต่อกระบวนการถลุงและผลผลิตหรือไม่ ดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 4 โดยเปรียบจากการทดลองถลุง 2 เตาและจากองค์ความรู้ของนายช่างถลุงเหล็กโบราณบ้านน้ำพี้ จังหวัดอุตรดิตถ์พบว่า การทำห้องถลุงให้มีลักษณะสอบแคบมีผลให้เกิดปฏิกิริยารีดักชั่นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยเพิ่มอุณภูมิที่เหมาะสมสำหรับแยกตะกรันออกจากเหล็กในขณะทำการถลุง โดยเทคนิคนี้ช่างถลุงเหล็กแบบทางตรงโบราณในปัจจุบันยังคงใช้อยู่แม้ว่าจะมีการใช้เตาถลุงเหล็กซีเมนต์ทนความร้อนสูงแบบประกอบได้ก็ตามซึ่งก่อนการถลุงจะมีการพอกดินเหนียวถายในห้องถลุงให้สอบและแคบเมื่อทำการถลุงพบว่ามีการหลอมเหลวของตะกรันดีมากและได้ผลผลิตเป็นก้อนเหล็กกึ่งแข็ง (Bloom) ค่อนข้างเมื่อเทียบกับอัตราส่วนของต้นทุนต่างๆ

ภาพที่ 104 ตะกรันเหลวหนืดที่ออกจากเตาถลุงเหล็กประยุกต์ BNT OPERATION02/2022 หลังจากมีการสร้างห้องเตาที่สอบแคบ

ส่วนลักษณะเฉพาะของเตาถลุงเหล็กบ้านนาตุ้มที่มีการสร้างส่วนยื่นยาวออกออกจากห้องถลุง จากการขุดค้นทางโบราณคดีพบว่าส่วนที่ยื่นยาวออกจากห้องถลุงมีลักษณะเทลาดประมาณ 15 องศา ที่ปลายด้านหนึ่งจะเป็นช่องเปิดออก ลักษณะดังกล่าวสันนิษฐานว่าเป็นช่องทางไหลของตะกรัน สำหรับระบายออกสู่ด้านนอกเตาในกรณีที่มีตะกรันเหลวหนืดคั่งค้างภายในห้องถลุงมากเกินไป นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของก้อนตะกรันก้นเตา ลักษณะการเทลาดดังกล่าวช่วยทำให้ตะกรันเหลวหนืดมีลักษณะแบนแผ่ออกมีความหนาไม่มากเกินกว่าระดับความสูงของรูสอดปลายหุ้มท่อลมดินเผา มีสัณฐานเป็นรูปวงรีตามลักษณะของห้องถลุง ซึ่งในกรณีนี้จากขุดค้นทางโบราณคดีแม้จะพบปากช่องระบายตะกรันขนาดใหญ่หน้าเตาพร้อมกันก้อนอิฐที่ใช้อุดปิดปากเตา แต่ไม่พบว่ามีลักษณะของตะกรันแผ่น (Tap Slag) ขนาดใหญ่ที่หน้าปากเตา พบเพียงลักษณะการเกิดตะกรันแผ่นจากการไหลของตะกรันเหลวที่ไหลออกนอกตัวก้อนตะกรันก้นเตาใต้ก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลวเท่านั้น ส่วนลักษณะตะกรันก้นเตาสมบูรณ์จะมีลักษณะยาวยื่นออกมาด้านหน้าตามลักษณะของโครงสร้างภายในห้องถลุงและพื้นผิวมีความลาดเอียงตามพื้นของห้องถลุงอีกด้วยมีความยาวไม่เกินกว่า 60 เซนติเมตร สะท้อนให้เห็นว่าการถลุงเหล็กสิ้นสุดลงก่อนที่จะการคั่งค้างของตะกรันเหล็กภายในห้องเตาถึงบริเวณช่องระบายตะกรันด้านหน้าของเตาถลุง

นอกจากนี้จากการทดลองทางโบราณคดีพบว่าช่วงที่ยื่นยาวด้านหน้าของเตาถลุงก่อให้เกิดระบบหมุนวนอากาศภายในห้องถลุง อากาศสามารถหมุนวนได้ทั่วทั้งเตาก่อนที่จะปล่อยออกสู่ปากปล่องเตาด้านบน อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถหาต้นแบบเทคโนโลยีเตาถลุงเหล็กของบ้านนาตุ้มได้ ซึ่งเป็นประเด็นที่ต้องดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

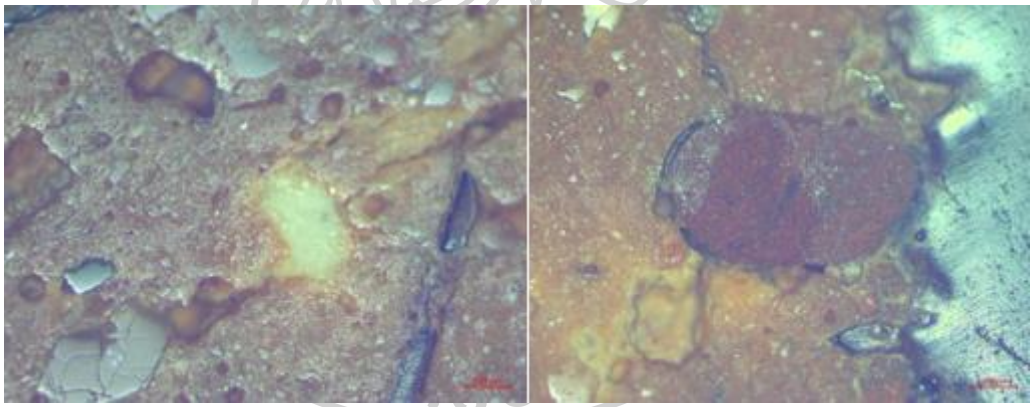
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาพที่ 105 ลักษณะโครงสร้างเตาถลุง BNT#009 ที่พื้นก้นเตามีลักษณะเทลาดประมาณ 15 องศา

ภาพที่ 106 ตะกรันที่ค้างอยู่ภายในเตาถลุง BNT#005

7.5.1.2.2 ปลายหุ้มท่อลมดินเผา (Tuyère) จะใช้ดินเหนียวที่มีความละเอียดสูง เนื้อดินสีขาว ปั้นด้วยมือลงบนแม่พิมพ์ที่ปลายด้านนอกมีลักษณะผายออกเพื่อรองรับกับท่อลมด้วยตัวอุดช่องระหว่างท่อลมกับปลายหุ้มท่อลมดินเผาหรือโครงสร้างเตาถลุงจะใช้ดินเหนียวที่มีส่วนผสมของกรวดทรายมาปั้นเตา เป็นต้น ทั้งนี้ ปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ขุดค้นในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มมีการผลิตที่ค่อนข้างเป็นมาตรฐานมีความกว้างประมาณ 9 เซนติเมตร รูลมภายในประมาณ 2 เซนติเมตร มีความหนาประมาณ 7 เซนติเมตร ซึ่งค่อนข้างหนา สำหรับเทคนิคการผลิตสามารถวิเคราะห์ได้จากลักษณะเนื้อดินและภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์โดยพบว่ามีส่วนผสมของควอตซ์และมีลักษณะเผาไม่สุกทั่วทั้งชิ้นงาน เนื้อดินสีแดง จัดอยู่ในเครื่องปั้นดินเผาประเภทเนื้อดิน (Earthernware) มีอุณหภูมิในการเผาประมาณ 1,000 ถึง 1,200 องศา ส่วนการผสมกรวดทรายหรือมลทินลงในเนื้อดินเหนียวอาจทำขึ้นเพื่อให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น[168]

จากการศึกษาลักษณการผุกร่อนและคราบตะกรันของปลายท่อลมดินในส่วนที่ยื่นเข้าไปในห้องถลุงพบว่ามีความสึกหรอค่อนข้างน้อยและยื่นนเข้าไปในห้องถลุงประมาณ 7 – 10 เซนติเมตร ไม่พบว่ามีการนำปลายหุ้มท่อลมดินเผาที่ชำรุดแล้วมาใช้ใหม่ในหน้าที่เดิม หากแต่จะใช้เป็นส่วนผสมของมูลดินที่ช่วยเสริมความมั่นคงของผนังเตาถลุงเท่านั้น



ภาพที่ 107 ภาพจากกล้องจุลทรรศ์แสดงลักษณะองค์ประกอบของเนื้อปลายหุ้มท่อลมดินเผา

7.5.1.2.3 ระบบสูบลม

นอกจากเตาถลุงแล้วองค์ประกอบที่สำคัญที่ขาดไม่ได้ในกระบวนการถลุงคือระบบสูบลม โดยท่อสูบลมและเครื่องสูบลม อาจทำด้วยไม้หรือหนังสัตว์ หรือประกอบขึ้นจากวัสดุทั้งสองอย่าง โดยเครื่องสูบลมจะมีส่วนท่อต่อไปเข้าไปยังเตาถลุงโดยมีท่อหุ้มปลายท่อลมดินเผา ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างท่อลมและภายในห้องเตาชิ้นส่วนหุ้มปลายท่อลมดินเผามีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความร้อนทำลายท่อลมซึ่งในอดีตส่วนใหญ่ทำจากไม้ และเป็นทางผ่านของลม

[168] พัชรี สาริกบุตร, **เทคโนโลยีสมัยโบราณ** (กรุงเทพฯ : คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2523), 93.

เข้าสู่ห้องเผา ในการถลุงเหล็กมีการใช้ชิ้นส่วนหุ้มปลายท่อลมดินเผาทั้งในขั้นตอนการถลุงเหล็กและการตีขึ้นรูป[169]

ในการขุดค้นแหล่งโลหกรรมเหล็กในประเทศไทยมักพบเพียงชิ้นส่วนท่อหุ้มปลายท่อลมดินเผาเท่านั้น ส่วนเครื่องสูบและลักษณะของระบบลมสามารถทำการศึกษาได้จากเอกสารทางประวัติศาสตร์ ข้อมูลทางโบราณคดีชาติพันธุ์ของกลุ่มชาติพันธุ์ที่ยังถลุงหรือตีเหล็กในปัจจุบัน และงานประติมากรรม ดังนี้

1. ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow) ปรากฏในภาพถ่ายเก่าจำนวน 1 ภาพ โดยเป็นระบบสูบลมที่ใช้สำหรับการตีเหล็ก (Smithing) ประกอบด้วยกระบอกสูบลมที่ทำจากท่อนซุงไม้จำนวน 2 กระบอก มีด้านไม้สำหรับชักลมเข้าออกทั้งสองกระบอกที่ส่วนท้ายของกระบอกลมทั้งสองกระบอกที่มีท่อลมยื่นออกมาบรรจบกันที่ปลายท่อหุ้มท่อลมดินเผาที่มีลักษณะเป็นทรงกรวยเชื่อมต่อกับผนังเตาตีเหล็ก

ภาพที่ 108 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow)
ที่มา หอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร

ลักษณะระบบสูบลมดังกล่าวยังมีองค์ประกอบคล้ายกับบันทึกของบาทหลวงตาร์ชาร์ดที่บรรยายถึงลักษณะการถลุงเหล็กของอาณาจักรอยุธยาบริเวณหมู่บ้านรอบๆ เขาแหลมและเขาแม่เหล็ก ใกล้เมืองโบราณอู่ตะเภา อำเภอมโนรมย์ จังหวัดชัยนาถ ใจความดังนี้ “... เครื่องสูบเป่าลมที่เขาใช้กันก็แปลกเป็นกระบอกกลมๆ เหมือนลูกโป่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางราวเจ็ดหรือแปดนิ้วฟุต กระบอกแต่ละอันมีลูกสูบด้วยเชือก ชายแต่เพียงคนเดียวนั่งอยู่บนม้านั่งตัวเล็กๆ ถ้าเขาต้องการจะนั่ง ถือลูกสูบนี้ไว้มือละอัน มีคันชักยาวเพื่อลดลงและยกขึ้นสลับกันไปเป็นจังหวะ

[169] Radomir Pleiner, **Iron in archaeology : The European bloomery smelter** (Praha: Archeologický ústav AVČR, 2000), 196.

ลูกสูบที่ชักขึ้นนั้นอัดลมเข้าไป เพราะตอนบนของกระบอกนั้นกว้างกว่าตอนล่างเล็กน้อย เมื่อกดลูกสูบอันเดียวกันนั้น ลมจะดันอันอย่างแรงเข้าไปในกระบอกไม้ไผ่ที่เชื่อมอยู่กับเตาสูบ..."[170]

นอกจากนี้ที่โบราณสถานจันทิสุกุ (Candi Sukuh) บริเวณเทือกเขาลาวู (Lawu) เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นศาสนสถานเนื่องในศาสนาฮินดู ปรากฏภาพสลักนูนต่ำแสดงการร่วมทำเครื่องมือเหล็กของอรชุน ภีมะ และพระพิฆเณศ โดยอรชุนแสดงท่าทางกำลังสูบลมจากเครื่องสูบลมแบบ "Double piston bellow" กำหนดอายุราวพุทธศตวรรษที่ 20[171]

ภาพที่ 109 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow) ปรากฏในภาพสลักนูนต่ำโบราณสถานจันทิสุกุ (Candi Sukuh) บริเวณเทือกเขาลาวู (Lawu) เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย

ที่มา Stanley J. O'Connor (1985). "Metallurgy and Immortality at Candi Sukuh, Central Java". **Indonesia**. 39 : 57.

ระบบท่อลมดังกล่าวอาจใช้สืบทอดในกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยมาจนถึงก่อนปี พ.ศ. 2477 โดยเฉพาะเตาถลุงเหล็กชาวลัวะ บ้านบ่อหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ที่นายฮัทชินสันได้บันทึกเอาไว้เมื่อปี พ.ศ.2477 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกันกับข้างต้น ใจความดังนี้ "...ชาวละว้าบ้านบ่อหลวง จังหวัดเชียงใหม่ มีวิธีการถลุงเหล็ก โดยทั้งผู้ชายและผู้หญิงจะไปเก็บแร่ที่เหมืองเหล็กซึ่งอยู่ตามพื้นแล้วจะแบกตะกร้าที่ใส่ก้อนแร่นี้กลับบ้าน และแสดงวิธีถลุงซึ่งเลิกทำวิธีนี้ไป

---

[170] ตาชารด์, กีย์, **จดหมายเหตุการเดินทางสู่ประเทศสยามครั้งที่ 1 และจดหมายเหตุการเดินทางครั้งที่ 2 ของบาทหลวงตาชารด์** (กรุงเทพ : ศรีปัญญา, 2551), 292 – 293.

[171] Stanley J. O'Connor (1985). "Metallurgy and Immortality at Candi Sukuh, Central Java". **Indonesia**. 39: 53–70.

นานแล้วให้ดู ที่เตารูปสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาด 2 ฟุตครึ่งทั้งสามด้าน ใส่ถ่านที่ด้านบน มีท่อลมทำจากไม้ไผ่แล้วต่อกับท่อที่ทำด้วยดินเผาด้วยท่อไม้ไผ่สองท่อเพื่ออัดลมใส่ไปในเตา แล้วมีคนชักคันไม้ที่ท่อลมขึ้นลง..."[172]

ในปัจจุบันสามารถพบการใช้ระบบสูบลมลักษณะดังกล่าวข้างต้นในกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ซึ่งอาศัยอยู่ทางตอนเหนือของประเทศลาว โดยชาวละเม็ดถือเป็นกลุ่มชาติพันธุ์เดียวกันกับชาวลัวะในกลุ่มตระกูลภาษามอญ-ขแมร์[173] หากแต่ลักษณะกระบอกสูบค่อนข้างใหญ่และยาว

ภาพที่ 110 ระบบสูบลมแบบสองลูกสูบ (Double piston bellow) ของกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ในประเทศลาว

ที่มา Olivier Évrard, Thomas O. Pryce, Guido Sprenger and Chanthaphilith Chiemsisouraj, "Of myths and metallurgy: Archaeological and ethnological approaches to upland iron production in 9th century CE northwest Laos" **Journal of Southeast Asian Studies**, 47(1), 119

[172] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินทร, เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการโครงการเมธีวิจัยอาวุโส ส.ก.ว. เรื่อง "ยุคเหล็กในประเทศไทย : พัฒนาการทางเทคโนโลยีและสังคมกับพิพิธภัณฑ์และประวัติศาสตร์ท้องถิ่น : กระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน 26 -27 พฤศจิกายน 2540 ณ ห้องประชุมวิชาการ ชั้น 4 ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร (กรุงเทพมหานคร : ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร. 2540), เอกสารอัดสำเนา, 37-38.

[173] Olivier Évrard, Thomas O. Pryce, Guido Sprenger and Chanthaphilith Chiemsisouraj, " Of myths and metallurgy: Archaeological and ethnological approaches to upland iron production in 9th century CE northwest Laos" in **Journal of Southeast Asian Studies**, 47(1), 117.

2. กระบอกสูบแบบลูกสูบเดียว (Single piston bellow) เป็นกระบอกสูบที่ทำจากท่อนซุงเพียงหนึ่งท่อนโดยกระบอกสูบจะวางตัวในแนวนอนระนาบมีฐานแผ่นไม้รองรับที่ปลายด้านหนึ่งมีคันชักส่วนตรงกลางของกระบอกสูบมีท่อลมยื่นออกมาที่ปลายท่อมีท่อหุ้มปลายท่อลมดินเผาเชื่อมต่อเขากับเตาเผา ลักษณะกระบอกสูบลมนี้ปรากฏให้เห็นในกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ในประเทศลาวและกลุ่มชาติพันธุ์ม้ง ในประเทศไทย เป็นที่น่าสังเกตว่ากระบอกสูบลักษณะนี้มีความคล้ายคลึงกับกระบอกสูบลมในการถลุงทางอ้อมสมัยราชวงศ์ชิงของจีนหากแต่ของจีนนั้นจะมีรูปแบบเป็นทรงสี่เหลี่ยมและมีขนาดค่อนข้างใหญ่

ภาพที่ 111 กระบอกสูบแบบลูกสูบเดียว (Single piston bellow) ของกลุ่มชาติพันธุ์ละเม็ด ในประเทศลาว
ที่มา Olivier Évrard, Thomas O. Pryce, Guido Sprenger and Chanthaphilith Chiemsisouraj, "Of myths and metallurgy: Archaeological and ethnological approaches to upland iron production in 9th century CE northwest Laos" **Journal of Southeast Asian Studies,** 47(1), 118.

3. กระบอกสูบแบบเหยียบ (Foot-operated bough-sprung bellow) เป็นกระบอกสูบที่ใช้แรงเหยียบจากปลายเท้า พบในเตาถลุงเหล็กในอนุทวีปอินเดียเช่นเตาถลุงเหล็กทรงสูง (Sharf furnace) ของกลุ่มชาติพันธ์ในเมืองอักกาเรีย (Agaria) ประเทศอินเดีย เป็นต้น[174] ส่วนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบในกลุ่มชาติพันธุ์กุย โดยเป็นท่อสูบลมขนาดใหญ่ 2 ข้างเตาถลุงที่ใช้แรงงานคนในการสูบข้างล่ะ 4 คน โดยต้องสูบลมเป็นระยะเวลา 14 ถึง 15 ชั่วโมงในช่วยการถลุงเหล็ก[175]

---

[174] Rina Shrivasti, "Smelting furnace in ancient india" in **Indian Journal of History of Science**, 34 (1), 1999, 41.

[175] Thomas Oliver Pryce and Other, "The Iron Kuay of Cambodia: tracing the role of peripheral populations in Angkorian to colonial Cambodia via a 1200 year old industrial landscape" in **Journal of Archaeological Science,** 47 (2014), 144.

จากการข้างต้นเมื่อประเมินจากหลักฐานทางโบราณคดีที่พบทำให้สันนิษฐานได้ว่าระบบท่อลมของเตาถลุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นระบบสูบลมสองลูกสูบ (Double piston bellow) สอดคล้องกับหลักฐานเอกสารทางประวัติศาสตร์ล้านนาที่กล่าวถึง “เส่า” ซึ่งหมายถึงที่สูบลมในลักษณะดังกล่าวไปข้างต้น สำหรับตำแหน่งเชื่อมระหว่างท่อลมกับเตาอยู่บริเวณท้ายเตาหรือก้นเตา โดยพบในการขุดแต่งเตาถลุงหมายเลข BNT#005 ที่บริเวณก้นเตามีการเจาะช่องรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ช่องดังกล่าวจึงเป็นช่องสำหรับสอดท่อลมเข้าไปยังเตาถลุง

7.5.2 กรรมวิธีการถลุงเหล็ก

จากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 6 นำไปสู่ข้อสันนิษฐานว่าแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มเป็นแหล่งถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 มีการผลิตทั้งเพื่อเป็นการส่งส่วยเหล็กและใช้ผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีการถลุงเป็นการถลุงแบบทางตรง (Direct Process) อุณหภูมิในการถลุงประมาณ 1,175 – 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสินแร่เหล็กและเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1 : 2 และไม่มีการใส่เชื้อถลุง (Flux) จำพวกสารประกอบแคลเซียมไดออกไซต์หรือหินปูน เมื่อดำเนินการสร้างเตาแล้วเสร็จ จะทำการอุ่นเตาให้แห้งโดยการใส่เชื้อเพลิงเข้าไปส่วนหนึ่ง เมื่อเตาแห้งแล้วจึงทำการถลุงเหล็ก ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางโบราณโลหะวิทยาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการถลุงเหล็กในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มใช้เทคนิคการถลุงทางตรง (Direct Process) โดยเริ่มต้นจากการนำสินแร่เหล็กที่ย่อยได้ขนาดและทำความสะอาดแล้ว คลุกเคล้าเข้ากับถ่านไม้ ในการถลุงจะกำหนดอัตราส่วน เหล็ก (1) ต่อถ่าน (2) จากนั้นจึงสูบลมเพื่อเร่งอุณหภูมิภายในเตาให้สูงจนถึงระดับ 1,175 – 1,200 องศาเซลเซียส โดยในระหว่างการถลุงจะต้องเติมถ่านไม้เป็นระยะๆ เพื่อให้ห้องเตาเกิดปฏิกิริยารีดักชั่น (Reduction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการเพิ่มก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ในห้องเตาให้ถึงระดับที่สามารถทำปฏิกิริยากับสินแร่เหล็กโดยดึงก๊าซออกซิเจนออกจากแร่เหล็ก ทำให้สินแร่เหล็กกลายสภาพเป็นเหล็กที่มีลักษณะเป็นก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) ได้ ส่วนธาตุอื่นๆ ที่ผสมอยู่ในแร่เหล็กรวมถึงผนังเตาหรือปลายหุ้มท่อลมดินเผาก็จะถูกหลอมละลายกลายเป็นตะกรัน สะสมตัวอยู่ใต้ก้นเตา การถลุงตามกรรมวิธีทางตรงดังกล่าวข้างต้นจะได้ก้อนเหล็กแข็งหรือกึ่งของแข็งมีตะกรันปะปน (Bloom) จะยังมีตะกรันปะปนค่อนข้างมากต้องนำไปหลอมในเตาตีเหล็ก (Smithing) อีกครั้ง เพื่อตีเอาเศษตะกรันหรือมลทินออก จนเหลือแต่มวลเหล็กอ่อนบริสุทธิ์ที่เรียกว่า “Wrought Iron”[176] แล้วจึงนำไปผลิตเครื่องมือเครื่องใช้เหล็กต่อไป

สำหรับการถลุงแร่เหล็กนั้นมีลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 แบบในขณะทำการถลุงคือปฏิกิริยารีดักชั่นที่ทำให้เหล็กออกไซต์กลายเป็นเหล็กและปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดตะกรันแร่เหล็กเหลว (liquid Slag)[177]จากการหลอมละลายมลทินภายในก้อนแร่เหล็ก ในการถลุงเหล็กจะต้อง

---

[176] สุรพล นาถะพินธุ, **รากเหง้า บรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2550), 172-173.

[177] The Historic Metallurgy Society, **Iron bloomery smelting and associated process,** acessed November 24, 2021, available from http://hist-met.org/images/pdf/HMSdatasheet301.pdf.

กำจัดออกไซต์รวมทั้งมลทินเพื่อให้เหลือเหล็กบริสุทธิ์ โดยการกำจัดออกซ์ไซต์ออกจากเหล็กสามารถทำได้โดยการใส่เชื้อเพลิงประเภทถ่านซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้จากลมที่อัดเข้าไปในห้องเผาจะก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ ดังสมการทางเคมีดังนี้

$$2C(solid) + O_2(gas) \longrightarrow 2CO\ (gas)$$

ในก้อนแร่เหล็กยังมีน้ำปะปนอยู่ภายในเนื้อแร่ซึ่งเมื่อทำการถลุงเหล็กจนถึงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส น้ำจะระเหยออกจากก้อนแร่เหล็ก ดังสมการเคมีดังนี้

$$2FeOOH \longrightarrow Fe_2O_3 + H2O$$

อย่างไรก็ตามในแหล่งโบราณคดีบางแห่งอาจมีการย่างแร่เพื่อกำจัดน้ำออกจากก้อนแร่ก่อนนำมาถลุง ปฏิกิริยาการกำจัดออกไซต์ของเหล็กจะเกิดขึ้นทันทีที่เริ่มทำการถลุง เมื่อเกิดการเผาไหม้ภายในห้องเผาซึ่งก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ ก๊าซดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากำจัดออกซิเจนที่คู่กับอะตอมของเหล็ก เมื่อทำการกำจัดออกไซต์ออกแล้วจึงเหลือเหล็กบริสุทธิ์ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่อุณภูมิประมาณ 720 องศาเซลเซียส ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์จะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์และถูกกำจัดออกทางปล่องของเตาถลุง ดังสมการเคมี

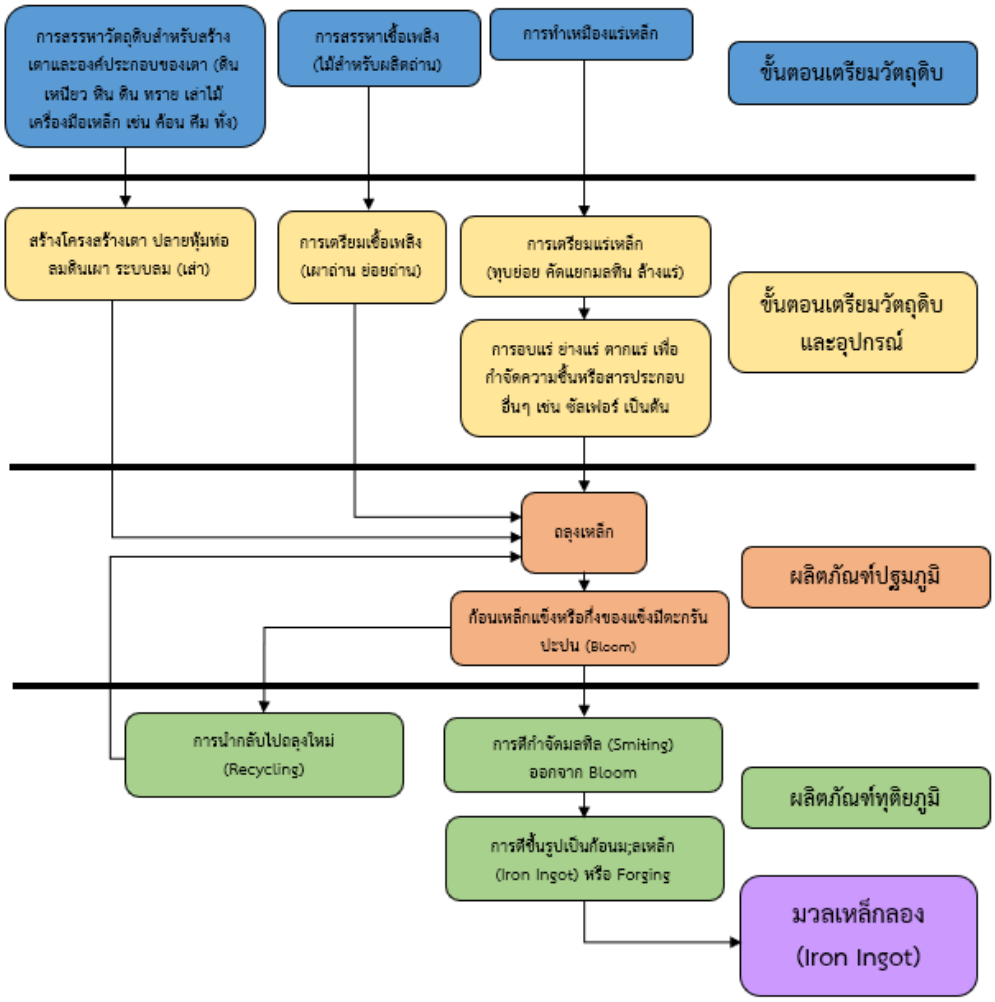
$$3Fe2O3\ (solid) + CO\ (gas) \longrightarrow 2Fe3O4\ (solid) + CO_2\ (gas)$$

$$Fe_3O_4(solid) + CO\ (gas) \longrightarrow 3FeO\ (solid) + CO_2\ (gas)$$

$$FeO\ (solid) + CO\ (gas) \longrightarrow Fe\ (solid) + CO_2\ (gas)$$

$$2CO\ (gas) + O_2\ (gas) \longrightarrow 2CO_2\ (gas)$$

ส่วนการกำจัดมลทินออกจากก้อนแร่จะเกิดขึ้นที่อุณภูมิหลอมเหลว 1,200 องศาเซลเซียส ตะกรันหลอมเหลวซึ่งประกอบด้วยซิลิกา เศษเถ้าถ่าน รวมทั้งเศษชิ้นส่วนผนังเตาที่ถูกหลอมเหลวจะจมลงใต้ก้นเตา โดยตะกรันดังกล่าวยังช่วยในการเคลื่อนตัวของเหล็กเหลวและห่อหุ้มเหล็กดังกล่าวไม่ให้เกิดปฏิกิริยารีออกซิเดชั่นอีกครั้งในขณะที่เหล็กหลอมเหลวเคลื่อนตัวลงสู่บริเวณบริเวณด้านหน้าท่อลม ดังนั้นในการถลุงเหล็กทางตรงจึงปรากฏตะกรันเหล็กห่อหุ่มกับก้อนเหล็กเหลวหนืด (Bloom) โดยในระดับโครงสร้างภายใน ตะกรันเหล็กจะประกอบด้วยผลึกฟายาไลต์ (fayalite-$2FeO.SiO_2$) สามารถพบเฟสของเหล็กอิสระหรือวูซไทต์ (wüstite) และเฟสแก้ว (glassy matrix)[178] มีห่วงโซ่กระบวนการผลิตทาง ตั้งแต่แรกเริ่มกระบวนการดังแผนภูมิต่อไปนี้



ภาพที่ 112 ห่วงโซ่กระบวนการผลิตเหล็ก (Chaîne Opératoire of Iron Ingot Production) ของแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่

[178] Ineke Joosten, **Technology of early historical iron production in the Netherland** (Amsterdam: Vrije University, 2004), 7 - 10.

อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากระบวนการถลุงเหล็กข้างต้นจะมีลักษณะโดยทั่วไปของกระบวนการถลุงเหล็กทางตรงแบบโบราณ หากแต่ผู้วิจัยพบว่า ในขั้นตอนปฐมภูมิหากการถลุงเหล็กไม่สำเร็จ สามารถนำเอาก้อนเหล็กที่ปะปนร่วมกับตะกรันนำไปหลอมเหลวหรือถลุงใหม่อีกครั้งได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองถลุงโดยใช้เศษเหลือทิ้งดังกล่าวมาถลุงได้สำเร็จในการทดลองทางโบราณโลหะวิทยาในเตาถลุง BNT OPERATION02/2022 ซึ่งการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่นี้ถือเป็นการนำว่าเป็นวัตถุในขั้นตอนปฐมภูมิอีกครั้งซึ่งนายช่างถลุงเหล็กสมัยโบราณในปัจจุบันก็ยังใช้วิธีดังกล่าวด้วย

ภาพที่ 113 การทดลองถลุงโดยใช้เศษเหลือทิ้งดังกล่าวมาถลุงในการทดลองทางโบราณโลหะวิทยาในเตาถลุง BNT OPERATION02/2022

กล่าวโดยสรุปจากการดำเนินงานตามวิธีวิทยาประยุกต์ที่กล่าวไปในบทที่ 5 สามารถสังเคราะห์และตรวจสอบข้อสันนิษฐานห่วงโซ่กระบวนการผลิตทางโบราณคดีของเตาถลุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มได้ โดยพบว่าการถลุงเหล็กของเมืองลองโบราณยังคงรักษาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงไว้แม้ว่าในสมัยรัตนโกสินทร์จะรู้จักการถลุงเหล็กทางอ้อมแล้วก็ตาม โดยกระบวนการผลิตเหล็กของเมืองลองมีลักษณะที่มีการควบคุมมาตรฐาน ซึ่งผู้วิจัยจะได้วิเคราะห์และตีความขยายประเด็นดังกล่าวในบทที่ 8

บทที่ 8
เหล็กเมืองลอง: ภาพสะท้อนบริบททางประวัติศาสตร์ สังคมและเศรษฐกิจของเมืองลองในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 จากหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการวิจัยตามกระบวนการโบราณคดีทั้งหมดมาวิเคราะห์ สังเคราะห์และตีความบริบททางประวัติศาสตร์ สังคม เศรษฐกิจของเมืองลองในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 จากหลักฐานทางโบราณคดีและประวัติศาสตร์ซึ่งสะท้อนจากกระบวนการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณที่มีความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยี สังคม วัฒนธรรมและพฤติกรรมในอดีตของผู้คนเมืองลองในอดีต

8.1 ระบบการผลิตเหล็กของเมืองลอง

8.1.1 ผู้ผลิต โครงสร้างทางสังคม และผู้บริโภคที่มีผลต่อระบบการผลิตเหล็ก

ในระบบการผลิตผู้ผลิต ผู้บริโภคและโครงสร้างทางสังคม ต่างมีความสัมพันธ์กันโดยจะขาดอย่างใดอย่างหนึ่งมิได้ หากขาดอย่างใดอย่างหนึ่งก็จะทำให้ไม่เกิด “การผลิต” และ “ผลผลิต” ขึ้นได้ ปัจจัยทั้งสามจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบการผลิตเหล็กในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 กล่าวคือ ในเมืองลองโบราณ “ผู้ผลิต” เป็นผู้ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรให้เป็นสินค้าและบริการซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค โดยนำทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิต ซึ่งเป็นทรัพยากรเศรษฐศาสตร์มาแปรสภาพโดยกระบวนกการผลิตและสิ่งที่ได้คือผลผลิต ซึ่งอยู่ในรูปของสินค้าต่างๆ โดยเมืองลองถือเป็นผู้ผลิตเหล็กหลักส่งให้เมืองนครลำปาง โดยมีลักษณะเป็นจารีตประเพณีที่สืบทอดกันมาในลักษณะการ “ส่งส่วย” เมืองลองจะต้องทำการผลิตเหล็กให้ได้ตามจำนวนที่กำหนดเอาไว้ โดยในเอกสารทางประวัติศาสตร์ระบุว่าเมืองลองจะต้องส่งส่วยเหล็กให้เมืองนครลำปางเป็นจำนวนไม่ต่ำกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อปี

อย่างไรก็ตามเราสามารถแบ่งผู้ผลิตออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ผลิตที่อยู่บนชั้นชนปกครองและผู้ผลิตที่อยู่ในชนชั้นแรงงาน โดยผู้ผลิตกลุ่มแรกเป็นผู้ออกคำสั่งในการผลิตเหล็กให้กับกลุ่มผู้ผลิตที่อยู่ในชนชั้นแรงงาน โดยคำสั่งในการผลิตเหล็ก (Order) นั้นเป็นไปตามข้อผูกพันธ์หรือพันธะที่มีการส่งส่วยให้กับเมืองนครลำปาง หาได้เป็นคำสั่งสินค้าที่มาจากท้องตลาดทั่วไป ทั้งนี้ ผู้ผลิตกลุ่มแรกมักเป็นชนชั้นปกครองของเมืองลอง ซึ่งในจารีตของล้านนามักมีตำแหน่งลดลั้นกันลงไปจากตำแหน่งเจ้าเมืองลองและเป็นที่น่าสนใจว่าเมืองลองมีการแบ่งโครงสร้างทางสังคมที่มีการแยกหน่วยการผลิตเหล็กออกมาโดยเฉพาะ กล่าวคือในช่วงพุทธศตวรรษที่ 23 ถึง 25 ลักษณะโครงสร้างทางสังคมของเมืองลองมีเจ้าหลวง มียศเป็น “แสนหลวง” หรือ “พญา” พญาแสนท้าว 12 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่ พ่อเมืองทั้ง 4 มีอำนาจรองลงมาจากเจ้าหลวง เป็นผู้ช่วยเจ้าเมืองและหัวหน้าขุนนางเค้าสนามหลวง มีพญาวังใน ปฐมเสนาบดี มีหน้าที่ด้านการปกครอง พระราชสมบัติ มีหน้าที่ด้านการคลัง พญาประเทศโสหัตติ มีหน้าที่ด้านการยุติธรรม และพญาเมืองชื่น มีหน้าที่จัดเลี้ยงผีเมือง ผีบ่อเหล็ก เกณฑ์ขุดเหล็ก ทำส่วยเหล็ก และส่วยอื่นๆ และขุนทั้ง 8 ประกอบด้วย แสนบ่อ ดูแลรักษาบ่อ

เหล็กและบ่อแร่ธาตุต่างๆ เกณฑ์ช้างม้า ควบคุมขบวนส่วยเหล็ก เกณฑ์ช่างทำอาวุธ หมื่นกลางโฮงดูแลและจัดการเรื่องการซ่อมแซมต่างๆ หมื่นกลางศาล ดูแลเรื่องต่างๆ ในเค้าสนามหลวง จเรหลวงเป็นอาลักษณ์คัดลอกคัมภีร์หรือจดบันทึกเอกสารต่างๆ หัวศึกเมือง เกณฑ์ไพร่พลยามศึกสงครามเสนารักษ์ ดูแลเหมืองฝาย ล่ามเมือง จัดการเป็นล่าม คนกลาง และดูแลแขกบ้านแขกเมือง และแสนวัด ดูแลซ่อมแซมพระธาตุต่างๆ ในเมืองลอง[179]

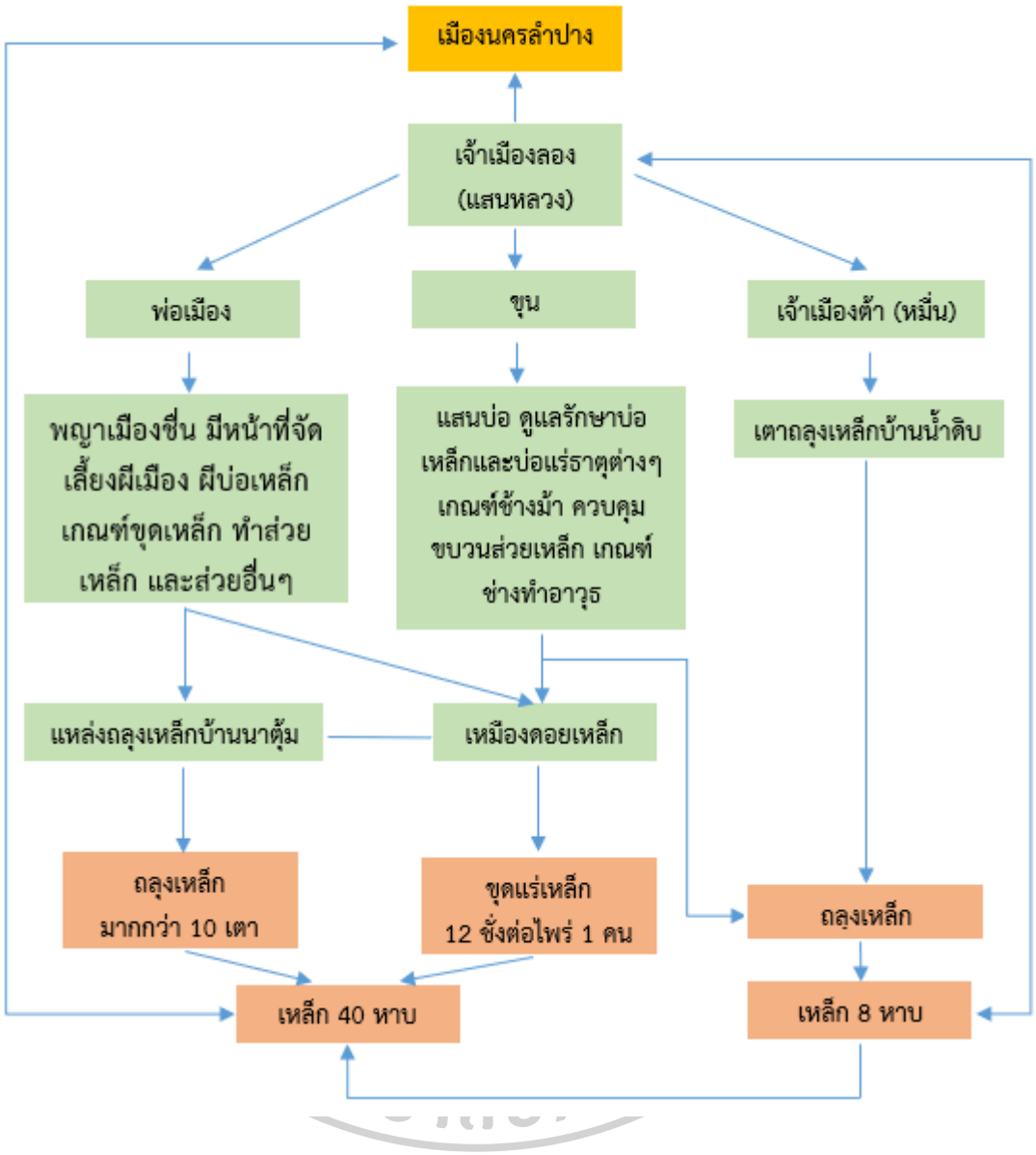
ลักษณะโครงสร้างทางสังคมดังกล่าวน่าจะมีการวางรากฐานมาจากโครงสร้างรัฐจารีตของอาณาจักรล้านนาโดยเฉพาะเรื่องการเก็บส่วยที่มีมาตั้งแต่พญาหัวเมืองแก้วเป็นเจ้าเมืองลอง ตรงกับรัชสมัยพระเจ้าติโลกราชและรัชสมัยพญายอดเชียงราย ซึ่งมีความแตกต่างจากลักษณะโครงสร้างทางการเมืองของหัวเมืองใหญ่ในอาณาจักรล้านนาเช่น เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน และแพร่ ในช่วงก่อนการปฏิรูปการปกครองมณฑลเทศาภิบาล พ.ศ.2442 ที่มีพญาเมืองหรือเจ้าหลวงมีอำนาจสูงสุดและมีขุนนาง 4 คน ช่วยบริหารบ้านเมือง หรือ “เจ้าขันห้าใบ” ประกอบด้วยพระยาอุปราช พระยาราชบุตร พระยาราชวงศ์และพระยาบุรีรัตน์ สะท้อนให้เห็นว่า หัวเมืองที่เล็กกว่าหัวเมืองใหญ่ในอาณาจักรล้านนา เจ้าเมืองมีอำนาจในการจัดโครงสร้างทางสังคมอย่างอิสระด้วยตนเอง ในกรณีของเมืองลองเช่นเดียวกัน หากแต่โครงสร้างทางสังคมจะต้องได้รับการแต่งตั้งและรับรองจากเจ้าผู้ครองนครลำปาง โดยเจ้าผู้ครองนครลำปางได้ให้เหตุผลในการแต่งตั้งว่า “เพื่อให้รักษาพระบรมธาตุในราชอาณาเขตเมืองลอง คือ พระธาตุศรีดอนคำ พระธาตุขวยปู พระธาตุแหลมหลี่ พระธาตุปู่ตั๊บ”[180] แต่ในความเป็นจริงคือการรักษาผลประโยชน์ที่อาจได้จากเมืองลองทั้งส่วย ภาษี สิ่งของและของป่าต่างๆ ส่วนอิสระของเมืองลองเจ้าเมืองสามารถแต่งตั้งขุนนาง แสนท้าวของตนเองเป็นการภายในได้[181] จึงก่อเกิดลักษณะโครงสร้างทางสังคมที่มีลักษณะเฉพาะตัวดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

[179] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์, 2554), 205-207.

[180] หจช.ร.๕กร ๕ ม.๓๗/๑ เรื่องเมืองลองวิวาทกับเมืองนครลำปาง (ก.ย.๑๐๔ – ๒๔ มิ.ย ๑๑๐)

[181] หจช.ร๕กร ๕ รล-สต ๖/๑๙๔ ศุภอักษรเมืองนครลำปาง ตอบรายกล่าวโทษแสนหลวงเมืองลอง อย่าให้กฎขี่คมเหงแสนหลวงเมืองลอง



ภาพที่ 114 โครงสร้างหน่วยควบคุมการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณในช่วงพุทธศตวรรษที่ 23 ถึง 25

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีการยกเลิกระบบเจ้าเมืองลงไปแล้ว ตำแหน่งแสนท้าวที่สำคัญของเมือง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ หมื่นกลางโรงหรือกลางโฮง แสนบ่อ หรือพ่อเมือง ที่มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับบ่อเหล็กโดยตรง ทั้งการควบคุมการทำเหมืองเหล็ก ถลุงเหล็ก ส่งส่วยเหล็กและประเพณีเลี้ยงผีบ่อเหล็ก ยังคงมีการสืบทอดและแต่งตั้งมาจนถึงปัจจุบันโดยสามารถเรียงลำดับช่วงรอยต่อยุคที่เจ้าผู้ครองนครลำปางและผีอารักษ์แต่งตั้ง (ผ่านทางร่างทรง) ได้ โดยทั้งสามตำแหน่งมีความสำคัญมากต่อการเลี้ยงผีบ่อเหล็กลองประจำปีในปัจจุบัน

นอกจากนี้แล้วยังมีการซ้อนทับของโครงสร้างสังคมดังกล่าวในปริมณฑลอำนาจของเมืองลองด้วย โดยเมืองลองมีเมืองขึ้นจำนวน 1 เมือง คือ เมืองต้า มีเจ้าเมืองอยู่ในฐานะ “หมื่น” มีพันธะต้องส่งส่วยเหล็กให้เมืองลองปีละ 8 หาบ เช่นเดียวกัน โดยหลักฐานทางโบราณคดีที่สำรวจพบบ่งชี้ว่าเมืองต้าได้รับเอาเทคโนโลยีการถลุงเหล็กจากเมืองลองไป โดยดำเนินการถลุงเหล็กที่แหล่งโบราณคดีบ้านน้ำดิบ (ปัจจุบันถูกทำลายไปแล้ว) ริมแม่น้ำต้า เหล็กที่ทำการถลุงได้นอกจากส่วนหนึ่งจะนำไปรวมกับเหล็กของเมืองลองเพื่อส่งไปให้เจ้าเมืองนครลำปางแล้ว เหล็กบางส่วนยังใช้ในพิธีสระเกล้าดำหัวเจ้าเมืองลองเพื่อแสดงความอ่อนน้อมว่าเป็นเมืองใต้การปกครองด้วย เมืองต้าจึงอยู่ในฐานะผู้ผลิตเหล็กให้เมืองลองอีกทอดหนึ่ง

ในแง่ผู้ผลิตที่อยู่ในชนชั้นแรงงานคือผู้ผลิตที่เป็นไพร่ของเมืองลอง โดยไพร่ในดินแดนล้านนาส่วนมากเป็นไพร่ส่วย ขึ้นตรงกับเจ้าเมืองนั้นๆ เรียกว่า “ไพร่ประจำเมือง” จะมีการเกณฑ์ไพร่เข้าสู่เมืองหลวง (เชียงใหม่ เชียงราย) ต่อเมื่อมีศึกสงครามเท่านั้น หากในช่วงสงบไพร่ก็จะส่งส่วยด้วยการส่งสิ่งของให้เจ้าเมือง เช่น สิ่งทอ งานช่าง งานฝีมือ ของป่าหรือสัตว์ป่า เป็นต้น หากไม่สามารถหาสิ่งของส่งเจ้าเมืองได้ ก็จะใช้แรงงานให้แทน ส่วนทาสนั้น ในสังคมล้านนาไม่มีการค้าขายทาส ทาสจะอยู่กับมูลนายค่อยทำงานบ้านหรืองานเกษตรกรรมให้เจ้านายต่อมามีการปฏิรูปในปี พ.ศ.2427 ทำให้ไพร่ขึ้นตรงต่อกระทรวงมหาดไทยและเลิกระบบทาสในที่สุดก่อเกิดความลื่นไหลทางสังคม (Social Mobility) ไพร่และทาสสามารถทำงานและยกระดับคุณภาพชีวิตของตนเองได้ สำหรับเมืองลองโบราณแล้วมีการเกณฑ์ไพร่ลักษณะพิเศษเกิดขึ้น คือการเกณฑ์ไพร่เพื่อทำส่วยเหล็ก ซึ่งแน่นอนว่าไพร่ที่ถูกเกณฑ์นั้นย่อมเป็นกลุ่มไพร่ที่มีความรู้ความสามารถในการถลุงเหล็ก โดยเป็นงานฝีมือของผู้ชาย ส่วนสตรีนั้นจะมีการเกณฑ์ในลักษณะงานอย่างอื่นแทนเช่น เกณฑ์ช่างฟ้อน เกณฑ์ชิ่นผ้าทอ เป็นต้น เนื่องจากงานถลุงเหล็กเป็นงานที่ต้องใช้พละกำลังอย่างมาก เช่น การขุดหาแร่ การย่อยแร่หรือการสูบเส่า เป็นต้น ลักษณะงานจึงเป็นงานที่ผู้ชายมีความสันทัดมากกว่าผู้หญิง ส่วนในระยะเวลาการเกณฑ์นั้นจะเกณฑ์ปีละหนึ่งครั้ง ส่วนการตอบแทนนั้นไม่พบหลักฐานว่ามีการตอบแทนสิ่งใดหากแต่เป็นหน้าที่ของไพร่ในการถูกเกณฑ์แรงงาน แต่อาจจะมีสถานะสูงกว่าไพร่อื่นๆ เพราะเป็นไพร่ที่มีความรู้ความสามารพิเศษที่ได้รับการอุปถัมภ์จากเจ้าเมือง ดังเช่น กลุ่มลัวะผลิตเหล็กแห่งบ่อหลวงที่เจ้าผู้ครองนครเชียงใหม่ประทานหลาบเงินไว้เป็นสัญลักษณ์สำหรับคุ้มกันชาวลัวะในราชวงศ์ทิพยจักรราช มีสถานะสูงกว่าไพร่อื่นๆ ของเมืองในฐานะช่างถลุงเหล็กหรือช่างเหล็ก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีพระราชบัญญัติการเก็บเงินค่าแรงแทนการเกณฑ์ไพร่ที่ระบุว่าต้องให้ค่าแรงแก่ราษฎรวันละ 2 สลึง แต่โดยธรรมเนียมปฏิบัติแล้ว เจ้าเมืองยังเกณฑ์แรงงานได้ตามเดิม โดยมักไม่ได้จ่ายค่าแรงตามพระราชบัญญัติดังกล่าว[182] ถ้าหากเปรียบเทียบในเมืองลองถือว่าเป็นการเกณฑ์แรงงานเฉพาะกลุ่มด้วยความเต็มใจ เพราะในขั้นตอนการถลุงเหล็กจะประกอบไปด้วยพิธีบวงสรวง พิธีเลี้ยงผีบ่อเหล็ก พิธี

[182] วีระเทพ ศรีมงคล, “การจัดเก็บภาษีอากรในล้านนา พ.ศ.2427 - 2445” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2530, 86.

ขุดเหล็ก ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ราษฎรมาร่วมใจกันกระทำ (จนถึงปัจจุบัน) โดยมีเจ้าผู้ครองนครลำปางมาเป็นประธานในพิธี เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการถลุงเหล็กและส่งเหล็กไปยังเมืองนครลำปางแล้ว ไพร่เหล่านี้ก็สามารถกลับไปทำงานและใช้ชีวิตได้ตามเดิมได้

การเกณฑ์ไพร่เพื่อมาถลุงเหล็กมีความน่าสนใจว่ากำหนดการเวลาใกล้เคียงกับที่ระบุไว้ในเอกสารโบราณ โดยเฉพาะพื้นเมืองเชียงแสนที่กล่าวถึงการเปิดบ่อเหมืองเหล็กโบราณของเมืองเชียงแสน ความว่า “...คันขุดบ่อ เดือน 3 เข้า เดือน 6 ถอน (ที่) ตั้งตาแหลวมีฉันนี้...” กล่าวคือมีการทำการเปิดบ่อเหมืองดอยเหล็กและทำการถลุงเหล็กในช่วงเดือน 3 ขึ้น 3 ค่ำ ประมาณช่วงเดือนธันวาคม และเลี้ยงผีปิดบ่อเหล็กในเดือน 9 ขึ้น 9 ค่ำ ประมาณช่วงเดือนมิถุนายน เป็นระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งปัจจุบันก็ยังคงสืบทอดประเพณีเลี้ยงผีบ่อเหล็กในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังสะท้อนให้เห็นว่าการส่งส่วยเหล็กไปยังเมืองนครลำปางจะกระทำแค่ปีละครั้งในช่วงเดือนดังกล่าวนี้

สำหรับทักษะของกลุ่มช่างถลุงเหล็กนั้นต้องมีความชำนาญตั้งแต่การแบ่งหน้าที่ การหาแร่เหล็กคุณภาพ (โดยคำสั่งของเจ้าเมือง) โดยเมืองลองมีแหล่งแร่เหล็กฮีมาไทต์ที่มีคุณภาพมาจากดอยเหล็ก โดยไพร่หนึ่งคนจะต้องสามารถหาแร่ฮีมาไทร์ให้ได้ 12 ชั่ง[183] การย่อยแร่ที่ต้องย่อยให้ได้ขนาดเท่ากันในแต่ละครั้งของการถลุงซึ่งจากหลักฐานทางโบราณคดีที่ขุดค้นพบในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มพบว่ามีการย่อยแร่ที่ได้ขนาดที่เท่ากันในแต่ละก้อนก่อนการนำไปถลุง การควบคุมระบบลมที่จะดันเข้าไปในห้องเผาซึ่งต้องใช้ทักษะในการกำหนดความหนักเบาของแรงกดเส่า การคำนวนณระยะเวลา หรือเทคนิคในการถลุงเหล็กพบว่ามีการปล่อยให้เตาเย็นตัวลงก่อนการนำก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) ออกจากเตาทำให้เกิดเฟสฟายาไลต์ Fayalite ขนาดใหญ่ในตะกรันเหล็กเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์หรือการนำเอาก้อนเหล็กกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Bloom) ออกจากเตาแล้วนำเอาไปกำจัดมลทินอีกครั้งด้วยการให้ความร้อนและการตี (Smithing) เป็นต้น

ผู้บริโภค เป็นบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่เป็นผู้ใช้สินค้าและหรือรับบริการคนสุดท้ายที่ผลิตขึ้นภายในระบบสังคม ในระบบการผลิตเหล็กของเมืองลอง ผู้บริโภค คือ เจ้าหลวงและเจ้านายเมืองนครลำปางเป็นผู้ได้รับผลประโยชน์จากการได้ส่วยเหล็กและผลประโยชน์อื่นๆ ในเขตเมืองลองผ่านทางเจ้าเมืองลอง หลักฐานทางประวัติศาสตร์ระบุว่าเมืองลองเริ่มส่งส่วยให้เมืองนครลำปางหลังจากที่พระเจ้าติโลกราชสิ้นพระชนม์ โดย ณ ขณะนั้นมีราชวงศ์ช้างปานเป็นราชวงศ์พื้นถิ่นของเมืองลอง มีพญาหัวเมืองแก้ว เป็นเจ้าเมืองลอง ต่อมาในปี พ.ศ.2060 พญาช้างแดงได้เป็นเจ้าเมืองลองและเป็นต้นราชวงศ์เจ้าช้างแดง ปกครองเมืองลอง หากแต่ยังคงขึ้นตรงกับเมืองนครลำปางจนกระทั่งอาณาจักรเชียงใหม่ตกเป็นเมืองขึ้นของอาณาจักรพม่าเมืองลองมีอิสระอยู่ช่วงหนึ่ง โดยเป็นเมือง 1 ใน 57 หัวเมืองล้านนาของอาณาจักรพม่า การส่งส่วยจึงเปลี่ยนเป็นการส่งส่วยเหล็กให้เมืองเชียงใหม่รวบรวมและส่งให้อาณาจักรพม่าแทนอีกทอดหนึ่ง โดยมีเอกสารระบุว่าราชสำนักพม่าให้เมืองใน

[183] ภูเดช แสนสา, **เมืองลอง** (แพร่ : สภาวัฒนธรรมจังหวัดแพร่, 2555), 117.

ล้านนาส่งส่วยเหล็กให้จำนวนหนึ่ง ต่อมาในสมัยราชวงศ์เจ้าช้างปานปกครองเมืองลองเมืองลองส่งส่วยเหล็กให้เมืองลำปางดังเดิมและเมืองลำปางมีอำนาจในการแต่งตั้งและรับรองเจ้าเมืองลองและเป็นประธานในการเลี้ยงผีบ่อเหล็กลองประจำทุกปี

ในสมัยพญาขัณฑสีมาโลหะกิจเป็นเจ้าเมืองลอง เมืองนครลำปางทำการควบคุมเมืองลองมากยิ่งขึ้น เนื่องด้วยมีทรัพยากรแร่เหล็ก นอกจากนี้เหล็กเมืองลองยังเป็นที่รับรู้ว่าเป็นเหล็กที่มีความแข็งแกร่งทนทาน โดยในสมัยพญาสุวฤๅไชยใช้เหล็กเมืองลองกอบกู้อิสรภาพจากเมืองลำพูน การควบคุมการผลิตเหล็กจึงเข้มข้นขึ้น จนเกิดประเพณีเลี้ยงผีบ่อเหล็กขึ้น เพื่อเป็นกลไกในการคุ้มครองและรักษาเอกสิทธิ์ในการผลิตเหล็กของเจ้าเมืองลองและการได้มาซึ่งส่วยเหล็กของเจ้าผู้ครองนครลำปางจนกระทั่งเจ้าบุญวาทย์วงศ์วาณิชถึงแก่พิราลัย การส่งส่วยเหล็กจึงยุติลง ส่วนการผลิตเหล็กยังดำเนินต่อมาจนกระทั่งมีการนำเข้าเหล็กจากต่างประเทศ เหล็กเมืองมีการผลิตแต่ในครัวเรือนเท่านั้น การส่งส่วยเหล็กของเมืองลองมีบันทึกในเอกสาราชการของรัฐบาลสยาม ความว่า

“เขตรแขวงเมืองลอง นครลำปางต่อกันกับเมืองลองนั้นเรียกว่า หนองม้า หนองม้านั้นอยู่บนยิดเขาทางที่จะไปเมืองลอง มีเขาคั่นกันอยู่ถึงเมืองเถิน ที่**เมืองลองเสียส่วยแก่เมืองนครมีแต่เหล็กสิ่งเดียว** ถ้ามีราชการขึ้นก็จะเกณฑ์เอากับแสนหลวงเจ้าเมืองลองตามการใหญ่แลน้อย ถ้าเป็นการใหญ่ก็เคยเกณฑ์ตั้งแต่ 50 40 คนลงมา บาญชีคนชะกันสำมะโนครัวเมืองลองไม่มีมาแต่เดิมจะมีคนมากน้อยเท่าไหร่ก็**เรียกส่วยปีละ 40 หาบ**เท่านั้น ป่าไม้ขรศักในแขวงเมืองลองนั้นมีอยู่ 5 ตำบล คือ แม่สิน แม่สุง แม่แปง แม่กาง แม่ลาน ในป่าไม้เหล่านี้ ได้ให้ร้อยสุนะทำป่าแม่สิน แม่สุง แม่แปง แม่กางไม่มีหนังสือสัญญา มีแต่หนังสืออาษยาให้ร้อยสุนะ ส่างยี่ ทำ ป่าไม้แม่ลานนั้นได้ทำหนังสือสัญญา 16 ข้อให้กับสะลากองแข่งทำ แต่ไม่ได้ประทับตราสารต่างประเทศเมืองนครเชียงใหม่ มีแต่ตราเจ้านครลำปางผู้เดียว สะล่ากองแข่งได้การไม้ไว้ได้ 200 เสฐ สะล่ากองแข่งก็ถึงแก่กรรม ครั้น ณ วัน 5 6 2 ค่ำ ปีมแมเบญศก ข้าพระพุทธเจ้าออกจากเมืองนครลำปางไปเมืองลอง ไปจากเมืองนครลำปางประมาณ 300 เส้นเสฐ มีบ้านพม่า บ้านเงี้ยว บ้านลาว เรียกชื่อว่าบ้านป่าขาม ที่หนองม้ามีน้ำไหลตกไปเมืองลองทางหนึ่งเรียกว่าห้วยแม่กาง ตกมามเองนครลำปางทางหนึ่ง แสนหลวงเจ้าเมืองลองใช้ แสนสิทธิ หนานขัติยะ แสนอำนาจ กับไพร่ประมาณ 30 คน มาคอยรับอยู่ที่ภัก ทำที่ภักให้พระยาราชสัมภารากรกับพระยาวังซ้าย แต่เมืองลองนั้นแต่เดิมเรียกชื่อ เมืองเววาทะภาษรี มีพงศวดารมาแต่ครั้งก่อน แต่**สินค้าที่เมืองลองมีไม่ขรศัก เหล็ก เข้าเปลือก ฝ้าย ยาสูบ ขี้พึ่ง ราคาเหล็กชั่งละสลึง** เข้าเปลือกหมื่นละห้ารูเปีย คิดเป็นสัด 25 ทนานๆ แปดร้อยสามสิบ 4 สัดเป็นเงิน 1 รูเปีย ฝ้ายราคาหกชั่งเป็นเงิน 1 รูเปีย ยาสูบราคา 4 ชั่ง เป็นเงิน 1 รูเปีย ขี้พึ่งราคาชั่งละกึ่งตำลึง...หนองอ้อพรมแดนเมืองลองกับเมืองต้า ผาลาดพรมเดือนเมืองลองกับเมืองนครลำปาง เขตรแขวงเมืองลองตะวันออกพรมแดนต่อเมืองแพร่ ตะวันออกเฉียงเหนือพรหมแดนต่อเมืองต้า ค่างเหนือต่อเมืองนครลำปาง ตะวันตกพรมแดนเมืองเถิน ตะวันตกเฉียงใต้พรมแดนต่อเมืองสวรรคโลก ค่างใต้พรมแดนต่อ

เมืองลับแล แต่ทางตะวันออกที่ต่อกับเมืองแพร่นั้น ยังไม่ตกลงกันฝ่ายเมืองแพร่ว่าต่อกันที่วังเงินฝ่ายเมืองลองว่าต่อกันที่หาดปาน..."[184]

เหล็กเมืองลองที่ผลิตได้จะส่งไปเค้าสนามหลวงเมืองลอง เพื่อจัดส่งไปเค้าสนามหลวงเมืองนครลำปาง ส่วยเหล็กที่เหลือจะนำมาแบ่งให้กับไพร่ที่เกณฑ์เพื่อไปใช้ในการทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ[185] มวลเหล็กจะถูกแบ่งให้กับเจ้าผู้ครองนคร เจ้าอุปราช เจ้าราชวงศ์ เจ้านายอื่นๆ[186] อีกส่วนหนึ่งใช้ในการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้นำออกขาย ในตลาดของเมืองลำปางเนื่องจากในขณะนั้นเมืองนครลำปางถือเป็นตลาดการค้าขนาดใหญ่ที่สุดในภาคเหนือรองจากเมืองนครเชียงใหม่

8.1.2 ช่างฝีมือ

ช่างฝีมือในที่นี้คือนายช่างถลุงเหล็กถือเป็นกลุ่มคนที่มีความสามารถในการถลุงเหล็ก ในเมืองลองมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีองค์ความรู้การถลุงเหล็กผ่านทางสายตระกูลฝ่ายชาย ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากกลุ่มงานช่างในพื้นที่อื่นๆ ของดินแดนล้านนา ที่อยู่ภายใต้การควบคุมของวัด โดยวัดนั้นถือเป็นสถานที่ถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีมาตั้งแต่โบราณ[187] โดยเฉพาะงานโลหกรรมดังปรากฏหลักฐานในตำนานพื้นเมืองเชียงแสนว่ามีเตาถลุงเหล็กอยู่ในเขตวัดป่าสัก เมืองเชียงแสนในรัชสมัยพญาแสนพู ความว่า "...พายแคว้นพุทธป่าสัก มีบอกเส่าเตาเหล็ก ทังค้อนคีมรางพร้ารางคีม ฝ่ายวันตกแคว้นเมืองกองมีร้อยบั้งแหส้อยแหไว้หื้อเปนสักขี.."[188] และงานถลุงเหล็กเป็นงานเฉพาะที่ผู้ชายมีสิทธิ์เข้าไปเรียนรู้ได้มากกว่าผู้หญิง โดยมีความรู้ด้านการทำเครื่องมือดำรงชีพ เช่น การทำมีด ด้ามมีด หรือเครื่องมือล่าสัตว์ เป็นต้น ผู้ชายบางกลุ่มได้เรียนรู้ทักษะที่สูงขึ้นไปอีกขั้นคือการต่อเรือและการถลุงโลหะ[189]

สำหรับเมืองลองโบราณวัดกลับมิได้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตเหล็กสะท้อนได้ชัดเจนจากประเพณีเลี้ยงผีบ่อเหล็กลองที่กระทำขึ้นปีละ 2 ครั้ง และจะไม่มีการประกอบพิธีสงฆ์ทางพุทธศาสนา หากแต่ประธานในพิธีเป็นเจ้าผู้ครองเมืองนครลำปางหรือผู้แทนที่เป็นเชื้อพระวงศ์เมือง

---

[184] "พระพรหมบริรักษ์กราบทูลสมเด็จฯ ซึ่งสำเร็จราชการกรมมหาดไทยรายงานข้อราชการที่ออกไปเมืองลอง," กจช.ร.5 ม ร5 นก/33(20), หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรุงเทพฯ.

[185] ภูเดช แสนสา, "เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน," (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 57.

[186] สรัสวดี อ๋องสกุล, **ประวัติศาสตร์ล้านนา** (กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2558), 522.

[187] ชาญณรงค์ ศรีสุวรรณ, "พุทธสถาปัตยกรรมล้านนา : วัด ผังวัด และงานสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวเนื่อง," ใน **ล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,** วิฑูลย์ เหลียวรุ่งเรือง และเชาวลิต สัยเจริญ, บรรณาธิการ (เชียงใหม่: โครงการล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557), 200.

[188] สรัสวดี อ๋องสกุล, **พื้นเมืองเชียงแสน** (กรุงเทพฯ: อมรินทร์, 2546), 188.

[189] เชาวลิต สัยเจริญ, "การตั้งถิ่นฐานและที่อาศัยชาวล้านนา" ใน **ล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,** วิฑูลย์ เหลียวรุ่งเรือง และเชาวลิต สัยเจริญ, บรรณาธิการ (เชียงใหม่: โครงการล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557), 282.

นครลำปางแทนและการทำพิธีล้วนแต่เป็นการบูชาผีอาลักษณ์และบรรพบุรุษซึ่งเป็นความเชื่อดั้งเดิมก่อนการเข้ามาของพุทธศาสนาของล้านนา ดังนั้นกลุ่มช่างถลุงเหล็กและการผลิตเหล็กของเมืองลองจึงเป็นสิทธิ์ขาดของชนชั้นปกครองในการควบคุมอย่างเบ็ดเสร็จทั้งกระบวนการผลิตและบริบทที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการผลิต

โดยกลุ่มช่างฝีมือถลุงเหล็กของเมืองลองจะได้รับการอุปถัมภ์จากชนชั้นปกครองมีลักษณะการรวมกลุ่มของช่างในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งและเพื่อจุดประสงค์ใดจุดประสงค์หนึ่ง (Nucleated Corvée) ของชนชั้นปกครองหรือผู้อุปถัมภ์เท่านั้น[190] ในที่นี้คือการรวมกลุ่มของช่างถลุงเหล็กเพื่อทำการถลุงเหล็กส่งเมืองนครลำปางโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการส่งส่วยนั้นเอง มิได้มีการผลิตเพื่อส่งออกเป็นสินค้าหลักของเมืองไปยังกลุ่มผู้บริโภคที่หลากหลายหรือตลาดเสรี

ทั้งนี้จากเอกสารทางประวัติศาสตร์ระบุว่าไพร่ที่เกณฑ์มาถลุงเหล็กจะต้องถลุงเหล็กให้ได้คนละ 12 ชั่ง (1 ชั่ง เท่ากับ 1.2 กิโลกรัม) เป็นอย่างต่ำ ดังนั้น ส่วยเหล็กที่ต้องส่งให้เมืองนครลำปางปีละ 2,400 กิโลกรัม จะต้องใช้ไพร่ในการผลิตไม่ต่ำกว่า 165 คน สะท้อนให้เห็นว่ากลุ่มช่างฝีมือที่มีความสามารถในการถลุงเหล็กของเมืองลองมีอยู่ในจำนวนที่มากหรืออีกแง่ไพร่ชายของเมืองลองมีความสามารถในการถลุงเหล็กเป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับจำนวนประชากรของเมืองลองที่ค่อนข้างเบาบาง

8.1.3 ผลผลิต การขนส่งผลผลิตและเส้นทางการค้า

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้นการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณเป็นการผลิตเพื่อส่งส่วยเหล็กแก่เมืองนครลำปาง โดยกำหนดไว้ปีละ 2,400 กิโลกรัม ผลผลิตที่ได้คือมวลเหล็ก (Iron Ingot) โดยจัดส่งไปยังราชสำนักนครลำปาง ในอีกแง่หนึ่งผลผลิตของเมืองถือเป็นการดำเนินตามพันธะสัญญาที่มีต่อเมืองนครลำปางตั้งแต่ยุคจารีต ทั้งนี้ ไม่ปรากฏเอกสารทางประวัติศาสตร์ว่า เมืองลองจะต้องส่งภาษีหรือส่วยให้รัฐบาลสยามหรือไม่ หากแต่มวลเหล็กที่ผลิตได้จากเมืองลองถือเป็นเหล็กที่มีคุณภาพดังปรากฏในเอกสารบันทึก รวมถึงวรรณกรรมต่างๆ เช่น ค่าวฉลองคุ้มหลวงของเจ้าหลวงนครแพร่ของศรีวิไชยกวีในราชสำนักแพร่ เมื่อ พ.ศ.2453 ความว่า“...มีเจ็ดสิบสอง **เหล็กลองกล่มเกลี้ยง**จดจันเจียงแซ่ไว้ ...ห้าสิบสอง **เหล็กลองไหลดั้น**ข่ามคงกะพันมากนัก... ถ้วนเจ็ดสิบสอง **เหล็กลองแข็งนัก**ต๋ำหนักมิ่งแก้วมงคล...”[191] หรือ พระพรหมโวหารกวีสำคัญของราชสำนักลำปาง กล่าวถึงเหล็กลองไว้ว่า “...ชาติ**เหล็กดำปิว** (เหล็กลองน้ำหนึ่งจัดเป็นเหล็กที่นำไปตีทำดาบ) บ่จัดเลือกเนื้อ ปืนเก่าเกื้อโบราณ...จักขัดขวาง บ่เมือสู่ห้อง กลัวเหล็กเมืองลอง ว้องคัด”[192] เป็นต้น หรือบันทึกการเดินทางของ

---

[190] Costin} Cathy Lynne, “Craft Specialization: Issue in Defining, Documenting, and Explaining the Organization of Production” in **Archaeological Method an Theory**,3 (1991), 9.

[191] ภูเดช แสนสา, **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ,** 137 – 138.

[192] อุดม รุ่งเรืองศรี, **กำสรวลพระยาพรหม : คราวสี่บทและคำจ่มของพระยาพรหมโวหาร** (เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2524), 9.

หรือบันทึกของสาธคุณฮิวจ์ เทย์เลอร์ (Hugh Taylor) กล่าวว่า “...จากเมืองแพร่ เราได้เดินทางต่อไปยังเมืองลอง เมืองทางตะวันตกซึ่งได้ระงับการทำเหมืองแร่เหล็กไปเมืองหลายปีมาแล้วเนื่องจากได้มีการนำเข้าเหล็กหลอม ซึ่งคุณภาพอาจไม่ดีเท่าไหร่แต่สามารถขนส่งไปกรุงเทพได้มากกว่า...”[193]

“เหล็กเมืองลอง” ยังสะท้อนให้เห็นจากการใช้เป็นสิ่งของต่อรองของผู้นำท้องถิ่นกับรัฐบาลสยามอีกด้วย ดังเช่นในกรณีที่แสนหลวงเจ้าเมืองลองมีข้อพิพาทกับเจ้าพรหมมาภิพงษ์ธาดาเจ้าผู้ครองนครลำปาง ในช่วงปี พ.ศ.2426 - 2435 ปรากฏหลักฐานเอกสารราชการระบุว่าเมืองลองต้องการเป็นเมืองขึ้นของรัฐบาลสยามโดยตรง โดยจะยอมส่งสวยเหล็กที่แต่เดิมเคยส่งให้เมืองนครลำปางมาเป็นบรรณาการให้รัฐบาลสยามแทน ความว่า “...แสนหลวงเจ้าเมืองลองจึงมีใบบอก ลงวันพฤหัสบดี ขึ้น 8 ค่ำ เดือน 8 พ.ศ.2426 ตอบรับท้องตราและว่าทำราชการขึ้นเมืองนครลำปางเหลือสติกำลัง จึงจะขอขึ้นกับกรุงเทพฯ เป็นเมืองส่งเครื่องราชบรรณาการ (3 ปี ครั้ง) และ**ทำส่วยเหล็กปีละ 40 หาบส่งให้กรุงเทพฯ ทุกปี**”[194] แสดงให้เห็นว่าเมืองลองมีความมั่นใจว่าด้วยคุณภาพแร่เหล็กของเมืองลองจะทำให้รัฐบาลสยามเล็งเห็นถึงความสำคัญของเมืองลองในแง่ของเมืองที่มีทรัพยากรมีค่า จึงได้จัดแต่งเครื่องบรรณาการลงไปกรุงเทพเมื่อ พ.ศ.2426 ประกอบด้วยต้นไม้เงิน ต้นไม้ทอง เครื่องมือเครื่องใช้มีค่า และโลหะเหล็กจำนวน 40 หาบ ในแบบเดียวกันที่ส่งบรรณาการให้เมืองลำปาง[195] ตามจารีตที่ปฏิบัติกันมาตั้งแต่สมัยล้านนา หากแต่รัฐบาลสยามมิได้ตอบสนองต่อข้อเสนอ

หลักจากเหตุการณ์ข้างต้นจบลง เมืองลองยังคงส่งส่วยเหล็กให้แก่เมืองลำปางตามธรรมเนียมเดิมแม้ว่ารัฐบาลสยามได้ยกเลิกธรรมเนียมดังกล่าวแล้วในปี พ.ศ.2442 เพื่อปฏิรูปการปกครองหัวเมืองเหนือเป็นแบบมณฑลเทศาภิบาล โดยให้เมืองลองต้องเสียภาษีในรูปแบบเงินให้กับรัฐบาลสยามแทนการส่งส่วยให้กับเจ้าผู้ครองนครลำปาง[196] การส่งส่วยเหล็กเมืองลองยุติเด็ดขาดเมื่อเจ้าบุญวาทย์วงศ์มานิต เจ้าผู้ครองนครลำปางองค์สุดท้าย พิราลัยลงในปี พ.ศ.2465

ส่วนการขนส่งผลผลิตไปยังราชสำนักนครลำปาง จะมีการรวบรวมมวลเหล็กที่ผลิตได้ทั้งจากเมืองลองไว้ที่เค้าสนามหลวงเมืองลอง อยู่บริเวณตัวอำเภอลองปัจจุบัน เมื่อเตรียมการแล้วจะใช้คาราวานวัวต่าง จากการศึกษาของ Pichon พบว่าวัวต่าง 1 ตัว สามารถบรรทุกน้ำหนักได้มากถึง 30 กิโลกรัม ส่วนลาและม้าต่างสามารถบรรทุกน้ำหนักได้มากถึง 70 กิโลกรัม[197] ดังนั้น เมืองลองจะต้องใช้วัวต่างต่างในการขนส่งมวลเหล็กไปยังราชสำนักเมืองนครลำปางมากถึง 80 ตัว สำหรับ

---

[193] ปรีดี พิศภูมิวิถี และคณะ. **ฝรั่งในล้านนา** (กรุงเทพฯ : กรมศิลปากร, 2561), 156.

[194] “เรื่องเมืองลองวิวาทกับเมืองนครลำปาง,” ร.5 ม.1, กันยายน ร.ศ. 104 – 24 มิถุนายน ร.ศ. 110, หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรุงเทพฯ.

[195] เนื้ออ่อน ขรัวทองเขียว, **เปิดแผนยึดล้านนา** (กรุงเทพฯ: ศิลปวัฒนธรรม, 2559), 50.

[196] ภูเดช แสนสา, “เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552), 89.

[197] วราภรณ์ เรืองศรี, **กาดก่อเมือง : ชาติพันธุ์และคาราวานการค้าล้านนา** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2564), 67-68.

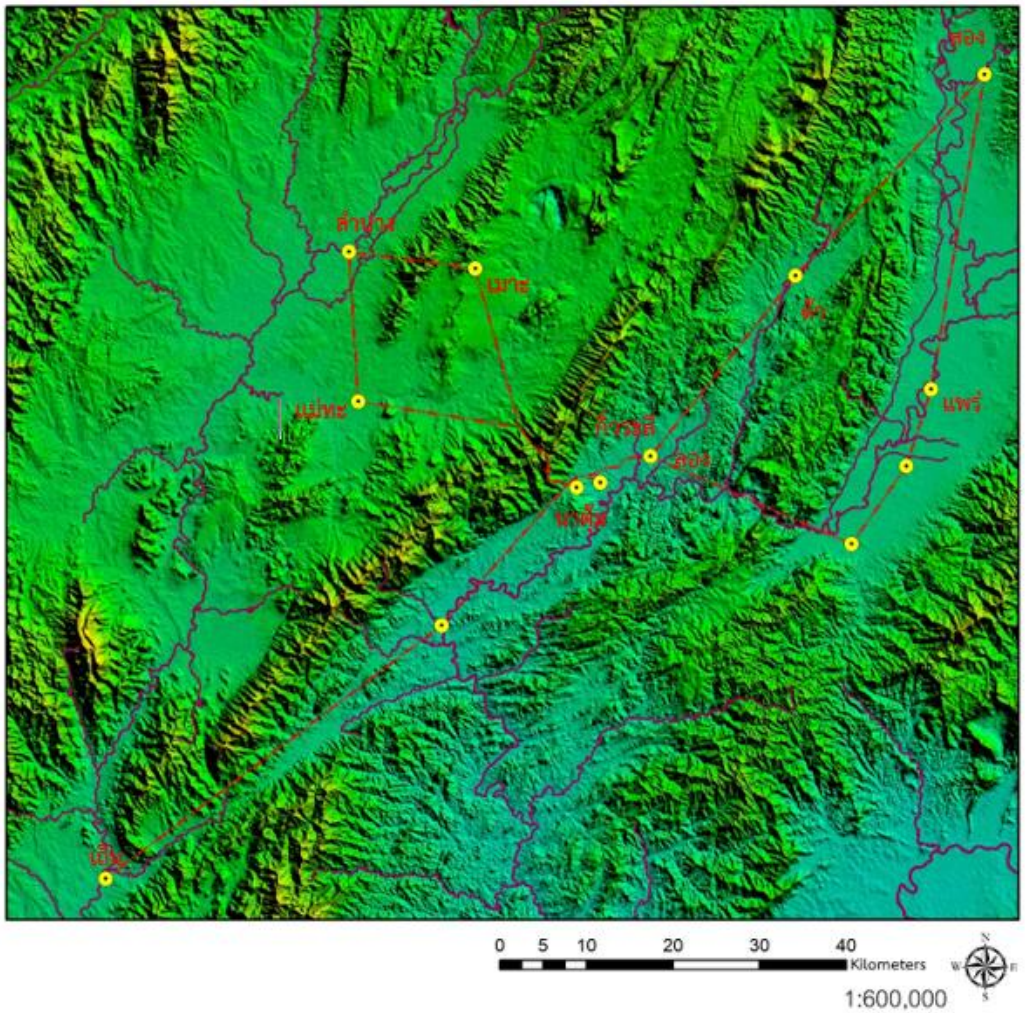
มูลค่าของมวลเหล็กเมืองลองอยู่ที่ 1 สลึง ต่อมวลเหล็ก 1 ชั่ง (1.2 กิโลกรัม)[198] มวลเหล็ก 2,400 กิโลกรัม จึงมีมูลค่าทั้งสิ้น 500 บาท คิดเป็น 1 ใน 10 ของเงินเดือนเจ้าผู้ครองนครลำปางที่รัฐบาลสยามพระราชทานให้ (เดือนละ 5,000 บาท)

สำหรับเส้นทางไปยังเมืองนครลำปางมีหลายเส้นทางทั้งเส้นทางหลักซึ่งเป็นเส้นทางการค้าโดยจะต้องออกไปยังเมืองเถินและเข้าเมืองนครลำปางซึ่งเป็นระยะทางที่ค่อนข้างไกลและทุรกันดารแม้ว่าจะเดินบนเส้นทางราบก็ตามโดยเส้นทางนี้มีระยะประมาณ 150 กิโลเมตร หากแต่การสำรวจทางโบราณคดีของผู้วิจัยพบว่าเส้นทางลำเลียงมวลเหล็กของเมืองใช้เส้นทางสายรองที่มีระยะทางสั้นกว่าโดยข้ามเทือกเขากิ่วระสีหรือกิ่วฤาษี โดยปัจจุบันยังปรากฏเส้นทางดินลูกรังที่ยังสามารถใช้เดินทางได้ โดยเส้นทางเริ่มจาก เค้าสนามหนวงเมืองลอง - บ้านแม่ลอง (จุดเริ่มต้นทางขึ้นเขา) – กิ่วระสีหรือกิ่วฤาษี (ลัดเลาะตามแนวโครกธารและช่องเขา) – ห้วยแม่สะเปา (มีหมู่บ้านที่พักคนเดินทางขนาดเล็กตั้งอยู่บนแอ่งที่ราบเล็กๆระหว่างเขา) จากจุดนี้สามารถเดินทางแยกได้สองทางคือเส้นทางที่หนึ่งจากบ้านดอนไฟ - เมืองแม่ทะ – เมืองนครลำปาง รวมระยะทางประมาณ 43 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 2 จากบ้านหัวเสือ - เมืองเมาะ – เมืองนครลำปาง รวมระยะทางประมาณ 45 กิโลเมตร

ภาพที่ 115 คาราวานวัวต่างในดินแดนล้านนา

ที่มา หอจกหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร

[198] “พระพรหมบริรักษ์กราบทูลสมเด็จฯ ซึ่งสำเร็จราชการกรมมหาดไทยรายงานข้อราชการที่ออกไปเมืองลอง,” กจช.ร.5 ม ร5 นก/33(20), หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรุงเทพฯ.



ภาพที่ 116 แผนที่เส้นทางลำเลียงมวลเหล็กจากเมืองลองไปยังเมืองนครลำปาง (เส้นทางกิ่วระสี)

จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่มีการคมนาคมใกล้กว่าการเดินทางไปบรรจบที่เส้นทางการค้าสายหลักเส้นตะวันตก ทั้งนี้ ในมุขปาฐะระบุว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่หนานทิพย์ช้างซึ่งแต่เดิมเป็นพรานป่าและช่างตีเหล็ก (ต่อมาเป็นพระยาไชยสงคราม ต้นราชวงศ์เจ้าเจ็ดตน) และกลุ่มคนบ้านแม่ทะเข้ามาขุดแร่เหล็กในเมืองลองเพื่อนำไปผลิตอาวุธ[199] หรือในแผนที่ทางทหารของกรมแผนที่ทหารยังขีดเส้นทางดังกล่าวว่าเป็นเส้นทางเท้าหรือเส้นทางเกวียนอีกด้วย

นอกจากนี้ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 เกิดเส้นทางการค้าขึ้น 2 เส้นทางหลัก คือเส้นทางสายตะวันตก ตาก - เถิน – ลำปาง – ลำพูน - เชียงใหม่ และเส้นทางสายตะวันออก อุตรดิตถ์ - แพร่ - น่าน - เชียงของ - เชียงแสน - เชียงราย - หลวงพระบาง - เวียดนาม ตำแหน่งที่ตั้ง

[199] ภูเดช แสนสา, 2554. **ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ** (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์), 120.

ของเมืองลองถือเป็นจุดเชื่อมระหว่างสองเส้นทางโดยเชื่อม เมืองเถิน - ลอง - แพร่ และเมืองลำปาง – ลอง - แพร่ หากแต่เส้นทางการค้าดังกล่าวมิได้เป็นที่แพร่หลายมากนัก จากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ

1. แม้เมืองลองจะมีเหล็กที่มีคุณภาพหากแต่เป็นการผลิตภายใต้การควบคุมของราชสำนักนครลำปางและผลิตเพื่อการส่งส่วยเท่านั้น มิได้มีการผลิตเพื่อการค้าเชิงพานิช

2. การค้าของเมืองลองอาจกล่าวได้ว่าถูกผูกขาดโดยกลุ่มพ่อค้าเงี้ยว ซึ่งมีอิทธิพลต่อการค้าในเมืองลองและเมืองแพร่เป็นอย่างมากก่อนเหตุการณ์กบฏเงี้ยว[200] ซึ่งไม่มีกลุ่มพ่อค้าอื่นๆ เข้ามาทำการค้าขายในเมืองลองมากนัก เงี้ยวเข้ามาทำการค้าเหล็ก พลอยไพลิน และป่าไม้ โดยเฉพาะบริเวณหมู่บ้านบ่อแก้ว และหมู่บ้านปิน ภูเดช แสนสาได้ให้ทัศนะที่น่าสนใจในกรณีเงี้ยวเมืองแพร่ในช่วงระยะวลาหลังการปฏิรูปประเทศ พ.ศ.2442 เกิดความไม่พอใจในเกือบทุกหัวเมืองเกี่ยวกับเสียภาษีให้สยามในรูปแบบของเงินตราแทนการเก็บส่วย ซึ่งส่งผลให้เจ้าเมืองต่างๆ มีรายได้ลดลงอย่างมาก จนก่อให้เกิดเหตุการณ์ต่อต้านสยามขึ้นในปี พ.ศ.2445 หรือที่เรียกว่า “กบฏเงี้ยว” โดยมีจุดส่องซุ่มกำลังแรกที่เมืองลอง ซึ่งกลุ่มกบฏเงี้ยวประกอบด้วยนายฮ้อยสล่าโป่จาย นายฮ้อยพะก่าหม่อง และนายฮ้อยจองแข่ โดยเลือกเมืองลองเป็นที่ซ่อมสุมแรกด้วยหลายปัจจัยเช่น ทั้งสามคนได้รับการอุปถัมภ์จากเจ้าหลวงพิริยเทพวงศ์และกลุ่มผู้ปกครองชาวเมืองลองซึ่งมีการติดต่อค้าขายกันอยู่แล้ว โดยเฉพาะพญาขัณฑสีมาโลหะกิจ (เจ้าหนานคันธิยะ) เจ้าเมืองลอง (พ.ศ.2435 - 2445) ให้การสนับสนุนเต็มที่เนื่องด้วยมีความบาดหมางกับรัฐบาลสยามอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้เมืองลองยังเป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตอาวุธ เช่น แร่ตะกั่วที่ชาวเงี้ยวมักขุดขึ้นมาทำกระสุนปืน ส่วนดินปืนจากขี้ค้างคาวของเมืองลองก็ขึ้นชื่อว่ามีคุณภาพอย่างมาก ส่วนแร่เหล็กที่บ่อเหล็กลอง และบ่อเหล็กต้า มีชาวเงี้ยวขุดขึ้นมาทำอาวุธเตรียมการตั้งแต่วันเลี้ยงผีบ่อเหล็กก่อนหน้าการก่อการ 5 ถึง 6 เดือน โดยเจ้าเมืองลองก็ให้การสนับสนุนพิธีการดังกล่าว และสาเหตุสำคัญที่ชาวเงี้ยวเป็นผู้กระทำการเนื่องจากเป็นคนอยู่ภายใต้การบังคับของอังกฤษและฝรั่งเศสไม่ได้ขึ้นกับรัฐบาลสยาม จากข้างต้นเงี้ยวจึงบุกเข้าตีเมืองลองได้โดยง่าย และบุกเข้ายึดเมืองแพร่ได้ในระยะเวลาต่อมา หากแต่สยามได้ทำการปราบปรามโดยมอบหมายให้เจ้าพระยาสุรศักดิ์มนตรี (เจิม แสงชูโต) นำทัพใหญ่มาปราบกบฏเงี้ยวสำเร็จ เหตุการณ์จึงสงบลง ต่อมามีการลงโทษกบฏหลายคนรวมถึงเจ้าผู้ครองนครแพร่ ให้ปลดจากตำแหน่งและเนรเทศไปอยู่เมืองหลวงพระบาง เป็นต้น ส่วนพญาขัณฑสีมาโลหกิจถูกกลุ่มเงี้ยวสังหารในภายหลัง ทำให้เมืองลองสิ้นสุดการปกครองแบบระบบจารีตลง รัฐบาลสยามส่งข้าราชการขึ้นมาปกครองแทน จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เมืองลองกลัยมาสงบอีกครั้งและมิได้ถูกพัฒนาเป็นเมืองการค้าขนาดใหญ่อีกลอยจนกระทั่งยุบรวมเป็นอำเภอลองขึ้นกับจังหวัดแพร่ในปัจจุบัน

---

[200] ชัยพงษ์ สำเนียง, **กบฏเงี้ยว การเมืองของความทรงจำ : ประวัติศาสตร์ขบวนการเคลื่อนไหวของคนล้านนา** (กรุงเทพฯ : ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน), 2564), 87.

8.1.4 ความถี่และความเข้มข้นในการผลิต

การผลิตเหล็กของเมืองลองเป็นการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมของชนชั้นปกครองอย่างเข้มข้น มีการสถาปนาโครงสร้างทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการผลิตเหล็กขึ้นโดยเฉพาะ ความเข้มข้นในการควบคุมดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตเหล็กของเมืองลองเป็น “ผลผลิตระดับรัฐ (Official Production)” หากแต่มีการผลิตในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้เท่านั้น (Part-Time Prosducer) และมีหน่วยการผลิตในระดับหมู่บ้านของกลุ่มตระกูลช่างที่มีความรู้โดยมีจุดทำการผลิตเป็นจุดศูนย์รวม (Kin Based) จากการวิเคราะห์บริบททางโบราณคดีและผลการทดลองทางโบราณโลหะวิทยา สามารถสร้างฉากทัศน์ในอดีต ของการผลิตเหล็กเมืองลองได้ ดังนี้

ฉากทัศน์ในอดีตของกระบวนการถลุงเหล็กโบราณ

เตา 1 เตาใช้เชื้อเพลิง 90 กิโลกรัม
ใช้แร่เหล็ก 30 กิโลกรัม
ใช้เวลาถลุง 4 ชั่วโมง
ก้อน Bloom ที่ได้ 11 กิโลกรัม
มวลเหล็กที่ได้ 2 กิโลกรัม
ดังนั้น หากต้องการถลุงเหล็กให้ได้มวลเหล็ก 2,400 กิโลกรัม
จะต้องใช้เวลาถลุงทั้งสิ้น 4,800 ชั่วโมง หรือ 200 วัน ต่อเนื่อง
ใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น 100,800 กิโลกรัม หรือ 108 ตัน
ใช้แร่เหล็กทั้งสิ้น 36,000 กิโลกรัม หรือ 36 ตัน

จากการขุดค้นทางโบราณคดี ขุดค้นพบเตาถลุงทั้งสิ้น 10 เตา จะลดเวลาถลุงลงเหลือ 20 วันต่อปีและเกณฑ์ไพร่ทำการถลุงไม่น้อยกว่า 165 คน อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลาพิธีเปิดปิดบ่อเหล็กลองจะพบว่าช่วงระยะเวลาการผลิตเหล็กของเมืองลองในอดีตจะเรียกว่า “เดือน 3 เข้า เดือน 9 ออก” โดยจะทำการเปิดบ่อเหล็กลองในเดือน 3 ขึ้น 3 ค่ำ (เดือนธันวาคม) และปิดบ่อเหล็กในช่วงเดือน 9 ขึ้น 9 ค่ำ (เดือนมิถุนายน) กำหนดระยะเวลาประมาณ 6 เดือนเป็นอย่างต่ำ สะท้อนให้เห็นนัยสำคัญว่าการถลุงเหล็กของเมืองลองอาจมิได้มีการถลุงต่อเนื่องตลอดทุกวัน หากแต่ต้องอยู่ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยจะต้องได้ผลผลิตตามจำนวนที่ราชสำนักนครลำปางกำหนดซึ่งระยะเวลาการผลิตเหล็กพบว่าอยู่นอกฤดูกาลเพาะปลูก (ในท้องที่จังหวัดลำปางฤดูกาลปลูกข้าวเริ่มหว่านกล้าเดือนมิถุนายนและเกี่ยวข้าวเดือนพฤศจิกายนโดยธรรมเนียมปฏิบัติ) และมีการควบคุมโดยชนชั้นปกครองอย่างเข้มข้น

8.2 ความเชื่อเรื่องผีและระบบสวามิภักดิ์ต่างตอบแทน

ในยุคจีตของดินแดนล้านนาชนชั้นปกครองได้สร้างเครื่องมือและกลไกทางสังคมขึ้นจากระบบความเชื่อดั้งเดิมของรัฐก่อนศาสนาพุทธเข้ามามีบทบาททางสังคมโดยการสถาปนาระบบ “ผี” ขึ้น ในการผลิตเหล็กของเมืองลองนอกจากราชสำนักนครลำปางจะสถาปนากลไกรัฐในการควบคุมการผลิตเหล็กแล้ว ยังมีการใช้ “ผี” เป็นเครื่องมือในการปกป้องทรัพยากรแร่ธาตุซึ่งมีจำนวนจำกัดอีกด้วย ในบันทึกการเดินทางของมิชชั่นนารีกล่าวว่าในดินแดนล้านนา “...การนับถือผีไม่จำเป็นต้องมีวัดแต่อยู่ในใจของคนทุกคน”[201] โดยผีที่มีอำนาจอารักษ์สูงที่สุดคือ “ผีพ่อเฒ่าหลวง” เป็นผีอารักษ์บ่อเหล็กลอง มีอำนาจเหนือผีอารักษ์เจ้าเมืองลองและมีอำจาจเหนือปริมณฑลอำนาจของพุทธศาสนาโดยกำหนดให้พื้นที่ 100 ไร่ ในเขตบ่อเหล็กลองเป็นเขตผีและปลอดศาสนาพุทธ ห้ามมิให้พระภิกษุสามเณรเข้าร่วมพิธีเปิดปิดบ่อเหล็กลองเด็ดขาดเพราะอาจเกิดเพศภัยกับชาวเมืองได้ ซึ่งคติดังกล่าวยังสืบมาจนถึงปัจุบัน แม้กระทั่งผู้วิจัยดำเนินการขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มแล้วเสร็จจะต้องมีพิธีไหว้ผีเส่าเตาเหล็กขึ้นก็มีความจำเป็นที่จะต้องใช้พ่อเฒ่าที่มีอายุมากที่สุดของบ้านนาตุ้มมาประกอบพิธีกรรมโดยมิให้มีส่วนเกี่ยวข้องกับพระพุทธศาสนาในทุกขั้นตอนพิธี

จากข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่าการสถาปนาระบบกลไกทางการเมืองและผีเพื่อควบคุมการผลิตเหล็กของเมืองลองเป็นความพยายามในการผูกขาดอำนาจและสินค้าของชนชั้นปกครองอย่างสิ้นเชิง ซึ่งแตกต่างจากงานช่างผีมืออื่นๆ ที่มีวัดเป็นศูนย์กลางในการถ่ายทอดองค์ความรู้ ลักษณะการผูกขาดอำนาจดังกล่าวยังปรากฏในราชสำนักเชียงใหม่พระราชทานหลาบเงินคุ้มครองชาวลัวะบ่อหลวงซึ่งมีหน้าที่ผลิตเหล็กส่งราชสำนักเชียงใหม่เป็นต้น (พุทธศตวรรษที่ 24) แสดงให้เห็นว่าในทรรศนะของชนชั้นปกครองเหล็กถือเป็นทั้งสินค้า ผลประโยชน์ที่มีราคาสูงและสัญลักษณ์เชิงอำนาจเบ็ดเสร็จในการนอบน้อมของผู้อยู่ใต้ปกครองซึ่งลักษณะดังกล่าวจึงออกมาในรูปแบบของการส่งส่วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับการส่งส่วยของราชสำนักมังรายต่อราชสำนักจีนตั้งแต่ราชวงศ์หยวน ราชวงศ์หมิงถึงราชวงศ์ชิง ที่สิ่งของต่างๆ ที่ล้านนาถวายให้จีนมีความหมายทางการเมืองมากกว่าพาณิชย์ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในระบบบรรณาการที่ไม่เน้นคุณค่าและปริมาณ หากแต่เป็นสัญลักษณ์แสดงถึงการยอมรับในอำนาจและจงรักภักดีต่อจีน ซึ่งจีนจะตอบแทนในลักษณะผลประโยชน์ทางการเมืองและสิ่งของต่างๆ แก่ล้านนา[202] กรอบแนวคิดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นในระบบการผลิตเหล็กของเมืองลองเพื่อเป็นบรรณาการต่อเมืองนครลำปางในฐานะเมืองผู้ปกครองที่มีสิทธิธรรมสืบมาจากราชวงศ์เจ้าเจ็ดตน (ทิพยจักรราช) ของล้านนาที่มีการสถาปนาอำนาจขึ้นที่เมืองนครลำปางเป็นสถานที่แรกก่อนย้ายศูนย์กลางกลับไปที่เมืองเชียงใหม่ เมืองนครลำปางจึงได้ตอบแทนในลักษณะการยกเว้นภาษี การยกเว้นการเกณฑ์ไพร่พลหรือการไม่แทรกแซงทางการเมืองของราชวงศ์ท้องถิ่น เป็นต้น

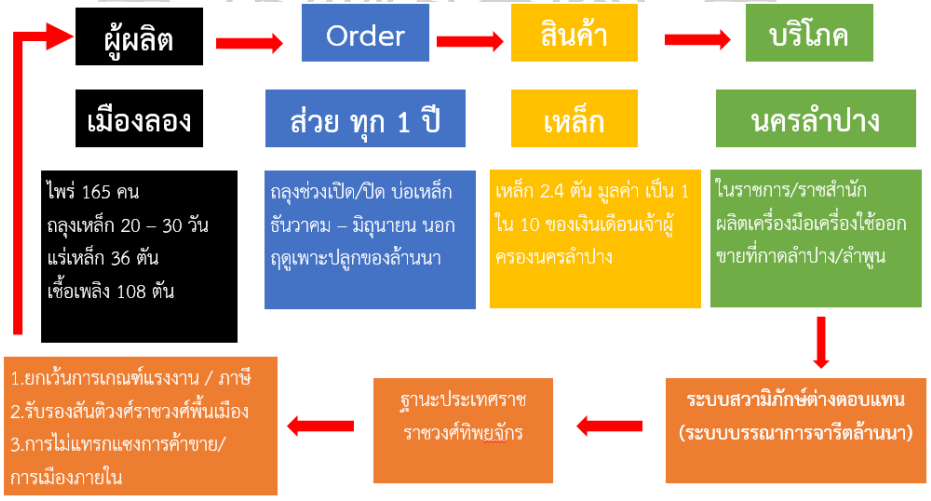
---

[201] ภูเดช แสนสา, 2554. ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ (เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์), 95.

[202] โจวปี้เฝิง, **ล้านนาสวามิภักดิ์ : ความสัมพันธ์ในระบบบรรณาการระหว่างจีนกับล้านนา** (กรุงเทพฯ : มติชน, 2565), 150.

กล่าวโดยสรุป ระบบการผลิตของเมืองลองในสมัยรัตนโกสินทร์มีลักษณะคลี่คลายมาจากระบบการส่งส่วยหรือบรรณาการแบบสวามิภักดิ์ต่างตอบแทนซึ่งได้รับมาจากอาณาจักรล้านนาในช่วงพุทธศตวรรษที่ 20 ถึง 22 โดยราชสำนักล้านนาได้รับแนวคิดดังกล่าวมาจากราชสำนักจีนอีกทอดหนึ่ง ดังนั้น ระบบการผลิตเหล็กของเมืองลองจึงมีลักษณะจำเพาะมิได้ผลิตเพื่อตอบสนองตลาดภายในหรือภายนอกแต่อย่างใด หากแต่ตอบสนองชนชั้นปกครองซึ่งจะให้ผลตอบแทนเป็นพันธะสัญญาต่างๆ แทนมูลค่าหรือเงินตรา การผลิตที่มิได้ขึ้นกับอุปสงค์และอุปทานเชิงพานิชย์ทั่วไปนั้น ทำให้นำไปสู่ข้อสันนิษฐานได้ว่าเมืองลองโบราณจึงยังรักษาและสืบทอดเทคโนโลยีการถลุงเหล็กทางตรงแบบโบราณเอาไว้ แม้ว่าในสมัยรัตนโกสินทร์การถลุงเหล็กทางอ้อมเป็นที่รู้จักในอาณาจักรสยามแล้วก็ตาม อย่างไรก็ตามประเด็นด้านต้นแบบและวิวัฒนาการของเตาถลุงเหล็กเมืองลองยังจำเป็นต้องศึกษาและตรวจสอบต่อไปในอนาคต

การรักษาและสืบทอดเทคโนโลยีดังกล่าวสะท้อนให้เห็นการควบคุมมาตราฐานในการผลิตให้ได้ปริมาณตามที่ราชสำนักเมืองนครลำปางต้องการ โดยมีการควบคุมการผลิตโดยการสถาปนาระบบโครงสร้างทางการเมืองและสังคมในหน่วยการผลิตเหล็กโดยเฉพาะของเมือง ซึ่งมีลักษณะโดดเด่นกว่าเมืองในดินแดนล้านนาอื่นๆ ที่ไม่ปรากฏลักษะโครงสร้างทางการเมืองดังกล่าวชัดเจนนัก การผลิตเหล็กที่อยู่ในระบบบรรณาการจึงทำให้เมืองลองโบราณมีพัฒนาการทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมของเมืองอย่างต่อเนื่อง โดยยึดโยงกับระบบความเชื่อเรื่องเหล็ก เจ้าขุนมูลนายและระบบการผลิตเหล็กอย่างแน่นแฟ้น ดังสะท้อนให้เห็นสำนึกร่วมทางประวัติศาสตร์ของผู้คนเมืองลองในปัจจุบันที่ยังคงรับรู้คติ “เหล็กดีเมืองลอง ตองดีเมืองพะเยา” มาจวบจนทุกวันนี้



ภาพที่ 117 ผังแสดงความสัมพันธ์ในระบบการผลิตเหล็กของเมืองลองโบราณ

บทที่ 9
สรุปและข้อเสนอแนะ

เมืองลองโบราณผลิตเหล็กที่แหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 24 ถึง 25 มีการผลิตทั้งเพื่อเป็นการส่งส่วยเหล็กและใช้ผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีการถลุงเป็นการถลุงแบบทางตรง (Direct Process) ใช้แร่เหล็กฮีมาไทต์คุณภาพ อุณหภูมิในการถลุงประมาณ 1,175 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนสินแร่เหล็กและเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1 : 2 เบื้องต้นพบว่ามีกำลังการผลผลิตมวลเหล็ก (Iron Ingot) ปีละ 40 หาบ หรือ 2,400 กิโลกรัม เป็นอย่างต่ำ

การผลิตเหล็กของเมืองลองเป็นการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมของชนชั้นปกครองอย่างเข้มข้น มีการสถาปนาโครงสร้างทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการผลิตเหล็กขึ้นโดยเฉพาะทั้งโครงการการเมืองการปกครองและระบบความเชื่อเรื่องผี ความเข้มข้นในการควบคุมดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตเหล็กของเมืองลองเป็น “ผลผลิตระดับรัฐ (Official Production)” มีการผลิตในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้เท่านั้น (Part-Time Prosducer) มีหน่วยการผลิตในระดับหมู่บ้านของกลุ่มตระกูลช่างที่มีความรู้โดยมีการผลิตเป็นจุดศูนย์รวม (Kin Based) มีลักษณะการรวมกลุ่มของช่างในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งและช่างฝีมือถลุงเหล็กของเมืองลองจะได้รับการอุปถัมภ์จากชนชั้นปกครองและเพื่อตอบสนองการผลิตสินค้าเพียง ให้กับชนชั้นปกครองหรือผู้อุปถัมภ์เท่านั้น (Nucleated Corvée) ในที่นี้คือการรวมกลุ่มของช่างถลุงเหล็กเพื่อทำการถลุงเหล็กส่งส่วยเมืองนครลำปางในระบบบรรณาการแบบจารีตล้านนา มิได้มีการผลิตเพื่อส่งออกเป็นสินค้าหลักของเมืองไปยังกลุ่มผู้บริโภคที่หลากหลายหรือตลาดเสรี

การถลุงเหล็กของเมืองลองลดระดับการผลิตลงอย่างมากเมื่อมีเหล็กจากตะวันตกเข้ามาตามการขยายตัวของเส้นทางรถไฟสายเหนือ ประกอบกับรัฐบาลสยามปฏิรูปการเก็บภาษีในปี พ.ศ.2442 โดยให้ยกเลิกการส่งส่วยเป็นการเสียภาษีแทน การถลุงเหล็กจึงลดสถานะลงเป็นการถลุงเพื่อให้ได้มวลเหล็กไปทำเครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือนเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความสมบูรณ์ชัดเจนในการสร้างภาพในอดีตของกระบวนการถลุงเหล็กของเมืองโบราณมากยิ่งขึ้น ในอนาคตจำเป็นต้องมีการสืบค้นหาต้นแบบและวิวัฒนาการของเตาถลุงเหล็กแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้มและการศึกษาการใช้งานมวลเหล็กที่ผลิตแล้วในราชสำนักนครลำปางหรือในท้องตลาดของดินแดนล้านนาต่อไป

รายการอ้างอิง

Bennett, B. “Note on the history of Iron in Thaialnd.” Journal of Siam Society 72: 250.

Bennett, B. (1992). “Pattern in the early southeast asian metals trade.”In Early metallurgy trade and urban centres in thailand and Southeast Asia. Bangkok: Withe Lotus.

Bock, C. A. (1884). Temples and Elephant The Narrative of a journal of Exporation through Upper Siam and Lao. New York: Cornell University Library.

Charlton, M. (2010). “Explaining the evolution of ironmaking recipes – An example from northwest Wales.” Journal of Anthropological Archaeology 29: 357.

Childe, G. (1950). “The Urban Revolution.” The Town Planning Review 21, 1 (April): 11.

Costin, C. L. (2005). “Craft Production.” in Handbook of Method in Archaeology. London : AltaMira Press.

Évrard, O., Pryce, T. O., & Sprenger, G. “Of myths and metallurgy: Archaeological and ethnological approaches to upland iron production in 9th century CE northwest Laos” in Journal of Southeast Asian Studies 47(1): 117.

Forrest, C. (2008). "The Nature of Scientific Experimentation in Archaeology: Experimental Archaeology from the Nineteenth to the Mid Twentieth Century." in Experiencing Archaeology by Experiment. Oxford: Oxbow Books.

Girbal, B. (2010). Michelmerch Romsey and Hampshire Analysis of slag : Technological Report. London: English Heritage.

Gordon, D. H. (1950). “The Early Use of Metals in India and Pakistan.”Journal of the Royal Anthropological Institute,: 55-78.

Hayden, J. C., & Boyd, W. (2010). “Laterite Nodules: A Credible Source of Iron Ore in Iron Age Northeast Thailand?.”Geoarchaeology: An International Journal 25, 5: 630.

Higham, C. (2002). Early Culture of Mainland Southeast Asia. Bangkok: River Book.

Higham, C. (2014). Early Mainland Southeast Asia. Bangkok: River Book.

Historic England. (2001). Archaeometallurgy: Guidelines for beast practice. London: Historic England.

Historic England. (2008). Metal and Metalworking: A research framework for Archaeometallurgy. London: English Heritage.

Hudson, B. “Iron In Myanmar.” Enchanting Myanmar, 5. .

Joosten, I. (2004). Technology of early historical iron production in the Netherland. Amsterdam : Vrije University.

Killick, D., & Fenn, T. (2012). “Archaeometallurgy: The Study of Preindustrial Mining and Metallurgy.” The Annual Review of Anthropology 41.

Kresten, P., Godicke, C., & Manzano, A. (2003). “TL-DATING of verified materail.”Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology. 22: 11-12.

Leroy, S., and Others. (2017). “The ties that bind : archaeometallurgical typology of architectural crampons as a method for reconstructing the iron economy of Angkor, Cambodia (tenth to thirteenth c.” In Springer Published Online : 20 July: 20.

Miller, H. M.-L. (2009). Archaeological Approaches to Technology. California: Left Coast Press Inc.

Mokhtar, N. A., Saidin, M., & Abdullah, J. (2010). “THE ANCIENT IRON SMELTING IN SG. BATU, BUJANG VALLEY, KEDAH” in Bujang Valley and early civilisations in Southeast Asia. Malaysia: Department of National Heritage, Ministry of Information, Communications and Culture. .

Pautreau, J.-P., & Mornais, P. (2004). Ban Wang Hai : excavations of an iron-age cemetery in Northern Thailand. Chiangmai : Silkworm Books.

Penth, H. (2004). A brief history of Lan Na : Northern Thailand from past to present. Chiang Mai : Silkworm Books.

Peter, D. (2004). Field archaeology. London: Routledge.

Pleiner, R. (2000). Iron in archaeology : The European bloomery smelter. Praha: Archeologický ústav AVČR.

Pryce, T. O., Bellina-Pryce, B., & Bennett, A. T. N. (2006). “The development of metal technologies in the Upper Thai-Malay Peninsula: initial interpretation of the archaeometallurgical evidence from Khao Sam Kaeo.” Bulletin de l'Ecole française d'Extrême-Orient 93: 296-299.

Pryce, T. O., Chiemsisouraj, C., & Zeitoun, V. (2011). “An 8th-9th century AD iron smelting workshop near Saphim village, NW Lao PDR.”Historical metallurgy 45, (January): 85.

Pryce, T. O., & Natapintu, S. (2009). “Smelting Iron from Laterite: Technical Possibilityor Ethnographic Aberration?.” Asian Prespective 48, 2: 256.

Pryce, T. O., & Others. (2014). “The Iron Kuay of Cambodia: tracing the role of peripheral populations in Angkorian to colonial Cambodia via a 1200 year old industrial landscape.” Journal of Archaeological Science, 47: 144 – 148.

Renfrew, C., & Bahn, P. (2005). Archaeology: The Key Concepts. London: Routledge.

Roskams, S. (2001). Excavation. Cambrige: Cambrige University Press.

Shrivasti, R. (1999). “Smelting furnace in ancient india.” Indian Journal of History of

Science 34, 1.

Stanley, J. O. C. (1985). "Metallurgy and Immortality at Candi Sukuh, Central Java." Indonesia 39: 53–70.

Thingyan, S. G. (2003). Zinme yazawin: Chronicle of Chiang Mai. Yangon : Universities Historical Research Centre.

tun., T. (1985). The Royal Order of Bruma Part II 1649 – 1750 A.D. Kyoto : The center of southeast asia study, Kyoto University.

Tylecote, R. F. (1962). Metallurgy in archaeology : a prehistory of metallurgy in the British Isles. London : Edward Arnold.

Tylecote, R. F. (1992). A history of metallurgy. London: Institute of Materials.

United Department of State, & Thai Royal Department of Mines. (1957). “Geologic Reconnaissance of The Mineral Deposit of Thailand.” Geological Investigation Bulletin 984: 73-76.

Walter, B. R., & others. (2014). Archaeometallurgy in Global Perspective : Methods and Syntheses. New York: Springer.

กจช.ร.5 ม ร5 นก/33(20). “พระพรหมบริรักษ์กราบทูลสมเด็จฯ ซึ่งสำเร็จราชการกรมมหาดไทย รายงานข้อราชการที่ออกไปเมืองลอง.” หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

กจช.ร.6 คค.5.3/8. รายงานการเสด็จตรวจทางรถไปสายเหนือของกรมขุนกำแพงเพชร. 13 กรกฎาคม 2461. หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

กจช.ร.6 คค.5.3/8ม. “รายงานการเสด็จตรวจทางรถไปสายเหนือของกรมขุนกำแพงเพชร,” 13 กรกฎาคม 2461. หอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร.

กรมทรัพยากรธรณี. (2546). รายงานวิชาการฉบับที่ กวท 13/2546 : คุณสมบัติแร่เหล็กชนิดต่างๆ ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.

กรมศิลปากร. (2531). โบราณคดีภาคเหนือ เหมืองแม่เมาะ ออบหลวงและยางทองใต้. กรุงเทพ : กรมศิลปากร.

กรมศิลปากร. (2534). โบราณคดีเมืองอู่ตะเภา. กรุงเทพฯ : ฝ่ายวิชาการ กองโบราณคดี.

กรมศิลปากร. (2549). รายงานเบื้องต้นภูมิหลังเมืองน่าน โครงการสืบค้นแหล่งวัฒนธรรมลุ่มแม่น้ำน่าน แม่น้ำว้าโดยประชาชนมีส่วนร่วม. น่าน : สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน กรมศิลปากร.

กรมศิลปากร. (2551). คู่มือปฏิบัติงานด้านโบราณคดี. กรุงเทพ : สำนักโบราณคดี กรมศิลปากร.

กรมศิลปากร. (2556). รายงานการขุดค้นและขุดแต่งทางโบราณคดี โครงการขุดค้นและขุดแต่งทางโบราณคดี บริเวณพระราชวังบวรสถานมงคล ระยะที่ 2 พื้นที่สนามหญ้าด้านหน้าโรงราชรถ ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ พระนคร. กรุงเทพฯ: กรมศิลปากรและบริษัทนอร์ทเทิร์นชัน 1935. เอกสารอัดสำเนา.

กรมศิลปากร. (2558). รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีพื้นที่ทางด้านทิศใต้ของดอยสุเทพและดอยคำ ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: บริษัท งานโบราณ จำกัด.

กรมศิลปากร. (2560). รายงานการขุดค้นทางโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์เมืองโบราณเวียงลอ

ตำบลลอ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560. น่าน : สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน กรมศิลปากร. เอกสารอัดสำเนา.

ก่องแก้ว วีระประจักษ์ สายันต์ ไพรชาญจิตร์ และ สุภมาศ ดวงสกุล. (2540). โบราณคดีล้านนา. กรุงเทพฯ : สมาพันธ์.

จตุรพร เทียมทินกฤต และ พลพยุหะ ไชยรส. (2562). รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดี ภาคสนามเบื้องต้นในแหล่งโบราณคดีบ้านนาตุ้ม ตำบลบ่อเหล็กลอง อำเภอลอง จังหวัดแพร่. เชียงใหม่: สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากรม. เอกสารอัดสำเนา.

จันทวิช, ณ. (2537). เครื่องถ้วยจีนที่พบจากแหล่งโบราณคดีในประเทศไทย. กรุงเทพ: กรมศิลปากร.

จารึก วิไลแก้ว. “แหล่งเหมืองแร่เหล็กและแหล่งถลุงเหล็กเขาแก้ว อำเภอพรานกระต่าย จังหวัด กำแพงเพชร.” ศิลปากร 44, 2 (มีนาคม – เมษายน 2544): 97.

โจวปี้เฝิง. (2565). ล้านนาสวามิภักดิ์ : ความสัมพันธ์ในระบบบรรณาการระหว่างจีนกับล้านนา. กรุงเทพฯ: มติชน.

ชยันต์ วรรธนะภูติ. (2533). กวีนิพนธ์ล้านนา : โคลงด่าวริร่ำถ้อยเมืองพิงค์ค่าวซอเจ้าเจ็ดตน. เชียงใหม่ : โครงการศึกษาวิจัยคัมภีร์ใบลานในภาคเหนือ สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชวิศา ศิริ. (2550). “การค้าของอาณาจักรล้านนาตั้งแต่ต้นพุทธศตวรรษที่ 19 ถึงต้นพุทธศตวรรษที่ 22.” วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ชัยพงษ์ สำเนียง. (2564). กบฏเงี้ยว การเมืองของความทรงจำ : ประวัติศาสตร์ขบวนการเคลื่อนไหวของคนล้านนา. กรุงเทพฯ : ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน).

ชาญณรงค์ ศรีสุวรรณ. (2557). “พุทธสถาปัตยกรรมล้านนา : วัด ผังวัด และงานสถาปัตยกรรมที่เกี่ยวเนื่อง.” ใน ล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิฑูลย์ เหลียวรุ่งเรืองและเชาวลิต สัยเจริญ บรรณาธิการ. เชียงใหม่: โครงการล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชิดชนก ถิ่นทิพย์. (2555). “การศึกษาชาติพันธุ์วรรณาทางโบราณคดี : กรณีศึกษาการผลิตเครื่องมือเหล็กของกลุ่มชาติพันธุ์ละว้า ตำบลบ่อหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ กับเครื่องมือเหล็กจากแหล่งโบราณคดีบ้านวังไฮ ตำบลเวียงยอง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน.” เอกสารการศึกษาเฉพาะบุคคล ระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตร ศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เชาวลิต สัยเจริญ. “การตั้งถิ่นฐานและที่อาศัยชาวล้านนา.” ใน ล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิฑูลย์ เหลียวรุ่งเรืองและเชาวลิต สัยเจริญ บรรณาธิการ. เชียงใหม่: โครงการล้านนาคดีศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ตาชารด์. (2551). จดหมายเหตุการเดินทางสู่ประเทศสยามครั้งที่ 1 และจดหมายเหตุการเดินทางครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ศรีปัญญา.

ตำนานมูลศาสนา. (2557). นนทบุรี : ศรีปัญญา.

ธีระวัฒน์ แสนคำและคนอื่น ๆ. (2558). สุโขทัยกับอาเซียน : มองปัจจุบันผ่านอดีตจากมิติประวัติศาสตร์ ศิลปะ โบราณคดี. บรรณาธิการ พิพัฒน์ กระแจะจันทร์. ปทุมธานี : คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เนื้ออ่อน ขรัวทองเขียว. (2559). เปิดแผนยึดล้านนา. กรุงเทพฯ: ศิลปวัฒนธรรม, 2559.

บุญชู ชุ่มเชื้อ. (2549). ตำนานพระธาตุวัดศรีดอนคำ (ห้วยอ้อ) และประวัติเมืองลอง. กรุงเทพ : ไทยวิริยะกิจ.

ประเสริฐ ณ นคร. (2534). จารึกล้านนา ภาค 1. กรุงเทพฯ: มูลนิธิเจมส์ เอช ดับเบิ้ลยู ทอมป์สัน.

ประเสริฐ ณ นคร. (2551). จารึกล้านนา ภาค 2. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการชำระประวัติศาสตร์ไทย กรมศิลปากร.

ปรีดี พิศภูมิวิถี และคณะ. (2561). ฝรั่งในล้านนา. กรุงเทพฯ: กรมศิลปากร.

ปลายอ้อ ชนะนนท์. (2529). “บทบาทนายทุนพ่อค้าที่มีต่อการก่อและขยายตัวของทุนนิยมภาคเหนือของประเทศไทย พ.ศ.2464-2523.” วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โปโทร, ฌ. ป. (2546). บ้านวังไฮ : แหล่งฝังศพโบราณยุคเหล็กในภาคเหนือของประเทศไทย. เชียงใหม่ : ซิงค์เวอร์ม.

พจนีย์ ไพศาลตันติวงศ์. (2546). คุณภาพของแร่เหล็กจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี.

พระยาประชากิจกรจักร (แช่ม บุนนาค). (2557). พงศาวดารโยนก. นนทบุรี : ศรีปัญญา.

พระราชพงศาวดารกรุงศรีอยุธยา ฉบับพันจันทนุมาศ (เจิม) กับพระจักรพรรดิพงศ์ (จาด). พระนคร: คลังวิทยา.

พลพยุหะ ไชยรส. (2560). รายงานการสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีแหล่งโบราณคดีคือเวียง ตำบลป่าสัก อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ ประจำปีงบประมาณ 2559. กรมศิลปากร: สำนักศิลปากรที่ 7 น่าน, 2560) เอกสารอัดสำเนา.

พลพยุหะ ไชยรส. (2561). รายงานการสำรวจทางโบราณคดีแหล่งโลหกรรมสมัยโบราณในบริเวณแอ่งที่ราบลองวังชิ้น จังหวัดแพร่ ตามหลักกระบวนงานโบราณโลหะวิทยา (Archaeometallurgy). เชียงใหม่: สำนักศิลปากรที่ 7 เชียงใหม่ กรมศิลปากร. เอกสารอัดสำเนา.

พัชรี สาริกบุตร. (2523). เทคโนโลยีสมัยโบราณ. กรุงเทพฯ : คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภูเดช แสนสา. (2552). “เมืองลอง : ความผันแปรของเมืองขนาดเล็กในล้านนาจากรัฐจารีตถึงปัจจุบัน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภูเดช แสนสา. (2554). ประวัติศาสตร์เมืองลอง หัวเมืองบริวารในล้านนาประเทศ. เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์.

ภูเดช แสนสา. (2558). ศรีมูลาลัย. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์แม็กซ์พริ้นติ้ง.

ยอดดนัย สุขเกษม. (2561). “แหล่งถลุงเหล็กโบราณบ้านป่าป่วย : ข้อมูลใหม่ของโบราณคดีสมัยแรกเริ่มประวัติศาสตร์ดินแดนล้านนา.” ใน เอกสารประกอบการสัมมนา “วิจัย วิจักษณ์” การนำเสนอผลงานทางวิชาการกรมศิลปากร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561. กรุงเทพ : กรมศิลปากร.

ยอดดนัย สุขเกษม. (2565). “แหล่งถลุงเหล็กโบราณบ้านแม่ลาน: ข้อมูลใหม่ของแหล่งโลหกรรมช่วงต้นสมัยเหล็กของดินแดนล้านนา.” ศิลปากร 65,2 (มี.ค. - เม.ย.): 16.

ร5กร 5 รล-พศ.10/60. นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนคร

ลำปาง". หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

ร.5 ม.1. "เรื่องเมืองลองวิวาทกับเมืองนครลำปางกันยายน ร.ศ. 104 – 24 มิถุนายน ร.ศ. 110." หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

รัตนาพร เศรษฐกุล. (2552). ประวัติศาสตร์เศรษฐกิจวัฒนธรรมแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน. กรุงเทพ : ซิลค์เวอร์ม.

วราภรณ์ เรืองศรี. (2564). กาดก่อเมือง: ชาติพันธุ์และคาราวานการค้าล้านนา. กรุงเทพฯ: มติชน.

วราวุธ ศรีโสภาค. (2538). "ชุมชนโบราณที่มีคู-คันดินล้อมรอบในลุ่มน้ำแม่อิง : การศึกษาเชิงภูมิศาสตร์การตั้งถิ่นฐานและความสัมพันธ์ในระบบ โครงสร้างสังคมเมือง." วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

วิชาญ มาแก้ว. (2559). "ระบบเศรษฐกิจและความเปลี่ยนแปลงทางสังคมในยุคทองของอาณาจักรล้านนา (ค.ศ.1355-1525)." วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วินัย พงศ์ศรีเพียรและคนอื่นๆ. (2559). หมิงสือลู่-ชิงสือลู่ : บันทึกเรื่องจริงแห่งราชวงศ์หมิงและราชวงศ์ชิงฯ ตอนว่าด้วยสยาม และหนังสือระยะทางราชฑูตไปกรุงปักกิ่ง ประเทศจีน ตั้งแต่ ณ เดือน 8 ปีกุนตรีศกและปีชวดจัตวาศกในแผ่นดินพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระอินทรมนตรีแย้ม ได้เรียบเรียงไว้ในรัชกาลที่ 5. กรุงเทพฯ : มูลนิธิสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา.

วิวรรณ แสงจันทร์. (2561). รายงานการสำรวจทางโบราณคดีในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. ลำปาง : การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แม่เมาะ. เอกสารอัดสำเนา.

วีระเทพ ศรีมงคล. (2530). "การจัดเก็บภาษีอากรในล้านนา พ.ศ.2427 – 2445." วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท อักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศรีศักร วัลลิโภดม. (2548). เหล็ก โลหปฏิวัติ เมื่อ 2,500 ปีมาแล้ว : ยุคเหล็กในประเทศไทย : พัฒนาการทางเทคโนโลยีและสังคม. กรุงเทพฯ : มติชน.

ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินทร. (2540). "ยุคเหล็กในประเทศไทย : พัฒนาการทางเทคโนโลยีและสังคมกับพิพิธภัณฑ์และประวัติศาสตร์ท้องถิ่น : กระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน." ใน เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการโครงการเมธีวิจัยอาวุโส ส.ก.ว. ณ ห้องประชุมวิชาการ ชั้น 4 ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร จัดโดย ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร26 -27 พฤศจิกายน 2540.

สงวน โชติสุขรัตน์. (2555). ประชุมตำนานล้านนาไทย. กรุงเทพฯ : ศรีปัญญา.

สมเด็จฯ กรมพระยาดำรงราชานุภาพ. (2560). พงศาวดารเรื่องไทยรบพม่า. กรุงเทพฯ: ไทยควอลิตี้บุ๊คส์.

สรัสวดี อ๋องสกุล. (2540). ตำนานสิบห้าราชวงศ์ ฉบับสอบชำระ. เชียงใหม่ : สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สรัสวดี อ๋องสกุล. (2546). พื้นเมืองเชียงแสน. กรุงเทพฯ : อมรินทร์.

สรัสวดี อ๋องสกุล. (2558). ประวัติศาสตร์ล้านนา. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง.

สว่าง เลิศฤทธิ์. (2547). โบราณคดี: แนวคิดและทฤษฎี. กรุงเทพฯ : ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน.

สุรพล นาถะพินธุ. (2550). รากเหง้าบรรพชนคนไทย : พัฒนาการทางวัฒนธรรมก่อนประวัติศาสตร์. กรุงเทพฯ: มติชน.

หจช.ร5กร 5 รล-พศ.10/60. “นายหนานขัติยะบุตรแสนหลวงเจ้าเมืองลองร้องกล่าวโทษเจ้าผู้ครองนครลำปาง.” หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

หจช.ร๕กร ๕ รล-สต ๖/๑๙๔. “ศุภอักษรเมืองนครลำปาง ตอบรายกล่าวโทษแสนหลวงเมืองลอง อย่าให้กฏขี่คมเหงแสนหลวงเมืองลอง.” หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

หจช.ร.๕กร ๕ ม.๓๗/๑. “เรื่องเมืองลองวิวาทกับเมืองนครลำปาง.” (ก.ย.๑๐๔ – ๒๔ มิ.ย ๑๑๐). หอจดหมายเหตุแห่งชาติ กรมศิลปากร.

หลวงประเสริฐอักษรนิติ์. (2515). คำให้การชาวกรุงเก่า คำให้การขุนหลวงหาวัด และพระราชพงศาวดารกรุงเก่า. พระนคร : กรมศิลปากร.

อรุณรัตน์ วิเชียรเขียวและเดวิด เค. วัยอาจ. (2543). ตำนานพื้นเมืองเชียงใหม่. เชียงใหม่ : ซิลค์เวอร์มบุคส์.

อิสราวรรณ อยู่ป้อม. (2553). “การศึกษาเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณที่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อุดม รุ่งเรืองศรี. (2524). กำสรวลพระยาพรหม: คราวสิ้นบทและคำจ่มของพระยาพรหมโวหาร. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุราวรรณ อุ่นแก้ว. (2539). “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์.” กรมวิทยาศาสตร์บริการ 44, 140: 29.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายพลพยุหะ ไชยรส

วุฒิการศึกษา พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาปีที่ 6 (แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์)
โรงเรียนชลราษฎรอำรุง อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

พ.ศ. 2555 ศิลปศาสตรบัณฑิต (โบราณคดี) เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง
คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2566 ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (โบราณคดี)
คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร