



โครงการศึกษาความเชื่อมโยงของวัฒนธรรมท้องถิ่นสมัยอดีตถึงปัจจุบัน
เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลวัฒนธรรมและอารยธรรมโบราณ
ในพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำโขงและคาบสมุทรลพบุรี ระยะที่ 2

โลหกรรมสมัยโบราณในประเทศไทย

รศ. สุรพล นาถะพินธุ
เมธีวิจัยอาวุโส สกว.

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาความเชื่อมโยงของวัฒนธรรมท้องถิ่นสมัยอดีตถึงปัจจุบันเพื่อพัฒนาฐานข้อมูล
วัฒนธรรมและอารยธรรมโบราณในพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำโขงและคาบสมุทรลพบุรี ระยะที่ 2

โครงการศึกษาความเชื่อมโยงของวัฒนธรรมท้องถิ่นสมัยอดีตถึงปัจจุบัน
เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลวัฒนธรรมและอารยธรรมโบราณ
ในพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำโขงและคาบสมุทรลาลายา ระยะที่ 2

โลหกรรมสมัยโบราณในประเทศไทย

รศ. สุรพล นาถะพินธุ
เมธีวิจัยอาวุโส สกว.

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาความเชื่อมโยงของวัฒนธรรมท้องถิ่นสมัยอดีตถึงปัจจุบันเพื่อพัฒนา
ฐานข้อมูลวัฒนธรรมและอารยธรรมโบราณในพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำโขงและคาบสมุทรลาลายา ระยะที่ 2

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทที่ 1 ความนำเกี่ยวกับโลหะและประวัติการใช้โลหะของมนุษย์	1-16
ประเภทของโลหะ	1
ประวัติโดยย่อเรื่องการใช้โลหะของมนุษย์	2
กระบวนการผลิตโลหะโดยทั่วไป	6
บทที่ 2 ประวัติการศึกษาเรื่องการใช้โลหะในยุคก่อนประวัติศาสตร์ของประเทศไทย	17-24
และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	
แนวความคิดเดิมเรื่องการใช้โลหะในยุคก่อนประวัติศาสตร์ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	17
องค์ความรู้ปัจจุบันเรื่องวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในประเทศ	20
เวียดนาม	
สรุปความรู้ปัจจุบันเรื่องวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในเวียดนาม	23
บทที่ 3 ความรู้ปัจจุบันเกี่ยวกับประวัติการใช้โลหะสมัยโบราณในประเทศไทย	25-55
การโลหกรรมด้านโลหะทองแดงและโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก	25
การโลหกรรมด้านตะกั่ว	49
การโลหกรรมด้านเหล็ก	50
บทที่ 4 เครื่องโลหะของยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย	56-64
เอกสารอ้างอิง	65-68

สารบัญตาราง

ตาราง

หน้า

1.1 วิธีการทำเหมืองแร่ของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

7

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างของก้อนโลหะทองคำ เงิน และทองแดงที่เกิดตามธรรมชาติ (Native gold, silver and copper nuggets occurred from natural processes)	3
1.2 เครื่องประดับรูปเข็ม ทำด้วยทองแดงธรรมชาติ โดยวิธีตีขึ้นรูป พบที่แหล่งโบราณคดีชาโยนุเทเปซี (Çayönü Tepesi) ประเทศตุรกี อายุประมาณ 8,000 – 9,000 ปีมาแล้ว	4
1.3 หัวกระบอง หล่อจากทองแดง พบที่แหล่งโบราณคดีคานฮาซาน (Can Hasan) ประเทศอิหร่าน อายุประมาณ 7,000 ปีมาแล้ว	5
1.4 ตัวอย่างร่องรอยปล่องเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณภูโล้น อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย	7
1.5 ตัวอย่างร่องรอยอุโมงค์เหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณทิมนา ประเทศอิสราเอล	8
1.6 ตัวอย่างร่องรอยคูหาเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณซาวาร์ ประเทศอินเดีย	8
1.7 ตัวอย่างร่องรอยคูหาเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณบนเขาพุคา ในศูนย์การบินทหารบก อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี	9
1.8 ตัวอย่างเครื่องมือชุดแร่ทำด้วยเหล็ก และรอยเครื่องมือเหล็กที่มักปรากฏบนผนังเหมืองแร่โบราณที่ขุดด้วยเครื่องมือเหล็ก	9
1.9 ร่องรอยของการทำเหมืองแร่ทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย	10
1.10 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะเตาถลุงทองแดงรุ่นแรกๆในดินแดงตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ เตาอ่าง เตาอ่างแบบมีหลังคาหรือประทุน และเตาแบบมีผนังก่อสูง	12
1.11 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะเตาถลุงทองแดงสมัยอารยธรรมอียิปต์ ซึ่งมีช่องดักให้ตะกรันไหลแยกออกมานอกเตาถลุงเพื่อให้ภายในเตาเหลือแต่ก้อนโลหะทองแดง	12
1.12 ภาพลายเส้นแสดงขั้นตอนการหล่อประติมากรรมด้วยวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้ง	15
2.1 กลองมโหรีทีก ทำด้วยสำริด	17
3.1 ร่องรอยของการทำเหมืองทองแดงสมัยโบราณที่ภูโล้น อำเภอสังคม จังหวัดหนองคาย	26

ภาพที่		หน้า
3.2	ตัวอย่างของพะเนินชุตแร่ทำจาก หินกรวดจากแม่น้ำโขงก้อนขนาดใหญ่ พบที่ ภูโล้น มีร่องรอยการใช้งานลักษณะทุบ/กระแทกจนแตกกะเทาะที่ปลายทั้ง 2 ข้าง	27
3.3	ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงตำแหน่งของเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในย่าน เขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี	28
3.4	ร่องรอยอุโมงค์ที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณที่เขาทับควาย จังหวัดลพบุรี	29
3.5	ตัวอย่างของร่องรอยคูหาที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณที่เขาพุ คา จังหวัดลพบุรี	30
3.6	แผนที่แสดงตำแหน่งของแหล่งถลุงทองแดงสมัยโบราณในย่านเขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี	32
3.7	ภาพถ่ายจากดาวเทียม แสดงลักษณะของโนนป่าหวาย	33
3.8	เบ้าทำด้วยดินเผาและวงเตาถลุงทองแดง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการถลุงทองแดง พบที่แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย	34
3.9	เตาหลอมทองเหลืองแบบดั้งเดิมของชุมชนหัตถกรรมบ้านปะอาว อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ประกอบด้วยส่วนตัววงเตาและมีเบ้าหลอมทำด้วยดินเผา วางในเตา เป็นไปได้ว่าเตาถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่โนนป่าหวาย คงมีลักษณะเช่นนี้ ในขณะทำการถลุงทองแดง	34
3.10	แม่พิมพ์รูปถ้วยขนาดเล็กและแม่พิมพ์รูปถ้วยทรงกรวย ทำด้วยดินเผา ใช้สำหรับ หล่อก้อนโลหะทองแดง พบที่โนนป่าหวาย และก้อนตะกั่วที่ทดลองหล่อด้วย แม่พิมพ์ดังกล่าว	35
3.11	ก้อนโลหะทองแดงรูปทรงต่าง ๆ ที่เป็นผลผลิตของแหล่งผลิตทองแดงยุคก่อน ประวัติศาสตร์ในย่านเขาวงพระจันทร์	35
3.12	วัตถุสำริดรุ่นแรก ๆ ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านเชียง อำเภอ หนองหาน จังหวัดอุดรธานี	37
3.13	ตัวอย่างวัตถุทำด้วยสำริด ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายใน ประเทศไทย	37

โนนหนองหอ		หน้า
ภาพที่		
3.29	กระบวย ทำด้วยสำริด มีลายประดับรูปกวาง พบที่โนนหนองหอ	47
3.30	ก้อนโลหะทองแดงและก้อนตะกรันจากการถลุงทองแดง พบที่บ้านโนนเมือง อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเหมือนกับที่พบที่โนนหนองหอ	48
3.31	เบ้าทำด้วยดินเผา ใช้สำหรับหลอมสำริด พบที่บ้านโนนเมือง อำเภอเหล่าเสือ โก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเหมือนกับเบ้าที่พบที่โนนหนองหอ	48
3.32	ร่องรอยอุโมงค์เกิดจากการทำเหมืองตะกั่วสมัยโบราณ ส่วนกันเตาถลุงตะกั่ว สมัยโบราณ แม่พิมพ์สำหรับหล่อก้อนโลหะตะกั่ว และก้อนตะกั่วอีกชนิดหรือ ตะกั่วแดง พบที่บริเวณเหมืองบ่องาม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	49
3.33	ร่องรอยของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณ โดยกระบวนการถลุงโดยตรง พบที่บ้าน เขาคินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์	52
3.34	ร่องรอยของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณ โดยกระบวนการถลุงโดยตรง พบที่บ้าน สายโทเจ็ด อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์	52
3.35	การตีเหล็ก	53
3.36	ร่องรอยของเตาตีเหล็กสมัยโบราณ พบที่บ้านสายโทเจ็ด อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์	54
3.37	เตาตีเหล็กของราษฎรที่บ้านภูเขาทอง ตำบลม่วง อำเภอสังขุม จังหวัดหนองคาย	54
3.38	ตัวอย่างเครื่องมือและอาวุธทำด้วยเหล็ก พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ตำบลห้วยขุนราม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี	55
4.1	เศียรพระพุทธรูปสมัยสุโขทัย	56
4.2	พระเศียรพระพุทธรูปสำริด พบที่วัดธรรมมิกราช พระนครศรีอยุธยา ขนาดกว้าง 1.40 เมตร สูง 2.00 เมตร การหล่อพระพุทธรูปองค์นี้ให้สมบูรณ์ทั้งองค์ ต้องใช้ โลหะทองแดง ดีบุก และตะกั่วจำนวนมาก นับเป็นงานโลหะกรรมที่สะท้อน ความสามารถในการหล่อประติมากรรมสำริดขนาดใหญ่มาาก ๆ ของช่างโลหะ ไทยโบราณเมื่อครั้งพระนครศรีอยุธยาเป็นราชธานีช่วงแรก ๆ หรือก่อนหน้านั้น ไม่นานนัก	57
4.3	ส่วนหนึ่งของเครื่องราชูปโภคทำด้วยทองคำ พบในกรุพระปรางค์วัดราชบูรณะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	58
4.4	การหลอมทอง หล่อแผ่นทอง	60
4.5	การตีแผ่นทอง	61

4.6	การตีขึ้นรูป	61
ภาพที่		หน้า
4.7	การลาย	62
4.8	การกลึงตักแต่งผิว	62
4.9	การกรอปาก	63
4.10	การขัดผิวให้เรียบและเป็นมัน	63

ภาพที่		หน้า
3.14	ชิ้นส่วนซามทำจากสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมราวร้อยละ 22 - 25 ของส่วนผสมทั้งหมด ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายอายุประมาณ 2,200 - 2,300 ปีมาแล้ว พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านดอนตาเพชร อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี	38
3.15	เบ้าหลอมโลหะทำจากดินเผาและแม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกัน ทำจากหินทราย พบที่แหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมเดียวกับบ้านเชียง	38
3.16	แม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกันทำจากดินเผา สำหรับหล่อหัวลูกศร 3 ลูกพร้อมกัน พบที่แหล่งโบราณคดีเนินคลองบำรุง บ้านหนองยายโสี อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดลพบุรี	39
3.17	ใบหอกสำริดชิ้นที่มีอายุเก่าที่สุดของแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง	40
3.18	โครงกระดูกคนและใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิด พบในที่ฝังศพหนึ่งของแหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ส่วนคมหอกที่ทำด้วยเหล็กถูกฝังใจจนเป็นวงโค้ง ก่อนฝังเป็นของอุทิศให้ศพ	41
3.19	ใบหอกสำริดพบในชั้นวัฒนธรรมสมัยต้นที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง ส่วนปลายหอกถูกฝังใจทำให้งอโค้ง	42
3.20	ใบหอกเหล็กพบในหลุมฝังศพหลุมหนึ่งของแหล่งโบราณคดีบ้านท่าแค อำเภอมือง จังหวัดลพบุรี ถูกฝังใจก่อนฝังไว้กับศพ	42
3.21	ใบหอกที่ถูกฝังใจพบ พบในที่ฝังศพคนยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านดอนตาเพชร อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี	42
3.22	บริเวณจุดต่อระหว่างส่วนบ้องที่ทำด้วยสำริดและคมหอกที่ทำด้วยเหล็กของใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิด พบในที่ฝังศพหมายเลข 7 หลุมชุดคันหมายเลข 4 แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว มีส่วนบ้องทำด้วยโลหะสำริดที่ตกแต่งด้วยลวดลายละเอียดประณีตหุ้มทับเนื้อโลหะเหล็กของส่วนคมหอก	43
3.23	ใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิดที่พบในการขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง	44
3.24	ก้อนโลหะทองแดงพบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ	45
3.25	เบ้าหลอมสำริดพบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ	45
3.26	ชิ้นส่วนแม่พิมพ์หล่อกลองมโหระทึกสำริด พบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ	45
3.27	ชิ้นส่วนแม่พิมพ์หล่อกลองมโหระทึกสำริด พบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ	46
3.28	กลองมโหระทึกจำลองขนาดเล็ก ทำด้วยสำริด พบที่แหล่งโบราณคดี	46

บทที่ 1

ความนำเกี่ยวกับโลหะและประวัติการใช้โลหะของมนุษย์

โลหะ คือ ของแข็งที่ประกอบด้วยอนุภาคผลึกซึ่งเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ (crystallined solid) และประกอบด้วยธาตุที่มีคุณสมบัติของความเป็นโลหะ ซึ่งหมายถึงคุณสมบัติ ดังนี้

- มีความหนาแน่นสูง
- มีความแข็ง
- มีความทึบแสง
- ผิวที่ถูกตัดใหม่มีความมันวาว
- เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี
- มีจุดหลอมเหลวสูง (ยกเว้นปรอทซึ่งอยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิห้อง)
- ทำปฏิกิริยากับกรด ด่างและเกลือ ได้เป็นสารประกอบที่เรียกกว้าง ๆ ว่า “สนิม”
- ดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่างๆและดึงเป็นเส้นได้
- มีความทนทานต่อแสงสว่าง ความร้อนและสิ่งแวดล้อม
- สามารถทำให้เป็นโลหะผสมได้โดยการเติมธาตุอื่นลงไป

นอกจากนี้ โลหะยังมีคุณลักษณะเฉพาะอื่น ๆ ได้แก่

- ที่อุณหภูมิห้องนั้น โลหะแทบทุกชนิดอยู่ในสภาวะของแข็ง ยกเว้นเพียงปรอทเท่านั้น ที่อยู่ในสภาพของไหล

- โลหะแทบทุกชนิดเกิดในสภาพ “สินแร่” (ores) ยกเว้นเพียงโลหะบางชนิด เช่น ทองคำ เงิน และทองแดง ที่สามารถพบได้ในสภาพที่เป็น “โลหะธรรมชาติ” (native metal)

ประเภทของโลหะ

การแบ่งประเภทโลหะสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งนี้นิยมแบ่งดังนี้

1. แบ่งอย่างกว้างๆ ได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ

- 1) โลหะบริสุทธิ์ (pure metal)
- 2) โลหะผสม (alloy)

2. แบ่งตามคุณลักษณะทางวิศวกรรม

1) โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (non – ferrous metal) ได้แก่ โลหะชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม ที่ไม่ใช่เหล็ก

2) โลหะกลุ่มเหล็ก (ferrous metal) ได้แก่ โลหะเหล็กและโลหะผสมที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก

ประวัติโดยย่อเรื่องการใช้โลหะของมนุษย์

แม้ว่ามนุษย์ชาติได้ปรากฏขึ้นในโลกมาตั้งแต่เมื่อนับแสนปีมาแล้วและได้มีวิวัฒนาการทางภาพและพัฒนาการทางวัฒนธรรมมาอย่างต่อเนื่อง แต่ทว่า ในช่วงเพียงไม่กี่พันปีมาแล้วเท่านั้นเอง ที่มนุษย์เริ่มรู้จักใช้โลหะ

การศึกษาค้นคว้าเรื่องประวัติของการทำและใช้โลหะตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์จวบจนถึงยุคประวัติศาสตร์พบว่า ช่างโลหะสมัยโบราณรู้จักใช้โลหะหลายชนิดทำสิ่งของเครื่องใช้ โดยมีทั้งที่เป็นโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม ทั้งนี้ โลหะที่สำคัญและนิยมใช้กันมากได้แก่ ทองคำ เงิน ทองแดง สำริด และ เหล็ก นอกจากนี้ก็มีดีบุกและตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะที่ผสมกับโลหะสำคัญอื่น ๆ เพื่อทำเป็นโลหะผสม

ทองคำ จัดเป็นโลหะมีค่าสูง เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นโลหะบริสุทธิ์มีเนื้ออ่อน มีสีเหลืองเป็นประกายสวยงาม มักใช้ทำเครื่องประดับร่างกาย ใช้ทำภาชนะสำหรับใช้ในวาระและหน้าที่พิเศษ ใช้เป็นส่วนประกอบประดับตกแต่งสิ่งของเครื่องใช้ชั้นพิเศษ รวมทั้งนำมาตีให้เป็นแผ่นบางใช้บุหุ้มวัตถุต่าง ๆ หรือตีเป็นแผ่นบางมาก ๆ ที่เรียกว่า “ทองคำเปลว” ใช้สำหรับ “ปิดทอง” ตกแต่งวัตถุต่าง ๆ ด้วยเหตุที่ทองคำเป็นโลหะสูงค่าและมีเนื้ออ่อนจึงไม่นิยมใช้ทำเครื่องมือใช้สอยสำหรับใช้ในกิจกรรมการดำรงชีวิตประจำวันทั่วไปเพราะจะเสียหายได้ง่ายมาก

เงิน เป็นโลหะที่มีราคาสูงอีกชนิดหนึ่ง มีเนื้ออ่อนเมื่ออยู่ในสภาพโลหะบริสุทธิ์ จึงไม่นำมาทำเครื่องมือใช้สอยสามัญ แต่จะใช้ในลักษณะเดียวกับทองคำ คือ ทำเครื่องประดับร่างกาย ทำภาชนะและเครื่องใช้สำหรับโอกาสพิเศษ ใช้ทำส่วนประดับตกแต่งวัตถุชั้นพิเศษและสำคัญ ตีเป็นแผ่นบางสำหรับบุหรือหุ้มสิ่งต่าง ๆ เป็นต้น

ทองแดง เป็นโลหะมีค่าที่แม้ว่ามีราคาน้อยกว่าทองคำและเงิน แต่เนื่องจากมีเนื้ออ่อนมากเมื่ออยู่ในสภาพโลหะบริสุทธิ์ จึงไม่นิยมใช้ทำเครื่องมือใช้สอยสามัญทั่วไป การใช้ทองแดงบริสุทธิ์จึงมักใช้ทำเครื่องประดับร่างกาย ใช้ทำงานศิลปะ ทำงานหัตถกรรมสำหรับประดับอาคารและสิ่งก่อสร้าง รวมทั้งใช้ทำภาชนะและเครื่องใช้สำหรับกิจกรรมพิเศษบางชนิด นอกเหนือไปจากนี้แล้วก็จะเป็นการใช้ผสมกับดีบุก หรือผสมกับดีบุกและตะกั่วให้เป็นโลหะสำริด สำหรับใช้ทำสิ่งของต่าง ๆ

สำริด เป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยทองแดงและดีบุก หรือทองแดง ดีบุกและตะกั่ว หรือทองแดงและตะกั่ว โดยทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนดีบุกและตะกั่ว เป็นองค์ประกอบรอง โลหะผสมชนิดนี้เป็นสิ่งที่ใช้กันมายาวนานและแพร่หลายมาก ในยุคก่อนประวัติศาสตร์นิยมใช้สำริดทำเครื่องมือใช้สอยและเครื่องประดับนานาชนิด เช่น ใบหอก หัวขวาน หัวลูกศร กำไลข้อมือ แหวน

ห้วงคอ ลูกกระพรวน ฯลฯ ส่วนในยุคประวัติศาสตร์นอกจากนิยมนำมาทำเครื่องประดับร่างกายชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังใช้ทำภาชนะบางชนิด ใช้หล่อรูปเคารพ เทวรูป และพระพุทธรูป ใช้ทำส่วนประดับอาคารสถานที่ ฯลฯ ภาชนะที่เรียกว่าขันลงหินของไทยก็จัดเป็นโลหะสำริดชนิดหนึ่งเช่นกัน

เหล็ก เป็นโลหะที่ราคาไม่สูง เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นโลหะบริสุทธิ์มีความแข็งไม่มากนัก แต่ช่างโลหะก็สามารถใช้วิธีการเผาและชุบในน้ำเย็นเพื่อทำให้มีธาตุคาร์บอนแทรกกระจายเข้าไปผสมในเนื้อเหล็ก ซึ่งก็เป็นการเปลี่ยนเหล็กอ่อนให้เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็งเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุที่เหล็กมีราคาไม่สูงนักรวมทั้งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความเหนียวได้ไม่ยาก จึงเป็นโลหะที่ผู้คนตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงสมัยปัจจุบัน นิยมนำมาใช้ทำเครื่องมือใช้ในครัวเรือน เครื่องมือเกษตรกรรม และอาวุธ เช่น จอบ เสียม มีด ขวาน หอก ดาบ ฯลฯ

กล่าวอย่างกว้าง ๆ ได้ว่า โลหะชนิดแรก ๆ ที่มนุษย์ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์นำมาใช้ได้แก่ โลหะธรรมชาติ (native metal) ซึ่งหมายถึงโลหะบริสุทธิ์ หรือเกือบบริสุทธิ์ ที่เกิดตามกระบวนการทางธรรมชาติ ได้แก่ ทองคำธรรมชาติ (native gold) เงินธรรมชาติ (native silver) และทองแดงธรรมชาติ (native copper) โดยในช่วงแรก ๆ นั้น นำมาใช้ทำเครื่องประดับรูปลักษณะง่าย ๆ



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างของก้อนโลหะทองคำ เงิน และทองแดงที่เกิดตามธรรมชาติ (Native gold, silver and copper nuggets occurred from natural processes)

ต่อมา เมื่อมีประสบการณ์และความเข้าใจในการทำวัตถุจากโลหะเหล่านั้นมากขึ้น มนุษย์ยุคก่อนประวัติศาสตร์ได้มีความรู้มากขึ้นในเรื่องคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของโลหะ โดยเฉพาะทองแดง ซึ่งพบว่ามีความสมบัติพิเศษบางประการเหนือกว่าโลหะมีค่าอื่น ๆ ในกรณีที่จะใช้โลหะเหล่านี้ทำเป็นเครื่องมือใช้สอยและอาวุธ เมื่อประกอบเข้ากับความรู้ด้านเทคโนโลยีการใช้ไฟและความร้อนที่มนุษย์มีอยู่มาแต่เดิมแล้ว มนุษย์จึงนิยมทำเครื่องมือใช้สอยจากทองแดงมากขึ้นโดยวิธีการหลอมและหล่อโลหะ ส่วนโลหะสูงค่า อันได้แก่ เงินและทองคำนั้น นิยมใช้ทำเครื่องประดับ จากนั้นจึงพัฒนาเทคโนโลยีการทำโลหะสำริดและเหล็ก ตามลำดับ นอกจากนี้ก็ยังใช้ดีบุกและตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะที่นิยมใช้ผสมกับโลหะสำคัญอื่น ๆ เพื่อทำเป็นโลหะผสม เช่นผสมกับทองแดงเพื่อทำสำริด

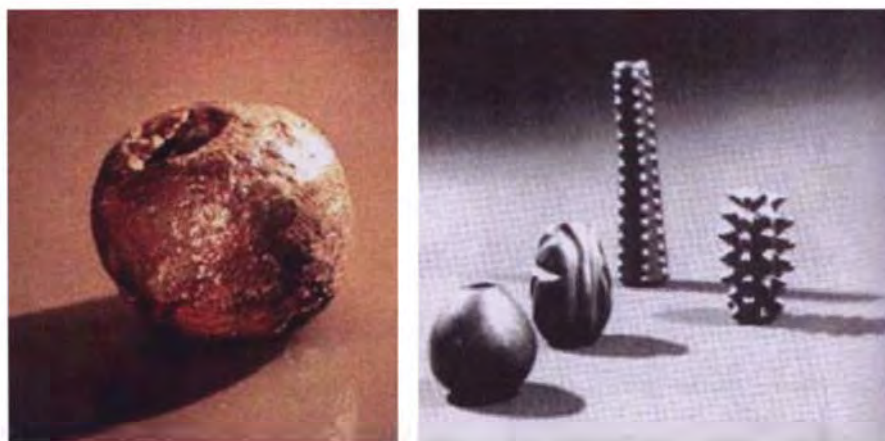
การใช้ทองแดงในสมัยแรก ๆ นั้น ปรากฏขึ้นในตะวันออกกลางเมื่อไม่น้อยกว่าประมาณ 9,000 ปีมาแล้ว โดยมนุษย์ได้นำทองแดงธรรมชาติ (native copper) มาใช้ (ดู Cambel 1974; Smith 1969; France-Lanord and Contenson 1973; Muhly 1981) ทั้งนี้คงเป็นเพราะวัสดุนี้เป็นโลหะที่เกิดขึ้นมาโดยกระบวนการทางธรรมชาติ มนุษย์สามารถแยกแยะความแตกต่างของโลหะทองแดงธรรมชาติออกจากหินได้โดยง่าย จึงสามารถรวบรวมทองแดงธรรมชาติมาทำเป็นสิ่งของต่างๆ ได้ทันทีโดยผ่านกรรมวิธีง่าย ๆ คือการทุบและตีเพื่อบีบและรีดก้อนทองแดงธรรมชาติให้เปลี่ยนรูปร่างเป็นสิ่งที่ต้องการ ทั้งนี้ มนุษย์คงเริ่มเรียนรู้ไปด้วยว่าวัตถุที่ตีขึ้นมาจากทองแดงนั้นมีความแข็งและความเปราะมากกว่าก้อนทองแดงธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการตีเพื่อเปลี่ยนรูปร่าง ทำให้การตีขึ้นรูปทองแดงธรรมชาติในสมัยแรก ๆ นั้นทำได้ในระดับที่จำกัด สิ่งของที่ทำขึ้นมาจึงล้วนเป็นเครื่องประดับชนิดที่มีรูปทรงง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน เช่น ลูกปัด บินปักผม เข็มปลายแหลม เป็นต้น



ภาพที่ 1.2 เครื่องประดับรูปเข็ม ทำด้วยทองแดงธรรมชาติ โดยวิธีตีขึ้นรูป พบที่แหล่งโบราณคดีชาโยนุเทเปซี (Çayönü Tepesi) ประเทศตุรกี อายุประมาณ 8,000 – 9,000 ปีมาแล้ว

ผลการวิเคราะห์โบราณวัตถุทำจากทองแดงธรรมชาติรุ่นแรก ๆ อายุราว 8,000 - 9,000 ปีมาแล้วที่พบในตะวันออกกลาง เช่นที่แหล่งโบราณคดีชาโยนุเทเปซี (Çayönü Tepesi) ประเทศตุรกี ยังแสดงให้เห็นว่า ในเวลาหลังจากการเริ่มใช้ทองแดงธรรมชาติไม่นาน มนุษย์เริ่มเรียนรู้ว่ากระบวนการเผาทองแดงให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ สามารถทำให้วัตถุที่ตีขึ้นจากทองแดงนั้นลดความเปราะลง และสามารถนำมาตีรีดต่อไปให้เป็นสิ่งของมีรูปลักษณะตามต้องการได้ รวมทั้งสามารถทำให้มีรูปลักษณะซับซ้อนขึ้น

ต่อมาในช่วงเวลาก่อนหน้า 7,000 ปีมาแล้ว มนุษย์เริ่มเข้าใจกระบวนการผลิตวัตถุจากทองแดงธรรมชาติด้วยวิธีการหลอม (melting) และหล่อ (casting) เครื่องประดับและอาวุธขนาดเล็กที่มีรูปทรงซับซ้อน และมีลวดลายประดับ จึงเริ่มถูกผลิตขึ้นมา และเป็นสิ่งของที่ผู้คนต้องการมากขึ้น



ภาพที่ 1.3 หัวกระบอง หล่อจากทองแดง พบที่แหล่งโบราณคดีคานฮาซาน (Can Hasan) ประเทศอิหร่าน อายุประมาณ 7,000 ปีมาแล้ว

ความต้องการวัตถุที่ทำด้วยทองแดงที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นในเวลาต่อ ๆ มา ทำให้ปริมาณทองแดงธรรมชาติลดลง แต่มนุษย์ตั้งแต่ราวไม่น้อยกว่า 7,000 ปีมาแล้ว ก็สามารถตอบสนองความต้องการทองแดงได้ โดยพัฒนาเทคโนโลยีการถลุงโลหะ (smelting) ขึ้นมา (ดู Muhly, 1981; Munchajev and Merpert, 1977) ความรู้ในกระบวนการถลุงโลหะที่ประกอบด้วยการใช้ความร้อนและปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในเตาถลุง เพื่อเปลี่ยนให้สินแร่ทองแดง (copper ores) ที่มนุษย์ต้องขุดมาจากแหล่งแร่ ให้กลายเป็นโลหะทองแดง (metallic copper) ที่สามารถนำไปหลอมและหล่อเป็นวัตถุต่าง ๆ ทำให้มีการใช้ทองแดงแพร่หลายขึ้นอย่างมาก รวมทั้งนำไปสู่การผลิตสิ่งของเครื่องใช้และเครื่องประดับที่มีรูปลักษณะต่าง ๆ ในหลากหลายสังคมและวัฒนธรรม ทองแดงจึงเริ่มกลายเป็นโลหะสำคัญที่มนุษย์ต้องการและเสาะแสวงหามาใช้ทำเครื่องมือสำหรับเพิ่มพูนประสิทธิภาพในการดำรงชีวิตและดำรงสังคมของตน

แต่เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่เกิดขึ้นเฉพาะบางสภาพทางธรณีวิทยา หรือมีอยู่เฉพาะในบางพื้นที่เท่านั้น มิได้มีอยู่ทั่วทุกที่ ทองแดงจึงกลายเป็นของมีค่าสูง ในหลายภูมิภาคของโลก ทองแดงจึงเป็นปัจจัยประการหนึ่งที่มีส่วนร่วมทำให้เกิดพัฒนาการของสังคมและวัฒนธรรมที่มีความแตกต่างกันในความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ และในอำนาจบางลักษณะ เมื่อสมัยโบราณ

ตามธรรมชาติแล้ว ธาตุทองแดงมักเกิดอยู่ร่วมกับธาตุโลหะอื่น ๆ หลายชนิด แร่ธาตุที่มักพบปนอยู่กับทองแดงเสมอ ๆ ได้แก่ เงิน ตะกั่ว อาร์เซนิก เหล็ก สังกะสี และบางครั้งก็มีดีบุกด้วย ทั้งนี้ชนิดและปริมาณของธาตุแทรกปนอื่น ๆ นั้นไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับกระบวนการเกิดและธรรมชาติของแหล่งแร่แต่ละแห่ง

ด้วยเหตุที่แหล่งแร่ทองแดงมักมีแร่ธาตุอื่น ๆ อยู่ด้วยนี้เอง จึงทำให้ช่างโลหะสามารถสังเกตเห็นคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปของทองแดงที่ถลุงออกมาจากแร่ที่มาจากแหล่งต่าง ๆ กัน ทำให้

สามารถตรวจสอบและทดลองจนเกิดความรู้ความเข้าใจว่าแร่ธาตุแทรกปนบางชนิดก็คือปัจจัยที่ทำให้ทองแดงมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ส่งผลให้มีการคัดเลือกที่จะเพิ่มปริมาณธาตุที่ช่วยให้ทองแดงมีคุณสมบัติแข็งขึ้น และกำจัดธาตุแทรกปนอื่น ๆ ออกให้มากที่สุด ความรู้ความเข้าใจและกระบวนการดัดแปลงคุณสมบัติของทองแดงเช่นนี้ ได้นำไปสู่การคิดค้นและประดิษฐ์โลหะผสมของทองแดง (copper alloys) ขึ้นในเวลาต่อมา

โลหะผสมระหว่างทองแดงและอาร์เซนิกหรือที่เรียกว่าสำริดอาร์เซนิก (arsenical bronze) จัดเป็นโลหะผสมของทองแดงชนิดแรกที่มนุษย์จงใจประดิษฐ์ขึ้นมาใช้แทนที่โลหะทองแดงบริสุทธิ์ ตั้งแต่ราว 5,000-6,000 ปีมาแล้ว (ดู Charles, 1967) ทั้งนี้เพราะโลหะผสมนี้มีความแข็งกว่าทองแดงมาก สามารถใช้ทำอาวุธและเครื่องมือใช้สอยที่มีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าทองแดงบริสุทธิ์

ในตะวันออกกลางนั้น ยุคของการใช้สำริด (Bronze Age) ได้เกิดขึ้นมาตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 5,600 ปีมาแล้ว หลังจากนั้นไม่นาน สังคมที่ประกอบไปด้วยประชากรแบ่งเป็นชนชั้นต่าง ๆ หรือที่เรียกว่าสังคมแบบรัฐ (state) แห่งแรกของโลก ก็ได้ปรากฏขึ้นมาในดินแดนดังกล่าว ซึ่งก็คือการเกิดอาณาจักรเมโสโปเตเมียขึ้นเมื่อราว 5,500 ปีมาแล้วนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การประดิษฐ์คิดค้นสำริดที่แท้จริง ซึ่งหมายถึงโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก ในช่วงก่อนหน้า 4,000 ปีมาแล้วเล็กน้อย กลับเป็นปัจจัยหลักที่นำไปสู่พัฒนาการและการขยายตัวของการทำเหมืองแร่ทองแดงและการผลิตทองแดงระดับอุตสาหกรรม รวมทั้งยังก่อให้เกิดการพัฒนาเครือข่ายของการติดต่อแลกเปลี่ยนค้าขายที่กว้างขวางให้เป็นที่สื่อในการเคลื่อนย้ายและกระจายทองแดงและดีบุกไปยังชุมชนสำคัญต่าง ๆ ที่ต้องการสำริดมาทำเครื่องมือใช้สอย อาวุธ และเครื่องประดับ

กระบวนการผลิตโลหะโดยทั่วไป

แม้ว่าโลหะบางชนิดเกิดขึ้นมาเองตามธรรมชาติ แต่โลหะที่มนุษย์ใช้กันตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะได้มาจากการถลุงแร่โลหะ ทั้งนี้กระบวนการสำหรับผลิตโลหะล้วนซับซ้อนพอสมควร โดยจะต้องมีขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การทำเหมืองแร่ การเตรียมและแต่งแร่ การถลุงแร่ และการผลิตชิ้นงานโลหะ รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนหลักดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

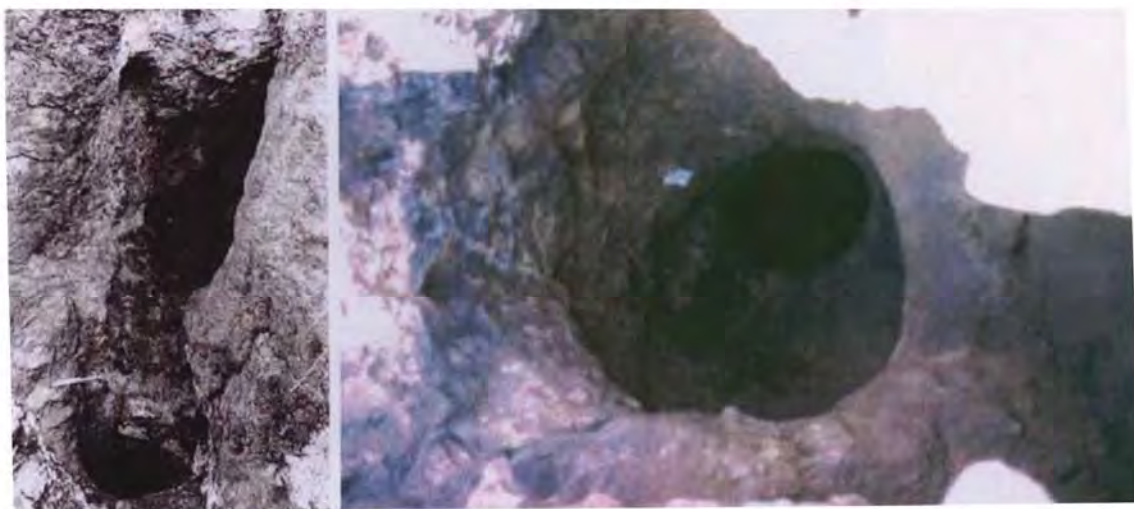
1. การทำเหมืองแร่

แร่โลหะมักเกิดเป็นสายแร่แทรกอยู่ในชั้นหินของภูเขาหรือหินโผล่ (outcrop) จึงต้องมีการทำเหมืองเพื่อขุดแยกแร่ออกมาเอา มา วิธีการทำเหมืองแร่ของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนามาเป็นลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 วิธีการทำเหมืองแร่ของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

วิธีการทำเหมือง	ร่องรอยและลักษณะบ่งชี้	อายุสมัย
1. การคัดเก็บแร่ด้วยมือ (Hand Cobbing/ Grubbing)	- การเก็บรวบรวมแร่ที่พบตามผิวดิน แยกแยะร่องรอยไม่ได้	- การเริ่มใช้ทองแดงครั้งแรกๆของ มนุษย์
2. การใช้ไฟสุ่มสายแร่ (Fire - setting)	- ถ่าน ชี้เถาและก้อนหินถูกไฟเผา ทับถมรวมกันเป็นชั้นหนาๆ - ผนังของเหมืองมักเรียบ และโค้ง ต่อเนื่องกัน	- สมัยทองแดงจนถึงสมัยสำริด
3. การขุดแร่ด้วยพะเนินหิน หรือ ฆ้อนหิน (Battering with Stone Mauls/ Stone Hammer)	- พะเนินหิน หรือฆ้อนหินขนาดใหญ่ มักทำจากหินกรวดแม่น้ำ หรือหิน ภูเขา ชนิดหินอัคนี มักมีรอยใช้งาน หรือมีรอยแต่งเป็นร่องสำหรับเข้า ด้ามพะเนิน	- สมัยทองแดงจนถึงสมัยสำริด
4. การทำเหมืองแร่ด้วยเครื่องมือ โลหะ (Mining with Metal Tools)	- รอยเหล็กสกัดเป็นร่องยาวแคบ มัก มีหลายรอยขนานกันไป ปรากฏบน ผนังของเหมือง	- สมัยสำริดตอนปลายมาจนถึงยุค ปัจจุบัน
5. การทำเหมืองแร่ด้วยระเบิด (Blasting)	- รอยรูเจาะฝังแท่งระเบิด - ผนังเหมืองมีลักษณะขรุขระมาก	- เริ่มตั้งแต่ช่วงปลายคริสต์ศตวรรษ ที่ 17 มาจนถึงปัจจุบัน

ยกเว้นการทำเหมืองด้วยวิธีคัดเก็บแร่ด้วยมือแล้ว การทำเหมืองแร่ด้วยวิธีต่าง ๆ ล้วนก่อให้เกิดปล่องเหมือง (mining shaft) หรืออุโมงค์ตามแนวนอน (mining adit) หรือ คูหาใหญ่ ๆ (mining gallery) ลักษณะคล้ายถ้ำ



ภาพที่ 1.4 ตัวอย่างร่องรอยปล่องเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณภูโล้น อำเภอสว่าง จังหวัดหนองคาย



ภาพที่ 1.5 ตัวอย่างร่องรอยอุโมงค์เหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณทิมนา ประเทศอิสราเอล



Zawar Mine

Chamber with smooth profile typical of fire-setting.

ภาพที่ 1.6 ตัวอย่างร่องรอยคูหาเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณซาวาร์ ประเทศอินเดีย



ภาพที่ 1.7 ตัวอย่างร่องรอยคูหาเหมืองแร่ที่เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณบนเขาพุดา ในศูนย์การบิณฑารบก อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี



ภาพที่ 1.8 ตัวอย่างเครื่องมือชุดแร่ทำด้วยเหล็ก และรอยเครื่องมือเหล็กที่มักปรากฏบนผนังเหมืองแร่โบราณที่ขุดด้วยเครื่องมือเหล็ก

ในประเทศไทยนั้น ได้พบแหล่งแร่ทองแดงที่มีร่องรอยการขุดทำเหมืองยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ภูโล้น บ้านภูเขาทอง อำเภอสังขม จังหวัดหนองคาย และที่ภูเขางูในย่านเขาวงพระจันทร์ อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

บนภูโล้นมีร่องรอยของอุโมงค์ จากการขุดทำเหมืองแร่อยู่หลายแห่งอุโมงค์ดังกล่าวมีทั้งลักษณะเป็นโพรงลึกในแนวตั้ง เป็นอุโมงค์ทอดตัวยาวตามแนวนอน และเป็นถ้ำกว้าง ลักษณะรูปร่าง

ของอุโมงค์ที่ภูโล้น แสดงให้เห็นว่าการทำเหมืองสมัยก่อนประวัติศาสตร์ที่แหล่งแร่นี้ใช้เทคนิคอย่างน้อย 2 เทคนิค กล่าวคือ เหมืองรุ่นแรก ๆ นั้น มีด้านตัดของอุโมงค์เป็นทรงกลม ซึ่งเกิดจากการใช้หินกรวดแม่น้ำเป็นเครื่องมือขุดไปตามสายแร่ ส่วนอุโมงค์ที่มีลักษณะแคบ วกวน ด้านตัดมีแฉ่งมุมเป็นเหลี่ยมคม เป็นเหมืองรุ่นหลังๆ ซึ่งใช้เครื่องมือขุดแร่ทำจากโลหะ ส่วนที่ในย่านเขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี ได้พบร่องรอยการทำเหมืองแร่ทองแดงที่อาจทำกันหลายสมัยเช่นกัน



ภาพที่ 1.9 ร่องรอยของการทำเหมืองแร่ทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย

2. การเตรียมและแต่งแร่

ตามปกติแล้วแร่ที่ขุดมาจากเหมืองยังไม่สามารถนำไปถลุงได้เลย เพราะยังมีสิ่งแทรกปนและแร่ธาตุมลทินต่างๆ ปนอยู่มาก จึงต้องมีการทำความสะอาดก่อน

ในสมัยโบราณนั้นอาจทำความสะอาดแร่โดยทุบคดหินปนแร่ที่ขุดมาได้นั้น ให้แตกเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วคัดเลือกก้อนที่เป็นหินเสียส่วนใหญ่ออกทิ้งไป หลังจากนั้นนำแร่ที่ทุบย่อยแล้วไปล้างและร่อนในน้ำที่ไหลอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำพัดพาหิน ดิน ทราวยที่ยังหลงเหลืออยู่ออกไป หลังจากทำความสะอาดแล้วก็จะย่อยแร่ให้ได้ขนาดเหมาะสมสำหรับการถลุง

ข้อสำคัญประการหนึ่งในขั้นตอนการเตรียมและแต่งแร่ก็คือ การเตรียมแร่นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของแร่ ยกตัวอย่าง เช่นกรณีการเตรียมแร่ทองแดง หากแร่ทองแดงที่จะถลุงเป็นชนิดออกไซด์หรือคาร์บอเนต วิธีการเตรียมก็ประกอบด้วยการทุบย่อยให้ได้ขนาด แยกเอาสิ่งแทรกปนและมลทินต่าง ๆ ออกให้มากที่สุด แล้วนำแร่ไปล้างและตากให้แห้งก็สามารถนำไปถลุงได้ แต่ถ้าเป็นแร่ทองแดง

ชนิดซัลไฟด์ ซึ่งเป็นแร่ที่มีธาตุกำมะถันปนอยู่สลับซับซ้อน จะไม่สามารถถลุงได้โดยตรง แต่จะต้องเตรียมแร่ด้วยการเผาแร่หรือย่างแร่ (ore roasting) เพื่อขจัดธาตุกำมะถันออกเสียก่อนแล้วจึงนำแร่ที่เผาไล่กำมะถันแล้วไปถลุงเพื่อให้ได้โลหะออกมาจากแร่

มีผลการศึกษาเรื่องการถลุงทองแดงสมัยโบราณในตะวันออกกลางพบว่า เทคโนโลยีผลิตทองแดงช่วงแรก ๆ ในสมัยสำริดตอนต้นของพื้นที่ดังกล่าวนั้น เป็นการถลุงทองแดงออกมาจากแร่ทองแดงชนิดออกไซด์และคาร์บอเนต ต่อมาในช่วงสมัยหลังจึงได้พัฒนาวิธีการถลุงเอาโลหะทองแดงจากแร่ทองแดงชนิดซัลไฟด์

อนึ่ง การค้นคว้าเรื่องการผลิตสำริดสมัยโบราณในประเทศไทยขณะนี้ได้พบหลักฐานว่า บางครั้งการถลุงแร่ทองแดงชนิดซัลไฟด์ก็ไม่จำเป็นต้องมีการเผาแร่ แต่ใช้วิธีถลุงแร่ชนิดซัลไฟด์ผสมกับแร่ชนิดออกไซด์ในสัดส่วนที่ถูกต้องเหมาะสม ก็จะได้โลหะทองแดงที่มีคุณภาพเช่นกัน (ดู Rostoker, Pigott and Dvorek, 1989)

3. การถลุงแร่

แนวความคิดที่สำคัญของการถลุงแร่คือ

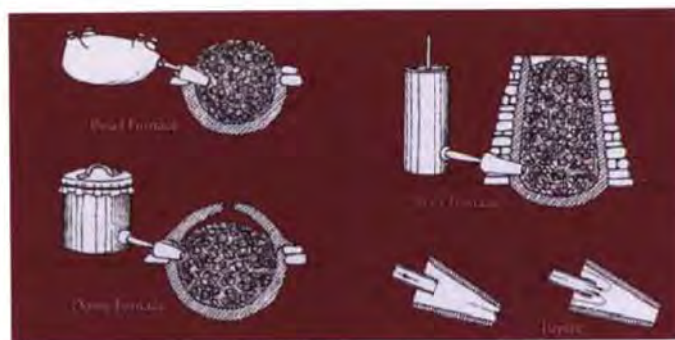
- 1) รวบรวมโลหะมีค่าออกจากแร่ที่จะถลุงให้ได้มากที่สุดโดยประหยัดที่สุด
- 2) เปลี่ยนแร่ธาตุแทรกปนในแร่ให้เป็นตะกั่วให้มากที่สุด

การถลุงแร่ จัดเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อนที่สุดในกระบวนการผลิตโลหะ ข้างถลุงโลหะต้องมีความรู้เป็นอย่างดีในเรื่ององค์ประกอบต่างๆในการถลุงแร่ ได้แก่

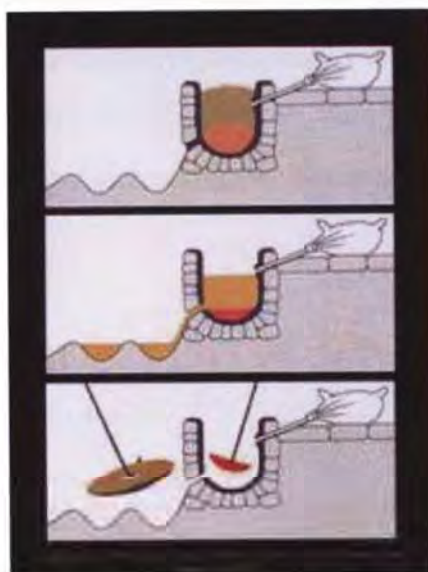
- 1) เชื้อเพลิงที่เหมาะสม
- 2) เชื้อถลุง (Flux) หรือวัตถุที่ต้องเติมเข้าไปเพื่อเอื้อให้เกิดตะกั่ว (slag) ที่ถูกต้อง
- 3) ชนิดของเตาถลุงที่มีคุณสมบัติถูกต้องและทำให้ภายในเตาเกิดสภาวะลดออกซิเจน

(reducing atmosphere) และเกิดอุณหภูมิที่สูงพอที่จะหลอมโลหะชนิดที่กำลังถลุง ยกตัวอย่างเช่น การถลุงทองแดง ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,083 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของทองแดง

ในตะวันออกกลางและยุโรปนั้น ได้พบว่า เตาถลุงทองแดงในสมัยแรก ๆ เป็นเตาชนิดที่เรียกว่าเตาอ่าง (bowl furnace) มีลักษณะเป็นหลุมตื้น ๆ สำหรับบรรจุแร่และเชื้อเพลิง มีสุมลมเพื่ออัดให้อากาศปริมาณมากเข้าไปเร่งการติดไฟของเชื้อเพลิง ในเวลาต่อมาจึงพัฒนาเป็นเตาอ่างแบบมีหลังคาโค้งด้านบน (dome furnace) และเตาแบบมีผนังก่อสูง (shaft furnace)



ภาพที่ 1.10 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะเตาถลุงทองแดงรุ่นแรกๆ ในดินแดง ตะวันออกกลาง ได้แก่ เต่าอ่าง เต่าอ่างแบบมีหลังคาหรือประทุน และเตาแบบมีผนังก่อสูง



ภาพที่ 1.11 ภาพลายเส้นแสดงลักษณะเตาถลุงทองแดงสมัยอารยธรรมอียิปต์ ซึ่งมีช่องดักให้ตะกรันไหลแยกออกมา นอกเตาถลุงเพื่อให้ภายในเตาเหลือแต่ก้อนโลหะทองแดง

ปฏิกิริยาการถลุงแร่เริ่มต้นขึ้นเมื่ออากาศจากที่สุบลมถูกสูบอย่างรวดเร็วเข้าไปในเตาที่มีแร่ผสมกับเชื้อเพลิงที่ติดไฟแล้วบรรจุอยู่ การสูบลมเข้าไปจะเร่งอุณหภูมิในเตาจนถึงจุดหลอมเหลวของโลหะที่กำลังถลุง ขณะเดียวกันเมื่อควบคุมให้ภายในเตาเกิดสภาวะแวดล้อมที่ประกอบด้วยความร้อนสูงและมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาก อันเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถส่งผลให้โลหะแยกตัวออกมาจากแร่อื่น ๆ และสิ่งแทรกปนต่าง ๆ และหลอมเหลวแล้วจมลงสู่ส่วนก้นเตา ในขณะที่แร่ธาตุแทรกปนอื่น ๆ และเชื้อถลุง จะหลอมเหลวรวมตัวกันกลายเป็นตะกรันลอยอยู่เหนือส่วนที่เป็นโลหะ เมื่อปล่อยให้เตาเย็นตัวลงดีแล้วก็จะทุบเตาออก และสามารถนำก้อนเนื้อโลหะที่ถลุงได้ไปใช้ทำสิ่งของที่ต้องการต่อไป

อนึ่ง ขณะนี้ได้มีการศึกษาค้นคว้าพบหลักฐานจากแหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี แสดงให้เห็นว่าการถลุงทองแดงในยุคก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทยมี

วิธีการที่แตกต่างไปจากของผู้คนในตะวันออกกลาง โดยพบว่า ช่างโลหะสมัยโบราณในแถบจังหวัด ลพบุรี เมื่อราว 3,600-2,600 ปีมาแล้วนั้น ใช้วิธีการถลุงแร่ทองแดง 2 ชนิดผสมกัน ระหว่างแร่ชนิด ซัลไฟด์ และชนิดออกไซด์ ด้วยการใช้เบ้าถลุงแร่ (smelting crucible) ในการถลุงทองแดงตาม เทคนิคนี้ ช่างถลุงจะนำส่วนผสมของแร่ทั้ง 2 ชนิดบรรจุลงในเบ้าดินเผารูปทรงถ้วยขนาดสูงประมาณ 20 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-25 ซม. ความจุระหว่าง 200-1,200 ซีซี. ใช้แร่เหล็กเป็นเชื้อ ถลุง ต่อจากนั้นจึงใช้ไฟสุ่มเบ้า มีการเติมเชื้อเพลิงเพื่อเร่งอุณหภูมิให้ถึงราว 1,100-1,250 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและทองแดงแยกตัวออกจากแร่แล้วหลอมเหลวไหลจมลงสู่ก้นเบ้า ในขณะที่สิ่งแทรกปนและมลทินต่าง ๆ หลอมเหลวรวมตัวเป็นตะกอนลอยอยู่เหนือระดับชั้นของ ทองแดง เมื่อการหลอมเหลวของแร่เกิดขึ้นในเบ้าถลุงอย่างสมบูรณ์แล้วก็จะยกเบ้าออกจากเชื้อเพลิง แล้วเทส่วนตะกอนที่ยังอยู่ในสภาพหลอมเหลวทิ้งไปจนเหลือแต่ชั้นทองแดงในส่วนล่างของเบ้าถลุง ซึ่ง ทองแดงนี้ก็จะถูกเทลงในแม่พิมพ์สำหรับหล่อก้อนโลหะทองแดง (copper ingot) เมื่อทองแดงเย็นลง และแข็งตัวแล้วก็จะนำออกจากแม่พิมพ์ได้เป็นก้อนโลหะทองแดง ซึ่งสามารถนำไปหลอมและหล่อเป็น สิ่งของต่าง ๆ ตามต้องการต่อไป

4. การผลิตชิ้นงานโลหะ

อาจกล่าวเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ๆ ว่า การผลิตชิ้นงานโลหะอาจทำได้โดยกระบวนการตี โลหะ หรือกระบวนการหล่อโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่มี 3 ขั้นตอนหลัก คือ การหลอมโลหะ การหล่อโลหะ และการตกแต่งชิ้นงานหลังการหล่อ

การตีโลหะ (metal forging) หมายถึงการใช้แรงอัดรีดให้มวลโลหะที่เป็นวัตถุดิบเปลี่ยน รูปไปเป็นชิ้นงานที่ต้องการ มักมีค้อนและทั่งเป็นอุปกรณ์ในการตีโลหะ ทั้งนี้โลหะบางชนิดสามารถตี ในขณะที่อุณหภูมิปกติ แต่บางชนิดต้องเผาให้ร้อนจัดจนเป็นสีแดงแล้วตีในขณะที่ยังร้อน

การหลอมโลหะ (metal melting)

การหลอม คือ การใช้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนโลหะที่อยู่ในสภาพของแข็งให้เป็นของเหลว ในกรณีของการหลอมสารจึงหมายถึง การทำให้ส่วนผสมที่ประกอบด้วยโลหะทองแดงและโลหะดีบุก หรือโลหะทองแดง โลหะดีบุกและโลหะตะกั่วหลอมเหลว

ในการหลอมโลหะจะต้องมีเบ้าหลอม ซึ่งในสมัยโบราณนั้นทำด้วยดินผสมเปลือกข้าว หรือ ฟางข้าว หรือ อนินทรีย์วัตถุบางชนิด เช่น ทรายละเอียด หรือ ผงดินเผา ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อให้ดิน เหนียวสามัญกลายเป็นดินที่มีความทนทานความร้อนสูง หรือที่เรียกว่าดินทนไฟ

ช่างหลอมโลหะจะต้องเป็นผู้มีประสบการณ์อย่างดีเพราะจะต้องรู้ว่าใช้เตาอย่างไร เบ้า ลักษณะอย่างไร ความร้อนเท่าไร หลอมโลหะนานเท่าไรจึงจะได้ที่ นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังใน

เรื่องความสะดวก มีให้มีสิ่งสกปรกใด ๆ ปะปนลงไป โลหะที่หลอมได้ ในขณะที่หลอมโลหะข้างอากาศ ต้องกวณโลหะให้เข้ากันอย่างดีอีกด้วย

การหล่อวัตถุโลหะ (metal casting)

การหล่อ มีความหมายอย่างกว้าง ๆ ก็คือ “การทำ หรือผลิตวัตถุโดยการเทโลหะที่หลอมเหลวแล้วลงในแม่พิมพ์” เมื่อทิ้งให้โลหะเหลวเย็นตัวลงจนแข็งก็ถอดพิมพ์ออก จึงได้วัตถุโลหะที่ต้องการ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว การหล่อโลหะจะต้องมีขั้นตอนรายละเอียดปลีกย่อยสำคัญเพื่อเตรียมโลหะเหลวให้มีคุณสมบัติเหมาะสมก่อนเทลงแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้

ยกตัวอย่างเช่น ในการหล่อสำริดนั้นเมื่อโลหะทองแดงและดีบุก หรือทองแดง ดีบุกและตะกั่ว หรือทองแดงและตะกั่ว หลอมเหลวทั่วดีแล้ว ข้างหล่อโลหะจะต้องปาดเอาสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ลอยอยู่ที่ผิวหน้าโลหะเหลวในเบ้าหลอมออกเสียก่อน และจะต้องกวณโลหะเป็นเวลานานพอดี ไม่มากและไม่น้อยเกินไปอีกด้วย การหล่อโลหะแบบดั้งเดิมแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ ดังนี้

1) การหล่อแม่พิมพ์เปิด (open-mould casting) จัดเป็นวิธีการหล่อโลหะที่ง่ายที่สุด ประกอบด้วยแม่พิมพ์ขึ้นเดียวที่แกะสลักให้มีรอยเว้าลึก เป็นรูปร่างของวัตถุที่ต้องการ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์อาจเป็นหินทราย ดินเหนียว หรือไม้ ฯลฯ

วิธีนี้มักใช้หล่อวัตถุรูปทรงเรียบง่าย ไม่มีแฉงมุมมาก และด้านหนึ่งจะต้องแบนเรียบ เช่น ใช้ในการหล่อแหวน และกำไลแบบเรียบ ๆ โลหะแผ่น ฯลฯ

2) การหล่อในแม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกัน (bivalve-mould casting) การหล่อวิธีนี้ใช้แม่พิมพ์ 2 ชิ้น ซึ่งแกะสลัก รูปร่าง 2 ด้านของวัตถุที่ต้องการ ลงบนแต่ละครึ่งของแม่พิมพ์ เมื่อประกบกกันแล้วก็จะมีช่องกลวงตรงกลางแม่พิมพ์ สำหรับเทโลหะเหลวลงไปเพื่อหล่อวัตถุนั้น ๆ

3) การหล่อแบบให้โลหะเข้าแทนที่หุ่นขี้ผึ้ง หรือการหล่อแบบขี้ผึ้ง หรือ การหล่อแบบสูญขี้ผึ้ง (lost-wax casting) วิธีนี้ใช้ในการหล่อวัตถุที่มีรูปร่างวิจิตรพิสดาร มีแฉงมุมซับซ้อน เช่น ใช้ในการหล่อกำไลสำริดที่มีลูกกระพรวนประดับรอบ ๆ วงกำไล ประติมากรรม พระพุทธรูป และประณีตศิลป์ต่าง ๆ เป็นต้น

การหล่อสำริดด้วยวิธีขี้ผึ้งของช่างหล่อโลหะสมัยโบราณ ซึ่งรวมถึงช่างหล่อโลหะไทยโบราณด้วยนั้น เริ่มต้นด้วยการปั้นรูปหุ่นดินขึ้นเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงหุ้มหุ่นดินด้วยขี้ผึ้งให้ตามความขนาดที่ต้องการแล้วจึงตกแต่งสวดลายและรายละเอียดตามต้องการ ให้หุ่นขี้ผึ้งนี้มีรูปร่างเหมือนวัตถุที่ต้องการจะได้ในขั้นสุดท้าย ต่อไปใช้ดินละเอียดผสมน้ำละลายมูลวัวทาทับหุ่นขี้ผึ้งให้ทั่ว เมื่อดินพอกขี้ผึ้งแห้งแล้วจึงทำการ “ตอกทอย” ซึ่งหมายถึง การใช้ตะปูทำจากโลหะชนิดเดียวกับที่จะทำวัตถุนั้น ๆ ตอกลงไปบนหุ่นขี้ผึ้งให้ทะลุถึงแกนดินชั้นใน เพื่อเป็นแกนยึดไม่ให้ดินชั้นนอกและแกนในเอียงติดกันหลังจากเผาสำรอกเอาขี้ผึ้งออกให้เกิดเป็นช่องว่างข้างใน โดยตะปูโลหะนี้จะยึดแกนในและดินหุ้มชั้นนอกให้อยู่ตำแหน่งเดิม รักษาช่องว่างไว้สำหรับเทโลหะลงไปหล่อวัตถุ จะต้องตอกตะปูให้ทั่วทั้ง

ชิ้นวัตถุที่จะหล่อ โดยมีระยะห่างกันพอสมควรที่จะรับน้ำหนักได้ หลังจากการตอกทอยแล้วก็จะหุ้มหุ่นอีกครั้งเป็นชั้นบาง ๆ ด้วยดินเนื้อละเอียดผสมทราย เมื่อดินหุ้มชั้นนี้แห้งแล้วก็พอกชั้นสุดท้ายด้วยดินเหนียวผสมทรายให้เป็นชั้นหนาพอเหมาะ มือหุ่นแห้งดีแล้วจึงนำไปเผาเพื่อให้ขี้ผึ้งละลายออก หรือเผาเพื่อสำรอกขี้ผึ้งออกก็ได้แม่พิมพ์ที่พร้อมจะนำโลหะเหลวมาเทใส่เพื่อหล่อเป็นวัตถุสำริดที่ต้องการ



ภาพที่ 1.12 ภาพลายเส้นแสดงขั้นตอนการหล่อประติมากรรมด้วยวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้ง

การตกแต่งชิ้นงานหลังการหล่อ (post casting treatment)

บางครั้งวัตถุโลหะที่หล่อออกมายังไม่เรียบร้อยดีนัก จึงต้องตกแต่งรายละเอียดทั้งโดยการขัดผิวส่วนที่เกิน ขรุขระหรือมีความบกพร่องอื่น ๆ แกะสลักลดทอนประดับตกแต่ง และสุดท้ายอาจมีการขัดผิวให้เป็นเงาสวยงาม

การทำชิ้นงานโลหะด้วยวิธีพิเศษอื่น ๆ

นอกเหนือจากการทำชิ้นงานโลหะด้วยการตีและการหล่อแล้ว ยังมีวิธีอื่น ซึ่งมักใช้กับการผลิตงานประณีตศิลป์จากเงินและทองคำ ดังนี้

1) การหุ้ม หมายถึง การตีเงินหรือทองคำให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำมาห่อหุ้มสิ่งของภาชนะหรือวัตถุต่าง ๆ ให้สนิทมิดชิด เช่น การหุ้มพระพุทธรูป ด้ามมีด ฝักมีด ฯลฯ เพื่อให้ดูเหมือนว่าสิ่งของนั้น ๆ ทำจากทองคำ

2) การเคลือบ หมายถึง การใช้เงินหรือทองคำหุ้มแต่งโดยปิดส่วนขอบ ริมยอดปลายของภาชนะ วัตถุเครื่องใช้สอยต่าง ๆ เช่น ปากถ้วยชาม ปลายพวยกาเพราเกตุมาลา ยอดฉัตร ฯลฯ

3) การหุ้มแผ่น หมายถึง วิธีหุ้มพระพุทธรูป โดยใช้แผ่นเงินหรือทองคำหุ้มแล้วตรึงให้ติดกันตลอดองค์พระด้วยการใช้ตะปู หรือตะปึงหรือลวดทำจากเงินหรือทองคำแล้วแต่โลหะที่ใช้หุ้ม

4) การบุ หมายถึง การตีแผ่โลหะให้เป็นแผ่นแบนเพื่อทำสิ่งของเพื่อให้หุ้มด้านนอกของสิ่งของหรือรูปหุ่นต่าง ๆ เช่น บุขัน บุหุ้มพระพุทธรูป บุหุ้มพระสถูป เจดีย์จำลอง ซึ่งจัดเป็นวิธีการเดียวกับช่างทางภาคเหนือ ใช้แผ่นโลหะทองแดงบุพระเจดีย์ต่าง ๆ เช่น ที่เจดีย์วัดหลวง จังหวัดเชียงใหม่ วัดพระธาตุลำปางหลวง จังหวัดลำปาง เป็นต้น

บทที่ 2

ประวัติการศึกษาเรื่องการใช้โลหะในยุคก่อนประวัติศาสตร์ ของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

แนวความคิดเดิมเรื่องการใช้โลหะในยุคก่อนประวัติศาสตร์ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

เนื่องจากการพบหลักฐานแสดงประวัติและพัฒนาการของการใช้โลหะอย่างค่อนข้างสมบูรณ์ในดินแดนตะวันออกเฉียงกลาง ดินแดนนี้จึงถูกมองว่าเป็นศูนย์กลางแห่งแรกที่โลหะกรรมเกิดขึ้น และในเวลาต่อมาเทคโนโลยีนี้จึงแพร่หลายจากออกตะวันออกกลางไปยังดินแดนส่วนอื่น ๆ ของโลก โดยในกรณีของการแพร่กระจายมาทางเอเชียนั้น เดิมเชื่อกันว่าเทคโนโลยีโลหะกรรมได้แพร่กระจายจากตะวันออกเฉียงกลางมายังแถบประเทศอินเดียก่อน จากนั้นจึงแพร่มายังประเทศจีน แล้วจึงกระจายลงมายังตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ก่อนจะแพร่กระจายต่อไปยังพื้นที่อื่น ๆ ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ต่อไป

อนึ่ง ตามความเป็นจริงแล้ว องค์กรความรู้เรื่องโบราณโลหกรรมในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เมื่อช่วงก่อนหน้า พ.ศ. 2509 นั้น มิใช่ได้รับมาจากการแปลความหลักฐานทางโบราณคดีที่ได้มาจากการขุดค้นอย่างเป็นระบบเลย แต่มักเป็นการแปลความจากวัตถุโลหะที่ได้มาโดยบังเอิญ

กล่าวคือ ใน พ.ศ. 2467 ชาวประมงคนหนึ่งของหมู่บ้านต่งเซิน ในมณฑลแฉ่งฮัวด (Thanhhoa) ประเทศเวียดนามได้บังเอิญพบกลองมโหรีทีกและวัตถุสำริดหลายชิ้นในหมู่บ้านนี้ จึงได้นำไปขายให้ Emile Pajot ซึ่งในขณะนั้นเป็นเจ้าหน้าที่ศุลกากรชาวฝรั่งเศส ต่อมา สำนักฝรั่งเศสแห่งปลายบูรพทิศ (Ecole Française d'Extrême Orient) จึงสนับสนุนและมอบหมายให้ Emile Pajot ดำเนินการขุดค้นแหล่งโบราณคดีต่งเซินครั้งแรก ถัดมาในพ.ศ. 2478 จึงมีการขุดค้นที่แหล่งโบราณคดีต่งเซินอีกครั้งหนึ่งโดยนักวิชาการชาวสวีเดนชื่อ Olav Janse ซึ่งได้พบหลักฐานทางโบราณคดีมากมาย โดยเฉพาะหลุมฝังศพที่มีเครื่องใช้ อาวุธและกลองมโหรีทีกสำริด



ภาพที่ 2.1 กลองมโหรีทีก ทำด้วยสำริด

ผลของการขุดค้นที่สนับสนุนโดยสำนักฝรั่งเศสแห่งปลายบูรพทิศได้พบว่าแหล่งโบราณคดีด่งเฉินเป็นชุมชนโบราณขนาดใหญ่ที่มีการใช้โลหะทั้งสำริดและเหล็กอย่างมากมาย วัตถุสำริดประเภทพิเศษที่มีลักษณะโดดเด่นของแหล่งโบราณคดีแห่งนี้คือกล้องมโหรีทิกซึ่งทำด้วยความประณีต วิจิตรบรรจง และแสดงถึงเทคโนโลยีโลหะกรรมที่มีพัฒนาการสูงมาก นอกเหนือจากกล้องมโหรีทิกแล้ว ที่ด่งเฉิน ยังได้พบเครื่องมือ อาวุธ และเครื่องประดับ ทั้งที่ทำด้วยสำริดและเหล็ก นอกจากนี้ ยังพบขวานหินขัดที่แหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมด่งเฉินด้วย แต่ไม่มากนัก

เนื่องจากในอดีตนั้น ด่งเฉินเป็นแหล่งโบราณคดีแห่งเดียวของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีการขุดค้น และได้พบทั้งสำริดและเหล็ก จึงถูกแปลความว่า เป็นตัวแทนของสังคมและวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะแล้วเป็นครั้งแรก ๆ ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเนื่องจากโลหะที่ใช้อยู่ในสังคม-วัฒนธรรมที่ด่งเฉินนั้นมีทั้งเหล็กและสำริด นักวิชาการในช่วงเวลานั้นจึงสรุปว่า การใช้โลหะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น เริ่มขึ้นที่วัฒนธรรมด่งเฉิน ซึ่งเป็นวัฒนธรรมที่รับเอาทั้งเทคโนโลยีการทำสำริดและการทำเหล็กเข้ามาจากวัฒนธรรมอื่น ๆ ในเวลาเดียวกัน และเนื่องจากนักวิชาการเหล่านั้นยังมีความเห็นว่า ลวดลายประดับบนเครื่องสำริดของวัฒนธรรมด่งเฉินคล้ายกับลวดลายสมัยราชวงศ์โจวและราชวงศ์ฉินของจีน จึงสรุปว่าเป็นวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ใช้โลหะซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากรับถ่ายทอดมาจากวัฒนธรรมในประเทศจีนเมื่อช่วงใดช่วงหนึ่งระหว่าง 2,500-1,900 ปีมาแล้ว

กล่าวอีกนัยหนึ่งได้อีกว่า นักวิชาการในช่วงเวลานั้นสรุปว่า ยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไม่สามารถแบ่งออกเป็นสมัยสำริด (Bronze Age) และสมัยเหล็ก (Iron Age) ได้เหมือนในดินแดนอื่น ๆ ของโลก แต่ต้องรวมเรียกว่าสมัยโลหะ (Metal Age) แทน

นัยความหมายที่เกิดตามมาจากข้อสรุปดังกล่าวก็คือ แสดงว่า วัฒนธรรมของผู้คนในดินแดนอื่น ๆ ของโลก ล้วนมีพัฒนาการเป็นลำดับที่สอดคล้องกับแนวความคิดของ “ทฤษฎีไตรยุค หรือ Three Age System” ที่อธิบายว่าพัฒนาการของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ของมนุษย์แบ่งได้เป็น 3 สมัย ประกอบด้วยสมัยหิน ซึ่งต่อมาพัฒนามาสู่สมัยสำริด แล้วจึงพัฒนาไปเป็นสมัยเหล็ก แต่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นไม่เห็นพัฒนาการเป็นลำดับ 3 ยุค เช่นนั้น เห็นเพียงการเกิดสมัยหินแล้วก้าวกระโดดไปสู่สมัยโลหะ เนื่องจากรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมาจากวัฒนธรรมอื่นนอกภูมิภาค มิได้พัฒนาขึ้นเองในท้องถิ่นอย่างเป็นลำดับ

แนวความคิดเช่นนี้นำไปสู่การสรุปต่อไปว่า สิ่งของเครื่องใช้ยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ทำด้วยเหล็กและสำริด ซึ่งพบในดินแดนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทั้งหมด ล้วนเป็นของร่วมสมัยกับวัฒนธรรมด่งเฉินหรือไม่ก็เป็นของสมัยหลังกว่าทั้งสิ้น

ในกรณีของประวัติของการใช้โลหะสมัยโบราณในประเทศไทยนั้น นักวิชาการทางด้านโบราณคดีในอดีตเมื่อราว 50 ปีมาแล้ว จึงมักกล่าวกันว่า “ยุคโลหะ” ของประเทศไทยและประเทศ

ต่าง ๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น หมายถึงช่วงระยะเวลาที่สำริดและเหล็กปรากฏขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยเชื่อว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับถ่ายทอดมาจากดินแดนตอนกลางของประเทศจีน และเกิดขึ้นเมื่อไม่เกินราว 500 ปีก่อนศักราชสามัญ (BCE.) หรือประมาณ 2,500 ปีมาแล้ว (Coedès 1966)

สาเหตุที่นักวิชาการในอดีตที่ผ่านมาไม่นานเห็นว่าเทคโนโลยีการทำโลหะในดินแดนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นพัฒนาการที่เกิดขึ้นเนื่องจากรับมาจากประชากรในวัฒนธรรมอื่นนั้น คงเป็นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวนั้น นักวิชาการส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่าโลหะกรรมเป็นวิทยาการที่ซับซ้อนมาก ต้องอาศัยความรู้ความสามารถในด้านเทคโนโลยีการใช้ความร้อน (pyrotechnology) ที่สั่งสมมาเป็นเวลานาน และมักพบว่าเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในสังคม-วัฒนธรรมระดับซับซ้อน นักโบราณคดีในช่วงเวลาที่ผ่านมา ๆ มาจึงเห็นด้วยกับความคิดที่ว่า “โลหะกรรมกำเนิดขึ้นในสังคมที่พัฒนา และเกิดขึ้นครั้งแรกที่ศูนย์กลางแห่งเดียวก่อน ต่อมาภายหลังจึงค่อยๆ แพร่หลายออกจากศูนย์กลางต้นกำเนิดไปยังดินแดนอื่น ๆ”

นัยความหมายหนึ่งที่เกิดตามมาจากกรอบความคิดเช่นนี้ก็คือ “ดินแดนและวัฒนธรรมที่อยู่ใกล้และสัมพันธ์มากกับศูนย์กลางต้นกำเนิดย่อมสามารถพัฒนาโลหะกรรมได้ก่อนดินแดนและวัฒนธรรมที่อยู่ห่างและสัมพันธ์น้อยกับศูนย์กลางต้นกำเนิด”

การค้นคว้าทางโบราณคดีในอดีตนั้น มีทำกันมากเฉพาะในบางส่วนของโลกเก่า โดยเฉพาะในยุโรป ตะวันออกกลาง อียิปต์ อินเดีย และจีน ในขณะที่ในดินแดนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น แทบจะไม่มีเลย ดังนั้น การบรรยายประวัติความเป็นมาและพัฒนาการของสังคมและวัฒนธรรมมนุษย์โดยรวมจึงมักใช้หลักฐานทางโบราณคดีจากดินแดนเหล่านั้นมาพิจารณาด้วยไปโดยปริยาย

นอกจากนี้ ด้วยเหตุที่ ในดินแดนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เมื่อช่วงก่อนหน้า พ.ศ. 2509 มีการค้นคว้าทางโบราณคดีอย่างถูกต้องตามระบบวิชาการน้อยมาก และการทำงานเท่าที่มีนั้น ก็ดำเนินไปโดยชาวตะวันตกที่เข้ามาหาทำกิจการด้านต่าง ๆ ในดินแดนนี้ มากกว่าจะทำโดยนักวิจัย ดังนั้นจึงไม่มีข้อมูล ข้อเสนอ และหลักฐานทางโบราณคดีพอเพียงที่จะนำมาใช้ตั้งข้อสงสัยการแปลความและคำอธิบายเรื่องกำเนิดของโลหะกรรมดังที่กล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตาม หลังจากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีโนนนกทา อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น เป็นต้นมา ความเห็นดังกล่าวข้างต้นก็เริ่มเป็นที่สงสัย และได้เป็นข้อคิดเห็นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของนักโบราณคดีในขณะนี้ เนื่องจากมีหลักฐานใหม่ ๆ มาคัดค้านชัดเจน

กล่าวคือ ผลจากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีโนนนกทา อำเภอกุเวียง จังหวัดขอนแก่น 2 ครั้ง คือครั้งแรกใน พ.ศ. 2509 และครั้งที่สองใน พ.ศ. 2511 ได้แสดงให้เห็นว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้น เหล็กปรากฏขึ้นหลังจากที่เกิดมีหมู่บ้านเกษตรกรรมที่รู้จักทำและใช้สำริดแล้วนับพัน ๆ ปี (ดู Solheim 1967, 1970 ; Bayard 1970, 1971, 1972, 1977, 1979) นั่นก็คือการเสนอเป็นครั้งแรกว่า ยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นแบ่งออกได้เป็น 2

สมัยคือสมัยสำริดและสมัยเหล็ก อย่างไรก็ตาม ในช่วงระยะเวลาที่ได้มีการเสนอผลการขุดค้นครั้งแรก ๆ นั้น ก็ยังคงมีการถกเถียงกันอยู่ในบ้างในเรื่องอายุของการเริ่มต้นของสมัยสำริดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ต่อมาจึงได้มีการศึกษาวิจัยแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี (ศาสตราจารย์ ชิน อยู่ดี 2515, Gorman and Charoenwongsa 1967; White 1982, 1986) และได้พบหลักฐานสนับสนุนว่ายุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้นแบ่งออกได้เป็น 2 สมัย ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ยิ่งว่า สมัยสำริดนั้นเริ่มปรากฏขึ้นราว 2,000 ปีก่อนศักราชสามัญ เป็นอย่างน้อย ส่วนสมัยเหล็กนั้นอาจปรากฏขึ้นราว 600-800 ปีก่อนศักราชสามัญ (White 1982, 1986)

นอกเหนือจากหลักฐานทางโบราณคดีที่พบในประเทศไทยแล้ว ยังได้มีการพบหลักฐานใหม่ ๆ ในประเทศเวียดนามด้วยเช่นกัน ทำให้ความรู้เกี่ยวกับยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความชัดเจนขึ้นและแสดงให้เห็นว่าข้อสรุปเดิมเกี่ยวกับสมัยที่ใช้โลหะดังที่เคยเสนอกันไว้ในอดีต ดังที่กล่าวโดยย่อไว้ข้างต้นนั้น ไม่ถูกต้อง

องค์ความรู้ปัจจุบันเรื่องวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในประเทศเวียดนาม

นับจากราว พ.ศ. 2509 เป็นต้นมาเช่นกัน นักโบราณคดีเวียดนามได้ดำเนินการค้นคว้าวิจัยเรื่องของวัฒนธรรมด่งเชินอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีข้อมูลที่ถูกต้องของวัฒนธรรมนี้เพิ่มมากมายในปัจจุบัน พร้อมกันนั้นก็ได้พบหลักฐานแสดงว่ามีวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่มีการใช้โลหะซึ่งมีอายุเก่ากว่าวัฒนธรรมด่งเชินปรากฏขึ้นในพื้นที่ภาคต่างๆ ของประเทศเวียดนามด้วย

นักโบราณคดีเวียดนามในปัจจุบันยังสรุปว่า วัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายเฉพาะที่ปรากฏขึ้นในเขตประเทศเวียดนาม สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นวัฒนธรรมในท้องถิ่นของหลายภูมิภาค ซึ่งล้วนมีพัฒนาการเป็นอิสระควบคู่ไปกับวัฒนธรรมท้องถิ่นภาคเหนือของประเทศเวียดนามที่คลี่คลายและพัฒนาเป็นวัฒนธรรมด่งเชิน

วัฒนธรรมสมัยก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในภูมิภาคต่างๆของเวียดนาม มีดังนี้

1. วัฒนธรรมในเวียดนามตอนเหนือ แถบลุ่มแม่น้ำหม่า - แม่น้ำแดง

วัฒนธรรมสมัยก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในภาคเหนือของประเทศเวียดนาม แบ่งออกได้เป็น 4 สมัย ดังนี้

1) วัฒนธรรมสมัยฝุ่งเวียนตอนปลาย (Late Phunguyen) หรือโกบอง (Go Bong)

นักโบราณคดีเวียดนามจัดวัฒนธรรมนี้เป็นสมัยหินใหม่ตอนปลายต่อเนื่องกับสมัยสำริดตอนต้น และกำหนดอายุไว้ประมาณ 4,000 – 3,500 ปีมาแล้ว

แม้ว่าจะยังไม่เคยพบวัตถุสำริดชิ้นที่สมบูรณ์ในการขุดค้นแหล่งโบราณคดีสมัยดังกล่าวนี้ แต่ก็ได้พบชิ้นส่วนวัตถุสำริด ซึ่งมีการวิเคราะห์แล้วพบว่าเป็นโลหะสำริดที่มีทองแดง ดีบุก และตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก

2) วัฒนธรรมสมัยด่งเตา (Dong Dau)

วัฒนธรรมนี้ จัดเป็นวัฒนธรรมสมัยสำริดตอนกลางของภาคเหนือในเวียดนาม กำหนดอายุได้ราว 3,500 – 3,000 ปีมาแล้ว

สิ่งของเครื่องใช้ โดยเฉพาะภาชนะดินเผาของวัฒนธรรมสมัยนี้ มีลักษณะคล้ายกับของวัฒนธรรมฝูเงียนตอนปลาย ซึ่งแสดงว่าวัฒนธรรมด่งเตาเป็นวัฒนธรรมที่คลี่คลายมาจากวัฒนธรรมฝูเงียนตอนปลาย

แม้ว่าประชากรในวัฒนธรรมด่งเตายังใช้ขวานหินขัด กำไลหิน และต่างหูทำด้วยหินอย่างแพร่หลาย แต่ก็มีเครื่องใช้ทำด้วยสำริดในปริมาณมากแล้ว โดยพบว่ามีกำไลสำริดทำหัวลูกศร เบ็ดตกปลา ใบหอก และขวานแบบมีบ้องรูปทรงต่างๆ รวมทั้งขวานสำริดแบบมีบ้องทรงร่องเท้าบุท (pediform socketed axes) ซึ่งเป็นแบบสามัญของวัฒนธรรมด่งเซินในสมัยต่อมา

การวิเคราะห์วัตถุสำริดของวัฒนธรรมด่งเตาพบว่า ทำจากโลหะผสมที่มีทองแดง ประมาณ 80 % และมีดีบุกประมาณ 20 %

วัตถุอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโลหวิทยาก็ได้พบแล้วที่แหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมด่งเตา เช่น แม่พิมพ์ทำจากหินทรายและดินเผา ใช้สำหรับหล่อหัวขวาน ส่ว และหัวลูกศร

3) วัฒนธรรมสมัยโกมุน (Go Mun)

วัฒนธรรมโกมุนจัดเป็นวัฒนธรรมสมัยสำริดตอนปลายของเวียดนามภาคเหนือ กำหนดอายุได้ราว 3,000 – 2,500 ปีมาแล้ว

แหล่งโบราณคดีของวัฒนธรรมนี้ กระจายอยู่ตามแนวพื้นที่ริมแม่น้ำแดงและแม่น้ำดำ ไปจนจรดดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำห่า

ในช่วงสมัยวัฒนธรรมนี้ มีการใช้เครื่องมือสำริดมากกว่าเครื่องมือใช้สอยที่ทำจากหิน

ใบหอกสำริดแบบมีบ้องและมีสันนูนตรงกลางใบหอกเป็นสิ่งที่ปรากฏและใช้กันอย่างแพร่หลาย เครื่องสำริดชนิดอื่นๆ ได้แก่ หัวลูกศร เบ็ดตกปลา กำไลข้อมือ ประติมากรรมรูปสัตว์ขนาดเล็กๆ และเคียวแบบมีช่องเข้าด้ามในแนวตั้ง (shaft-hole sickle) เครื่องสำริดของวัฒนธรรมด่งเซินส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกับของวัฒนธรรมโกมุนอย่างมาก จึงเป็นที่สรุปว่าวัฒนธรรมโกมุนเป็นต้นเค้าของวัฒนธรรมด่งเซินที่พัฒนาขึ้นในเวลาต่อมา

4) วัฒนธรรมสมัยด่งเซิน (Dong Son)

นักโบราณคดีเวียดนามในปัจจุบันจัดวัฒนธรรมด่งเซินเป็นวัฒนธรรมสมัยเหล็กของเวียดนามภาคเหนือ กำหนดอายุได้ราว 2,600 – 2,300 ปีมาแล้ว

ประชากรของวัฒนธรรมนี้ใช้สำริดและเหล็กทำสิ่งของ เครื่องมือใช้สอยและเครื่องประดับอย่างแพร่หลายมาก แม้ว่ายังมีการใช้ขวานหินขัดอยู่มากเช่นกัน รูปลักษณ์ของเครื่องมือและอาวุธที่ทำด้วยสำริดและเหล็กแสดงให้เห็นชัดเจนว่าการไหลทะลักของวัฒนธรรมด่งเซินนั้น คล้ายคลึงมาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของวัฒนธรรมในท้องถิ่นภาคเหนือของเวียดนามเอง

วัตถุสำริดที่พบจากแหล่งโบราณคดีสำคัญๆ ในวัฒนธรรมด่งเซิน เช่น แหล่งโบราณคดี เวียดเค้ (Viet Khe) และลางกา (Lang Ca) มีมากมายหลากหลายประเภท ได้แก่ มีด สิว ฆวนไถ ขวาน ภาชนะ ลูกปัด และกลองมโหรีที่จัดเป็นวัตถุสำริดประเภทเด่นที่ปรากฏขึ้นและนิยมมากในสมัยนี้

มีดสั้น ใบหอกและดาบสำริด เป็นอาวุธที่พบเสมอตามแหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมด่งเซินในภาคเหนือของเวียดนาม

การวิเคราะห์เครื่องมือสำริดของวัฒนธรรมด่งเซินพบว่า การทำสำริดของช่างโลหะในวัฒนธรรมนี้ นิยมผสมตะกั่วในปริมาณค่อนข้างสูง

ในช่วงปลายของสหัสวรรษที่ 1 ก่อนคริสตกาล ซึ่งอยู่ราวตอนปลายของวัฒนธรรมด่งเซินนั้น มีการใช้เหล็กหล่ออย่างแพร่หลายในชุมชนวัฒนธรรมนี้ โดยใช้ทำทั้งเครื่องมือใช้สอยและอาวุธ นอกจากนี้ ยังมีการทำใบหอกที่ทำจากโลหะ 2 ชนิดในชั้นเดียวกัน (Bi-metallic spearpoint)

2. วัฒนธรรมแถบชายทะเลตอนกลางของประเทศเวียดนาม

วัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในพื้นที่แถบชายทะเลตอนกลางของประเทศเวียดนาม ได้แก่ วัฒนธรรมซาวิญ (Sahuyn) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 สมัยย่อย ดังนี้

1) วัฒนธรรมซาวิญตอนต้น (Early Sahuyn)

เป็นวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ยังไม่มีการใช้โลหะ มีอายุไม่น้อยกว่า 3,000 ปีมาแล้ว

2) วัฒนธรรมซาวิญตอนกลาง (Middle Sahuyn)

เป็นวัฒนธรรมที่เริ่มมีการใช้และทำวัตถุที่ทำจากสำริด ดังได้พบเศษเบ้าหลอมโลหะ ขวานสำริดแบบมีบ้องและหัวลูกศรสำริดในแหล่งโบราณคดีของวัฒนธรรมนี้ นักโบราณคดี เวียดนาม ลงความเห็นว่าเทคโนโลยีการทำสำริดของวัฒนธรรมซาวิญตอนกลางเทียบได้เท่าเทียมกับของเทคโนโลยีของวัฒนธรรมโกมุนในเวียดนามตอนเหนือ วัฒนธรรมซาวิญตอนกลางอาจมีอายุเริ่มต้นในราว 2,800 – 2,900 ปีมาแล้ว

3) วัฒนธรรมซาวิญตอนปลาย (Late Sahuyn)

ประชากรของวัฒนธรรมซาวิญในช่วงนี้ มีการทำเครื่องมือและอาวุธสำริดน้อยลง แต่ก็ยังมีการใช้สำริดทำเครื่องประดับประเภทกำไลอยู่ ในขณะเดียวกัน ก็มีการใช้เหล็กเป็นวัสดุสามัญ

สำหรับทำเครื่องมือและอาวุธนานาชนิด เช่น ขวานแบบมีบ้อง เคียว จอบ เสียม มีด หอก ดาบ และ หัวลูกศร

วัฒนธรรมชาวยุโรปตอนปลายเริ่มปรากฏขึ้นในราว 2,400 – 2,500 ปีมาแล้ว

3. วัฒนธรรมในเวียดนามตอนใต้

แหล่งโบราณคดีที่มีร่องรอยของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในภาคใต้ของประเทศเวียดนามนั้น พบในพื้นที่แถบลุ่มแม่น้ำด่งไน (Dong Nai) และแถบปากแม่น้ำโขง แบ่งออกได้เป็นวัฒนธรรมในช่วงสมัยย่อยต่างๆ ดังนี้

1) วัฒนธรรมเกาซัท (Cau Sat) และ เบนโดะ (Bendo)

การศึกษาแหล่งโบราณคดีในวัฒนธรรมนี้ยังไม่เคยพบหลักฐานแสดงว่ามีการใช้โลหะ นักโบราณคดีเวียดนามจึงจัดเป็นวัฒนธรรมสมัยหินใหม่ตอนปลายของเวียดนามภาคใต้ ซึ่งอาจมีอายุร่วมสมัยกับวัฒนธรรมฝูเงียนตอนต้นของเวียดนามภาคเหนือ

2) วัฒนธรรมกูเลารัว (Cu Lao Rua) และ ดอคจั่วตอนต้น (Lower Doc Chua)

ประชากรในวัฒนธรรมนี้ใช้เครื่องมือหินขัดและภาชนะดินเผาแบบของวัฒนธรรมดั้งเดิมในพื้นที่นี้ แต่มีความแตกต่างที่มีการใช้สำริดอยู่บ้าง โดยได้พบขวานสำริดแบบมีบ้องไม่กี่ชิ้น และพบแม่พิมพ์ทำจากหินทรายสำหรับหล่อหัวขวาน วัฒนธรรมนี้อาจมีอายุร่วมสมัยกับวัฒนธรรมฝูเงียนตอนปลายของเวียดนามภาคเหนือ

3) วัฒนธรรมดอคจั่วตอนปลาย (Upper Doc Chua)

ในสมัยของวัฒนธรรมนี้ แม้ว่าจะยังมีการใช้ขวานหินขัดและเครื่องประดับประเภทกำไลและลูกปัดทำจากหินกันอยู่มาก แต่ก็มีวัตถุที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการโลหะกรรมสำริดหลายชนิดปรากฏมากขึ้น ได้แก่ ขวานและใบหอกแบบมีบ้อง ลูกพรวนขนาดเล็กๆ กระดิ่ง ประติมากรรมรูปสัตว์ขนาดเล็ก ๆ นอกจากนี้ ในการขุดค้นที่แหล่งโบราณคดีดอคจั่วยังได้พบแม่พิมพ์ทำจากหินทรายไม่น้อยกว่า 50 ชิ้น

วัฒนธรรมสมัยดอคจั่วตอนปลายกำหนดอายุได้ประมาณ 3,400 ปีมาแล้ว

สรุปความรู้ปัจจุบันเรื่องวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะในเวียดนาม

ความรู้จากการค้นคว้าทางโบราณคดีใหม่ๆช่วยให้สามารถสรุปได้ว่า วัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่ใช้โลหะ ตั้งแต่สมัยสำริดไปถึงสมัยเหล็กของเวียดนาม ประกอบไปด้วยหลายกลุ่มวัฒนธรรมกระจายอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ดังนี้

1. ภาคเหนือ ในแถบลุ่มแม่น้ำหมา-แม่น้ำแดง

มีวัฒนธรรม ในกลุ่ม ฝูเงียนตอนปลาย-ด่งเตา-โกมุน-ด่งเซิน

2. ภาคกลาง ในแถบชายทะเลตอนกลางของประเทศ

มีวัฒนธรรมในกลุ่ม ชานันต์ตอนกลาง-ชานันต์ตอนปลาย

3. ภาคใต้ ในแถบลุ่มแม่น้ำดงโนและแถบปากแม่น้ำโขง

มีวัฒนธรรมในกลุ่ม คูเลารัวและดอควัวตอนต้น-ดอควัวตอนปลาย

ผลการค้นคว้าวิจัยและความรู้ใหม่ที่ได้จากแหล่งโบราณคดียุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยที่มีการใช้โลหะดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีการสรุปใหม่ในปัจจุบันว่าวัฒนธรรมด่งเชินนั้น จัดเป็นวัฒนธรรมสมัยเหล็กที่มีศูนย์กลางในแถบตอนเหนือของประเทศเวียดนามและเป็นวัฒนธรรมที่พัฒนาขึ้นมาจากวัฒนธรรมสมัยสำริดในท้องถิ่นภาคเหนือของประเทศเวียดนามเอง ดังได้พบว่าในภาคเหนือของประเทศเวียดนามนั้น เริ่มมีการใช้สำริดขึ้นก่อนในสมัยวัฒนธรรมฝูเงียนตอนปลาย หลังจากนั้นจึงพัฒนาไปเป็นวัฒนธรรมสมัยสำริดสมัยด่งเดาและสมัยโกมุนตามลำดับ ก่อนจะคลี่คลายต่อไปและพัฒนาขึ้นเป็นวัฒนธรรมสมัยเหล็กในช่วงสมัยวัฒนธรรมด่งเชินในที่สุด

กล่าวโดยสรุปในอีกนัยหนึ่ง คือ ขณะนี้ นักโบราณคดีเวียดนามมีความเห็นว่า

1. วัฒนธรรมด่งเชิน : ไม่ใช่วัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริด แต่เป็นวัฒนธรรมสมัยเหล็ก
2. วัฒนธรรมด่งเชิน : ไม่ใช่วัฒนธรรมที่ใช้โลหะที่ปรากฏแรกสุดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่เป็นวัฒนธรรมสมัยเหล็กที่พัฒนาขึ้นภายหลังจากการเกิดสมัยสำริดที่แท้จริงแล้ว
3. วัฒนธรรมด่งเชิน : ไม่ใช่วัฒนธรรมที่มีต้นเค้ามาจากวัฒนธรรมในตอนกลางของประเทศจีน แต่เป็นวัฒนธรรมที่พัฒนาขึ้นมาจากวัฒนธรรมดั้งเดิมในท้องถิ่น

บทที่ 3

ความรู้ปัจจุบันเกี่ยวกับประวัติการใช้โลหะสมัยโบราณในประเทศไทย

ความพยายามศึกษาค้นคว้าหาหลักฐานทางโบราณคดีเพื่อทำความเข้าใจและหาคำอธิบายเกี่ยวกับกำเนิดและพัฒนาการของการใช้โลหะ รวมทั้งพยายามศึกษาผลกระทบของการใช้โลหะต่อสังคมและวัฒนธรรมของมนุษย์ยุคก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทย ปรากฏมากขึ้นหลังจากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีโนนนกทา อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น และแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นแหล่งโบราณคดีที่พบร่องรอยวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ใช้สำริดรุ่นแรกของพื้นที่แอ่งสกลนคร ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ปัจจุบันการศึกษาค้นคว้าเรื่องการใช้โลหะสมัยโบราณในประเทศไทย มีความก้าวหน้าขึ้นอย่างมาก ได้พบแหล่งโบราณคดีที่เป็นชุมชนวัฒนธรรมเดียวกัน หรือสัมพันธ์กับวัฒนธรรมที่โนนนกทาและบ้านเชียง อีกนับร้อย ๆ แห่งในภาคอีสานของประเทศไทย รวมทั้ง ยังพบแหล่งที่เกี่ยวข้องกับโลหะกรรมสมัยโบราณอีกมากมายในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

ข้อมูลและสารสนเทศที่ศึกษาได้จากแหล่งโลหะกรรมสมัยโบราณที่สำคัญซึ่งพบแล้วในประเทศไทย ช่วยสามารถสร้างความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับโลหะกรรมสมัยโบราณในประเทศไทยได้มาก ซึ่งสามารถแบ่งย่อยตามประเภทของโลหะที่เกี่ยวข้องได้เป็น 3 หัวข้อใหญ่ คือ

1. การโลหะกรรมด้านโลหะทองแดงและโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก
2. การโลหะกรรมด้านตะกั่ว
3. การโลหะกรรมด้านเหล็ก

เนื้อหาของการโลหะกรรมประเภทต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น มีดังนี้

การโลหะกรรมด้านโลหะทองแดงและโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก

สามารถแยกกล่าวรายละเอียดของความรู้ปัจจุบันเกี่ยวกับการโลหะกรรมด้านโลหะทองแดงและโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ในประเด็นย่อยต่าง ๆ ดังนี้

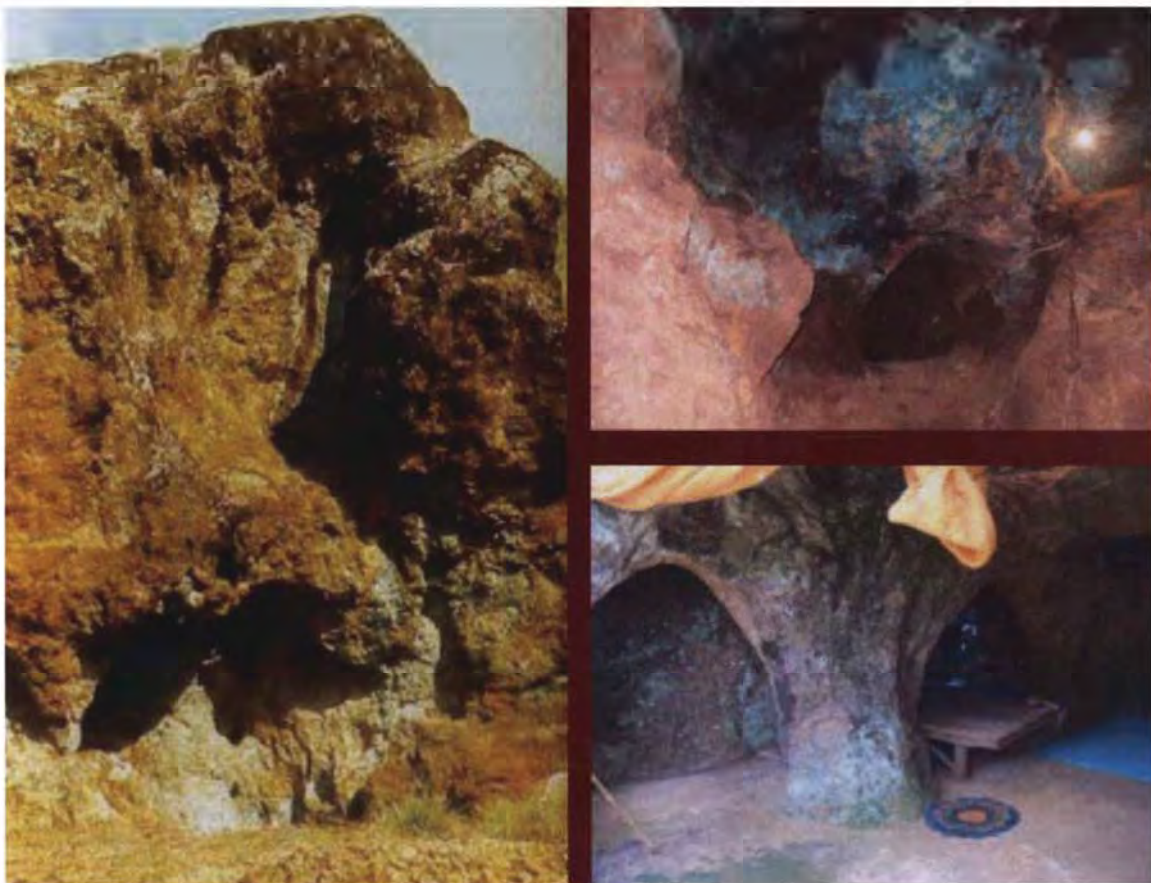
1. เหมืองแร่ทองแดงและการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในประเทศไทย

ในประเทศไทยปัจจุบัน ได้ค้นพบแหล่งแร่ทองแดงที่มีร่องรอยการทำเหมืองในยุคก่อนประวัติศาสตร์แล้ว ทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบที่ภูโล้น อำเภอสังขม จังหวัดหนองคาย ส่วนในภาคกลางพบในพื้นที่ย่านเขาวงพระจันทร์ เขตอำเภอโคกสำโรง และอำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

1.1 เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภูโล้น อำเภอสว่างคึม จังหวัดหนองคาย เป็นภูเขาที่มีร่องรอยเหมืองและการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณปรากฏอยู่ชัดเจน การศึกษาทางโบราณคดีที่แหล่งเหมืองแร่ทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ภูโล้นดำเนินการโดยโครงการโบราณโลหวิทยาในประเทศไทย (Thailand Archaeometallurgy Project) ในระหว่าง พ.ศ. 2527-2528

ตัวอย่างถ่านจากพื้นที่บริเวณที่มีร่องรอยการเตรียมและแต่งแร่ซึ่งเรียกว่า “ลานเศษภาชนะดินเผา” (Pottery Flat) นั้น แสดงว่ากิจกรรมการทำเหมืองแร่ทองแดงที่ภูโล้นครั้งแรกๆ นั้น อาจเริ่มขึ้นตั้งแต่ราวสหัสวรรษที่ 2 ก่อนศักราชสามัญ (second millennium BCE.) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าเศษชิ้นหินปนแร่ ซึ่งเกิดจากการขุดแร่นั้น ทับถมกันเป็นชั้นหนากว่า 10 เมตร จึงอาจเป็นไปได้ว่า การเริ่มขุดแร่ทองแดงที่แหล่งนี้อาจเริ่มต้นมาก่อนระยะเวลาดังกล่าว โดยอาจเริ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงที่เริ่มมีการใช้สำริดครั้งแรก ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เมื่อไม่น้อยกว่าประมาณ 1,500 – 2,000 ปีก่อนศักราชสามัญก็เป็นได้ นอกจากนี้ หลักฐานจากแหล่งนี้ยังชี้ว่า การทำเหมืองทองแดงน่าจะทำต่อมาในสมัยหลัง ๆ เมื่อราวครึ่งหลังของสหัสวรรษที่ 1 ก่อนศักราชสามัญด้วย (second half of the first millennium BCE.)



ภาพที่ 3.1 ร่องรอยของการทำเหมืองทองแดงสมัยโบราณที่ภูโล้น อำเภอสว่างคึม จังหวัดหนองคาย

รูปร่างของอุโมงค์จากการขุดแร่ก็ชี้ว่ามีเทคนิคการทำเหมืองอย่างน้อย 2 ระดับ กล่าวคือ การทำเหมืองรุ่นแรก ๆ ใช้ “พะเนินขุดแร่” (mining mauls) ทำจากหินกรวดก้อนแม่น้ำขนาดใหญ่ ๆ อุโมงค์จากการทำเหมืองจึงมีลักษณะค่อนข้างกลม ผันงค่อนข้างเรียบ หินกรวดจากแม่น้ำโขงก้อนขนาดใหญ่ที่มีร่องรอยการใช้งานลักษณะทุบ / กระแทก จนแตกกะเทาะที่ปลายทั้ง 2 ข้างนั้น ได้พบเป็นจำนวนมาก ปนอยู่ทั่วไปในชั้นเศษหินจากการทำเหมือง นับเป็นหลักฐานทางตรงที่แสดงว่ามีการขุดแร่ทองแดงด้วยพะเนินหิน ส่วนการทำเหมืองทองแดงในสมัยหลัง ๆ น่าจะใช้เครื่องมือเหล็ก ทำให้อุโมงค์จากการทำเหมืองมีลักษณะแคบ ยาววกรวน ซอกซอนไปหลายทิศทาง ผันงอุโมงค์มีร่องรอยแตกเป็นเหลี่ยม มีแง่มุม ในอุโมงค์บางแห่งยังมีร่องรอยสลัก คล้ายรอยเครื่องมือประเภทสากัดปรากฏอยู่ ซึ่งทำให้วิเคราะห์ได้ว่าน่าจะเป็นรอยเครื่องมือเหล็กที่ใช้ในการขุดแร่ทองแดง

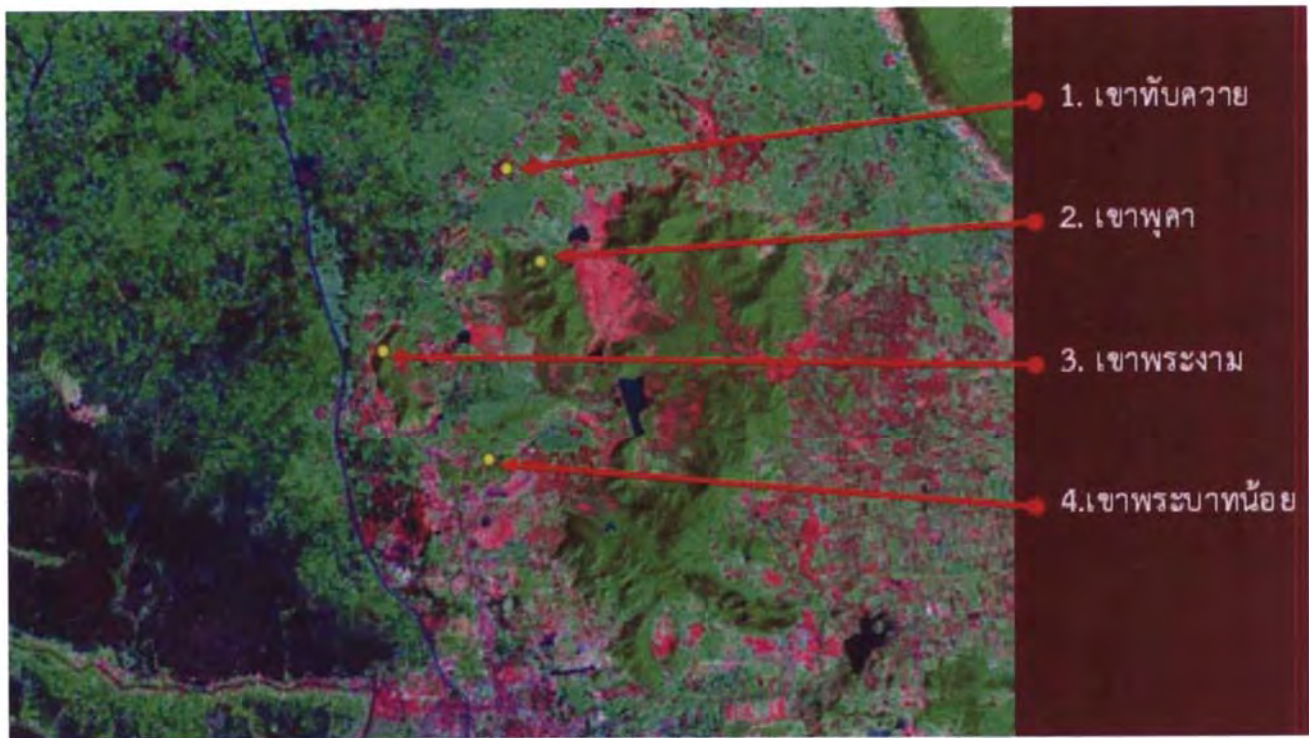


ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างของพะเนินขุดแร่ทำจาก หินกรวดจากแม่น้ำโขงก้อนขนาดใหญ่ พบที่ภูโล้น มีร่องรอยการใช้งานลักษณะทุบ/กระแทกจนแตกกะเทาะที่ปลายทั้ง 2 ข้าง

การขุดค้นที่ภูโล้นยังได้พบหลักฐานแสดงว่ามีการหล่อสำริดที่บริเวณนี้ด้วย ได้แก่ เศษเบ้าหลอม / ถลุงโลหะ และเศษโลหะสำริด ศาสตราจารย์ William Vernon ซึ่งเป็นผู้ร่วมงานของโครงการโบราณโลหวิทยาได้ศึกษาและวิเคราะห์เศษเบ้าดินเผาที่ได้จากการขุดค้นบริเวณลานเศษภาชนะดินเผาของภูโล้น พบว่าเศษโลหะที่ติดอยู่ด้านในของเศษเบ้านั้น มีทั้งที่เป็นทองแดงธรรมชาติ (native copper) สำริด (tin-bronze) และโลหะดีบุก (tin metal) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผลิตทองแดงที่ภูโล้นนั้นสัมพันธ์กับการผลิตสำริด และชาวเหมืองที่ภูโล้นนั้น สามารถเข้าถึงหรือได้รับดีบุกมาเพื่อผลิตสำริดด้วย

1.2 เหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในภาคกลาง

ร่องรอยของเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในภาคกลางของประเทศไทยนั้น ได้พบอย่างชัดเจนบนภูเขา 4 ลูก ในพื้นที่ย่านเขาวงพระจันทร์ ส่วนที่อยู่ในเขตอำเภอโคกสำโรง และอำเภอมือง จังหวัดลพบุรี ได้แก่ เขาทับควาย เขาพุคา เขาพระงาม-เขาผาแดง และเขาพระบาทน้อย



ภาพที่ 3.3 ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงตำแหน่งของเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณในย่านเขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี

1) เขาทับควาย อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี

เขาทับควายเป็นภูเขาสูงเล็ก ๆ อยู่ริมถนนพหลโยธิน โดยอยู่ห่างจากตัวอำเภอเมืองลพบุรีไปตามถนนพหลโยธินประมาณ 15 กิโลเมตร เมื่อกว่า 50 ปีที่ผ่านมาแล้วนั้น เป็นที่รู้จักกันดีว่าเขาทับควายเป็นแหล่งแร่เหล็กที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย

ใน พ.ศ. 2528 นักโบราณคดีได้สำรวจพบว่า นอกจากเขาทับควายจะเป็นแหล่งแร่เหล็กของคนสมัยปัจจุบันแล้ว ยังเคยเป็นแหล่งแร่ทองแดงและแร่เหล็กของคนสมัยโบราณเมื่อนับพัน ๆ ปีมาแล้วอีกด้วย

หลักฐานที่แสดงว่ามีการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณที่เขาทับควายได้แก่ ร่องรอยของเหมืองปล่องซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่ขุดเป็นแนวตั้ง ลัดเลาะไปตามสายแร่ทองแดง ร่องรอยของการทำเหมืองนี้ พบอยู่บริเวณที่ค่อนมาทางหัวเขาทับควายด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 3.4 ร่องรอยอุโมงค์ที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณที่เขาทับควาย จังหวัดลพบุรี

นอกจากร่องรอยของเหมืองปล่องแล้ว ในบริเวณด้านทิศเหนือยังได้พบก้อนหินอีกนิตหลายก้อนที่มีร่องรอยการใช้งานเป็นพะเนินสำหรับทุบและชุดแร่ แสดงให้เห็นว่าการทำเหมืองแร่ทองแดงครั้งแรกๆที่เขาทับควายน่าอาจจะเกิดขึ้นในช่วงที่ยังไม่มีการใช้เครื่องมือเหล็กในการชุดแร่ หรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งก็คือมีความเป็นไปได้ว่าการทำเหมืองแร่ทองแดงที่เขาทับควายเริ่มขึ้นตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริดของภาคกลางประเทศไทยซึ่งมีอายุราว 2,700-3,500 ปีมาแล้ว และน่าจะเป็นหนึ่งในแหล่งที่มาของแร่ทองแดงที่คนยุคก่อนประวัติศาสตร์นำไปทำการถลุงที่บริเวณโนนป่าหวาย ซึ่งเป็นแหล่งถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่อยู่ห่างจากเขาทับควายไปทางทิศตะวันออกประมาณ 7 กิโลเมตร

2) เขापูกา อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

เขापูกา มีขนาดใหญ่และสูงกว่าเขาทับควาย ปัจจุบันภูเขาสูงนี้อยู่ในเขตของศูนย์การบิณฑารบก จังหวัดลพบุรี

ร่องรอยของการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณบนเขापูกา ได้แก่ อุโมงค์จากการชุดแร่อย่างน้อย 5 แห่ง และมีร่องรอยการทำเหมืองลักษณะเป็นหลุมและเป็นร่องยาวตามแนวสายแร่อีกหลายแห่ง กระจายอยู่บนยอดเขาลูกนี้

เหมืองอุโมงค์บนเขापูกาล้วนมีลักษณะคล้ายถ้ำ มีขนาดกว้างใหญ่กว่าเหมืองปล่องที่เขาทับควาย ผนังบางส่วนของเหมืองบางแห่งมีลักษณะไม่ราบเรียบ แสดงว่าหินภูเขาแตกออกไปเป็นก้อนเหลี่ยมเหมือนผนังของเหมืองที่ถูกชุดโดยการใช้เครื่องมือเหล็ก ลักษณะเหล่านี้บ่งชี้ว่าเหมืองแร่ทองแดงที่เห็นอยู่บนเขापูกาในปัจจุบันนั้น บางส่วนอาจเป็นเหมืองแร่ของคนโบราณสมัยที่มีการใช้เหล็กแล้ว อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้มากกว่า การทำเหมืองแร่บนเขापูกาอาจปรากฏขึ้นตั้งแต่ครั้งที่เริ่มมีการถลุงแร่ทองแดงในภาคกลางเมื่อก่อนหน้าสมัยเหล็ก ดังได้พบแหล่งถลุงทองแดง

รุ่นแรกๆในภาคกลางของประเทศไทยอันได้แก่แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวายและแหล่งโบราณคดีอ่างเก็บน้ำนิลกำแหง อยู่ที่เชิงเขาพุคา รวมทั้งยังน่าจะเป็นแหล่งที่นำแร่ทองแดงจากเขาพุคาไปทำการถลุงเป็นโลหะทองแดง



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างของร่องรอยคูหาที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ทองแดงสมัยโบราณที่เขาพุคา จังหวัดลพบุรี

3) เขาพระงาม-เขาผาแดง อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

ตามความเป็นจริงแล้วเขาพระงามและเขาผาแดงเป็นภูเขาลูกเดียวกัน อยู่ริมถนนพหลโยธินที่ตำแหน่งห่างจากตัวจังหวัดลพบุรีประมาณ 10 กิโลเมตร

พบร่องรอยของเหมืองทองแดงเก่า 3 บริเวณบนภูเขานี้ ร่องรอยที่ปรากฏเหลืออยู่บ่งชี้ว่าการทำเหมืองแร่ที่แหล่งนี้คงเป็นเหมืองหาบ อาจมีขนาดหน้าเหมืองกว้างประมาณ 50-100 เมตร ยาวประมาณ 100 เมตร

4) เขาพระบาทน้อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

เขาพระบาทน้อย อยู่ในเขตกองบิน 2 อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี นักธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีได้สำรวจพบว่าภูเขาลูกนี้เป็นแหล่งแร่ทองแดงและมีร่องรอยการทำเหมืองแร่เก่าปรากฏอยู่ 2 บริเวณ ดังนี้

บริเวณที่ 1 - มีลักษณะเป็นเหมืองเปิด มีร่องรอยการขุดแร่กระจายครอบคลุมพื้นที่กว้างประมาณ 80 เมตร ยาวประมาณ 130 เมตร

บริเวณที่ 2 - มีร่องรอยการขุดแร่เป็นหลุมกว้างราว 2 เมตร ยาวประมาณ 10 เมตร ลึกไม่น้อยกว่า 3 เมตร จำนวน 2 หลุม

ในบรรดาแหล่งแร่ทองแดงแหล่งต่าง ๆ ในแถบพื้นที่บริเวณเขาวงพระจันทร์นั้น เขาพุกาและเขาทับควายน่าจะเป็นแหล่งสำคัญที่สุด

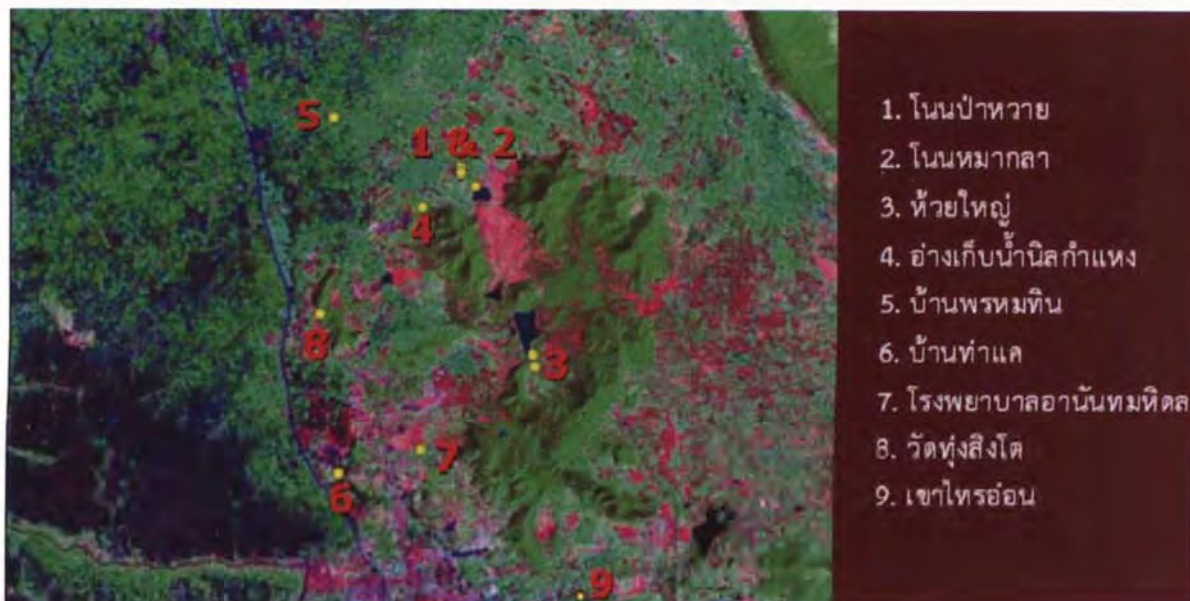
2. การถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทย

รายละเอียดเกี่ยวกับการถลุงทองแดงในยุคก่อนประวัติศาสตร์ของประเทศไทยนั้น เริ่มเป็นที่ชัดเจนขึ้นเนื่องมาจากการค้นพบและการขุดค้นแหล่งถลุงทองแดงในแถบเขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี

โครงการโบราณโลหวิทยาในประเทศไทย ซึ่งเป็นโครงการวิจัยร่วมระหว่างกรมศิลปากรของประเทศไทยกับพิพิธภัณฑ์มหาวิทยาลัยของมหาวิทยาลัยเพนซิลเวเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ศึกษาแหล่งที่เกี่ยวข้องกับการถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ในพื้นที่นี้ตั้งแต่ พ.ศ. 2529 และได้ดำเนินการต่อเนื่องมาอีกหลายปี

ตามความเป็นจริงแล้ว ร่องรอยของการถลุงทองแดงสมัยโบราณในพื้นที่จังหวัดลพบุรีนั้น ได้พบแล้วที่แหล่งโบราณคดี ดังต่อไปนี้

- 1) แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย บ้านห้วยโป่ง อำเภอโคกสำโรง
- 2) แหล่งโบราณคดีโนนหมากลา บ้านห้วยโป่ง อำเภอโคกสำโรง
- 3) แหล่งโบราณคดีห้วยใหญ่ ในเขตศูนย์การทหารปืนใหญ่ อำเภอเมือง
- 4) แหล่งโบราณคดีอ่างเก็บน้ำนิลกำแหง ในเขตศูนย์การบินทหารบก อำเภอเมือง
- 5) แหล่งโบราณคดีบ้านพรหมหิน อำเภอโคกสำโรง
- 6) แหล่งโบราณคดีท่าแค อำเภอเมือง
- 7) แหล่งโบราณคดีวัดทุ่งสิงโต อำเภอเมือง
- 8) แหล่งโบราณคดีโรงพยาบาลอานันทมหิดล อำเภอเมือง
- 9) แหล่งโบราณคดีเขาไทรอ่อน อำเภอเมือง



ภาพที่ 3.6 แผนที่แสดงตำแหน่งของแหล่งถลุงทองแดงสมัยโบราณในย่านเขาวงพระจันทร์ จังหวัดลพบุรี

การค้นคว้าทางโบราณคดีที่แหล่งโบราณคดีเหล่านี้พบหลักฐานแสดงว่า แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย แหล่งโบราณคดีห้วยใหญ่ และแหล่งโบราณคดีอ่างเก็บน้ำนิลกำแพงนั้น เป็น 3 แหล่งที่ทำการผลิตทองแดงมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ช่วงก่อนหน้ามีการใช้เหล็ก อีกทั้งได้ผลิตทองแดงต่อมาจนถึงยุคก่อนประวัติศาสตร์ระยะหลัง ๆ ซึ่งใช้เหล็กแล้ว

นอกจากนี้ ยังพบว่า เฉพาะที่แหล่งโบราณคดีห้วยใหญ่นั้น นอกจากมีการผลิตทองแดงแล้ว ยังผลิตขวานหินขัด และกำไลหินไปพร้อม ๆ กันอีกด้วย

ส่วนแหล่งโบราณคดีโนนหมากลา แหล่งโบราณคดีบ้านพรหมหิน แหล่งโบราณคดีบ้านท่าแค และแหล่งโบราณคดีวัดทุ่งสิงโต เป็นแหล่งถลุงทองแดงที่ปรากฏเพิ่มขึ้นใหม่ในย่านเขาวงพระจันทร์ในช่วงยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายสุด ซึ่งเป็นระยะที่มีเหล็กใช้แล้ว หลักฐานทางโบราณคดีเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายนั้น การผลิตทองแดงในภาคกลางของประเทศไทยมีการขยายตัวมากขึ้นกว่าเดิม

ส่วนร่องรอยของการผลิตทองแดงที่บริเวณโรงพยาบาลอานันทมหิดลนั้น น่าจะเป็นการผลิตในยุคประวัติศาสตร์ราวพุทธศตวรรษที่ 18-19

แม้ว่าแหล่งถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่พบในพื้นที่แถบเขาวงพระจันทร์นั้นมีหลายแหล่ง แต่ที่นับว่าเป็นแหล่งใหญ่และมีความสำคัญได้แก่ แหล่งโนนป่าหวายและแหล่งอ่างเก็บน้ำนิลกำแพง

แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย อยู่ในเขตบ้านห้วยโป่ง อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี ลักษณะแห่งเป็นเนินขนาดเนื้อที่ประมาณ 50,000 ตารางเมตร ซึ่งมีชั้นของวัสดุเหลือทิ้งหรือขยะจากการถลุงทองแดงทับถมกันหนาเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร



ภาพที่ 3.7 ภาพถ่ายจากดาวเทียม แสดงลักษณะของโนนป่าหวาย

ชั้นหลักฐานทางโบราณคดีของโนนป่าหวายแสดงให้เห็นการใช้พื้นที่แหล่งอย่างน้อย 2 สมัยใหญ่ๆ ด้วยกัน โดยสมัยที่ 1 นั้น กำหนดอายุได้ระหว่าง 2,500 ถึง 1,600 ปีก่อนศักราชสามัญ และอาจมีการถลุงทองแดงระดับย่อยๆ หรืออาจเป็นเพียงระดับผลิตสำหรับการใช้ภายในชุมชนขึ้นแล้ว ส่วนสมัยที่ 2 นั้น มีตัวอย่างถ่านหลายตัวอย่าง ซึ่งกำหนดอายุได้ระหว่าง 1,600 ถึง 700 ปีก่อนศักราชสามัญ

ปริมาณมหาศาลของวัสดุเหลือทิ้งหรือขยะจากการถลุงทองแดงจำนวนมหาศาลนั้น เป็นของสมัยที่ 2 นี้ วัสดุดังกล่าวประกอบด้วยตะกรันจากการถลุงแดง แม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกัน ทำด้วยดินเผา แม่พิมพ์ดินเผารูปทรงถ้วยและทรงกรวย สำหรับหล่อก้อนโลหะทองแดง (copper ingots) เศษเบ้าดินเผาสำหรับถลุงทองแดง ฯลฯ แต่แทบไม่พบวัตถุโลหะเลย แสดงให้เห็นว่า ในช่วงสมัยที่ 2 นี้ โนนป่าหวายได้พัฒนาขึ้นเป็นแหล่งอุตสาหกรรมการผลิตทองแดงระดับใหญ่ ที่ทำการผลิตเพื่อกระจายต่อ หรือแลกเปลี่ยนค้าขายกับชุมชนอื่น

การวิเคราะห์ตะกรันและเศษเบ้าถลุงทองแดงทั้งโดย Anna Bennett (1988) และโดยดอกเตอร์ William Rostoker (ปัจจุบันเสียชีวิตแล้ว) ทำให้ทราบเทคนิคการถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ของประเทศไทยดีขึ้นและมีวิธีการโดยสรุปดังนี้

ช่างถลุงทองแดงใช้วิธีนำแร่ทองแดง 2 ชนิด คือ แร่ทองแดงชนิดซิลไฟด์และแร่ทองแดงออกไซด์ผสมกัน แล้วบรรจุลงในเบ้าดินเผารูปถ้วยทรงกระบอก ขนาดสูงประมาณ 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของเบ้าประมาณ 15-25 เซนติเมตร เบ้ามีความจุระหว่าง 200-1,200 ลูกบาศก์เซนติเมตร อาจมีการใช้แร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ (hematite) เป็นเชื้อถลุง (flux) การถลุงคงใช้วิธีสุ่มไฟและเร่งให้อุณหภูมิสูงถึงราว 1,000-1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิและสภาพบรรยากาศในกองไฟ

จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของแร่ทองแดง และการแยกตัวของธาตุโลหะทองแดงออกมาจากธาตุอื่น ๆ แล้วหลอมเหลวจมลงสู่ส่วนก้นของเบ้า ในขณะที่ธาตุแทรกปนและธาตุมลทินต่าง ๆ ก็หลอมเหลวรวมตัวกันเป็นตะกอนลอยอยู่เหนือระดับของทองแดง เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า เมื่อการหลอมเหลวและการถลุงในเบ้าเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ช่างจึงยกเบ้าออกจากกองไฟ แล้วเทตะกอนหลอมเหลวที่ลอยอยู่ระดับบนของเบ้าทิ้งไป จนเมื่อเหลือแต่ชั้นของทองแดง แล้วจึงเทลงในพิมพ์สำหรับหล่อก้อนทองแดง หลังจากทองแดงเย็นและแข็งตัวแล้ว จึงนำออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้หลอมและหล่อเป็นสิ่งของตามต้องการได้ต่อไป



ภาพที่ 3.8 เบ้าทำด้วยดินเผาและวงเตาถลุงทองแดง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการถลุงทองแดง พบที่แหล่งโบราณคดีโนนป่าหวาย



ภาพที่ 3.9 เตาหลอมทองเหลืองแบบดั้งเดิมของชุมชนหัตถกรรมบ้านปะอาว อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ประกอบด้วยส่วนตัววงเตาและมีเบ้าหลอมทำด้วยดินเผาวางในเตา เป็นไปได้ว่าเตาถลุงทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่โนนป่าหวายคงมีลักษณะเช่นนี้ ในขณะที่ทำการถลุงทองแดง

ที่โนนป่าหวายได้พบแม่พิมพ์ดินเผารูปถ้วยขนาดเล็กและรูปถ้วยทรงกรวยสำหรับก้อนโลหะทองแดง จำนวนหลายแสนชิ้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งว่า ผลผลิตหลักของแหล่งอุตสาหกรรมการผลิตทองแดงที่โนนป่าหวายนั่นก็คือ ก้อนทองแดงขนาดเล็ก ๆ ซึ่งน่าจะเป็นขนาดและรูปร่างที่สะดวกต่อการ “บรรจุเป็นหีบห่อ” สำหรับเคลื่อนย้ายไปยัง “ตลาด” อีกทั้งยังอาจเป็น

คุณลักษณะที่เอื้ออำนวยต่อการ “วัดปริมาณ” ทองแดงให้ได้สัดส่วนที่ถูกต้องในการผสมกับดีบุก หรือผสมกับดีบุกและตะกั่วในการทำสำริดอีกด้วย



ภาพที่ 3.10 แม่พิมพ์รูปถ้วยขนาดเล็กและแม่พิมพ์รูปถ้วยทรงกรวย ทำด้วยดินเผา ใช้สำหรับหล่อก้อนโลหะทองแดง พบที่โนนป่าหวาย และก้อนตะกั่วที่ทดลองหล่อด้วยแม่พิมพ์ดังกล่าว



ภาพที่ 3.11 ก้อนโลหะทองแดงรูปทรงต่าง ๆ ที่เป็นผลผลิตของแหล่งผลิตทองแดงยุคก่อนประวัติศาสตร์ในย่านเขาวงพระจันทร์

เป็นไปได้ที่การผลิตทองแดงที่โนนป่าห้วยขยายตัวมากที่สุดในช่วงสมัยเหล็ก ทั้งนี้ เทคนิคการถลุงทองแดงของช่างโลหะที่โนนป่าห้วย รวมทั้งรูปแบบของผลผลิตจากแหล่งนี้ ยังไม่เคยพบในแหล่งผลิตทองแดงอื่น ๆ ในที่ใด ๆ มาก่อน ดังนั้น ในขณะนี้จึงนับได้ว่าเป็นหลักฐานแสดง พัฒนาการของโลหวิทยาในท้องถิ่น โดยประชากรในท้องถิ่น อีกด้วย

3. เทคนิคการทำวัตถุสำริด

แม้ว่านิยามทางโลหะวิทยานั้น “สำริด” (bronze) หมายถึง โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นส่วนผสมหลักและมีดีบุกที่ช่างโลหะตั้งใจเติมลงไปผสมอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 1 ขึ้นไปเป็นส่วนผสมรอง แต่โดยทั่วไปนั้น สำริดชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ทำเครื่องมือเครื่องใช้จะมีดีบุกผสมอยู่ราว 10-15%

นอกจากนี้ มีผลการวิเคราะห์วัตถุสำริดยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายที่พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ตำบลห้วยขุนราม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ที่แสดงว่าวัตถุสำริดในช่วงเวลาดังกล่าว แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- 1) สำริดที่ทำจากทองแดงและดีบุก
- 2) สำริดที่ทำจากทองแดงและตะกั่ว
- 3) สำริดที่ทำจากทองแดง ดีบุก และตะกั่ว

เครื่องสำริดรุ่นแรก ๆ ในวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริดของประเทศไทยนั้น ประกอบด้วยเครื่องมือใช้สอย อาวุธและเครื่องประดับร่างกาย ทั้งนี้โดยเครื่องประดับประเภทกำไลข้อมือนั้น มีการทำและใช้กันมากที่สุด เครื่องสำริดของยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริดระยะหลัง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งพบทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศ ก็นิยมทำเป็นวัตถุประเภทต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้นเป็นส่วนใหญ่



ภาพที่ 3.12 วัตถุสำริดรุ่นแรก ๆ ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี

ในช่วงยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลาย สมัยที่ใช้เหล็กแล้ว อายุราว 1,800-2,500 ปีมาแล้ว ได้พบว่ามียุคสำริดประเภทใหม่เพิ่มขึ้น เช่น กระดิ่งและภาชนะที่ทำจากสำริด ทั้งนี้ ภาชนะสำริดเท่าที่พบบ้างในประเทศไทยนั้นมักเป็นชนิดรูปทรงง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน เช่น ขามหรือขัน ในช่วงยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายระยะท้ายสุดนี้ ยังมีวัตถุสำริดชนิดพิเศษอีกประเภทหนึ่งคือกลองมโหระทึกสำริด



ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างวัตถุทำด้วยสำริด ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในประเทศไทย

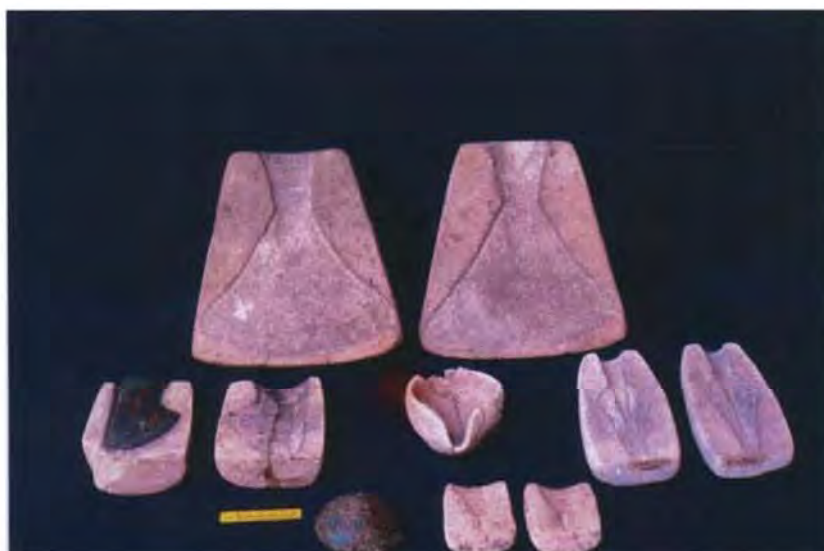


ภาพที่ 3.14 ชิ้นส่วนขามทำจากสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมราวร้อยละ 22 - 25 ของส่วนผสมทั้งหมด ของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายอายุประมาณ 2,200 - 2,300 ปีมาแล้ว พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านดอนตาเพชร อำเภอนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี

การหล่อวัตถุสำริดยุคก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทยนั้นมีเบ้าดินเผารูปถ้วย เล็กๆ ส่วนปากจับเป็นพวยสำหรับเทโลหะและแม่พิมพ์ชนิด 2 ชั้นประกบกัน เป็นอุปกรณ์สำคัญ

ศาสตราจารย์ C. S. Smith เคยศึกษาเบ้าดินเผาสำหรับหลอมสำริดซึ่งพบจากการขุดค้นที่โนนกทาและสรุปได้ว่า การให้ความร้อนในการหลอมนั้น ใช้วิธีสูบลมไฟคลุมทับเบ้าที่มีโลหะบรรจุอยู่ หรือเรียกได้ว่าใช้วิธีให้ความร้อนจากด้านบน

แม่พิมพ์ชนิดสองชั้นประกบกันเท่าที่พบแล้วในประเทศไทยนั้น มีทั้งที่ทำด้วยหินทรายและดินเผา โดยแม่พิมพ์ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมักทำจากหินทราย ในขณะที่แม่พิมพ์ที่พบในภาคกลางนั้นส่วนใหญ่ทำด้วยดินเผา



ภาพที่ 3.15 เบ้าหลอมโลหะทำจากดินเผาและแม่พิมพ์ชนิด 2 ชั้นประกบกัน ทำจากหินทราย พบที่แหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมเดียวกับบ้านเชียง



ภาพที่ 3.16 แม่พิมพ์ชนิด 2 ชิ้นประกบกันทำจากดินเผา สำหรับหล่อหัวลูกศร 3 ลูกพร้อมกัน พบที่แหล่งโบราณคดีเนินคลองบำรุง บ้านหนองยายโตะ อำเภอลำลูกธง จังหวัดลพบุรี

ส่วนในด้านเทคนิคการทำเครื่องมือใช้และเครื่องประดับสำริดนั้น สามารถสรุปได้จากผลวิเคราะห์วัตถุสำริดที่มีนักวิชาการทำไว้แล้วหลายคน โดยเฉพาะผลวิเคราะห์สำริดที่พบจากแหล่งสำคัญในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น บ้านเชียง โนนกทา และบ้านนาดี ซึ่งช่วยให้เห็นได้ว่า ช่างสำริดยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริดในประเทศไทย มีพื้นฐานทางด้านโลหะวิทยาอย่างดี และมีความสามารถในการทำโลหะระดับพัฒนา ดังได้พบว่า ช่างสำริดตั้งแต่สมัยราว 2,000-1,500 ปีก่อนศักราชสามัญ จักวิธีการหล่อทั้งโดยใช้แม่พิมพ์ชนิดสองชิ้น และการหล่อโดยวิธีขี้ผึ้ง นอกจากนี้ ยังมีความเข้าใจเรื่องการตีโลหะขณะเย็น เพื่อเพิ่มความแข็งของโลหะ (work – hardening) รวมทั้งยังมีความรู้เรื่องการใช้ความร้อนช่วยคืนความเหนียวของโลหะ หรือลดความเปราะที่เกิดเนื่องมาจากการตีขณะเย็น ซึ่งทำได้โดยวิธีที่เรียกว่า การอบอ่อน หรือแอนนิลลิ่ง (annealing) อันประกอบด้วยการเผาโลหะที่ผ่านการตีขณะเย็นให้ร้อนเป็นสีแดงแล้วทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ เทคนิควิธีการทำโลหะสำริดดังกล่าวนี้ ได้มีการทำและสืบทอดต่อเนื่องมาโดยตลอดในยุคสมัยถัดมาซึ่งจัดเป็นสมัยเหล็ก

มีตัวอย่างผลการวิเคราะห์วัตถุสำริดรุ่นแรกของประเทศไทยที่สำคัญคือการวิเคราะห์สำริดชิ้นที่เก่าที่สุดที่พบที่บ้านเชียง ซึ่งก็คือใบหอกที่พบในหลุมฝังศพหลุมหนึ่งของระยะที่ 3 ของบ้านเชียงสมัยต้น ซึ่งจัดเป็นหลุมฝังศพที่อาจมีอายุราว 3,500-4,000 ปีมาแล้ว



ภาพที่ 3.17 ใบหอกสำริดชิ้นที่มีอายุเก่าที่สุดของแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง

เดิมมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบหอกนี้โดย Dr. Tamara Stech Wheeler and Dr. Robert Maddin พบว่าเป็นสำริดที่มีดีบุกผสมอยู่ราว 3% ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณดีบุกที่ค่อนข้างต่ำกว่าในสำริดชนิดสามัญ แต่ต่อมาได้มีการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่ามีดีบุกราว 10 % ส่วนการวิเคราะห์ลักษณะผลึกของโครงสร้างภายในของใบหอกสำริดชิ้นนี้บ่งชี้ว่า ขั้นตอนแรกในการทำวัตถุชิ้นนี้คือการหล่อโดยใช้แม่พิมพ์ชนิด 2 ชั้นประกบกัน จากนั้น นำใบหอกที่หล่อได้ไปตีในขณะที่ยังเย็นเพื่อตกแต่งให้ได้รูปร่างสมบูรณ์ แต่เนื่องจากการตีในขณะที่โลหะเย็นนั้นทำให้โครงสร้างเดิมของโลหะเกิดการบิดเบี้ยวและคุณสมบัติของโลหะสำริดเปลี่ยนไปเป็นมีความเปราะมากขึ้น จึงมีการนำใบหอกชิ้นนี้ไปลดความเปราะที่เกิดเนื่องจากการตีขณะเย็น โดยการเผาใบหอกให้ร้อนจนเป็นสีแดงแล้วทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ ร่องรอยของผลึกโลหะที่แสดงชัดเจนว่าใบหอกสำริดชิ้นนี้ทำโดยผ่านกรรมวิธีแอนนีลลิ่งด้วยนั้น ชี้ให้เห็นว่าช่างสำริดรุ่นแรกของบ้านเชียงมีความรู้และความเข้าใจในเทคนิคมาตรฐานของการโลหะกรรมสำริดเป็นอย่างดีแล้ว

ผลการวิเคราะห์โลหะสำริดที่ผลิตที่บ้านเชียงตั้งแต่ช่วงระยะปลายของสมัยดั้นนั้น ยังพบว่า ส่วนใหญ่เป็นชนิดสามัญ ซึ่งหมายถึงสำริดที่มีทองแดงผสมอยู่ราว 85-90% และมีดีบุกราว 10-15% แต่ก็พบว่ายังมีสำริดชนิดที่ผสมตะกั่วเพิ่มลงไปเป็นองค์ประกอบหลักชนิดที่ 3 นอกเหนือจากทองแดงและดีบุกอีกด้วย

การผสมตะกั่วลงในสำริดนั้นเป็นวิธีการทางโลหะวิทยาที่ทำให้โลหะสำริดมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปหลายประการ ประการแรกคือทำให้หลอมเหลวได้ง่ายขึ้น ประการที่ 2 ทำให้โลหะเหลวมีความหนืดลดลงจึงช่วยให้โลหะไหลเต็มท้วแม่พิมพ์ได้ดีขึ้น และประการที่ 3 คือ ช่วยลดฟองอากาศในโลหะเหลวทำให้วัตถุที่หล่อออกมามีคุณภาพดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม สำริดที่มีตะกั่วผสมอยู่ด้วยจะมีความแข็งน้อยกว่าสำริดชนิดที่มีเฉพาะทองแดงและดีบุกเป็นส่วนผสม จึงไม่ค่อยเหมาะสมต่อการใช้ทำเครื่องมือหรืออาวุธที่ต้องการความแข็งและทนทานต่อแรงกระแทก แต่เหมาะสมดีสำหรับใช้ทำเครื่องประดับ โดยเฉพาะประเภทที่มีลักษณะรูปทรงซับซ้อนหรือมีลวดลายประดับอย่างวิจิตร เช่น กำไลที่มีลูกกระพรวนประดับ ซึ่งต้องทำขึ้นด้วยวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้ง อันเป็นวิธีที่ต้องการโลหะที่ค่อนข้างเหลวและไหลเต็มแม่พิมพ์

ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่ายๆ กำไลสำริดแบบที่มีลูกกระพรวนตกแต่งซึ่งเป็นเครื่องประดับที่พบมาตั้งแต่ช่วงระยะท้ายๆของวัฒนธรรมบ้านเชียงสมัยต้น ล้วนแต่หล่อขึ้นไปด้วยวิธีนี้ทั้งสิ้น

ความสามารถในการหล่อโลหะด้วยวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้ง ยังน่าจะเป็นปัจจัยประการหนึ่งที่ทำให้ช่างหล่อโลหะในยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลาย ช่วงสมัยเหล็กสามารถประดิษฐ์วัตถุโลหะที่มีลักษณะพิเศษใหม่ๆเพิ่มขึ้นมา วัตถุโลหะลักษณะพิเศษประเภทหนึ่งได้แก่ใบหอกที่ทำจากโลหะ 2 ชนิด (bimetallic spearpoint)

ตัวอย่างใบหอกที่ทำจากโลหะ 2 ชนิดที่น่าสนใจชิ้นหนึ่ง คือชิ้นที่พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ตำบลห้วยขุนราม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ใบหอกที่ทำจากโลหะ 2 ชนิดชิ้นนี้ พบในที่ฝังศพหมายเลข 7 ในหลุมขุดค้นหมายเลข 4 ซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ครึ่งตะวันตกของแหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว

ในที่ฝังศพหมายเลข 7 ได้พบโครงกระดูกมนุษย์เพศชาย วัตถุที่พบถูกฝังอยู่ร่วมกับโครงกระดูกนี้ประกอบด้วยภาชนะดินเผา 1 ใบ วางอยู่ใต้ต้นแขนขวา ลูกปัดทำจากหินคาร์เนเลียน 1 ลูก พบที่บริเวณกระดูกสันหลังส่วนคอ กำไลสำริดสวมอยู่ที่แขนข้างขวา และใบหอกที่ทำจากโลหะ 2 ชนิด ซึ่งถูกจงใจทำให้เสียหาย โดยตีจนงอเป็นวงโค้งวางอยู่ข้างไหล่ซ้าย



ภาพที่ 3.18 โครงกระดูกคนและใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิด พบในที่ฝังศพหนึ่งของแหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ส่วนคมหอกที่ทำด้วยเหล็กถูกจงใจงอจนเป็นวงโค้งก่อนฝังเป็นของอุทิศให้ศพ

การจงใจทำให้ใบหอกชิ้นนี้เสียโดยตีให้งอเป็นวงโค้ง สะท้อนถึงประเพณีการทำให้สิ่งของเครื่องใช้เสียหายหรืออาจเรียกว่าเสียชีวิต ก่อนที่จะฝังลงไปพร้อมกับผู้ตาย นักโบราณคดีส่วนใหญ่เชื่อกันว่าแสดงถึงความเชื่อเกี่ยวกับการไปเกิดใหม่ในสังคมที่เกี่ยวข้องกับผู้ตาย ประเพณีเช่นนี้เคยพบ

มาก่อนแล้วที่แหล่งโบราณคดีหลายแห่งทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้พบตั้งแต่ช่วงสมัยต้นของวัฒนธรรมยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง ซึ่งจัดเป็นยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริด ดังได้พบใบหอกสำริดของวัฒนธรรมที่บ้านเชียงสมัยต้น 1 ชั้น ที่ถูกงัดใจทำให้ส่วนปลายงอโค้ง



ภาพที่ 3.19 ใบหอกสำริดพบในชั้นวัฒนธรรมสมัยต้นที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง ส่วนปลายหอกถูกงัดใจทำให้งอโค้ง



ภาพที่ 3.20 ใบหอกเหล็กพบในหลุมฝังศพหลุมหนึ่งของแหล่งโบราณคดีบ้านท่าแค อำเภอมือง จังหวัดลพบุรี ถูกงัดใจก่อนฝังไว้กับศพ



ภาพที่ 3.21 ใบหอกที่ถูกงัดจนพับ พบในที่ฝังศพคนยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านดอนตาเพชร อำเภอนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี

ใบหอกที่ทำด้วยโลหะ 2 ชนิดที่พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาวชิ้นนี้ จัดเป็นหลักฐานทางโบราณคดีชิ้นหนึ่งที่แสดงถึงความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีการทำโลหะของช่างโลหะยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายในภาคกลางของประเทศไทย

ใบหอกชิ้นนี้ มีส่วนบ้องสำหรับเข้าด้ามทำด้วยสำริด ส่วนคมหอกทำด้วยเหล็ก บริเวณจุดต่อระหว่างส่วนบ้องและส่วนคมหอกเห็นได้ชัดเจนว่ามีเนื้อโลหะสำริดช่วงส่วนต้นของบ้องหุ้มทับบนเนื้อเหล็กช่วงล่างของคมหอก โลหะสำริดบริเวณนี้มีลวดลายละเอียดประณีตประดับ โดยประกอบไปด้วยลวดลายลักษณะคล้ายลายขัด ลายเส้นโค้งหลายเส้นซ้อนกัน ลายเส้นตรงพันรอบส่วนบ้อง และลายเม็ดกลม



ภาพที่ 3.22 บริเวณจุดต่อระหว่างส่วนบ้องที่ทำด้วยสำริดสำริดและคมหอกที่ทำด้วยเหล็กของใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิด พบในที่ฝังศพหมายเลข 7 หลุมขุดค้นหมายเลข 4 แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว มีส่วนบ้องทำด้วยโลหะสำริดที่ตกแต่งด้วยลวดลายละเอียดประณีตหุ้มทับเนื้อโลหะเหล็กของส่วนคมหอก

ลวดลายที่ปรากฏบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนบ้องและส่วนคมหอกเช่นนี้ช่วยให้สามารถสรุปวิธีการทำใบหอกชิ้นนี้ได้ว่าเริ่มต้นโดยการตีโลหะเหล็กให้ได้ส่วนคมหอกแบบเรียวแหลมคล้ายใบข้าวก่อน หลังจากนั้นจึงหล่อส่วนบ้องสำริดทับลงบนตอนล่างของส่วนคมหอก ลวดลายที่ละเอียดประณีตบนส่วนบ้องสำริดนี้ ยังช่วยให้สามารถสรุปขั้นตอนการทำวัตถุชิ้นนี้ได้ว่า การหล่อบ้องสำริดทับคมหอกเหล็กนั้นใช้วิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหรือการหล่อแบบขี้ผึ้ง

ใบหอกที่ทำจากโลหะสองชนิดนั้นได้เคยมีการพบมาก่อนบ้างแล้วในประเทศไทย ชิ้นที่สำคัญได้แก่ใบหอกที่มีบ้องส่วนทำด้วยสำริดและส่วนคมทำด้วยเหล็กซึ่งพบในการขุดค้นที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ซึ่งจัดเป็นเป็นเครื่องมือที่มีอายุอยู่ในช่วงที่เริ่มมีการใช้เหล็กครั้งแรกๆที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง หรือจัดเป็นเครื่องมือของยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยเหล็กช่วงต้นๆ



ภาพที่ 3.23 ใบหอกทำด้วยโลหะ 2 ชนิดที่พบในการขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านเชียง

ในเรื่องพัฒนาการของเทคโนโลยีการทำสำริดในประเทศไทยในช่วงยุคก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลายนั้น ยังมีผลการวิเคราะห์สำริดที่พบที่บ้านเชียงที่ชี้ให้เห็นว่ามีพัฒนาการด้านโลหกรรมที่สำคัญอีกประการหนึ่งเกิดขึ้นในช่วงราว 2,300-2,500 ปีมาแล้ว นั่นก็คือ มีการทำสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมในปริมาณสูง (high tin bronze) ซึ่งหมายถึงสำริดที่มีดีบุกผสมอยู่กว่า 20% การผสมดีบุกปริมาณสูงเช่นนี้ มีผลทำให้โลหะผสมชนิดนี้มีความแข็งแรงมากแต่ก็เปราะมาก เนื้อโลหะมีสีตั้งแต่คล้ายทองจนถึงคล้ายเงินโดยขึ้นอยู่กับปริมาณดีบุกที่ผสม คุณสมบัติด้านความแข็งแรงแต่เปราะของโลหะผสมชนิดนี้ทำให้ไม่สามารถผลิตสิ่งของที่มีคุณสมบัติเหมาะสมใช้งานออกมาได้โดยวิธีการหล่อสำริดแบบสามัญ แต่จะต้องประยุกต์เอาวิธีการของการตีเหล็กมาใช้ร่วมด้วยจึงจะได้วัตถุที่มีคุณสมบัติ คือ มีความแข็งแรงแต่ไม่เปราะ วิธีการดังกล่าวประกอบด้วย การเผาแล้วตีในขณะที่โลหะร้อนเป็นสีแดงจนได้รูปร่างวัตถุที่ต้องการ จากนั้นต้องเผาวัตถุที่ตีขึ้นรูปจนได้ที่แล้วให้ร้อนเป็นสีแดงอีกครั้งแล้วชุบลงไป ในน้ำเย็นทันที ด้วยการใช้เทคนิคเช่นนี้ทำให้ช่างโลหะสามารถทำเครื่องประดับและภาชนะสำริดที่มีความแข็งแรงมาก มีความทนทานและมีสีคล้ายทองคำ

นอกจากนี้ การศึกษาเรื่องโบราณโลหกรรมในประเทศไทยถึงขณะนี้ ยังได้พบแหล่งผลิตกลองมโหระทึกสำริดในประเทศไทยแล้ว โดยพบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอย บ้านนาอุดม ตำบลนาอุดม อำเภอนิคมน้ำอ้อย จังหวัดมุกดาหาร

นักโบราณคดีของสำนักศิลปากรที่ 11 อุบลราชธานี ได้ศึกษาแหล่งโบราณคดีโนนหนองหอย และพบทั้งก้อนทองแดง เบ้าหลอมสำริด ชิ้นงานสำริด และชิ้นส่วนแม่พิมพ์สำหรับหล่อกลองมโหระทึกด้วยวิธีหล่อแบบขี้ผึ้ง



ภาพที่ 3.24 ก้อนโลหะทองแดงพบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ



ภาพที่ 3.25 เบ้าหลอมสำริดพบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ



ภาพที่ 3.26 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์หล่อทองมโหระทึกสำริด พบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ



ภาพที่ 3.27 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์หล่อกลองมโหระทึกสำริด พบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ



ภาพที่ 3.28 กลองมโหระทึกจำลองขนาดเล็ก ทำด้วยสำริด พบที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ



ภาพที่ 3.29 กระบวย ทำด้วยสำริด มีลายประดับรูปกวาง พบที่โนนหนองหอ

กลองมโหระทึกสำริด เป็นวัตถุหน้าที่พิเศษ เดิมพบว่ามีแหล่งผลิตและใช้กันมากในพื้นที่ 3 บริเวณของกลุ่มแม่น้ำโขง ได้แก่

- มณฑลยูนนาน ทางภาคตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน
- มณฑลกว่างสี ทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศจีน
- กลุ่มแม่น้ำแดง - แม่น้ำดำ ภาคเหนือของประเทศเวียดนาม

การพบแหล่งผลิตกลองมโหระทึกสำริด ที่แหล่งโบราณคดีโนนหนองหอ จังหวัดมุกดาหาร นับเป็นหลักฐานสำคัญ แสดงว่ายังมีแหล่งผลิตกลองมโหระทึกแหล่งอื่น ๆ อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยด้วย รวมทั้งแสดงถึงความเชื่อมโยงอย่างซับซ้อนของวัฒนธรรมสมัยโบราณในประเทศต่าง ๆ ของกลุ่มแม่น้ำโขง

แหล่งผลิตเครื่องสำริดสมัยโบราณที่อาจมีความสัมพันธ์กับโนนหนองหอ คือแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเมือง อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้พบก้อนทองแดงและเบ้าดินเผาลักษณะเหมือนกับที่พบที่โนนหนองหอ อย่างไรก็ตามที่บ้านโพนเมือง ยังไม่พบชิ้นส่วนแม่พิมพ์สำหรับหล่อกลองมโหระทึกแบบที่พบที่โนนหนองหอ



ภาพที่ 3.30 ก้อนโลหะทองแดงและก้อนตะกั่วจากการถลุงทองแดง พบที่บ้านโนนเมือง อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเหมือนกับที่พบที่โนนหนองหอ



ภาพที่ 3.31 เบ้าทำด้วยดินเผา ใช้สำหรับหลอมสำริด พบที่บ้านโนนเมือง อำเภอเหล่าเสือโก้ก จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเหมือนกับเบ้าที่พบที่โนนหนองหอ

งานหัตถกรรมโลหะสำริดแบบโบราณของไทยที่สำคัญและยังคงเหลืออยู่ในปัจจุบัน และจัดเป็นหนึ่งในบรรดาภูมิปัญญาไทยที่มีมาตั้งแต่อดีตและยังได้รับการสืบทอดอยู่ในปัจจุบันคือการทำเครื่องทองลงหิน หรือขันลงหิน เนื้อโลหะที่เรียกว่า”ทอง” ที่ใช้ทำเครื่องทองลงหินหรือขันลงหินนั้น ก็คือโลหะสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งทำให้เนื้อสำริดมีสีเหลืองงดงามคล้ายทองคำ

ปัจจุบันนี้ แหล่งผลิตเครื่องทองลงหินหรือขันลงหินเหลืออยู่เพียงแห่งเดียวในกรุงเทพมหานคร คือที่ชุมชนบ้านบุ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร งานหัตถกรรมนี้เป็นเอกลักษณ์ประการหนึ่งของชุมชนบ้านบุ ซึ่งสืบทอดการทำหัตถกรรมนี้ต่อมาจากบรรพบุรุษที่อพยพจากกรุงศรีอยุธยา มาตั้งชุมชนบ้านบุขึ้นใหม่ที่กรุงธนบุรี เมื่อครั้งเสียกรุงศรีอยุธยาใน พ.ศ. 2310

การโลหกรรมด้านตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะที่ถูกใช้เป็นส่วนผสมรองในการทำวัตถุสำริดมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์สมัยสำริดของประเทศไทย เมื่อไม่น้อยกว่า 3,000 ปีมาแล้ว

ศาสตราจารย์ Hirao Yoshimitsu จากมหาวิทยาลัย Beppu กรุง Tokyo ประเทศญี่ปุ่น เคยดำเนินการศึกษาไอโซโทปของตะกั่ว (lead isotope analysis) จากวัตถุสำริดอายุประมาณ 1,800 - 2,300 ปีมาแล้ว ซึ่งขุดค้นพบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ตำบลห้วยขุนราม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และพบว่าตะกั่วที่ใช้เป็นส่วนผสมรองในเครื่องสำริดบางชิ้นที่พบที่บ้านโป่งมะนาว เป็นตะกั่วที่ได้มาจากเหมืองตะกั่วชื่อเหมืองสองท่อ ซึ่งอยู่ในเขตอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญชาวญี่ปุ่นท่านนี้ ยังวิเคราะห์พบว่าวัตถุตะกั่วบางชิ้น ซึ่งพบที่แหล่งโบราณคดีหอยเือก จังหวัดนครปฐม และบางชิ้นที่พบที่บ้านคูเมือง อำเภออินทร์บุรี จังหวัดนครปฐม ก็ผลิตจากตะกั่วที่มาจากเหมืองสองท่อ เช่นกัน นอกจากนี้ นายวรพจน์ ไวยกนก นักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีของไทยก็ได้พบว่าในพื้นที่เขตแหล่งแร่ตะกั่ว อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีร่องรอยเหมืองแร่และเตาถลุงแร่โบราณอยู่ด้วย โดยแหล่งที่พบร่องรอยชัดเจนที่สุดคือเหมืองบ่องาม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ผลการศึกษาเช่นนี้ชี้ว่า แหล่งแร่ตะกั่วในพื้นที่ดังกล่าวคงเป็นแหล่งผลิตตะกั่วที่สำคัญต่อเนื่องกันมานาน อย่างน้อยก็ตั้งแต่กว่า 2,000 ปีมาแล้วเล็กน้อย



ภาพที่ 3.32 ร่องรอยอุโมงค์เกิดจากการทำเหมืองตะกั่วสมัยโบราณ ส่วนกันเตาถลุงตะกั่วสมัยโบราณ แม้พิมพ์สำหรับหล่อก้อนโลหะตะกั่ว และก้อนตะกั่วออกไซด์หรือตะกั่วแดง พบที่บริเวณเหมืองบ่องาม อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

การโลหะกรรมด้านเหล็ก

เหล็กเป็นโลหะที่มนุษย์นำมาใช้ทำวัตถุสิ่งของต่าง ๆ หลังจากการใช้สำริดนับพัน ๆ ปี เหตุที่เหล็กปรากฏขึ้นหลังสำริดแม้ว่าจะไม่ต้องการผสมโลหะที่ย่างยากเหมือนสำริด คงเป็นเพราะการทำวัตถุจากเหล็กนั้นต้องใช้เทคนิคที่ซับซ้อนตั้งแต่การถลุงเหล็ก ไปจนถึงการขึ้นรูปเป็นเครื่องมือเครื่องใช้หรือวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการ

1. วิธีการผลิตเครื่องเหล็ก

การใช้เหล็กในประเทศไทยนั้นมีหลักฐานว่าปรากฏขึ้นเมื่อประมาณ 2,500 - 2,700 ปีมาแล้ว หลักฐานทางโบราณคดีเท่าที่พบแสดงนัยว่า ในระยะเริ่มต้นของการใช้เหล็กในประเทศไทยนั้น คนคงยึดถือเป็นโลหะพิเศษ โดยอาจเป็นของใหม่ที่สามารถใช้เป็นสิ่งของแสดงความแตกต่างจากบุคคลอื่น จึงใช้เป็นสิ่งเพิ่มเติมหรือตกแต่งประดับวัตถุที่ทำด้วยสำริด ดังที่ได้พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี ว่าในระยะแรก ๆ นั้นเหล็กปรากฏขึ้นในรูปของวัตถุทำจากโลหะ 2 ชนิด เช่น ใบหอกที่มีส่วนบ้องสำหรับเข้าด้ามทำด้วยสำริด แต่ส่วนปลายหรือส่วนคมหอกทำด้วยเหล็ก นอกจากนี้ยังปรากฏในรูปของกำไลข้อมือสำริดที่มีเหล็กเส้นพันรอบอยู่ด้านนอก

โดยทั่วไปแล้วการจะได้เครื่องมือเหล็กมานั้นจะต้องผ่านอย่างน้อย 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ การขุดแร่ การเตรียมและแต่งแร่ การถลุงแร่ให้เป็นโลหะเหล็ก และการตีขึ้นรูป

2. การขุดแร่เหล็ก

แร่เหล็กนับเป็นแร่ที่มีอยู่มากมายในโลก ในสมัยโบราณก่อนจะมีการทำเหมืองแร่ระดับอุตสาหกรรมใหญ่นั้น การทำเหมืองแร่เหล็กก็คือการขุดเอาสินแร่ขึ้นมาจากแหล่งแร่ ในประเทศไทยนั้นบางครั้งแหล่งแร่เหล็กก็คือชั้นศิลาแลงหรือชั้นแม่รังที่มีก้อนแร่เหล็กที่มีปริมาณเหล็กสูงแทรกปนอยู่ด้วย

3. การเตรียมและแต่งแร่เหล็ก

สินแร่เหล็กส่วนใหญ่ไม่บริสุทธิ์ แต่มักมีแร่ชนิดอื่น ๆ และสิ่งแทรกปน เช่น ดิน ทราย หิน ฯลฯ อยู่เป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการทำความสะอาดแร่เพื่อขจัดสิ่งแทรกปนและมลทินต่าง ๆ ออกให้มากที่สุด การทำความสะอาดทำได้โดยการนำแร่ไปทุบย่อยเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วนำไปล้างและร่อนในน้ำที่ไหลอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ น้ำพัดพาเอาแร่ธาตุแทรกปนอื่น ๆ ที่มีน้ำหนักเบาออกไป หลังจากนั้นนำแร่ที่ล้างแล้วไปเผาไฟ เพื่อทำให้แร่แห้งโปร่งตัว รวมทั้งเพื่อกำจัดธาตุกำมะถันที่ปนอยู่

4. การถลุงแร่เหล็ก

โดยทั่วไปแล้ว การถลุงเหล็กด้วยเทคนิคดั้งเดิมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดย “กระบวนการทางตรง” (direct process) และ “กระบวนการทางอ้อม” (indirect process)

การถลุงเหล็กโดยกระบวนการทางตรง ประกอบด้วยการนำแร่เหล็กที่ทำความสะอาดและเตรียมให้ได้ขนาดดีแล้ว ผสมคลุกเคล้ากับถ่านในสัดส่วนที่ถูกต้องจัดใส่ลงในเตาถลุงซึ่งมักเป็นรูปอ่าง

กันเตาโค้งมีผนังก่อสูงขึ้นมา ต่อจากนั้นจึงจุดไฟเผาส่วนผสมดังกล่าว ใช้สູบลมช่วยเร่งอุณหภูมิสูงถึงราว 1,100 องศาเซลเซียส และจะต้องหมั่นเติมถ่านเพื่อให้ภายในเตาถลุงมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากพอต่อการทำปฏิกิริยากับเหล็ก การถลุงจะดำเนินไปจนแร่เหล็กมีความอ่อนตัว โลหะเหล็กจะไม่หลอมเหลวแต่แยกตัวออกรวมกันเป็นก้อนเหล็กมีรูพรุนเรียกว่า bloom อยู่ภายในเตา ส่วนแร่ธาตุแทรกปนและมลทินอื่น ๆ ก็จะถูกหลอมเหลวแยกออกจากเหล็กไปรวมตัวกันเป็นตะกรัน ขั้นตอนต่อไปจะต้องนำก้อนเหล็กหรือ bloom จากเตามาตีในขณะที่ยังร้อนแดงเพื่อบีบและกะเทาะเอาตะกรันที่ยังหลงเหลืออยู่ในเหล็กออกให้มากที่สุด ผลที่ได้จะเป็นก้อนเหล็กอ่อน (wrought iron) ที่มีธาตุคาร์บอนปนต่ำมาก ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเครื่องมือเครื่องใช้ต่อไปได้

ส่วนการถลุงเหล็กตามกระบวนการโดยอ้อม มีวิธีการที่แตกต่างไป โดยมักต้องใช้เตาถลุงที่มีขนาดใหญ่และก่อผนังเตาสูง มักมีช่องที่ผนังหรือกันเตาเพื่อปล่อยให้เหล็กหรือตะกรันที่กำลังหลอมเหลวไหลออกมานอกเตาได้ เหล็กที่ถลุงโดยวิธีนี้จะถูกหลอมเหลวขณะที่อยู่ในเตาจึงต้องใช้เชื้อเพลิงและสູบลมอย่างมากเพียงพอที่จะทำให้ภายในเตาถลุงมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากพอพร้อม ๆ กับมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 1,530 องศาเซลเซียส อันเป็นจุดหลอมเหลวของเหล็ก ในขณะที่เหล็กและตะกรันกำลังหลอมเหลวนั้นก็จะแยกตัวจากกันเนื่องจากมีความหนาแน่นต่างกัน โดยเหล็กจะจมลงลงตอนล่างของเตาในขณะที่ตะกรันที่เบากว่าลอยอยู่เหนือชั้นเหล็ก ลักษณะเช่นนี้ทำให้สามารถแยกเหล็กเหลวหรือตะกรันเหลวออกมาจากเตาได้ตามช่องเปิดที่ผนังเตา เหล็กที่ได้มาจากการถลุงวิธีนี้จัดเป็นชนิดเหล็กหล่อ (cast iron) ซึ่งมีธาตุคาร์บอนปนอยู่ในโครงสร้างมากกว่า ร้อยละ 0.5 จึงมีความแข็งแรงมากแต่ก็เปราะมาก ไม่เหมาะสมที่จะใช้ทำเครื่องมือที่ต้องทนแรงกระแทกประเภทมีดและขวานสำหรับสับตัดวัตถุต่าง ๆ แต่เหมาะสมสำหรับใช้ทำภาชนะเช่นหม้อหรือกะทะ อย่างไรก็ตาม เหล็กหล่อสามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นเหล็กอ่อนได้โดยการนำไปหลอมอีกครั้งแล้วปล่อยให้ได้รับออกซิเจนมากพอจะเผาไหม้ธาตุคาร์บอนที่ปนอยู่ในโครงสร้างภายในออกไปได้หมด หรือเผาเป็นเวลานานด้วยอุณหภูมิไม่สูงถึงจุดหลอมเหลวของเหล็กจนธาตุคาร์บอนถูกเผาไหม้ไปเกือบหมด

การศึกษาแหล่งถลุงเหล็กสมัยโบราณคดีครั้งสำคัญครั้งหนึ่งในประเทศไทย ดำเนินการที่แหล่งถลุงเหล็กสมัยโบราณ 2 แห่ง คือบ้านเขาดินใต้ และบ้านสายโทเจ็ด ในเขตอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ โดยโครงการวิจัยเส้นทางโบราณจากเมืองเสียมเรียบมาเมืองพิมาย หรือชื่อโครงการในภาษาอังกฤษคือ The Living Angkor Road Project ได้พบว่าการถลุงเหล็กในย่านดังกล่าวใช้วิธีการถลุงโดยตรง



ภาพที่ 3.33 ร่องรอยของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณ โดยกระบวนการถลุงโดยตรง พบที่บ้านเขาดินใต้ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพที่ 3.34 ร่องรอยของเตาถลุงเหล็กสมัยโบราณ โดยกระบวนการถลุงโดยตรง พบที่บ้านสายโทเจ็ด อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การศึกษาวิเคราะห์วัตถุทำด้วยเหล็กสมัยโบราณที่พบในประเทศไทย พบว่าการถลุงเหล็กโดยวิธีการโดยตรงนั้นเป็นที่รู้จักและปฏิบัติของช่างเหล็กไทยมาตั้งแต่ระยะการใช้เหล็กครั้งแรก ๆ เมื่อระหว่าง 2,200-2,500 ปีมาแล้ว ทั้งยังเป็นวิธีการหลักในการผลิตเหล็กของ

ช่างเหล็กในประเทศไทยมาโดยตลอดจวบจนกระทั่งถึงสมัยกรุงศรีอยุธยาระยะที่มีการติดต่อกับต่างประเทศอย่างกว้างขวางจึงปรากฏเทคนิคการถลุงเหล็กโดยวิธีอ้อมขึ้น โดยอาจรับมาจากจีน ซึ่งรู้จักการถลุงเหล็กด้วยกระบวนการโดยอ้อมมาตั้งแต่สมัยราชวงศ์ฮั่น ซึ่งมีอายุระหว่าง 2,150 ถึง 1,730 ปีมาแล้ว

5. การตีขึ้นรูปเครื่องมือเหล็ก

เหล็กเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติพิเศษประการหนึ่งคือในขณะที่ยึ่นนั้นจะแข็งและเปราะกว่าในขณะที่ยืด ในการทำเครื่องมือจากเหล็กช่างจึงต้องเผาเหล็กให้ร้อนแดง เพื่อให้เหล็กอ่อนตัวลงแล้วจึงตีเพื่อบีบอัดให้เป็นรูปร่าง ซึ่งในการตีเหล็กนั้นจะต้องเผาและตีสลับกันไปเรื่อยจนกว่าจะได้สิ่งของที่ต้องการการตีเหล็กจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือประกอบ ได้แก่ คีม แบบต่าง ๆ ค้อน และทั่ง เป็นอย่างน้อย



ภาพที่ 3.35 การตีเหล็ก



ภาพที่ 3.36 ร่องรอยของเตาติเหล็กสมัยโบราณ พบที่บ้านสายโทเจ็ด อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์



ภาพที่ 3.37 เตาติเหล็กของราษฎรที่บ้านภูเขาทอง ตำบลม่วง อำเภอสว่าง จังหวัดหนองคาย

เครื่องมือเครื่องใช้เหล็กนั้นจะต้องทำให้มีความแข็งแรงขนาดต่าง ๆ เหมาะสมกับงานที่จะใช้ได้ เช่น ดาบถ้าแข็งแรงมากไปก็จะเปราะไม่เหมาะที่จะใช้ทำอาวุธที่ต้องทนทานแรงกระแทก หรือ สี่ล้ออ่อนเกินไปก็จะชำรุดเสียหายหรือคมสึกหรอได้ง่ายเกินไป



ภาพที่ 3.38 ตัวอย่างเครื่องมือและอาวุธทำด้วยเหล็ก พบที่แหล่งโบราณคดีบ้านโป่งมะนาว ตำบลห้วยขุนราม อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

วิธีการทำให้เหล็กมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั้น ทำได้โดยกระบวนการให้เหล็กดูดซึมเอาธาตุคาร์บอนเข้าไป ซึ่งเกิดได้ด้วยการเผาเหล็กให้ร้อนแดง ซึ่งขณะนั้นเหล็กจะดูดซึมเอาธาตุคาร์บอนเข้าไป จากนั้นจึงนำเหล็กที่ร้อนแดงจุ่มลงไปใต้น้ำเย็นทันที หรือที่เรียกว่า “การชุบ” ซึ่งจะทำให้ธาตุคาร์บอนถูกดักเก็บอยู่ภายในอนุภาคเหล็ก ทำให้กลายเป็นเหล็กกล้า (steel) ซึ่งมีความแข็งแรงขึ้นแต่ก็เปราะมากขึ้นด้วย

ในกรณีที่เหล็กแข็งแรงขึ้นแต่เปราะนั้น สามารถทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นได้ โดยใช้กระบวนการอบอ่อน หรือแอนนิลลิ่ง (annealing) ซึ่งหมายถึงการเผาเหล็กนั้น ๆ ให้ร้อนแดงในอุณหภูมิที่เหมาะสม แล้วทิ้งให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ อาจจะโดยการฝังทรายหรือขี้เถ้า นอกจากนี้ยังอาจลดความเปราะได้โดยกระบวนการที่เรียกว่า เหมเปอร์ริง (tempering) ซึ่งประกอบด้วยการเผาเหล็กด้วยอุณหภูมิพอเหมาะและรักษาระดับอุณหภูมิไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงชุบลงในน้ำเย็น

วิธีการพื้นฐานในการทำเครื่องมือเหล็กดังกล่าวมาข้างต้น ประกอบด้วยการตีขึ้นรูป แล้วตามด้วยการชุบหรือการฝังขี้เถ้าให้เย็นลงช้า ๆ หรือการเผาด้วยอุณหภูมิปานกลางแล้วชุบลงในน้ำเย็นนั้น เป็นวิธีที่ยังคงใช้สืบต่อมาในปัจจุบัน

บทที่ 4

เครื่องโลหะของยุคประวัติศาสตร์ในประเทศไทย

ในยุคประวัติศาสตร์เริ่มแรก ที่นิยมศิลปะแบบทวารวดี ซึ่งถือกันว่ามีอายุราวพุทธศตวรรษที่ 11 – 16 นั้น มีการใช้โลหะสำริดทำเครื่องประดับต่างๆ เช่น แหวน กำไล ลูกกระพรวน รวมทั้งใช้ทำพระพุทธรูปขนาดต่าง ๆ และภาชนะประเภทต่าง ๆ ส่วนหลักนั้นใช้ทำเครื่องมือ เครื่องใช้และอาวุธ นอกจากนี้ยังใช้โลหะอื่น ๆ เช่น ทองคำ เงิน และตะกั่ว

ยุคประวัติศาสตร์ระยะเวลาถัดมา คือราวพุทธศตวรรษที่ 16 – 18 นั้น การโลหะกรรมก็มีการพัฒนาสืบต่อมา ดังนั้นพบทั้งประติมากรรมและหัตถกรรมโลหะที่ฝีมือประณีตและมีคุณภาพ ตามแบบศิลปะศรีวิชัย เชียงแสนและลพบุรี

ต่อมาในสมัยที่เมืองสุโขทัยเป็นศูนย์กลางวัฒนธรรมแห่งสำคัญ มีการใช้สำริดในการหล่อพระพุทธรูปและเทวรูปนับพัน ๆ องค์ ซึ่งล้วนมีความประณีตงดงาม แสดงให้เห็นถึงความรู้ความสามารถอย่างสูงทั้งด้านการโลหะกรรมและด้านศิลปะของช่างโลหะในอาณาจักรสุโขทัย



ภาพที่ 4.1 เศียรพระพุทธรูปสมัยสุโขทัย

ถัดมาในสมัยที่พระนครศรีอยุธยาเป็นศูนย์กลางวัฒนธรรมแห่งสำคัญนั้น มีหลักฐานเอกสารกล่าวถึงตลาดค้าขายทอง มีช่างทำทองรูปพรรณอยู่ทั่วไปในเกาะเมืองอยุธยา ทั้งยังมีย่านหัตถกรรมต่าง ๆ เช่น ย่านป่าทองขายทองคำเปลว ทอง นาก เงิน ตลาดถนนตีทอง ย่านบ้านช่างทำเงิน ย่านวัดกระซังช่างทำพระพุทธรูปด้วยทองคำ นาก เงิน สำริด เป็นต้น อีกทั้งยังมีโบราณวัตถุเป็นหลักฐานยืนยันถึงความรู้ความสามารถของช่างโลหะสมัยนั้นชัดเจน คือพระพุทธรูปและประณีตศิลป์ต่างๆ โดยเฉพาะเครื่องทองที่พบในกรุของพระปรางค์วัดราชบูรณะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่แสดงถึงฝีมือช่างทองชั้นเยี่ยมในสมัยอยุธยา



ภาพที่ 4.2 พระเศียรพระพุทธรูปสำริด พบที่วัดธรรมมิกราช พระนครศรีอยุธยา ขนาดกว้าง 1.40 เมตร สูง 2.00 เมตร การหล่อพระพุทธรูปองค์นี้ให้สมบูรณ์ทั้งองค์ ต้องใช้โลหะทองแดง ดีบุก และตะกั่วจำนวนมาก นับเป็นงานโลหะกรรมที่สะท้อนความสามารถในการหล่อประติมากรรมสำริดขนาดใหญ่ มาก ๆ ของช่างโลหะไทยโบราณเมื่อครั้งพระนครศรีอยุธยาเป็นราชธานีช่วงแรก ๆ หรือก่อนหน้านั้นไม่นานนัก



ภาพที่ 4.3 ส่วนหนึ่งของเครื่องราชูปโภคทำด้วยทองคำ พบในกรุพระปรางค์วัดราชบูรณะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ในสมัยกรุงศรีอยุธยา ยังมีพัฒนาการด้านโลหะผสมมากขึ้น มีการทำตะกั่วบัดกรี ซึ่งเรียกว่า ดีบุกประสม มีการทำโลหะผสมหลายชนิด เช่น นวโลหะ สัตโลหะ และปัญจโลหะ ซึ่งหมายถึงโลหะผสมจากโลหะ 9 ชนิด 7 ชนิด และ 5 ชนิด ตามลำดับ

ตำราการผสมโลหะโบราณได้กล่าวถึงสูตรการทำโลหะผสมทั้ง 3 ชนิด ดังกล่าวไว้ว่า

“.....ผิจะประสมเนาวโลหะ เอาชิน 1 บาท จ้าว 2 บาท เหล็ก 3 บาท บริสุทธิ์ 4 บาท พรอท 5 บาท สังกะสี 6 บาท ทองแดง 7 บาท เงิน 8 บาท ทองคำ 9 บาท ถ้าสัตโลหะ เอาจ้าว 1 บาท เหล็ก 2 บาท พรอท 3 บาท สังกะสี 4 บาท ทองแดง 5 บาท เงิน 6 บาท ทองคำ 7 บาท ปัญจโลหะ เอาเหล็ก 1 บาท พรอท 2 บาท ทองแดง 3 บาท เงิน 4 บาท ทองคำ 5 บาท”

อนึ่ง ในบางท้องถิ่นอาจมีตำราที่แตกต่างกันไป หรือในบางสมัยมีสูตรการผสมโลหะที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเชื่อ หรือข้อจำกัดเรื่องทรัพยากรแร่ที่มีในท้องถิ่น หรืออาจเนื่องจากปัญหาด้านเศรษฐกิจ ดังเช่นในปัจจุบันที่โลหะบางชนิดที่ราคาสูง ถ้าผสมตามสูตรโบราณจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก จึงดัดแปลงโดยเปลี่ยนชนิดของโลหะที่ผสม หรือลดปริมาณส่วนผสมที่มีราคาสูงลงมาบ้าง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงหรือดัดแปลงก็สะท้อนถึงการใช้ความรู้และประสบการณ์ หมายถึงภูมิปัญญา ในการดิ้นรนแก้ไข้ปัญหาของการทำโลหะผสม

โลหะผสมพิเศษ 3 ชนิด คือ นวโลหะ สัตตโลหะ และปัญจโลหะนั้น นิยมใช้เป็นส่วนผสมในการหล่อพระพุทธรูป พระเครื่อง วัตถุมงคล เครื่องรางของขลัง ฯลฯ ทั้งนี้คงเพราะความเชื่อว่าโลหะผสมเหล่านี้เป็นโลหะมงคล มีคุณสมบัติพิเศษในด้านความศักดิ์สิทธิ์

ดาบน้ำผึ้ง หรือดาบเหล็กน้ำผึ้ง อาจเป็นเครื่องเหล็กของไทยที่มีชื่อเสียงตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาเป็นราชธานี ผู้คนล่ำลือในคุณสมบัติที่พิเศษเป็นอย่างยิ่ง โดยกล่าวกันว่าเป็นดาบที่มีความแข็งแกร่ง เนื้อเหล็กเป็นสีปีกแมลงทับ มีความคมกล้า และมีความศักดิ์สิทธิ์ สามารถฟันดาบเหล็กสามัญฆาตสะบั้นและมีอิทธิฤทธิ์ปราบภูตผีได้

เรื่องอำนาจและอิทธิฤทธิ์ของดาบนั้นเป็นความเชื่อในเรื่องไสยศาสตร์ที่พิสูจน์ไม่ได้และคงเป็นเรื่องเล่าสืบต่อกันมา โดยอาจเกิดความคิดมาจากการได้เห็นดาบน้ำผึ้งที่มีความแข็งและคมกล้าจริง ซึ่งการที่ดาบน้ำผึ้งมีคุณสมบัติด้านความแข็ง และคมนั้นคงเกิดมาจากคุณสมบัติของเหล็กเอง ประกอบกับฝีมือและความสามารถของช่างเหล็กมากกว่า

เหล็กน้ำผึ้ง เป็นเหล็กที่ได้มาจากแหล่ง หรือ “บ่อ” แหล่งแร่เหล็ก ที่มีชื่อเรียกในปัจจุบันว่า บ่อพระแสง อำเภอตรอน จังหวัดอุดรธานี สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เคยดำเนินการวิจัยพบว่าแร่จากแหล่งนี้ มีธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบรวมที่ผสมอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ ทังสแตน คาร์บอน โครเมียม นิกเกิล ทองแดง ดีบุก ตะกั่ว โคบอลต์ เซอร์โคเนียม โบรอน อาร์เซนิก ไนโอเบียม โทเทเนียม วาเนเดียม โคลมดินัม แมงกานีส ฯลฯ ซึ่งธาตุหลายชนิดในบรรดาธาตุเหล่านี้ เป็นสิ่งที่ทำให้เหล็กเป็นเหล็กกล้าโดยธรรมชาติ จึงสามารถกล่าวได้ว่าเหล็กน้ำผึ้งเป็นเหล็กกล้าอยู่แล้ว ถ้าช่างมีความรู้ความเข้าใจคุณสมบัตินี้จะสามารถรักษาไว้ไม่ให้สูญเสียไปในการถลุงเหล็ก และตีเหล็กก็จะได้ดาบที่คมกล้าและแข็งแกร่ง

ช่างเหล็กโบราณของไทยสามารถบรรลุความสำเร็จในการผลิตดาบน้ำผึ้งอย่างแน่ชัด จึงปรากฏคำบอกเล่าเกี่ยวกับดาบน้ำผึ้งกระจายไปทั่วประเทศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความรู้ความเข้าใจ และฝีมือที่สูงส่งของช่างเหล็กไทยในอดีตเป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตาม การถลุงแร่โลหะในประเทศก็เสื่อมลงในสมัยอยุธยา ทั้งนี้เนื่องมาจากได้ติดต่อค้าขายกับต่างประเทศ ทำให้หันไปซื้อโลหะจากประเทศต่าง ๆ เพราะสะดวกและอาจราคาถูกกว่าการถลุงโลหะขึ้นเอง นอกจากนี้การศึกสงครามกับประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงก็อาจเป็นสาเหตุให้การถ่ายทอดและการพัฒนาการผลิตโลหะในประเทศขาดตอนและเสื่อมยิ่งขึ้น

ในช่วงต้นของสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ก็ไม่ได้มีการพัฒนาความรู้ในเรื่องการถลุงโลหะขึ้นใช้เอง ทั้งนี้เพราะซื้อโลหะจากต่างประเทศได้สะดวก ในปัจจุบันการทำเครื่องโลหะก็ใช้โลหะที่สั่งซื้อจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

การทำโลหะด้วยกรรมวิธีโบราณในประเทศไทยสมัยปัจจุบัน

งานหัตถกรรมโลหะแบบโบราณของไทยที่สำคัญและยังคงเหลืออยู่ในปัจจุบัน และจัดเป็นหนึ่งในบรรดาภูมิปัญญาไทยที่มีมาตั้งแต่อดีตและยังได้รับการสืบทอดอยู่ในปัจจุบันคือการทำเครื่องทองลงหิน หรือชั้นลงหิน เนื้อโลหะที่เรียกว่า "ทอง" ที่ใช้ทำเครื่องทองลงหินหรือชั้นลงหินนั้น ก็คือโลหะสำริดชนิดที่มีดีบุกผสมในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งทำให้เนื้อสำริดมีสีเหลืองงดงามคล้ายทองคำ

ปัจจุบันนี้ แหล่งผลิตเครื่องทองลงหินหรือชั้นลงหินเหลืออยู่เพียงแห่งเดียวในกรุงเทพมหานคร คือที่ชุมชนบ้านบุ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร งานหัตถกรรมนี้เป็นเอกลักษณ์ประการหนึ่งของชุมชนบ้านบุ ซึ่งสืบทอดการทำหัตถกรรมนี้ต่อมาจากบรรพบุรุษที่อพยพจากกรุงศรีอยุธยา มาตั้งชุมชนบ้านบุขึ้นใหม่ที่กรุงธนบุรี เมื่อครั้งเสียกรุงศรีอยุธยาใน พ.ศ. 2310

ขั้นตอนการทำเครื่องทองลงหินที่บ้านบุ สามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน ซึ่งแม้ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่จำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญ แม่นยำ และความประณีตบรรจง ที่ต้องอาศัยฝีมือของช่างหลายคนดำเนินการในแต่ละขั้นตอนด้วยมือทั้งสิ้น ดังนี้



ภาพที่ 4.4 การหลอมทอง หล่อแผ่นทอง



ภาพที่ 4.5 การตีแผ่นทอง



ภาพที่ 4.6 การตีขึ้นรูป



ภาพที่ 4.7 การลาย



ภาพที่ 4.8 การกลึงตกแต่งผิว



ภาพที่ 4.9 การกรอปาก



ภาพที่ 4.10 การขัดผิวให้เรียบและเป็นมัน

ความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับโลหะ

ผลการศึกษาเรื่องโลหะกรรมสมัยโบราณในดินแดนต่างๆ ทำให้นักวิชาการส่วนใหญ่เห็นพ้องต้องกันว่าการโลหะกรรมนั้น เป็นวิทยาการที่ซับซ้อนมาก ต้องอาศัยความรู้ความสามารถในด้านเทคโนโลยีการใช้ความร้อน (pyrotechnology) ที่สั่งสมมาเป็นเวลานานและพบว่าเป็นเทคโนโลยีที่มักพัฒนาขึ้นในสังคม-วัฒนธรรมที่มีโครงสร้างระดับซับซ้อนแล้ว

การศึกษาค้นคว้าทางโบราณคดีและโบราณโลหวิทยาในหลายภูมิภาคของโลก เช่น แถบเมโสโปเตเมีย และที่ราบสูงอนาโทเลีย ของตะวันออกกลาง แถบลุ่มแม่น้ำไนล์ทางตอนเหนือของทวีป

แอฟริกา แอภยุโรปตอนกลางและแอภทะเลอีเจียนของยุโรป แอบลุ่มแม่น้ำสินธุของอินเดีย และแอบลุ่มแม่น้ำฮวงโหของจีน ล้วนแต่พบหลักฐานแสดงว่าการเริ่มปรากฏโลหะสำริดในดินแดนเหล่านี้ สัมพันธ์กับการเริ่มพัฒนาของชุมชนดั้งเดิมไปสู่ชุมชนใหญ่ที่มีระบบสังคม การเมืองและเศรษฐกิจที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นต้นเค้าที่พัฒนาต่อมาไปเป็นสังคมระดับรัฐในสมัยโบราณ ทั้งสิ้น

ในกรณีของประเทศไทยนั้น แม้ว่าจะยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนว่าพัฒนาการด้านโลหกรรมมีผลโดยตรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสังคม-วัฒนธรรมขนาดใหญ่อย่างฉับพลันทันทีหรือไม่ แต่ก็เห็นได้ว่าหลังจากเริ่มรู้จักใช้โลหะแล้วความนิยมใช้โลหะได้เกิดเพิ่มมากขึ้นจนก่อให้เกิดแหล่งผลิตโลหะระดับอุตสาหกรรมที่กระจายผลผลิตออกไปตามเครือข่ายการติดต่อแลกเปลี่ยนค้าขายข้ามภูมิภาคที่พัฒนา นอกจากนี้ ยังพบชัดเจนว่าชุมชนโบราณขนาดใหญ่ ๆ ที่มีคูและคันดินล้อมรอบในประเทศไทยสมัยหัวเลี้ยวหัวต่อประวัติศาสตร์และยุคประวัติศาสตร์เริ่มแรก ที่มักเรียกกันว่าเมืองโบราณหรือเมืองโบราณสมัยทวารวดีนั้น ล้วนปรากฏขึ้นมาในช่วงหลังจากมีการเริ่มใช้โลหะเป็นวัสดุหลักในการทำเครื่องมือเครื่องใช้แล้วทั้งสิ้น จึงเป็นไปได้ว่าการเริ่มใช้และผลิตโลหะในอดีตของประเทศไทยก็คงมีผลนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงทางสังคม-วัฒนธรรมด้วยเช่นเดียวกับในดินแดนอื่น ๆ ของโลก

จึงอาจกล่าวได้ว่าผลของการศึกษาทางโบราณโลหวิทยานอกจากจะทำให้เราเข้าใจเรื่องภูมิปัญญาที่ก้าวหน้าของมนุษย์ในสมัยอดีตเมื่อนับพัน ๆ ปีแล้ว ยังชี้ให้เห็นว่า การทำและใช้โลหะนับเป็นพัฒนาการทางเทคโนโลยีที่สำคัญซึ่งมีผลกระทบต่อสังคม-วัฒนธรรมของมนุษย์ทั่วโลกเป็นอย่างมาก และจัดเป็นพัฒนาการที่ยิ่งใหญ่ประการหนึ่งในประวัติศาสตร์ของมนุษยชาติ ทั้งนี้โดยจัดเป็นพัฒนาการสำคัญที่เป็นรองก็เพียงแต่พัฒนาการด้านการใช้ไฟและการเกษตรกรรมที่เกิดขึ้นมาแล้ว ก่อนหน้าการใช้โลหะ

นอกจากนี้ การศึกษาทางโบราณคดียังชี้ให้เห็นว่า นับตั้งแต่มนุษย์เริ่มรู้จักใช้โลหะแล้ว ก็เริ่มนำตนเข้าไปผูกพันและพึ่งพิงโลหะมากขึ้นเรื่อย ๆ โลหะจึงกลายเป็นวัสดุที่มีความสำคัญต่อสังคมและวัฒนธรรมของมนุษย์ในหลาย ๆ ด้านมาโดยตลอดในสมัยอดีต แม้กระทั่งในปัจจุบัน มนุษย์ก็ยังคงพึ่งพิงโลหะเป็นอย่างมากจนคาดคะเนได้ว่า โลหะจะยังคงมีความสำคัญต่อมนุษย์ต่อไปในอนาคตอีกยาวนาน

เอกสารอ้างอิง

- ชิน อยู่ดี, ศาสตราจารย์, 2515, วัฒนธรรมบ้านเชียง. กรุงเทพฯ : กรมศิลปากร
- พิสิฐ เจริญวงศ์, 2530, มรดกวัฒนธรรมบ้านเชียง. กรุงเทพฯ กรมศิลปากร
- Bayard, Donn T., 1970, "Excavation at Non Nok Tha, Northeastern Thailand, 1968, : An Interim Report", Asian Perspectives XIII : 109-143.
- Bayard, Donn T., 1971, Non Nok Tha : The 1968 Excavation, Procedure, Stratigraphy, and a Summary of Evidence, University of Otago : Studies in Prehistoric Anthropology 4.
- Bayard, Donn T., 1972, "Early Thai Bronze Analysis and New Dates", Science 176 : 1411-1412
- Bayard, Donn T., 1977, "Phu-Wiang Pottery and the Prehistory of Northeastern Thailand" in Modern Quaternary Research in Southeast Asia Vol.3, Pp. 57-102.
- Bayard, Donn T., 1979, "The Chronology of Prehistoric Metallurgy in Northeast Thailand : Silabhum or Samrddhabhum?" in ed. R.B. Smith and W. Watson, Early South – East Asia, London : Oxford University Press, Pp. 15-32.
- Bennett, Anna, 1982, Iron Artifacts from Thailand, Unpublished BSc. Report, Institute of Archaeology, University of London.
- Bennett, Anna, 1988, Copper Metallurgy in Central Thailand, Unpublished Ph.D Thesis, Institute of Archaeology, University of London.
- Cambel, H., 1974, "The Southeast Anatolian Prehistoric Project and Its Significance for Culture History", Belleten 38: 375-377
- Charles, J. A., 1967, "Early Arsenical Bronze – A Metallurgical View", American Journal of Archaeology 71: 21-26.
- Charoenwongsa, Pisit, 1983, "Southeast Asian Bronze Metallurgy : A Summary of Data and Thoughts", The SPAFA Training Course in Conservation of Bronze Objects, Bangkok, National Museum.
- Coedès, G., 1966, The Making of South – East Asia, Palo Alto : University of California Press.

- France-Lanord, A. and H. de Contenson, 1973, "Une Pendelogue en Cuivre Natif de Ramad", *Paléorient* 1: 109-115
- Glover, Ian C., 1989, *Early Trade Between India and Southeast Asia : A Link in the Development of A World Trading System*, University of Hull Centre for South-East Asian Studies, Occasional Paper No.16.
- Gorman, C. F. and P. Charoenwongsa, 1976, "Ban Chian : A Mosaic of Impressions from the First Two Years", *Expedition* 18 (4) : 14-26
- Maddin, R. and Y.Q. Weng, 1984, "The Analysis of Bronze Wires", in eds. C.F.W. Higham and A. Kijagam, *Prehistoric investigations in Northeast Thailand*, BAR Series 231(1):112-16
- Muhly, James D., 1981, "Summary of the Conference on the Origin of Agriculture and Technology – West or East Asia", *Technology and Culture* 22(1): 124-148
- Munchajev, K. M. and N. I. Merpert, 1977, "The Earliest Mesopotamian Metallurgy", *Sovetskaja Arkheologica* 3: 154-163(in Russian with French Summary)
- Natapintu, Surapol, 1988, "Current Research on Ancient Copper-Base Metallurgy in Thailand" in *Prehistoric Studies The Stone and Metal Ages in Thailand*, eds. P. Charoenwongsa and B. Bronson, Bangkok : The Thai Antiquity Working Group, pp.107-124.
- Natapintu, Surapol, 1991, "Archaeometallurgical Studies in the Khao Wong Prachan Valley, Central Thailand", in *Indo-Pacific Prehistory 1990 Volume 2 (IPPA Bulletin No.11)*, Pp. 153-159
- Pigott Vincent C., 1985, "Pre-Industrial Mineral Exploitation and Metal Production in Thailand", *MASCA Journal* 3(5) : 170-174.
- Pigott, V.C. and A. R. Marder, 1984, "Prehistoric Iron in Southeast Asia : New Evidence from Northeast Thailand", in ed. D. T. Bayard, *Southeast Asian Archaeology at the XV Pacific Science Congress*, University of Otago Studies in Prehistoric Anthropology Vol.16, pp. 278-301.
- Pigott, Vincent C. and Gerd Weisgerber, 1998, "Mining Archaeology in Geological Context. The Prehistoric Copper Mining Complex at Phu Lon, Nong Khai Province, Northeast Thailand", in eds. T. Rehren, A. Hauptmann and J. D.

- Muhly, Metallurgica Antiqua. In Honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin, Der Anschnitt, Beiheft 8, Deutschen Bergbau-Museum, Bochum
- Pigott, Vincent C. and S. Natapintu, 1988, "Archaeological Investigations into Prehistoric Copper Production : The Thailand Archaeometallurgy Project 1984-86", In R. Maddin (ed), The Beginnings of the Use of Metals and Alloys, Cambridge, Mass : MIT Press, pp.156-162.
- Pittioni, R., 1970, "Spectro-analytical Research on Bronze from Northeastern Thailand, (translated by K. Hutterer), Asian Perspectives XIII : 158 – 161
- Rajpitak, W., 1983, The Development of Copper Alloy Metallurgy in Thailand in the Pre-Buddhist Period, with Special Reference to High-Tin Bronzes, Unpublished Ph.D. Thesis, Univesity of London
- Rajpitak, W. and N.J. Seeley, 1984, "The Bronze Metallurgy", in (eds.) C.F.W. Higham and A. Kijngam, Prehistoric Investigations in Northeast Thailand, BAR Series 231(1) : 102-12.
- Rostoker, W., V. Pigott and J. Dvorek, 1989, "Direct Reduction to Copper Metal by Oxide-Sulfide Interaction", Archaeomaterials 3: 69-87.
- Selimkhanov, I. R., 1979, "The Chemical Characteristics of Some Metal Finds from Non Nok Tha", in (eds.) R.B. Smith and W. Watson, Early South-East Asia, Oxford : Oxford University Press, PP.33-38.
- Smith, C. S., 1969, "Analysis of the Copper Bead from Alikosh", Appendix II in eds. F. Hole, K. V. Flannery and J. A. Neeley, Prehistory and Human Ecology of the Deh Luran Plain, Memoirs of Museum of Anthropology, University of Michigan No.1, Pp. 427-428
- Smith, C. S., 1973, "Bronze Technology in the East : A Metallurgical Study of Some Early Thai Bronzes, With Some Speculations on the Cultural Transmission of Technology", in (eds.) M.Teich and R.Young, Changing Perspectives in the History of Science : Essays in Honour of Joseph Needham, London : Heineman, pp.21-32.
- Solheim, W. G., 1967, "Southeast Asia and the West", Science 157 : 896-902.
- Solheim, W. G., 1968, "Early Bronze in Northeastern Thailand", Current Anthropology 9(1) : 59-62

- Solheim, W. G., 1970, Northern Thailand, southeast Asia, and World Archaeology, Asian Perspectives XIII : 145-158.
- Stech Wheeler, T. and R. Maddin, 1976, "The Techniques of the Early Thai Metalsmith", Expedition 18 (4) : 38-47
- Stech, T. and R Maddin, 1988, "Reflections on Early Metallurgy in Southeast Asia", (ed.) R.Maddin, The Beginnings of the Use of Metals and Alloys, Cambridge, MIT Press
- White, J., 1982, Ban Chiang : The Discovery of a Lost Bronze Age, University of Pennsylvania, Philadelphia
- White, J., 1986, A Revision of the Chronology of Ban Chiang and its Implications for The Prehistory of Northeast Thailand, Unpublished Ph.D dissertation, University of Pennsylvania.