

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอด้วยรูปภาพและในรูปแบบตารางประกอบคำบรรยาย โดยมีวัตถุประสงค์แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ตอนที่ 2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลของโลหะผสมหลังการหล่อ

ตอนที่ 3 การจัดทำบทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอน รายวิชาวิทยาศาสตร์ (สาระเพิ่มเติม) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในแต่ละตอน มีรายละเอียดดังนี้

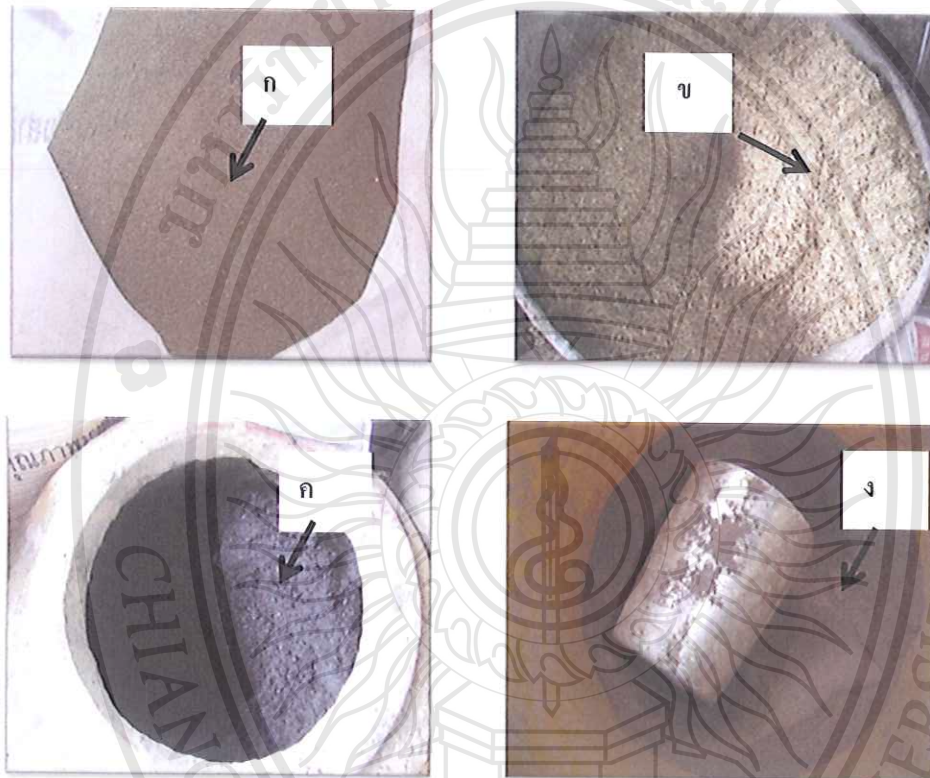
ตอนที่ 1 ศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการที่มีอาชีพ ช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ ของบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ จากผู้ให้สัมภาษณ์ที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับด้านการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ มามากกว่า 20 ปี ขึ้นไป จำนวน 4 คน โดยเป็นการเลือกแบบเจาะจง คือ นายดวงจันทร์ แก้วดวงแสง อายุ 87 ปี นายอินสอน แก้วดวงแสง อายุ 80 ปี นายชัยรัตน์ แก้วดวงแสง อายุ 57 ปี และนายโยธิน แก้วดวงแสง อายุ 54 ปี โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

1. จากการศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและสถานประกอบการจริงข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการใช้แนวคำถามที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ล่วงหน้า มีลักษณะเป็นแบบกึ่งโครงสร้าง (ชาย โพรสิตา, 2550 : 270) พบว่าในกรรมวิธีการผลิตพระพุทธรูปโลหะของช่างสมัยโบราณของไทย

และปัจจุบันนี้มีกรรมวิธีผลิตที่เหมือนกันโดยมีกรรมวิธีการผลิตแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปั้นและการหล่อ มีวัสดุและอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการปั้นหุ่นแกนดินเพื่อทำเป็นแบบพิมพ์ของพระพุทธรูปโลหะ ได้แก่ ดินเหนียวเคลือบ เถ้าเคลือบ ดินนวล ขี้ผึ้งสีแดง ยางชัน มูลวัวและฟืนทำจากไม้เนื้อแข็ง (ดังภาพที่ 4.1)



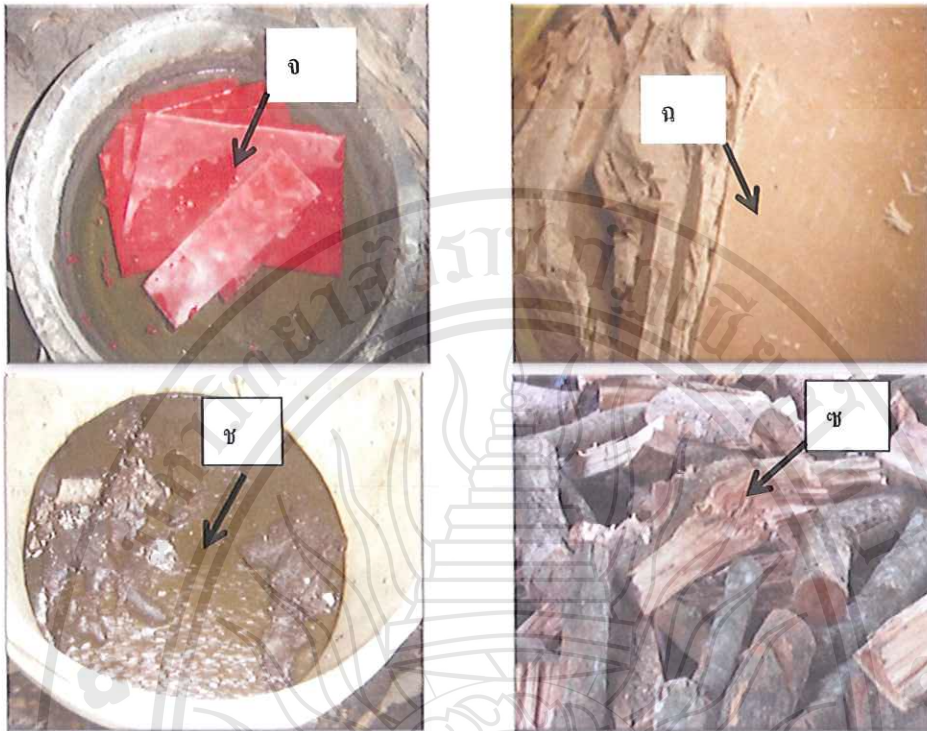
ภาพที่ 4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการปั้นแบบพิมพ์พระพุทธรูป

(ก) ดินเหนียว (ข) เกลบ

(ค) เถ้าเคลือบ (ง) ดินนวล

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2556



ภาพที่ 4.1 (ต่อ) วัตถุดิบที่ใช้ในการปั้นแบบพิมพ์พระพุทธรูป

(จ) ขี้ผึ้ง

(ฉ) ฐานขี้ผึ้งชนิดหนึ่ง

(ช) มูลวัว

(ซ) ฟันจากไม้เนื้อแข็งจากไม้ ลำไย

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2556

1.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการปั้น ได้แก่ ตะไบหยาบมีดเจาะ เหล็กขูด ลวดเหล็ก
แปรงต่างๆ เต้าอั้งโล่หรือเต้าถ่าน (ดังภาพที่ 4.2)

1.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ สำหรับใช้ในการหล่อพระพุทธรูป ได้แก่ เศษโลหะ
จากวัสดุเหลือใช้ เตาและเบ้าหลอมโลหะ ปุ่มสูบลม หรือปุ่มหอยโข่งคีมจอบและถ่านไม้ (ดังภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการปั้นแบบพิมพ์พระพุทธรูปโลหะ

(ก) ตะไบ

(ข) เหล็กปาด

(ค) เหล็กเจาะขนาดต่าง ๆ

(ง) แปรงสีฟัน

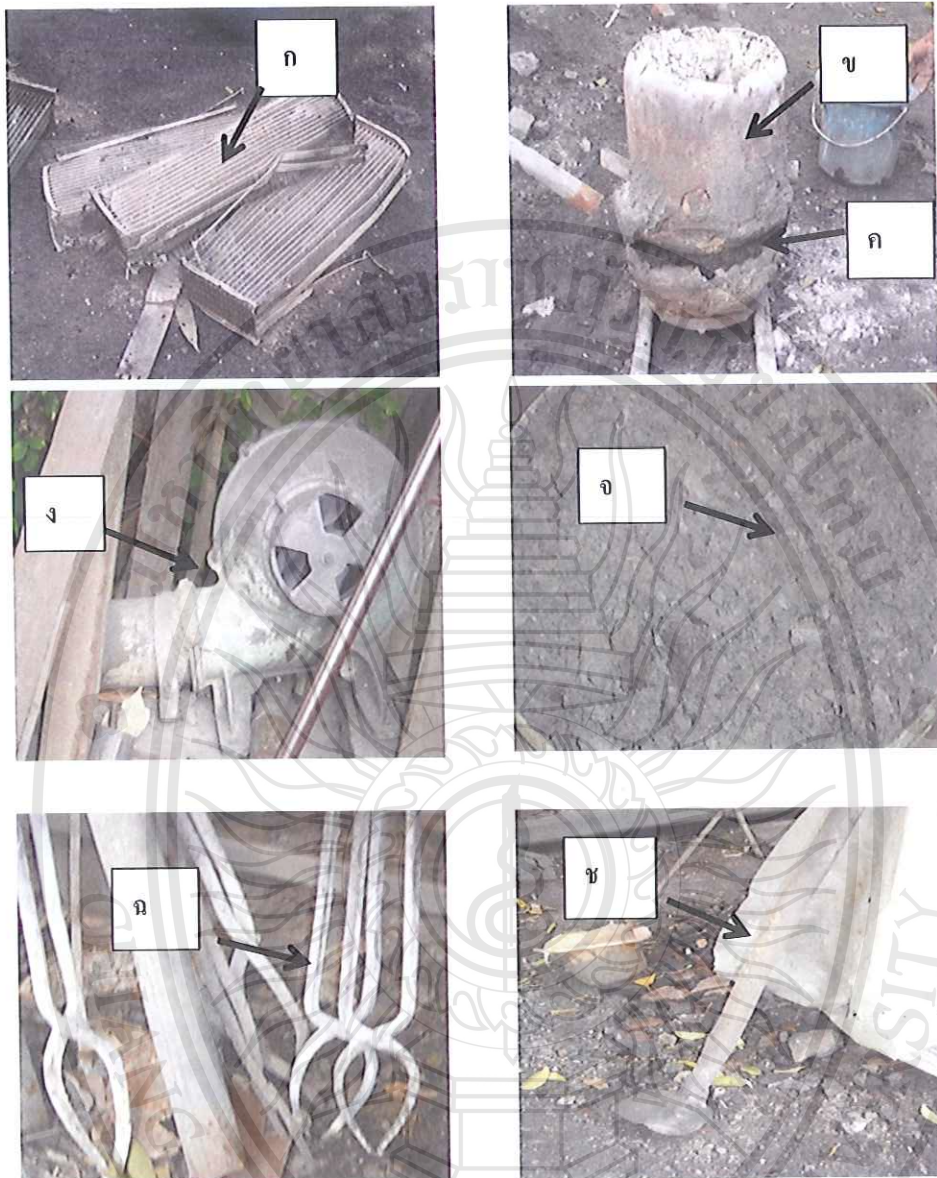
(จ) แปรงขนไนลอน

(ฉ) ตะแกรง

(ช) เหล็กขูด

(ซ) เตาอังโล่ หรือ เตาถ่าน

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2556



ภาพที่ 4.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปโลหะ

- | | |
|------------------|-----------------|
| (ก) เศษโลหะ | (ข) ตัวเตา |
| (ค) เป้าหลอมโลหะ | (ง) ปุ่มหอยโข่ง |
| (จ) ถ่านไม้ | (ฉ) คีม |
| | (ช) จอบ |

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2556

2. ขั้นตอนการปั้นหุ่นแบบพิมพ์พระพุทธรูป ของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมือง เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมดินหยาบไว้สำหรับปั้นหุ่นแกนดิน ซึ่งดินหยาบเตรียมได้จากการนำเอาดินเหนียว ผสมกับเกลบและเถ้าเกลบในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 นำส่วนผสมมาคลุกเคล้าให้เข้ากันและนวดจนดินมีความเหนียว สามารถนำมาปั้นเป็นก้อนได้ (ดังภาพที่ 4.4-4.6)

ขั้นตอนที่ 2 นำดินหยาบปั้นเป็นแบบพิมพ์ องค์พระพุทธรูป เรียกว่า ปั้นหุ่นแกนดิน โดยเริ่มจากปั้นฐานก่อน เมื่อฐานแห้งแล้วจึงปั้นเป็นองค์พระต่อขึ้นไปเรื่อย ๆ แต่งเติมรายละเอียดตามแบบตัวอย่าง โดยหุ่นแกนดินภายในจะกลวง (ดังภาพที่ 4.7)

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อปั้นหุ่นแกนดินเรียบร้อยแล้ว จึงนำดินอ่อน ที่ทำมาจากดินเหนียว ผสมเถ้าเกลบในอัตราส่วน 1 : 2 มาทาทับบาง ๆ บนหุ่นแกนดิน ถ้าเป็นแกนหุ่นดินพระพุทธรูป องค์ใหญ่ก็จะทาทับบนหน้าประมาณ 1 เซนติเมตร เหตุที่ทาทับบด้วยดินอ่อนละเอียดนี้ ก็เพราะว่าในขณะที่เผาหุ่นแกนดิน ด้วยความร้อนที่สูงมาก ดินที่ปั้นไว้ข้างในจะไม่แตกตัวออก เมื่อดินอ่อนที่ทาครอบหุ่นแกนดินแห้งแล้ว ก็จะแตกแต่งโดยใช้ตะไบ (ดังภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.4 การหมักดินเหนียวด้วยน้ำจนดินเหนียวอืดด้วยน้ำ

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2556



ภาพที่ 4.5 การนวดดินหยาบ (ดินเหนียว แกลบและเถ้าแกลบ)

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2556



ภาพที่ 4.6 ลักษณะดินหยาบ หลังจากทีนวดจนได้ที่สามารถปั้นเป็นก้อนได้

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2556

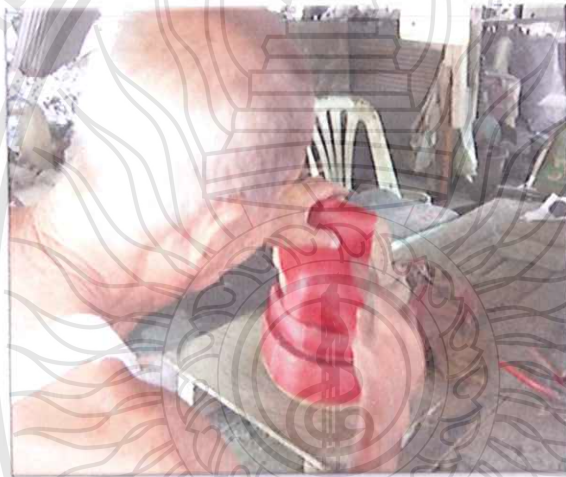


ภาพที่ 4.7 การปั้นฐานของหุ่นแกนดิน เพื่อทำแบบพิมพ์ของพระพุทธรูป
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2556



ภาพที่ 4.8 หุ่นแกนดินองค์พระพุทธรูปที่ทาทับด้วยดินเหนียวและเถ้าแกลบ
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2556

ขั้นตอนที่ 4 การหุ้มขี้ผึ้งหรือการบุขี้ผึ้ง ช่วงจะนำเอาขี้ผึ้งสีแดงผสมชั้นยางไม้ ทำให้ขี้ผึ้งมีความเหนียวไม่กรอบหรือแตกหักง่าย โดยทำเป็นแผ่นแล้วนำมาบุหรือหุ้มเข้ากับหุ่นแกนดิน โดยการนำเอาแผ่นขี้ผึ้งมาลนไฟอ่อน ๆ บริเวณเหนือเตาอังโล่เพื่อให้ขี้ผึ้งอ่อนตัว แล้วนำประกบเข้ากับแกนหุ่นให้ทั่วองค์พระพุทธรูป ชูคแต่งให้เรียบด้วยเหล็กปลายแหลมเล่มเล็ก ๆ ตกแต่งรายละเอียดด้วยการเกลาให้เรียบร้อย การประกบหรือบุขี้ผึ้งนี้ จะใช้ขี้ผึ้งหนาขึ้นตามสัดส่วนถ้าหุ่นแกนดินพระพุทธรูปหน้าตักกว้างไม่เกิน 9 นิ้ว ช่วงจะใช้ขี้ผึ้งที่มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร แต่ถ้าหุ่นพระพุทธรูปหน้าตักกว้างเกิน 9 นิ้ว ก็จะใช้ขี้ผึ้งหนาขึ้นตามสัดส่วน (ดังภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 การบุขี้ผึ้งหรือหุ้มขี้ผึ้ง ให้ทั่วหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 5 กันยายน 2556

ขั้นตอนที่ 5 นำน้ำมูลวัวที่กรองเก็บไว้ และดินนวลมาผสมกับน้ำ แล้วนำทาทั่วหุ่นแกนดินองค์พระพุทธรูป จำนวน 3 รอบ เพื่อยึดขี้ผึ้งกับดินที่หุ้ม แล้วนำเส้นลวดทองแดงมาตอกให้ทั่วแกนหุ่น เพื่อยึดดินข้างในขี้ผึ้งกับดินข้างนอกขี้ผึ้ง และนำดินอ่อนดำซึ่งได้จากดินเหนียวผสมขี้เถ้าเคลือบในอัตราส่วน 2 : 1 มาพอกทับบาง ๆ จำนวน 1 ชั้น และเมื่อแห้งดีแล้ว จึงนำดินหยาบมาพอกทับอีกจำนวน 2 ชั้น การพอกครั้งสุดท้ายให้มิดเส้นลวด (ดังภาพที่ 4.10-4.12)



ภาพที่ 4.10 การทำหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์ ด้วยน้ำมูลวัว
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 10 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.11 การพอกหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์ ทับด้วยดินดำ
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 10 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.12 การพอกหุ่นแกนดินด้วยดินหยาบ จำนวน 2 ชั้น

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 10 กันยายน 2556

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากที่ดินหุ้มองค์พระพุทธรูปแห้งดีแล้ว ช่างปั้นจะเจาะฐาน เพื่อทำเป็นปากจอกไว้เป็นทางระบายให้ขี้ผึ้งไหลออก และเป็นทางหล่อน้ำโลหะ (ดังภาพที่ 4.13-4.14)



ภาพที่ 4.13 การทำปากจอกที่ฐานของหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์

ที่มา : ถ่ายจากสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
เมื่อวันที่ 12 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.14 การวางหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์ภายในเตาชั่วคราวเพื่อเตรียมเผา

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 12 กันยายน 2556

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อเผาหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์สุกดีแล้ว เริ่มลดเชื้อเพลิงให้เหลือความร้อนจากถ่านไฟจะให้ความร้อนที่พอดีสม่ำเสมอ ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิที่เรียกว่า เทอร์โมคัปเปิล (แบบ K) เพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาเผา (ดังภาพที่ 4.15-4.17)



ภาพที่ 4.15 การเผาหุ่นแกนดินในเตาเผาชั่วคราว

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.16 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (แบบ K) เพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตา
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.17 หุ่นปั้นแกนดินหรือแบบพิมพ์องค์พระพุทธรูปที่เผาจนดินสุก
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556

ขั้นตอนที่ 8 หุ่นแกนดินที่เผาสุกได้ที่แล้ว นำมาการกลับหัวเอาฐานองค์พระพุทธรูปขึ้นข้างบนและให้เสียบอยู่ข้างล่าง ขณะเดียวกันช่างหล่อจะทำการหลอมโลหะไปพร้อมกัน ด้วยการเผาโลหะด้วยความร้อนสูงจนหลอมละลายเป็นของเหลว (ดังภาพที่ 4.18-4.22)



ภาพที่ 4.18 การนำหุ่นแกนดินที่เผาจนสุกแล้ว เตรียมสำหรับการหล่อโลหะ
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.19 เป้าหลอมโลหะ โดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.20 ตัวเตาและเบ้าหลอมใช้ในการหลอมโลหะ
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.21 การหลอมโลหะเพื่อใช้ในการงานหล่อพระพุทธรูปต่อไป
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.22 ลักษณะสีของเปลวไฟเป็นสีเขียวแสดงว่าน้ำโลหะได้ที่แล้ว

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556

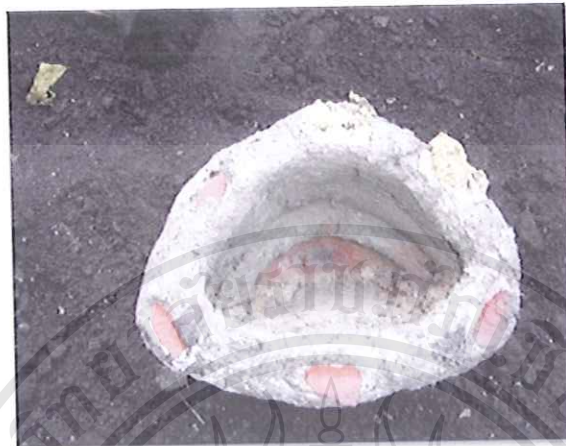
ขั้นตอนที่ 9 เมื่อหลอมโลหะจนได้น้ำโลหะแล้ว จึงนำไปเทลงในปากจอก ขั้นตอนนี้จะทำขณะที่หุ่นแกนดินยังกร้อนอยู่ ช่างจะใช้เวลาประมาณครึ่งชั่วโมงเป็นพิเศษ หลังจากเทน้ำโลหะลงเข้าไปในปากจอกจนครบทุกช่องแล้ว จะทิ้งไว้รอจนกระทั่งหุ่นแกนดินเย็นตัวลง (ดังภาพที่ 4.23-4.24)



ภาพที่ 4.23 การเทน้ำโลหะเข้าทางปากจอกเข้าไปแทนที่ขี้ผึ้ง

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.24 การเทน้ำโลหะลงในปากจอกให้เต็ม ทิ้งไว้ให้เย็นจึงทุบดินทิ้ง
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556

หลังจากนั้นจึงใช้ก้อนทุบเอาดินที่หุ้มตัวองค์พระพุทธรูปโลหะอยู่ออก ก็จะได้รูปลักษณะ
ขององค์พระพุทธรูปโลหะตามที่ช่างได้ออกแบบสร้างไว้ ต่อจากนั้นจึงนำองค์พระพุทธรูปโลหะ
ไปขัดด้วยกระดาษทราย และใช้เครื่องเจียรไฟฟ้าให้เงางาม (ดังภาพที่ 4.25-4.26)



ภาพที่ 4.25 ลักษณะขององค์พระพุทธรูป หลังจากทุบเอาดินออกแล้ว
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.26 การจัดและเจียรองค์พระพุทธรูปด้วยเครื่องขัดทำให้ผิวสุกใส
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริง ณ บ้านเลขที่ 93 ถนนช่างหล่อ อำเภอเมืองเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 18 กันยายน 2556

3. การวิเคราะห์หาองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ที่พบสอดคล้องอยู่ในองค์ความรู้
ภูมิปัญญาท้องถิ่นของการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ บ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมือง
เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ที่พบในการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ
ของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ขั้นตอน	ภูมิปัญญาท้องถิ่น	องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์	หลักการทางวิทยาศาสตร์	สาขา
การหมัก ดินเหนียว ด้วยน้ำ	การหมักดินเหนียว หรือการเติม สารอินทรีย์ลงไป ทำให้ดินเหนียว มีความเหนียว สามารถปั้นขึ้นรูป ได้ง่าย	สารอินทรีย์(organic) สารอนินทรีย์(inorganic) สารเนื้อเดียว (homogeneous) สารเนื้อผสม (heterogeneous)	ดินเหนียว เกิดจากตะกอน ทับถมกันของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่เคโอลิไนต์(kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดย สารอินทรีย์เหล่านี้จะเพิ่ม ความเหนียวให้แก่ดิน	เคมี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ขั้นตอน	ภูมิปัญญาท้องถิ่น	องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์	หลักการทางวิทยาศาสตร์	สาขา
การเตรียมดินหยาบสำหรับงานปั้น	ดินหยาบ เตรียมได้จากการนำดินเหนียว แกลบและเถ้าแกลบ มาผสมกันทำให้ดินเกาะตัวกันดี ลดความเสียหายจากการแตกร้าว	สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เซลลูโลส (cellulose) สารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือซิลิกา (Silica) สารประกอบ (compound) สารเนื้อผสม (heterogeneous)	แกลบและเถ้าแกลบ ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และซิลิกา (Silica) เพิ่มความแข็งแรงและลดการหดตัวของเนื้อดิน	เคมี
		ความแข็งแรง (strength) ความยืดหยุ่น (elasticity)	สารซิลิกา (Silica) จะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อดินและลดการหดตัวของเนื้อดิน	ฟิสิกส์
การนวดดิน	การคลุกเคล้าดินเหนียวให้เป็นเนื้อเดียวกัน ยิ่งนวดมากเนื้อดินจะมีคุณภาพในการปั้นที่ดีมาก	สถานะของสาร การขยายตัวของวัตถุ การจัดเรียงตัวของอนุภาคของของแข็ง	การนวดดินเป็นการไล่ฟองอากาศที่อยู่ในดินออกไปถ้ามีฟองอากาศมาก การเผาจะทำให้ดินขยายตัวมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวได้	เคมี
การทาน้ำมูลวัว	น้ำมูลวัวมียางหรือความเหนียว ทำให้ดินเรียบเนียน และทำให้ดินแห้งเร็ว และมีความแข็งแรงขึ้น	สารอินทรีย์ เซลลูโลส (cellulose)	มูลวัวมีแบคทีเรีย (bacteria) และ โปรโตซัว (Protozoa) ที่สังเคราะห์กรดไขมันจากสารคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ทำให้เกิดเมือก	เคมี
		ความแข็งแรง (strength)	มูลวัวช่วยดูดความชื้นทำให้ดินแห้งเร็ว เพิ่มความแข็งแรง	ฟิสิกส์
การนุหรือหุ้มด้วยขี้ผึ้งผสมชัน	การใช้ขี้ผึ้งผสมกับชันจะทำให้ได้แผ่นขี้ผึ้งที่มีความเหนียวติดได้ง่ายขึ้น	จุดหลอมเหลว (melting point) การละลาย (solubility) สารละลาย (solution) สถานะของสาร (substance)	ขี้ผึ้ง เป็นไขมันอยู่ในสถานะของแข็ง เป็นสารจำพวกน้ำมันดิบ (hydrocarbon) และชันเป็นยางไม้ที่จะเพิ่มความเหนียวให้แก่ดิน	เคมี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ขั้นตอน	ภูมิปัญญาท้องถิ่น	องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์	หลักการทางวิทยาศาสตร์	สาขา
การเผาหุ่น แกนดิน หรือ แบบพิมพ์	เผาหุ่นในเตาชั่วคราว ที่ทำช่องไว้ไล่ควัน ออกมา ใช้ความร้อน ละลายขี้ผึ้งโดยสังเกต ว่าดินสุกได้ที่จะไม่ มีควันออกจากช่อง หรือปล่องที่ทำไว้	จุดหลอมเหลว(melting point) สารเนื้อเดียว (homogeneous) การละลาย(Solubility) การเผาไหม้(combustion) การวัดอุณหภูมิ (thermocouple)	เมื่อนำขี้ผึ้งมาผสมกับชั้น พบว่า มีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น ซึ่งเดิม ขี้ผึ้ง มีจุดหลอมเหลว ที่ 62-64°C แต่เมื่อผสมด้วย ชั้นมีจุดหลอมเหลววัดได้ 319 °C แสดงว่า ชั้น ทำให้ ขี้ผึ้งมีความเหนียวเพิ่มขึ้น	เคมี
การหลอม โลหะ	การนำส่วนผสมที่ เป็นโลหะหลายชนิด มาหลอมด้วยความ ร้อน จนได้ที่ ช่างใช้ วิธีการสังเกตสีของ เปลวไฟ เมื่อถึงจุด หลอมเหลว โลหะ จะหลอมละลายเป็น น้ำโลหะ	จุดเดือด(boiling) จุดหลอมเหลว (melting point) ธาตุทองแดง(copper) ธาตุสังกะสี(zinc) ธาตุดีบุก(sin) ธาตุตะกั่ว(lead) โลหะผสม(alloy) ของแข็ง(solid) ของเหลว(liquid) ก๊าซ(gas) สารเนื้อเดียว (homogeneous) สารละลาย(solution)	โลหะผสมที่ใช้หล่อ พระพุทธรูปมีธาตุหลัก คือ ธาตุทองแดง มีธาตุผสม ได้แก่สังกะสี ดีบุก และ ตะกั่วซึ่งมีส่วนที่ทำให้ ทองแดงมีความแข็งแรงมากขึ้น การหลอมโลหะด้วยเตาเผา ซึ่งประกอบด้วยตัวเตา จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ ออกซิเจนจากภายนอกเข้า ทำปฏิกิริยากับน้ำโลหะ และเบ้าหลอมโลหะ ทำหน้าที่รองรับน้ำโลหะ	เคมี
การหล่อ โลหะ	การเทน้ำโลหะที่ได้ ที่แล้วลงในปากจอก เรียกว่า การหล่อ แบบแทนที่ขี้ผึ้ง หรือสูญเสียขี้ผึ้ง ทั้งไว้ ให้เย็น น้ำโลหะจะ แข็งตัวจึงหุบดินที่ หุ้มอยู่ภายนอกออก	โลหะผสม(alloy) จุดเยือกแข็ง(freezing point) การคายความร้อน	การหล่อแบบสูญเสียขี้ผึ้ง (lost wax) เป็นวิธีการหล่อที่เท น้ำโลหะไปแทนที่ขี้ผึ้งที่ ละลายออกมาทำให้ได้ ชิ้นงานที่มีขนาดที่แม่นยำ และเรียบ หรือเรียกอีกอย่าง ว่าการหล่อแบบอินเวสต์เมนต์ (investment)	เคมี
		ความแข็ง(hardness)	สมบัติเชิงกลของโลหะผสม	ฟิสิกส์

จากตารางที่ 4.1 ผลจากการวิเคราะห์องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ ที่พบในกระบวนการขึ้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ ของบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่นั้น เป็นความรู้ด้านเคมี และด้านฟิสิกส์แต่เป็นความรู้ด้านเคมีมากกว่า

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลของโลหะผสมหลังการหล่อ

การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมหลังการหล่อ ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

1. ตรวจวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเชิงกลของโลหะผสมหลังการหล่อ ด้วยเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ ในห้องปฏิบัติการโดยมีขั้นตอนดังนี้
 - 1.1 ตัดตัวอย่างชิ้นส่วนของโลหะผสม ให้มีความหนา 1 cm. ด้วยเครื่องตัดโลหะ ขัดผิวหน้าชิ้นโลหะด้วยกระดาษทรายน้ำ เบอร์ 2000 และติดเทปคาร์บอนบนสตัป
 - 1.2 นำชิ้นส่วนโลหะผสมวางบนสตัปและนำไปวางบนโฮล์เดอร์
 - 1.3 วิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope ด้วยเทคนิควิธี EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)



ภาพที่ 4.27 ตัวอย่างชิ้นส่วนของโลหะผสมที่ได้หลังการหล่อ มีความหนา 1 cm.

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



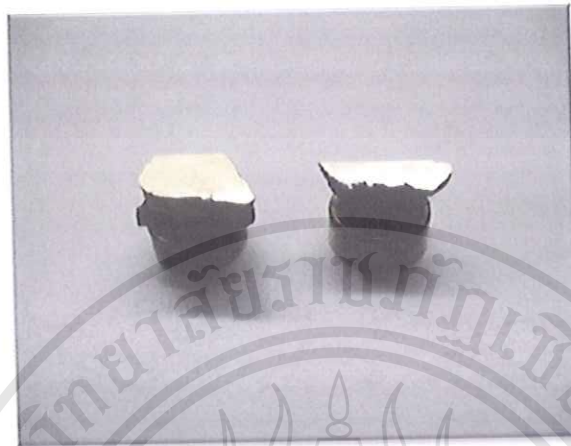
ภาพที่ 4.28 การจัดผิวหน้าโลหะผสมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 2000

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.29 การใช้แท่งคาร์บอนติดบนสตั๊ป

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.30 การวางชิ้นส่วนโลหะผสมที่จะวิเคราะห์หาธาตุลงบนสตั๊ป

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.31 การวางชิ้นส่วนโลหะลงในอุปกรณ์ ที่เรียกว่า โซลเตอร์

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556

จากผลการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีพบว่า ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโลหะผสมที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปโลหะ ของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วยธาตุสำคัญต่าง ๆ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ดีบุก และตะกั่ว มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ห้วงองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปโลหะ
ของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ธาตุ	น้ำหนัก %												ค่าเฉลี่ย ร้อยละ
	โลหะผสมชั้นที่ 1						โลหะผสมชั้นที่ 2						
ทองแดง	84.7	85.9	88.8	84.1	89.4	87.8	91.2	90.1	88.8	87.9	86.9	86.2	87.7
สังกะสี	7.2	6.4	5.5	8.7	3.5	4.3	4.6	4.6	5.3	7.0	6.2	7.1	5.9
ดีบุก	5.5	6.9	5.7	4.7	6.0	5.4	3.5	4.4	3.3	4.4	5.3	5.1	5.0
ตะกั่ว	2.6	0.8	-	2.6	1.2	2.4	0.7	0.9	2.6	0.71	1.6	1.5	1.6

ที่มา : ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมหลัง ที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ จากโลหะตัวอย่างจำนวน 2 ชิ้นส่วน ทำการทดสอบชิ้นส่วน ๆ ละ 6 บริเวณ พบว่าโลหะที่ใช้ผลิตพระพุทธรูปเป็นโลหะผสมที่เกิดจากการหลอมเป็นเนื้อเดียวประกอบด้วยโลหะ จำนวน 4 ชนิดคือ ทองแดง สังกะสี ดีบุกและตะกั่ว โดยมีโลหะที่เป็นธาตุหลัก คือทองแดง มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 87.7 และมีโลหะที่เป็นธาตุผสม ได้แก่ ธาตุสังกะสี และธาตุดีบุก โดยมีธาตุสังกะสีและดีบุก ในปริมาณสัดส่วนใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 5.9 และ 5.0 ตามลำดับ และธาตุตะกั่วมีปริมาณน้อยที่สุด คือร้อยละ 1.6

2. ผู้วิจัย ได้นำตัวอย่างโลหะผสมหลังการหล่อ จากโรงหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 500 g. นำไปทดสอบหาค่าความแข็งของโลหะในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือวัดความแข็ง Vickers Macro hardness Tester รุ่น BROOKS Model : MAT 24 ด้วยวิธีการวัดความแข็งแบบมหภาค Load 30 kgf. โดยใช้โปรแกรม Image J ช่วยวัดค่า d เวลาที่ใช้กด 15 วินาที โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 นำตัวอย่างโลหะผสมที่ใช้เป็นวัสดุในการหล่อพระพุทธรูปโลหะจากสถานที่ประกอบการ บ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ มาจำนวน 200 g.

2.2 จัดผิวตัวอย่างชิ้นโลหะผสมให้ได้ระนาบด้วยกระดาษทรายน้ำ เบอร์ 200

2.3 นำชิ้นโลหะผสมใส่แท่นวัดรอยกด



ภาพที่ 4.32 ตัวอย่างชิ้นส่วนโลหะผสมที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าความแข็ง
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.33 การวางชิ้นส่วนโลหะบนเครื่องมือวัดความแข็ง
ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556



ภาพที่ 4.34 รอยกดจากเครื่องวัดความแข็งของโลหะผสม

ที่มา : ถ่ายสถานที่จริงภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2556

ผลการการวิเคราะห์หาสมบัติเชิงกล วัดค่าความแข็งของโลหะผสมหลังการหล่อของ
บ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ มีผลปรากฏดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล (ค่าความแข็ง) ของโลหะผสมหลังการหล่อของบ้านช่างหล่อ
ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ครั้งที่	ค่า d1 (μm)	ค่า d2 (μm)	ค่า HV ₃₀	หมายเหตุ
1	879.86	899.69	70	ใช้โปรแกรม Image J ช่วยวัดค่า d
2	892.76	883.85	70	
3	887.81	875.47	72	
4	954.65	926.25	62	
5	864.82	868.48	74	
ค่าเฉลี่ย			70	

ที่มา : ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความแข็ง (HV) ของโลหะผสมหลังการหล่อ บ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยวิธีการวัดค่าความแข็งแบบมหภาคใช้ภาระที่กระทำ 30 kgf. ด้วยโปรแกรม Image J เวลาที่ใช้กด 15 วินาที ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของโลหะผสมที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปโลหะ มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 70 มีความแข็งแรงอยู่ที่ระดับปานกลาง

ตอนที่ 3 การจัดทำบทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ (สาระเพิ่มเติม) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

ข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาองค์ความรู้มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ และการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลของโลหะผสมได้นำมาจัดทำเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และตรวจสอบหาประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินประสิทธิภาพ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
	1	2	3				
ด้านเนื้อหา	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์							
2. การแบ่งเนื้อหามีความเหมาะสม	5	4	4	13	4.33	0.58	มาก
3. การจัดลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา มีความเหมาะสม	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
4. ความถูกต้องของเนื้อหาตามหลักวิชาการ	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
5. ความชัดเจนของการอธิบายเนื้อหา	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
6. เนื้อหามีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับ ความรู้ของผู้เรียน	3	4	5	12	4.00	1.00	มาก
7. ภาษาที่ใช้มีความถูกต้องเหมาะสม	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
8. ความสอดคล้องระหว่างภาพประกอบกับเนื้อหา	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
9. แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
10. เนื้อหาบทเรียนมีความน่าสนใจ	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
รวม	42	44	48	134	44.67	3.06	
เฉลี่ย	4.2	4.4	4.8	13.40	4.47	0.31	มาก

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

การประเมินประสิทธิภาพ คอมพิวเตอร์ช่วยสอน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
	1	2	3				
ด้านเทคนิคการผลิต							
1. การวางรูปแบบของหน้าจามีความเหมาะสม	3	4	5	12	4.00	1.00	มาก
2. ขนาดและสี ตัวอักษรมีความเหมาะสม	3	3	4	10	3.33	0.58	ปานกลาง
3. สีของพื้นหลังมีความเหมาะสม	3	4	3	10	3.33	0.58	ปานกลาง
4. รูปที่ใช้ประกอบมีความเหมาะสม	4	3	4	11	3.67	0.58	มาก
5. การจัดวางตำแหน่งปุ่มเชื่อมโยงมีความเหมาะสม	4	4	4	12	4.00	0.00	มาก
6. การเชื่อมโยงไปยังหน้าอื่นมีความเหมาะสม	4	3	4	11	3.67	0.58	มาก
7. การกระตุ้นและการโต้ตอบกับผู้เรียน	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
8. ความสะดวกและง่ายต่อการติดตั้งโปรแกรม	4	4	3	11	3.67	0.58	มาก
รวม	29	29	32	90	33.75	1.73	
เฉลี่ย	3.63	3.63	4.0	11.25	4.22	0.21	มาก
เฉลี่ย 2 ด้าน (ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิต)					4.35	0.45	มาก

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการหาประสิทธิภาพเชิงเหตุผลของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทั้งสองด้านคือ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิต โดยการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า คะแนนเฉลี่ย การประเมินหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับมาก มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 และด้านเทคนิคการผลิต อยู่ในระดับมากมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.21 และเมื่อพิจารณานำมาหาค่าคะแนนเฉลี่ยทั้งสองด้านจะเท่ากับ 4.35 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 ซึ่งมีความหมายที่แสดงว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การปั้นและการหล่อพระพุทธรูปโลหะอยู่ในระดับมากและผู้วิจัยได้นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้ กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง พบว่าคะแนนทดสอบระหว่างเรียนและหลังเรียนของนักเรียน E_1/E_2 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียน (E_1) และแบบทดสอบหลังเรียน (E_2)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน E_1 / E_2
หน่วยที่ 1 เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ	88.66 / 87.33
หน่วยที่ 2 เรื่อง กรรมวิธีการผลิตพระพุทธรูปโลหะ	90.67 / 88.33
หน่วยที่ 3 เรื่อง องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์	84.66 / 81.33
ค่าเฉลี่ยรวม	87.99 / 85.66

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นทั้ง 3 หน่วยการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 ที่ตั้งไว้คือมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยรวมเท่ากับ 87.99/85.66 ถ้าพิจารณารายหน่วยจากมากไปหาน้อยพบว่าหน่วยที่ 2 เรื่องกรรมวิธีการผลิตพระพุทธรูปโลหะมีค่าเฉลี่ยร้อยละสูงสุด คือ 90.67/88.33 รองลงมาคือ หน่วยที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปั้นและหล่อพระพุทธรูปมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 88.66/87.33 และน้อยที่สุด คือหน่วยที่ 3 องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 84.66/81.33 ตามลำดับสรุปความความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ

ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อ CAI	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านการออกแบบและเนื้อหา			
1. หน้าจอสวยงามมีความเหมาะสมอ่านง่าย	4.80	0.40	เห็นด้วยมากที่สุด
2. ขนาดและสี ของตัวอักษร มีความเหมาะสมอ่านง่าย	4.73	0.52	เห็นด้วยมากที่สุด
3. การจัดวางปุ่มเชื่อมโยงมีความเหมาะสม	4.70	0.53	เห็นด้วยมากที่สุด
4. การเชื่อมโยงไปยังหน้าอื่นมีความเหมาะสม	4.67	0.54	เห็นด้วยมากที่สุด
5. เนื้อหาชัดเจนเข้าใจง่าย	4.53	0.68	เห็นด้วยมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อ CAI	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
6. ความยาวของเนื้อหาแต่ละบทเรียนมีความเหมาะสม	4.37	0.56	เห็นด้วยมาก
ค่าเฉลี่ย	4.63	0.16	เห็นด้วยมากที่สุด
ด้านความพึงพอใจในบทเรียน			
1. บทเรียนมีความน่าสนใจ ช่วยกระตุ้นให้อยากเรียนรู้	4.63	0.61	เห็นด้วยมากที่สุด
2. ความสะดวกในการใช้งานและการติดตั้งโปรแกรม	4.57	0.63	เห็นด้วยมากที่สุด
3. สามารถทบทวนความรู้ได้ด้วยตนเอง	4.57	0.56	เห็นด้วยมากที่สุด
4. ทำให้เข้าใจบทเรียนได้ง่ายขึ้น	4.53	0.62	เห็นด้วยมากที่สุด
5. ทำให้รู้ผลคำตอบได้ทันที	4.50	0.63	เห็นด้วยมาก
6. ความพึงพอใจในภาพรวม	4.63	0.61	เห็นด้วยมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	4.57	0.52	เห็นด้วยมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.60	0.34	เห็นด้วยมากที่สุด

จากตารางที่ 4.6 แสดงความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการเรียนผ่านบทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การปั้นพระพุทธรูปและการหล่อพระพุทธรูปโลหะ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อของทั้งสองด้าน พบว่า ด้านการออกแบบและเนื้อหา คือน้ำจอสวยงามมีความเหมาะสม อ่านง่าย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 4.80 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.40 และความยาวของเนื้อหาแต่ละบทเรียนมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 4.37 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 เมื่อพิจารณาโดยรวมความคิดเห็นของนักเรียนต่อการเรียนผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในด้านการออกแบบและเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.63 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.16 อยู่ในระดับมีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด และด้านความพึงพอใจในบทเรียนพบว่า บทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีความน่าสนใจ ช่วยกระตุ้นให้อยากเรียนรู้ และความพึงพอใจในภาพรวม มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากัน คือ 4.63 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 ทำให้รู้ผลคำตอบได้ทันที มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 4.50 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 และเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว พบว่าความคิดเห็นของนักเรียนต่อการเรียนผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในด้านความพึงพอใจในบทเรียนมีค่าเฉลี่ย คือ 4.57 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.52 อยู่ในระดับมีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด และเมื่อพิจารณาความคิดเห็นของนักเรียนผ่านบทเรียน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั้งสองด้านคือ ด้านการออกแบบและเนื้อหาและความพึงพอใจในบทเรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ย คือ 4.60 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.34 อยู่ระดับมีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด

