

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาองค์ความรู้มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ในครั้งนี้ โดยมีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ ผู้ประกอบการเกี่ยวกับการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ จำนวน 4 ราย ของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง 2) เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและหาสมบัติเชิงกลของโลหะผสมหลังการหล่อโดยใช้ตัวอย่างโลหะผสมที่ใช้ในการหล่อพระพุทธรูปของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสม คือเครื่องสแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) ด้วยเทคนิค EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) และเครื่องวัดความแข็ง Vickers Macro hardness Tester รุ่น BROOKS Model : MAT 24 ด้วยวิธีการวัดแบบมหภาค Load 30 kgf. โดยใช้โปรแกรม Image J และ 3) เพื่อจัดทำบทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอนใช้เพื่อประกอบการสอน รายวิชา วิทยาศาสตร์(สาระเพิ่มเติม) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 ของโรงเรียนชุมชนเทศบาล วัดศรีดอนไชย จำนวนนักเรียน 30 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การปั้นพระพุทธรูปและการหล่อพระพุทธรูปโลหะ ประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียนรู้ คือ หน่วยที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ หน่วยที่ 2 กรรมวิธีการผลิตพระพุทธรูปโลหะ และหน่วยที่ 3 องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์และแบบสอบถามความคิดเห็นของนักเรียน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโลหะผสมด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาเรียบเรียงให้ถูกต้องเหมาะสมแล้วนำไปจัดทำเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เมื่อจัดทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตรวจสอบหาประสิทธิภาพและผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วจึงนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างและจัดให้มีการทดสอบระหว่างเรียนและทดสอบหลังเรียนจบบทเรียน มีการสอบถามความคิดเห็นของผู้เรียนด้วยแบบสอบถาม และเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประเมินหาค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัย เรื่องการศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ได้ดำเนินการมาตามขั้นตอนสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การศึกษาองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ บ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่พบว่า องค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะ บ้านช่างหล่อตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ นั้นประกอบด้วยความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ด้านเคมีและด้านฟิสิกส์ โดยเป็นความรู้ด้านเคมีมากกว่า

2. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมหลังการหล่อจากโรงหล่อ บ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่จากผลวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมพบว่าประกอบด้วย ธาตุทองแดง เป็นธาตุหลัก และมีธาตุสังกะสีดีบุก และตะกั่ว เป็นธาตุผสมซึ่งธาตุผสมส่งผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลของโลหะมีความเหมาะสมในด้านคุณภาพและต้นทุนในการผลิตและจากการวิเคราะห์สมบัติทางเชิงกล ด้านความแข็งของโลหะผสมที่ใช้หล่อพระพุทธรูป ของบ้านช่างหล่อตำบลห้วยยาอำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ วัดค่าความแข็งได้เท่ากับ 70 ซึ่งเป็นความแข็งที่ระดับปานกลาง และเป็นระดับที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

3. ผลการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การปั้นพระพุทธรูป และการหล่อพระพุทธรูปโลหะ โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก และเมื่อนำไปทดลองใช้กับนักเรียน พบว่า มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 87.99/85.66 จากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 80/80 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์

ที่กำหนดและความคิดเห็นของนักเรียนต่อการเรียนผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทั้งด้านการออกแบบและเนื้อหาเกี่ยวกับด้านความพึงพอใจในบทเรียน อยู่ในระดับมีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด

อภิปรายผล

การวิจัย เรื่อง การศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของการปั้นและหล่อ พระพุทธรูปโลหะบ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่สามารถ อภิปรายผลการวิจัย แบ่งเป็น 3 ตอนมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อ พระพุทธรูปโลหะ

ผลการศึกษาผู้วิจัยพบว่าองค์ความรู้ในมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมการปั้นและหล่อ พระพุทธรูปโลหะ บ้านช่างหล่อ ตำบลห้วยยา อำเภอมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่สามารถ จำแนกองค์ความรู้ออกเป็นสองด้าน ได้แก่ความรู้ด้านเคมีและด้านฟิสิกส์ แต่เป็นความรู้ด้านเคมี มากกว่า ทั้งนี้เพราะว่ากรรมวิธีการผลิตมีความเกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุในธรรมชาติสร้างผลงานเป็น ส่วนใหญ่ และศึกษาถึงการนำวัสดุต่าง ๆ ไปแก้ปัญหาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จนส่งผลให้สมบัติ ของทางเคมีและสมบัติเชิงกลของสารเปลี่ยนแปลงไปโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ขั้นตอนการปั้นแบบพิมพ์ พบองค์ความรู้ประกอบด้วย

1.1 ความรู้ด้านเคมี เรื่อง สารและสมบัติของสารสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารประกอบสารเนื้อผสม สารเนื้อเดียว

1.2 ความรู้ด้านฟิสิกส์ เรื่องอุณหภูมิ สี ความเหนียว และความแข็งแกร่งการใช้ดินเหนียวในงานปั้น เนื่องจากเป็นดินที่มีความเหนียว ดังที่ ปรีดา พิมพ์ขาวจำ (2532) ได้กล่าวไว้ว่า ดินเหนียว เกิดจากตะกอนทับถมกันของสารอินทรีย์ และประกอบไปด้วยแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นส่วนใหญ่และเมื่อนำมาหมักน้ำ จะมีความเหนียวมากขึ้น ปั้นขึ้นรูปได้ง่ายแต่มีข้อเสีย คือ เมื่อแห้งจะหดตัวและแตกเสียหายได้ง่าย ช่างปั้นบ้านช่างหล่อจึงนิยมเติมเกลบและเถ้าเกลบ เพื่อลดการหดตัวของดิน ซึ่งสามารถอธิบายด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ได้ดังนี้ เนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของเกลบจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุประสานทำให้เนื้อดินมีความแข็งแรงขึ้น และลดการหดตัวของเนื้อดินเหนียวทำนองเดียวกัน จีรพันธ์ สมประสงค์ (2535) ได้กล่าวไว้ว่าระยะเวลาในการหมักดินนาน จะยิ่งเพิ่มความเหนียวของ เนื้อดินที่หมักให้มากขึ้น ถ้าดินมีความเหนียวน้อยดินจะไม่เกาะตัว ยากต่อการปั้นนอกจากนี้ การนวดดินเป็นการคลุกเคล้าให้ดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ป้องกันการเป็นก้อนหรือเป็นไตในเนื้อดิน

และป้องกันไม่ให้เนื้อดินเกิดฟองอากาศถ้ามีฟองอากาศมากจะทำให้เวลาเผาจะเกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากโพรงอากาศเมื่อได้รับความร้อนและจะมีการขยายตัว ทำให้แตกร้าวเสียหายได้และพรพิรุณกลั่นมาลี (2532) ได้กล่าวไว้ว่าการเพิ่มสารอินทรีย์ลงไปหรือใช้วิธีหมักจะทำให้ดินเกิดความเหนียวขึ้นได้สอดคล้องกับเวอาแซ เวหามะ และภานุ คณะนง (2552) ได้กล่าวไว้ว่า แกลบและเถ้าแกลบ ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน และซิลิกอนไดออกไซด์ หรือซิลิกา ที่จะเพิ่มความแข็งแรงและลดการหดตัวของเนื้อดิน โดยดินเหนียวเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อแห้งก็จะมีอาการหดตัว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวเสียหายได้

2. ขั้นตอนการบู้ขี้ผึ้งหรือหุ้มขี้ผึ้งพองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

2.1 ความรู้ด้านเคมี เรื่อง สาร สถานะของสาร สารละลาย จุดหลอมเหลว

2.2 ความรู้ด้านฟิสิกส์เรื่อง ความเหนียว

จากข้อมูลการสัมภาษณ์นายชัยรัตน์ แก้วดวงแสง ได้อธิบายขั้นตอนที่ต่อจากการปั้นไว้ว่าหลังจากที่ช่างปั้นหุ่นแกนดินหรือแบบพิมพ์เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหุ้มขี้ผึ้งและการตกแต่งลงรายละเอียดตามที่ต้องการ ด้วยขี้ผึ้งผสมชั้น เพื่อเพิ่มความเหนียวให้แก่ขี้ผึ้งไม่ให้แตกหักง่าย ขั้นตอนนี้ถือว่าสำคัญเพราะต้องทำเป็นแบบพิมพ์สำหรับงานหล่อ อธิบายด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้ ชัน เป็นยางไม้เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ มีความเหนียวไม่ตกตะกอนและไม่ตกผลึก เมื่อนำขี้ผึ้งมาผสมกับชันโดยหลอมละลายให้เป็นสารเนื้อเดียวจะเป็นการเพิ่มความเหนียว ทนทาน มีความเหนียวสูง คิดได้ดีและมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น การเผาด้วยความร้อนจะทำให้ขี้ผึ้งที่หุ้มแบบพิมพ์ละลายออกมา ทำให้เกิดเป็นช่องทางที่จะเป็นทางเดินของน้ำโลหะอุณหภูมิมีผลต่อการหลอมละลายของขี้ผึ้ง ต้องใช้ความร้อนที่สม่ำเสมอ ดังนั้น การเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนสูงและนานจะทำให้กระบวนการหลอมละลายของขี้ผึ้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงมักใช้เชื้อเพลิงจากฟืนไม้เนื้อแข็งจะเป็นการประหยัดพลังงาน และทำให้การเผาหุ่นแกนดินสุกได้ที่พร้อมที่จะนำไปหล่อต่อไป

3. ขั้นตอนการหลอมโลหะพองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

3.1 ความรู้ด้านเคมี เรื่อง สารสถานะของสาร ธาตุ โลหะผสม จุดหลอมเหลว จุดเดือด สารเนื้อผสม สารละลาย สารประกอบ ตัวถูกละลาย ตัวทำละลาย

3.2 ความรู้ด้านฟิสิกส์ เรื่อง อุณหภูมิ

โลหะที่จะนำมาหลอมเพื่อจะใช้ในการหล่อพระพุทธรูปนั้นช่างหล่อมักนิยมใช้โลหะผสมมากกว่าโลหะบริสุทธิ์อธิบายด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ได้ดังนี้ โลหะผสมจะมีความแข็งแรงมากกว่าโลหะบริสุทธิ์ โดยงานหล่อของบ้านช่างหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ จะใช้โลหะผสมที่มีโลหะทองแดงเป็นธาตุหลักและมีธาตุผสมอื่น ๆ เช่น สังกะสี ดีบุก และตะกั่ว หลอมละลายด้วย

ความร้อนโลหะจะมีการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว อยู่ในสถานะสารละลายของแข็ง โดยทองแดงเป็นตัวทำละลาย และสังกะสีดีบุก และตะกั่ว เป็นตัวถูกละลาย เนื่องจากโลหะทองแดง มีปริมาณมากที่สุด เมื่อหลอมละลายแล้วจะได้น้ำโลหะเพื่อใช้ในงานหล่อต่อไปดังที่ยุพา วรยศ (2547) อธิบายองค์ประกอบของธาตุและสารประกอบ ไว้ว่าสารละลาย เกิดจากสารบริสุทธิ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกันอย่างกลมกลืน อัตราส่วนการผสมไม่คงที่ และแสดงสมบัติของสารบริสุทธิ์ ที่เป็นองค์ประกอบเดิมก้ำกึ่งกันตามอัตราส่วนการผสมองค์ประกอบที่สำคัญของสารละลาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ตัวทำละลายและตัวถูกละลาย และถ้าใช้สถานะของตัวทำละลายเป็นตัวกำหนดชนิดของสารละลาย สามารถแบ่งชนิดของสารละลายได้ 3 ชนิดคือ สารละลายของแข็ง สารละลายของเหลว และสารละลายก๊าซ

สอดคล้องกับแนวคิดของสุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์ (2541) ที่กล่าวถึงโลหะผสมไว้ว่างานวิศวกรรมจะไม่ใช้โลหะในสภาพบริสุทธิ์ จะใช้โลหะผสมโดยมีโลหะหลักที่เป็นพื้นฐานและมีธาตุอื่นผสมลงไป เรียกว่าธาตุผสม ธาตุผสมเมื่อถูกผสมลงไปโลหะหลัก จะมีจำนวนมากหรือน้อยก็ตาม จะทำให้คุณสมบัติของโลหะพื้นฐานเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น อาจทำให้อุณหภูมิของการแข็งตัวลดลงคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญของโลหะผสม เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น มีความแข็งแรงมากขึ้นทำนองเดียวกันวิเชียร อินทรกระทีก (2539) ได้อธิบายถึงการหลอมโลหะหรือที่เรียกว่าหลอมทอง ไว้ว่าช่างปั้นและหล่อของไทยโบราณ จะนิยมหล่อพระพุทธรูปด้วยโลหะผสมคือทองสัมฤทธิ์ สำหรับวิธีการหลอมนั้นขั้นตอนแรกเอาเบ้าใส่เตาหลอม เพิ่มความร้อนให้สูงขึ้นเรื่อย ๆ แล้ว นำเอาโลหะที่จะหลอมใส่ลงในเบ้าหลอมไหมไฟโดยใช้ถ่านไม้และในการหลอมทองนั้นจะต้อง ช่างต้องมีความชำนาญในการดูน้ำทองด้วย ช่างหล่อทั่วไปจะเรียกว่า น้ำทองได้ที่หรือน้ำทองยังไม่ได้ที่และถ้าน้ำทองยังไม่ได้ที่ ถ้าหากเทลงไปแบบพิมพ์อาจทำให้เกิดการเสียหายได้ การสังเกตดูว่าน้ำทองได้ที่หรือไม่นั้นดูได้จากเบ้าหลอมโดยการสังเกตจากเปลวไฟที่พวยพุ่งขึ้นมาจากเบ้าหลอมทองถ้าน้ำทองยังไม่ได้ที่เปลวไฟจะเป็นสีม่วง และถ้าน้ำทองได้ที่เปลวไฟจะเป็นสีเขียวขาว และประกอบ บุญยงค์ (2520) กล่าวไว้ว่า ถ้าเปลวไฟมีสีแดงอ่อน แดงมีดแดงเข้ม แดงสด แดงสุก ส้มมีด ส้ม และเหลือง จะวัดอุณหภูมิได้ 950 1150 1175 1300 1475 1650 1750 และ 1800°F ตามลำดับ

4. ขั้นตอนการหล่อพระพุทธรูปบองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

4.1 ความรู้ด้านเคมี เรื่อง สาร สถานะของสาร จุดเยือกแข็ง การคายความร้อน

4.2 ความรู้ด้านฟิสิกส์ เรื่องอุณหภูมิความแข็ง

ขั้นตอนการหล่อพระพุทธรูปโลหะ จะต้องทำต่อเนื่องจากการเผาแบบพิมพ์ให้ร้อนและหลังจากความร้อนไล่เอาขี้ผึ้งที่หุ้มแบบพิมพ์ออกหมดแล้ว เตรียมการเทน้ำโลหะที่หลอมละลายได้

ที่แล้วลงในปากจอก โดยที่น้ำโลหะจะไหลเข้าไปแทนที่ขี้ผึ้งที่แข็งไว้จนกระทั่งเย็นจึงทุบดินออกอธิบายด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้เมื่อเทน้ำโลหะลงในปากจอก และน้ำโลหะจะเริ่มคายความร้อนให้แก่บริเวณที่สัมผัสสัมผัส จนทำให้อุณหภูมิของน้ำโลหะลดลง ในขณะที่เดียวกันเมื่อการคายความร้อนจนถึงจุดเยือกแข็งก็就会有การตกผลึกของโลหะ และมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง และเมื่อเวลาผ่านไปก็就会有ความแข็งเพิ่มขึ้นดังที่วีเชอร์ อินทรกระตึก (2539) ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการหล่อโดยเทน้ำโลหะเข้าแทนที่ขี้ผึ้งที่ละลายออกมาหมดแล้วเรียกว่า การหล่อแบบแทนที่ขี้ผึ้ง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของวิหาร ดิปัญญา (2548) ได้อธิบายไว้ว่า การหล่อโลหะจะใช้ขี้ผึ้งหุ้มแบบพิมพ์หรือหุ่นดินและเมื่อนำไปเผาด้วยความร้อนจะทำให้ขี้ผึ้งละลายออกมา จะทำให้ภายในแบบพิมพ์จะมีช่องสำหรับเป็นทางเดินของน้ำโลหะที่จะเข้าไปแทนที่ขี้ผึ้ง และการเทน้ำโลหะผสมเข้าแทนที่ขี้ผึ้งเรียกว่าการหล่อแบบอินเวสเมนต์หรือสูญขี้ผึ้งขณะที่อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมากเมื่อเทน้ำโลหะผสมลงในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้ น้ำโลหะจะคายความร้อนให้กับวัสดุและสิ่งแวดล้อมที่น้ำโลหะนั้นสัมผัสอยู่กระบวนการคายความร้อนของน้ำโลหะจะดำเนินต่อเนื่องเรื่อยไป และในขณะที่เดียวกันน้ำโลหะเริ่มเกิดการแข็งตัวหลังจากการแข็งตัวแล้วก่อนโลหะจะลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิแข็งตัวเข้าสู่อุณหภูมิห้องต่อไป

ตอนที่2วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงกลของโลหะผสมหลังการหล่อ

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผสมบองค้ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย

1.1 ความรู้ด้านเคมี เรื่อง สารและสถานะของสาร ธาตุ สารประกอบโลหะผสม

1.2 ความรู้ด้านฟิสิกส์ เรื่อง ความแข็ง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างชิ้นส่วนโลหะผสมหลังการหล่อจากบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์พบว่าโลหะผสมที่ช่างหล่อใช้ในการหล่อพระพุทธรูปโลหะ ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกันจำนวน 4 ชนิดได้แก่ ทองแดง สังกะสี ดีบุก และตะกั่ว ทั้งนี้เป็นผลมาจากการหล่อพระพุทธรูปโลหะนั้น ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงทนทานต่อการสึกหรอ มีอายุการใช้งานนาน จึงต้องใช้เป็นโลหะผสมพบมีธาตุจำนวน 4 ชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สามารถอธิบายด้วยเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

ทองแดง มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 87.7 ซึ่งมีมากที่สุดของโลหะผสมจึงถือว่าทองแดงเป็นธาตุหลักในงานหล่อของบ้านช่างหล่อจังหวัดเชียงใหม่สอดคล้องกับแนวคิดของไพฑูรย์ ประสมศรี (2544) ได้กล่าวไว้ว่าทองแดงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในงานช่างและงานวิศวกรรมต่าง ๆ มากที่สุด เพราะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือมีความทนทานต่อการสึกกร่อน

ไม่มีสารแม่เหล็ก และสามารถหลอมรวมกับธาตุอื่นได้อย่างดี มนุษย์จึงได้มีการนำทองแดงบริสุทธิ์ และทองแดงผสมมาใช้งานช่างทั่วไป โดยเฉพาะงานที่ต้องการให้วัสดุมีความแข็งแรงทนทาน

สังกะสีมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 5.9 ของโลหะผสมซึ่งเวชสวรรค์ หล้ากาศ (2547) และมานพ ต้นตระกูล (2551) อธิบายถึงคุณลักษณะของสังกะสีไว้ว่า เป็นโลหะที่มีราคาถูกทนต่อการกัดกร่อนและใช้ผสมกับโลหะอื่น ๆ ได้ หล่อหลอมง่าย ขึ้นรูปง่าย และทนทานต่อการเกิดสนิม สังกะสีจะสามารถขยายตัว เมื่อได้รับความร้อนได้มากที่สุดในบรรดาโลหะแข็งทั้งหมดเนื่องจากโลหะบริสุทธิ์มักจะมีค่าอ่อน จึงนิยมใช้โลหะชนิดอื่นผสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง สอดคล้องกับแนวคิดของมนัส สติรจินดา (2541) กล่าวเกี่ยวกับโลหะผสมไว้ว่าธาตุสังกะสีมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสม โดยเพิ่มทั้งความแข็งแรงและความเหนียวให้แก่ทองแดงมากขึ้นทำนองเดียวกับ เวชสวรรค์ หล้ากาศ (2547) กล่าวไว้ว่า คุณสมบัติที่ดีของธาตุทองแดงคือ สามารถหล่อหลอมกับธาตุอื่นได้อย่างดีมีความแข็งแรงทนทาน มีความเหนียวและทนต่อการกัดกร่อนสังกะสี เป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ นำมาหล่อหลอมขึ้นรูปได้ง่าย ทนทานต่อการเกิดสนิม มีราคาถูก และสามารถทำเป็นโลหะผสมกับทองแดง จะยิ่งทำให้วัสดุมีความแข็งแรงทนทานต่อการสึกกร่อน แต่คุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสังกะสีที่ผสมอยู่ด้วย เช่น ถ้ามีสังกะสีเกินกว่า 40% จะทำให้ความแข็งแรงลดลง

ดีบุกมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 5.0 ของโลหะผสมซึ่งวิริยะ สิริสิงห์และคณะ (2537) กับไพฑูรย์ ประสมศรี (2544) อธิบายลักษณะดีของดีบุกไว้ว่ามีความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศปกติได้ดีมากทนต่อสภาพกรดและด่างได้ปานกลางแปรรูปง่าย และหล่อขึ้นรูปได้ดี ทนต่อการสึกกร่อนจากน้ำ สม อาหาร หรือเครื่องดื่มไม่เป็นพิษนิยมนำมาเคลือบผิวทองแดง แต่ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 18°C ดีบุกจะเปลี่ยนโครงสร้างและแตกเปราะได้ง่าย

ตะกั่ว มีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 1.6 ของโลหะผสมโดยปกติตะกั่วเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นในการใช้จึงต้องระมัดระวังสอดคล้องกับแนวคิดของไพฑูรย์ ประสมศรี (2544) กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของตะกั่ว ไว้ว่ามีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความเหนียว หล่อขึ้นรูปได้ง่าย แต่เป็นโลหะที่มีความเร็วในการกลายเป็นไอสูง และไอของตะกั่วเป็นพิษต่อระบบการหายใจของมนุษย์

ดังนั้น จากคุณสมบัติที่ดีของโลหะแต่ละชนิด จึงสรุปได้ว่า คุณสมบัติของโลหะบริสุทธิ์หลังการผสมธาตุอื่น ๆ ลงไปจนเกิดเป็นโลหะผสมจะทำให้สมบัติเชิงกลของโลหะเดิมเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีความแข็งแรงและความเหนียวเพิ่มขึ้นความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการยืดตัว และความต้านทานต่อการกัดกร่อน งานหล่อโดยทั่วไปจึงนิยมใช้โลหะผสมมากกว่าโลหะบริสุทธิ์

2. สมบัติเชิงกลของโลหะผสมจากผลการวิเคราะห์เพื่อวัดค่าความแข็ง ของตัวอย่าง ชิ้นส่วนโลหะผสม บ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ สามารถวัดค่าความแข็งได้เท่ากับ 70 ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่บ้านช่างหล่อได้ยึดถือเป็นแนวทางปฏิบัติมานานในการสร้างองค์พระพุทธรูปโลหะ และข้อมูลการสัมภาษณ์ที่ได้จาก นายดวงจันทร์ แก้วดวงแสงกล่าวว่าผลงานที่ผลิตได้รับการยอมรับจากลูกค้ามานานกว่า 50 ปี เพราะเป็นงานปั้นด้วยมือและองค์พระพุทธรูปที่มีความแข็งแรง ทนทานเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในงานหล่อเป็นโลหะผสมของธาตุ 4 ชนิด คือ ทองแดงสังกะสีดีบุก และตะกั่ว ในปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนในการใช้งานนานกว่า 20 ปีขึ้นทนทานต่อสภาพอากาศ น้ำที่เป็นกรดอ่อน ๆ เช่น น้ำฝน น้ำขี้มันส้มป่อย ที่ชาวล้านนานิยมใช้ในงานประเพณีสงกรานต์

3. จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับด้านสุขภาพของช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูป ซึ่งเป็นผลจากการใช้โลหะผสมที่มีส่วนประกอบตะกั่วซึ่งเป็นสารอันตรายนั้นพบว่าช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูปโลหะของบ้านช่างหล่อ ตำบลหายยา อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนใหญ่จะมีอายุยืนโดยมีอายุเฉลี่ย 70-85 ปี แสดงว่าปริมาณของสารตะกั่วที่พบในโลหะผสมนั้นไม่มีผลต่อสุขภาพเนื่องจากการป้องกันอย่างระมัดระวังและล่าสุดนายอินสอน แก้วดวงแสง หนึ่งในสองครอบครัวช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูปของบ้านช่างหล่อ ได้ถึงแก่กรรมลงเมื่อวันที่ 6 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 สิริอายุได้ 81 ปีจึงทำให้ปัจจุบันนี้บริเวณบ้านช่างหล่อ คงเหลือผู้ที่ประกอบอาชีพช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูป ประกอบด้วย นายดวงจันทร์ แก้วดวงแสง อายุ 88 ปี นายชัยรัตน์ แก้วดวงแสง อายุ 58 ปี และนายโยธิน แก้วดวงแสง อายุ 55 ปี ทุกคนยังคงมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง โดยทุกท่านได้กล่าวตรงกันว่า การทำงานในการปั้นพระพุทธรูปนั้นทำให้เกิดความสุขใจ มีสมาธิ อดทนและภาคภูมิใจในการทำงาน ส่งผลให้มีอายุยืน นอกจากนี้งานช่างปั้นและหล่อพระพุทธรูป ถือว่าเป็นงานประติมากรรมพุทธศิลป์ที่ทรงคุณค่า และยังเป็นส่วนหนึ่งที่จรรโลงพระพุทธศาสนาให้คงอยู่ในสังคม

4. การบำรุงและดูแลรักษาพระพุทธรูปโลหะทำได้ง่ายและสะดวกคือ การใช้ผ้าชุบน้ำสะอาดเช็ดให้ทั่วองค์พระพุทธรูปแล้วเก็บรักษาในที่ร่ม ในกรณีการเกิดสนิมเขียวคั่งที่ไพฑูรย์ ประสมศรี (2544 : 128) กล่าวว่าไว้ว่า ทองแดงบริสุทธิ์ถ้าถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศเป็นเวลานาน ๆ จะปรากฏเป็นฟิล์มบาง ๆ สีเขียวบนบริเวณผิวหน้า ซึ่งเรียกว่าทองแดงออกไซด์ หรือสนิมเขียวจะทำหน้าที่ปกป้องมิให้ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับเนื้อทองแดง เป็นผลที่ทำให้ทองแดงมีสภาพทนต่อลมฟ้าอากาศสนิมเขียวจะมีสภาพต่างกับสนิมเหล็ก เพราะสนิมของเหล็กจะไม่ช่วยป้องกันเนื้อเหล็กและในความเชื่อส่วนบุคคลที่ชอบสะสมพระพุทธรูปจะชื่นชอบพระพุทธรูปที่มีลักษณะเหมือนของเก่า และยังเก่าก็จะได้รับความนิยมมากแต่สำหรับผลิตภัณฑ์ของบ้านช่างหล่อ จังหวัด

เชิงใหม่ จะใช้โลหะผสมจึงไม่พบปัญหาของการเกิดสนิมเขียวแต่ถ้าถูกคำรายใดต้องการทำให้องค์พระพุทธรูปโลหะดูเก่าตามความนิยม ช่างหล่อก็สามารถทำได้ เช่น การขัด หรือลงสีเพิ่มเติม

ตอนที่ 3 จัดทำบทเรียนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์(สาระเพิ่มเติม) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

1. ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามหลักการและขั้นตอนของการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยจัดทำเป็นการแบ่งเนื้อหาสาระบทเรียนที่จะนำเสนอเพิ่มขึ้นทีละน้อยตามลำดับต่อเนื่องในลักษณะเช่นเดียวกับหนังสือ ตำรา หรือบทความแล้วให้ผู้เรียนได้ศึกษาตอบคำถามหรือตรวจคำตอบโดยมีแนวการตอบไว้ให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลป้อนกลับว่าผู้เรียนตอบคำถามของตนถูกหรือผิด บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้ผ่านการตรวจสอบหาประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านการออกแบบเนื้อหา และเทคนิคการผลิต พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ยทั้งสองด้านจะเท่ากับ 4.35 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 ซึ่งมีความหมายที่แสดงว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง การปั้นและการหล่อพระพุทธรูปโลหะอยู่ในระดับมาก

2. การนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้กับกลุ่มนักเรียนตัวอย่างพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือมีค่าเท่ากับ 87.99/85.66 ทั้งนี้เพราะว่าผู้วิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนของการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังที่วีโรจน์ มะโนวรรณ (อ้างถึงใน มนตรี แรงจิดงาน, 2553 : 42) กล่าวว่า เมื่อเขียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเสร็จแล้ว จะต้องนำไปทดลองใช้เพื่อแก้ไขปรับปรุงและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยการทดลองใช้วัดอุปประสงค์เพื่อจะได้ทราบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับโดยทั่วไปหรือไม่อย่างไร

3. ความคิดเห็นของนักเรียนหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการปั้นและการหล่อพระพุทธรูปโลหะ ในด้านการออกแบบเนื้อหา และความพึงพอใจในบทเรียนนักเรียนมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุดดังที่ กิดานันท์ มลิทอง (2546) กล่าวว่าไว้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จะเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้กับนักเรียนการใช้สี ภาพ ลายเส้น การเคลื่อนที่เสียงดนตรี จะเป็นการเพิ่มความเหมือนจริงสามารถกำหนดบทเรียนให้นักเรียนแต่ละคนได้เรียนพร้อมกับแสดงผลความก้าวหน้าให้เห็นได้ทันทีให้ความเป็นส่วนตัวกับนักเรียน เป็นการช่วยให้นักเรียนที่เรียนช้าสามารถเรียนได้ตามความสามารถของตนเอง โดยไม่ต้องอายเพื่อนนักเรียนเมื่อนักเรียนตอบคำถามผิดสอดคล้องกับแนวคิดของ ฌอนอมพร เลหาจัสแสง (2541) กล่าวว่าไว้ว่าคอมพิวเตอร์สามารถบรรจุได้ทั้งตัวอักษร ภาพ เสียง ดนตรี ทำให้เกิดความน่าสนใจ และเข้าใจให้

อยากศึกษาเล่าเรียนและการนำเสนอภาพเคลื่อนไหวหรือสร้างภาพเป็นรูปแบบของการจำลองสถานการณ์ทำให้การเรียนรู้ในเรื่องที่เป็นนามธรรมเข้าใจง่ายขึ้น ในทำนองเดียวกัน ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา กรมการศึกษานอกโรงเรียน (2545) กล่าวไว้ว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทำให้ผู้เรียนสามารถทบทวนเนื้อหาหรือบทเรียนที่เคยเรียนไปแล้วได้ตามความต้องการ ทำให้เกิดความแม่นยำในวิชาที่เรียนอ่อน นอกจากนี้ยังเป็นสื่อที่ทำให้เกิดความสนใจ ชวนให้ติดตามตลอดเวลา เป็นสิ่งที่ทำให้เรียนด้วยความสนุกสนาน

ซึ่งสอดคล้องกับ นวรัตน์ สารภี (2554) วิจัยเรื่องการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อพัฒนาความสามารถในการตัดสินใจโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผลการศึกษาวិจัยพบว่า ความสามารถในการตัดสินใจโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่สอนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในกิจกรรมเสริมหลักสูตรหลังเรียนสูงขึ้นกว่าก่อนเรียนและความคิดเห็นของนักเรียนต่อการเรียนผ่านบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในกิจกรรมเสริมหลักสูตรอยู่ในระดับดี

ข้อเสนอแนะ

1. เผยแพร่ความรู้ที่ได้จากการวิจัยให้แก่ผู้ประกอบการหรือผู้สนใจได้นำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์
2. เผยแพร่ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ให้แก่ผู้ประกอบการและผู้ที่เกี่ยวข้องให้รู้จักหาวิธีการป้องกันตนเองจากสารตะกั่วที่มีอยู่ในโลหะผสม ที่ใช้หล่อพระพุทธรูปของบ้านช่างหล่อ จังหวัดเชียงใหม่
3. ครูผู้สอนในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์หรือกลุ่มสาระอื่น ๆ ได้แนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แหล่งเรียนรู้ในท้องถิ่น
4. ครูสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ เป็นสื่อประกอบการสอนเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านอื่น ๆ ที่อาจมีความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ สอดแทรกอยู่
2. ควรมีการศึกษาวิจัยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นแหล่งเรียนรู้