

โครงสร้างและคุณสมบัติของทองเหลืองหล่อ โดย กรรมวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย : กรณีศึกษาหัตถกรรม
หล่อทองเหลืองบ้านปะอาว

(Structure and Properties of Brass Casting by Lost –wax casting Processes : A cause study of the
brass casting of Pa-Ao village, Ubon Ratchathani province)

สุรียา ไชคสวัสดิ์*

อภิชาติ อัจฉนาเสียว**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 045-288376-7*,ensurich@cc.ubu.ac.th,suriya.c@ubu.ac.th

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002**

คำสำคัญ : Structure and Properties/Brass casting/lost-wax /Pa-Ao village

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางกล(ความแข็ง)ของทองเหลืองหล่อ โดยกรรมวิธีขี้ผึ้งหาย กรณีศึกษาหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว ซึ่งเป็นกรรมวิธีแบบโบราณที่มีการทำสืบทอดกันมาตั้งแต่สมัยบรรพบุรุษเมื่อก่อตั้งบ้านปะอาวประมาณ 200 กว่าปีมาแล้ว การหล่อทองเหลืองวิธีขี้ผึ้งหาย(lost-wax casting process)เป็นกรรมวิธีที่มีการทำสืบต่อกันมานาน ในประเทศไทยมีหลักฐานที่กรมศิลปากรได้ขุดค้นพบหลายแห่งที่น่าเชื่อถือได้ โดยเฉพาะที่บ้านเชียง มีเครื่องสำริด ที่ผลิตโดยวิธีขี้ผึ้งหายมีอายุราว 4,500 ปี

วิธีการนำหลักวิชาทางโลหะวิทยามาใช้เพื่อศึกษาวิเคราะห์จะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำไปสู่การพัฒนาโลหะผสมสำริดของกลุ่มหัตถกรรมหล่อทองเหลืองบ้านปะอาวที่ทำโดยอาศัยภูมิปัญญาที่ได้รับการถ่ายทอดสืบต่อกันมา

วิธีการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ โดยนำวัตถุดิบและงานหล่อมาผ่านการเตรียมโครงสร้างจุลภาคตามกรรมวิธีทางโลหะวิทยา การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เครื่อง emission spectrometer และการทดสอบความแข็งแบบ HRB

ผลของการศึกษาพบว่า วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหลอมหล่อส่วนมาก เป็นเศษข้อต่อ และก้อนน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนเครื่องยนต์อื่น ๆ ที่มีทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีพบว่า มี ธาตุต่าง ๆ ดังนี้

ข้อต่อ มี Cu 60%, Zn 35%, Pb 2.79%, Sn 0.97%, Ni 0.33% Fe 0.27% และ Al 0.25% มีความแข็งประมาณ 33 HRB, ก้อนน้ำ มี Cu 61.6%, Zn 33.37%, Pb 2.42%, Sn 0.42%, Ni 1.67% Fe 0.33% และ Al 0.035% มีความแข็งประมาณ 76 HRB, ระวังเล็กมี Cu 71.84%, Zn 17.10%, Pb 1.81%, Sn 8.27%, Ni 0.27% Fe 0.57% และ Al 0.023% มีความแข็งประมาณ 65 HRB, กระดิ่งหรือหมากหึ่ง มี Cu 69.79%, Zn 23%, Pb 2.58%, Sn 2.48%, Ni 0.2% Fe 0.42% และ Al 1.43% มีความแข็งประมาณ 58 HRB

โครงสร้างจุลภาคของทุกตัวอย่างมีพื้นเป็น α และ β แต่ เฟส ϵ จะมีในตัวอย่างที่มีธาตุ Sn เป็นส่วนผสม โครงสร้างทั้งหมดจะเป็น dendritic ธาตุอื่นที่พบนอกจาก Cu และ Zn ซึ่งทำให้เกิดเฟสอื่นเพิ่มขึ้นอีกในระบบ คือ Sn, Pb, Al, และ Ni มีผลทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป จากการศึกษาทำให้ทราบว่า งานหล่อที่ต้องการคุณสมบัติทางเสียง ขึ้นกับธาตุเพิ่มพิเศษคือ Sn และลักษณะของโครงสร้างและเกรน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

1. บทนำ

บ้านปะอ่าว เป็นหมู่บ้านหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพการเกษตรทำนา เลี้ยงสัตว์ และรับจ้างทั่วไป เหมือนกับหมู่บ้านอื่นๆทั่วไปในชนบทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางครอบครัวก็ทำหัตถกรรมทอผ้า และทำเครื่องทองเหลืองเป็นอาชีพเสริม

การทำหัตถกรรมหล่อทองเหลือง ที่บ้านปะอ่าว ได้ดำเนินการสืบทอดกันมานาน ตั้งแต่สมัยปู่ ย่า ตา ทวด จากตำนานการก่อตั้งบ้านปะอ่าวและจากคำบอกเล่าของชาวบ้านปะอ่าวกล่าวว่า การทำเครื่องทองเหลือง เริ่มทำกันมาตั้งแต่ก่อตั้งบ้านปะอ่าว คือประมาณ 210 ปี ผ่านมาแล้ว โดยได้รับการถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษที่อพยพ มาจากหนองบัวลำภู หรือจังหวัดหนองบัวลำภูในปัจจุบัน ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้ในขบวนการผลิตเป็นแบบวิธีที่ขี้ผึ้งหายที่เป็นภูมิปัญญาสมัยโบราณที่ทำสืบต่อกันมาเมื่อยุคก่อนประวัติศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับหลักฐานและมีส่วนคล้ายคลึงกับเครื่องสำริดโบราณที่ขุดค้นพบที่บ้านบ้านเชียง มีอายุประมาณ 4,500-3,000 ปี ผ่านมาแล้ว ซึ่งนับวันจะหาได้ยากในปัจจุบัน การดำเนินงานของกลุ่มหัตถกรรมชุมชนบ้านปะอ่าวได้ประสบปัญหาด้านต่างๆ ซึ่งมีหน่วยงานหลายหน่วยงานให้ความสนใจและเข้าไปช่วยเหลือ รวมทั้งผู้วิจัยและคณะ ได้ให้ความสนใจที่จะเข้าไปดำเนินการช่วยเหลือในด้านวิชาการที่ผู้วิจัยมีความถนัดและเชี่ยวชาญ

ดังนั้น ในการดำเนินระยะแรก ผู้วิจัยได้เข้าไปสำรวจสภาพปัญหา พบว่าปัญหาด้านคุณภาพและของเสียในงานหล่อเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญต่อการพัฒนางานหล่อทองเหลืองบ้านปะอ่าว คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างและคุณสมบัติของทองเหลืองที่ผ่านการหลอมหล่อด้วยกรรมวิธีแบบขี้ผึ้งหาย โดยวิธีการนำเอาเครื่องมือและเทคนิคการศึกษาวิเคราะห์สมัยใหม่มาใช้ ทำให้ได้ผลการศึกษาที่จะนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงคุณภาพ และลดของเสียที่เกิดขึ้นในงานหล่อ ในขั้นตอนต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีและทดสอบความแข็งโดยวิธี HRB นำวัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมหล่อมาวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เครื่อง emission spectrometer วัสดุที่นำมาหลอมหล่อทั้งหมดเป็นเศษทองเหลือง ที่หาซื้อมาได้จากร้านรับซื้อของเก่า ส่วนมากจะเป็นวาล์ว และก๊อคน้ำ ปลอดภัยสูงปืน ที่ใช้กันทั่วไปในบ้าน ช่างหล่อจะเลือกซื้อเอาเฉพาะที่เป็นทองเหลืองและทองแดง มีบางครั้งก็เป็นเศษทองสำริดจากห้องและระฆังโบราณ เนื่องจากงานหล่อที่บ้านปะอาวผลิตมีอยู่สองลักษณะ คือ ประเภทที่ใช้เสียงเช่น กระดิ่ง ลูกกระพรวน และระฆังเป็นต้น และประเภทที่ไม่ใช้เสียงเช่น ผอบ ชุดเขียนหมาก ชันทองเหลือง เป็นต้น ดังนั้น ช่างหล่อจะใช้สูตรหลอมหล่อที่แตกต่างกัน



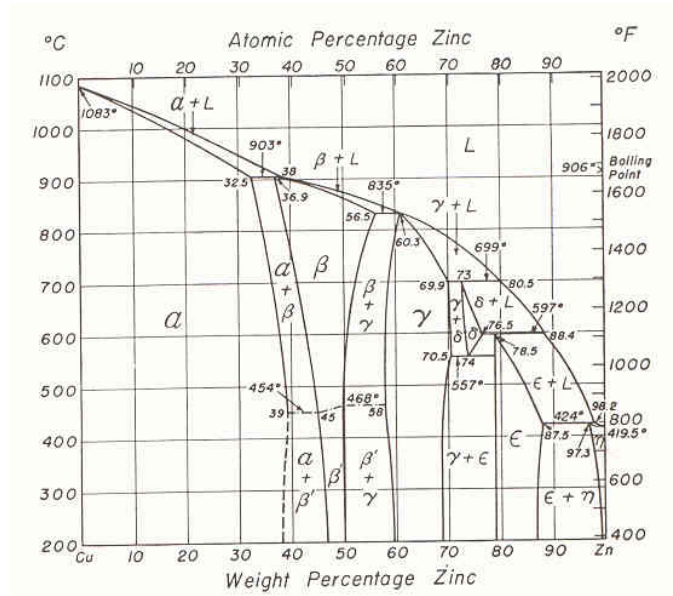
รูปที่ 1 เศษโลหะประเภททองเหลือง ที่นำมาใช้ในการหลอมหล่อ

2.2 เตรียมแบบหล่อ ตามขั้นตอนตามกรรมวิธีแบบซีเมนต์หยาบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เตรียมดิน นำดินโพนมาตำให้ละเอียดผสมกับมูลวัวและแกลบ คลุกเคล้าจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมานั้นหูนั่นแบบ หรือพิมพ์ นำดินที่ดำเสร็จแล้วจากขั้นตอนที่ 1 มาปั้นเป็นหุ่นให้มีรูปร่างลักษณะตามที่ต้องการ โดยเผื่อขนาดไว้ก่อนที่จะนำไปกลึง หรือเสียน นำดินที่ปั้นได้ไปตากแดดให้แห้งดีเสียก่อนที่จะนำหุ่นหรือพิมพ์ ที่แห้งแล้วนำไปประกอบใส่ไฮงเสียน เพื่อทำการ เสียนพิมพ์ หรือกลึงพิมพ์ให้เรียบและได้ขนาดตามที่ต้องการ จากนั้น นำซีเมนต์ที่จัดออกเป็นเส้นเหมือนเส้นด้าย มาเคียน หรือ พันรอบหุ่น ที่ผ่านการเสียน ให้ได้รูปทรงภายนอกตามที่ต้องการ เมื่อเคียนเสร็จแล้ว จึงนำไปเสียน หรือกลึงแต่งซีเมนต์ ให้ผิวเรียบ รวมทั้งการพิมพ์ลายเพื่อสร้างลายต่างๆบนพื้นผิวซีเมนต์ก่อน ซึ่งเสมือนผิวงานจริงเมื่อหล่อเป็นชิ้นงานสำเร็จ เมื่อทำลายเสร็จแล้วต้องทำสายขนวน โผล่ยื่นออกมา ซึ่งภาษาทางวิชาการหล่อโลหะ คือการสร้างรูเทเพื่อเป็นทางให้น้ำโลหะไหลวิ่งไปได้สะดวกทั่วถึงกันตลอดชิ้นงาน ทำให้ได้งานหล่อที่สมบูรณ์ไม่มีรูพรุน จากนั้นจึงโอบด้วยดินเหนียวละเอียดที่ได้จากดินจอมปลวกผสมกับมูลวัว ช่างพื้นบ้านเรียกว่า โอบเพ็ด หมายถึง ขั้นตอนการใช้ดินผสมมูลวัวโอบ หรือพอกหุ้มหุ่นหลังจากที่ทำการละลาย ขั้นตอนต่อไปคือ โอบเบา โดยการใช้น้ำดินเหนียวผสมแกลบ โอบ หรือหุ้มเบาให้สามารถ ตั้งวางบนดินเพื่อ

การหล่อได้ หลังจากนั้น นำเข้าหรือแบบหล่อมาเผา หรือช่างพื้นบ้านเรียกว่า สุมเข้า หรืออุ่นเข้า เป็นขั้นตอนการเผาเข้าเพื่อให้ขี้ผึ้งละลายออก ดังนั้นจึงต้องวางคว่ำ ปากเข้าลง โดยหลังจากขี้ผึ้งละลายออกหมดจะทำให้เกิดโพรงว่าง เพื่อนำโลหะเหลวเทเข้าไปแทนที่ ว่างในลำดับต่อไป จากนั้นปล่อยให้แบบเย็นตัว โลหะในแบบแข็งตัวสมบูรณ์ดีแล้วจึงแกะแบบ นำขึ้นในมาทำความสะอาด ตกแต่งด้วยเครื่องกลึงที่ช่างพื้นบ้านเรียกว่าเสี้ยน ให้เรียบร้อยก่อนนำไปจำหน่ายต่อไป

2.3 วิเคราะห์เฟสเปอร์เซ็นต์ด้วยเครื่อง Image analysis และใช้ เฟสไดอแกรมศึกษาประกอบ



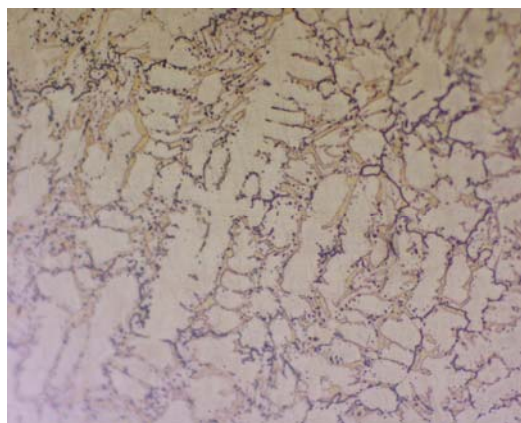
รูปที่ 2 Copper-Zinc phase equilibrium diagram

3. ผลการวิจัย

3.1 โครงสร้างจุลภาค (ทุกตัวอย่างกีดด้วยกรด $\text{NH}_4\text{OH}(50\text{ml})+\text{H}_2\text{O}(50\text{ml})$ เวลาในการกัดกรด 60 วินาที)



รูปที่ 3



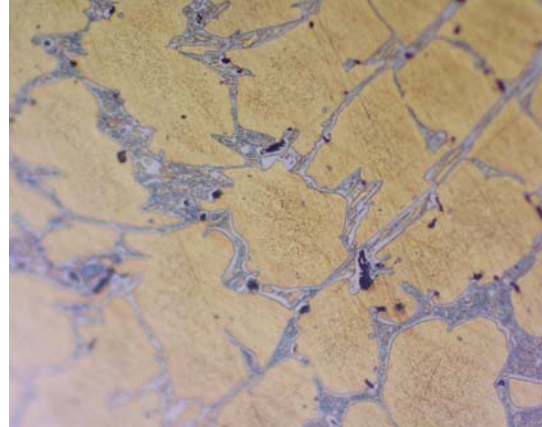
รูปที่ 4

รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เศษโลหะที่ใช้หลอมหล่อ(ก้อนน้ำ) กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เศษโลหะที่ใช้หลอมหล่อ(ข้อต่อทองเหลือง) กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 5



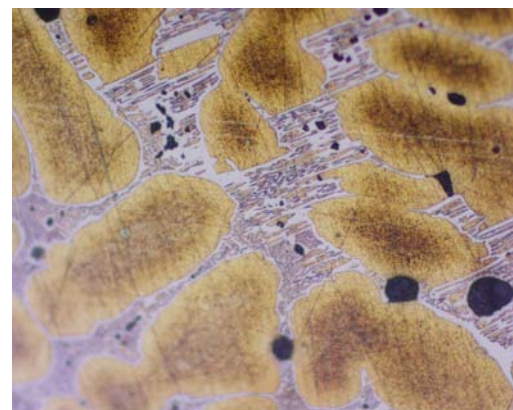
รูปที่ 6

รูปที่ 5 ชุดเขียนหมาก (ผอบ, ซองใบพญู, ครกตำหมาก แจกัน และเต้าปูน ฯลฯ

รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ งาน ผอบทองเหลือง กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 7



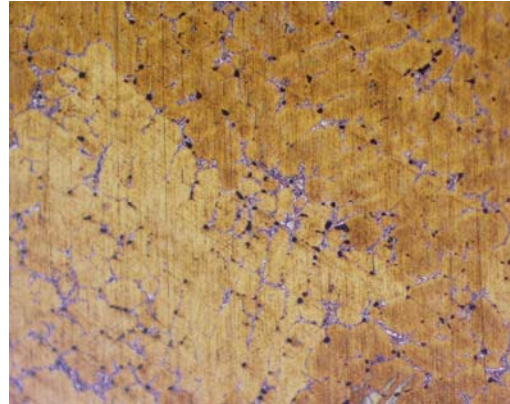
รูปที่ 8

รูปที่ 7 กระจดสำเร็จ

รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ชิ้นงานสำเร็จ กระจดสำเร็จ กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 9



รูปที่ 10

รูปที่ 9 หมากหึ่ง หรือ ลูกกระท้อน สุก

รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคที่ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ กระท้อนสุก กำลังขยาย 200 เท่า

3.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของธาตุผสมและทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิต

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุผสม%										
	Cu	Zn	Pb	Sn	Ni	Fe	Al	Mn	Si	P	S
ข้อต่อ ทองเหลือง	60.087	35.222	2.7927	0.965	0.32846	0.274	0.246	0.027	0.021	0.018	0.003
VALVE ทองเหลือง	61.607	33.365	2.4246	0.4167	1.6677	0.328	0.035	0.024	0.103	0.004	0.004
ระฆังบรอนซ์	71.8421	17.0911	1.8083	8.2683	0.26488	0.5734	0.023	0.00004	0.002 68	0.003 58	0.00765
หมากหึ่ง	69.785	23.01	2.578	2.476	0.196	0.421	1.434	0.016	0.04	0.008	0.0047

ตารางที่ 1 ปริมาณของธาตุต่างๆในวัสดุที่นำมาหล่อและงานหล่อ

ตัวอย่าง			
ข้อต่อทองเหลือง	valve ทองเหลือง	ระฆังบรอนซ์	หมากหึ่ง(ลูกกระท้อน)
33 HRB	75.8 HRB	61.67 HRB	52.33 HRB

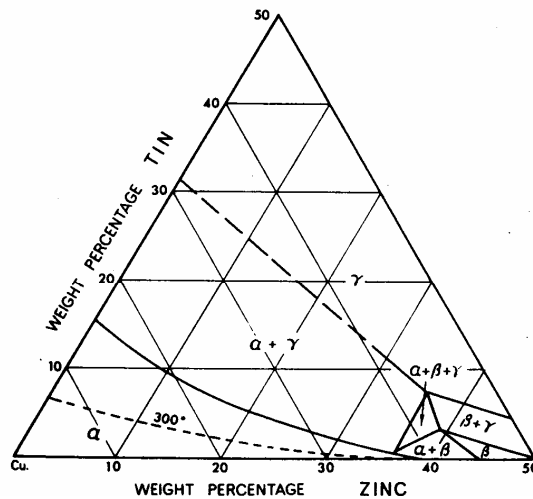
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็ง ของโลหะที่ใช้หล่อและงานหล่อทองเหลือง

4. อภิปรายผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่นำมาหลอมหล่อ เนื่องจากส่วนมาก จะใช้ข้อต่อและวาล์วทองเหลือง จึงเลือกเอามาศึกษา ผลจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ซึ่งมีธาตุหลักคือ Cu และ Zn ซึ่งมีปริมาณ 33.36-35% Zn เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลเฟสไดอagramsระบบสองธาตุCu-Zn พบว่าส่วนมากจะเกิดเป็นเฟส α เกือบทั้งหมดเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคที่ได้ พบว่าลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นโครงสร้าง dendritic มี β เฟสเกิดขึ้นบริเวณระหว่างแขนของ dendri และสามารถมองเห็นอนุภาคกลมของตะกั่วที่ตกผลึกอยู่ตามบริเวณขอบเกรนระหว่าง α เฟสและ β เฟส แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าตัวอย่างวาล์ว จะมี Ni ผสมอยู่ประมาณ 1.67% ซึ่งมีผลทำให้ค่าความแข็งสูงถึง 75.8 HRB สูงกว่าทุกตัวอย่าง ซึ่งข้อต่อทองเหลืองมีความแข็งต่ำสุดคือ 33 HRB

4.2 การวิเคราะห์ผลของงานหล่อ งานหล่อที่เลือกนำมาศึกษา คือ ผอบ กระดิ่งหรือระฆังขนาดเล็ก และหมากหิ้งหรือลูกกระพรวน จากผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ผอบ จะมีส่วนผสมเหมือนกันกับข้อต่อและวาล์ว และมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็น dendritic เหมือนกัน มีโครงสร้างประกอบด้วยเฟส α เฟสและ β เฟส

ตัวอย่าง ระฆัง มี Zn ประมาณ17% มี Pb 1.8% และมี Sn มากถึง 8.27% ซึ่งเป็นโลหะผสมจำพวกบรอนซ์หรือสำริด จากการสำรวจเอกสารไม่สามารถจัดเข้ากับกลุ่มมาตรฐานใดได้เลย มีความแข็ง ประมาณ 61.67HRB



รูปที่ 11 The 500C (932F) isothermal section of theCu-Sn-Zn ternary equilibrium diagram

ตัวอย่างลูกกระพรวน ดูจากส่วนผสมทางเคมีที่ได้เป็นประเภทบรอนซ์หรือสำริด ปริมาณธาตุ Znและ Pb จะมีมากกว่าของระฆัง แต่ Sn จะมีปริมาณน้อยกว่า และจะ Al เพิ่มขึ้นมาอย่างเห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น คือประมาณ 1.43% ซึ่งจากการสังเกตพบว่าช่างหล่อจะเพิ่มเข้าไปโดยใช้กระป๋องเบียร์หรือน้ำอัดลม เพื่อช่วยในการหลอมให้ง่าย

ขึ้น แต่ปริมาณตะกั่วจะสูงกว่าระฆัง ซึ่งคุณสมบัติด้านงานหล่อตะกั่วจะช่วยให้น้ำโลหะไหลตัวได้ง่ายขึ้น ค่าความแข็งของกระพรวน จะต่ำกว่าระฆังคือประมาณ 52.73 HRB

โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างทั้งสองมีส่วนคล้ายกันมากเนื่องจากมีธาตุ Sn เป็นส่วนผสมเหมือนกัน ลักษณะเป็น dendritic แต่ขนาดของเกรนจะเล็กกว่าของระฆังอย่างเห็นได้ชัด

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมา ทำให้พบว่าการควบคุมส่วนผสมทางเคมีจะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่าง และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องทองเหลืองบ้านปะอ่าว แบ่งเป็นสองประเภท คือ ประเภทที่ต้องการผิวสีที่สวยงามสดใสขาว และประเภทที่ต้องการเสียงที่มีดังกังวาน ซึ่งจากประสบการณ์ของช่างหล่อทองเหลืองบ้านปะอ่าว สามารถกำหนดได้ตามที่ต้องการโดยเพียงอาศัยการตรวจสอบด้วยตาและประสาทสัมผัสเท่านั้น แต่ก็ไม่สามารถรับรองได้ว่าการหล่อแต่ละครั้งจะสามารถผลิตได้คุณภาพเหมือนเดิม ซึ่งทำให้เห็นแนวทางในการนำไปสู่การพัฒนา คือ การหาวิธี การควบคุมคุณภาพ การตรวจสอบให้แม่นยำขึ้นในการคัดเลือกวัตถุดิบก่อนนำมาหลอมหล่อ และในขั้นตอนอื่นๆอีกตลอดทั้งกระบวนการผลิต ซึ่ง จะส่งผลโดยตรงต่อการผลิตงานหล่อให้ได้มาตรฐานสม่ำเสมอตามที่ลูกค้าต้องการ และสามารถลดปริมาณของเสียลงได้ เป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง ทำให้กลุ่มหัตถกรรมมีรายได้เพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการดำเนินกิจการนี้และยังคงไว้ให้เป็นมรดกแก่คนรุ่นหลังสืบต่อกันไป

เอกสารอ้างอิง

วิโรจน์ ศรีสงคราม, “อุบลราชธานี 200 ปี”, ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2535

ธิดา สาระยา, “เมืองอุบล: ธานีแห่งราชะ ศรีสง่าแห่งไพรพฤษ”, สำนักพิมพ์เมืองโบราณ, 2536

สุรพล นาถะพินธุ ” โลหกรรมสมัยโบราณ ในประเทศไทย”, บทความวิชาการ วารสาร MTEC, เมษายน-มิถุนายน 2542

Peter M. Bovin, 1976, “Centrifugal or Lost Wax Jewelry Casting”, Bovin Publishing, Forest Hills, L.I., N.Y., pp.6-7

Ammen C.W., 1977, “Lost Wax Investment Casting”, U.S.A.

Brass and Bronze Institute, 1984, “Casting Copper-Base Alloys”, American Foundrymen’s Society, Des Plaines, IL, Illinois, pp.143-149

Aramand J. Labbe, 1985, “BAN CHIANG: ART AND PREHISTORY OF NORTHEAST THAILAND”, Smith Printers and Lithographers, Tustin, CA

Juthamas Siriwan, 1996, “The Personality of Thailand, Tourism of Thailand”, Damsutha Press, Bangkok Thailand, pp.64-72