

การประดิษฐ์ยาสีร้อนสำหรับงานเครื่องประดับจากการใช้วัตถุดิบหลัก (แร่ควอตซ์) ในแหล่งจังหวัดจันทบุรี

Fabrication of Hot Enamel for Jewelry by Using Main Raw Material (Quartz) from Chanthaburi

สุรพงษ์ ปัญญาทา¹, ภัทรา ศรีสุข², ภัทรบดี พิมพิก³

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี^{1,2,3}

Surapong Panyata¹, Pathra Srisukho², Pattarabordee pimki³

Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University^{1,2,3}

E-mail: surapong.p@rbru.ac.th¹

E-mail: pathra.s@rbru.ac.th²

E-mail: pattarabordee.p@rbru.ac.th³

Received: April 28, 2022; Revised: May 18, 2022; Accepted: May 30, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวที่มีเฉดสีเทียบเคียงกับยาสีร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศหรือสร้างเฉดสีเขียวใหม่ จากการใช้แหล่งวัตถุดิบซิลิกาภายในประเทศ จากแหล่งแร่ควอตซ์ ในตำบลเขาบายศรี อำเภอนาใหม่ จังหวัดจันทบุรี โดยศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ จากนั้นทำการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียว โดยปรับสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้น อ้างอิงตามข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำต้นแบบยาสีร้อนที่ประดิษฐ์ได้มาเคลือบลงบนแผ่นโลหะทองแดง เพื่อทดสอบความสามารถในการยึดติดกับแผ่นโลหะทองแดง ลักษณะผิวเคลือบและเฉดสีที่ปรากฏจากการสังเกต ผลการทดลองพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 70 %w/w จัดได้ว่าเป็นแก้วตะกั่ว และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวฟลักซ์ทำให้เกิดเป็นแก้ว มีโครเมียมออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารทำหน้าที่ให้สีเขียว งานวิจัยนี้สามารถประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวที่มีเฉดสีเขียวเข้มได้จากสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นสูตรที่ 5 โดยมีเหล็กออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์เป็นตัวที่สร้างแก้วให้มีสีเขียว สามารถนำมาเคลือบลงยาสีร้อนบนแผ่นโลหะทองแดงได้โดยไม่เกิดการแตกร้าวและไม่หลุดออกจากตัวแผ่นโลหะ

คำสำคัญ: ยาสีร้อน การเคลือบลงยา เครื่องประดับ แร่ควอตซ์

Abstract

The project aimed to fabricate a hot green enamel that has a similar color shade to the imported hot green enamel or to create a new green shade. The fabrication process was performed by using locally silica raw materials from quartz in Khao Baisi Subdistrict, Tha Mai District, Chanthaburi Province. The study was first carried out on various properties of

imported hot green enamel. Then, hot green enamel was fabricated by using locally silica raw materials, and the proportion of raw materials was adjusted based on the data analyzed from the imported hot green-color enamel and related research. After that, the received hot green enamel prototype was then coated on the copper sheet to test its adhesion ability with the copper sheet. The appearances of the coating and the color shades were examined from the observation. The results showed that the chemical composition of the imported hot green enamel consists of Lead which is the main component of more than 70 %w/w. Thus, it can be classified as lead glass, and it contains silica as the main component to act as a forming agent to form a glass. It contains chromium oxide and copper oxide as green pigments. In this research, hot green enamel with dark green hues can be successfully fabricated from the ratio of the raw material formulation No. 5, with iron oxide and copper oxide as the pigments of the green glass, as well as being able to be coated on the copper metal sheet without cracking and not falling off the copper metal sheet.

KEYWORDS: Hot Enamel, Vitreous enamel, Jewelry, Quartz

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยมีความสำคัญต่อการพัฒนาและขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากข้อมูลการส่งออกสินค้าที่สำคัญของประเทศไทยในช่วง ต้นปี 2563 พบว่าสินค้านำเข้าอัญมณีและเครื่องประดับมีมูลค่าการส่งออกอยู่ในอันดับที่ 2 ของสินค้าส่งออกของไทย (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ ,2563) และ เมื่อ พิจารณา การ ส่ง ออก อัญมณีและเครื่องประดับไทย (รายเดือน) พบว่ามีการเติบโตอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม 2563 ซึ่งมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 23.29 เมื่อเทียบกับเดือนกันยายน 2563 จากการส่งออกไปยังหลายตลาดสำคัญได้เพิ่มขึ้น ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ฮองกง เยอรมนี ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร สิงคโปร์ และเบลเยียม (ศูนย์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน, 2563) ซึ่งช่วยผลักดันให้เกิดการสร้างงานสร้างอาชีพให้แก่บุคคลในอุตสาหกรรมอัญมณี

อย่างไรก็ตาม แม้สินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยจะเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ แต่ก็ยังมีคู่แข่งทางด้านราคา ไม่ว่าจะเป็นประเทศจีน อินเดีย หรืออินโดนีเซีย ดังนั้นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่สินค้าอัญมณีและเครื่องประดับด้วยการออกแบบและพัฒนาสินค้าให้แตกต่างจากคู่แข่ง เน้นความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และอยู่ในระดับราคาที่จับต้องได้ รวมถึงการให้ความสำคัญกับการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ตลอดจนการนำนวัตกรรมการผลิตใหม่ ๆ เข้ามาใช้เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต เพื่อเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสามารถรักษาระดับการเป็นผู้นำด้านการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับของโลกได้

การเคลือบลงยาหรือการลงยาสีร้อน (Vitreous enamel) เป็นเทคนิคไทยโบราณหนึ่งที่น่าสนใจและสามารถนำมาตกแต่งเครื่องประดับให้สวยงาม มีคุณค่าและเป็นการเพิ่มมูลค่าได้เนื่องจากเป็นศิลปะบนเครื่องใช้หรือเครื่องประดับที่แสดงออกถึงเอกลักษณ์ไทย ซึ่งเป็นงานฝีมือที่พัฒนามาจากการทำเครื่องทอง เครื่องเงินในสมัยอยุธยา วิชาช่างที่สืบทอดกันมาหลายร้อยปี ความ

วิจิตรบรรจงของเส้นสายลายไทย แต่งแต้มด้วยยา สีหลากหลายสันทัดกับจินตนาการอันไร้ขอบเขตของช่างฝีมือไทย ช่วยเพิ่มคุณค่า ความมีชีวิตชีวา สร้างความงดงามอย่างมีศิลปะบนเครื่องใช้หลากหลายชนิด ทำให้เครื่องประดับยางาสีร้อน กลายเป็นชิ้นงานที่มีคุณค่าควรค่าแก่การครอบครอง จึงเป็นงานศิลปหัตถกรรมที่สร้างความประทับใจให้กับผู้มาเยือนชาวต่างชาติได้เสมอ (เครื่องลงยาสี, 2549) แต่ในปัจจุบันนี้ ตลาดการค้าธุรกิจเครื่องประดับในประเทศไทย รวมทั้งในจังหวัดจันทบุรีที่เป็นจังหวัดศูนย์การค้าพลอยและเครื่องประดับของประเทศไทย และกำลังก้าวสู่การเป็นนครอัญมณีโลก ยังพบเห็นเครื่องประดับจากเทคนิคการลงยาสีร้อนอยู่น้อยมาก อาทิ เครื่องประดับยางาสีร้อนสีน้ำเงิน สีแดง และสีเขียว เนื่องจากประเทศไทยยังคงมีข้อจำกัดด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเครื่องประดับด้วยเทคนิคการลงยาสีร้อน ด้วยเหตุที่ยาสีร้อนมีราคาสูงมาก เพราะนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น

จากโครงสร้างทางธรณีวิทยาของจังหวัดจันทบุรีที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดแร่ธาตุหลายประเภท จึงทำให้จังหวัดจันทบุรีมีความสมบูรณ์ทางด้านแร่ธาตุและแร่รัตนชาติหลายชนิด โดยแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ แร่ทรายแก้ว พบที่ตำบลคลองขุด และตำบลสนามไชย อำเภอนายายอาม หินอ่อนพบที่ตำบลทุ่งขาน อำเภอสอยดาว แร่ควอตซ์และแร่ดินขาวพบที่ตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่ นอกจากนี้ จังหวัดจันทบุรียังเป็นแหล่งกำเนิดแร่รัตนชาติ ซึ่งเป็นพลอยหลากสีอีกแห่งหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นพลอยสีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีขาว โดยพบที่ตำบลบางกะจะ อำเภอเมืองจันทบุรี และโดยเฉพาะพลอยสีแดงหรือทับทิมสยาม พบที่ตำบลเขาหัว อำเภอท่าใหม่ ตำบลบ่อเวฬุ และตำบลดงพรม อำเภอขลุง (ธรรมชาติวิทยา สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดจันทบุรี, 2563)

จากที่มาและความสำคัญข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการประดิษฐ์ยาสีร้อน

สีเขียว ซึ่งเป็นหนึ่งในสีหลักสำหรับงานเครื่องประดับยางาสีร้อน โดยจะใช้วัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา ภายในประเทศ จากแหล่งแร่ควอตซ์ (Quartz) ในตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี เพื่อให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นแก้ว ก่อนจะนำไปดัดเป็นยางาสีร้อน โดยจะประดิษฐ์เป็นยางาสีร้อนสีเขียวที่มีเฉดสีเทียบเคียงหรือเฉดสีเขียวใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ประกอบการ ร้านค้าและชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดจันทบุรี สามารถหาซื้อยางาสีร้อนได้สะดวก และสนับสนุนให้มีการผลิตเครื่องประดับที่มีความเป็นเอกลักษณ์จากเทคนิคการลงยาสีร้อนตามความต้องการความโดดเด่นในรูปลักษณ์ที่แปลกใหม่ เพื่อพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทยในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและค้นคว้าสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวที่มีเฉดสีเทียบเคียงหรือเฉดสีเขียวใหม่ ขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางความร้อนของยางาสีร้อนสีเขียวนำเข้าจากต่างประเทศ
2. เพื่อศึกษาและประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวนำเข้าจากแหล่งวัตถุดิบแร่ควอตซ์ภายในประเทศ
3. เพื่อศึกษาผลการเคลือบลงยาสีร้อนสีเขียวนำเข้าจากต่างประเทศและยาสีร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ได้

กรอบแนวคิดการวิจัย

สำหรับกรอบแนวคิดที่ใช้ เป็นกรอบแนวทางในการดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาและค้นคว้าสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมในการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวนำเข้ามาใช้เองภายในประเทศ โดยใช้วัตถุดิบหลัก ซิลิกา ที่เป็นส่วนทำให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นแก้ว จากแร่ควอตซ์ที่ได้จากแหล่งตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่

จังหวัดจันทบุรี โดยจะเริ่มจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางความร้อนของยาสิร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อจะได้วิเคราะห์สมบัติและนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการค้นคว้าหาสัดส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม และนำข้อมูล

ดังกล่าวไปประยุกต์ในการประดิษฐ์ยาสิร้อนสีเขียวให้ได้เจดสีเทียบเคียงหรือเจดสีเขียวใหม่ เพื่อค้นหาสูตรที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์เป็นยาสิร้อนสีเขียวสำหรับงานเครื่องประดับ โดยสรุปกรอบแนวคิดการวิจัยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการดำเนินการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ในการวิจัยเกี่ยวกับยาสิร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ และยาสิร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ขึ้นเองภายในประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้สำหรับสร้างสีสนบนตัวเรือนเครื่องประดับด้วยเทคนิคการลงยาสิร้อน
2. เพื่อสนับสนุนให้เกิดการสร้างสรรคเครื่องประดับที่ใช้เทคนิคการลงยาสิร้อนสีเขียว เนื่องจากสามารถประดิษฐ์ยาสิร้อนสีเขียวใช้เองภายในประเทศ รวมทั้งสามารถใช้ทรัพยากรภายในประเทศหรือท้องถิ่นที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาและทดลองกระบวนการประดิษฐ์ยาสิร้อนสีเขียวสำหรับงานเครื่องประดับจากการใช้วัตถุดิบหลัก ซิลิกาจากแร่ควอตซ์ ที่เป็นสารทำให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นแก้วจากแหล่งตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี โดยจะเริ่มจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางความร้อนของยาสิร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อจะได้วิเคราะห์สมบัติและนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการค้นคว้าหาสัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นที่เหมาะสมในการประดิษฐ์ยาสิร้อนสีเขียวให้ได้เจดสีเทียบเคียงหรือเจดสีเขียวใหม่ ที่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์เป็นยาสิร้อนสีเขียวสำหรับงาน

เครื่องประดับ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยบริษัท รจนาเจียรไน จังหวัดจันทบุรี

1.1 สมบัติทางกายภาพ เช่น สี ลักษณะภายนอกที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

1.2 สมบัติทางเคมี เช่น องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence (XRF)) โดยใช้เครื่องมือ Energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy รุ่น JEOL-JSX3400R

1.3 สมบัติทางความร้อน เช่น อุณหภูมิ การเปลี่ยนโครงสร้างแก้ว อุณหภูมิจุดอ่อนตัว และอุณหภูมิหลอมเหลว เป็นต้น ด้วยเทคนิคการ

วิเคราะห์ทางความร้อนแบบอนุพันธ์ของอุณหภูมิ (Differential thermal analysis (DTA/DSC)) จากการใช้เครื่อง Rigaku Thermo plus EVO2 รุ่น TG-DTA8122

2. ศึกษาและค้นคว้าสัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียว

จากการศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (กมลพรรณ เฟื่องพัด และอโนชา หมั่นภักดี, 2558) และข้อมูลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และการวิเคราะห์ทางความร้อนของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ได้ข้อมูลของวัตถุดิบตั้งต้นและการปรับสัดส่วนของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรและสัดส่วนสารตั้งต้นที่แตกต่างกันในการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียว

สูตรที่	วัตถุดิบตั้งต้นในการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียว (%w/w)					
	Pb ₃ O ₄ ความบริสุทธิ์ 95%	SiO ₂ ความบริสุทธิ์ 99%	Fe ₂ O ₃ ความบริสุทธิ์ 95%	Cr ₂ O ₃ ความบริสุทธิ์ 95%	CuO ความบริสุทธิ์ 95%	CoO ความบริสุทธิ์ 95%
1	73.214	22.229	0.193	0.650	3.715	-
2	76.038	23.087	0.200	0.675	-	-
3	76.207	23.138	-	0.634	-	0.021
4	76.054	23.092	0.200	0.633	0	0.021
5	73.692	22.374	0.194	0	3.739	-
6	74.453	22.605	0.196	0	2.746	-
7	73.437	22.297	0.193	0	4.072	-

3. ขั้นตอนการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวด้วยเทคนิคกระบวนการหลอมแก้วแบบดั้งเดิม (Conventional glass melting)

1. ผสมวัตถุดิบตั้งต้นในปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ลงในถ้วยหลอมอะลูมินา ขนาดความกว้าง 7.7 cm และความสูง 7.2 cm

2. นำถ้วยอะลูมินาที่ผสมวัตถุดิบตั้งต้นเรียบร้อยแล้ว เข้าเตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง และ

หลอมวัตถุดิบตั้งต้นที่อุณหภูมิ 1,400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที

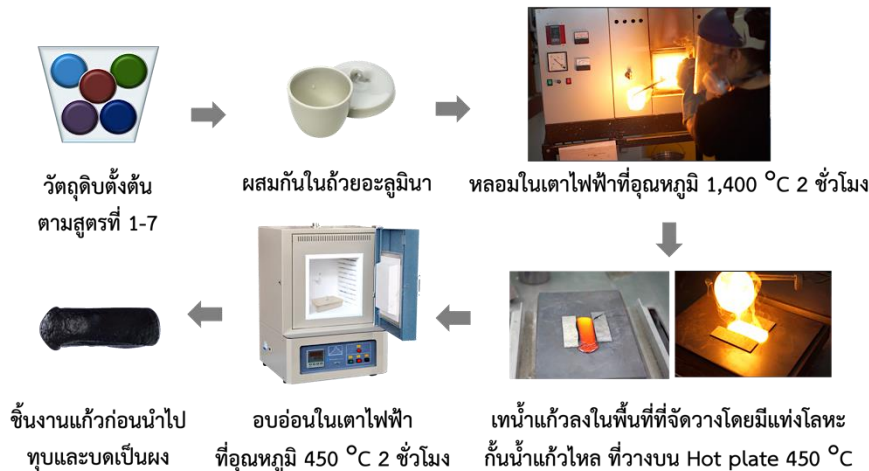
3. ใช้คีมคีบถ้วยหลอมอะลูมินาออกจากเตาเผา และเทน้ำแก้วลงในพื้นที่ที่จัดวางให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีแท่งโลหะกั้นน้ำแก้วไหล ซึ่งวางอยู่บนแผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 450 °C

4. รอให้น้ำแก้วฟอรมตัวเป็นแท่งแก้ว แล้วนำแท่งแก้วไปอบอ่อน (Annealing) ในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำ

แท่งแก้วออกจากเตา เพื่อเตรียมนำไปทุบและบดเป็นผงยาสีร้อน โดยแผนภาพแสดงขั้นตอนการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวด้วยกระบวนการหลอมแก้วแบบดั้งเดิม แสดงได้ดังภาพที่ 2

3. ขั้นตอนการเตรียมผงยาสีร้อนสีเขียว และการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะ

1. นำแท่งแก้วที่ผ่านการอบอ่อนจากสูตรการหลอมวัตถุดิบที่แตกต่างกัน มาทุบและบดให้เป็นผงละเอียด โดยการบดด้วยโม่ร่งบดสาร (Agate mortar and pestle)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการหลอมวัตถุดิบตั้งต้นในเตาเผาอุณหภูมิสูงและการอบอ่อนแท่งแก้ว

3. นำแผ่นโลหะทองแดงที่โรยด้วยผงยาสีร้อนทั่วทั้งแผ่น วางบนแท่นขาตั้งสำหรับการเคลือบผงยาสีร้อนโดยเฉพาะ จากนั้นใช้ปืนพ่นไฟ จำนวน 2 ตัว ให้ความร้อนผ่านด้านบริเวณด้านล่างของแผ่นโลหะทองแดง โดยแผ่นทองแดงจะนำความร้อนไปสู่ผงยาสีร้อน เพื่อให้ผงยาสีร้อนเกิดการหลอมละลาย และเคลือบบนแผ่นโลหะทองแดง

4. รอให้ยาสีร้อนที่เคลือบบนแผ่นโลหะทองแดงเย็นตัว ประมาณ 5-10 นาที จะเห็นลักษณะเฉดสีของยาสีร้อนที่เคลือบบนแผ่นโลหะทองแดง

โดยแท่นขาตั้งสำหรับการเคลือบผงยาสีร้อนและการให้ความร้อนเพื่อเคลือบผงยาสีร้อนบนแผ่นโลหะทองแดง แสดงได้ดังภาพที่ 3

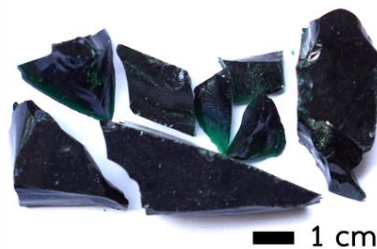


ภาพที่ 3 ขาดังสำหรับการเคลือบลงยาสีร้อนและการให้ความร้อนเพื่อเคลือบลงยาสีร้อน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยบริษัท รจนาเจียรไน จังหวัดจันทบุรี

1.1 สมบัติทางกายภาพ จากการตรวจสอบลักษณะภายนอกของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่ายาสีร้อนสีเขียวมีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างหนาและมีสีเข้ม เนื้อสีมีความสม่ำเสมอทั้งก้อน พื้นผิวมีความขรุขระเล็กน้อยจากการแตกของก้อนยาสี ก้อนยาสีมีรูพรุนต่ำ มีความแวววาว

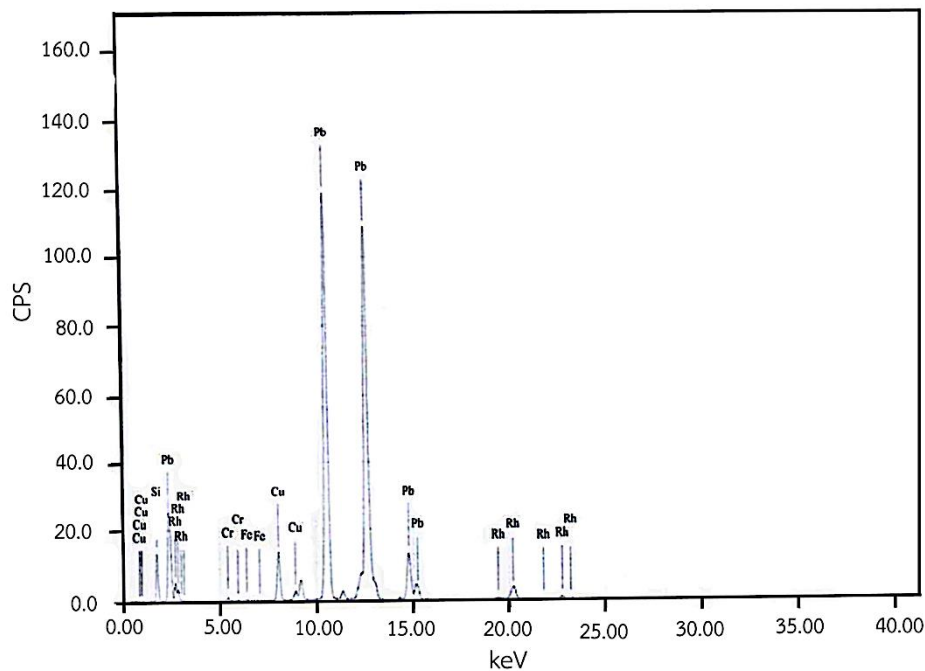


(Lustrous) คล้ายแก้ว ดังแสดงในภาพที่ 4 (ซ้าย) และเมื่อนำก้อนยาสีร้อนไปผ่านการบดด้วยโม่บดสารให้เป็นผงละเอียด พบว่าผงของยาสีร้อนจะมีลักษณะเป็นสีเขียวอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 4 (ขวา)

1.2 องค์ประกอบทางเคมี ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ แสดงได้ภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ลักษณะของก้อนยาสีร้อนสีเขียว (ซ้าย) และผงบดละเอียด (ขวา) ที่นำเข้ามาโดย บริษัท รจนาเจียรไน



ภาพที่ 5 รูปแบบของพีค EDXRF ของผงยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

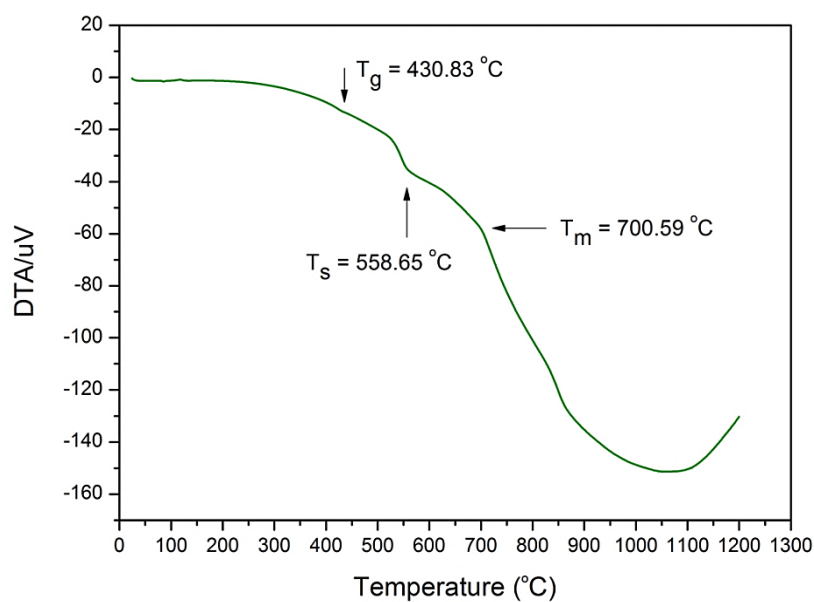
โดยการตรวจสอบจะเป็นการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุในรูปของสารประกอบออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของยาสีร้อน ในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก/น้ำหนัก (%w/w) ซึ่งพิกที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นผลการตรวจจับค่าพลังงานหรือความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์และความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุที่มีอยู่ในองค์ประกอบของชิ้นงานทดสอบ ผลการตรวจสอบพบว่า ยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีตะกั่วออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก มากกว่า 70 %w/w จึงจัดได้ว่ายาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศเป็นแก้วตะกั่ว (ปริมาณตะกั่วออกไซด์มากกว่า 24 %w/w) และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวฟอร์มเมอร์หรือตัวที่ทำให้เกิดเป็นแก้ว และพบโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เป็นสารทำหน้าที่ให้สีเขียว รวมทั้งมีองค์ประกอบของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งมีหน้าที่เป็นสารช่วยพัฒนาให้เกิดสีในแก้ว จึงทำให้ยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศมีสีเขียวเข้ม และเมื่อบดละเอียดให้เป็นผง ผงยาสีร้อนยังคงมีลักษณะเป็นสีเขียว สำหรับพิกของธาตุโรเดียม (Rh) ที่ปรากฏขึ้นจากการวิเคราะห์นั้น เกิดจาก Rh-target X-ray tube ของเครื่องมือ ทั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่ายาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย ตะกั่ว (PbO) 73.6 %w/w ซิลิกา (SiO_2) 21.9 %w/w เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) 0.19 %w/w โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) 0.64 %w/w และ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) 3.66 %w/w ซึ่งจากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าว จึงเป็นข้อมูลนำไปสู่การเตรียมและปรับสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นในการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวที่แสดงดังตารางที่ 1

1.3 สมบัติทางความร้อน สำหรับผลการ

ตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของยาสีร้อนสีเขียวแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าเกิดพิก 2 จุด ที่แสดงการคายพลังงาน (Exothermic) ของยาสีร้อนสีเขียว โดยพิกที่ 1 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ $430.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ พิกที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงถึงอุณหภูมิการเปลี่ยนโครงสร้างแก้ว (T_g) และพิกที่ 2 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ $558.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงอุณหภูมิจุดอ่อนตัว (Softening point: T_s) ของยาสีร้อนสีเขียว นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์พบพิกที่แสดงการดูดพลังงาน (Endothermic) ของยาสีร้อนสีเขียว ณ อุณหภูมิประมาณ $700.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ พิกที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงถึงอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของยาสีร้อนสีเขียว ดังนั้น จากผลการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบอ่อน สำหรับการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยในการวิจัยครั้งนี้จะเลือกใช้อุณหภูมิอบอ่อนที่ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ อ้างอิงจากข้อมูลการวิเคราะห์ทางความร้อน และการประยุกต์ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (กมลพรรณ เฟื่องพัด และอนิชา หมั่นภักดี, 2556)

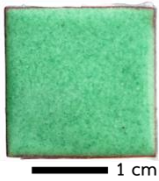
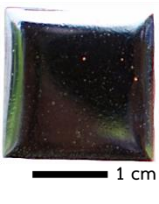
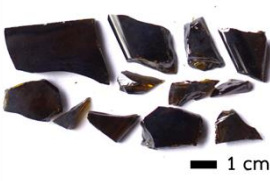
2. ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวด้วยกระบวนการหลอมแก้วแบบดั้งเดิมและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง

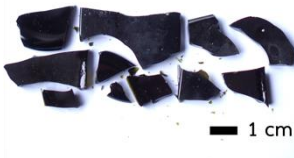
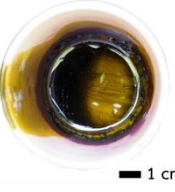
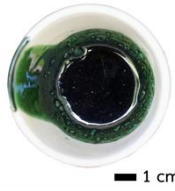
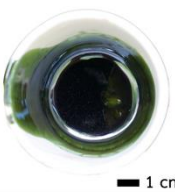
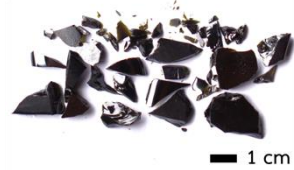
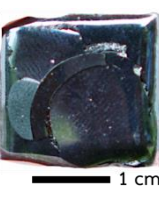
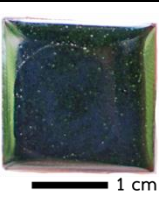
จากการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวด้วยกระบวนการหลอมแก้วแบบดั้งเดิม ด้วยส่วนผสมวัตถุดิบตั้งต้นในปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังส่วนผสมในตารางที่ 1 นั้น ลักษณะของเนดสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินา ชิ้นงานยาสีร้อนสีเขียว ผงยาสีร้อนสีเขียวบดละเอียด และลักษณะเนดสีของยาสีร้อนหลังเคลือบลงบนแผ่นโลหะทองแดงแสดงให้เห็นได้ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉดสีของยาสีร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ได้และเฉดสีของยาสีร้อนหลังเคลือบลงบนแผ่นโลหะทองแดง

สูตร ที่	สีของยาสีร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ได้			
	สีที่ปรากฏในถ้วย อะลูมินา	สีที่ปรากฏในชิ้นงานหลังการ ทุบเพื่อเตรียมบด	สีของชิ้นงานที่บด เป็นผง	สีของยาสีร้อนหลัง การเคลือบลงบน แผ่นโลหะทองแดง
	ยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจาก ต่างประเทศ	 1 cm	 1 cm	 1 cm
1	 1 cm	 1 cm	 1 cm	 1 cm
2	 1 cm	 1 cm	 1 cm	 1 cm

สูตร ที่	สีของยาสีร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ได้			
	สีที่ปรากฏในถ้วย อะลูมินา	สีที่ปรากฏในชิ้นงานหลังการ ทุบเพื่อเตรียมบด	สีของชิ้นงานที่บด เป็นผง	สีของยาสีร้อนหลัง การเคลือบลงบน แผ่นโลหะทองแดง
3				
4				
5				
6				
7				

2.1 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อน สีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงาน โลหะทองแดง สูตรที่ 1

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 1 จะใช้สัดส่วนวัตถุดิบอ้างอิงตามองค์ประกอบทางเคมีของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งผลการทดลองพบว่าเฉดสีเขียวที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเขียวเข้มคล้ายสีเขียวขี้ม้า เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าชิ้นงานยาสีร้อน สูตรที่ 1 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบ

แสง ไม่สามารถมองเห็นได้ว่าเป็นสีเขียว แต่หลังจากนำไปบดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 1 จะปรากฏเป็นสีเขียวขี้ม้าอ่อน และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 1 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้อย่างเรียบเนียน และเมื่อเย็นตัว ยาสีร้อนที่เคลือบบนแผ่นทองแดงจะปรากฏเป็นสีเข้มมาก และทึบแสง โดยไม่มีการแตกร้าวหรือหลุดออกจากแผ่นทองแดง

2.2 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 2

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 2 จะมีการปรับสัดส่วนวัตถุดิบ ซึ่งจะไม่ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ โดยสันนิษฐานว่าการผสมเฉพาะโครเมียมออกไซด์จะสามารถให้สีเขียวที่มีความสว่างมากกว่าสูตรที่ 1 โดยผลการทดลองพบว่า โครเมียมออกไซด์ยังคงไม่สามารถสร้างเฉดสีเขียวให้กับแก้วได้ ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าชิ้นงานยาสีร้อนสูตรที่ 2 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง แต่จะเห็นเป็นสีเหลืองอมน้ำตาล แต่หลังจากนำไปดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 2 จะปรากฏเป็นสีเหลืองอ่อน และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 2 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้ โดยผิวยาสีร้อนที่เคลือบจะปรากฏสีเหลืองหม่น แต่ระหว่างการเย็นตัวยาสีร้อนจะเกิดการร้าวและแตกออกจากชั้นของแผ่นยาสีร้อนที่เคลือบ

2.3 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 3

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 3 จะมีการปรับสัดส่วนวัตถุดิบจากการประยุกต์ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (กมลพรรณ เฟื่องพิต และอโนชา หมั่นภักดี, 2556) โดยการใช้โครเมียมออกไซด์ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสีเขียวให้กับแก้ว โดยจะไม่ผสมเหล็กออกไซด์ โดยผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของโครเมียมออกไซด์ผสมกับโคบอลต์ออกไซด์ของสูตรที่ 3 ยังคงไม่สามารถสร้างเฉดสีเขียวให้กับแก้วได้เช่นกัน ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเหลืองเข้มอมน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าชิ้นงานยาสีร้อนสูตรที่ 3 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง ไม่สามารถมองเห็นสีที่ชัดเจนได้ แต่หลังจาก

นำไปดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อนสูตรที่ 3 จะปรากฏเป็นสีเหลืองอมเขียว และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อนสูตรที่ 3 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้ โดยผิวของยาสีร้อนที่เคลือบจะปรากฏสีเหลืองหม่นอมเขียว แต่ระหว่างการเย็นตัวยาสีร้อนจะเกิดการร้าวและแตกออกจากชั้นของแผ่นยาสีร้อนที่เคลือบ เหมือนกับสูตรที่ 2

2.4 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 4

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 4 จะมีการปรับสัดส่วนวัตถุดิบจากสูตรที่ 3 โดยจะเพิ่มเหล็กออกไซด์เป็นส่วนผสม ผลการทดลองพบว่าสูตรที่ 4 ยังคงไม่สามารถสร้างเฉดสีเขียวให้กับแก้วได้ ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเหลืองเข้มอมน้ำตาล คล้ายสูตรที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าชิ้นงานยาสีร้อนสูตรที่ 4 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง แต่เศษเล็ก ๆ ของแก้วทำให้มองเห็นว่าสีของชิ้นงานนั้นเป็นสีเหลืองอมเขียว หลังจากนำไปดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 4 จะปรากฏเป็นสีเหลืองอมเขียว เช่นเดียวกับสีของเศษแก้ว และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 4 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้ โดยผิวยาสีร้อนที่เคลือบจะปรากฏสีเหลืองค่อนข้างน้ำตาล แต่ระหว่างการเย็นตัวยาสีร้อนจะเกิดการร้าวและแตกออกจากแผ่นของยาสีร้อนที่เคลือบ เหมือนกับสูตรที่ 2 และ สูตรที่ 3

2.5 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 5

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 5 จะมีการปรับสัดส่วนวัตถุดิบจากสูตรที่ 1 โดยจะไม่ผสมโครเมียมออกไซด์ จะใช้เหล็กออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสีเขียวให้กับแก้ว ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของเหล็กออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์ สูตรที่ 5

สามารถสร้างเนตตีเขียวให้กับแก้วได้ ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเขียวเข้ม และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าเศษชิ้นงานยาสีร้อนสูตรที่ 5 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง แต่เศษเล็ก ๆ ของแก้วทำให้มองเห็นว่าสีของชิ้นงานนั้นเป็นสีเขียวเข้มเหมือนสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินา หลังจากนำไปบดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 5 จะปรากฏเป็นสีเขียวย่อมน และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 5 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้อย่างเรียบเนียนทั่วทั้งแผ่นทองแดง และเมื่อเย็นตัว ยาสีร้อนที่เคลือบบนแผ่นทองแดงจะปรากฏเป็นสีเขียวเข้ม และไม่มีการร้าว ไม่มีการแตกของชั้นเคลือบยาสีร้อน

2.6 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 6

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 6 จะเป็นการปรับสัดส่วนวัตถุดิบจากสูตรที่ 5 โดยใช้สารตั้งต้นเหมือนกับสูตรที่ 5 แต่จะลดปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ เพื่อต้องการลดความเข้มของสีเขียวของแก้วให้อ่อนลง ผลการทดลองพบว่าการลดปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ สูตรที่ 6 สามารถลดเนตตีเขียวของแก้วให้อ่อนลงได้ ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเขียวย่อนกว่าสูตรที่ 5 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่าเศษชิ้นงานยาสีร้อน สูตรที่ 6 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง และเศษเล็ก ๆ ของแก้วทำให้มองเห็นว่าสีของชิ้นงานนั้นเป็นสีเหลืองอมเขียว คล้ายชิ้นงานยาสีร้อน สูตรที่ 4 ซึ่งสีของเศษชิ้นงานที่ปรากฏจะแตกต่างจากสีเขียวที่มองเห็นในถ้วยอะลูมินา หลังจากนำไปบดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 6 จะปรากฏเป็นสีเหลืองอมเขียว และมีสีที่เข้มกว่า ผงยาสีร้อนสูตรที่ 4 และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 6 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้ โดยผิวยาสีร้อนที่เคลือบจะปรากฏสีเขียวเข้มที่สังเกตเห็นได้ค่อนข้างยาก แต่ระหว่าง

การเย็นตัว ยาสีร้อนจะเกิดการร้าวและแตกออกจากแผ่นของยาสีร้อนที่เคลือบ เหมือนสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4

2.7 ผลการศึกษาการประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวและการเคลือบยาสีร้อนลงบนชิ้นงานโลหะทองแดง สูตรที่ 7

สัดส่วนของวัตถุดิบตั้งต้นของยาสีร้อนสูตรที่ 7 จะเป็นการปรับสัดส่วนวัตถุดิบจากสูตรที่ 5 โดยใช้สารตั้งต้นเหมือนกับสูตรที่ 5 แต่จะเพิ่มปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ สูตรที่ 7 ทำให้แก้วมีสีเขียวเข้มขึ้น ซึ่งสีที่ปรากฏในถ้วยอะลูมินาจะเป็นสีเขียวเข้มมากกว่ายาสีร้อน สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานจะเห็นได้ว่า เศษชิ้นงานยาสีร้อน สูตรที่ 7 จะมีลักษณะเป็นแก้วทึบแสง และไม่สามารถมองเห็นสีที่ชัดเจนได้ หลังจากนำไปบดเป็นผงละเอียด จะพบว่าผงของยาสีร้อน สูตรที่ 7 จะปรากฏเป็นสีเขียวย่อนแต่จะมีความเข้มมากกว่าผงยาสีร้อนจากสูตรที่ 5 และเมื่อนำไปเคลือบบนโลหะทองแดง จะพบว่าผงยาสีร้อน สูตรที่ 7 สามารถหลอมละลายเคลือบบนผิวของแผ่นทองแดงได้อย่างเรียบเนียนทั่วทั้งแผ่น และเมื่อเย็นตัว ยาสีร้อนที่เคลือบบนแผ่นทองแดงจะปรากฏเป็นสีเขียวเข้มมากคล้ายสีของผิวยาสีร้อนที่เคลือบแผ่นทองแดง สูตรที่ 1 แต่สีผิวเคลือบของยาสีร้อน สูตรที่ 7 จะมีความสว่างกว่าสูตรที่ 1 เล็กน้อย นอกจากนี้ ผิวเคลือบยาสีร้อนของสูตรที่ 7 ไม่มีการร้าวและไม่มีการแตกของชั้นเคลือบยาสีร้อน

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้สามารถประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวจากการใช้วัตถุดิบภายในประเทศที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา จากแหล่งแร่ควอตซ์ ในตำบลเขาบายศรี อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ได้สำเร็จ โดยสรุปผลการศึกษาร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีของยาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่ามีตะกั่วเป็นองค์ประกอบหลัก มากกว่า

70 %w/w จึงจัดได้ว่ายาสีร้อนสีเขียวที่นำเข้าจากต่างประเทศเป็นแก้วตะกั่ว และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวฟอร์มเมอร์หรือตัวที่ทำให้เกิดเป็นแก้ว โดยมีโครเมียมออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารทำหน้าที่ให้สีเขียว คณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลดังกล่าวประกอบกับการศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการปรับสูตรและสัดส่วนของวัตถุดิบเพื่อประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวจนมาภายในประเทศ โดยผลการวิจัยสามารถประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียวที่มีเฉดสีเขียวเข้มและสว่างได้จากสัดส่วนวัตถุดิบตั้งต้นสูตรที่ 5 โดยมีเหล็กออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์เป็นตัวให้สีเขียว ทำให้เกิดแก้วที่มีสีเขียวได้ นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาเคลือบลงยาสีร้อนบนแผ่นโลหะทองแดงได้ โดยไม่เกิดการแตกร้าวและไม่หลุดออกจากตัวแผ่นโลหะทองแดง แม้ว่ายาสีร้อนสีเขียวที่ประดิษฐ์ได้จะมีเฉดสีที่เข้มกว่าเฉดสีเขียวของยาสีร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศ แต่ผลการวิจัยนี้สามารถประดิษฐ์ยาสีร้อนสีเขียว

เข้มที่เป็นเฉดสีเขียวทางเลือกให้กับการนำไปประยุกต์สร้างสีสันบนตัวเรือนเครื่องประดับได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวิจัยและพัฒนาสูตรการประดิษฐ์ยาสีร้อนที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยยังคงรักษาสมบัติต่าง ๆ ของยาสีร้อนให้คงเดิม เนื่องจากยาสีร้อนที่นำเข้าจากต่างประเทศมีตะกั่วเป็นองค์ประกอบมากกว่า 70 %w/w ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องประดับลงยาสีร้อน

2. ควรมีการต่อยอดการนำต้นแบบยาสีร้อนสีเขียวที่ผลิตได้ไปทดลองเคลือบลงยาสีร้อนบนแผ่นโลหะเงิน เพื่อเปรียบเทียบเฉดสีของชั้นเคลือบยาสีร้อนสีเขียวที่จะปรากฏบนแผ่นโลหะเงิน เทียบกับการเคลือบยาสีร้อนบนแผ่นโลหะทองแดง

เอกสารอ้างอิง

- กมลพรรณ เพ็งพัด และอโนชา หมั่นภักดี. (2556). รายงานการวิจัย การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแก้วคริสตัลสีแดงด้วยปฏิกิริยารีดักชัน. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- กมลพรรณ เพ็งพัด และอโนชา หมั่นภักดี. (2558). รายงานการวิจัย การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่สำหรับการผลิตแก้วคริสตัลแดงและโลหะผสมซิลเวอร์เคลย์เพื่อใช้งานด้านการประดับตกแต่ง. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- เครื่องลงยาสี. (2549). เครื่องลงยาสีโบราณ (Thai Enamel). สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2563, จาก http://www.thaienamel.com/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=85&lang=th.
- ธรรมชาติวิทยา สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดจันทบุรี. (2563). แร่ธาตุและป่าไม้. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2563, จาก <http://164.115.23.146/chanthaburi/mineral.html>.
- ศูนย์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2563). สถานการณ์ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยเดือนมกราคม-ตุลาคม ปี 2563. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2563, จาก <https://infocenter.git.or.th/storage/files/UwcgoGzDHJJKOoAsYhC28IninfXUHRz54SAks0vd.pdf>.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์. (2563). สรุปภาพรวมการส่งออกไทย 2020. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2563, จาก <https://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomRecode&ImExType=1&Lang=Th>.

Jeanne Werge-Hartley. (2005). **Enamelling on precious metals**. Malaysia: The Crowood Press Ltd.

Karen L. Cohen. (2019). **The art of fine enameling (second edition)**. Landham Maryland, United State: The Rowman & Littlefield Publishing Group, Inc.