

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการฉีดขึ้นรูปเครื่องประดับจากเศษเทียนไขเหลือทิ้งที่เดิมกรดสเตียริก

ภัทรบดี พิมพิกิ* และ เวณิกา เทียมทัน

สาขาวิชาอัญมณีศาสตร์ คณะอัญมณีศาสตร์และประยุกต์ศิลป์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

cc.pimki@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของเศษเทียนไขเหลือทิ้งเพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูปเครื่องประดับ โดยปรับสมบัติด้วยการเดิมกรดสเตียริก ในปริมาณ 20 กรัม 25 กรัม และ 35 กรัม ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม จากนั้นนำแม่พิมพ์ซิลิโคนรูปทรงแหวนเกลี้ยงฉีดเทียนไขหลอมเหลวผสมกรดสเตียริก ในปริมาณต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85, และ 90 องศาเซลเซียส ควบคุมความดันที่ 10 บาร์ ผลการศึกษาพบว่าเศษเทียนไขผสมกรดสเตียริกปริมาณ 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดเทียนมากที่สุด มีความสมบูรณ์ของรูปร่างรูปทรงและมีผิวที่เรียบเนียนมาก พบรูพรุนเล็กน้อย โดยสามารถนำสภาวะดังกล่าวไปพัฒนาและต่อยอดเพื่อผลิตต้นแบบจากเศษเทียนไขเหลือทิ้งให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตเครื่องประดับจากการนำเศษเทียนไขเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ให้เกิดประสิทธิภาพอย่างสูงสุด

คำสำคัญ: การเดิมกรดสเตียริกในเทียนไข, เศษเทียนไขเหลือทิ้ง, การฉีดขึ้นรูป, เครื่องประดับ

บทนำ

การทำต้นแบบด้วยซีฟิ่งเป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์ เพราะสามารถขึ้นรูปได้ง่ายรวดเร็วกว่าการขึ้นต้นแบบด้วยโลหะ ซึ่งการทำต้นแบบด้วยวิธีนี้ต้องต่อด้วยกระบวนการหล่อ โดยงานหล่อจะเรียกต้นแบบซีฟิ่งนี้ว่า กระสวนซีฟิ่ง แต่ในวงการอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเรียกต้นแบบซีฟิ่งที่ได้จากการหล่อซีฟิ่งจากแม่พิมพ์ว่า ต้นแบบเทียน จากนั้นจึงนำต้นแบบเทียนแต่ละชิ้นมาประกอบกันเป็นต้นเทียนเพื่อเตรียมไว้ในกระบวนการหล่อเครื่องประดับเพื่อให้เป็นตัวเรือนโลหะต่อไป

ความหมายของซีฟิ่ง (Wax) หรือเทียน หมายถึง สารอินทรีย์ของสารผสมหรือสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถกลายเป็นของแข็งในอุณหภูมิห้องและมีส่วนประกอบของไขมันและน้ำมัน ซีฟิ่งมีสมบัตินำความร้อนต่ำ และระบายความร้อนได้ดี ซีฟิ่งจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ซีฟิ่งสำหรับหล่อกระสวนซีฟิ่งหรือหล่อเทียน และซีฟิ่งสำหรับปั้นแกะสลักขึ้นรูปหรือแกะ แก๊วกซ์ กระบวนการฉีดเทียนสร้างต้นแบบ ประกอบด้วยเทียนกับแม่พิมพ์ที่ทำจากยางหรือซิลิโคน โดยเทียนสำหรับฉีดเทียนเข้าไปในแม่พิมพ์ เทียนต้องมีคุณสมบัติแข็งตัวเร็วรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเผาไหม้ต้องเหลือเศษซีฟิ่งไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ ขยายตัวไม่เกิน 0.6 เปอร์เซ็นต์ จุดหลอมเหลว 60 องศาเซลเซียส โดยเทียนที่ใช้มีหลายสี หลายราคาขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเทียน เช่น มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อหลอมเหลวแล้วมี การไหลตัวดี เมื่อแข็งตัวมีเนื้อเดียวกันผิวเรียบ และเมื่อเทียนเย็นตัวลงจะได้แบบเทียนที่มีขนาด รูปร่างและลวดลายเหมือนกับต้นแบบตัวเรือนทุกประการ เทียนหรือซีฟิ่งที่ใช้ต้องมีความเหนียว ไม่กรอบแตกง่าย มีการหดตัวต่ำ เทียนที่ดีควรมีอายุการใช้งานยาวนานและมียืดหยุ่นสูง สามารถถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย [1]

เทียนที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับมีราคาสูงค่อนข้าง ดังนั้นจึงมีความสนใจนำเศษเทียนไขที่เหลือทิ้งมาทดแทนแต่มีข้อเสียที่เทียนไขแข็งตัวช้าและนำเทียนไขออกจากแม่พิมพ์ทำได้ยากจึงทำให้เทียนไขที่ได้เสียรูปร่าง มีครีบมาก ผิวไม่เรียบเนียนเนื้อเทียนมีความเปราะ แตกง่าย และเมื่อเดิมกรดสเตียริก แอซิด (Stearic Acid) ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหล และช่วยให้การอัดขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายขึ้น อีกทั้งเทียนไขที่ได้ไม่ติดแม่พิมพ์สามารถแกะออกได้ง่ายขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอัตราส่วนในการเดิมสเตียริก แอซิดในเทียนไข และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดเทียนเพื่อให้ต้นแบบเทียนมีคุณภาพดีสามารถเข้า

กระบวนการหล่อต่อไปได้ ซึ่งผลจากการทำวิจัยนี้จะสามารถเป็นแนวทางในการช่วยลดต้นทุนในการผลิต และเป็นการนำเศษเทียนไข
นำกลับมาใช้ใหม่

วิธีการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการฉีดเทียน คุณสมบัติของเทียน (Injection Wax) ที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ และ
คุณสมบัติของเทียนไขโดยการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ โดยการศึกษาค้นคว้าตำรา เอกสารทางวิชาการ ข้อมูลทาง
อินเทอร์เน็ต

2. ศึกษาอัตราส่วนเศษเทียนไขเหลือทิ้งกับสารสเตียริกที่ 20, 25, และ 30 กรัม ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม และอุณหภูมิที่ใช้
ในการฉีดเทียน ดังนี้ 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูป มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ทำการกรองสิ่งสกปรกออกจากเศษเทียนไขเหลือทิ้งโดยการละลายเศษเทียนไขในหม้อต้ม และกรองด้วยผ้าขาวบาง
สะอาดเพื่อกรองสิ่งสกปรก จากนั้นผสมกรดสเตียริก ตามอัตราส่วนสูตร A กรดสเตียริก 20 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม, สูตร B กรด
สเตียริก 25 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม, สูตร C สารสเตียริก 30 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม

2.2 นำเทียนทั้งสามสูตรมาฉีดเข้ากับแม่พิมพ์ซิลิโคนที่ภายในเป็นรูปแหวนเกลี้ยงทดลองฉีดเทียนไขหลอมเหลวที่อุณหภูมิ
70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส ควบคุมความดันที่ 10 บาร์ โดยทำการทดลองฉีดเป็นจำนวน 10 ครั้ง ต่อ 1 อุณหภูมิ

2.3 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของต้นแบบจากเศษเทียนไขเหลือทิ้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope, LM)
Olympus รุ่น SZ61 เพื่อศึกษาลักษณะเบื้องต้นของชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูป ได้แก่ ความเรียบเนียน, การเกิดรูพรุน, และการเกิดครีบก

2.4 ศึกษาการหดตัวของเทียนหลังการฉีดขึ้นรูปของทั้ง 3 สูตร ด้วยเครื่องเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ แบบดิจิตอล โดยวัดความ
กว้างหน้าแหวนของเทียนรูปแหวนเกลี้ยง เปรียบเทียบกับต้นแบบโลหะที่ใช้ทำแม่พิมพ์ซิลิโคน ที่มีขนาดหน้ากว้าง 4.20 มิลลิเมตร

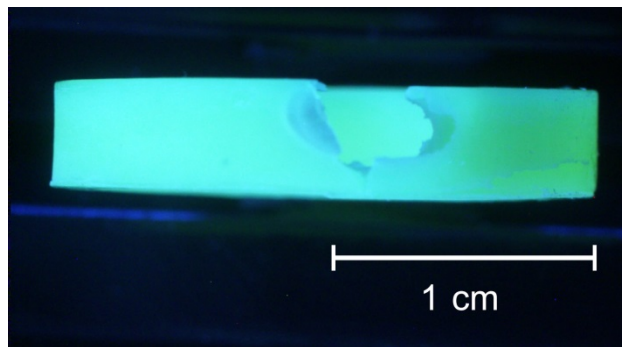
ผลและอภิปรายผล

1. จากการศึกษาคุณสมบัติของเทียน (Injection Wax) ที่ใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปเครื่องประดับพบว่า มีจุดหลอมเหลว
ประมาณ 68-72 องศาเซลเซียส เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการฉีดเทียนจะใช้ความดันที่ 10 บาร์ในการฉีด

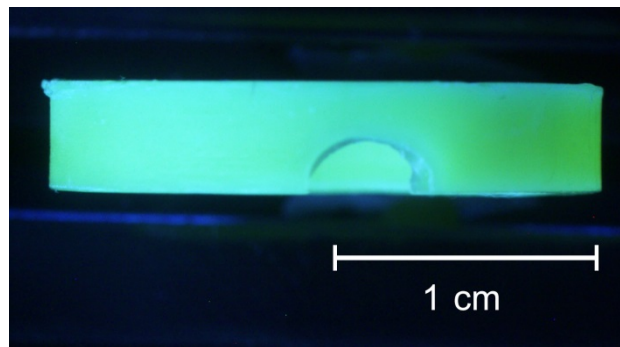
เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติของเศษเทียนไขพบว่า มีจุดหลอมเหลวประมาณ 40-50 °C เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองนำเข้าสู่
กระบวนการฉีดเทียนโดยใช้ความดันที่ 10 บาร์ในการฉีดโดยอ้างอิงจากกระบวนการฉีดเทียน ซึ่งหลังจากฉีดเนื้อเทียนไขหลอมเหลว
เข้าสู่แม่พิมพ์และปล่อยให้เนื้อเทียนเย็นตัวลง พบว่าเนื้อเทียนมีความเปราะ แตกง่าย ยากต่อการแกะออกจากแม่พิมพ์ เมื่อ
ทำการศึกษารายละเอียดประกอบของเทียนพบว่า กรดสเตียริก (Stearic Acid) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากไขมันและน้ำมันจากสัตว์ เป็นผลิตภัณฑ์
ไขมัน มีจุดหลอมเหลวประมาณ 70 °C คือ ส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้เนื้อเทียนแข็งขึ้น และทำให้เทียนหลุดออกจากแม่พิมพ์
ง่าย โดยใช้อัตราส่วนประมาณ 2% ต่อน้ำหนักเทียน

2. จากการทดลองโดยการผสมกรดสเตียริก ตามอัตราส่วนสูตร A สารสเตียริก 20 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม, สูตร B กรด
สเตียริก 25 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม, สูตร C สารสเตียริก 30 ต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม และนำแม่พิมพ์ซิลิโคนรูปแหวนเกลี้ยง
ทดลองฉีดเทียนไขหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 70, 75, 80, 85, และ 90 องศาเซลเซียส

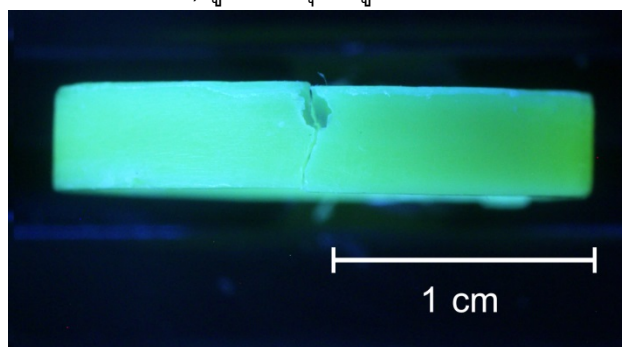
สูตร A เศษเทียนไขที่ผสมกรดสเตียริก 20 กรัมต่อกิโลกรัม อุณหภูมิ 70°C และ 75 °C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหัก
เกือบทุกชิ้นงาน คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน เกิดครีบกขนาดเล็กบริเวณรอยต่อของแม่พิมพ์ยาง เกิดรูพรุน
ภายในขนาด 5-6 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ก) และ ข) ที่อุณหภูมิ 80°C และ 85 °C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักบางส่วน คิดเป็น
50 เปอร์เซ็นต์ ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน พบครีบกมีขนาดเล็ก และปริมาณน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ และรูพรุนที่พบมีขนาด 1-
2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ค) และ ง) ที่อุณหภูมิ 90°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักน้อยที่สุดคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้น
รูป ในกลุ่มสูตร A มีผิวที่เรียบเนียน และพบรูพรุนขนาด 0.10-0.50 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ
อื่นของสูตร A ดังรูปที่ 1 จ)



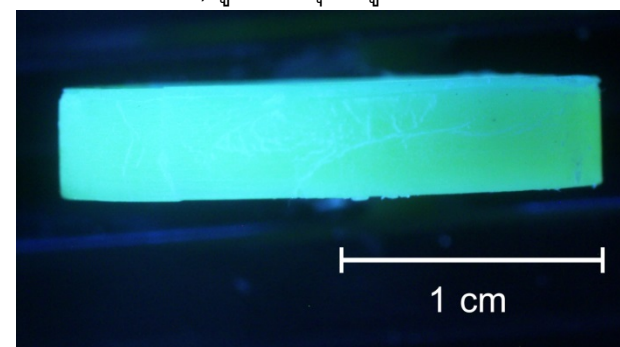
ก) สูตร A ที่อุณหภูมิ 70 °C



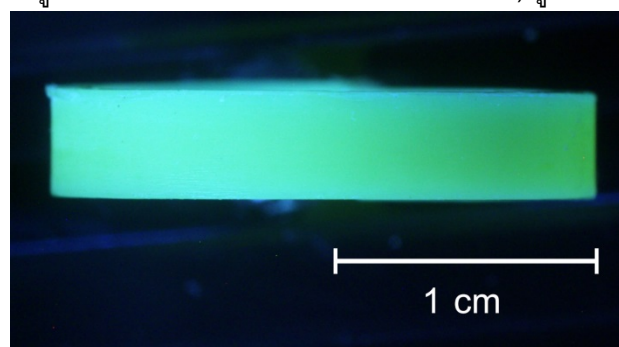
ข) สูตร A ที่อุณหภูมิ 75 °C



ค) สูตร A ที่อุณหภูมิ 80 °C



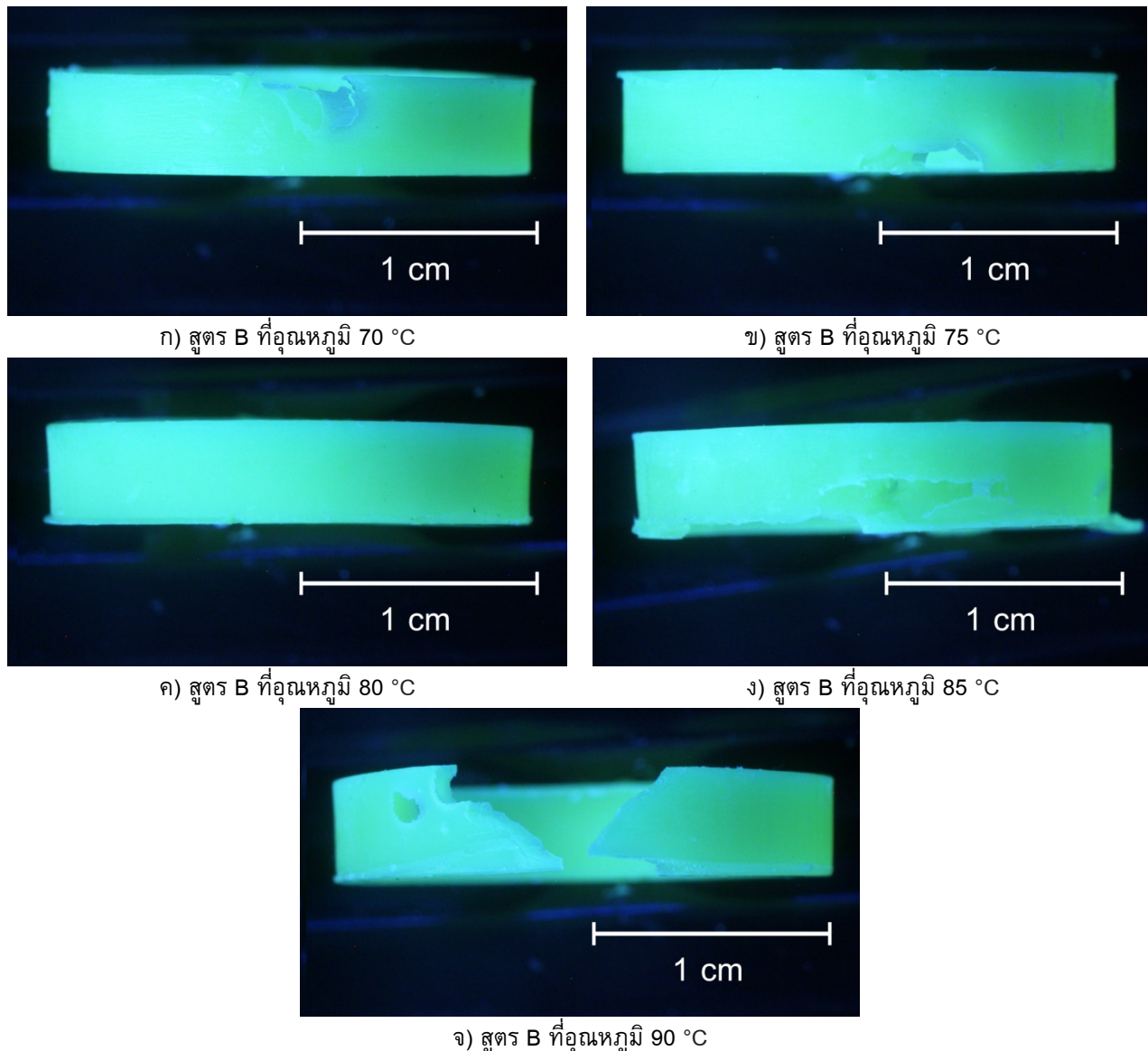
ง) สูตร A ที่อุณหภูมิ 85 °C



จ) สูตร A ที่อุณหภูมิ 90 °C

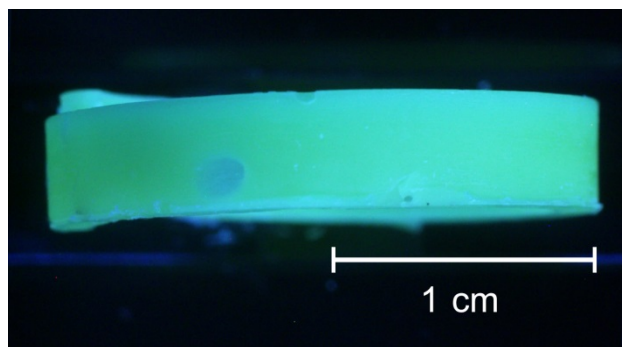
รูปที่ 1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงต้นแบบเทียนไขสูตร A ที่อุณหภูมิ ก) 70 °C, ข) 75 °C, ค) 80 °C, ง) 85 °C และ จ) 90 °C

สูตร B เศษเทียนไขที่ผสมกรดสเตียริก 25 กรัมต่อกิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักเกือบทุกชิ้นงาน คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน เกิดครีบขนาดเล็กบริเวณรอยต่อของแม่พิมพ์ยาง เกิดรูพรุนภายในขนาด 8-9 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 ก) ที่อุณหภูมิ 75 °C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหัก คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน เกิดครีบขนาดเล็ก มีรูพรุนขนาด 5-7 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 ข) ที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักน้อยลง คิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน พบครีบบางขนาดเล็ก และมีปริมาณน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ และรูพรุนที่พบมีขนาดเล็กประมาณ 0.50-1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 ค) ที่อุณหภูมิ 85-90°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักน้อยที่สุดคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป แต่พบรูพรุนขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิอื่นของสูตร B ประมาณ 8-10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 ง) และ จ)

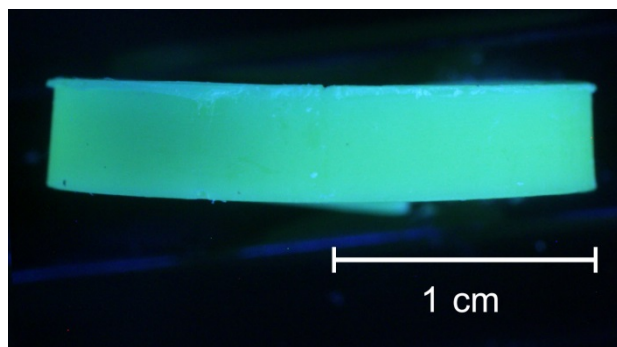


รูปที่ 2 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงต้นแบบเทียนไขสูตร B ที่อุณหภูมิ ก) 70 °C, ข) 75 °C, ค) 80 °C, ง) 85 °C และ จ) 90 °C

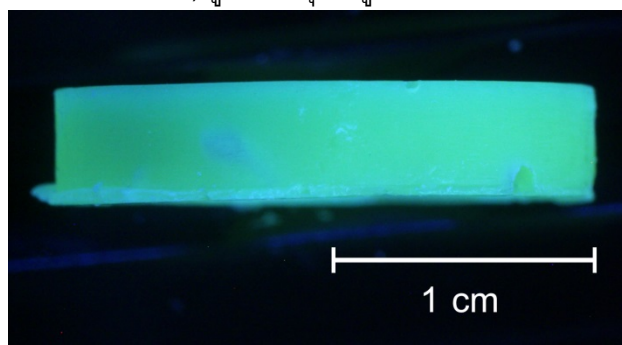
สูตร C เศษเทียนไขที่ผสมกรดสเตียริก 30 กรัมต่อกิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหัก คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน เกิดครีบขนาดเล็กบริเวณรอยต่อของแม่พิมพ์ยาง เกิดรูพรุนภายในขนาด 1-2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 ก) ที่อุณหภูมิ 75°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักบางส่วน คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน พบครีบบริเวณขอบข้างและมีปริมาณมากกว่าอุณหภูมิต่ำ รูพรุนที่พบมีขนาด 1-2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 ข) ที่อุณหภูมิ 80-85°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหักมากที่สุดคิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป พบครีบบริเวณขอบข้าง และพบรูพรุนขนาด 3-5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 ค) และ ง) ที่อุณหภูมิ 90°C พบว่าแหวนต้นแบบเกิดการแตกหัก คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของการฉีดขึ้นรูป ผิวไม่เรียบเนียน เกิดครีบขนาดใหญ่บริเวณขอบข้างแหวนต้นแบบ และเกิดรูพรุนภายในขนาด 8-10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 จ)



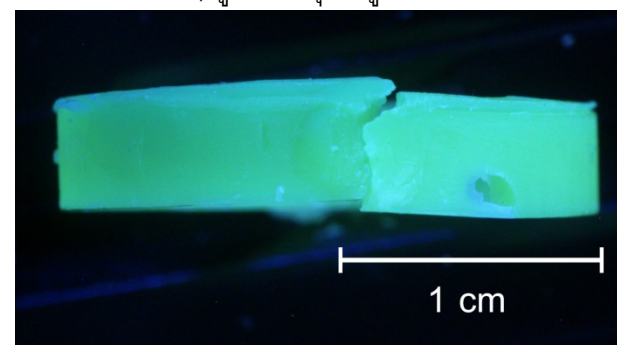
ก) สูตร C ที่อุณหภูมิ 70 °C



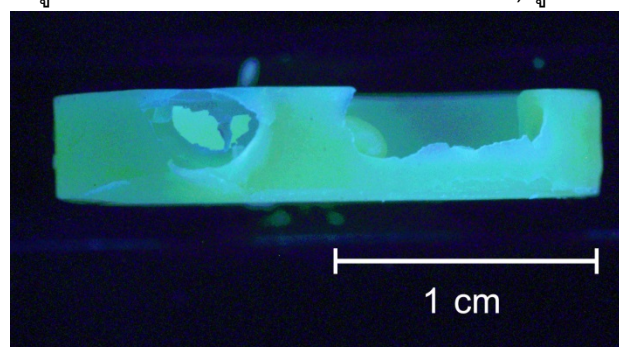
ข) สูตร C ที่อุณหภูมิ 75 °C



ค) สูตร C ที่อุณหภูมิ 80 °C



ง) สูตร C ที่อุณหภูมิ 85 °C

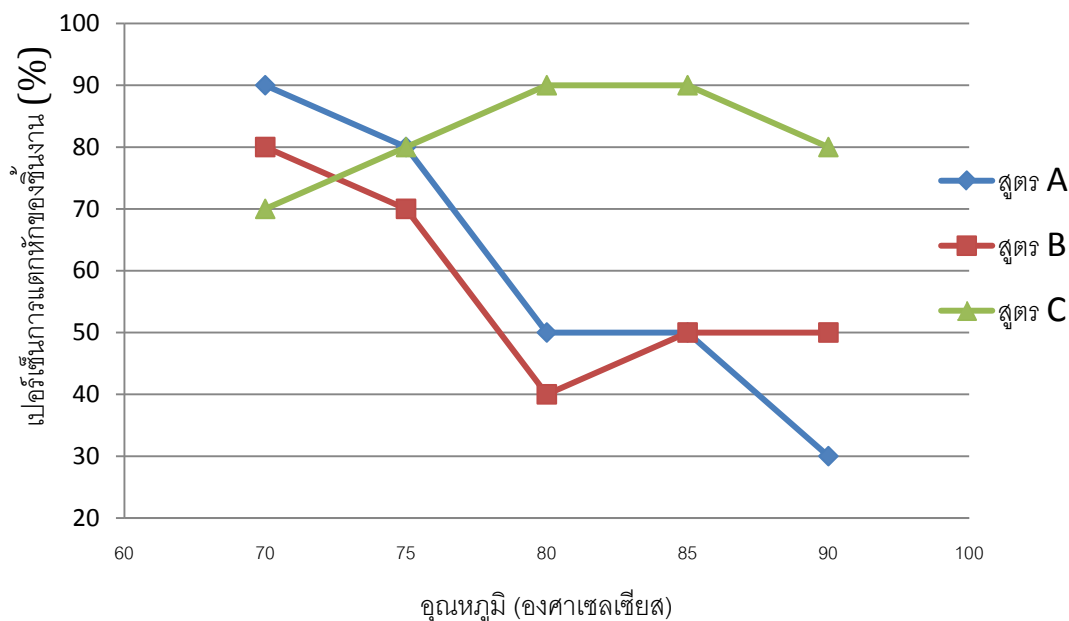


จ) สูตร C ที่อุณหภูมิ 90 °C

รูปที่ 3 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงต้นแบบเทียนไขสูตร C ที่อุณหภูมิ ก) 70 °C , ข) 75 °C , ค) 80 °C, ง) 85 °C และ จ) 90 °C

จากการศึกษาลักษณะทางเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของต้นแบบเทียนไขทั้งสามสูตร พบว่าการเติมกรดสเตียริกลงในเศษเทียนไขมากขึ้นทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปลดลง (ดังรูปที่ 4) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปเทียนไขสูตร A (กรดสเตียริก 20 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม) คือที่อุณหภูมิ 90 °C สูตร B (กรดสเตียริก 25 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม) คือที่อุณหภูมิ 80 °C และสูตร C (กรดสเตียริก 30 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม) คือที่อุณหภูมิ 70 °C

3. จากการศึกษาคัดตัวของเทียนหลังการฉีดขึ้นรูปทั้ง 3 สูตร พบว่ามีการหดตัวอยู่ในช่วง 2.17-3.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าการหดตัวค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับเทียนที่ใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปกับเปอร์เซ็นต์การแตกหักของชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการฉีดขึ้นรูปเครื่องประดับจากเศษเทียนไขเหลือทิ้งที่เติมกรดสเตียริกในปริมาณ 20, 25, และ 30 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม พบว่าการเติมกรดสเตียริกลงในเศษเทียนไขมากขึ้นทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปลดลง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปเทียนไขที่เติมกรดสเตียริก 20 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม คือที่อุณหภูมิ 90 °C สำหรับเทียนไขที่กรดสเตียริก 25 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม คือที่อุณหภูมิ 80 °C และเทียนไขที่เติมกรดสเตียริก 30 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม คือที่อุณหภูมิ 70 °C นอกจากนี้จุลทรรศน์ศาสตร์แบบใช้แสงยังสามารถระบุได้ว่าเทียนไขที่เติมกรดสเตียริก 20 กรัมต่อเศษเทียนไข 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 90 °C เกิดรูพรุน และมีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้จากหลายฝ่าย ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาอัญมณีศาสตร์ คณะอัญมณีศาสตร์และประยุกต์ศิลป์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ขอขอบคุณท่านผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับทุกท่านที่ชี้แนะทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

บรรณานุกรม

- [1] ขจีพร วงศ์ปรีดี, สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา และปรีชญา ขจิตกาฉายณ์. เทคนิคหล่อพร้อมฝังพลอย. กรุงเทพฯ : โครงการเพิ่มความสามารถการแข่งขันธุรกิจแฟชั่น สาขาอุตสาหกรรมอัญมณีเครื่องประดับ ภายใต้โครงการกรุงเทพ เมืองแฟชั่น กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549, หน้า 56-57.
- [2] ปรีศนา บุญศักดิ์. การวิจัยปัญหาในงานหล่อและการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหในงานหล่อเครื่องประดับสมัยใหม่. งานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ, 2556, หน้า 6-40.
- [3] เพ็ญศรี ทองนพคุณ. การวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการหล่อในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ, 2554, หน้า 2-6.

- [4] โสภิตา กิจงาม. การพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ : กรณีศึกษา โรงงานเครื่องประดับ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม(สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม) บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ, 2549, หน้า 58-70.
- [5] โอรัส พินิจรัตน์พันธ์ . การควบคุมคุณภาพการหล่อเครื่องประดับทองด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ, 2556, หน้า 64-71.
- [6] B Valentan, A Pilipovic, T Brajlili, P Sever, I Pahole, M Ficko, J Balic and I Drstvensek. A fast method to predict the cooling time of wax for investment casting procedure. *Advances in Production Engineering & Management*. 2012; 255-263.
- [7] CS Sandhu and A Sharma. Investigation of optimize wax pattern in the investment casting by using the different form of waxes. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Sep-Oct 2012; 1-6.
- [8] D Ott. Defect in jewelry a new version of an old problem. In: *Proceedings of the 5th Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology*, USA, 1991, p. 711-719.