

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิการเผาผนึกของชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์โดยผลิตจากผงเงินที่ผลิตขึ้นเองจากกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้กลีเซอรอลเป็นตัวรีดิวซ์ ผงเงินที่ผลิตได้จะมีขนาดอนุภาคเล็กๆ ในระดับไมครอน โดยจะจับตัวเป็นกลุ่มก้อน เมื่ออบด้วยเครื่องอบผงเงินทำให้ได้ผงเงินที่มีขนาดน้อยกว่า 45 ไมโครเมตร เมื่อตรวจสอบขนาดอนุภาคของผงเงินโดยเครื่องวัดขนาดอนุภาค CILAS 1064 พบว่าขนาดอนุภาคผงเงินจากการตรวจสอบที่มีปริมาณ 90 เปอร์เซนต์ คือ ขนาด 2.407 ไมโครเมตร ผลการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าเกิดเพียงแคเฟสเงินเพียงเฟสเดียว และเมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของผงเงินปรากฏว่าผงเงินมีความบริสุทธิ์ 99.365 เปอร์เซนต์ โครงสร้างจุลภาคของผงเงินเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ารูปร่างลักษณะเป็นทรงหลายหน้า หรืออาจมองได้ว่ามีรูปร่างค่อนข้างกลม จนกระทั่งเมื่ออนุภาคถูกบดซ้ำหลายๆ รอบ อาจมองเป็นรูปทรงกลมที่ถูกตัดเหลี่ยมมุมออก และขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีขนาดอยู่ในช่วง 1-3 ไมครอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาคมีผลที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ขนาดอนุภาคเมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งมีขนาดอนุภาคของผงเงิน 2.407 ไมโครเมตร

ผงคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้เพื่อใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ทำหน้าที่เหมือนกาวให้อนุภาคของผงเงินจับตัวกันและสามารถนำไปขึ้นรูปได้ง่ายผลจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนพบว่าอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 222.5-337.5°C

อัตราส่วนการผสมซิลเวอร์เคลย์มี 3 แบบ คือ ก้อนที่ 1 ประกอบด้วยผงเงินในขนาดไมโครเมตร 90wt%, ผงคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส 2wt% ส่วนก้อนที่ 2 ประกอบด้วยผงเงินในขนาดไมโครเมตร 70wt%, ผงเงินในขนาดนาโนเมตรทั้ง 2 ชนิด และผงคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสในอัตราส่วนเท่ากับก้อนที่ 1 ส่วนก้อนที่ 3 ประกอบด้วยอัตราส่วนที่เหมือนกับก้อนที่ 2 แต่แตกต่างกันที่ผงเงินในขนาดนาโนเมตร 2 ชนิด ใช้ 9.5wt% และผงอลูมิเนียม 1wt% โดยผงเงินในขนาดนาโนเมตรชนิดที่ 1 ได้ถูกตรวจสอบด้วยตรวจสอบขนาดอนุภาคของผงเงินด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Zetasizer (Malvern) พบว่ามีขนาดอนุภาค 240.8 นาโนเมตร และเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคการ

เลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าเกิดเฟสเงินเพียงเฟสเดียว โดยมีความบริสุทธิ์ 98.08 เปอร์เซ็นต์ ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25,000 และ 40,000 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคของผงเงินมีรูปร่างค่อนข้างกลม ส่วนผงเงินในขนาดนาโนเมตรชนิดที่ 2 ได้ถูกตรวจสอบด้วยตรวจสอบขนาดอนุภาคของผงเงินด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Zetasizer (Malvern) พบว่ามีขนาดอนุภาค 369.9 นาโนเมตร และเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าเกิดเฟสเงินเพียงเฟสเดียว โดยมีความบริสุทธิ์ 99.07 เปอร์เซ็นต์ ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25,000 และ 40,000 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคของผงเงินมีรูปร่างค่อนข้างกลม ส่วนผงอูมิเนียมได้ถูกตรวจสอบด้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าเกิดเฟสอูมิเนียมเพียงเฟสเดียว โดยมีความบริสุทธิ์ 72.235 เปอร์เซ็นต์ ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1,500 เท่า พบว่าโครงสร้างจุลภาคของอูมิเนียมมีรูปร่างค่อนข้างกลม

ผลจากการผสมซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 3 ก้อน พบว่าก้อนที่ 1 ผสมง่ายกว่าก้อนอื่นๆ และใช้เวลาในการผสมน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะกับการทำในอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตน้อย โดยมีลักษณะทางภาพดังนี้ คือ เหนียวติดมือเล็กน้อย สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปได้ และปั้นขึ้นรูปได้ง่ายกว่าก้อนที่ 2 และก้อนที่ 3 ส่วนในก้อนที่ 2 พบว่าไม่เหนียวติดมือ สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปได้ง่าย และปั้นขึ้นรูปได้ยากกว่าก้อนที่ 1 และก้อนที่ 3 พบว่ามีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีสีเทาเข้ม เนื่องจากสีของอูมิเนียมมีสีเข้มกว่าเงิน โดยการขึ้นรูปเป็นสีเหลี่ยมผืนผ้าให้มีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 4 เซนติเมตร ความหนา 0.1 เซนติเมตร ส่วนการขึ้นรูปเป็นเส้นให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เซนติเมตร ความยาว 4 เซนติเมตร

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C, 500°C, 600°C, 700°C และ 800°C โดยการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนในการผสมทั้ง 3 ก้อน พบว่าก้อนที่ 1 หดตัวใกล้เคียงกับก้อนที่ 2 ซึ่งในช่วงอุณหภูมิ 400°C, 500°C และ 600°C พบว่าก้อนที่ 1 มีการหดตัวน้อยกว่าก้อนที่ 2 แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 700°C และ 800°C ผลที่ได้ปรากฏว่าก้อนที่ 2 มีการหดตัวน้อยกว่าก้อนที่ 1 แสดงว่าผงเงินในขนาดไมโครเมตร ส่วนก้อนที่ 3 มีการผสมผงอูมิเนียมทำให้ชิ้นงานที่ได้มีการหดตัวที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ก้อน

รูปทรงเมื่อเปรียบเทียบกับในแต่ละอุณหภูมิการเผา ผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นรูปทรงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์จะลดน้อยลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาขึ้นไปจนถึง 800°C มีผลทำให้อนุภาคของผงเงินเกิดการเชื่อมติดกันมากขึ้นและเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของผงเงินลดลง และสามารถสรุปผลในแต่ละอุณหภูมิการเผาดังนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 400°C ชิ้นงานยังมีสีเทาเข้มทั้งยัง

แตกหักได้ง่าย แสดงถึงความไม่แข็งแรงของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 500°C ชิ้นงานยังมีที่เทาอ่อนลง แตกหักได้ง่าย แสดงถึงความไม่แข็งแรงของชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 600°C ชิ้นงานยังมีที่เทาอ่อนลงกว่าที่อุณหภูมิ 500°C บิดงอได้ มีความแข็งแรง ที่อุณหภูมิ 700°C ชิ้นงานยังมีที่เทาอ่อนลงกว่าที่อุณหภูมิ 600°C บิดงอได้ มีความแข็งแรงมากขึ้น ที่อุณหภูมิ 800°C ชิ้นงานยังมีที่เทาอ่อนลงกว่าทุกชิ้นงาน บิดงอได้ มีความแข็งแรงมากที่สุด

ผลการตรวจสอบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ของซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 3 ก้อน เมื่อผ่านการเผาผืนที่อุณหภูมิที่ 400°C, 500°C, 600°C, 700°C และ 800°C พบว่าเกิดเพียงเฟสเงินเพียงเฟสเดียว ส่วนผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคผลที่ได้ปรากฏว่าในก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 เมื่อเผาผืนจากอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูงมีผลทำให้อนุภาคของผงเงินเกิดการอัดติดกันมากขึ้น กล่าวคือ รุพรูปจะเกิดน้อยลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาผืนที่อุณหภูมิที่สูงกว่าในการทดลองคือที่อุณหภูมิ 800°C ส่วนในก้อนที่ 3 มีผลที่แตกต่างกันเนื่องจากการผสมผงเงินและผงอลูมิเนียมเป็นของผสม ดังนั้นการเผาผืนจึงไม่มีผลต่อก้อนที่ 3 นั่นเอง ยังทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความเปราะและแตกหักได้ง่าย

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยค่าความหนาแน่นแบบมวลรวมพบว่าในทั้ง 3 อัตราส่วน โดยเป็นการเปรียบเทียบก่อนเผาและหลังเผาผืน ภายหลังจากการเผาผืนความหนาแน่นจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทั้ง 3 ส่วนผสม กล่าวคือ ก้อนที่ 1, ก้อนที่ 2 และก้อนที่ 3 มีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งถึงที่อุณหภูมิ 800°C และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละส่วนผสม ผลที่ได้ปรากฏว่าในส่วนผสมที่ 2 (ก้อนที่ 2) มีค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุด และรองลงมาคือที่ส่วนผสมที่ 1 (ก้อนที่ 1) และในส่วนผสมที่ 3 (ก้อนที่ 3) มีค่าความหนาแน่นน้อยสุด

ค่าการหดตัวหลังการเผา โดยค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรเมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมทั้ง 3 ก้อน พบว่าในทั้ง 3 อัตราส่วน ภายหลังจากการเผาผืนเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรของส่วนผสมก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 จะมีแนวโน้มที่มากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงยิ่งขึ้นจากอุณหภูมิ 400°C ไปจนถึงเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 800°C ส่วนแนวโน้มในก้อนที่ 3 มีผลซึ่งแตกต่างจากทั้ง 2 ก้อน ผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่อผ่านการเผาผืนที่อุณหภูมิสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรยิ่งมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละส่วนผสม ผลที่ได้ปรากฏว่าในส่วนผสมที่ 1 (ก้อนที่ 1) มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรต่ำที่สุด และรองลงมาคือที่ส่วนผสมที่ 2 (ก้อนที่ 2) และในส่วนผสมที่ 3 (ก้อนที่ 3) มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรมากที่สุด

เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นในด้านความกว้าง ความยาว และ ความหนามีผลไปในทิศทางเดียวกันของก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นสูงขึ้น เมื่อเผาผืนที่อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 พบว่าก้อนที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นน้อยกว่าก้อนที่ 2 อาจเนื่องมาจากว่าก้อนที่ 1 มีผงเงินในขนาดไมโครเมตรเป็นส่วนประกอบซึ่งมี



ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าผงเงินในขนาดนาโนเมตร ทำให้มีการหดตัวน้อยกว่า ในส่วนก้อนที่ 2 ซึ่งมีผงเงินในขนาดนาโนเมตรเป็นส่วนประกอบทำให้เกิดการหดตัวที่มากขึ้นเมื่อผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ในก้อนที่ 3 ผลที่ได้กลับตรงกันข้าม ชึ้นงานเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นกลับมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นน้อยลง

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมทั้ง 3 ก้อน พบว่าในทั้ง 3 อัตราส่วนโดยก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันมาก ในก้อนที่ 1 ผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่อขึ้นงานผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเช่นเดียวกับก้อนที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 พบว่า อัตราส่วนการผสมซิลเวอร์เคลย์ก้อนที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่น้อยกว่า ส่วนในก้อนที่ 3 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักไม่คงที่เมื่อผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

ผลการทดสอบความแข็ง โดยทดสอบด้วยวิกเกอร์แบบหั่วกดเพชรผลที่ได้ปรากฏว่าขึ้นงานซิลเวอร์เคลย์ก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 เนื่องจากขึ้นงานที่ผ่านการเผาผนึกของขึ้นงานก้อนที่ 3 ซึ่งผสมผงอลูมิเนียมมีความเปราะมาก และแตกหักได้ง่าย ผลที่ได้จากการตรวจสอบความแข็งพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาผนึกเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งก็จะมากขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบขึ้นงานซิลเวอร์เคลย์ก้อนที่ 1 และก้อนที่ 2 พบว่า ค่าความแข็งของก้อนที่ 1 มีค่ามากกว่าก้อนที่ 2 และค่าความแข็งที่สูงสุดคือขึ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C

เมื่อทดลองนำมาขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนผสมที่ดีคืออัตราส่วนที่ 1 และเผาผนึกที่อุณหภูมิ 800°C ขึ้นงานที่ได้ภายหลังการเผาผนึกมีความแข็งแรง สามารถนำมาเชื่อมเพื่อขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พงชนิดต่างๆ ที่นำมาขึ้นรูปควรจะทำให้อนุภาคแตกตัวอย่างดีก่อนที่จะนำมาผสมเป็นซิลเวอร์เคลย์ ไม่เช่นนั้นอาจทำให้ซิลเวอร์เคลย์ที่ผ่านการผสมแล้วเกาะตัวเป็นก้อนเล็กๆ และทำให้เกิดการเสียหายได้
2. พงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเมื่อต้องการนำมาผสม ควรทิ้งไว้ให้ละลายในน้ำก่อน เพื่อให้พงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไม่เกาะตัวเป็นก้อนแข็งๆ ในชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ โดยก้อนแข็งๆ เกิดจากการที่พงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสละลายไม่หมดและจับตัวกับอนุภาคของพงเงิน นอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียแล้ว ยังทำให้ชิ้นงานที่ได้ภายหลังจากการเผาผนึกเกิดรูพรุนมากยิ่งขึ้นด้วย นอกจากจะทำให้เกิดรูพรุนมากยังส่งผลชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์มีความแข็งแรงลดลงอีกด้วย
3. เนื่องจากซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จะค่อนข้างเหนียวติดมือ แต่สามารถนำมาปั้นได้ ดังนั้นจึงควรทาวาสลิน หรือเคลือบด้วยสเปรย์แว็กซ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ
4. ในขั้นตอนการเผาชิ้นงาน ชิ้นงานก่อนนำไปเผา ถ้าถูกแรงกระแทกจะทำให้ชิ้นงานที่ได้เกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงต้องห่อด้วยพลาสติกกันกระแทกและต้องมีการกำหนดรหัสชิ้นงานเพื่อป้องกันความผิดพลาดในระหว่างขั้นตอนการเผาผนึก และยังต้องมีการกำหนดตำแหน่งในแต่ละอุณหภูมิการเผาเพื่อป้องกันการสับเปลี่ยนกันของชิ้นงาน
5. การเผาชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ต้องมีการเผาแบบขึ้นบันได คือเผาแซ่ที่อุณหภูมิ 280°C และ 340°C ประมาณ 1 ชั่วโมงก่อน ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่พงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหลอมเหลวและละลายออกของพงชนิดนี้ ก่อนที่จะเผาสูงขึ้นไปที่อุณหภูมิเผาผนึกที่กำหนด เพราะในชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์อาจมีการปนเปื้อนของธาตุต่างๆ เช่น ฟลูออรีนหรือคาร์บอน
6. ในขั้นตอนการบดพงเงิน พงเงินที่บดได้จะติดอยู่ในเครื่อง ดังนั้นจึงต้องถอดเครื่องบดพงเงินออกแล้วใช้ฟู่กันปิดพงเงินที่ติดอยู่กับใบมีดบดออก