T. Ernest Taylor และ S. P. Hurford (US Patent 6383248, 2002) พัฒนากรรมวิธีการขึ้นรูปแหวนแต่งงานจากผงโลหะ เช่น อัลลอยด์ของทองที่มีเปอร์เซ็นต์ทองต่างกัน โดยใช้อนุภาคโลหะที่มีขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร และมีขนาดส่วนใหญ่อยู่ที่ 5 – 10 ไมโครเมตร และใช้อุณหภูมิในการเผาผนึกประมาณ 1000-1100 องศาเซลเซียส [5]

Y. Osawa และคณะ (US Patent 5702501, 1997) นำเสนอทั้งการผลิตเคลย์และกรรมวิธีเผาผนึกจากดินของผงโลหะมีตระกูล (Noble metal clay) สำหรับขึ้นรูปเครื่องประดับ ส่วนผสมประกอบด้วยผงโลหะมีตระกูล แป้ง และเซลลูโลสที่สามารถละลายน้ำได้ ตัวประสานมีอัตราส่วน 0.02 – 3% โดยน้ำหนัก ขนาดของอนุภาคของเคลย์อยู่ในช่วง 1 – 100 ไมโครเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึกเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะมีตระกูลประมาณ 70 – 250 องศาเซลเซียส [6]

H. H. Beyer และ K. A. Starz (US Patent 5578383, 1996) ได้พัฒนาการผลิตเครื่องประดับที่มีน้ำหนักเบา คงทนต่อการสึกกร่อน โดยมีอัตราส่วนผสมผงโลหะมีค่าประมาณ 33 – 99% ผสมกับ organic plastic ชนิด thermosetting ปริมาณ 1 – 67 % ผสมกับตัวเติมแต่งอีก 0 – 10 % [7]

N. Morita และ K. Shimamoto (US Patent 5943544, 1999) พัฒนาการเชื่อมประสานชิ้นงานเครื่องประดับ เช่น ข้อต่อ ห่วง หรือ จี้ เป็นต้น โดยมีส่วนประกอบของดินโลหะที่ทำจากทำผงโลหะอัลลอยด์ผสมกับน้ำ และตัวประสานอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส และ PVA โดยดินโลหะที่พัฒนาขึ้นมีขนาด 1-100 ไมครอน [8]

3. การทดลอง

การขึ้นรูปเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ให้ได้เครื่องประดับตามรูปแบบที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สูตรการผสมซึ่งสัมพันธ์กับอัตราส่วนผงโลหะต่อตัวประสานและน้ำ เทคนิคการขึ้นรูป เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรง และการหดตัวของชิ้นงานสำเร็จ ดังนั้นกระบวนการประดิษฐ์เครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์จึงต้องคำนึงถึงการผสมสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์ รวมถึงกรรมวิธีในการเผาเพื่อให้ได้เครื่องประดับที่คงทนแข็งแรง และมีการหดตัวน้อย และเทคนิคการประดิษฐ์เครื่องประดับในรูปแบบต่างๆ ให้สอดคล้องกับแต่ละสูตรอีกด้วย

การทดลองในโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาการทำเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ ส่วนของการทดลองจึงแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) การพัฒนาสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์เพื่อให้เหมาะสมกับเทคนิคการทำเครื่องประดับในรูปแบบที่แตกต่างกัน และ 2) ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องประดับในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้เทคนิคในการทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ที่หลากหลาย

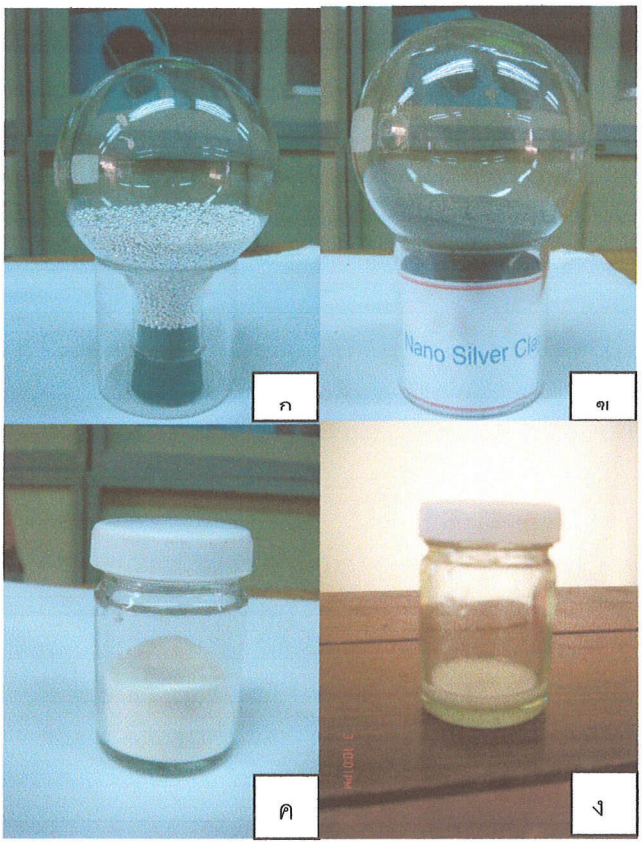
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
20 ก.พ. 2555
13
244087

3.1 การพัฒนาสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1.1 สารเคมีในการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ได้แก่

โลหะเงินขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร (100-250 nm) ที่สังเคราะห์มาจากเม็ดโลหะเงินและตัวประสานอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ สารประเภทเมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose, MC) และสารลดแรงตึงผิว โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium Dodeccyl Sulphate, SDS) และน้ำ



รูปที่ 6 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์

(ก) เม็ดโลหะเงินสำหรับผลิตอนุภาคผงเงิน (ข) ผงเงินขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร

(ข) ตัวประสานประเภทเซลลูโลส (ง) ตัวประสานประเภทสารลดแรงตึงผิว

3.1.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A สำหรับวิเคราะห์ลักษณะและขนาดของอนุภาคของชิ้นงานนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ไม่ได้ผ่านการเผา และชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ อัตราเร็ว และเวลายืนไฟแตกต่างกัน และนำภาพ

ผลการทดลองที่ได้มาศึกษาขนาดอนุภาคและขนาดของรูพรุนด้วยโปรแกรม Image J และวิเคราะห์การเกาะติดระหว่างชิ้นงานเงินกับวัสดุอื่นๆ ด้วยภาพตัดขวาง

- กล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด (Infrared Miroscope) รุ่น Thermo scientific Nicolet IN 10 สำหรับวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนหรือมลทินที่หลงเหลือในชิ้นงานหลังจากการเผา

- เครื่องวัดความแข็ง ชนิด Victor Micro-Hardness ยี่ห้อ INSTRON WOLPERT Gmbh รุ่น DIA TESTOR 751 สำหรับตรวจวัดความแข็งของตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ อัตราเร็ว และเวลายืนไฟแตกต่างกัน

3.1.2 การผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์

การผลิตหรือผสมสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์เริ่มจากการสังเคราะห์ผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรด้วยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เมื่อได้ผงโลหะเงินหรือเรียกว่า nano-silver powder ที่มีขนาด 10-200 นาโนเมตร (ดังรูปที่ 6) แล้ว จะนำมาผสมกับตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (Methyl Cellulose, MC) และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium Dodeccyl Sulphate, SDS) ก่อนที่จะนำตัวประสานทั้ง 2 ชนิดผสมกับผงโลหะเงิน ต้องนำเมทิลเซลลูโลสมาละลายด้วยน้ำสะอาดก่อนในอัตราส่วนผงเมทิลเซลลูโลส (กรัม) ต่อน้ำสะอาด (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1 : 1 รอจนผงเมทิลเซลลูโลสผสมเข้ากันดีกับน้ำจนมีลักษณะเป็นแป้งเปียกแล้วจึงผสมเมทิลเซลลูโลสนี้กับผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร อัตราส่วนในการผสมส่วนประกอบต่างๆ เพื่อทำเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์คือ

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนักส่วนผสมนาโนซิลเวอร์เคลย์
ผงเงินขนาดอนุภาคนาโน	95-97
เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose)	1- 2
โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate)	0.5-1

หลังจากนั้นนวดให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน การนวดควรจะนวดให้นานเพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดผสมเข้ากันได้ดีจนมีลักษณะไม่แตกร่วน หากทำการนวดไม่นานพอหรือส่วนผสมเข้ากันไม่ดีจะมีผลต่อเครื่องประดับเงินที่ได้ คืออาจจะขึ้นรูปได้ไม่ดีหรือได้เครื่องประดับเงินที่ไม่แข็งแรง เมื่อนวดจนส่วนประกอบทั้งหมดเข้ากันดีแล้วจะได้เป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่มีลักษณะคล้ายดินเหนียว ดังรูปที่ 7 โดยสามารถนำไปทำเป็นเครื่องประดับเงินได้โดยเทคนิคทั่วไปเช่น การปั้นด้วยมือ การแกะ หรือนำไปเติมน้ำสะอาดเพิ่มเติมตามจำนวนที่เหมาะสมเพื่อจะนำไปทำเครื่องประดับเงินด้วยเทคนิคต่างๆ ที่จะพัฒนาขึ้นใหม่นี้ ดังจะกล่าวต่อไป ในการผลิตเครื่องประดับเงินด้วยเทคนิคต่างๆ

นำผงเงินขนาดนาโนเมตรที่ได้มาทำการขึ้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1×1 เซนติเมตร หนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร จำแนกตัวอย่างออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ก่อนนำไปทำการทดลองดังนี้

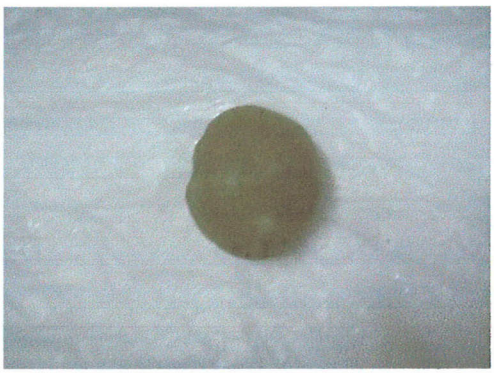
- กลุ่มที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเผา จำนวน 1 ตัวอย่าง

- กลุ่มที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิโดยให้อัตราเร่งและเวลายืนไฟคงที่ โดยเผาที่อุณหภูมิช่วง 200-900 องศาเซลเซียส อัตราเร่ง 20 องศาเซลเซียส/นาที เวลาในการยืนไฟ 1 ชั่วโมง จำนวน 9 ตัวอย่าง

- กลุ่มที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของอัตราเร่งโดยให้อุณหภูมิและเวลายืนไฟคงที่โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองกลุ่มที่ 2 อัตราเร่ง 20, 30 และ 60 องศาเซลเซียส/นาที เวลาในการยืนไฟ 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ตัวอย่าง

- กลุ่มที่ 4 ศึกษาอิทธิพลของเวลายืนไฟโดยให้อุณหภูมิและอัตราเร่งคงที่ โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองกลุ่มที่ 2 เวลาในการยืนไฟ ไม่ยืนไฟ, 30, 60 นาที อัตราเร่ง 20 องศาเซลเซียส/นาที

เลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทดลองโดยเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ จากการทดลองในกลุ่มที่ 2 มาทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับ กลุ่มที่ 3 และ 4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลองกลุ่มที่ 2



รูปที่ 7 ซิลเวอร์เคลย์สำหรับปั้นที่ทำการผลิตขึ้นจากงานวิจัยนี้

3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์เคลย์

หลังจากทำการปั้นตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์เตรียมไว้ นำตัวอย่างมาทำการจำแนกออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ แล้วจึงนำไปเผาและนำตัวอย่างทั้งหมดไปศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบการหดตัวของชิ้นงาน นำชิ้นงานมาทำการวัดขนาดด้วยเวอร์เนียเพื่อคำนวณปริมาตรชิ้นก่อน ทั้งก่อนและหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยวัดค่า กว้าง × ยาว × สูง หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรตามสมการ 3.1

เปอร์เซนต์การหดตัว = [ปริมาตรของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนเผา-หลังเผา] x100 (3.1)
ปริมาตรของชิ้นงานก่อนเผา

2. ศึกษาลักษณะของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้ในการตรวจดูลักษณะโครงสร้างและขนาดของอนุภาคของตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการเผา ชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ อัตราเร็วและเวลายืนไฟแตกต่างกัน และนำภาพผลการทดลองที่ได้มาศึกษาขนาดอนุภาคและขนาดของรูพรุนด้วยโปรแกรม Image J

3. ศึกษาขนาดของอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวัดขนาดอนุภาคและขนาดของรูพรุนจากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้โดยมีหน่วยเป็นไมครอน

4. ทดสอบความหนาแน่นของชิ้นงานและปริมาตรรูพรุนเปิดโดยเครื่อง Hydrostatic วิธีการทำได้โดยนำชิ้นงานมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมงก่อนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงให้ชิ้นงานอิ่มตัวด้วยน้ำจากนั้นชั่งน้ำหนักในน้ำ และ ชั่งน้ำหนักในอากาศ เช็ดชิ้นงานกับฟองน้ำหมาด ๆ เพื่อซับน้ำในส่วนที่เกินออกโดยคำนวนความหนาแน่นได้ดังสมการ 3.3 และคำนวณปริมาตรรูพรุนเปิดได้ดังสมการ 3.5

ความหนาแน่น = น้ำหนักในอากาศก่อนต้ม (g/cm^3) (3.2)
ปริมาตรของชิ้นงาน

*หมายเหตุ ปริมาตรของชิ้นงานคำนวณได้ดังสมการ 3.3

ปริมาตรของชิ้นงาน = น้ำหนักในอากาศหลังต้ม-น้ำหนักในน้ำหลังต้ม (cm^3) (3.3)
ความหนาแน่นของน้ำ

ปริมาตรรูพรุนเปิด = น้ำหนักในอากาศหลังต้ม-น้ำหนักในอากาศก่อนต้ม (cm^3) (3.4)
ความหนาแน่นของน้ำ

5. การทดสอบความแข็งด้วยเครื่องมือวัดความแข็ง

วิธีการทดสอบความแข็งโดยใช้การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) โดยลักษณะของหัวกดจะเป็นแบบพีระมิด ขนาดหัวกดที่ใช้เท่ากับ 5 มิลลิเมตร แรงที่ใช้กด 5 นิวตัน และเวลาในการกด 10 วินาที

เมื่อทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวอย่างชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิแตกต่างกันและเลือกอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการเผามาทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างในกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่เผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างที่ทำการเลือกจากการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะต้องเป็นตัวอย่างที่มีเปอร์เซนต์การหดตัวที่ต่ำ ลักษณะที่ได้จากภาพ SEM มีการ Sintering กันดีและมีรูพรุนน้อย อีกทั้งมีความหนาแน่นและความแข็งแรงสูง เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วทำการเผาในลักษณะเดียวกันกับการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

3.2 การทดลองด้านการพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูป

เทคนิคการผลิตเครื่องประดับแบบใหม่ ทั้งที่คิดค้นขึ้นใหม่และที่ประยุกต์ต่อยอดจากเทคนิคที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ เทคนิคการลอกลายวัสดุธรรมชาติ เทคนิคการขึ้นรูปแบบเส้นด้วยกระบอกฉีดยาเทคนิคการขึ้นรูปแบบเส้นร่วมกับการเผาพร้อมหุ้มพลอย และเทคนิคการเผาพร้อมฝังพลอย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1.1 นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ผลิตจากกกรรมวิธีดังข้อ 3.1.2

3.2.1.2 อุปกรณ์ในการผลิตชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ต้องการผลิต โดยจะกล่าวอย่างละเอียดในแต่ละหัวข้อการผลิต

- เครื่องมือปั้นอย่างง่าย
- อุปกรณ์ขัดตกแต่งชิ้นงาน ได้แก่ กระดาษทราย แปรงทองเหลือง
- อุปกรณ์ในการทำเครื่องประดับ
- วัสดุในการผลิตเพื่อความสวยงาม เช่น แก้ว และอัญมณี
- เตาเผาไฟฟ้าที่สามารถตั้งอุณหภูมิได้ถึง 1000 องศาเซลเซียส

3.2.2 การเผาชิ้นงานที่เตรียมไว้ด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อให้ได้เครื่องประดับเงิน

ขั้นตอนการเผาชิ้นงานทุกเทคนิคจะทำด้วยวิธีเดียวกัน ได้แก่ นำชิ้นงานวางลงบนแผ่นกระเบื้องทนไฟ แล้วเทผงอลูมินากลบทับชิ้นงาน เพื่อเป็นตัวช่วยกระจายความร้อน จะทำให้เครื่องประดับ