



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะของอนุภาคนาโนของเงิน

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ทอง ทองนพคุณ

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา

18 พฤศจิกายน 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะของอนุภาคนาโนของเงิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ทอง ทองนพคุณ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Abstract

Project Code : MRG5180121
Project Title : Powder Metallurgy of Silver Nanoparticles for Jewelry Making
Investigator : Assist. Prof. Pimthong Thongnopkun
Faculty of Gems, Burapha University Chanthaburi Campus
E-mail Address : pimthong@buu.ac.th, t_pimthong@hotmail.com
Project Period : 2 years

Silver nanoparticles with particle size in the range 10 – 250 nm were synthesized by chemical reduction. To create the nano-silver clay, the nano-sized silver powder was simply mixed with water and organic binders. The most preferable moldable mixture contains 97% by weight of nano-silver powder, 2% by weight of methyl cellulose, and 1% by weight of sodium dodecyl sulfate surfactant. The obtained nano-silver clay possesses a gum-like texture with gray-brown color. Because of its rubbery and tackiness nature, the nano-silver clay can be shaped into complex forms by hand or by any sculpturing devices. After drying, the silver nanoparticles can be sintered while the shaped nano-silver clay becomes a continuous silver body. Differential thermal analysis (DTA) indicates that the temperature for inter-particle melt-connecting (sintering) of the clay is approximately 302 °C. The evolution of microstructure in the sintering process was observed by a scanning electron microscope (SEM). The effects of heating temperature, heating rate and holding time during sintering process were investigated. The results indicated that a heating temperature of 600-800 °C, heating rate of 20 °C/minute, and a holding time of 60 minutes were the optimal conditions for fabricating silver jewelry from the developed nano-silver clay. As an alternative means for jewelry making, the nano-silver clay can also be applicable in various jewelry body fabrications. These advantage features can be exploited as novel techniques for fabrication of complex silver jewelry bodies that cannot accomplished by the conventional technique.

Keywords : silver nanoparticles, nano-silver clay, sintering temperature, silver jewelry

บทคัดย่อ

สัญญาเลขที่ : MRG5180121

ชื่อโครงการ : การขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะของอนุภาคนาโนของเงิน

ชื่อหัวหน้าโครงการ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ทอง ทองนพคุณ
คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี

E-mail : pimthong@buu.ac.th, t_pimthong@hotmail.com

ระยะเวลาดำเนินการ : 2 ปี

นาโนซิลเวอร์เคลย์ผลิตจากผงโลหะเงินขนาดอนุภาคในช่วง 10-250 นาโนเมตร ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมี การผลิตทำได้โดยการผสมผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตรเข้ากับตัวประสานและน้ำอัตราส่วนที่เหมาะสมแก่การผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์สำหรับการขึ้นรูปคือ ผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร 97 เปอร์เซ็นต์ เมลทิลเซลลูโลส 2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมโตนาคิลซิลเฟต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นาโนซิลเวอร์เคลย์จะมีลักษณะเหมือนดินเหนียวสีน้ำตาลอมเทา มีความเหนียวและยืดหยุ่น สามารถขึ้นรูปได้ด้วยมือหรือเครื่องมือขึ้นรูป หลังจากการทำให้แห้งแล้วนำไปเผาจนผงเงินในนาโนซิลเวอร์เคลย์เกิดการฟุ้งตัวสมบูรณ์จะได้เครื่องประดับเงิน การวิเคราะห์ด้วย Differential thermal analysis (DTA) พบว่าอุณหภูมิเผาไหม้ของนาโนซิลเวอร์เคลย์คือ 302 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคว่าระหว่างกระบวนการเผาไหม้ด้วยเครื่อง SEM การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร่งในการเผา พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาคือ 600-800 องศาเซลเซียส อัตราเร่ง 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และเวลายืนไฟ 60 นาที ภายใต้สภาวะการเผาและการผลิตดังกล่าว นาโนซิลเวอร์เคลย์สามารถนำมาปรับใช้ในการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินแบบต่างๆ ได้ ประโยชน์ที่เห็นได้ชัดจากโครงการนี้คือ การขึ้นรูปด้วยนาโนซิลเวอร์เคลย์เป็นเทคนิคทางเลือกใหม่สำหรับการผลิตเครื่องประดับเงินที่ซับซ้อนที่ไม่สามารถทำได้ด้วยกรรมวิธีธรรมดาทั่วไป

คำสำคัญ : อนุภาคเงินระดับนาโนเมตร, นาโนซิลเวอร์เคลย์, อุณหภูมิเผาไหม้, เครื่องประดับเงิน

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

การขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะของอนุภาคนาโนของเงิน

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ สามารถผลิตและส่งออก นำเงินตราเข้าประเทศประมาณปีละ 50,000 ล้านบาท เมื่อสภาวะการเติบโตของตลาดอัญมณีและเครื่องประดับเติบโตขึ้น เอื้อให้สภาวะอุตสาหกรรมเครื่องประดับจากโลหะที่ทันสมัยขยายตัวทั้งในยอดบนและฐานล่างของอุตสาหกรรมเครื่องประดับ เงินเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาทำเครื่องประดับเนื่องจากเป็นโลหะที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี ผิวโลหะมีความแวววาว ด้วยการที่โลหะเงินมีความอ่อนนุ่มประสพทั้งที่สามารถเป็นเครื่องประดับระดับสูงและระดับคอสดุม ทำให้ความนิยมของเครื่องประดับเงินซึ่งเป็นโลหะระดับกลางขยายตัวเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเครื่องประดับเงินเป็นเครื่องประดับที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้นิยมเครื่องประดับมากกว่าทอง เนื่องจากมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับทอง ทำให้วัตถุดิบในการทำเครื่องประดับเงินมีราคาสูงขึ้น จากข้อมูลชมรมผู้ส่งออกเครื่องประดับเงินไทยพบว่าในปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องประดับเงินในประเทศไทย จำนวนโรงงาน 500 แห่ง และมีแรงงานรวม 80,000 คน อุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินของไทยเพื่อการส่งออกมีพัฒนาการมามากกว่า 20 ปี จนปัจจุบันได้ก้าวขึ้นเป็นศูนย์กลางการผลิตเครื่องประดับเงินที่ใหญ่ที่สุดรองจากประเทศอิตาลี ความต้องการเครื่องประดับเงินในตลาดผู้บริโภคยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีบริษัทผลิตเครื่องประดับเงินเกิดขึ้นมากมาย อุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินของไทย เติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา และคาดว่าจะยอดการส่งออกเครื่องประดับเงินของไทยโดยรวมจะรักษาระดับการเติบโตได้ต่อไป ด้วยเหตุที่มีการแข่งขันในอุตสาหกรรมเครื่องเงินทำให้ผู้ผลิตจึงต้องสร้างสรรค์สินค้าเพื่อเจาะตลาดเฉพาะกลุ่มเป้าหมายโดยอาศัยการออกแบบสินค้าเครื่องประดับที่มีรูปลักษณ์แปลกใหม่ หรือการผลิตสินค้าด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง

การผลิตเครื่องประดับต้องผ่านกรรมวิธีหลายขั้นตอน ขั้นตอนการประดิษฐ์อาจทำการขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งต้องเริ่มจากการขึ้นรูป ตกแต่งตัวเรือน ผึงอัญมณี ชุบ และตรวจสอบชิ้นงาน แต่หากเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องประดิษฐ์ด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักรจะมีกระบวนการเพิ่มขึ้นได้แก่ การเตรียมตัวอย่าง ทำแม่พิมพ์ยาง การฉีดเทียน การทำต้นแบบเทียนขึ้นงาน การทำแม่พิมพ์ปูน การหล่อตัวเรือนโลหะ การอบแม่พิมพ์ปูน การตัดชิ้นงาน การตกแต่งตัวเรือน การขัดตัวเรือน การผึงอัญมณี การชุบและขัดตัวเรือน การตรวจสอบชิ้นงาน จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก หลายขั้นตอน นอกจากนี้ การขึ้นรูปโลหะด้วยการหล่อและการ

ขึ้นมือ มักประสบปัญหาเช่น ฟองอากาศ ขนาดเกรน ความแข็ง การหดตัวของโลหะ ขนาดของผงโลหะ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบเครื่องประดับ ทำให้ปัจจุบันวิชาการทางด้านโลหะผงวิทยากำลังเป็นที่ต้องการมากสำหรับงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ วิธีการอัดผงโลหะ (Power Metallurgy) เข้ามามีบทบาททดแทนการผลิตชิ้นงานโดยการรมวิธีหล่อโลหะ (Casting) ด้วยเหตุที่ว่ามิชข้อได้เปรียบหลายประการ การขึ้นรูปด้วยผงโลหะเป็นการขึ้นรูปโดยการผสมโลหะผงกับตัวประสาน เทคนิคนี้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และมีรูปร่างซับซ้อนได้ มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการนำชิ้นงานไปกัดเจาะขึ้นรูป และวิธีนี้จะให้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับวิธีการทางโลหะวิทยาของโลหะผงแบบเดิมที่ต้องผ่านการอัดขึ้นรูปซึ่งทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน สำหรับกรรมวิธีการอัดผงโลหะ โลหะผงที่ใช้อาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการ ส่วนตัวประสานที่ใช้ต้องผสมขึ้นจากวัตถุดิบหลายชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต จากนั้นจึงผสมวัตถุดิบทั้งสองชนิดในอัตราส่วนที่กำหนดให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเตรียมไปขึ้นรูป ตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปผงโลหะส่วนใหญ่มีส่วนประกอบหลักคือ พอลิเมอร์ (ประเภทเทอร์โมพลาสติก) ตัวประสานจะทำหน้าที่เป็นตัวพาผงโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ในขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปในลักษณะของของไหล นอกจากนี้จะเป็นตัวให้พลังงาน และทำให้ผงโลหะยึดเกาะกันเป็นรูปร่างที่ต้องการ และจะถูกกำจัดออกในขั้นตอนกำจัดตัวประสาน ดังนั้นตัวประสานต้องมีสมบัติที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะแต่ละชนิด

จากฐานข้อมูลของวารสารและสิทธิบัตรเกี่ยวกับการขึ้นรูปเครื่องประดับพบว่า การขึ้นรูปเครื่องประดับด้วยกรรมวิธีอัดผงโลหะจะต้องใช้ส่วนผสมหลักได้แก่ ผงโลหะมีค่า ตัวประสานอินทรีย์เช่น แป้ง cellulose resin กาว หรือ ดินเหนียว ผงโลหะมีค่าทั่วไปที่ใช้ทำเครื่องประดับได้แก่ ทอง เงิน ทองแดง นิกเกิล หรืออัลลอยด์ของโลหะชนิดต่างๆ โดยใช้ผงโลหะที่มีขนาดประมาณ 1-200 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าหากผงโลหะมีขนาดใหญ่กว่า 200 ไมโครเมตร จะทำให้การยึดตัว และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง การขึ้นรูปจะทำการผสมผงโลหะกับตัวประสาน โดยสัดส่วนผงโลหะ 50-90% โดยน้ำหนัก การเลือกชนิดของตัวประสานขึ้นอยู่กับชนิดของผงโลหะ แต่โดยทั่วไปจะใช้ตัวประสานเป็น cellulose ที่ละลายน้ำได้ เช่น methyl cellulose หรือ ethyl cellulose เนื่องจากเมื่อให้ความร้อน จะทำให้ตัวประสานชนิดนี้มีลักษณะเป็นเจลที่ขึ้นรูปง่าย อย่างไรก็ตามหากปริมาณตัวประสานมีค่าน้อยกว่า 0.8% โดยน้ำหนัก จะทำให้ขึ้นรูปได้ไม่ดี แต่หากมีค่าเกิน 8% ก็จะทำให้การไหลและการขึ้นรูปไม่ดีเช่นกัน นอกจากอัตราส่วนผงโลหะและตัวประสานจะมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน อุณหภูมิการเผาผนึก และความแข็งแรงของชิ้นงานแล้ว ยังมีผลต่อสีของชิ้นงานหลังการเผาด้วย อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูปด้วยตัว

ประสานที่ละลายน้ำได้ยังประสบปัญหาการขยายตัวของน้ำ ตัวประสาน และผงโลหะที่เกิดการระเหิดการหลอมเหลว และการขยายตัวไม่เท่ากันเมื่อได้รับความร้อนสูงขณะทำการเผาผนึก ทำให้ชิ้นงานแตกได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาหาอุณหภูมิการเผาผนึก ขนาดของผงโลหะ และอัตราส่วนตัวประสานและผงโลหะที่เหมาะสม นอกจากนี้การผลิตเครื่องประดับที่มีรูปร่างซับซ้อน จะทำได้ยากถ้าใช้ผงโลหะที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากการเผาผนึกผงโลหะจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวโลหะเล็กน้อย ทำให้การผลิตเครื่องประดับที่ใช้โลหะมีค่า เช่น เงิน ทอง จะต้องใช้อุณหภูมิสูง สิ้นเปลืองพลังงานมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงตามไปด้วย

ด้วยวิวัฒนาการด้านนาโนเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาวัสดุนาโนชนิดต่างๆ ทำให้สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะเงินได้ และสามารถนำอนุภาคนาโนดังกล่าวมาประกอบเป็นอุปกรณ์หรือวัสดุที่หลากหลาย ตอบสนองการใช้งานได้หลายฟังก์ชัน โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ต้องใช้โครงสร้างซับซ้อน หากสามารถประยุกต์ศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการบูรณาการวัสดุดังกล่าวให้ใช้งานได้หลากหลาย จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศยิ่งขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ทำรายได้หลักให้กับประเทศดังที่กล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดริเริ่มที่จะนำอนุภาคนาโนของเงินมาทำการขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับด้วยกรรมวิธีอัดผงโลหะ ซึ่งยังไม่เคยมีผู้ได้นำอนุภาคนาโนของเงินมาทำเครื่องประดับ ดังนั้นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาในการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยอนุภาคนาโนของเงินจึงต้องศึกษาอัตราส่วนตัวประสานและผงโลหะที่เหมาะสม สภาวะของอุณหภูมิในการเผาผนึก (Sintering) ด้วยเทคนิค TG-DTA ศึกษาการรวมตัวของอนุภาคเงินในการเผาที่สภาวะต่างๆ ด้วยเครื่อง SEM จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าอุณหภูมิในการเผาผนึกของอนุภาคนาโนของเงินที่สังเคราะห์ได้จากหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ เพียงแต่ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้ยังไม่ดีพอ จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงอัตราส่วนตัวประสานและผงโลหะที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน และสภาวะการเผาที่เหมาะสมเบื้องต้นที่สามารถนำนาโนซิลเวอร์เคลือบไปผลิตเป็นเครื่องประดับได้จริง มีความคงทน แข็งแรง ต่อการสวมใส่ เพื่อที่จะนำไปต่อยอดนวัตกรรมอุตสาหกรรมเครื่องประดับต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาการขึ้นรูปของอนุภาคนาโนของเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะ เพื่อนำไปต่อยอดนวัตกรรมการทำเครื่องประดับ โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาในการเผาผนึก ชนิดและอัตราส่วนของตัวประสานที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการในการวิจัยประกอบด้วย

- 1) การเตรียมและจัดหาอนุภาคนาโนของเงินได้รับความร่วมมือจากหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงินขนาดต่างๆ
- 2) การหาสูตรการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ โดยศึกษาชนิด และอัตราส่วนตัวประสาน และผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตรที่เหมาะสมเพื่อปั้นขึ้นรูป
- 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ Thermal Analysis ด้วยเครื่อง STA 449C NETZSCH (TGA-DTA) และตรวจสอบการโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)
- 4) ขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปและชิ้นงาน โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ เวลา อัตราเร่งในการเผา ที่มีผลต่อความแข็ง ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การหดตัว
- 5) การทดลองผลิตต้นแบบเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์
- 6) รวบรวมผลงานเพื่อนำเสนอในงานประชุมวิชาการ การยื่นจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย

4. ผลการทดลอง

การวิจัยหาชนิดและอัตราส่วนตัวประสานต่อผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตรที่เหมาะสมในการผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ พบว่า ควรใช้ขนาดอนุภาคผงเงินที่อยู่ในช่วง 10-250 nm ผสมกัน หากใช้ผงโลหะขนาดเล็กกว่านี้จะไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับได้ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กนั้นไม่สามารถผนึกตัวเป็นโลหะเงินได้ ตัวประสานที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์คือ เมทิลเซลลูโลส และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ซึ่งเป็นตัวประสานอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาดูด้วยเครื่อง STA (TGA-DTA) พบว่าสามารถละลายตัวได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 400°C อัตราส่วนของตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์สำหรับปั้นขึ้นรูป ได้แก่ ผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร : MC : SDS เท่ากับ 97 : 2 : 1 ตามลำดับ

การศึกษาสมบัติที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของนาโนซิลเวอร์เคลย์ด้วยเครื่อง STA (TGA-DTA) พบว่าอุณหภูมิในการเผาผนึก (sintering temperature) ของผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร (nao-silver powder) ที่มีขนาดอนุภาคในช่วง 10-250 nm ที่สังเคราะห์ขึ้นมีค่า 232°C และ

อุณหภูมิในการเผาผนึกของนาโนซิลเวอร์เคลย์ (nano-silver clay) มีค่า 302°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิในการเผาผนึกของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดอนุภาคระดับระดับไมครอน ซึ่งลักษณะการผนึกตัวของอนุภาคสอดคล้องกับภาพ SEM ที่ตรวจสอบได้

การศึกษาสภาวะการเผาที่เหมาะสมในการนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาผลิตเป็นเครื่องประดับที่สวมใส่ได้จริง ต้องดูความเหมาะสมทั้งค่าความแข็ง และเปอร์เซ็นต์การหดตัว การทดลองในส่วนนี้จะทำการเผานาโนซิลเวอร์เคลย์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ $200 - 900^{\circ}\text{C}$ พบว่าผงเงินเริ่มเชื่อมต่อกัน (necking) ที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเชื่อมตัวจะมีมากขึ้นจนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นและความแข็งมีมากขึ้น ปริมาตรรูพรุนเปิดน้อยลง และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงขึ้นตามอุณหภูมิ อุณหภูมิที่มีความแข็งและการหดตัวที่ยอมรับได้ เริ่มต้นที่ 600°C เนื้อเงินผนึกตัวกันดี มีความแข็งแรงพอที่จะนำไปทำเครื่องประดับได้ แต่หากต้องการให้มีความแข็งแรงมาก ควรเพิ่มอุณหภูมิในการเผาไม่เกิน 800°C เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้การหดตัวมากเกินไป โดยควรเผื่อการหดตัวของชิ้นงานไว้ 10-35% ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เลือกใช้ การศึกษาอัตราเร่งที่แตกต่างกันจะทำที่อัตราเร่ง 10, 20 และ $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ โดยใช้อุณหภูมิเดียวกันที่ 650°C และเวลายืนไฟเท่ากันคือ 60 นาที พบว่า อัตราเร่งที่เหมาะสมคือ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ เนื่องจากหากใช้อัตราเร่ง $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ หรือ $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จะทำให้การหดตัวสูง แม้ค่าความแข็งแรงจะมากก็ตาม การศึกษาอิทธิพลของเวลายืนไฟ จะทำการเปลี่ยนแปลงเวลายืนไฟต่างกันเริ่มจาก ไม่มีการยืนไฟ ยืนไฟ 30 และ 60 นาที โดยใช้อุณหภูมิเดียวกันที่ 650°C และอัตราเร่งเท่ากันที่ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ผลการทดลองพบว่าเวลาหากไม่ยืนไฟ ชิ้นงานหรืออนุภาคของโลหะเงินภายในจะเชื่อมกันไม่สมบูรณ์เต็มที่ ชิ้นงานเปราะ แตกหักง่าย หากทำการยืนไฟที่ 30 หรือ 60 นาที ชิ้นงานจะมีความแข็งแรงมาก โดยการยืนไฟที่ 60 นาทีชิ้นงานจะมีความแข็งและความหนาแน่นสูง แม้เปอร์เซ็นต์การหดตัวจะสูงกว่าการยืนไฟที่ 30 นาทีก็ตาม แต่มีค่าสูงกว่ากันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ยืนไฟที่ 60 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์

5. สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิเผาผนึกของผงโลหะขนาดนาโนเมตรของเงินที่มีขนาดในช่วง 10-250 nm มีค่าประมาณ 232°C เมื่อนำมาผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์มีอุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 302°C ตัวประสานที่ใช้ในการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต สูตรการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้มีอัตราส่วนผสมของ ผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร : MC : SDS เท่ากับ 97 : 2 : 1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ อัตราเร่ง

และเวลาในการเผา ที่เหมาะสมในการนำมาทำเครื่องประดับที่สวมใส่ได้จริงต้องคำนึงถึงความแข็งแรง ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การหดตัว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาทำเครื่องประดับได้แก่ อุณหภูมิ 600-800 °C อัตราเร่ง 20°C/min และ เวลายืนไฟ 60 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรง เปอร์เซ็นต์การหดตัว และความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาตรรูพรุนลดลง เปอร์เซ็นต์การหดตัวของนาโนซิลเวอร์เคลย์อยู่ที่ประมาณ 10-35% ขึ้นอยู่กับสภาวะในการเผา ดังนั้นการทำเครื่องประดับจริงด้วยนาโนซิลเวอร์เคลย์ต้องคำนวณเปอร์เซ็นต์การหดตัวเผื่อไว้ด้วย

เนื้อหางานวิจัย

การขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะของอนุภาคนาโนของเงิน

บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ สามารถผลิตและส่งออก นำเงินตราเข้าประเทศประมาณปีละหลาย พันล้านบาท เมื่อสภาวะการเติบโตของตลาดอัญมณีและเครื่องประดับเติบโตขึ้น เอื้อให้สภาวะอุตสาหกรรมเครื่องประดับจากโลหะที่ทันสมัยขยายตัวทั้งในยอดบนและฐานล่างของอุตสาหกรรมเครื่องประดับ อุตสาหกรรมเครื่องประดับโดยทั่วไปจะมีการขึ้นรูป 4 วิธี ได้แก่ การขึ้นมือ (Manual technique) การหล่อ (Casting technique) การปั๊ม (Pressing technique) และการขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า (Electroforming technique) อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องประดิษฐ์ด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักรจะมีกระบวนการเพิ่มขึ้นได้แก่ การเตรียมตัวอย่าง ทำแม่พิมพ์ยาง การฉีดเทียน การทำต้นแบบเทียน ชิงงาน การทำแม่พิมพ์ปูน การหล่อตัวเรือนโลหะ การอบแม่พิมพ์ปูน การตัดชิงงาน การตกแต่งตัวเรือน การขัดตัวเรือน การฝังอัญมณี การชุบและขัดตัวเรือน การตรวจสอบชิงงาน ซึ่งแต่ละวิธีจะมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนสูง เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือการผลิตที่มีราคาแพง ต้องอาศัยทั้งแรงงานคน และพลังงานในการผลิตสูง การเลือกใช้กรรมวิธีการผลิตจะขึ้นอยู่กับแบบ (Design) จะเห็นได้ว่า กระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก หลายขั้นตอน นอกจากนี้ การขึ้นรูปโลหะด้วยการหล่อและการขึ้นมือ มักประสบปัญหาเช่น ฟองอากาศ ขนาดเกรน ความแข็ง การหดตัวของโลหะ ขนาดของผงโลหะ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบเครื่องประดับ ปัจจุบันวิชาการทางด้านโลหะวิทยาเป็นที่ยอมรับมากสำหรับงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ วิธีการอัดผงโลหะ (Power Metallurgy) เข้ามามีบทบาททดแทนการผลิตชิ้นงานโดยกรรมวิธีหล่อโลหะ (Casting) ด้วยเหตุที่ว่ามีข้อได้เปรียบหลายประการ การขึ้นรูปด้วยผงโลหะเป็นการขึ้นรูปโดยการผสมโลหะผงกับตัวประสาน เทคนิคนี้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และมีรูปร่างซับซ้อนได้ มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการนำชิ้นงานไปกัดเจาะขึ้นรูป และวิธีนี้จะให้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นที่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับวิธีการทางโลหะวิทยาของโลหะแบบเดิมที่ต้องผ่านการอัดขึ้นรูปซึ่งทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน สำหรับกรรมวิธีการอัดผงโลหะโลหะผงที่ใช้อาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการ ส่วนตัวประสานที่ใช้ต้องผสมขึ้นจากวัตถุดิบหลายชนิดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับ

กระบวนการผลิต จากนั้นจึงผสมวัตถุดิบทั้งสองชนิดในอัตราส่วนที่กำหนดให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเตรียมไปขึ้นรูป ตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปผงโลหะส่วนใหญ่มีส่วนประกอบหลักคือ พอลิเมอร์ (ประเภทเทอร์โมพลาสติก) ตัวประสานจะทำหน้าที่เป็นตัวพาผงโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ในขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปในลักษณะของของไหล นอกจากนี้จะเป็นตัวให้พลังงาน และทำให้ผงโลหะยึดเกาะกันเป็นรูปร่างที่ต้องการ และจะถูกกำจัดออกในขั้นตอนกำจัดตัวประสาน ดังนั้นตัวประสานต้องมีสมบัติที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามโลหะผงที่จะนำมาขึ้นรูปต้องผ่านการนำเข้ามาจากต่างประเทศ

เงินเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาทำเครื่องประดับเนื่องจากเป็นโลหะที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี ผิวโลหะมีความแวววาว ด้วยการที่โลหะเงินมีความอ่อนนุ่มประสงค์ทั้งที่สามารถเป็นเครื่องประดับระดับสูงและระดับคอสดุม ทำให้ความนิยมของเครื่องประดับเงินซึ่งเป็นโลหะระดับกลางขยายตัวเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเครื่องประดับเงินเป็นเครื่องประดับที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้นิยมเครื่องประดับมากกว่าทอง เนื่องจากมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับทอง ทำให้วัตถุดิบในการทำเครื่องประดับเงินมีราคาสูงขึ้น จากข้อมูลชมรมผู้ส่งออกเครื่องประดับเงินไทยพบว่าในปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องประดับเงินในประเทศไทย จำนวนโรงงาน 500 แห่ง และมีแรงงานรวม 80,000 คน อุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินของไทยเพื่อการส่งออกมีพัฒนาการมากกว่า 20 ปี จนปัจจุบันได้ก้าวขึ้นเป็นศูนย์กลางการผลิตเครื่องประดับเงินที่ใหญ่ที่สุดรองจากประเทศอิตาลี ความต้องการเครื่องประดับเงินในตลาดผู้บริโภคยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีบริษัทผลิตเครื่องประดับเงินเกิดขึ้นมากมาย อุตสาหกรรมเครื่องประดับเงินของไทย เติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา และคาดว่าจะยอดการส่งออกเครื่องประดับเงินของไทยโดยรวมจะรักษาระดับการเติบโตได้ต่อไป ด้วยเหตุที่มีการแข่งขันในอุตสาหกรรมเครื่องเงินทำให้ผู้ผลิตจึงต้องสร้างสรรค์สินค้าเพื่อเจาะตลาดเฉพาะกลุ่มเป้าหมายโดยอาศัยการออกแบบสินค้าเครื่องประดับที่มีรูปลักษณ์แปลกใหม่ หรือการผลิตสินค้าด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง

ปัจจุบันการขึ้นรูปเครื่องประดับแนวใหม่ที่ใช้ความรู้พื้นฐานจากกรรมวิธีการอัดผงโลหะเริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมเครื่องประดับในต่างประเทศ เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ทำได้ง่าย ได้เครื่องประดับที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละคนที่สามารถทำได้เอง ซึ่งถือได้ว่าเป็นงานอดิเรกของผู้ทำเครื่องประดับ กรรมวิธีนี้ได้แก่ การขึ้นรูปด้วยดินจากผงโลหะ (Metal Clay) ในต่างประเทศมีการก่อตั้งกลุ่มผู้ทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ มีกลุ่มอบรมให้ความรู้ และมีการซื้อขายผ่านอินเทอร์เน็ต¹⁻² จากฐานข้อมูลของวารสารและสิทธิบัตรเกี่ยวกับการขึ้นรูปเครื่องประดับ³⁻⁸

พบว่าการขึ้นรูปเครื่องประดับด้วยกรรมวิธีนี้จะต้องใช้ส่วนผสมหลักได้แก่ ผงโลหะมีค่า น้ำ และตัวประสานอินทรีย์เช่น แป้ง หรือ cellulose resin ส่วนประกอบทั้งหมดไม่มีส่วนผสมของดินเหนียว แต่ที่เรียกว่า “Clay” เนื่องจากผงโลหะเมื่อนำมาผสมกับตัวประสานและน้ำแล้วจะมีลักษณะและสีคล้ายดินเหนียว ผงโลหะมีค่าทั่วไปที่ใช้ทำเครื่องประดับได้แก่ ทอง เงิน ทองแดง นิกเกิล หรืออัลลอยด์ของโลหะชนิดต่าง ๆ โดยใช้ผงโลหะที่มีขนาดประมาณ 1-200 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าหากผงโลหะมีขนาดใหญ่กว่า 200 ไมโครเมตร จะทำให้การยึดตัว และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง การขึ้นรูปจะทำการผสมผงโลหะกับตัวประสาน โดยสัดส่วนผงโลหะ 50-90% โดยน้ำหนัก การเลือกชนิดของตัวประสานขึ้นอยู่กับชนิดของผงโลหะ แต่โดยทั่วไปจะใช้ตัวประสานเป็น cellulose ที่ละลายน้ำได้ เช่น methyl cellulose หรือ ethyl cellulose เนื่องจากเมื่อให้ความร้อน จะทำให้ตัวประสานชนิดนี้มีลักษณะเป็นเจลที่ขึ้นรูปง่าย อย่างไรก็ตามหากปริมาณตัวประสานมีค่าน้อยกว่า 0.8% โดยน้ำหนัก จะทำให้ขึ้นรูปได้ไม่ดี แต่หากมีค่าเกิน 8% ก็จะทำให้การไหลและการขึ้นรูปไม่ดีเช่นกัน นอกจากอัตราส่วนผงโลหะและตัวประสานจะมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงาน อุณหภูมิการเผาผนึก และความแข็งแรงของชิ้นงานแล้ว ยังมีผลต่อสีของชิ้นงานหลังการเผาด้วย อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูปด้วยตัวประสานที่ละลายน้ำได้ยังประสบปัญหาการขยายตัวของน้ำ ตัวประสาน และผงโลหะที่เกิดการระเหยการหลอมเหลว และการขยายตัวไม่เท่ากันเมื่อได้รับความร้อนสูงขณะทำการเผาผนึก ทำให้ชิ้นงานแตกได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาหาอุณหภูมิการเผาผนึก ขนาดของผงโลหะ และอัตราส่วนตัวประสานและผงโลหะที่เหมาะสม

การขึ้นรูปจากผงโลหะที่นิยมได้แก่ เงิน ที่เรียกว่า ซิลเวอร์เคลย์ (silver clay) ซิลเวอร์เคลย์ที่มีขายเชิงพาณิชย์จะมีอนุภาคเงินในระดับไมครอน มีการผสมกับตัวประสานต่างกันตามสูตรที่ได้รับการพัฒนามานับ 10 ปี การทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ทำได้ง่าย เพียงแค่นำซิลเวอร์เคลย์มาปั้นให้ได้รูปแบบตามต้องการแล้วเพียงนำไปเผา ก็จะได้เครื่องประดับเงินที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว จึงเป็นกระบวนการผลิตที่ง่าย ต้นทุนต่ำ ไม่ต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ แม้ซิลเวอร์เคลย์จะมีจำหน่ายอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ แต่การผลิตเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ไม่นิยมทำในประเทศไทย เนื่องจากต้องมีการนำเข้าซิลเวอร์เคลย์จากต่างประเทศ (เช่น ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา) ซึ่งมีราคาขายที่แพงกว่าโลหะเงินที่เป็นวัตถุดิบถึงเกือบห้าเท่าตัว ทำให้เสียโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรมฝีมือแรงงานไทยในการผลิตเครื่องประดับเงินในรูปแบบใหม่ ซึ่งมีเอกลักษณ์ความเป็นไทยเฉพาะตัว เนื่องด้วยช่างไทยเป็นช่างฝีมือที่มีคุณภาพ มีความชำนาญ หากสามารถหาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการรังสรรค์งานศิลป์ เช่น การผลิตเครื่องประดับที่มีความละเอียดซับซ้อน หรือเครื่องประดับที่ใส่ความเป็นไทยลงในผลงานได้ จะทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ในการทำเครื่องประดับ

ด้วยวิวัฒนาการด้านนาโนเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาวัสดุนาโนชนิดต่างๆ ทำให้สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะเงินได้ และขณะนี้คณะนักวิจัยของไทยสามารถผลิตวัตถุดิบวัสดุนาโนมาใช้เองได้ในประเทศ สามารถนำอนุภาคนาโนดังกล่าวมาประกอบเป็นอุปกรณ์หรือวัสดุที่หลากหลายตอบสนองการใช้งานได้หลายฟังก์ชัน โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ต้องใช้โครงสร้างซับซ้อน หากสามารถประยุกต์ศาสตร์ทางด้านนาโนเทคโนโลยีเพื่อการบูรณาการวัสดุดังกล่าวให้ใช้งานได้หลากหลาย จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศยิ่งขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ทำรายได้หลักให้กับประเทศดังที่กล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดริเริ่มที่จะนำอนุภาคนาโนของเงินมาทำการขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับด้วยกรรมวิธีการผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ ซึ่งยังไม่เคยมีผู้ใดนำอนุภาคนาโนของเงินมาทำเครื่องประดับ ดังนั้นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาในการขึ้นรูปเครื่องประดับเงินด้วยอนุภาคนาโนเมตรนี้จึงต้องทำการศึกษาหาอัตราส่วนตัวประสานและผงโลหะที่เหมาะสมในการผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ สภาวะของอุณหภูมิในการเผาผนึก (Sintering) ด้วยเทคนิค TG และ DTA โดยทำการศึกษารวมตัวของอนุภาคเงินด้วยเครื่อง SEM ศึกษาอิทธิพลของเวลา อุณหภูมิ และอัตราเร่งในการเผา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปนาโนซิลเวอร์เคลย์ในการทำเครื่องประดับเงินที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานเบื้องต้นที่จะนำไปต่อยอดนวัตกรรมอุตสาหกรรมเครื่องประดับต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

ศึกษาการขึ้นรูปของอนุภาคนาโนของเงินด้วยวิธีการอัดผงโลหะ เพื่อนำไปต่อยอดนวัตกรรมการทำเครื่องประดับ โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาในการเผาผนึก ชนิดและอัตราส่วนของตัวประสานที่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน

วิธีทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การศึกษาชนิดตัวประสานและอัตราส่วนตัวประสานที่เหมาะสมเพื่อผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์มีประสิทธิภาพในการขึ้นรูปเครื่องประดับ และการศึกษาอิทธิพลการเผาเพื่อหาสภาวะการเผาที่เหมาะสมแก่การทำเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ สภาวะดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราเร่ง และเวลายืนไฟ โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการขึ้นรูปเพื่อทำเครื่องประดับ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การหดตัว ความแข็ง ความหนาแน่น ปริมาตรรูพรุน เครื่องมือและวิธีการศึกษา มีดังนี้

1. การศึกษาชนิดตัวประสานและอัตราส่วนผสม

ตัวประสานที่เลือกใช้มี 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose, MC) และ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) โดยผสมด้วยอัตราส่วนต่างกั้ดงตารางที่ 1 กรรมวิธีกั้่อนนำตัวประสานมาผสมกับผงเงินขนาดนาโนเมตร การเตรียมแป้งข้าวเหนียวจะใช้ความเข้มข้น 10% W/V และต้องนำไปละลายน้ำและต้มให้เดือดเพื่อให้สารละลายเข้ากันก่อน สำหรับเมทิลเซลลูโลส จะต้องนำมาละลายน้ำในอัตราส่วน 1 กรัม ต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร

หน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ สามารถสังเคราะห์ผงเงินขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรโดยควบคุมขนาดของอนุภาคได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาขนาดอนุภาคที่เหมาะสมในการนำผงเงินมาทำนาโนซิลเวอร์เคลย์ โดยแบ่งผงเงินออกเป็น 2 ขนาด ตามลักษณะสีของผงเงินที่แตกต่างกันชัดเจน ดังรูปที่ 1 ได้แก่ ผงเงินสีเทาเข้ม และผงเงินสีเทา

2. การศึกษาอิทธิพลการเผาเพื่อหาสภาวะการเผาที่เหมาะสม ในขั้นตอนนี้จะนำสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากการทดลองแรก มาทำการหาสภาวะการเผา และทำการเปรียบเทียบผลกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ซึ่งมีอนุภาคเงินขนาดไมโครเมตร¹⁻² ยี่ห้อ ART Clay 650 ซึ่งตัวเลข 650 บนผลิตภัณฑ์ แสดงถึงการเผาได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด 650°C การทดลองส่วนนี้จะใช้เครื่องมือดังนี้

2.1 Thermal Analysis ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง STA 449C NETZSCH (TGA-DTA) อุณหภูมิตั้งแต่ 30-900°C scanning rate 20°C/min

2.2 การศึกษาขนาดอนุภาคและการพ่นกั้ตัวของอนุภาคด้วยเครื่อง SEM JEOL รุ่น JSM-6510A

2.3 การวิเคราะห์ความแข็ง โดยใช้เครื่อง INSTRON WOLPERT GmbH รุ่น DIA TESTOR 751 วัดแบบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) โดยลักษณะของหัวกดจะเป็นแบบพีระมิด ขนาดหัวกดที่ใช้เท่ากับ 5 มิลลิเมตร แรงที่ใช้กด 5 นิวตัน และเวลาในการกด 10 วินาที

2.4 การศึกษาความหนาแน่นของชิ้นงานและปริมาตรรูพรุนเปิด ใช้หลักการเดียวกันกับการวิเคราะห์เซรามิก โดยวัดความหนาแน่นของชิ้นงานและปริมาตรรูพรุนเปิดด้วยเครื่อง Hydrostatic วิธีการทำได้โดยนำชิ้นงานมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงให้ชิ้นงานอ้อมตัวด้วยน้ำจากนั้นชั่งน้ำหนักในน้ำ และ ชั่งน้ำหนักในอากาศ เช็ดชิ้นงานกับฟองน้ำหมาด ๆ เพื่อซับน้ำในส่วนที่เกินออก คำนวณความหนาแน่น และคำนวณปริมาตรรูพรุนเปิดได้ดังสมการ

$$\text{ความหนาแน่น} = (\text{น้ำหนักในอากาศก่อนต้ม} / \text{ปริมาตรของชิ้นงาน}) \quad (\text{g/cm}^3)$$

ปริมาตรของชิ้นงาน = (น้ำหนักในอากาศหลังต้ม-น้ำหนักในน้ำหลังต้ม) / ความหนาแน่นของน้ำ

ปริมาตรรูพรุนเปิด = (น้ำหนักในอากาศหลังต้ม-น้ำหนักในอากาศก่อนต้ม) / ความหนาแน่นของน้ำ

2.5 เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร วิธีการทำได้โดยวัดขนาดของชิ้นงานทั้ง 3 ด้าน (กว้าง × ยาว × สูง) ทั้งก่อนและหลังเผา นำไปคำนวณปริมาตรก่อนและหลังเผา แล้วนำมาคำนวณ เปอร์เซนต์ในการหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงาน

ผลการทดลอง

1. การศึกษาชนิดตัวประสานและอัตราส่วนผสม

ผลการศึกษาชนิดตัวประสานและอัตราส่วนตัวประสาน แสดงดังตารางที่ 1 การเลือกชนิดตัวประสานจะเลือกตัวประสานอินทรีย์ที่ละลายได้ง่ายเมื่อทำการเผา จึงไม่เลือกพอลิเมอร์เหมือนการผลิตซิลเวอร์เคลย์สูตรอื่นๆ ที่มีอยู่ในสิทธิบัตรอเมริกาและญี่ปุ่น³⁻⁸ ตัวประสานที่เลือกมา 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose, MC) และ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) และนำมาผสมกับผงเงินขนาดนาโนเมตรโดยใช้อัตราส่วนผสมต่างกัน แล้วทำให้แห้งก่อนนำไปเผาที่สภาวะเดียวกันทั้งหมด ได้แก่ อุณหภูมิ 800°C อัตราเร่ง 20°C/min เวลายืนไฟ 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 ซึ่งใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวประสานเพียงชนิดเดียวมีวิธีการเตรียมที่ยุ่งยาก คือต้องนำไปละลายน้ำร้อนให้เหนียวขึ้นก่อนจึงนำมาทำนาโนซิลเวอร์เคลย์ได้ และเมื่อผสมกับผงเงินจะทำให้ปั้นยาก มีความเหนียวหนืดสูง ดัดมือ แต่แข็งตัวเร็ว หลังจากแข็งตัวแล้วไม่สามารถนำกลับมาผสมหรือวาดซ้ำเพื่อให้ปั้นได้อีกครั้ง และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง แต่หากใช้เมทิลเซลลูโลสเป็นตัวประสานเพียงตัวเดียว จะได้ลักษณะคล้ายกัน แต่มีความหนืดและเหนียวน้อยกว่า ปั้นขึ้นรูปง่ายกว่า แต่ผิวชิ้นงานไม่เรียบเนียน สำหรับสูตรที่ 3 ซึ่งได้ใช้อัตราส่วนผสมของตัวประสานทั้งสามชนิดร่วมกัน พบว่าหากใช้แป้งข้าวเหนียวจะทำให้ชิ้นงานคงรูปได้ดี แต่มีความเหนียวมาก และไม่สามารถนำกลับมาวาดปั้นใหม่ได้ อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณแป้งมากเกินไป จึงทำให้แข็งตัวเร็วและหดตัวมาก แต่อย่างไรก็ตาม การแข็งตัวเร็วที่เกิดจากการใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นตัวประสานเป็นข้อจำกัดหนึ่งในการทำซิลเวอร์เคลย์ เนื่องจากเราต้องการให้ซิลเวอร์เคลย์แห้งช้า และหากแห้งแล้วต้องการให้ผสมน้ำเพียงเล็กน้อยแล้วสามารถนำกลับมาปั้นใหม่ได้ จึงไม่เลือกแป้งข้าวเหนียวมาเป็นส่วนผสมในการทำตัวประสาน สำหรับสูตรที่ 4 ใช้ตัวประสาน 2 ชนิด คือ MC และ SDS ในอัตราส่วน nano-silver powder : MC : SDS = 95 : 3 : 2 จะได้นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เหมาะสมกับการปั้น ค่อนข้างนิ่ม ไม่เหนียวมาก ไม่ติดมือ มีการคงตัวดี นำกลับมา

นวดซ้ำได้เมื่อแข็งตัว แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง จึงทำการลดอัตราส่วนตัวประสานลงเหลือเพียง 97 : 2 : 1 ถือได้ว่าเป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดคือ ไม่นิ่มมากเกินไปไม่เหนียวมาก ไม่ติดมือ มีการคงตัวดี นำกลับมาทวนซ้ำได้เมื่อแข็งตัว และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำลง แต่ต้องทำการศึกษาสภาวะในการเผาที่เหมาะสมสำหรับนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาทำเครื่องประดับ เพื่อให้ได้ความแข็งตัวที่ดีและการหดตัวน้อย

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมนาโนซิลเวอร์เคลย์

สูตร ที่	อัตราส่วนผสมเงินและตัวประสาน (%Wt)				ลักษณะนาโนซิลเวอร์เคลย์ สำหรับปั้นขึ้นรูป	เปอร์เซ็นต์ การหดตัว
	Nano- silver powder	แป้ง ข้าว เหนียว	MC	SDS		
1	95	5	-	-	มีความเหนียวสูง ปั้นขึ้นรูปยาก ติดมือ แข็งตัวเร็ว	25-50
2	95	-	5	-	มีความเหนียวน้อยกว่าแบบแรก เหลว ผิวไม่เรียบเนียน แต่ปั้นขึ้นรูปง่ายกว่าและแข็งตัวช้ากว่าแบบแรก	25-48
3	95	2	2	1	มีความเหนียวสูง แข็งตัวเร็ว แต่ไม่ติดมือมาก ผิวเรียบเนียนขึ้น	20-45
4	95	-	3	2	ผิวเรียบเนียน เหนียว ปั้นขึ้นรูปง่าย ไม่ติดมือ แข็งตัวช้า	20-45
5	97	-	2	1	ผิวเรียบเนียน เหนียว ปั้นขึ้นรูปง่าย ไม่ติดมือมาก แข็งตัวช้า	10-30

นอกจากการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การปั้นขึ้นรูป นักวิจัยได้ทำการหาขนาดของผงโลหะที่เหมาะสมในการนำมาทำนาโนซิลเวอร์เคลย์ เนื่องจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้สามารถสังเคราะห์ผงเงินขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรโดยสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคได้พบว่าขนาดอนุภาคต่างกันจะส่งผลให้ผงโลหะเงินมีสีต่างกัน สีของผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้แบ่งเป็น 2 สี ที่แตกต่างกันได้ชัดเจน ได้แก่ สีเทาเข้มถึงดำ และสีเทาอ่อน ดังรูปที่ 1 เมื่อนำไปศึกษาด้วย SEM พบว่าผงเงินที่มีสีเทาเข้มจะมีขนาดอยู่ในช่วง 1-20 nm ในขณะที่ผงเงินสีเทาอ่อนจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10-250 nm แต่ขนาดเฉลี่ยอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 100 -150 nm จึงได้นำผงเงินที่มีขนาดอนุภาคที่ต่างกันทั้ง 2 ขนาด มาทำการทดลอง

ผสมกับตัวประสานอินทรีย์ 2 ชนิดดังกล่าว ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส และ โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟตในอัตราส่วนของ nano-silver powder : MC : SDS เท่ากับ 97 : 2 : 1 แล้วนำมาบดจนเป็นลักษณะคล้ายดิน พบว่านาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทำจากผงเงินขนาดเล็ก (สีเทาดำ) บดแล้วผิวไม่เรียบเนียน ในขณะที่นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทำจากผงโลหะเงินขนาดใหญ่สีเทาอ่อน บดแล้วผิวเรียบเนียน ขึ้นรูปได้ง่ายกว่า และเมื่อนำนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากผงเงินทั้ง 2 ขนาดนั้นไปทำการทดลองเผาพร้อมกันที่สภาวะการเผาเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 800°C อัตราเร่ง 20°C/min และเวลา 1 ชั่วโมง พบว่านาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทำจากผงเงินขนาดเล็กสีดำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่า 50% และชิ้นงานมีความเปราะง่าย สามารถหักชิ้นงานได้ และพบว่าภายในเนื้องานยังไม่หลอมกันเป็นโลหะเงิน เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากซึ่งอยู่ห่างกันนั้นไม่สามารถหลอมตัวเข้ามาผนึกติดกันได้ในขณะที่นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทำด้วยผงโลหะเงินสีเทาอ่อน (ขนาดอนุภาค 10-250 nm) เมื่อเผาแล้วจะได้ชิ้นงานที่มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำกว่า 25-35% และมีความแข็งแรง ไม่สามารถหักได้ด้วยแรงมือ ดังนั้นการทดลองในขั้นตอนอื่นๆ ทั้งหมดนี้จึงใช้ผงโลหะเงินขนาดนาโนที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 10-250 nm มาทำเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ โดยผสมผงโลหะขนาดอนุภาคนี้กับตัวประสาน 2 ชนิด ในอัตราส่วน nano-silver powder : MC : SDS เท่ากับ 97 : 2 : 1



(ก)

(ข)

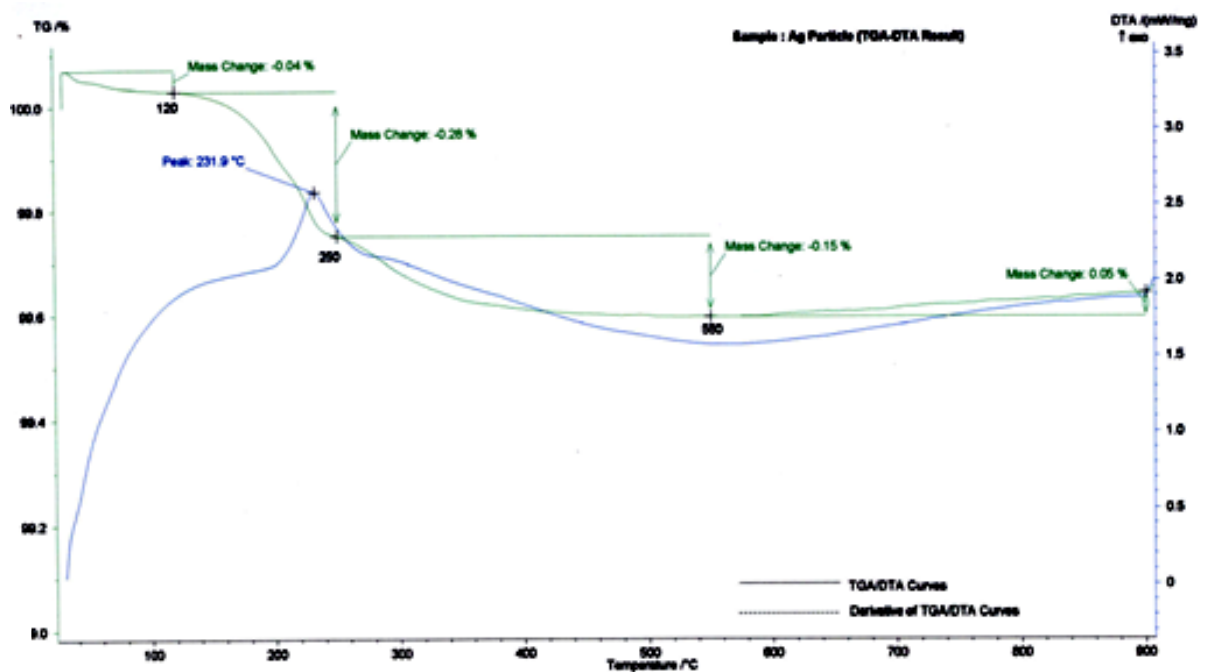
รูปที่ 1 ขนาดอนุภาคของผงเงินระดับนาโนเมตร ก.) ผงเงินสีเทาเข้ม ข.) ผงเงินสีเทาอ่อน



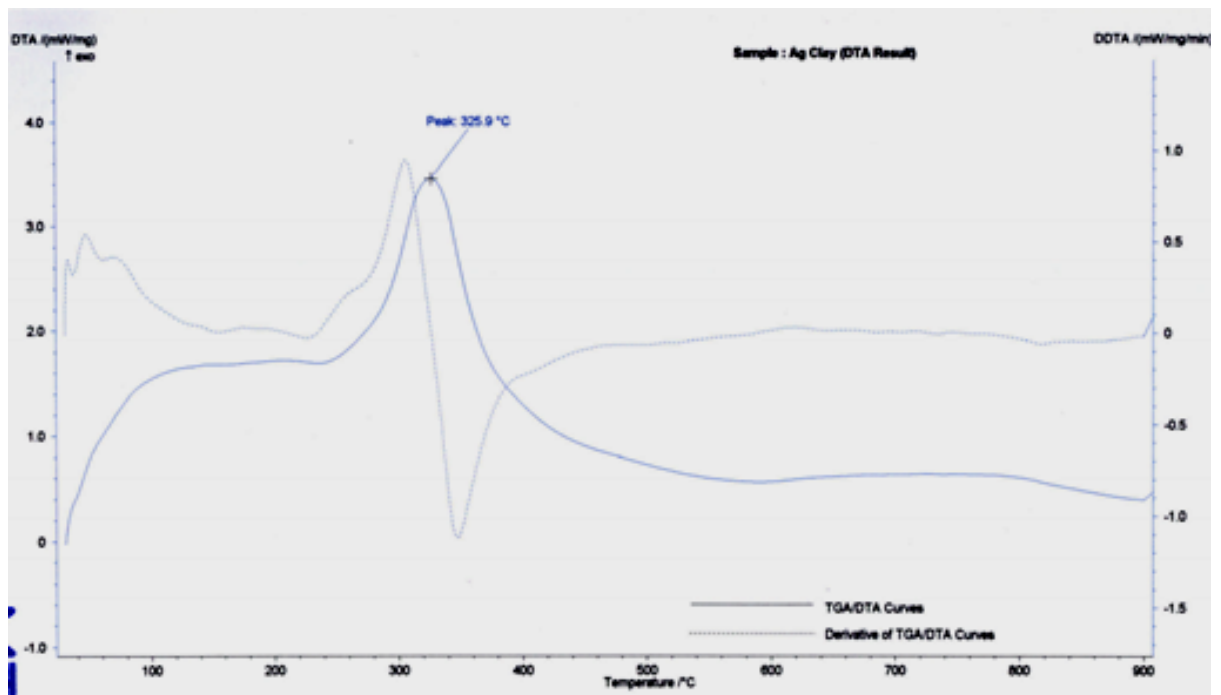
รูปที่ 2 ภาพชิ้นงานตัวอย่างก่อนและหลังเผา

2. Thermal Analysis

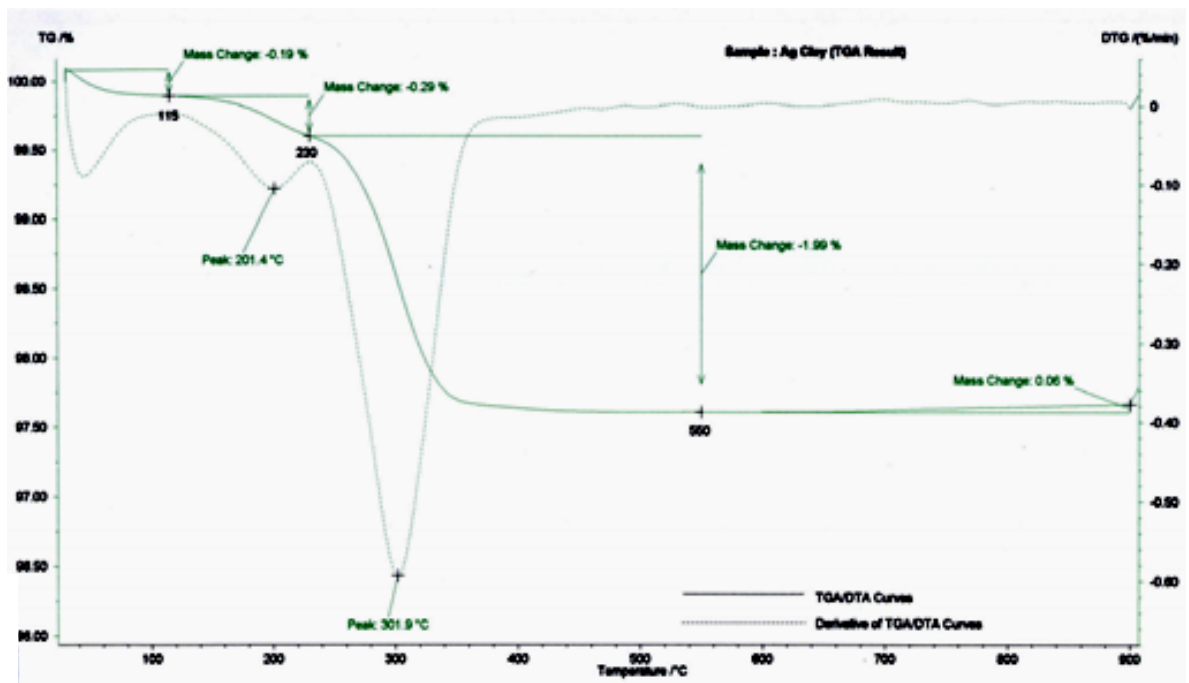
ทดลองวิเคราะห์เพื่อหาอุณหภูมิในการเผาผนึก (sintering temperature) ของ nano-silver powder และนาโนซิลเวอร์เคลย์ เทียบกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ขนาดอนุภาคระดับไมครอน ได้แก่ ART Clay 650 โดยเครื่อง STA ผลของ TG และ DTA Thermogram ของ nano-silver powder และซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 3-6



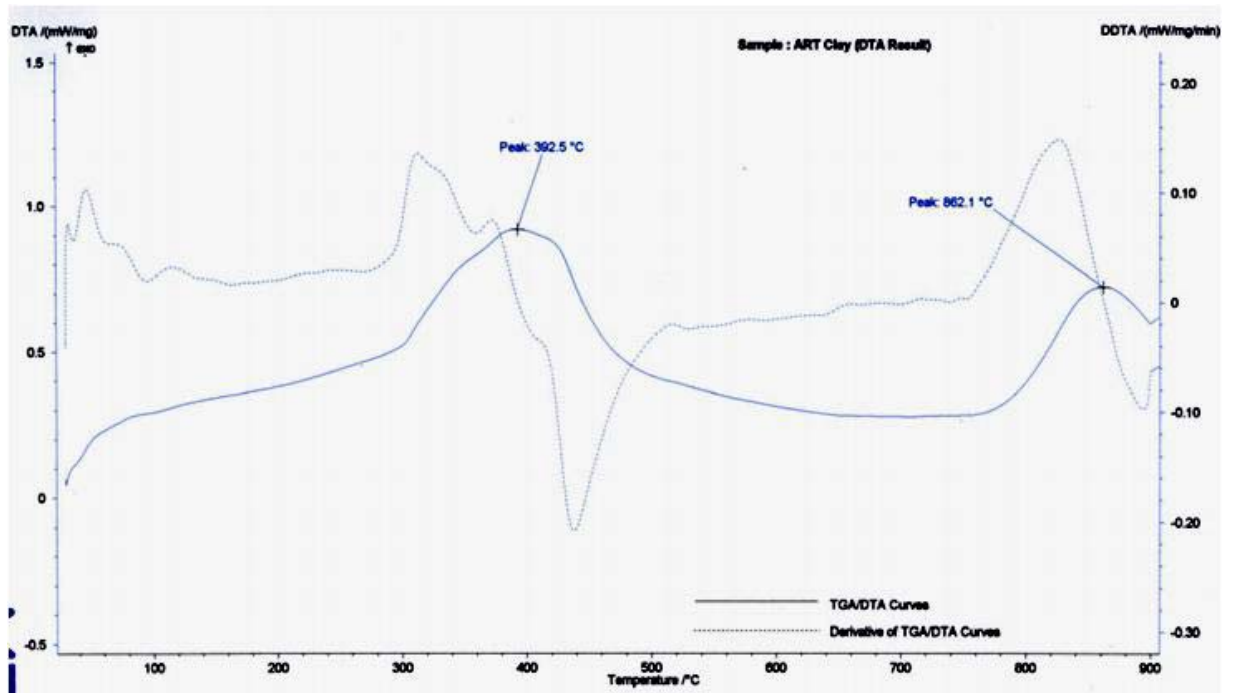
รูปที่ 3 TG-DTA thermogram ของ nano-silver powder



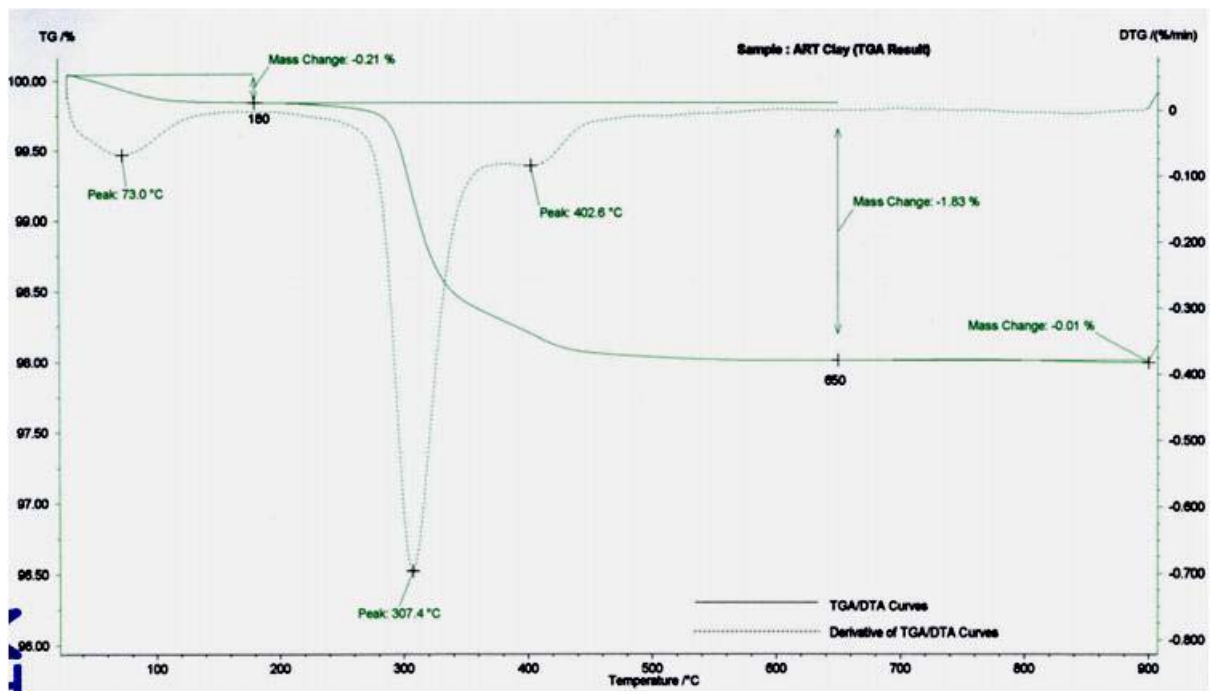
รูปที่ 4 DTA thermogram ของนาโนซิลเวอร์เคลย์



รูปที่ 5 TG thermogram ของนาโนซิลเวอร์เคลย์



รูปที่ 6 DTA thermogram ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650)



รูปที่ 7 TG thermogram ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650)

TG-DTA ของ nano-silver powder ดังรูปที่ 3 แสดงอัตราการสูญเสียน้ำหนักเพียงช่วงเดียวคือประมาณ 120-250 °C ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำ และ DTA ของ nano-silver powder แสดง exothermic peak ที่ตำแหน่ง 232 °C เนื่องจากการคายความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน phase ของชิ้นงานหรือเปลี่ยนโครงสร้างผลึก เกิดการ sintering หรือฟลักตัวของผงเงินกลายเป็นโลหะเงินนั่นเอง อาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิการเผาผนึกของอนุภาคผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร (nano-silver powder) มีค่า 232 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของเงินมาก (960 °C) และยังต่ำกว่าอุณหภูมิเผาผนึกของโลหะเงินขนาดไมครอนซึ่งมีค่าประมาณ 400 °C และอนุภาคผงเงินขนาดนาโนเมตรที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเผาผนึกประมาณ 250 °C

DTA ของนาโนซิลเวอร์เคลย์ดังรูปที่ 4 แสดง exothermic peak ที่ตำแหน่ง 326 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของผงเงินขนาดนาโนเมตร เนื่องจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ประกอบด้วยตัวประสานและน้ำภายในซึ่งสลายตัวที่อุณหภูมิ 60-302 °C ดังแสดงใน TG curve ระหว่างที่ตัวประสานสลายตัวจนหมดสิ้นอนุภาคผงโลหะเงินจะมีการเคลื่อนที่เข้าหากันเพื่อเกิดการรวมตัวผนึกกันเป็นโลหะเงิน ที่อุณหภูมิ 326 °C นี้จึงเกิดจากการเปลี่ยน phase ของชิ้นงาน เกิดการสร้างผลึกเนื่องจากการรวมตัวกันของอนุภาคเงินขนาดนาโนเมตรเริ่มเชื่อมผนึกกันเป็นโลหะเงิน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิเผาผนึกของนาโนซิลเวอร์เคลย์ ในขณะที่ DTA curve ของนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ชนิด ART Clay 650 (รูปที่ 6) แสดง exothermic peak ที่ตำแหน่งประมาณ 392 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเผาผนึกของ ART Clay ที่มีขนาดอนุภาคระดับไมครอน และพบอีกตำแหน่งที่ 862 °C แสดงว่าหลังจากการเผาผนึกแล้ว โลหะเงินเกิดการ collapse ของโครงสร้างและอาจเกิด recrystallization อีกครั้งที่อุณหภูมินี้ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของโลหะเงิน (960 °C) อย่างไรก็ตามแสดงว่าขนาดอนุภาคที่เล็กลงทำให้อุณหภูมิการเผาผนึกต่ำลง เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กกว่ามีพื้นที่ผิวมากกว่า สามารถใช้พลังงานความร้อนปริมาณน้อยกว่าในการทำให้อนุภาคขนาดเล็กเชื่อมหรือผนึกตัวกัน นาโนซิลเวอร์เคลย์จึงมีอุณหภูมิในการเผาผนึกต่ำกว่าซิลเวอร์เคลย์ขนาดไมครอนที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

พิจารณาผลของ TG ของนาโนซิลเวอร์เคลย์ดังรูปที่ 5 พบว่ามีอัตราการสูญเสียน้ำหนักของนาโนซิลเวอร์เคลย์แบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C เกิดจากการสูญเสียน้ำภายในนาโนซิลเวอร์เคลย์ ช่วงที่ 2 และ 3 คือที่ อุณหภูมิประมาณ 201 °C และ 302 °C น่าจะเกิดจากการสลายตัวของตัวประสานทั้ง 2 ชนิด โดยที่ 201 °C มีการอัตราการสูญเสียน้ำหนัก 0.3% เกิดจากการสลายตัวของ SDS ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ประมาณ 200 °C ในขณะที่อุณหภูมิ 302 °C มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักประมาณ 2% สัมพันธ์กับการสลายตัวของ MC ซึ่งสามารถสลายตัวได้ที่ 250-

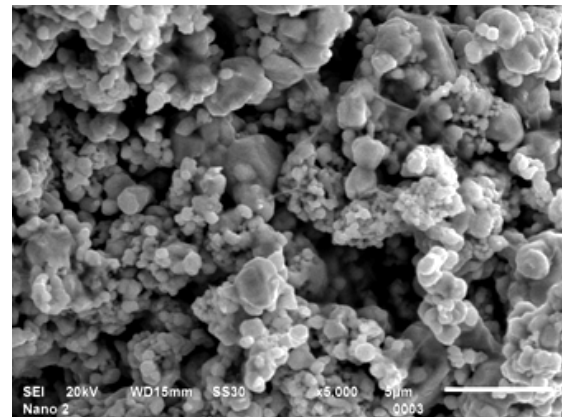
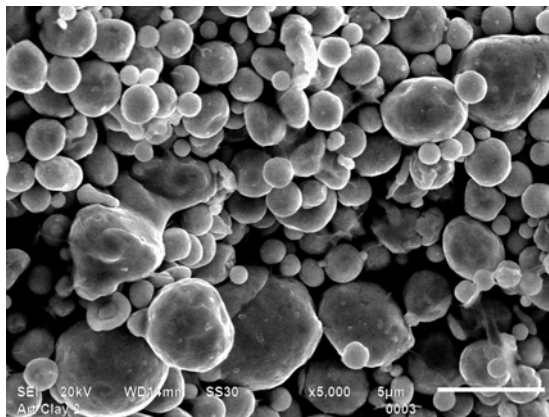
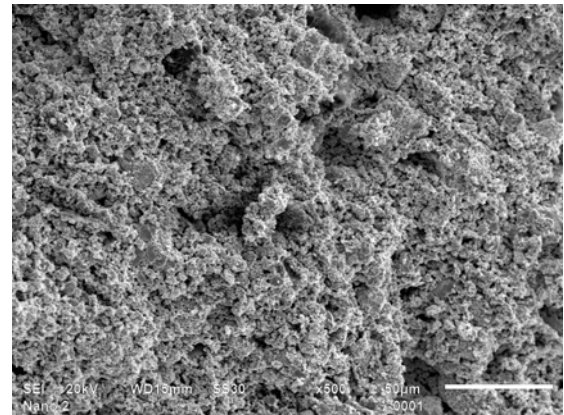
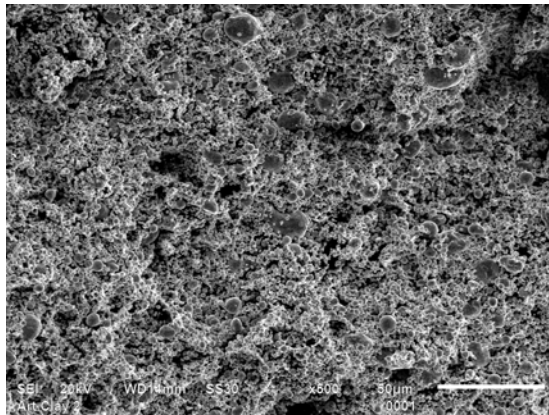
300°C หลังจากอุณหภูมิ 302°C ขึ้นไป ชีงงานมีความเสถียร (stable) ต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน เนื่องจากชีงงานมีการรวมตัวเป็นโลหะเงินอย่างสมบูรณ์แล้ว

TG ของซิลเวอร์เคลย์ขนาดไมครอน หรือ ART Clay 650 แสดงดังรูปที่ 7 จากรูปจะเห็นว่าการสูญเสียน้ำหนักใน 3 ช่วงเช่นกัน ได้แก่ 73°C, 307°C และ 403°C ซึ่งที่อุณหภูมิ 73°C เกิดจากการสูญเสียในซิลเวอร์เคลย์นั่นเอง และอีก 2 ตำแหน่ง น่าจะเกิดจากการสลายตัวของตัวประสานของซิลเวอร์เคลย์ชนิดนี้ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนการสูญเสียน้ำหนัก (%TG) ของนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทางผู้วิจัยผลิตขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับ %TG ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ คือมีอัตราส่วนการสูญเสียน้ำหนักไม่เกิน 3.5% ดังนั้นแสดงว่าอัตราส่วนผสมระหว่างผงอนุภาคโลหะเงินกับตัวประสานของสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ชนิดนี้น่าจะใกล้เคียงกัน และอัตราส่วนผสมของตัวประสานนี้เองมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชีงงาน จึงอาจกล่าวได้ว่าการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์น่าจะได้ผลการหดตัวและคุณสมบัติของชีงงานใกล้เคียงกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ชนิดนี้ แต่มีข้อดีตรงที่มีอุณหภูมิในการเผาที่ต่ำกว่า ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ด้านอื่นๆ ต่อไป อย่างไรก็ตาม แม้จะได้สูตรที่เหมาะสมในการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ แต่ต้องศึกษาสภาวะในการเผาที่เหมาะสมสำหรับนาโนซิลเวอร์เคลย์เพื่อให้ได้ความแข็งแรงและการหดตัวที่ยอมรับได้ในการนำไปผลิตเครื่องประดับต่อไป

3. การศึกษาสภาวะการเผาและคุณสมบัติทางกายภาพ

อนุภาคผงเงินระดับนาโนเมตรที่ผู้วิจัยได้ผลิตขึ้นได้ถูกนำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ พิจารณา SEM Image ในรูปที่ 8 นาโนซิลเวอร์เคลย์มีขนาดเล็กกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์หลายเท่า และนาโนซิลเวอร์เคลย์ประกอบด้วยอนุภาคของผงเงินขนาดใหญ่และเล็กปนกันและกระจายตัวสม่ำเสมอ นาโนซิลเวอร์เคลย์ประกอบด้วยอนุภาคของผงเงินที่มีขนาดในช่วง 10 - 250 nm โดยมีการกระจายตัวปนกันระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่และเล็กดังกล่าว และซิลเวอร์เคลย์ยี่ห้อ ART Clay 650 ประกอบด้วยผงเงินที่มีขนาดอนุภาค 0.3 - 7 ไมครอน นอกจากเราจะได้สูตรการปั้นที่เหมาะสมแล้วในขั้นต้น สิ่งสำคัญในการผลิตเครื่องประดับจากผงโลหะคือ การศึกษาสภาวะในการเผาที่เหมาะสมกับนาโนซิลเวอร์เคลย์สูตรที่ผลิตขึ้น ซึ่งเครื่องประดับที่ผลิตได้ควรมีความแข็งแรงสูงพอ ทนทาน และเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ยอมรับได้ ขั้นตอนต่อไปนี้ทั้งหมดจะทำการศึกษาสภาวะการเผาจากอิทธิพลของอุณหภูมิ อัตราเร่ง และเวลายืนไฟ เปรียบเทียบระหว่างนาโนซิลเวอร์เคลย์และ ART Clay 650 และศึกษา

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญสำหรับทำเครื่องประดับได้แก่ ค่าความแข็ง ความหนาแน่น ปริมาตร รูพรุนเปิด และเปอร์เซ็นต์การหดตัว



ก. ซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

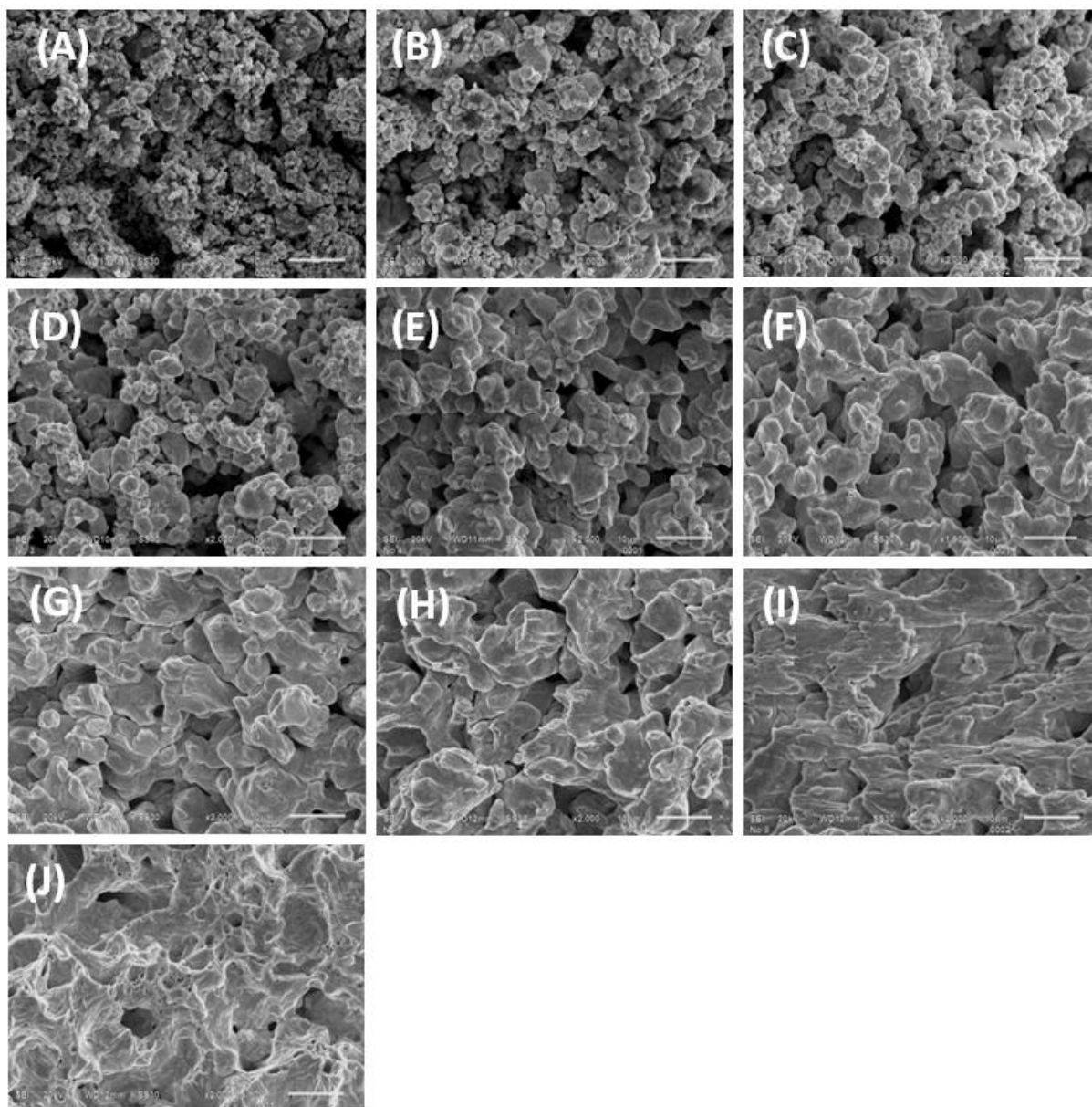
ข. นาโนซิลเวอร์เคลย์

รูปที่ 8 ภาพถ่าย SEM เปรียบเทียบขนาดอนุภาคซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ก), และนาโนซิลเวอร์เคลย์ (ข)

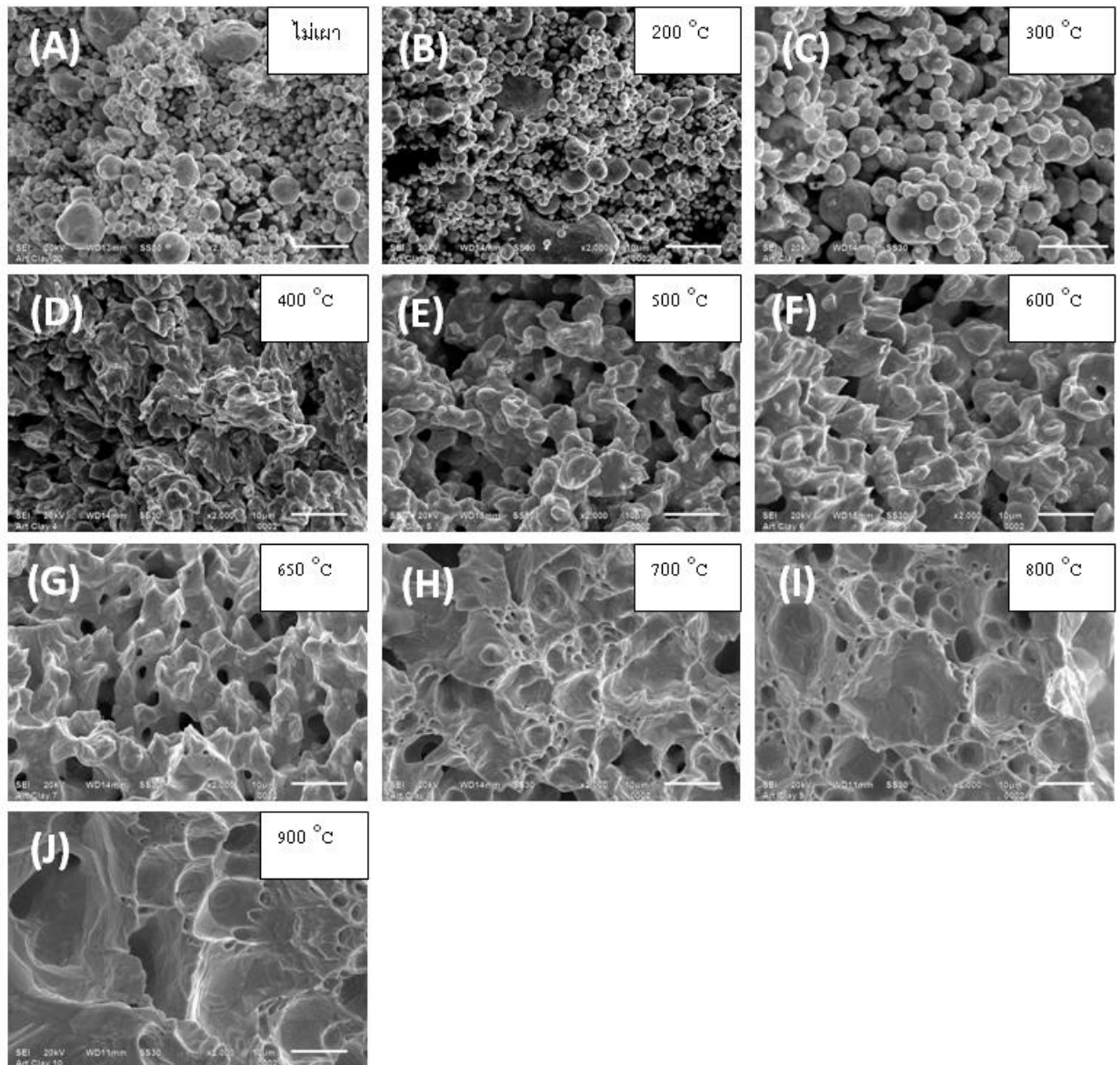
ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาานาโนซิลเวอร์เคลย์

ภาพ SEM ของนาโนซิลเวอร์เคลย์เปรียบเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีขายเชิงพาณิชย์ ที่เผาที่อัตราเร่งและเวลายืนไฟเท่ากัน ใช้อุณหภูมิในการเผาต่างกันตั้งแต่ 200-900 °C แสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่านาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาอุณหภูมิ 200°C ยังพบลักษณะอนุภาคเป็นเม็ดเงินซึ่งแสดงว่าการผืนึกกัน (sintering) อย่างไม่สมบูรณ์แต่จะเริ่มมีการผืนึกกันมากขึ้นจนอนุภาคจากทรงกลมเปลี่ยนเป็นรูปก้อนและดัมเบลอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 300 °C ซึ่งการเปลี่ยนรูปร่างที่เกิดจากการเชื่อมต่อของอนุภาค (necking) นี้เองแสดงถึงการเกิด sintering ของ

อนุภาคผงเงิน⁹⁻¹⁰ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย DTA ที่พบว่าอุณหภูมิเผาผนึกของนาโนซิลเวอร์เคลย์มีค่าประมาณ 302 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนาโนซิลเวอร์เคลย์จะมีการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น มีขนาดรูพรุนกว้างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่ออุณหภูมิที่ 800 °C จะเห็นได้ว่าผิวของชิ้นงานมีการเชื่อมประสานอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดการ collapse ของโครงสร้างเชื่อมกันเป็นโลหะเงินอย่างสมบูรณ์ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 900 °C ชิ้นงานจะมีรูพรุนเพิ่มขึ้นเพราะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะเงิน แต่มีความเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งจะส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานของการเผาที่อุณหภูมิสูงมีค่ามาก ในขณะที่ภาพ SEM ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ หรือ ART Clay 650 (แสดงในรูปที่ 10) ที่ยังไม่ได้เผาจนถึงตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 300 °C ยังพบลักษณะทรงกลมของอนุภาคเม็ดเงินอยู่ และเริ่มผนึกตัวกันอย่างเห็นได้ชัด (sintering) ที่อุณหภูมิ 400 °C ชิ้นงานมีการรวมตัวกันมากขึ้นพร้อมกับการเกิดรูพรุน และพบว่าตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 600-650 °C มีการเชื่อมประสานของอนุภาคและรูพรุนที่สม่ำเสมอ เนื้อชิ้นงานมีการรวมตัวกันดี แต่มีปริมาตรรูพรุนเปิดมาก ในขณะที่ตัวอย่างที่เผาที่อุณหภูมิ 700-900 °C แม้ว่ามีรูพรุนขนาดใหญ่ที่ผิวหน้าแต่เนื้อชิ้นงานรวมเป็นเนื้อเดียวกันดีเช่นกัน ซึ่งน่าจะส่งผลให้การเผาที่อุณหภูมิสูงจะได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมาก



รูปที่ 9 ภาพ SEM ของนาโนซิลเวอร์เคลย์จากการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ไม่เผา, (B) 200 °C, (C) 300 °C, (D) 400 °C, (E) 500 °C, (F) 600 °C, (G) 650 °C, (H) 700 °C, (I) 800 °C, (J) 900 °C

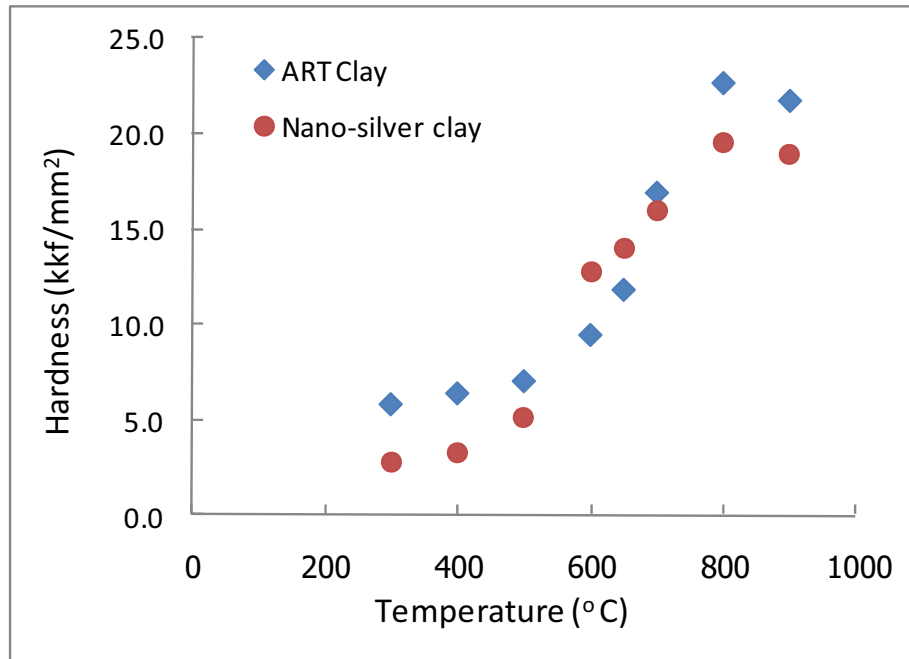


รูปที่ 10 ภาพ SEM ของซิลเวอร์เคลย์ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) จากการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (A) ไม่เผา, (B) 200 °C, (C) 300 °C, (D) 400 °C, (E) 500 °C, (F) 600 °C, (G) 650 °C, (H) 700 °C, (I) 800 °C, (J) 900 °C,

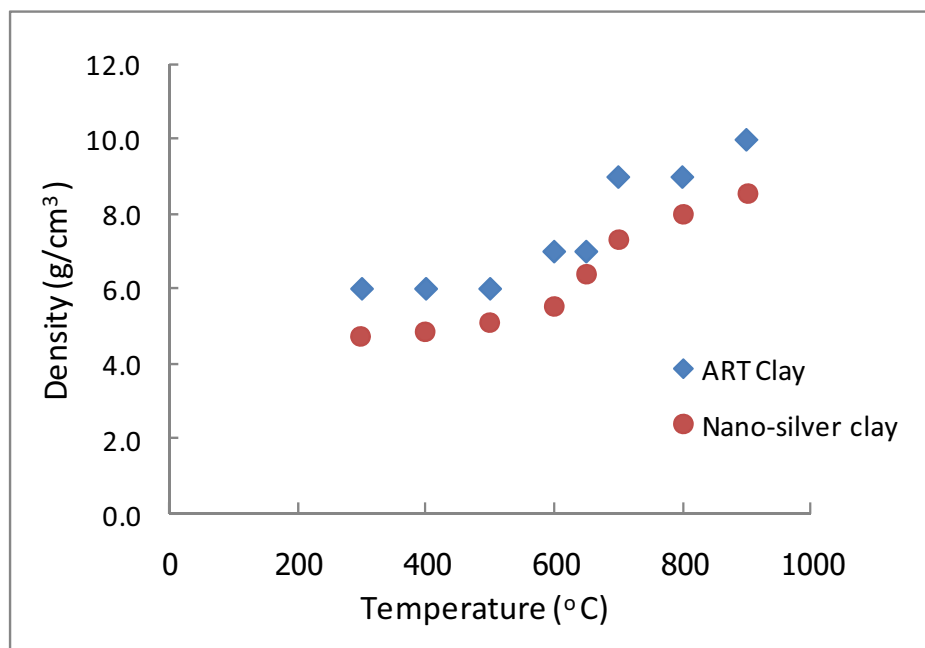
จากข้อมูล SEM ข้างต้นแสดงให้เห็นว่านาโนซิลเวอร์เคลย์มีอุณหภูมิเผาผนึกที่ต่ำกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ซึ่งได้ผลสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ด้วย DTA แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิเผาผนึก อนุภาคของเงินในนาโนซิลเวอร์เคลย์จะมีการประสานตัวกันเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคเชื่อมกันใหญ่ขึ้นเป็นระดับไมครอน การเชื่อมกันของอนุภาคเริ่มสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 600 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่านั้น โครงสร้างของอนุภาคและรูพรุนระหว่างอนุภาคจะเกิด collapse ทำให้ชิ้นงานเชื่อมตัวกันเป็น bulk คุณสมบัติทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 °C จึงมี

คุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ เช่น ความแข็ง และความหนาแน่น ซึ่งเป็นสมบัติหลักที่ต้องคำนึงถึงในการทำเครื่องประดับ ผลการวัดของความแข็ง และความหนาแน่นที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผาแสดงดังรูปที่ 11-14

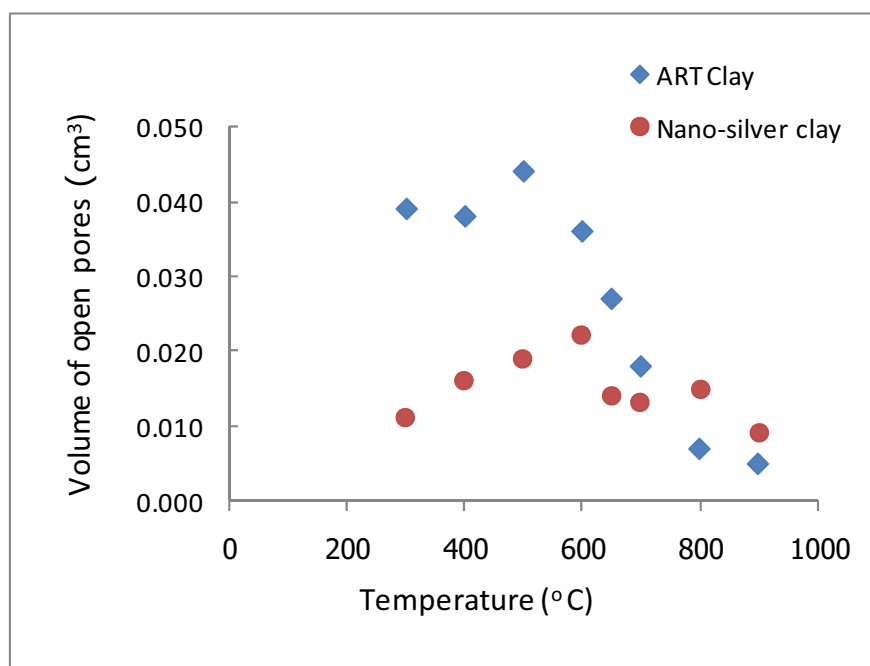
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับอุณหภูมิในการเผาของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์ ดังรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าช่วงการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์จึงมีค่าต่ำมาก เนื่องจากอนุภาคของเงินมีขนาดเล็กมาก ระยะห่างระหว่างอนุภาคเงินขนาดนาโนเมตรมีมาก อีกทั้งแทรกไปด้วยอนุภาคของตัวประสานซึ่งยังไม่สลายตัวหมดที่การเผาอุณหภูมิต่ำ (200-400°C) อนุภาคนาโนของเงินจึงยังรวมตัวกันยังไม่สมบูรณ์ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 600 – 650°C ค่าความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์มีค่าสูงขึ้นมากอย่างชัดเจนสังเกตจากความชันของกราฟ และเป็นช่วงที่มีค่าสูงกว่า ART Clay 650 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคระดับนาโนของเงินผนึกตัวเป็นโลหะเงินสมบูรณ์มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับภาพ SEM และค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (ดังรูปที่ 12) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูง 800 – 900°C ความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์เริ่มลดลงต่ำกว่า ART Clay 650 เนื่องจากอนุภาคที่เชื่อมกันนั้นเกิดการ collapse ของโครงสร้าง (ดังภาพ SEM) แม้นาโนซิลเวอร์เคลย์จะเชื่อมตัวกันเป็นเนื้อเดียว แต่ไม่เทียบเท่ากับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ การเชื่อมประสานกันของอนุภาคในแต่ละอุณหภูมิในการเผานี้เองส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานอย่างมาก ค่าความหนาแน่นสัมพันธ์กับความแข็ง คือนาโนซิลเวอร์เคลย์มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่า ความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์จึงต่ำกว่า ART Clay 650 และค่าความแข็งและความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา เนื่องจากอนุภาคมีการผนึกตัวเชื่อมประสานกันเป็นโลหะเงิน อย่างไรก็ตาม ค่าความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ผู้วิจัยผลิตขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ และชิ้นงานที่เผาตั้งแต่อุณหภูมิ 600°C ขึ้นไป มีความคงทน ไม่หักงาย ดังนั้นนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้สามารถนำมาทำเครื่องประดับเงินได้



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเผาและความแข็งของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเผาและความหนาแน่นของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์

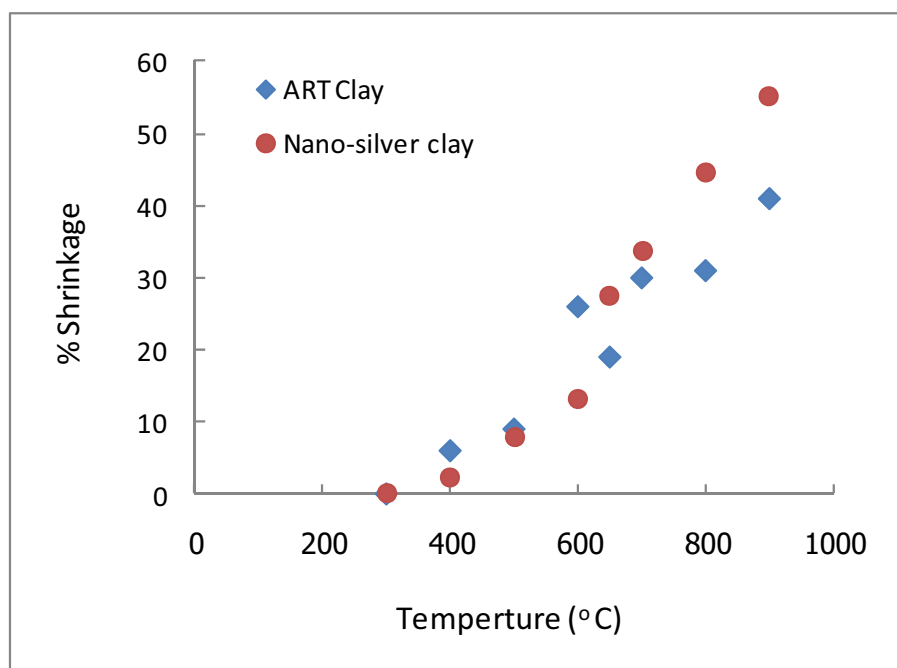
การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรรูพรุนเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) มีความแตกต่างจากนาโนซิลเวอร์เคลย์อย่างชัดเจน ในช่วงแรกที่มีอุณหภูมิ 200-600°C นั้น ART Clay จะมีปริมาตรรูพรุนสูงกว่านาโนซิลเวอร์เคลย์อย่างมาก เนื่องจาก ART Clay ประกอบด้วยอนุภาคของผงเงินระดับไมครอน มีขนาดใหญ่ เมื่ออนุภาคขนาดใหญ่อยู่รวมกันจะมีช่องว่างเป็นรูพรุนปริมาณมากกว่านาโนซิลเวอร์เคลย์ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กรวมกัน ทำให้มีปริมาตรรูพรุนน้อย แต่มีพื้นที่ผิวมากกว่า จากกราฟ ART Clay 650 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 300-500 °C ตัวประสานและน้ำจะสลายตัวออกเกือบหมดทำให้รูพรุนเริ่มเพิ่มมากขึ้น (สอดคล้องกับการสลายตัวของตัวประสานที่วัดได้จาก TG thermogram) ณ ที่ 500°C เมื่อตัวประสานสลายตัวหมดแล้ว การเผาที่อุณหภูมิมากกว่า 500°C จึงเหลือเพียงอนุภาคของเงินขนาดไมครอนที่รวมตัวกัน อนุภาคนั้นเกิดการ fuse เข้าหากัน เชื่อมติดกัน ทำให้เมื่อเผาเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาตรรูพรุนของ ART Clay จะลดลงเรื่อยๆ

ในขณะที่ปริมาตรรูพรุนของนาโนซิลเวอร์เคลย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 300-600°C เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กของนาโนซิลเวอร์เคลย์เมื่อได้รับพลังงานความร้อนจะเกิดการเคลื่อนที่รวมตัวเข้าหากัน ผูกกันเป็นขนาดใหญ่ขึ้น (ดังแสดงในภาพ SEM) เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นนี้เองทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีมาก ปริมาตรรูพรุนจึงสูงขึ้น พร้อมกับการสลายตัวของตัวประสาน ทำให้รู

พูนในช่วงนี้มีการเพิ่มมากขึ้นต่างจาก ART Clay 650 หลังจาก 600°C ปริมาตรพูนเปิดจะลดลง เนื่องจากการผกผันตัวของอนุภาคโลหะเงินที่เชื่อมกันนั้นสม่ำเสมอขึ้น ทำให้ในช่วงการเผาที่อุณหภูมิ $600-700^{\circ}\text{C}$ มีปริมาตรพูนน้อยลง สอดคล้องกับการที่ช่วงนี้มีความแข็งแรงสูงมาก¹¹⁻¹² ในขณะที่เมื่อเผาที่อุณหภูมิ $800-900^{\circ}\text{C}$ โครงสร้างจะเกิดการหลอมตัวกันจนเป็นเนื้อเดียวแต่เกิด collapse ทำให้เกิดพูนขนาดใหญ่ในโครงสร้างดังภาพ SEM รูปที่ 9 ทำให้เกิดการพูนตัวสูงขึ้นอีกครั้ง ดังนั้นค่าความแข็งแรงในช่วงการเผาที่อุณหภูมิ $800-900^{\circ}\text{C}$ จึงมีแนวโน้มลดลง

ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรกับอุณหภูมิในการเผานาโนซิลเวอร์เคลย์

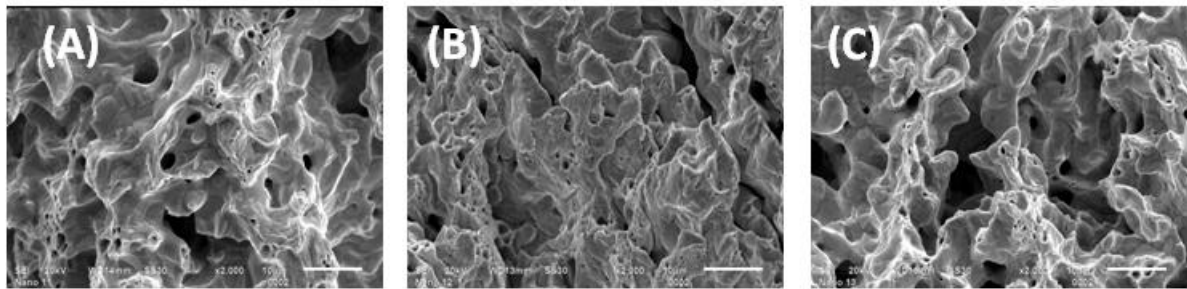
จากข้อมูลข้างต้น อุณหภูมิในการเผาที่ได้ความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาทำเครื่องประดับคือที่อุณหภูมิ 600°C ขึ้นไป เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูง ชิ้นงานจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันเนื่องจากการขึ้นรูปจากโลหะผง สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีกปัจจัยหนึ่งคือ การหดตัวของชิ้นงาน ผู้วิจัยได้ศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิต่างๆ จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรของซิลเวอร์เคลย์ ART Clay 650 และ นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาที่อุณหภูมิต่างกัน ดังรูป 14 จะเห็นว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวจะมีค่าสูงขึ้น จากผลการทดลองวิเคราะห์ของ STA จะพบว่าที่อุณหภูมิ 200-400 องศา การเกิดการระเหยของน้ำและการสลายตัวของตัวประสานในโครงสร้างซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด ทำให้เกิดการหดตัวของชิ้นงาน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ นั้น อนุภาคจะหดตัวเนื่องจากเกิดผกผันตัวของอนุภาคแล้วเชื่อมประสานกันเป็นแผ่นโลหะ สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงในภาพ SEM เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 11 เทียบกับรูปที่ 14 แม้ที่อุณหภูมิ 900°C ชิ้นงานจะมีความแข็งแรงสูงสุด แต่มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงมากเช่นกันทั้ง ART Clay 650 และ นาโนซิลเวอร์เคลย์ เมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่น ที่วัดได้ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเผาไม่ควรเลือกอุณหภูมิที่สูงมาก เพื่อให้ชิ้นงานที่เผามีการหดตัวไม่มาก เหมาะจะทำเป็นเครื่องประดับ ดังนั้นอุณหภูมิ $600-800^{\circ}\text{C}$ จึงเป็นอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นกับรูปร่างและขนาดของชิ้นงานด้วย



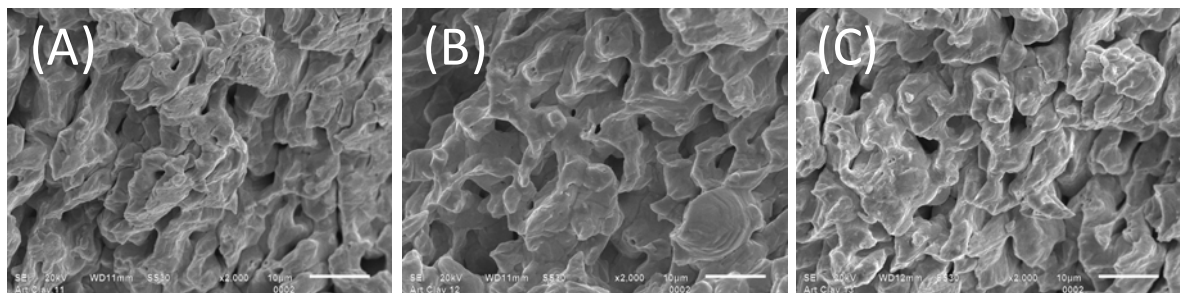
รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์

ผลการศึกษาอิทธิพลอัตราเร่งที่ใช้ในการเผาานาโนซิลเวอร์เคลย์

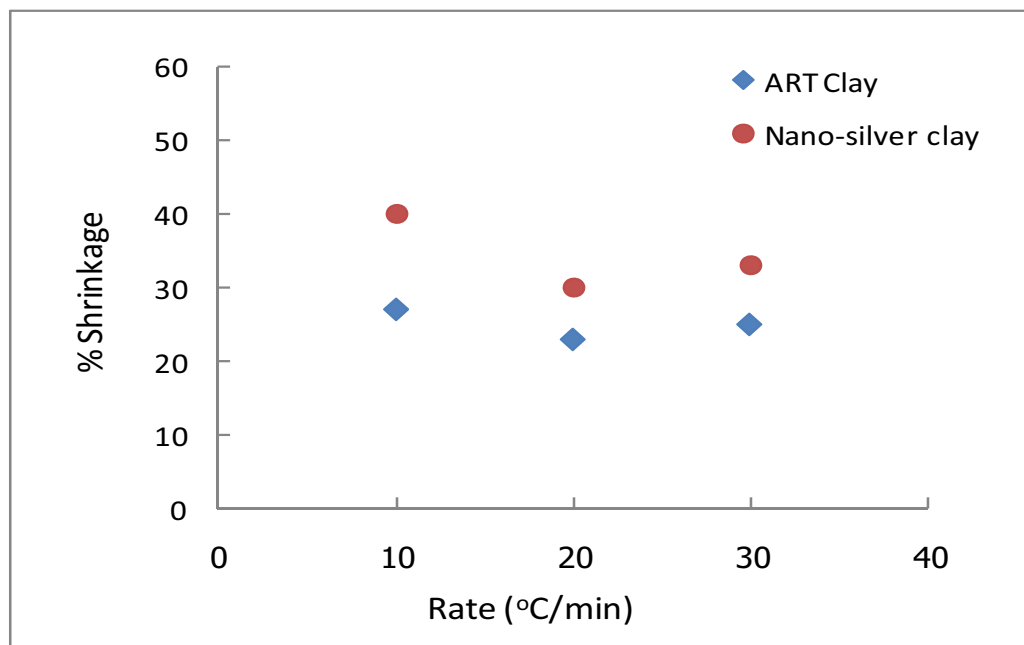
เมื่อทราบช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเผาแล้ว จึงได้ทำการศึกษาอัตราเร่งที่เหมาะสม โดยการนำซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด ทำการเผาที่อุณหภูมิเดียวกัน คือ 650°C (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ถือว่าดีที่สุดในการเผาซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด) และยืนไฟ 60 นาที เปลี่ยนแปลงอัตราเร่ง 3 อัตรา ได้แก่ 10, 20 และ $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ แล้วจึงนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอนุภาคด้วย SEM รูปที่ 15 และ 16 แสดงภาพถ่าย SEM ของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ซึ่งให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ การเผาโดยใช้อัตราเร่งที่ 10 และ $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ มีความพรุนตัวและลักษณะการเชื่อมประสานของชิ้นงานใกล้เคียงกัน แต่อัตราเร่ง $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าเนื่องจากถูกบังคับให้มีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว อนุภาคเกิดแรงขับให้ประสานตัวกันอย่างรวดเร็ว แต่ที่อัตราเร่งที่ $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ อนุภาคจะเชื่อมประสานอย่างช้า ความแข็งแรง แต่อัตราเร่งที่ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ซึ่งมีลักษณะเชื่อมประสานและรวมตัวกันได้ดี



รูปที่ 15 ภาพ SEM ของนาโนซิลเวอร์เคลย์เผาด้วยอุณหภูมิและเวลาคงที่ และเปลี่ยนแปลงอัตราเร่ง (A) 10 °C/นาที, (B) 20 °C/นาที, (C) 30 °C/นาที



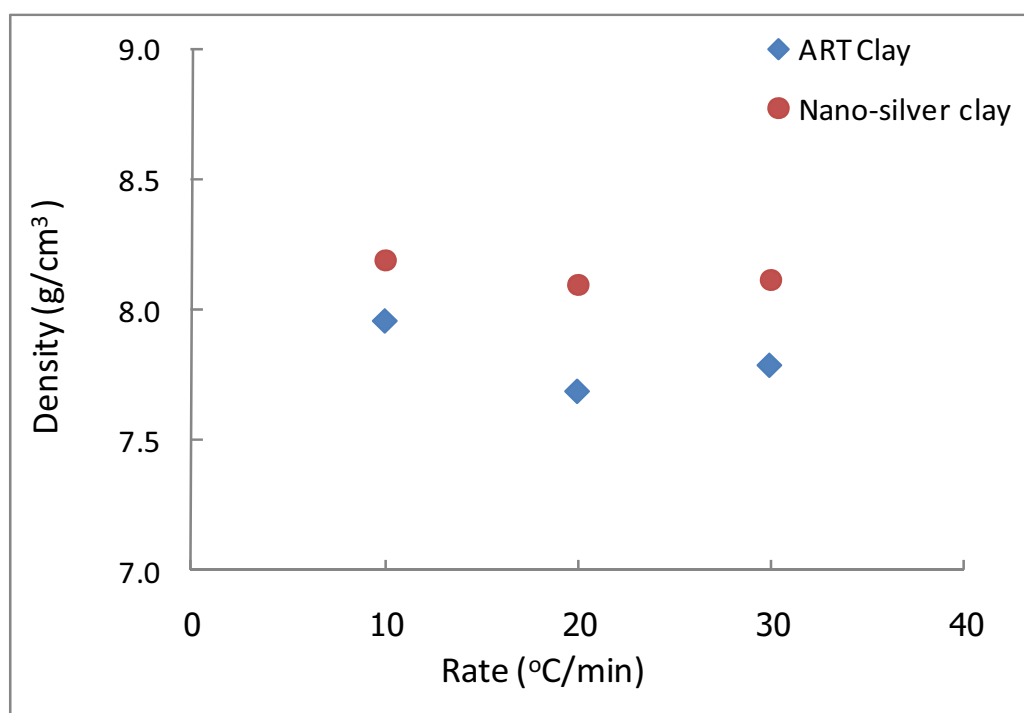
รูปที่ 16 ภาพ SEM ของซิลเวอร์เคลย์ที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 เผาด้วยอุณหภูมิและเวลาคงที่ และเปลี่ยนแปลงอัตราเร่ง (A) 10 °C/นาที, (B) 20 °C/นาที, (C) 30 °C/นาที



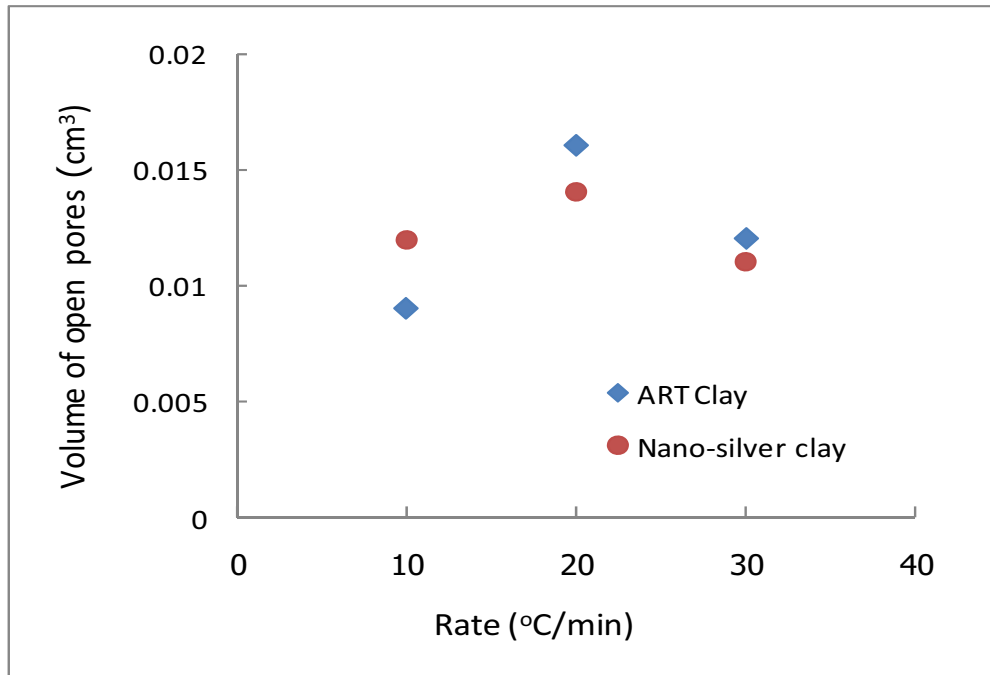
รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวของของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาที่อัตราเร่งต่างกัน

ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่อัตราเร่งต่างกันของซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูป 17 จากกราฟแสดงอัตราเร่งที่ 10°C/นาที่ มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากซึ่งอาจเกิดจากการให้ความร้อนในเวลาที่ยาวทำให้อนุภาคมีการรวมตัวกันได้ดี ชิ้นงานจึงมีการหดตัวมาก และเมื่อใช้อัตราเร่งที่ 30 °C/นาที่ พบว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากเนื่องจากการให้ความร้อนในเวลาที่ยาวทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว ชิ้นงานจึงเกิดการหดตัวมาก ซึ่งสอดคล้องกับภาพ SEM

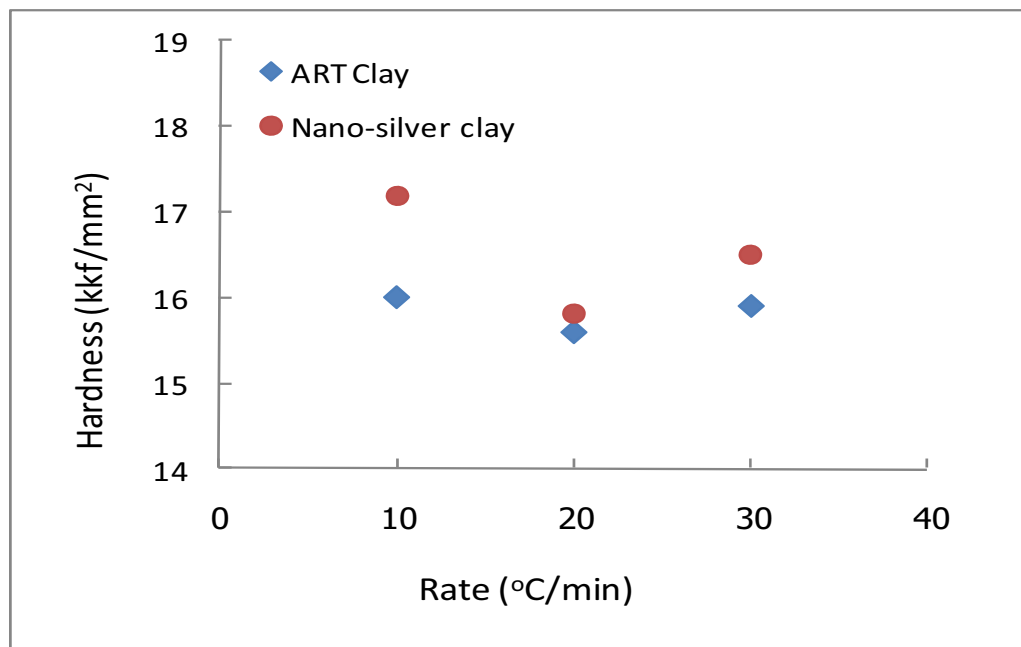
การเผาซิลเวอร์เคลย์ที่อัตราเร่งต่างกันจะส่งผลต่อความหนาแน่น และปริมาตรรูพรุนเปิดเช่นกัน ผลการทดลองแสดงดังรูป 18 และ 19 ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัตราเร่งต่ำ 10°C/นาที่ ความหนาแน่นจะมีค่ามาก เนื่องจากเวลาที่ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นที่ละน้อยอนุภาคจะรวมตัวกันช้าๆ ผึ่งตัวได้ดี ทำให้มีความหนาแน่นมาก และปริมาตรรูพรุนเปิดแปรผกผันกับความหนาแน่น นั่นคือเมื่อปริมาตรรูพรุนตัวมีค่าน้อย ความหนาแน่นมีมาก ส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าสูง และการหดตัวก็จะมากตามไปด้วย แต่สังเกตได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร่งต่างกัน ค่าความหนาแน่นมีค่าต่างกันไม่มาก อาจเนื่องมาจากใช้เวลาในการเย็นไฟในการทดลองนานทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาที่อัตราเร่งต่างกัน ที่อุณหภูมิและเวลาคงที่



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดของของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาที่อัตราเร่งต่างกัน ที่อุณหภูมิและเวลาคงที่



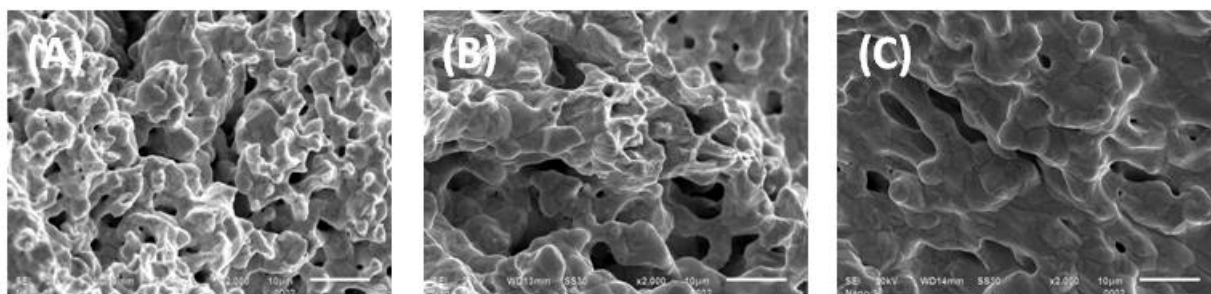
รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ (ART Clay 650) และนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เผาที่อัตราเร่งต่างกัน ที่อุณหภูมิและเวลาคงที่

ผลการศึกษาค่าความแข็ง เมื่อทำการเผาานาโนซิลเวอร์เคลย์ที่อัตราเร่งต่างกัน นำมาพลอตกราฟได้ดังรูป 20 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อให้อัตราเร่งที่ค่าความแข็งของชิ้นงานจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการค่อยๆ เพิ่มอัตราเร่งที่ละน้อยในขณะที่เผาจะทำให้อนุภาคเงินเกิดการรวมตัวกันอย่างช้าๆ จนเป็นผลึกสมบูรณ์ และค่าความหนาแน่นที่สูงส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมาก

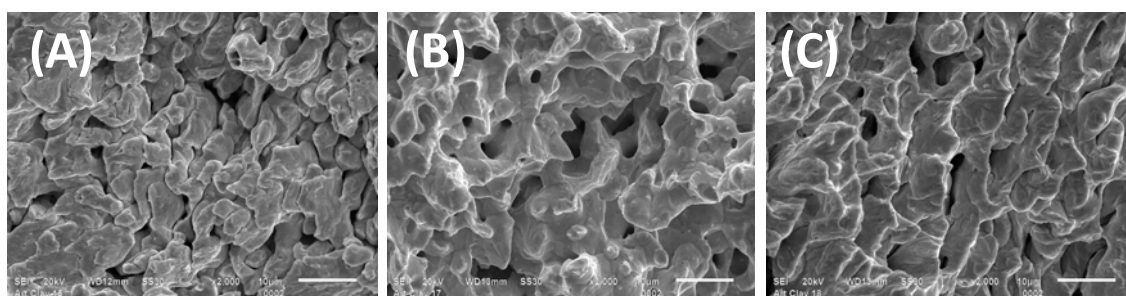
จากการทดลองสรุปได้ว่าอัตราเร่งที่เหมาะสมในการเผาานาโนซิลเวอร์เคลย์คือ 20°C/นาทึ แม้ว่าความแข็งของอัตราเร่งที่ 20°C/นาทึ จะน้อยกว่าที่อัตราเร่งอื่น แต่มีค่าต่างกันไม่มาก (ต่างกันเพียง 0.7 kkf/mm²) และมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแข็งของ ART Clay 650 ในสภาวะเดียวกัน ซึ่งน่าจะเป็นที่ยอมรับได้ นอกจากนี้การทำเครื่องประดับจากผงโลหะนั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงแล้วยังต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานด้วย เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การหดตัวของอัตราเร่งที่ 20°C/นาทึ จะเห็นได้ว่าต่ำกว่าอัตราเร่งอื่น ดังนั้นจึงอัตราเร่งที่ 20°C/นาทึ จึงเป็นอัตราเร่งที่เหมาะสมที่สุดในการทำเครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์

ผลการศึกษาอิทธิพลเวลาการยึนไฟที่ใช้ในการเผาานาโนซิลเวอร์เคลย์

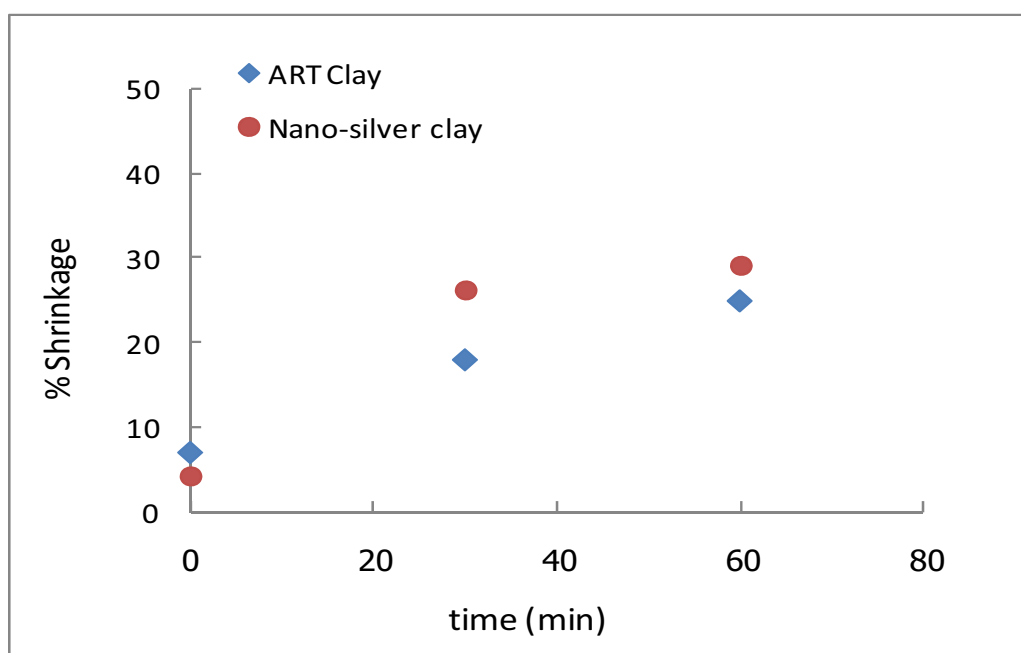
การศึกษอิทธิพลเวลาในการยึนไฟของซิลเวอร์เคลย์ทั้ง 2 ชนิด จะทำการเผาที่อุณหภูมิ 650°C อัตราเร่ง 20°C/นาทึ โดยใช้เวลายึนไฟต่างกันคือ 0, 30 และ 60 นาทึ ภาพ SEM ของนาโนซิลเวอร์เคลย์จากการทดลองแสดงดังรูป 21 จากรูปแสดงให้เห็นว่า กรณีไม่ยึนไฟอนุภาคของผงเงินมีการเชื่อมประสานกันดีแต่มีปริมาตรรูพรุนมาก ในขณะที่การยึนไฟ 30 นาทึ ลักษณะการเชื่อมประสานดีขึ้น รูพรุนกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่มีความกว้างรูพรุนอยู่มาก และเวลาในการยึนไฟที่ 60 นาทึ จะมีลักษณะของเนื้อผิวมีความเรียบที่ดีกว่าไม่ยึนไฟและยึนไฟ 30 นาทึ และขนาดรูพรุนมีน้อยกว่าไม่ยึนไฟและยึนไฟ 30 นาทึ ซึ่งเป็นผลให้การยึนไฟที่ 60 นาทึ จึงมีความแข็งแรงและความหนาแน่นมาก



รูปที่ 21 ภาพ SEM นาโนซิลเวอร์เคลย์จากการศึกษาอิทธิพลของเวลายึนไฟ (A) ไม่ยึนไฟ, (B) 30 นาทึ, (C) 60 นาทึ



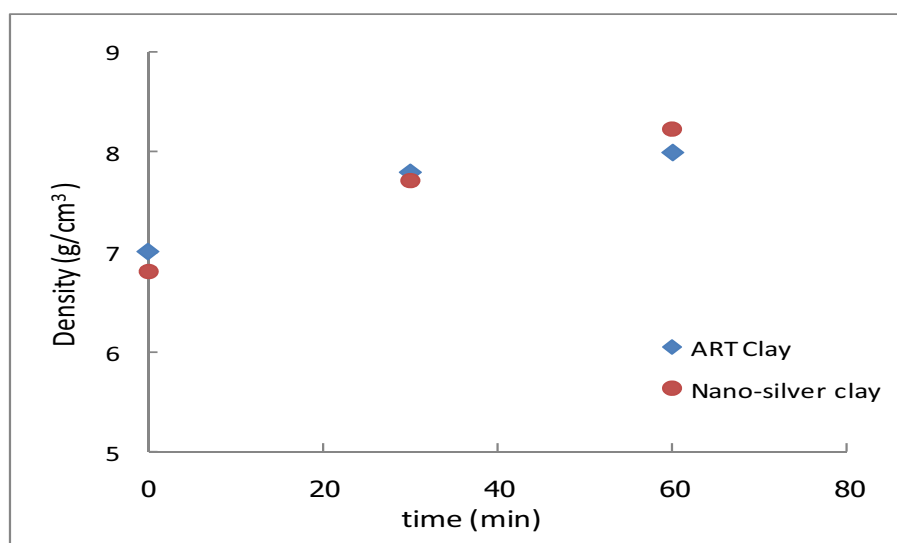
รูปที่ 22 ภาพ SEM ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 จากการศึกษาอิทธิพลของเวลายื่นไฟ (A) ไม่ยื่นไฟ, (B) 30 นาที, (C) 60 นาที



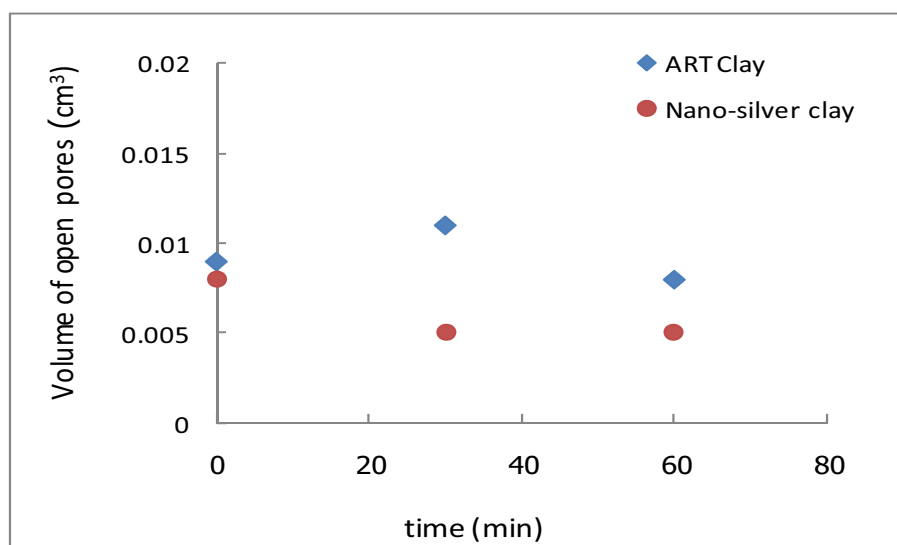
รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การหดตัวของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ที่เผาที่เวลายื่นไฟต่างกัน

ผลจากภาพ SEM ของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 แสดงดังรูป 22 พบว่าลักษณะอนุภาคของตัวอย่างที่เผาโดยใช้เวลายื่นไฟต่างกันให้ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของนาโนซิลเวอร์เคลย์ คือหากไม่มีการยื่นไฟ อนุภาคของเงินที่เชื่อมประสานจะยังรวมตัวกันไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อให้เวลายื่นไฟนานขึ้นจะมีการเชื่อมประสานของอนุภาคได้ดี อย่างไรก็ตามการศึกษาด้านโลหะผงเพื่อนำมาทำเครื่องประดับยังจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพด้านอื่นร่วมด้วย เนื่องจากพบว่าเมื่อใช้เวลาในการยื่นไฟมากขึ้นจะมีแนวโน้มที่ชิ้นงานจะมีการหดตัวมาก เนื่องจากการให้ความร้อนเรื่อยๆจะทำให้อนุภาคมีการรวมตัวกันมากขึ้น ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

ความหนาแน่นมากและปริมาตรรูพรุนน้อย ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ที่เวลายืนไฟต่างกันแสดงดังรูปที่ 23



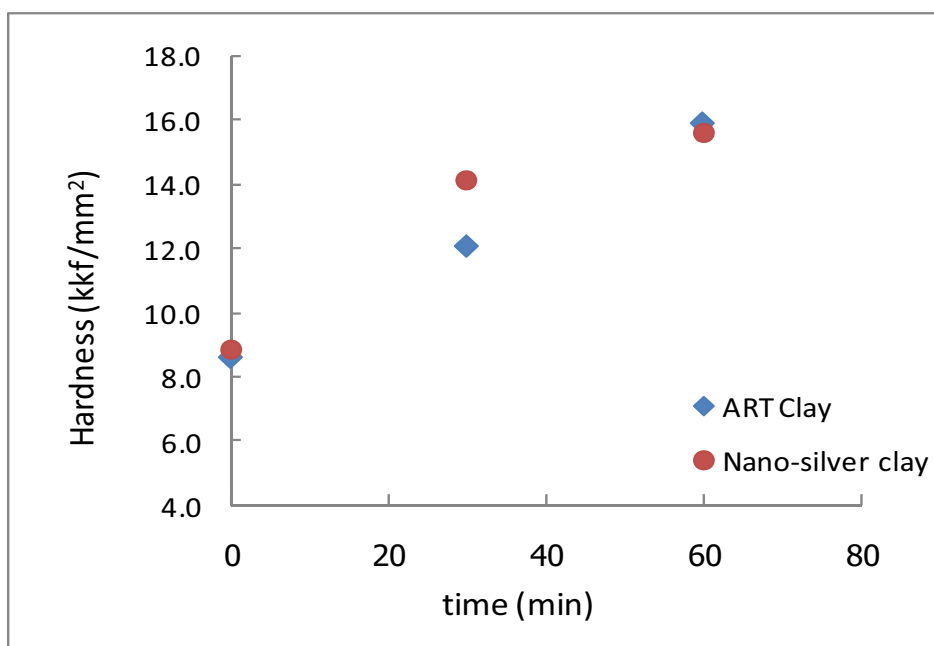
รูปที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ที่เผาที่เวลายืนไฟต่างกัน



รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรรูพรุนเปิดของของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ที่เผาที่เวลายืนไฟต่างกัน

ผลจากการศึกษาความหนาแน่น และปริมาตรรูพรุนเปิด จากการเผา นาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เวลาการยืนไฟต่างกัน นำมาพลอตกราฟจะได้ดังรูป 24 และ 25 ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการยืนไฟมากขึ้นค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาที่ได้รับความ

ร้อนทำให้ชิ้นงานเกิดการรวมตัวกันและเชื่อมประสานได้ดียิ่งขึ้น แต่ปริมาณรูพรุนเปิดจะแปรผกผันกับความหนาแน่น เมื่อความหนาแน่นมาก หรือปริมาณรูพรุนน้อย ส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาความแข็งที่เวลาการยีนไฟต่างกันแสดงดังรูปที่ 26 เมื่อใช้เวลาในการยีนไฟเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนนานขึ้นอนุภาคเงินจะเกิดการผนึกตัวกันได้มากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณรูพรุนน้อยลงหรือความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของนาโนซิลเวอร์เคลย์และซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ART Clay 650 ที่เผาที่เวลาเย็นไฟต่างกัน

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลการยีนไฟเพื่อหาสภาวะเวลาการยีนไฟที่เหมาะสมสำหรับนาโนซิลเวอร์เคลย์ เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมดพบว่าเวลาที่ใช้ในการยีนไฟที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 นาที แม้การยีนไฟที่ 60 นาทีจะทำให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมาก แต่มีค่าต่างจากการยีนไฟที่ 30 นาทีไม่มากอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับส่งผลให้ค่าความแข็งที่สูงกว่า และเมื่อพิจารณาจากภาพ SEM พบว่า ลักษณะความพรุนตัวและการเชื่อมประสานของอนุภาคที่เวลาการยีนไฟที่ 60 นาทีสมบูรณ์ที่สุด มีปริมาณรูพรุนต่ำและความหนาแน่นสูง จึงเหมาะที่จะนำสภาวะนี้ไปทำเครื่องประดับ เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานมีความคงทนแข็งแรง

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

อุณหภูมิเผาผืนึกของผงโลหะขนาดนาโนเมตรของเงินที่มีขนาดในช่วง 10-250 nm มีค่าประมาณ 232 °C เมื่อนำมาผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์มีอุณหภูมิเผาผืนึกเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 300°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเผาผืนึกของซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ตัวประสานที่ใช้ในการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ซึ่งเป็นตัวประสานอินทรีย์อย่างง่ายที่ละลายตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ สูตรการผลิตนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้มีอัตราส่วนผสมของ ผงโลหะเงินขนาดนาโนเมตร : MC : SDS เท่ากับ 97 : 2 : 1

การศึกษาสภาวะในการเผา โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ อัตราเร่ง และเวลาในการเผา ที่เหมาะสมในการนำมาทำเครื่องประดับโดยคำนึงถึงความแข็งแรง ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การหดตัว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาทำเครื่องประดับได้แก่ อุณหภูมิ 600-800 °C อัตราเร่ง 20°C/min และ เวลายืนไฟ 60 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรง เปอร์เซ็นต์การหดตัว และความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาตรรูพรุนลดลง เปอร์เซ็นต์การหดตัวของนาโนซิลเวอร์เคลย์อยู่ที่ประมาณ 10-35% ขึ้นอยู่กับสภาวะในการเผา

จากงานวิจัยนี้ทำให้สามารถผลิตสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่เหมาะสมสำหรับการปั้นขึ้นรูปด้วยมือ และทราบสภาวะการเผาที่เหมาะสมในการทำเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ทางผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้ ตัวอย่างเครื่องประดับที่ผลิตขึ้นจากนาโนซิลเวอร์เคลย์และสภาวะการเผาที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ แสดงดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 ตัวอย่างเครื่องประดับที่ทำจากนาโนซิลเวอร์เคลย์

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยที่น่าสนใจในการศึกษาต่อในอนาคต ควรศึกษาสูตรการผลิตที่เกิดจากการผสมกันของอนุภาคผงเงินขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยศึกษาอัตราส่วนการผสมที่แน่นอนของขนาดอนุภาคทั้ง 2 ชนิด จากการศึกษาที่ผ่านมาแม้การสังเคราะห์ผงเงินจะได้อนุภาคขนาดใหญ่และเล็กผสมกัน แต่ไม่ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่แน่นอน เนื่องจากผู้วิจัยมุ่งเน้นการศึกษาชนิดและอัตราส่วนตัวประสานที่สามารถทำให้ผงเงินขนาดนาโนเมตรสามารถนำมาผลิตเป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ปั้นขึ้นรูปได้ แต่จากข้อมูลการศึกษาของนักวิจัยด้านโลหะผงในงานประยุกต์ด้านอื่นๆ ที่ผ่านมาพบว่าผงเงินที่มีผงเงินที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดรูพรุนมาก หากมีการเติมผงเงินที่มีขนาดเล็กลงไปผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมอาจจะทำให้ได้สูตรใหม่ที่มีรูพรุนต่ำ ความแข็งแรงสูง และเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำลงได้ อย่างไรก็ตาม การทำเครื่องประดับจากโลหะผง ต้องพิจารณาหลายๆ

องค์ประกอบร่วมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเป็นเครื่องประดับที่สวมใส่ได้จริง

งานวิจัยนาโนซิลเวอร์เคลย์นอกจากจะนำมาทำเครื่องประดับแล้ว สามารถนำไปต่อยอดหรือประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น การสร้างสรรค์งานศิลป์ การเชื่อมโลหะเงิน หรือการนำไปใช้กับอุตสาหกรรมที่ต้องการเชื่อมเงินที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้อีกด้วย นอกจากนี้โลหะอื่นๆ เป็นที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นเครื่องประดับที่ปั้นขึ้นรูปด้วยมือ ได้แก่ ทองคำ ซึ่งหากนานาโนโกลด์มาหาสูตรการผลิตและสภาวะการเผาที่เหมาะสมได้นั้น จะทำให้ได้วัสดุในการทำเครื่องประดับตัวใหม่ที่น่าสนใจ อีกทั้งยังเป็นงานวิจัยที่ทำโดยนักวิจัยไทยที่ต้นทุนต่ำ ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ และนำมาต่อยอดนวัตกรรมเครื่องประดับที่น่าสนใจอื่นๆ ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

1. Art clay world USA. Available from: URL: <http://www.artclayworld.com> March 25, 2009
2. Precious Metal Clay PMC, PMC⁺, PMC³ and Art Clay Silver. Available from: URL: <http://www.silver-clay.com> March 25, 2009
3. Hoshino, Koji. et al, "Precious Metal Article, Method for Manufacturing the same, Moldable Mixture for use in Manufacture of same and Method for Producing Moldable Mixture", U.S. Patent 5,376,328, 1994.
4. Johnson, Christian E.; Stafford, Gery R, "Method for Chemical Precipitation of Metallic Silver Powder via a Two Solution Technique", U.S. Patent 6,110,254, 2000.
5. Taylor, Terence Ernest.; Hurford, Stephen Paul., "Process for Manufacturing Precious Metal Artifacts", U.S. 6,383,248, 2002.
6. Osawa, Yukio. et al, "Clayish Composition for Molding Shaped Article of Noble Metal and Method for Production of Sintered Article of Noble Metal" U.S. Patent 5,702,501, 1997.

7. Hans-Hermann Beyer; Karl-Anton Starz, "Precious-Metal Material for Articles of Jewelry and a Method of Manufacturing Them", U.S. Patent 5,578,383, 1996.
8. Noboru Morita; Katuhiko Shimamoto, "Method for Manufacture of Precious Metal Product" U.S. Patent 5,943,544, 1999.
9. Moon, Kyoung-Sink; Dong, H.; Maric, R.; Pthukuchi, S.; Hunt, A.; Li, Y.; Wong, C.P. Thermal Behavior of Silver Nanoparticles for Low- Temperature Interconnect Applications. *J. Electron. Mater.* **2005**, 34 (2), 168-175.
10. Wang, T.; Chen, X.; Lu, Guo-quan; Lei, Gunag-Yin. Low-Temperature Sintering With Nano-Silver Paste in Die-Attached Interconnection. *J. Electron. Mater.* **2007**, 36 (10), 1333-1340.
11. Qin, X.Y.; Wu, X.Y. and Zhang, L.D. The Microhardness of Nanocrystalline Silver. *NanoStruct. Mater.* **1995**, 5 (1), 101-110.
12. Liao, Shih-Chieh; Pae, D. Kook, Mayo, E. William. High pressure and low temperature sintering of bulk nanocrystalline TiO₂, *Mater. Sci. Eng., A* **1995**, 204, 152-159

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. การจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

สิทธิบัตรการประดิษฐ์ “สูตรและกรรมวิธีการผสมนาโนซิลเวอร์เคลย์ (nano silver clay) สำหรับการขึ้นรูปด้วยการปั้น” เลขที่คำขอ 1001000406 ยื่นจดทะเบียนเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2553

2. การเผยแพร่ผลงานวิจัยทางโทรทัศน์ .

ได้รับเชิญออกรายการวิจัยไทยคิด ตอน “เงิน เงิน เงิน” ตอนที่ 2 “เครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์” ออกอากาศทางทีวีไทย วันที่ 17 มกราคม 2553 สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เข้าถึงได้ที่:

http://www.trf.or.th/trfgallery/showmultidetial.asp?ma_filerefer=1000000254.wmv

(ภาพกิจกรรม และวีซีดีการเผยแพร่ผลงานวิจัยแสดงดังภาคผนวก)

3. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ และการเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

4.1 งานประชุมวิชาการ The 2nd Thailand Metallurgy Conference ประเทศไทย วันที่ 16-17 ตุลาคม 2551 เรื่อง “Powder Metallurgy of Silver Nanoparticles for Jewelry Making”

4.2 งานประชุมวิชาการ “นักวิจัยรุ่นใหม่ พบเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ครั้งที่ 9” เรื่อง “Nano-Silver Clay for Fabrication of Silver Jewelry Body” วันที่ 15-17 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ

4.3 ร่วมแสดงผลงานต้นแบบเครื่องประดับที่ผลิตจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ ในงาน “เปิดโลกอัญมณี ของดีเมืองจันท” ครั้งที่ 5 (Chanthaburi World Gem Show 2008) ระหว่างวันที่ 10-14 ธันวาคม 2551 ที่ศูนย์แสดงสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี โรงแรมเคพีแกรนด์ จัดขึ้นโดยสมาคมผู้ค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี ร่วมกับจังหวัดจันทบุรี และองค์การบริหารส่วนจังหวัดจันทบุรี

4.4 ร่วมแสดงผลงานโปสเตอร์ในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2552 ระหว่างวันที่ 8 – 23 สิงหาคม 2552 ที่ อิมแพค เมืองทองธานี

4.5 ร่วมแสดงผลงานต้นแบบเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2553 ระหว่างวันที่ 7-22 สิงหาคม 2553 ณ ศูนย์การแสดงสินค้าและการประชุมนานาชาติกรุงเทพฯ (ไบเทค บางนา)

4. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ

เนื่องจากผู้วิจัยเป็นอาจารย์ในคณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา จึงได้ดำเนินการขึ้นรูปและการทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์มาใช้ในการเรียนการสอนสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรีในคณะอัญมณี เปิดโอกาสให้นิสิตได้เรียนรู้ และทำเป็นโครงงาน รวมถึงนิสิตได้ให้ผลิตต้นแบบเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ ทำให้นิสิตได้รู้จักและเข้าใจกรรมวิธีการทำเครื่องประดับแนวใหม่ ที่ยังไม่เคยมีในประเทศ และไม่มีในหลักสูตรการเรียนการสอน นิสิตที่ทำโครงงานได้รับการพัฒนาให้มีศักยภาพในการทำงานวิจัยในเชิงลึกมากขึ้นซึ่งถือได้ว่าเป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ นิสิตได้พัฒนากระบวนการคิด การแก้ปัญหาการวิจัยที่สามารถนำไปใช้ในการทำงานวิจัยด้านการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ หรืองานวิจัยด้านอื่นๆ ได้

5. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับความสนใจให้เผยแพร่ผลงานทางโทรทัศน์ในรายการวิจัยไทยคิด ตอน “เงิน เงิน เงิน” ตอนที่ 2 เรื่อง “เครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์” ออกอากาศทางทีวีไทย หลังการออกอากาศได้กระแสดอรับที่ดี มีผู้ให้การสนใจในวงกว้าง ทั้งผู้ประกอบการอัญมณีและเครื่องประดับ คณาจารย์และนิสิตนักศึกษาทั้งด้านอัญมณีและเครื่องประดับ และศิลปกรรมศาสตร์ รวมถึงบุคคลทั่วไปที่สนใจผลิตเครื่องประดับจำหน่ายและทำเป็นงานอดิเรก เนื่องจากงานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยประยุกต์ที่สามารถเห็นผลได้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถนำไปต่อยอดจากหิ้งสู่ห้างได้จริงในเชิงอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ จึงได้รับการติดต่อให้นำผลงานนิสิตไปแสดงในร้านจำหน่ายอัญมณีและเครื่องประดับ และติดต่อขอความรู้ด้านการทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ อีกทั้งต้องการสร้างความร่วมมือต่อยอดงานวิจัยด้านอื่น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณความกรุณาในการให้คำปรึกษา และการสนับสนุนเป็นอย่างดีตลอดมาจากนักวิจัยที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สนอง เอกสิทธิ์ รวมถึงพี่ๆ น้องๆ นิสิตและนักวิจัยในหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสักระยะหนึ่งเงินเพื่อให้ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการนี้

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้เครื่องมือในการวิจัย รวมถึงหน่วยทรัพย์สินทางปัญญาฯ และบ่มเพาะวิสาหกิจ (TLO & UBI) มหาวิทยาลัยบูรพา ในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการเขียนร่างคำขอและยื่นจดสิทธิบัตร ขอขอบคุณพี่ภูภาภรณ์ จิตติชัย และทีมงานฝ่ายผลิตรายการ และควบคุมการผลิต บริษัท สมาร์ทครีเอชั่น อินเทอร์เน็ต จำกัด สำหรับการให้โอกาสและร่วมนำเสนองานวิจัยเรื่องนี้ของผู้วิจัยผ่านรายการวิจัยไทยคิด ทางช่องทีวีไทย ที่ร่วมสร้างสรรค์รายการ โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เป็นที่รู้จักและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง

นอกเหนือจากคณะทำงานที่มีส่วนร่วมให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ดังได้เอ่ยนามมาข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยยังได้รับความร่วมมือจากกัลยาณมิตรที่ทำงานร่วมกัน ช่วยแนะนำและให้ความรู้เพิ่มเติมด้านการออกแบบเครื่องประดับ เสนอความคิดเห็นด้านรูปแบบเครื่องประดับ ตลอดจนมีส่วนร่วมในการผลิตต้นแบบเครื่องประดับที่ทำจากนาโนซิลเวอร์เคลย์นี้ จนได้ผลงานที่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี บุคคลเหล่านี้ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ อาจารย์ศราวุธ ขนานแข็ง อาจารย์สุภาวีย์ เก้าววงศ์ษา อาจารย์ศราวุธ ศิริวงศ์ และนิสิตโครงการ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา

ในท้ายที่สุด โครงการวิจัยนี้ คงจะไม่อาจริเริ่มดำเนินการได้เลย หากไม่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่จัดสรรทุนวิจัยเพื่อพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ภายใต้ชุดโครงการฟุ้งเป้า “นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี” ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณผู้บริหารของแหล่งทุน ตลอดจนเจ้าหน้าที่แห่งสถาบันดังกล่าว ที่ช่วยประสานงานอำนวยความสะดวกตามขั้นตอนติดต่อต่างๆ โดยเฉพาะคุณแพมมาลา อุทะนุต์ เจ้าหน้าที่บริหารโครงการฝ่ายวิชาการ ซึ่งติดตามสอบถามและแจ้งข่าวคราวเกี่ยวกับทุนวิจัยให้ผู้วิจัยได้ทราบอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ทอง ทองนพคุณ
นักวิจัย

ภาคผนวก ก.

การจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญา

สิทธิบัตรการประดิษฐ์ “สูตรและกรรมวิธีการผสมนาโนซิลเวอร์เคลย์ (nano silver clay) สำหรับ
การขึ้นรูปด้วยการปั้น” เลขที่คำขอ 1001000406 ยื่นจดทะเบียนเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2553



สำหรับเจ้าหน้าที่

คำขอที่
 รับวันที่ 25-ธ.ค. 2553

คำขอแก้ไขเพิ่มเติมคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร เลขที่ 1001000406

วันยื่นคำขอ 16 มีนาคม 2553

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ สูตรและกรรมวิธีการผสมนาโนซิลเวอร์โคลย์ (nano silver clay) สำหรับการขึ้นรูปด้วยการปั้น

ชื่อผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร มหาวิทยาลัยบูรพา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ข้อ 1. ข้าพเจ้า มหาวิทยาลัยบูรพา โดย ศ.ดร.สุชาติ อุปถัมภ์ อยู่บ้านเลขที่ 169

หมู่ที่ ตระก/ชอย อำเภอ จังหวัด โทรศัพท์ 0-381-2222

และ ข้าพเจ้า สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา โดย ดร.สุเมธ แย้มมน อยู่บ้านเลขที่ 328

หมู่ที่ ตระก/ชอย อำเภอ จังหวัด โทรศัพท์ 02-6105200

และ ข้าพเจ้า สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย โดย ศ.ดร.สวัสดิ์ ดันตระรัตน์ อยู่บ้านเลขที่ 979/17-21

หมู่ที่ ตระก/ชอย อำเภอ จังหวัด โทรศัพท์ 02-2788200

ซึ่งเป็นผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร หรือตัวแทนของผู้ขอรับสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ที่ระบุข้างต้น ขอแก้ไขเพิ่มเติมคำ

ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ดังกล่าวดังรายละเอียดตามที่แนบมาพร้อมนี้

ข้อ 2. ข้าพเจ้าขอยืนยันว่าการแก้ไขเพิ่มเติมนี้เป็นไปตามมาตรา 20 แห่งพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522

กล่าวคือ ไม่เป็นการเพิ่มเติมสาระสำคัญของการประดิษฐ์ หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์

วันที่ 22 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2553

ลายมือชื่อ
 (ศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ อุปถัมภ์) (ดร.สุเมธ แย้มมน)

ลายมือชื่อ
 (ศาสตราจารย์ ดร.สวัสดิ์ ดันตระรัตน์)

สำเนา

แบบสป / สผ / อสป / 001-ก

หน้า 1 ของจำนวน 3 หน้า

 คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ☒ การประดิษฐ์ ☐ การออกแบบผลิตภัณฑ์ ☐ อนุสิทธิบัตร ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542		สำหรับเจ้าหน้าที่	
		วันรับคำขอ 16 มีนาคม 2553	เลขที่คำขอ 1001000406
		วันยื่นคำขอ	
		สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
		ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์	
วันประกาศโฆษณา		เลขที่ประกาศโฆษณา	
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร		เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่			
1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ สูตรและกรรมวิธีการผสมนาโนซิลเวอร์เคลย์ (nano silver clay) สำหรับการขึ้นรูปด้วยการปั่น			
2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ เป็น คำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง และเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน			
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) 1. มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถ.ลงหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131 (มีใบต่อ)		3.1 สัญชาติ ไทย 3.2 โทรศัพท์ 038-102222 3.3 โทรสาร 038-390353, 038-390351 3.4 อีเมล -	
4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ☐ ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ ☒ ผู้รับโอน ☐ ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น			
5. ตัวแทน(ถ้ามี)/ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์) -		5.1 ตัวแทนเลขที่ - 5.2 โทรศัพท์ - 5.3 โทรสาร - 5.4 อีเมล -	
6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) ดร.พิมพ์ทอง ทองนพคุณ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี 57 ม.1 ถ.ชลประทาน ต.โขมง อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี 22170			
7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ ☐ คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง ☐ ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ ☐ ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ			

แบบสป/สผ/อสป/001-ก เป็นแบบฟอร์มที่จัดทำขึ้นโดยกรมทรัพย์สินทางปัญญา เพื่อให้คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร/การออกแบบผลิตภัณฑ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ข

การเผยแพร่ผลงานวิจัยทางโทรทัศน์

รายการวิจัยไทยคิด ตอน “เงิน เงิน เงิน” ตอนที่ 2 “เครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์”
ออกอากาศทางทีวีไทย วันที่ 17 มกราคม 2553 สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(สกว.)

รายการ “วิจัยไทยคิด”

ตอน “เครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์”

อาจารย์พิมพ์ทอง ทองนพคุณ และนิสิตหน่วยวิจัยอัญมณีและเครื่องประดับ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี เดินทางไปบันทึกเทปรายการ “วิจัย ไทยคิด” รายการทีวีส่งเสริมงานวิจัยไทย ผลิตโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ Moon Star Studio วันที่ 12 ธันวาคม 2552 ในรายการมีการนำเสนอกรรมวิธีการผลิตและการตอบคำถามเกี่ยวกับเครื่องประดับที่ทำจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ รายการวิจัยไทยคิด ตอน “เงิน เงิน เงิน” ตอนที่ 2 “เครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์” นี้ ออกอากาศวันที่ 17 มกราคม 2553 ทางช่องทีวีไทย เวลา 16.00 น.







ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ และการเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

1. งานประชุมวิชาการ The 2nd Thailand Metallurgy Conference ประเทศไทย วันที่ 16-17 ตุลาคม 2551 เรื่อง “Powder Metallurgy of Silver Nanoparticles for Jewelry Making”
2. งานประชุมวิชาการ “นักวิจัยรุ่นใหม่ พบเมธีวิจัยอาวุโส สกว. ครั้งที่ 9” เรื่อง “Nano-Silver Clay for Fabrication of Silver Jewelry Body” วันที่ 15-17 ตุลาคม 2550 ณ โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ
3. ร่วมแสดงผลงานต้นแบบเครื่องประดับที่ผลิตจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ ในงาน “เปิดโลกอัญมณีของดีเมืองจันท” ครั้งที่ 5 (Chanthaburi World Gem Show 2008) ระหว่างวันที่ 10-14 ธันวาคม 2551 ที่ศูนย์แสดงสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี โรงแรมเคพีแกรนด์ จัดขึ้นโดยสมาคมผู้ค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี ร่วมกับจังหวัดจันทบุรี และองค์การบริหารส่วนจังหวัดจันทบุรี
4. ร่วมแสดงผลงานโปสเตอร์ในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2552 ระหว่างวันที่ 8 – 23 สิงหาคม 2552 ที่ อิมแพค เมืองทองธานี
5. ร่วมแสดงผลงานต้นแบบเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ในงานมหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปี 2553 ระหว่างวันที่ 7-22 สิงหาคม 2553 ณ ศูนย์การแสดงสินค้าและการประชุมนานาชาติกรุงเทพฯ (ไบเทค บางนา)

Programme and Abstract Book



The 2nd Thailand Metallurgy Conference "Metallurgy for Sustainable Development"

October 16-17, 2008

Century Park Hotel, Bangkok, Thailand

Organized by



สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย
IRON AND STEEL INSTITUTE OF THAILAND

MTEC
a member of NSTDA



สมาคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
The Federation of Thai Industries
มาตรฐาน ISO 9001 : 2000

Sponsored by



Powder Metallurgy of Silver Nanoparticles for Jewelry Making

P. Thongnopkun,¹ W. Sroisuriya,² and S. Ekgasit²

¹Faculty of Gems (Chanthaburi), Burapha University,
Chanthaburi 22170, THAILAND

Tel. (+66) – 8 – 1996 – 0902; E – mail: t_pimthong@hotmail.com

²Sensor Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, THAILAND

Tel./Fax. (+66) – 2218 – 7585; E – mail: sanong.e@chula.ac.th

ABSTRACT – Silver nanoparticles were successfully synthesized using chemical reduction method in aqueous solution. The particles were precipitated and dried in order to make nano-silver powder. SEM images show their size in the range of 50 – 200 nm. Silver nanoparticles powder was mixed with organic binder and water to be nano-silver clay. The clay can be shaped like any soft clay, by hand or using moulds. Sintering temperature of the synthesized nano-silver clay is 300 °C which is lower than that of commercial silver clay. The synthesized nano-silver clay becomes silver metal after firing at 600 °C for 30 min. It can be applied for jewelry and art works.

KEY WORDS – Silver nanoparticles, Silver clay, Sintering temperature, Jewelry making

บทคัดย่อ อนุภาคนาโนเงินของเงินถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีเคมี และตกตะกอนให้อยู่ในรูปของแข็งลักษณะเป็นผง การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าขนาดอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ให้อยู่ในช่วง 50 – 200 นาโนเมตร ผงอนุภาคนาโนเงินเมื่อนำมาผสมกับตัวประสานอินทรีย์และน้ำจะได้เป็นนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่มีลักษณะคล้ายดินเหนียว สามารถขึ้นรูปด้วยมือและแม่พิมพ์ได้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ของผงอนุภาคนาโนเงินมีค่าประมาณ 300°C ซึ่งต่ำกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่มีขายเชิงพาณิชย์ ผงอนุภาคนาโนเงินสามารถเผาขึ้นรูปเป็นโลหะเงินได้ที่อุณหภูมิ 600°C เวลา 30 นาที และสามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นเครื่องประดับและงานศิลปะอื่นๆได้

คำสำคัญ – อนุภาคนาโนเงิน, ซิลเวอร์เคลย์, อุณหภูมิเผาไหม้, การทำเครื่องประดับ

1. Introduction

The gems and jewelry industry has been a powerful export earner for Thailand. In jewelry industry, there are many techniques for making jewelry products depending on its design, value, demand, consumer, etc. The general manufactures of jewelry are manual, casting, pressing and electroforming techniques. For silver jewelry, there is a large of energy lost in melting and molding process of silver metal because the melting point of silver metal is about 960°C. However, its melting temperature tends to decrease depending on its particle size. Silver clay is an alternative way for producing unique handmade jewelry. Silver clay is made of micron-sized silver particles, water, and non-toxic organic binders. When firing at appropriated temperature (650-850°C), the organic binders burn off, leaving a pure silver piece. In recently, the new product of metal clays tend to have small metal particles and low proportions of binder and water in

order to make them stronger, low shrinkage, and able to sinter faster at lower temperatures. When particle size is decreased to nanometer level, the melting point goes down from normal melting point more than several hundred Celsius degree. In this work, silver nanoparticles were introduced to create nano-silver clays. Their particle size and sintering temperature were determined. Example of nano-silver clay jewelry was presented.

2. Experimental procedures

Silver nanoparticles were synthesized by chemical reduction method in aqueous solution with concentration 10,000 – 50,000 ppm. The particles were precipitated from silver nanoparticles colloid and were dried to be nano-silver powder at room temperature. Particle size of silver powder was characterized by scanning electron microscope (SEM) and sintering temperature of silver clay was determined by

differential temperature analysis (DTA). The nano-silver powder was mixed with organic binder and water in appropriated ratio to form nano-silver clay. The clay was molded to be many shapes for making jewelry. After drying, the clay was sintered by oven at 600°C for 30 min.

3. Results & Discussion

Fig. 1 shows the shape and particle size of nano-silver powder. The particle size is in range of 50 – 200 nm and the shape is spherical.

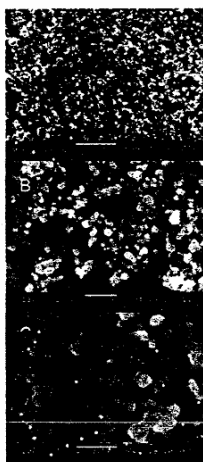


Figure 1. SEM images of silver powder.

Sintering temperature of silver clay was determined by differential temperature analysis (DTA). It was found that sintering temperature is $\approx 300^\circ\text{C}$ far less than normal melting point, 960°C . When silver clay was heated, water was evaporated and silver particles moved closer. After firing at 600°C for 30 min., nano-silver clay changed to silver metal. It may cause that silver particles are quite small, there is a small cavity between particles and then they sintered without porosity. As shown in Fig. 2 and 3, the nano-silver clay can present the fine texture of fingerprint and can roll to make the complex jewelry.



Figure 2. Sintered silver clay of finger print.

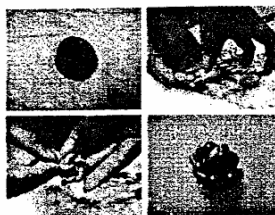


Figure 3. Example of nano-silver clay jewelry.

4. Conclusions

Nano-silver powder was produced from high concentration silver nanoparticles colloid. Their particle sizes are 50 – 200 nm. The sintering temperature is at 300°C . The powder was mixed with water and organic binder to be silver clay. The nano-silver clay can be shaped by hand or using mould to make jewelry. The firing temperature and time are 600°C and 30 min., respectively.

5. Acknowledgements

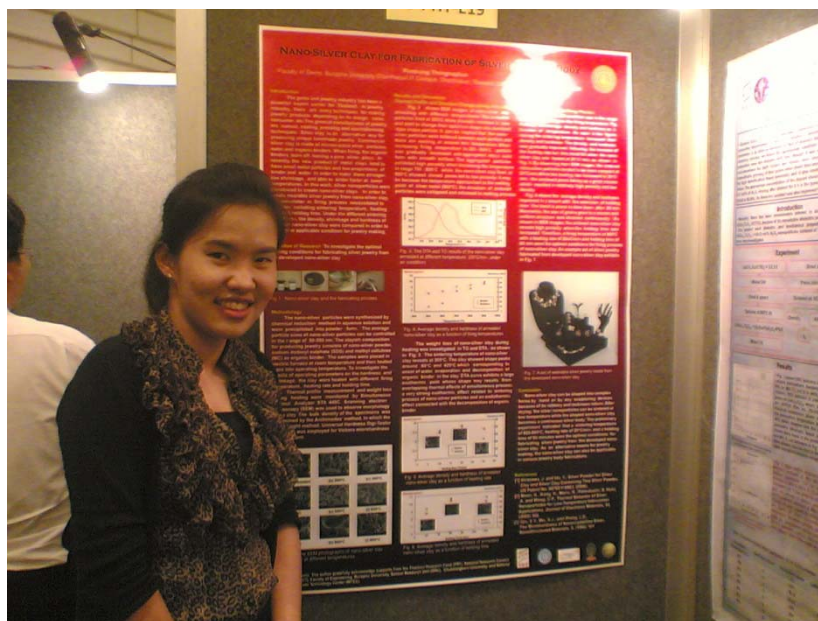
The authors gratefully acknowledge support from the Thailand Research Fund (TRF) and Commission on Higher Education (CHE).

6. References

- [1] Hirasawa, J. and Ido, Y., Silver Powder for Silver Clay and Silver Clay Containing This Silver Powder, *US Patent No. 007081149B2*, 2006.
- [2] Wang, H.; Qiao, X.; Chen, J. and Ding, S., Preparation of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method, *Coll. Surf. A*, 2005, 256, 111-115

การประชุม “นักวิจัยรุ่นใหม่...พบ...เมธีวิจัยอาวุโส สกว.” ครั้งที่ 9
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
วันที่ 15-17 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ร่วมจัดการประชุม “นักวิจัยรุ่นใหม่ พบ เมธีวิจัยอาวุโส สกว.” ครั้งที่ 9 เมื่อวันที่ 15-17 ตุลาคม 2552 ที่โรงแรมฮอลิเดย์อินน์ รีสอร์ท รีเจนท์ บีช ชะอำ จ.เพชรบุรี นายอภิสิทธิ์ เวชชาชีวะ นายกรัฐมนตรี เป็นประธานในพิธีเปิดการประชุม ในโอกาสนี้ นายกรัฐมนตรีได้ปาฐกถาเรื่อง “นโยบายและยุทธศาสตร์ในการสนับสนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาประเทศ” การประชุมครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้รับทุนได้มีโอกาสนำเสนอความก้าวหน้าของงานวิจัย รวมทั้งรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากนักวิจัยอาวุโสและผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งในปีนี้มีผู้เข้าร่วมงานกว่า 1,000 คน การนำเสนอผลงานวิจัยมีทั้งรูปแบบบรรยายและโปสเตอร์ ในการนี้ อาจารย์พิมพ์ทอง ทองนพคุณ ร่วมนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ในหัวข้อ “Nano-Silver Clay for Fabrication of Silver Jewelry Body” ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนจาก สกว. และ สกอ. ในโครงการ ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ (Targeted Research Programs on “Nanoscience and Nanotechnology”) ประจำปี 2552





งานเปิดโลกอัญมณี และของดีเมืองจันทน์ ครั้งที่ 5 (Chanthaburi World Gem Show 2008)

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ได้รับเกียรติให้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัยของอาจารย์ และผลงานผลิตเครื่องประดับของนิสิตของคณะในงาน “เปิดโลกอัญมณี และของดีเมืองจันทน์ ครั้งที่ 5” (Chanthaburi World Gem Show 2008) ระหว่างวันที่ 10-14 ธันวาคม 2551 ที่ศูนย์แสดงสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี โรงแรมเคพีแกรนด์ จัดขึ้นโดยสมาคมผู้ค้าอัญมณีและเครื่องประดับ จังหวัดจันทบุรี ร่วมกับจังหวัดจันทบุรี และองค์การบริหารส่วนจังหวัดจันทบุรี เพื่อเป็นการเผยแพร่ชื่อเสียงอัญมณีจันทบุรี ผลงานการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับของช่างฝีมือชาวจันทบุรี ส่งเสริมผู้ประกอบการอัญมณีจันทบุรีให้ผลิตอัญมณีที่มีคุณภาพออกสู่ตลาดโลก อันจะส่งผลให้เกิดการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมอัญมณีของจันทบุรี และเป็นการกระตุ้นธุรกิจด้านการท่องเที่ยวภายในจังหวัด

อาจารย์พิมพ์ทอง ทองนพคุณ อาจารย์ประจำคณะอัญมณีได้ร่วมกับหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำงานวิจัยในเชิงประยุกต์ ด้านการผลิตเครื่องประดับ ได้แก่ การขึ้นรูปเครื่องประดับจาก nano-silver clay ในงานนี้มีการสาธิตวิธีการขึ้นรูปเครื่องประดับด้วย nano-silver clay และตัวอย่างต้นแบบเครื่องประดับที่ผลิตจาก nano-silver clay ภายในงานผู้เข้าชมงานให้ความสนใจเป็นจำนวนมาก







มหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2552 (National Science and Technology Fair 2009)

มหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2552 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 8 – 23 สิงหาคม 2552 (วัน 9 สิงหาคม) ที่ อิมแพค เมืองทองธานี รวบรวมสุดยอดความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกแขนง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว “พระบิดาแห่งวิทยาศาสตร์ไทย” และ เพื่อเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว “พระบิดาแห่งเทคโนโลยีของไทย” และ “พระบิดาแห่งนวัตกรรมไทย” รวมทั้งฉลองครบรอบ 30 ปี แห่งการก่อตั้งกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเผยแพร่ผลงานวิจัย และพัฒนาความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในประเทศและนานาชาติ ส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และอาชีพด้านวิทยาศาสตร์ แก่เยาวชนและประชาชนทั่วไป

อาจารย์พิมพ์ทอง ทองนพคุณ หน่วยวิจัยอัญมณีและเครื่องประดับ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ร่วมส่งผลงานโปสเตอร์การประดิษฐ์เครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์



FACULTY OF GEMS
BURAPHA UNIVERSITY, CHANTHABURI IT CAMPUS
NANO SILVER CLAY JEWELRY



PIMTHONG THONGNOPKUN
FACULTY OF GEMS, BURAPHA UNIVERSITY, CHANTHABURI IT CAMPUS
E-MAIL: PIMTHONG@BUU.AC.TH, TEL: 0-3931-0000 [HTTP://WWW.CHANTHABURI.BUU.AC.TH/GEMS](http://www.chanthaburi.buu.ac.th/gems)



คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศ จันทบุรี FACULTY OF GEMS BURAPHA UNIVERSITY CHANTHABURI IT CAMPUS

การผลิตเครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ (Nano Silver Clay)

อุตสาหกรรมการทำเครื่องประดับโดยทั่วไป มีขั้นตอนการขึ้นรูปเครื่องประดับสามารถจำแนกได้ 4 วิธีหลัก ได้แก่ การขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปด้วยการบีบ การขึ้นรูปด้วยการหล่อ และการขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า (electroforming) ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการขึ้นรูปการหล่อ การตีโลหะ หรือต้องใช้เครื่องมือการผลิตเฉพาะทางซึ่งมีราคาสูง เช่น เครื่องหล่อโลหะ เครื่องแกะแว็กซ์ (wax) และต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปหลายขั้นตอน เช่น การแกะแว็กซ์ การหล่อโลหะ การหล่อเครื่องประดับ เป็นต้น

ปัจจุบันมีการขึ้นรูปเครื่องประดับอีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมในต่างประเทศ คือ การขึ้นรูปเครื่องประดับจากผงโลหะที่มีลักษณะคล้ายดิน (Metal Clay) เครื่องประดับที่ได้จากวิธีดังกล่าวจะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ผู้สนใจสามารถทำการประดิษฐ์หรือผลิตเครื่องประดับได้เอง เนื่องจากกระบวนการผลิตทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง หรือเครื่องหล่ออุณหภูมิสูง แต่เครื่องประดับชนิดนี้ยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทยเนื่องจากต้องนำเข้าผงโลหะสำเร็จรูปจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง โลหะที่นิยมนำมาใช้ผลิตเครื่องประดับส่วนมากเป็นโลหะมีค่า เช่น เงิน ทอง ที่นิยมได้แก่ โลหะเงิน เรียกว่า ซิลเวอร์เคลย์ (Silver Clay) กระบวนการผลิตผงโลหะเงิน (Silver powder) เริ่มจากการนำเม็ดโลหะเงินมาผ่านการสังเคราะห์จนได้ผงโลหะเงิน (Silver powder) และนำมาผสมกับตัวประสานอินทรีย์ที่เหมาะสม ทำการปั้น ขึ้นรูป รีดจนชิ้นงานแห้งและนำไปเผาด้วยเตาไฟฟ้า จะได้ชิ้นงานเครื่องประดับเงินที่มีเอกลักษณ์

คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศ จันทบุรี ร่วมกับหน่วยวิจัยอุปกรณ์รับรู้ ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทำวิจัยเรื่องการสังเคราะห์เงินอนุภาคระดับนาโนเมตร และศึกษากระบวนการขึ้นรูปเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ด้วยกรรมวิธีใหม่ ได้สู่โครงการนาโนซิลเวอร์เคลย์และเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมที่สามารถนำไปทำเครื่องประดับ โดยใช้อุณหภูมิการเผาต่ำ และสามารถลดต้นทุนการนำเข้าผงเงินจากต่างประเทศ เพื่อเป็นการเปิดตลาดเครื่องประดับรูปแบบใหม่ในประเทศ

กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์



1. นำเม็ดเงินบริสุทธิ์มาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ได้สารละลายเงินที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตร (20-200 nm)

2. เมื่อตกตะกอนแล้วจะได้ผงของโลหะเงินขนาดอนุภาคนาโน (Nano-silver powder)

ผงเงินขนาดนาโน + ตัวประสานอินทรีย์



5. ทำการปั้นหรือขึ้นรูปนาโนซิลเวอร์เคลย์ด้วยกรรมวิธีต่างๆ ที่ต้องการ สามารถทำการฝังพลอยลงในซิลเวอร์เคลย์ เพื่อทำการเผาในขั้นตอนเดียวได้

4. นาโนซิลเวอร์เคลย์ (Nano-silver clay)

3. นำผงเงินมาผสมกับตัวประสานอินทรีย์ นวดจนเนื้อเงินกับตัวประสานเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ดินเงิน (silver clay) หลอมผสมจะมีลักษณะคล้ายดินเหนียว สามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย



6. รีดจนชิ้นงานแห้ง และตกแต่งชิ้นงานก่อนเผา

7. นำชิ้นงานไปเผาด้วยเตาไฟฟ้า โดยใช้เวลาและอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม

8. ตกแต่งชิ้นงานหลังเผาเล็กน้อย จะได้เครื่องประดับเงินที่มีเอกลักษณ์ตามต้องการ





มหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2553 (National Science and Technology Fair 2010)

มหกรรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2553 จัดขึ้นวันที่ 7-22 สิงหาคม 2553 ณ ศูนย์การแสดงสินค้าและการประชุมอิมมาโกดิงกรุงเทพ (ไบเทค บางนา) มีวัตถุประสงค์เพื่อเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว “พระบิดาแห่งวิทยาศาสตร์ไทย” และเพื่อเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว “พระบิดาแห่งเทคโนโลยีของไทย” และ “พระบิดาแห่งนวัตกรรมไทย” และเผยแพร่ผลงานวิจัย และพัฒนาความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในประเทศและนานาชาติ ส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และอาชีพด้านวิทยาศาสตร์ แก่เยาวชนและประชาชนทั่วไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์ทอง ทองนพคุณ และนิสิตในหน่วยวิจัยอัญมณีและเครื่องประดับ คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ร่วมแสดงผลงานต้นแบบเครื่องประดับเงินจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ ภายในงานมีผู้ให้ความสนใจกับเครื่องประดับรูปแบบใหม่นี้จำนวนมาก





