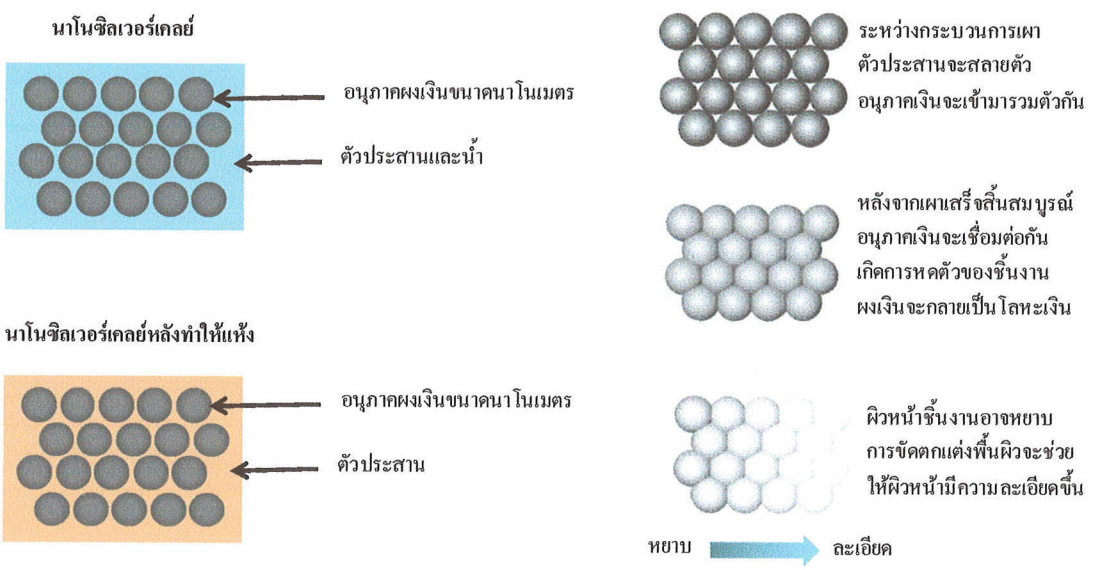
ฝีมือแรงงานไทยในการผลิตเครื่องประดับเงินในรูปแบบใหม่ ซึ่งมีเอกลักษณ์ความเป็นไทยเฉพาะตัว เนื่องด้วยช่างไทยเป็นช่างฝีมือที่มีคุณภาพ มีความชำนาญ หากสามารถหาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการรังสรรค์งานศิลป์ เช่น การผลิตเครื่องประดับที่มีความละเอียดซับซ้อน หรือเครื่องประดับที่ใส่ความเป็นไทยลงในผลงานได้ จะทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ในการทำเครื่องประดับ

ซิลเวอร์เคลย์ที่มีขายเชิงพาณิชย์จะมีอนุภาคเงินในระดับไมครอน แต่ขณะนี้คณะนักวิจัยของไทยสามารถผลิตวัตถุดิบวัสดุนาโนมาใช้เองได้ในประเทศ และมีการต่อยอดสู่การทำเป็นนวัตกรรมนาโนซิลเวอร์เคลย์ ทำให้ราคาวัตถุดิบที่นำมาทำเป็นซิลเวอร์เคลย์มีราคาต่ำลงมาก ลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้ หากนำนาโนซิลเวอร์เคลย์มาทำเป็นเครื่องประดับจะเป็นการส่งเสริมการทำเครื่องประดับแนวใหม่ในตลาดหรืออุตสาหรรมเครื่องประดับไทย อย่างไรก็ตามงานวิจัยด้านเครื่องประดับในประเทศไทยมีค่อนข้างน้อยและยังไม่สามารถรองรับภาคการผลิตได้จริง รวมถึงการทำเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ซึ่งยังไม่ได้มีการศึกษาและผลิตชิ้นงานอย่างกว้างขวาง หรือยังไม่มีรูปแบบงานแปลกใหม่ เนื่องจากการทำเครื่องประดับแต่ละรูปแบบ โดยเฉพาะที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนจะต้องการซิลเวอร์เคลย์ที่มีสูตรต่างกัน และใช้สภาวะในการขึ้นรูป (อุณหภูมิ และเวลาในการเผา) ที่ต่างกัน หากศึกษาการทำเครื่องประดับจากนาโนซิลเวอร์เคลย์อย่างเป็นระบบ รวมถึงมีการออกแบบเครื่องประดับในรูปแบบใหม่ๆ เช่น การทำหัตถกรรมเครื่องเงินพร้อมเซรามิค การเชื่อมเครื่องประดับด้วยนาโนซิลเวอร์เคลย์ให้เกิดขึ้นได้ จะสามารถใช้เป็นต้นแบบหรือนวัตกรรมเพื่อพัฒนาฝีมือแรงงานไทย สร้างอาชีพ สร้างรายได้ และส่งผลสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ต่อไปได้

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซิลเวอร์เคลย์ หรือที่เรียกว่า ดินเงิน แม้มีชื่อเรียกว่าดิน แต่องค์ประกอบของซิลเวอร์เคลย์ไม่ได้ประกอบด้วยดินแม้แต่น้อย องค์ประกอบหลักประกอบด้วย ผงเงิน ตัวประสาน และน้ำ โดยตัวประสานและน้ำทำหน้าที่คล้ายกาวเพื่อเป็นตัวเชื่อมให้อนุภาคผงเงินสามารถปั้นขึ้นรูปได้ เมื่อทำการเผา ตัวประสานและน้ำจะสลายตัวออกไป กลไกการรวมตัวกันของอนุภาคผงเงินกลายเป็นชิ้นงานโลหะเงิน เป็นดังรูปที่ 1 เริ่มต้นจากซิลเวอร์เคลย์ซึ่งประกอบด้วยผงเงินล้อมรอบด้วยน้ำและตัวประสาน เมื่อปั้นชิ้นงานแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง น้ำจะระเหยออกไปเหลือเพียงตัวประสาน เมื่อนำชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ไปเผา ที่อุณหภูมิ 600-900°C ตัวประสานจะสลายตัวออกไปเหลือเพียงอนุภาคเงินที่ค่อยๆ ผนึกตัวหรือประสานตัวกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคเงินจะผนึกตัวและเชื่อมประสานจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้ชิ้นงานโลหะเงินในที่สุด หากทำการเผากินอุณหภูมิหลอมเหลวของเงิน (960°C) เงินจะหลอมละลายไม่คงตัวเป็นรูปแบบที่ปั้นไว้

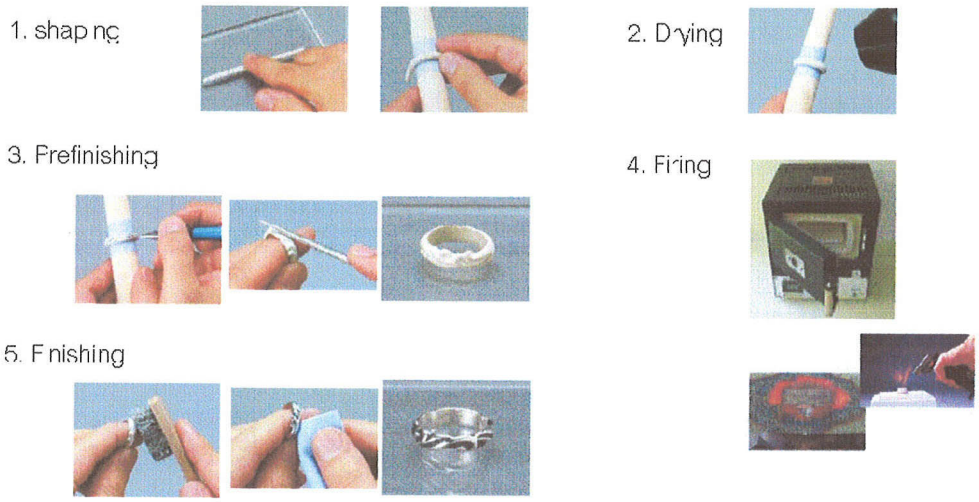
สำหรับสูตรการผลิตซิลเวอร์เคลย์ จากฐานข้อมูลของวารสารและสิทธิบัตรเกี่ยวกับการขึ้นรูปเครื่องประดับด้วยผงโลหะจะต้องใช้ส่วนผสมหลักได้แก่ ผงโลหะมีค่า และตัวประสานอินทรีย์ เช่น แป้ง cellulose resin กาว หรือ ดินเหนียว ผงโลหะมีค่าทั่วไปที่ใช้ทำเครื่องประดับได้แก่ ทอง เงิน ทองแดง นิกเกิล หรืออัลลอยด์ของโลหะชนิดต่างๆ การเลือกชนิดของตัวประสานขึ้นอยู่กับชนิดของผงโลหะ ผงโลหะที่ใช้มีขนาดประมาณ 3-200 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าหากผงโลหะมีขนาดใหญ่กว่า 200 ไมโครเมตร จะทำให้การยืดตัว และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง การขึ้นรูปจะทำการผสมผงโลหะกับตัวประสาน โดยสัดส่วนผงโลหะ 50-90% โดยน้ำหนัก สำหรับการขึ้นรูปเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์จะมีผลิตภัณฑ์ซิลเวอร์เคลย์จำหน่ายหลายสูตร ทั้งแบบเป็นดินเงินมาผสมเอง ซิลเวอร์เคลย์ที่มีลักษณะเป็นดินเหนียว และดินเงินเหลว (silver paste) ขึ้นอยู่กับกระบวนการนำมาใช้งาน และราคาของแต่ละสูตรจะแตกต่างกันไป เปอร์เซ็นต์การหดตัว อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผาขึ้นอยู่กับสูตรการผสมของซิลเวอร์เคลย์แต่ละ ได้มีผู้ทดลองทำการศึกษาอุณหภูมิเผาผนึก (sintering temperature) อนุภาคนาโนของโลหะเงินขนาด 20 nm พบว่าสามารถทำการเผาผนึกได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะเงินที่เผากันโดยทั่วไปประมาณ 150°C คือทำการ Sintering ที่ 810°C (T_m ของโลหะเงินโดยทั่วไป 960°C) ขนาดของอนุภาคเงินที่ถูกเผาผนึก (size of sintered particle) และ ขนาดของผลึก (Crystallite size of particle) มีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาผนึกสูงขึ้น และทำการศึกษาด้วย Thermogravimetric analyzer (TGA) และ Thermomechanical analysis (TMA) เพื่อดูการรวมตัวของอนุภาคเงินดังกล่าวพบว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้ความสามารถในการเผาผนึกสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับ Bulk เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิในการเผาผนึกจะทำให้เกรนใหญ่ขึ้นและความพรุนตัว (porosity) ลดลง ดังนั้นนาโนซิลเวอร์เคลย์ที่ผลิตขึ้นจะมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดีกว่า ที่อุณหภูมิเผาผนึกที่ต่ำกว่า



รูปที่ 1 การรวมตัวของอนุภาคเงินในการเกิดเป็นโลหะเงิน

การทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์เป็นงานศิลปะที่มีความเป็นเอกลักษณ์คล้ายงานปั้น มีการลงทุนต่ำกว่าการขึ้นรูปทางอุตสาหกรรม เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือหล่อหรือขั้นตอนผลิตที่ยุ่งยาก การทำเครื่องประดับใช้เพียงอุปกรณ์และเครื่องมือปั้นอย่างง่าย ที่สำคัญคือไม่ต้องใช้การขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงเหมือนโลหะเงิน เนื่องจากขนาดอนุภาคของโลหะที่ถูกทำให้เป็นผงก่อนผสมกับตัวประสานในการขึ้นรูปนั้นมีขนาดเล็ก สำหรับเทคนิคการทำเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์โดยทั่วไปจะนิยมใช้การปั้นด้วยมือ ไม่ว่าจะเป็นการทำเครื่องประดับรูปแบบใดจะมีกระบวนการประดิษฐ์หลักๆ ได้แก่ การขึ้นรูปร่างเครื่องประดับ (shaping) หลังจากนั้นทำให้แห้ง (Drying) จึงทำการขัดตกแต่งก่อนเผา (Prefinishing) แล้วนำไปเผา (Firing) หลังจากนั้นนำมาขัดหลังเผา (Finishing) จะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ (ดังรูปที่ 2) ในกรณีที่ซิลเวอร์เคลย์ที่จำหน่ายในลักษณะคล้ายดินเหนียวหรือดินน้ำมัน จะสามารถปั้นขึ้นรูปด้วยมือได้ง่าย แต่หากซื้อมาแบบเป็นผงโลหะแล้วนำมาผสมเองจะอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับการผสมให้ได้อัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ เครื่องประดับเงินที่คงทนแข็งแรง การทำเครื่องประดับด้วยการปั้นจะทำการปั้น แล้วตกแต่งหลังจากชิ้นงานแห้ง ดังรูปที่ 2 สำหรับเทคนิคการเผาพร้อมฝังพลอย โดยทั่วไปจะเป็นการฝังหุ้มดังรูปที่ 3 โดยการกดตัวพลอยลงไปในแผ่นซิลเวอร์เคลย์ที่เตรียมไว้ เมื่อก้นพลอยฝังลงในซิลเวอร์เคลย์จะทำให้ไม่มีแสงสะท้อนผ่านก้นพลอยขึ้นมาได้ ทำให้ประกายของพลอยลดลง จึงมักนิยมใช้พลอยที่มีสีสันสดใสสวยงามเพื่อดึงดูดใจแทนการใช้ประกายความงามจากพลอย นี่จึงเป็นข้อจำกัดของเทคนิคการทำเครื่องประดับชนิดนี้ สำหรับเทคนิคการพิมพ์ลาย (print technique) ดังรูปที่ 4 จะใช้วิธีการกดวัสดุธรรมชาติลงบนแผ่นซิลเวอร์เคลย์ แล้วนำวัสดุธรรมชาตินั้นออกจากแผ่นซิลเวอร์เคลย์ หรือในกรณีที่วัสดุธรรมชาตินั้นสลายตัวได้เมื่อได้รับความ

ร้อน ก็สามารถเผาพร้อมกันได้เลย หรือใช้แผ่นใบไม้เทียมที่ทำขึ้นเป็นตัวอย่างดังรูปที่ 4 ชิ้นงานที่ได้จากเทคนิคนี้จึงมีลักษณะเป็นแผ่นใหญ่ รูปลักษณ์แข็ง ไม่มีความอ่อนช้อย และการผลิตจะมีปัญหาเรื่องน้ำหนักในการกด หากเบาเกินไปจะเห็นลวดลายไม่ชัด แต่หากกดแรงเกินไปจะทะลุแผ่นซิลเวอร์เคลย์ และหากทำการกดอย่างไม่ปราณีตจะทำให้ชิ้นงานมีฟองอากาศที่ผิวหน้าที่เรียกว่า "ตามด" เกิดขึ้น ทำให้ชิ้นงานไม่สวย และนอกจากนี้ยังต้องตกแต่งชิ้นงานก่อนและหลังการเผาอีกหลายขั้นตอน ทำให้สิ้นเปลืองซิลเวอร์เคลย์

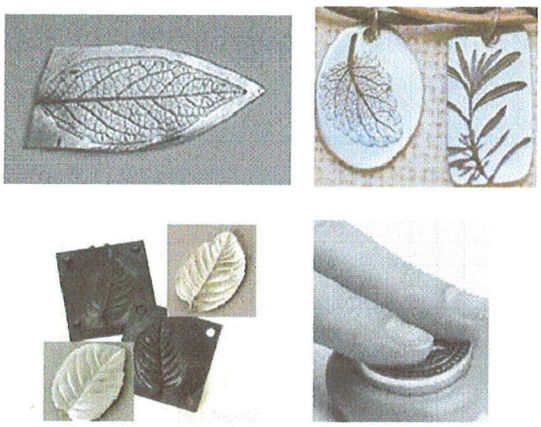


รูปที่ 2 ตัวอย่างกระบวนการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เพื่อทำแหวน

(ที่มา: http://www.mmc.co.jp/pmc/english/pmc/process.html)

รูปที่ 3 เครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ด้วยเทคนิคเผาพร้อมฝังพลอย

(ที่มา: http://www.seismicoriginals.com/gpage2.html และ Maryland Made by Jennifer Thompson)



รูปที่ 4 การขึ้นรูปโดยเทคนิคพิมพ์ลาย โดยการกดตัวอย่างลงบนแผ่นซิลเวอร์เคลย์
(ที่มา: http://www.silver-clay.com)

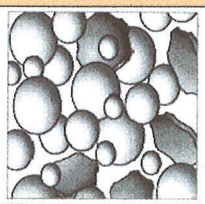
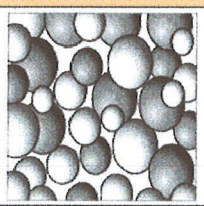
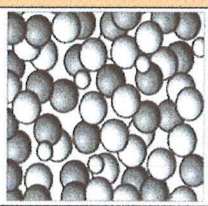
การทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ เป็นงานศิลปะที่มีความเป็นเอกลักษณ์ เดิมเป็นงานอดิเรกของช่างปั้นชาวญี่ปุ่น และได้รับความนิยมในกลุ่มผู้รักศิลปะและผู้สนใจทำเครื่องประดับเป็นงานอดิเรกในประเทศอื่นๆ ต่อมา จนมีกลุ่มผู้ผลิตขายเป็นเครื่องประดับที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวทางอินเตอร์เนท และเครื่องประดับดังกล่าวจะมีราคาสูงเนื่องจากถือว่าเป็นงานฝีมือ มีเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล และเปรียบเสมือนมีชิ้นเดียวในโลก อย่างไรก็ตามการทำเครื่องประดับประเภทนี้ต้องนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตสูง จึงทำให้ราคาจำหน่ายซิลเวอร์เคลย์มีราคาจำหน่ายสูงถึงกรัมละประมาณ 90-180 บาท ทำให้เป็นเหตุผลหนึ่งที่การผลิตเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์ไม่ได้รับความนิยมในประเทศไทย

ปัจจุบันมีซิลเวอร์เคลย์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว โดยมีบริษัทผลิตใหญ่อยู่ 2 ยี่ห้อ ได้แก่ PMC (Precious Metal Clay)[1] และ ATR CLAY[2] โดยซิลเวอร์เคลย์ที่มีจำหน่ายทำจากอนุภาคระดับไมโครอน การผลิตซิลเวอร์เคลย์ที่ขายในเชิงพาณิชย์มีการพัฒนาสูตรอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการผลิตเครื่องประดับแต่ละแบบต้องการสูตรที่แตกต่างกัน และยังพบว่าหากซิลเวอร์เคลย์มีขนาดอนุภาคที่เป็นทรงกลมที่มีขนาดใหญ่และเล็กผสมกัน จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็ง คงทน มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำ ความหนาแน่นสูง PMC ได้พัฒนาสูตรซิลเวอร์เคลย์หลายประเภท พบว่ายิ่งอนุภาคเงินมีขนาดเล็ก จะทำให้อุณหภูมิในการเผาผนึกต่ำลง จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าอุณหภูมิในการเผาผนึกของ PMC จะสูงกว่า PMC^{+} และ PMC3 ตามลำดับ เนื่องจากขนาดอนุภาคของ PMC ใหญ่กว่า PMC^{+} และ PMC3 อย่างไรก็ตามอุณหภูมิการเผาผนึกของซิลเวอร์เคลย์นี้ยังสูงอยู่ (ประมาณ 650 - 850 องศาเซลเซียส)[1] เนื่องจากอนุภาคเงินที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานยังมีขนาดใหญ่อยู่ หากนักวิจัยสามารถพัฒนาให้ซิลเวอร์เคลย์มีขนาดเล็กลงอีกได้ หรือเพียง

สังเคราะห์และศึกษาข้อมูลให้เหมาะสมกับวัสดุที่พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบ เพื่อเผยแพร่งานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ต่อยอดสู่ภาคอุตสาหกรรมท้องถิ่นหรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากซิลเวอร์เคลย์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงมาก และต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น จึงเป็นข้อจำกัดในการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องประดับที่น่าสนใจอีกประเภทหนึ่งของไทย หากได้รับการสนับสนุนทางด้านการทำเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ ประกอบกับเทคนิคที่แปลกใหม่ และฝีมือที่ปราณีตของช่างไทย น่าจะสามารถพัฒนาเครื่องประดับที่ทำจากซิลเวอร์เคลย์ได้หลากหลาย และน่าสนใจทัดเทียมหรือก้าวหน้ากว่าต่างประเทศได้

เครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ถึงแม้จะเป็นที่รู้จักในหมู่ผู้ทำเครื่องประดับมานานหลายปี แต่นวัตกรรมการผลิตเครื่องประดับแนวใหม่ที่มีการรวมกันระหว่างวัสดุหลายๆ ชนิด ยังไม่เป็นที่พัฒนา เกิดเนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ เช่น อุณหภูมิในการเผาผนึก วัสดุที่เหมาะสม การออกแบบที่มีความหลากหลาย โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การนำผงเงินระดับนาโนเมตรจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ มาทำการผลิตเป็นสูตรนาโนซิลเวอร์เคลย์ และทำการปรับปรุงสูตรให้เหมาะกับการผลิตเครื่องประดับแต่ละประเภท ศึกษาเทคนิคและกระบวนการขึ้นรูป เน้นการผลิตเครื่องประดับในรูปแบบใหม่ มีรูปทรงซับซ้อนและมีกรรมวิธีการขึ้นรูปที่ไม่ยุ่งยาก โดยมีการทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อศึกษาคุณสมบัติของการขึ้นรูป รูปแบบชิ้นงาน กรรมวิธีการผลิต วัสดุที่เหมาะสม ตัวอย่างเครื่องประดับที่ต้นแบบที่ทำจากนาโนซิลเวอร์เคลย์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการพัฒนาสูตรการผลิตดินเงินจากผงโลหะมีค่า ส่วนใหญ่จะออกมาในรูปแบบสิทธิบัตร เนื่องจากมีผลต่ออุตสาหกรรมเครื่องประดับเงิน งานวิจัยที่ผ่านมามีดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของ PMC Silver Clay แต่ละชนิด

	PMC	PMC+	PMC3
			
Workability	excellent	slightly stiff	excellent
Shrinkage	25-30%	10-15%	10-15%
Firing Temp. & Time	1650°F for 2 hours	1650°F for 10 min.	1290°F for 10 min.
		1560°F for 20 min.	1200°F for 20 min.
		1470°F for 30 min.	1110°F for 30 min

รูปที่ 5 ตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ และอุปกรณ์สำหรับการปั้นและขึ้นรูปสำหรับทำเครื่องประดับ ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ต้องนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

K. Hoshino และคณะ (US Patent 5376328; 1994) พัฒนาวิธีการขึ้นรูปเครื่องประดับจากโลหะอัลลอยด์ ได้แก่ ผงโลหะ เงิน ทองคำ ทองแดง และแพลตินัม ที่ผลิตจากกระบวนการ Submerged-Reduction Method โดยมีปริมาณของผงโลหะอยู่ในของผสม 50 – 90 % ผสมกับตัวเชื่อมประสารอินทรีย์และสารเติมแต่งเชิงพื้นผิว และมีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ประมาณ 0.8 – 8 % ผงโลหะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในช่วง 13 – 20 ไมโครเมตร ดังนั้นการเผาผนึกจะต้องเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ในกรณีของเงิน ต้องเผาที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะเงินประมาณ 150 – 250°C (จุดหลอมเหลวของเงิน 960 องศาเซลเซียส) เมื่อทำการเผาผนึก น้ำและสารอินทรีย์จะสลายตัวไป เหลือเพียงผงโลหะที่เชื่อมประสานกันเป็นรูปทรงตามที่ออกแบบไว้ โดยนำเสนอรูปทรงเครื่องประดับอย่างง่ายที่ขึ้นรูปด้วยผงโลหะชนิดนี้ด้วย [3]

C. E. Johnson, G. R. Stafford (US Patent 6110254, 2000) พัฒนากรรมวิธีการผลิตผงโลหะเงินด้วยวิธีการทางเคมีจากเกลือดีบุก และเกลือเงิน ผสมกับกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์ อลูมินา และสารลดแรงตึงผิว ทำการศึกษาอุณหภูมิและผลของ pH ที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนของเงิน อนุภาคเงินที่ผลิตได้ที่มีขนาด 0.2 – 2.0 ไมโครเมตร และผงโลหะเงินสามารถเผาผนึกเชื่อมต่อกันได้ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาเผา 2 ชั่วโมง [4]