

บทความวิจัย

อิทธิพลของตัวประสานต่อสมบัติทางกายภาพของซิลเวอร์เคลย์ ที่ใช้ในงานเครื่องประดับ

สุพิชฌา สุพรรณสมบุรณ์* ชนะชัย ตั้งมั่นสุจริต นรุตม์ เขาจารย์ และ อโนชา หมั่นภักดี

บทคัดย่อ

ซิลเวอร์เคลย์ที่นำมาใช้ในงานเครื่องประดับ ประกอบด้วยผงโลหะเงินที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ตัวประสานและน้ำ งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของตัวประสานต่อสมบัติทางกายภาพของซิลเวอร์เคลย์หลังการเผาซินเตอร์ ในการทดลองได้นำผงโลหะเงินที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 50 ไมครอน ผสมกับตัวประสานชนิดต่างๆ ในตระกูลเซลลูโลส (Cellulose) ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methyl cellulose, HPMC), คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC), เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose, MC) และ ไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส (hydroxyethyl cellulose, HEC) จากนั้นเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที จากการทดลองพบว่า ตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส สามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้เหมาะสม ซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นตัวประสาน เมื่อเผาซินเตอร์แล้วจะให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งใกล้เคียงกับอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ซึ่งเป็นซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรค่อนข้างสูง

คำสำคัญ: ซิลเวอร์เคลย์ ตัวประสาน เซลลูโลส การขึ้นรูปโลหะผง สมบัติกายภาพ

Effect of Binder on the Physical Properties of Silver Clay for Jewelry

Supitcha Supansomboon*, Chanachai Tangmansujarit,
Narut Khaocharee and Anocha Munpakdee

ABSTRACT

Silver Clay is a combination of water, binders, and small particles of silver. This research studied effects of binders on physical properties of the sintered silver clay. Fine silver particles ranging between 1 to 50 microns were mixed with various cellulose water soluble binders such as; hydroxypropyl methyl cellulose, HPMC, carboxymethyl cellulose, CMC, methyl cellulose, MC, and hydroxyethyl cellulose, HEC. The silver paste was then molded and sintered at 700 °C for 30 minutes. It was found that, by using methyl cellulose group as a binder agent, the silver clay was easily molded into desired generic shapes. The silver powder mixed with carboxyl methyl cellulose gave a comparable density and hardness with the commercial clay, Art Clay Silver 650, after sintering. However, its volume firing shrinkage was still high.

Keywords: silver clay, binder, cellulose, physical properties

บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยมีมูลค่าส่งออกกว่าแสนล้านบาทต่อปี [1] เป็นสินค้าที่มีการส่งออกเป็นอันดับต้นของประเทศและมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเพื่ออุตสาหกรรมนี้จึงมีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของพัฒนาวัสดุรูปแบบและกระบวนการผลิตเครื่องประดับ

เมทัลเคลย์ (metal clay) [2, 3] คือ วัสดุที่เกิดจากการผสมผงโลหะที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ตัวประสานอินทรีย์ (organic binder) และน้ำ ทำให้มีลักษณะคล้ายดินเหนียว สามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย จากนั้นนำไปเผาซินเตอร์ให้ตัวประสานอินทรีย์และน้ำหมดไป อนุภาคขนาดเล็กของโลหะเชื่อมติดกัน ทำให้ได้ชิ้นงานโลหะตามที่ยื่นรูป เมทัลเคลย์ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อต้น ค.ศ. 1990 ในประเทศญี่ปุ่น เป็นวัสดุหนึ่งที่ถูกศึกษาและค้นคว้า เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการผลิตมากขึ้น โดย A. Morikawa ใช้ชื่อผลิตภัณฑ์นี้ว่า พรีเชียสเมทัลเคลย์ (precious metal clay) ผลิตโดยบริษัท Mitsubishi Materials Corporation โดยแรกเริ่มประสบความสำเร็จในการทำเป็นโกลด์เคลย์ (gold clay) และพัฒนาเป็นซิลเวอร์เคลย์ (silver clay) ซึ่งในเวลาต่อมาได้ทำการผลิตออกมาเป็นสูตรและชนิดต่างๆ มากมายให้เหมาะสมกับการใช้งาน และในปี ค.ศ. 1991 ทีมวิจัยและพัฒนาของบริษัท Aida Chemical Industries ได้จดสิทธิบัตรเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเมทัลเคลย์ ต่อมาได้ทำการผลิตและใช้ชื่อสินค้าว่า อาร์ทเคลย์ (art clay) อย่างเป็นทางการครั้งแรกในปี ค.ศ. 1994 โดยการผลิตได้แบ่งเป็น อาร์ทเคลย์โกลด์ (art clay gold) และ อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ (art clay silver)

ซิลเวอร์เคลย์ จึงเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ เพื่อลดปัญหาและข้อจำกัดที่เกิดจากการขึ้นรูปโดยวิธีการอื่นๆ เช่น การหล่อ ด้วยสมบัติของวัสดุที่สามารถปั้นขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับได้ง่าย สามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปทรงได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปที่มีหลายขั้นตอนและมีข้อจำกัดหลายประการเหมือนวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น จึงทำให้สามารถสร้างสรรค์ผลงานที่มีความซับซ้อนได้หลากหลายในเวลาทีลดลง

Juichi Hirasawa และ Yasuo Ido [4] ศึกษาการผสมผงโลหะเงินขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอน เข้ากับผงโลหะเงินขนาด 2-100 ไมครอน กับตัวประสาน สารลดแรงตึงผิว น้ำมันมะกอก และน้ำ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของผงโลหะเงินที่เหมาะสมคือ 1 ไมครอน ผสมเข้ากับผงโลหะเงินขนาด 5 ไมครอน ในอัตราส่วน 30 wt.% ต่อ 70 wt.% ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของซิลเวอร์เคลย์ คือ ผงโลหะเงิน 80 wt.% เซลลูโลส 7.5 wt.% สารลดแรงตึงผิว 2.3 wt.% และน้ำในอัตราส่วนที่เหลือ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้ สามารถทนแรงดึงได้ 100 N/mm² และมีความหนาแน่น 8.7 g/cm³ Atsushi Fujimaru และคณะ [5] ได้ทำการทดลองผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ผงโลหะเงินขนาด 2.5 ไมครอน ผสมเข้ากับผงโลหะเงินขนาด 20 ไมครอน ในอัตราส่วนของผงโลหะเงิน 50 wt.% ต่อ 50 wt.% ตามลำดับ อัตราส่วนที่เหมาะสมของซิลเวอร์เคลย์ คือ ผงโลหะเงิน 92 wt.% แป้ง 0.8 wt.% เซลลูโลส 0.7 wt.% และน้ำในอัตราส่วนที่เหลือ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้ มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเท่ากับ 7.8% และค่าความทนทานต่อแรงหักงอ (Bending Strength) เท่ากับ 33.81 kgf/mm² และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาซินเตอร์ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์มีค่าเท่ากับ 600 °C เป็นเวลา 30 นาที

Bruce E. Banyai และคณะ [6] ศึกษาการผสมตัวประสานสำหรับเป็นสารละลายในการขึ้นรูปผงโลหะ (metal powder) โดยผสมเกลือของโลหะแอลคาไลของคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (alkali metal salt of carboxymethyl cellulose) กับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) ได้ตัวประสานที่มีประสิทธิภาพ ลดปัญหาการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต และไม่ทำปฏิกิริยากับผงโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป

Klaus Menke และคณะ [7] ศึกษาการผสมตัวประสานสำหรับการขึ้นรูปผงโลหะ และผงเซรามิกส์ (ceramic powder) ด้วยกระบวนการเผาซินเตอร์ โดยผสมโพลีไวนิลอะซิเตท (polyvinyl acetate, PVA) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 35,000 ถึง 1,000,000 และ โพลีเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 500 ถึง 50,000 ซึ่งมีหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า นอกจากขนาดของผงโลหะจะมีผลต่อกระบวนการผลิตเมทัลเคลย์แล้ว ตัวประสานเป็นส่วนประกอบหลักในกระบวนการนี้เช่นกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวประสานที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพซิลเวอร์เคลย์

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ทำการศึกษาสมบัติของตัวประสาน โดยผสมตัวประสานต่อน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1.0 wt.%, 2.0 wt.% และ 3.0 wt.% เพื่อศึกษาสมบัติในการละลายและพฤติกรรมเกิดการเกิดเจล (Gelation) โดยเลือกตัวประสาน 5 ชนิด ได้แก่ hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC), carboxymethyl cellulose (CMC), methyl cellulose (MC), hydroxyethyl cellulose (HEC) และ polyvinyl alcohol (PVA) เมื่อได้ตัวประสานที่มีสมบัติในการละลายและพฤติกรรมเกิดการเกิดเจลที่ดีแล้วจึงทดลองผสมกับผงโลหะเงินให้เป็นซิลเวอร์เคลย์ นำผงโลหะเงินที่ผลิตจากกระบวนการทางเคมี ขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 50 ไมครอน บดผงโลหะเงินด้วยโกร้งบด เพื่อให้อนุภาคที่เกาะตัวกัน เกิดการกระจายออกจากกันไม่จับเป็นก้อน จากนั้นผสมผงโลหะเงินในอัตราส่วน 92 wt.% ต่อปริมาณตัวประสานและน้ำ โดยใช้ น้ำ และตัวประสานชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนต่างๆ หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาทำการอัดขึ้นรูปในแม่แบบทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร อบไล่ความชื้นด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที และเผาซินเตอร์ด้วยที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาซินเตอร์มาทดสอบสมบัติด้านต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเผาซินเตอร์อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 (Art Clay Silver, ACS 650) ของ AIDA Chemical Industries สมบัติที่ศึกษาได้แก่ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียของชิ้นงาน ความหนาแน่นด้วยวิธีการหาความหนาแน่นแบบมวลรวม (bulk density) และค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น FR-3E ยี่ห้อ Future-tech corp. เมื่อทดลองผสมและซินเตอร์จนได้ชนิดและปริมาณของตัวประสานที่เหมาะสม จากนั้นทำการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับด้วยส่วนผสมของซิลเวอร์เคลย์ที่สามารถให้สมบัติหลังเผาซินเตอร์ที่ดีที่สุด



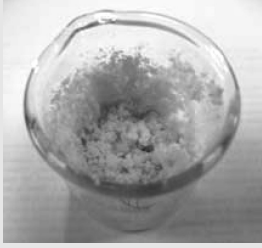


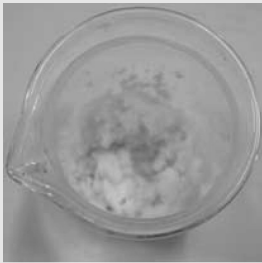
ผลการทดลอง

พฤติกรรมในการละลายและการเกิดเจล










เพื่อหาตัวประสานที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวยึดจับในการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ พฤติกรรมในการละลายและการเกิดเจล (gelation) ในตัวประสานในตระกูลเซลลูโลส และ ไวนิล แอลกอฮอล์ (vinyl alcohol) ทั้ง 5 ชนิด ได้ถูกศึกษาและแสดงผลไว้ในตารางที่ 1 โดยมีเกณฑ์การพิจารณาจากลักษณะเจลที่ได้ ความยืดหยุ่น ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยมือ และความเป็นเนื้อเดียวกัน

ตัวประสานในตระกูลเซลลูโลส (HPMC, CMC, MC และ HEC) เมื่อผสมกับน้ำที่อัตราส่วน 1 wt.% และ 2 wt.% ต่อน้ำ 99% และ 98% ตามลำดับ พบว่าสามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ และมีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคที่ค่อนข้างดี มีความยืดหยุ่น แต่ในอัตราส่วน 3 wt.% ต่อน้ำ 97% พบว่าไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดีเท่ากับการใช้ตัวประสานในปริมาณ 1 wt.% และ 2 wt.% เนื่องจากมีปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่เพียงพอที่จะละลายตัวประสานให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้มีลักษณะที่ร่วนและแห้ง ส่วนตัวประสานชนิด PVA ไม่สามารถละลายเข้ากับน้ำได้ ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการเกิดเจลขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับน้ำ และชนิดของตัวประสาน

ตารางที่ 1 แสดงการละลายและพฤติกรรมการเกิดเจลของตัวประสาน 5 ชนิดในปริมาณ 1 wt.%, 2 wt.% และ 3 wt.%

ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน		
	1 wt. %	2 wt. %	3 wt. %
HPMC			
MC			

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน		
	1 wt. %	2 wt. %	3 wt. %
CMC			
HEC			
PVA			

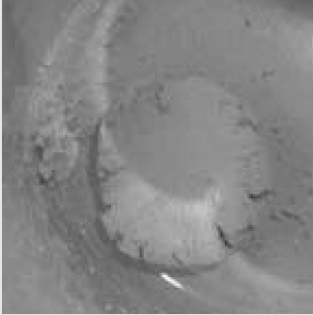



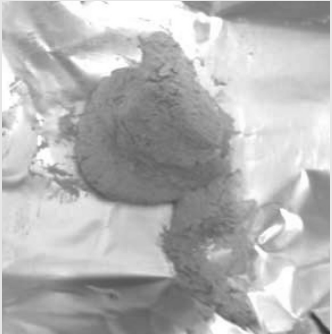

ความสามารถในการรวมตัวกับผงโลหะเงิน

ความสามารถในการรวมตัวกับผงโลหะเงินของตัวประสานแต่ละชนิด ศึกษาจากการผสมซิลเวอร์เคลย์ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงโลหะเงินต่อตัวประสานต่อน้ำ 92: 1: 7 และ 92: 2: 6 โดยพิจารณาลักษณะซิลเวอร์เคลย์ที่ได้ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการขึ้นรูปด้วยมือ จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้ตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส ได้แก่ HPMC, MC และ CMC จะได้เนื้อซิลเวอร์เคลย์ที่มีลักษณะค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ซิลเวอร์เคลย์ที่มีปริมาณตัวประสาน 1 wt.% สามารถปั้นขึ้นรูปได้แต่เนื้อค่อนข้างหยาบ เมื่อเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานในปริมาณ 2 wt.% ซึ่งจะได้เนื้อที่เรียบเนียน เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวประสานชนิด HPMC และ CMC ส่วนตัวประสานในชนิด MC นั้นจะได้เนื้อที่มีลักษณะที่หยาบกว่าเล็กน้อย สำหรับตัวประสานจำพวกเอทิลเซลลูโลส ได้แก่ HEC เมื่อถูกนำไปผสมที่ปริมาณ 1 wt.% และ 2 wt.% จะได้เนื้อซิลเวอร์เคลย์ที่มีลักษณะหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงโลหะเงินต่อตัวประสานต่อน้ำเท่ากับ 92: 1: 7 และ 92: 2: 6

ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน	
	1 wt.%	2 wt.%
HPMC	 <p>เนื้อที่มีลักษณะหยาบ</p>	 <p>เนื้อที่มีลักษณะที่เรียบเนียน สามารถปั้นขึ้นรูปได้</p>

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน	
	1 wt. %	2 wt. %
MC	 <p>เนื้อมีลักษณะหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวหยาบ</p>	 <p>มีลักษณะที่ผสมเข้ากันได้ดีเป็นเนื้อเดียวกัน มีความยืดหยุ่นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถ ปั้นขึ้นรูปได้</p>
CMC	 <p>เนื้อมีลักษณะหยาบ มีความเหนียว</p>	 <p>เนื้อมีลักษณะที่เรียบเนียน สามารถปั้นขึ้นรูปได้</p>
HEC	 <p>เนื้อมีลักษณะหยาบ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้</p>	 <p>ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน มีความเหนียว ไม่สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปได้</p>

ผลวิเคราะห์การอัดขึ้นรูปชิ้นงานและเผาซินเตอร์

ทดลองนำซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากการผสมระหว่างตัวประสานชนิดต่างๆ กับผงโลหะเงินและน้ำที่อัตราส่วน 1 wt.%, 2 wt.% และ ซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650) มาทำการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ลึก 1.4 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมขึ้นจากตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส สามารถขึ้นรูปได้แต่ไม่ดีเท่ากับอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ส่วนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมขึ้นจากตัวประสานจำพวกเอทิลเซลลูโลสไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้

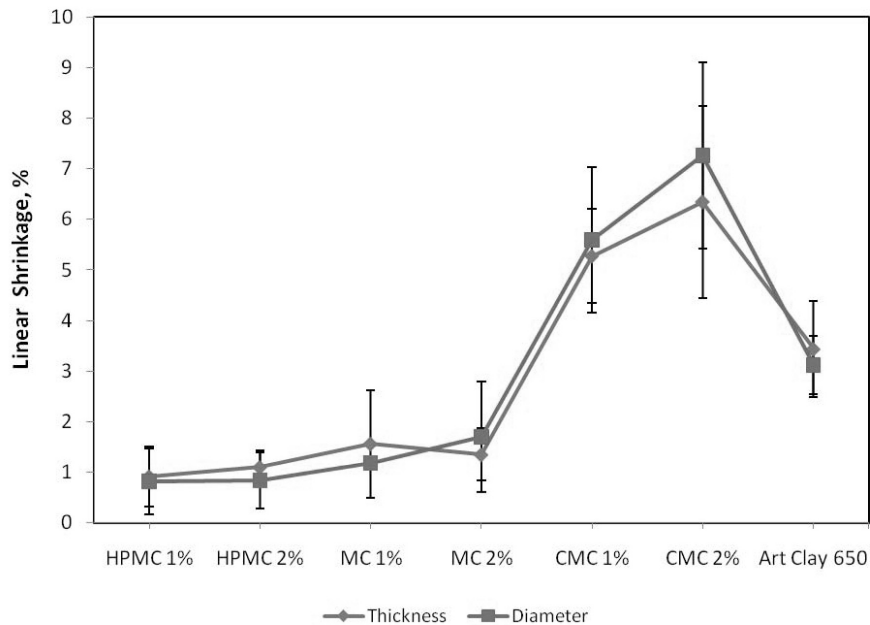
นำชิ้นงานที่ได้จากการผสมตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลสกับผงโลหะเงินและน้ำที่ปริมาณ 1 wt.% 2 wt.% และ อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ที่ผ่านการอัดขึ้นรูป มาทำการอบไล่ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อนำชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ไปทำการอบไล่ไอน้ำ จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายดินที่แห้งมีความเปราะ เมื่อนำชิ้นงานไปเข้าสู่กระบวนการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที ตัวประสานชนิดต่างๆ จะถูกเผาไหม้ไปในกระบวนการนี้ ได้ผลเป็นชิ้นงานที่เป็นโลหะเงิน มีลักษณะแข็งสามารถนำมาแต่งขึ้นรูปได้ แต่ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์โดยใช้ HPMC และ MC เป็นตัวประสานพบว่าหลังจากเผาซินเตอร์เมื่อใช้เล็บขูดที่ชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นรอยเกิดขึ้นอย่างชัดเจน แตกต่างกับชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์โดยใช้ CMC เป็นตัวประสาน และ อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 จะเกิดเป็นรอยขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ผลวิเคราะห์การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ที่ได้

หลังจากผ่านกระบวนการเผาซินเตอร์ ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์จะถูกทดสอบหาสมบัติทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย ความหนาแน่น และความแข็งแบบวิกเกอร์

เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น (linear shrinkage, %)

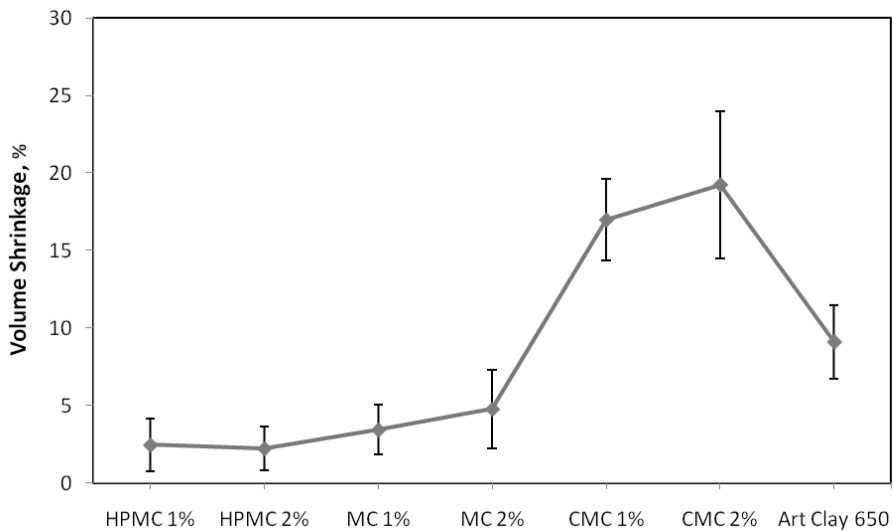
การหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นทำได้โดยการวัดความยาวในด้านของเส้นผ่านศูนย์กลางและด้านความหนาของชิ้นงาน ทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นพบว่า เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานจากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ ทั้งในแนวความหนาและแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง มีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นต่ำกว่า ผลที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นสูงกว่าผลที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ส่วนอัตราส่วนของปริมาณการใช้ตัวประสานชนิด HPMC และ MC พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้น สำหรับตัวประสานชนิด CMC ชิ้นงานที่ได้จะมีการหดตัวเชิงเส้นลดลงน้อยกว่าเดิมไม่เกิน 25% เมื่อถูกใช้ในปริมาณที่ลดลง 50% (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงเส้นในแนวความหนา (thickness) และแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

เปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร (volume shrinkage, %)

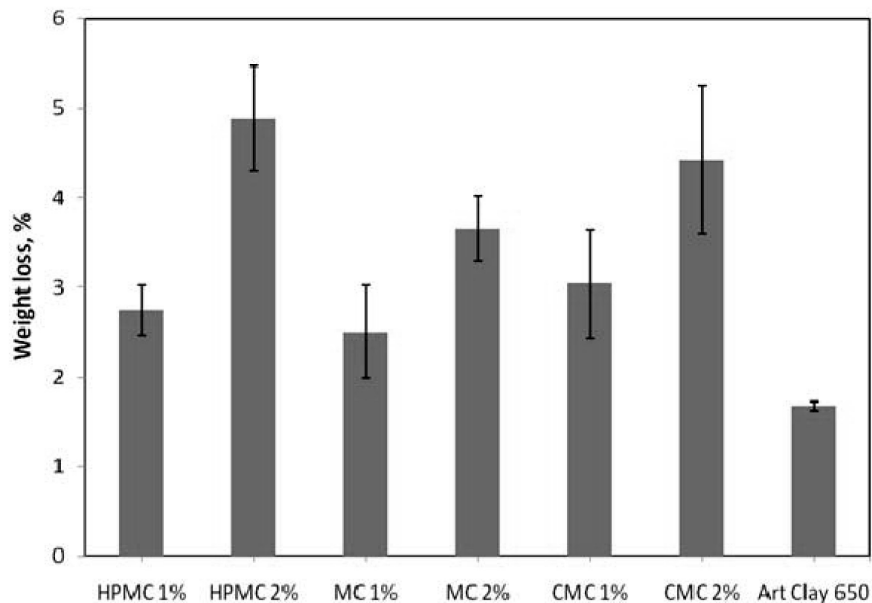
สำหรับเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร คำนวณหาจากปริมาตรทรงกระบอก ทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร พบว่า มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการทดลองเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร กล่าวคือ ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรต่ำกว่าผลที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรสูงกว่าผลที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ส่วนอัตราส่วนของปริมาณการใช้ตัวประสานชนิด HPMC และ MC พบว่าไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตร สำหรับตัวประสานชนิด CMC ชิ้นงานที่ได้จะมีการหดตัวเชิงปริมาตรลดน้อยกว่าเดิมไม่เกิน 10% เมื่อถูกใช้ในปริมาณที่ลดลง 50% (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย (weight lost, %)

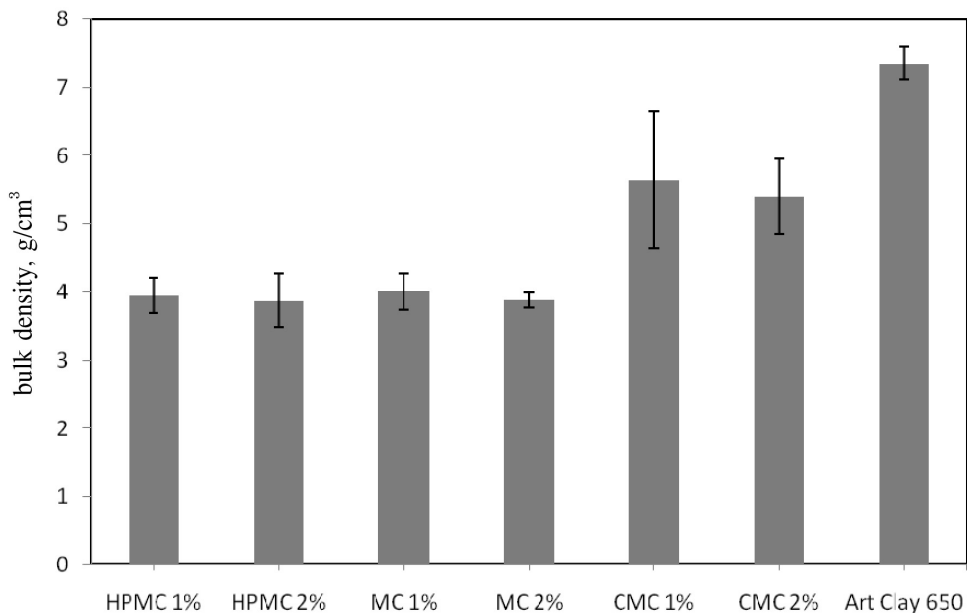
การทำเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียทำได้โดยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ ทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ชนิดที่ใช้ตัวประสานในอัตราส่วน 1 wt.% มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียที่น้อยกว่าชิ้นงานที่ได้จากการผสมตัวประสานในอัตราส่วน 2 wt.% ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณตัวประสานมาก เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียจะมากกว่าเนื่องจากการสูญเสียตัวประสานในขั้นตอนการเผาซินเตอร์ แต่เมื่อเปรียบเทียบซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานในตระกูลเซลลูโลสในอัตราส่วนทั้ง 1 wt.% และ 2 wt.% ยังมีเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียมากกว่าที่เกิดจากซินเตอร์อาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

ความหนาแน่นรวม (bulk density, g/cm³)

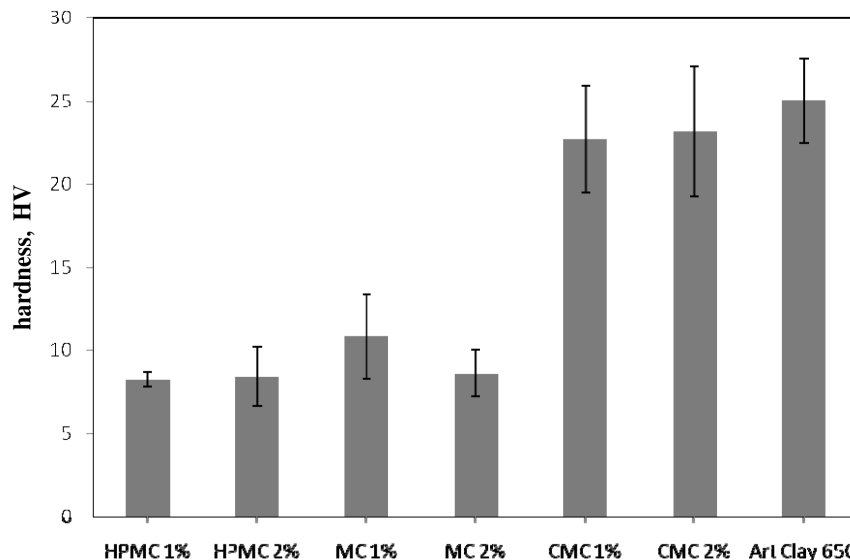
หลังกระบวนการซินเตอร์ ชิ้นงานถูกนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นรวมตามหลักการอาร์คิมิดีส (Archimedes' principle) โดยการหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศ ต่อส่วนต่างของน้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศและในน้ำบริสุทธิ์ แล้วคูณด้วยค่าความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ พบว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 3.49-4.27 g/cm³ ส่วนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 5.95-6.65 g/cm³ แต่อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานทั้งสามชนิดที่กล่าวมา ยังมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ซึ่งมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 7.11-7.59 g/cm³ ในขณะที่อัตราส่วนของตัวประสาน ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของชิ้นงาน (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

ความแข็ง (hardness, HV)

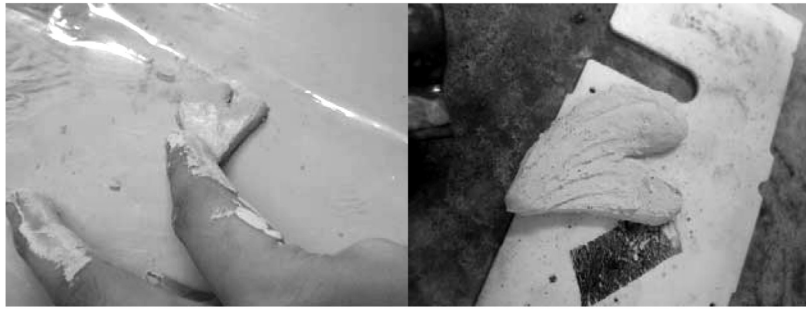
การหาค่าความแข็งทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ รุ่น FR-3E ยี่ห้อ Future - tech corp. วัดค่าความแข็งจากชิ้นงานหลังการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน แต่มีค่าน้อยกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC ซึ่งมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวัดค่าความแข็งของอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ซึ่งผ่านการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่ปริมาณของตัวประสานที่ใช้ ไม่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

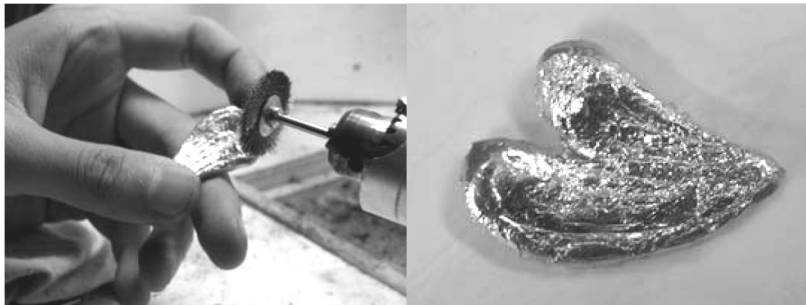
ผลการทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับอย่างง่าย โดยทดลองใช้ตัวประสานชนิด CMC และ HPMC ดังแสดงในรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 จากการทดลองพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตชิ้นงานเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ แต่ยังมีปัญหาอยู่บางประการ ตัวอย่างเช่น ถึงแม้ว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานชนิด CMC จะมีสมบัติค่อนข้างใกล้เคียงกับงานที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 แต่ยังมีปัญหาในเรื่องของรูปทรงและขนาดของชิ้นงานสำเร็จ เนื่องจากซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานชนิด CMC มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิงปริมาตรที่สูงกว่าที่วัดได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ซึ่งส่งผลให้ได้ชิ้นงานสำเร็จขนาดตามที่ต้องการ ส่วนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานชนิด HPMC มีข้อดีในด้านการนำมาขึ้นรูป เนื่องจากรวมตัวกับผงโลหะเงินได้ดีกว่าตัวประสานชนิด MC สามารถรักษารูปร่างได้ดี แต่ความหนาแน่นและความแข็งยังคงต่ำกว่าที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 อยู่มาก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่อง ขนาดของผงโลหะเงิน และอัตราส่วนของผงโลหะเงินที่มีขนาดต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยเสริมให้ได้ชิ้นงานหลังการเผาซินเตอร์ที่มีคุณภาพดี



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 6 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด CMC โดย

- (ก) การปั้นขึ้นรูปชิ้นงาน
- (ข) ชิ้นงานหลังการเผาซินเตอร์
- (ค) การขัดชิ้นงานด้วยหัวแปรงทองเหลือง
- (ง) ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์สำเร็จ



รูปที่ 7 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด HPMC

- (ก) แหวน (ข) จี้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการผลิตซิลเวอร์เคลย์โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนตัวประสานต่อผงโลหะเงิน และน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าตัวประสานในกลุ่มเมทิลเซลลูโลส สามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับตัวประสานในกลุ่มเอทิลเซลลูโลสและไวนิลคลอไรด์ ชนิดของตัวประสานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงสมบัติของซิลเวอร์เคลย์ จากงานวิจัยพบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว ความหนาแน่น และความแข็ง ที่น้อยกว่าที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 นอกจากนี้ยังพบว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด MC ไม่ได้เนื้อที่เรียบเนียนเหมือน HPMC ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงกว่าที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 ส่วนค่าความหนาแน่นของซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีค่ามากกว่าตัวประสานชนิดอื่นๆ แต่ยังคงให้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าที่วัดได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 และความแข็งของซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีค่าที่ใกล้เคียงกับที่วัดได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนที่ต่างกันของตัวประสาน มีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย อย่างไรก็ตามตัวประสานชนิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ ยังคงมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่มากกว่าที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650

ตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส สามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้ และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีสมบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความแข็ง ค่อนข้างใกล้เคียงกับซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากอาร์ทเคลย์ซิลเวอร์ 650 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวประสานชนิดอื่นในกลุ่มเมทิลเซลลูโลส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์) ประจำปี 2549 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชูครุวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พิณจักษ์ และ ดร.ชชีพร วงศ์ปรีดี สำหรับคำแนะนำตลอดโครงการนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสาร์ตนพร อาจารย์ภาควิชาชีพวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ในการเตรียมผงโลหะเงิน ขอขอบคุณ นางสาวนุชยา ทับทิมดี นางสาวมินตรา ศิลปคัมภีร์ภาพ และนางสาววิจิตรา เตรียมตระการผล สำหรับการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยความร่วมมือกับกรมศุลกากร. สถิติการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับของไทย ระหว่างเดือนมกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2548 และ 2549. สืบค้นเมื่อ 28 ธันวาคม 2551. จาก <http://www.git.or.th>
2. Devos, M. A. 2003. Introduction to Precious Metal Clay. Canada. Wardell Publications Inc.
3. McCreight, T. 2006. "What's New?" *Metalsmith Spring* 26(1): 42-45.

4. Hirasawa, J., and Ido, Y. 2005. Silver Powder for Silver Clay and Silver Clay Comprising the Silver Powder. US Patent 7,081,149.
5. Fujimaru, A., Yatsugi, A., and Kasukawa, T. 2005. Clay Composition for Shaping Noble Metal and Method for Production of Sinter of Noble Metal. US Patent 6,840,979.
6. Banyai, B. E., Lasota, D. E., and Strunk, D. E. 1989. Binder for Metal-Containing Ores. US Patent 4,863,512.
7. Menke, K., Merz, L., and Helfrich, M. 1992. Binder for Metal or Ceramic Powder. US Patent 5,098,942.

ได้รับบทความวันที่ 30 มกราคม 2553

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 6 พฤษภาคม 2553

