669.23
ส893ส
ค

บริจาค

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตเครื่องประดับ:
ส่วนที่ 2 การผลิตผงโลหะเงินและซิลเวอร์เคลย์

19 ส.ค. 2552

สุพิชฌา สุพรรณสมบูรณ์
อโนชา หมั่นภักดี
สุภิญญา วงษ์ศรีรักษา

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549

S 352136

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วในการกวน ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี และลักษณะผงโลหะเงินที่ได้จากเตรียมผงโลหะเงินโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี และศึกษาอิทธิพลของตัวประสานที่มีผลต่อกระบวนการผลิตซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ในงานเครื่องประดับ เพื่อหาตัวประสานและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตซิลเวอร์เคลย์สำหรับงานเครื่องประดับ จากการศึกษาพบว่าเงื่อนไขในการเตรียมผงโลหะเงินที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือ ทำการตกตะกอนที่อุณหภูมิในช่วง 130-140 °C โดยใช้อัตราเร็วในการกวน 805 rpm จะทำให้ได้ตะกอนของผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1 μm ในปริมาณ % yield สูงถึงร้อยละ 64.23 โดยน้ำหนักและเกิดการเกาะรวมตัวของผงอนุภาคเงินน้อยที่สุด ในส่วนของการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลสสามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้ และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า คาร์บอกซิล เมทิล เซลลูโลส ให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งสูงที่สุด และใกล้เคียงกับอาร์ทเคลย์ แต่มีเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรค่อนข้างสูง

Abstract

This research is aimed to study the effect of temperature, stirring rate and appearance of silver powder by chemical precipitation and to study the effect of binder on the physical property of fired silver clay. The suitable conditions for this work were temperature, 130-140 °C; stirring rate, 805 rpm. The average of silver powder approximate 0.1 μm was gained with 64.23 % yield. For silver clay part, the results illustrated that by using methylcellulose group as a binder agent, the silver paste can be molded into desired generic shape easily. Silver powder mixed in carboxyl methyl cellulose, CMC, shows the maximum bulk density with a high hardness after fired, which is not much different than those of commercial art clay. However the high volume shrinkage was found for the fired clay using CMC as binder.

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์) ประจำปี 2549

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์และคำแนะนำในการเตรียมผงโลหะเงิน

ขอขอบคุณ รศ.ดร.กาญจนา ชูครุวงศ์ ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พินิจค้า และ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับคำแนะนำตลอดโครงการ

ขอขอบคุณนางสาวเกศณี ครุธเกตุ นางสาวนันทิยา ขวัญกระโทก นายปราโมทย์ ธีรทีปวิวัฒน์ นางสาวบุษยา ทับทิมดี นางสาวมินตรา ศิลปคัมภีรภาพ นางสาววิจิตรา เตรียมตระการผล นายชนะชัย ตั้งมั่นสุจริต และนายนรุตม์ เขาจารี นิสิตสาขาวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) ที่มีส่วนร่วมในการเตรียมผงโลหะเงินและผลิตซิลเวอร์เคลย์

ขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตสาขาวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
ประกาศคุณูปการ	ค
สารบัญ	ง
บัญชีตาราง	ช
บัญชีภาพประกอบ	ซ
บทที่	
1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ผงโลหะเงิน	4
2.2 ซิลเวอร์เคลย์	7

หน้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย **10**

3.1 การเตรียมผงโลหะเงิน 10

3.2 การผลิตซิลเวอร์เคลย์ 11

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล **14**

4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการเตรียมผงโลหะเงิน 14

4.1.1 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่ได้จากการทดลอง 14

4.1.2 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของผงโลหะเงินที่ได้จากการทดลอง 18

4.2 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตซิลเวอร์เคลย์ 20

4.2.1 ผลวิเคราะห์สมบัติของตัวประสาน 20

4.2.2 ผลวิเคราะห์การผสมซิลเวอร์เคลย์ 21

4.2.3 ผลวิเคราะห์การอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ 24

4.2.4 ผลวิเคราะห์การทดลองเผาซินเตอร์ชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ 25

4.2.5 ผลวิเคราะห์การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ที่ได้ 26

4.2.6 ทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ 31

5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **33**

5.1 การเตรียมผงโลหะเงิน 33

5.2 การผลิตซิลเวอร์เคลย์ 33

หน้า

เอกสารอ้างอิง **35**

ประวัติย่อผู้วิจัย **36**

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงราคาของโลหะเงินรูปแบบต่างๆ	2
2.1 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของผงโลหะเงินที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ	6
4.1 ลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่อุณหภูมิและอัตราการกวนต่าง ๆ	14
4.2 แสดงน้ำหนักและขนาดอนุภาคของผงโลหะเงินที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการกวนต่างๆ กัน	17
4.3 แสดงผลการทดลองสมบัติของตัวประสานทั้ง 5 ชนิด ที่อัตราส่วน 1 wt% 2 wt% และ 3wt%	20
4.4 แสดงผลการทดลองการผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt%	22
4.5 แสดงผลการทดลองการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt% เปรียบเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ต้นแบบ (Art Clay 650)	24

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์	8
3.1 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเตรียมผงโลหะเงิน	11
3.2 แสดงแผนผังการผลิตซิลเวอร์เคลย์	13
4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะเงินที่เตรียมได้ ณ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และ อัตราเร็วในการกวนต่างๆ	16
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอัตราเร็วในการกวนที่มีผลต่อปริมาณผงโลหะเงิน	17
4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงโลหะเงินที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 130 °C โดยกำหนดอัตราเร็วในการกวน 575 rpm (* หมายถึง พีคของ second phase)	19
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นในแนวความหนาของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	26
4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	27
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	28
4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสียของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	29
4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	30
4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์	31

ภาพประกอบ (ต่อ) หน้า

4.10 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด CMC 32

4.11 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด HPMC 32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ นับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศทั้งในด้านการลงทุน และการสร้างงาน และเป็นอุตสาหกรรมที่มีการส่งออกเป็นอันดับต้น กลุ่มผู้ประกอบการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับได้เห็นความสำคัญ ให้มีการนำเสนอนโยบายเร่งรัดการผลิตกำลังคนสาขาอัญมณีและเครื่องประดับ ในปี 2535 และนับให้เป็นสาขาขาดแคลน มหาวิทยาลัย 4 มหาวิทยาลัยอันได้แก่ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาวิทยาลัยบูรพา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และมหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ขานรับนโยบายของรัฐบาลและเปิดสอนหลักสูตรสาขาอัญมณีและเครื่องประดับขึ้น เพื่อผลิตบุคลากรในระดับกลางป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยโดยคาดหวังว่าอุตสาหกรรมจะเจริญเติบโตและนำรายได้เข้าสู่ประเทศมากขึ้น

หลักสูตรวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สามารถผลิตบุคลากรในด้านอัญมณีและเครื่องประดับ ทั้งในเรื่องกระบวนการผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ การออกแบบ การวิเคราะห์อัญมณี และ ธุรกิจอัญมณี เป็นต้น รวมทั้งมีห้องปฏิบัติการการทำเครื่องประดับ การหล่อ การซุบ การเจียระไน การขึ้นรูปตัวเรือนขั้นสูง และระบบสารสนเทศ ที่สามารถสนับสนุนการเรียนการสอน นับตั้งแต่ปี 2535 เป็นต้นมา

ทางภาควิชามีความพร้อมทั้งทางด้านองค์ความรู้ และบุคลากรที่มีคุณภาพ และมี ความต้องการที่จัดตั้งกลุ่มทำงานวิจัยเพื่อการผลิตชิ้นงานและถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่อุตสาหกรรมเครื่องประดับ รวมถึงการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ จากประสบการณ์ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนของผู้เชี่ยวชาญ ทั้งในและต่างประเทศ หากแต่ว่าองค์ความรู้ เป็นสิ่งที่ต้องค้นคว้าอย่างต่อเนื่องเพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งให้แก่กลุ่มวิจัยเพื่อการผลิตเครื่องประดับ ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงมีนโยบายที่ มุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมใหม่ของเครื่องประดับในประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้รับจากต่างประเทศและพัฒนาเพื่อประโยชน์ในการผลิตเครื่องประดับไทย เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุด

ในปัจจุบันผงโลหะเงินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในแวดวงอุตสาหกรรมมากมาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมไฟฟ้า และ อิเล็กโทรนิกส์ เนื่องจากโลหะเงินมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่สูงมาก จึงนิยมนำมาทำโดยผลิตภัณฑ์ หรือ ส่วนประกอบต่างๆ ในอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ ขั้วไฟฟ้า (Electrode) สายไฟที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า และแผงวงจร เป็นต้น โดยผงโลหะเงินที่นำมาใช้ จะต้องมีขนาดประมาณ 10-100 ไมครอน จึงจะสามารถแสดงสมบัติได้ดี [1-2] แต่ในกรณีที่ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับส่วนมาก ผงโลหะเงินจะถูกนำมาเพื่อผลิตเป็น ซิลเวอร์เคลย์ (Silver Clay) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเนื้อดินปั้น ทำให้สามารถขึ้นรูปเครื่องประดับ ด้วยวิธีการปั้นมือ ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ง่ายกว่าวิธีการ

หล่อ (Casting) หรือ การขึ้นรูปโลหะแบบอื่นๆ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนยุ่งยาก อีกทั้งยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีลวดรายความซับซ้อนมากๆ ได้ และสามารถแก้ไขรูปทรงได้ตามต้องการ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีศักยภาพในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยการนำผงโลหะเงินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน จนถึง 100 ไมครอน มาผสมกับตัวประสาน (Binder) [3-4] ดังนั้นคุณภาพของซิลเวอร์เคลย์ส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงิน เช่น ขนาด และ รูปทรงอนุภาค เมื่อทำการเปรียบเทียบราคา เม็ดเงินบริสุทธิ์ และ ผงโลหะเงินพบว่า ยิ่งผงโลหะเงินมีขนาดเล็กมากเท่าใด ราคาก็ยิ่งสูงขึ้นไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่1.1 แสดงราคาของโลหะเงินรูปแบบต่างๆ

ประเภทของโลหะเงิน	ราคาต่อกรัม (บาท)
ผงโลหะเงิน 99.95 % ขนาด 1.2-2.0 ไมครอน	99.20
ผงโลหะเงิน 99.95 % ขนาด 8-10 ไมครอน	56.00
เม็ดเงินบริสุทธิ์	9.05

ที่มา : http://metals.about.com/library/bl-silver-chart.htm
หมายเหตุ : ราคา ณ วันที่ 10 สิงหาคม 2548

ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อนำผงโลหะเงินที่นำเข้ามาผลิตเป็นซิลเวอร์เคลย์ ก็จะทำให้มีราคาต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะทำการเตรียมผงโลหะเงินด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี เพื่อให้ได้ผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคที่ยอมรับได้เพื่อใช้ในการผลิตซิลเวอร์เคลย์ ที่ใช้ในการทำตัวเรือนเครื่องประดับ เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สามารถทำการเตรียมผงโลหะเงินที่มีขนาดละเอียด (1-10 ไมครอน) โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี

1.2.2 ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วในการกวน ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี และลักษณะผงโลหะเงินที่ได้

1.2.3 ทดลองการขึ้นรูปผงโลหะเงินที่เตรียมได้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 สืบค้นข้อมูลและศึกษาเทคนิคการเตรียมผงโลหะเงินด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

1.3.2 ทำการศึกษาหาเงื่อนไขในการเตรียมผงโลหะเงินที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ ที่มีความเหมาะสมในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ โดยจะทำการศึกษาถึงปัจจัยของอุณหภูมิ ความเร็วในการกวน ที่ส่งผลต่อลักษณะตะกอนผงที่ได้

1.3.3 ทำการทดลองผสมตัวประสานกับผงโลหะเงินที่เตรียมได้ เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่าง เช่น ความแข็ง ความหนาแน่น ความพรุน

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผงโลหะเงิน (Silver Powder)

ผงโลหะเงินที่นำมาประยุกต์ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับเล็กกว่า ประมาณ 1-20 ไมครอน ซึ่งกระบวนการผลิตผงโลหะที่แตกต่างกันนั้นก็จะให้ลักษณะกายภาพ ขนาด รูปร่าง โครงสร้างทางจุลภาคของผงที่ได้แตกต่างกันด้วย โดยกรรมวิธีในการผลิตผงโลหะนั้นมีได้หลายวิธีซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ได้ดังนี้ [2]

1) วิธีทางกล (Mechanical Method)

การผลิตผงโลหะด้วยวิธีทางกลนี้ เป็นวิธีพื้นฐาน ที่เหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะแตกง่าย โดยวิธีการผลิตผงโลหะแบบนี้นั้น จะอาศัยหลักการกระแทกที่เกี่ยวกับความเร็ว เช่น การตีอย่างรวดเร็ว (Cold Stream Impact Method) หรือ การสบบดด้วยลูกบด (Ball Milling) เป็นต้น มีผลทำให้เกิดการกระแทกต่อวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดการบดย่อยจนมีขนาดอนุภาคเล็กลงได้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ง่าย และรวดเร็ว แต่จะสิ้นเปลืองเวลาเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ผงโลหะที่ได้มีลักษณะหยาบ รูปร่างหลายเหลี่ยมมุม และมักเกิดการปนเปื้อน (Contamination) ได้สูง อันเนื่องมาจาก การสึกกร่อนของลูกบด และหม้อบด (Grinding Media) ทำให้วิธีมีข้อจำกัดในเรื่องความบริสุทธิ์

2) วิธีอะตอมไมเซชัน (Atomization Method)

เป็นวิธีที่ทำให้วัสดุอยู่ในสถานะของเหลวเกิดการแตกกระจายออกเป็นเม็ดเล็กๆ และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยก๊าซหรือของเหลว ทำให้ได้ผงโลหะตามต้องการ เทคนิคอะตอมไมเซชันนี้สามารถเตรียมผงโลหะได้ครั้งละปริมาณมากๆ ถึง 400 กิโลกรัมต่อนาที จึงเหมาะสำหรับการผลิตเพื่อการค้า ผงโลหะที่เตรียมได้จากวิธีนี้จะมีลักษณะ เป็นทรงกลมมีผิวเรียบ มีความพรุนต่ำ ขนาดของผงโลหะจะขึ้นอยู่กับขนาดของรูหัวฉีด โดยทั่วไปของผงโลหะที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้จะมีขนาดอนุภาคสูงกว่า 40 ไมครอน และเป็นวิธีที่สามารถควบคุมความบริสุทธิ์ของผงโลหะได้ดี แต่เครื่องมือมีราคาแพง

3) วิธีทางเคมี (Chemical Method)

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะด้วยวิธีเคมีนั้น มีได้หลายวิธี เช่น การรีดักชันด้วยความร้อน (Reduction) รีดักชันด้วยกัลวานิก (Galvanic Cell) การตกตะกอนโดยของเหลว การตกตะกอนโดยก๊าซ เป็นต้น ซึ่งผงโลหะที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีนั้น จะมีความบริสุทธิ์สูง และ มีขนาดอนุภาคค่อนข้างเล็กสม่ำเสมอ ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง หรือ ซับซ้อน

สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้น การทำการทดลองการเตรียมผงโลหะเงินด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า การตกตะกอนของผงโลหะเงิน มักจะเกิดโดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ของไอออนโลหะเงินที่อยู่ในรูปของสารละลาย เข้าทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) โดยตัวรีดิวซ์นั้นสามารถใช้ได้ทั้งสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ก็ได้ ในกรณีที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ ไฮดราซีน (Hydrazine ; N_2H_4) โปตัสเซียมซัลไฟต์ (Potassium Sulphite ; K_2SO_3) เป็นต้น จะถูกนำมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์เพื่อให้เกิดการตกผลึกของโลหะเงิน โดยอาศัยปฏิกิริยา

ออกซิเดชันของซิลเวอร์ไนเตรต (Silver Nitrate ; $AgNO_3$) กับโปตัสเซียมซัลไฟต์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโลหะเงิน (Silver ; Ag) โปตัสเซียมซัสเฟต (Potassium Sulphate ; K_2SO_4) โปตัสเซียมไนเตรต (Potassium Nitrate ; KNO_3) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์(Sulfur Dioxide ; SO_2) ดังสมการที่ 1

$$2AgNO_3 + 2K_2SO_3 \longrightarrow 2Ag(s) + K_2SO_4 + 2KNO_3 + SO_2(g) \quad \text{---------- (1)}$$

ส่วนในกรณีที่ตัวรีดิวซ์ประเภทสารอินทรีย์ ก็ได้แก่ กลีเซอรอล ฟอร์มาลดีไฮด์ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) เป็นต้น ก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกัน โดยปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไนเตรตกับกลีเซอรอล (glycerol ; $C_3H_8O_3$)ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโลหะเงิน ไนโตรกลีเซอรีน (Nitroglycerine ; $C_3H_5N_3O_9$) และน้ำ (Water ; H_2O) ดังสมการที่ 2

$$3AgNO_3 + C_3H_8O_3 \longrightarrow 3Ag(s) + C_3H_5N_3O_9 + 3H_2O(g) \quad \text{---------- (2)}$$

ในปี ค.ศ. 2005 Sinha และ Sharma [5] ได้ทำการเตรียมผงโลหะเงินโดยใช้ กลีเซอรอลเป็นตัวรีดิวซ์ ในการปฏิกิริยารีดักชันกับเกลือโลหะเงิน ผงโลหะเงินที่ได้จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.5 - 11 ไมครอน โดยอนุภาคจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความเข้มข้นของเกลือซิลเวอร์ต่อกลีเซอรอล ลักษณะสัณฐานของผงโลหะที่ได้รูปทรงหลายเหลี่ยม มีความบริสุทธิ์สูงมากกว่า 99.9% พบสิ่งปนเปื้อนที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ของ C, H, O เพียง 0.1% เท่านั้น ปริมาณร้อยละของผงโลหะเงินที่ตกตะกอนได้คิดเป็นร้อยละ 99 นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ผงโลหะเงินที่ได้มีความเป็นผลึกที่ดี โดยจากข้อมูล XRD พบว่า ผลึกส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นลูกบาศก์ที่มีการจัดเรียงอะตอมแบบ FCC และมีโครงสร้างผลึกแบบ HCP ปะปนเล็กน้อย

ในปีเดียวกันนั้นเอง Songping และShuyuan [6] ทำการเตรียมผงโลหะเงิน ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้กรดแอสคอบิก (Ascorbic Acid) เป็นตัวรีดิวซ์ กับไอออนโลหะเงินดังแสดงด้วยสมการที่ 3

$$2AgNO_3 + C_6H_8O_6 \longrightarrow 2Ag(s) + C_6H_6O_6 + 2H^+ \text{---------- (3)}$$

จากการทดลองพบว่า สามารถเตรียมผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคละเอียดประมาณ 1.0-3.0 ไมครอนได้ โดยขนาดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับสภาวะกรด-ด่างของสารละลายและปริมาณของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ผงโลหะเงินที่เตรียมได้มีลักษณะการกระจายตัวที่ดีสม่ำเสมอ ไม่เกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน มีรูปทรงเป็นรูปหลายเหลี่ยมค่อนข้างกลม

นอกจากนี้พบว่าในงานวิจัยของ Goia และคณะ [7] ได้ทำการทดลองผลิตผงโลหะเงินโดยใช้ซิลเวอร์คาร์บอเนต (Silver Carbonate ; Ag_2CO_3) ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพลีโอลิฟิน (Polyolefin) ที่

ได้จากการผสมของ1,2-โพรพิลีนไกลคอล (1,2-Propylene Glycol ; 1,2-PG) 1,3-โพรพิลีนไกลคอล (1,3-propylene glycol ; 1,3-PG) ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethyleneglycol ; DEG) และเพนตาอีรีทริตอล (Pentaerythritol ; PE) โดยทำการทดลองในสภาวะอุณหภูมิ และอัตราส่วนของสารที่แตกต่างกันออกไป ได้ผงโลหะเงินที่มีสมบัติดีเหมาะแก่การนำไปใช้ในงานต่างๆ

4) กรรมวิธีทางไฟฟ้า

เรียกอีกอย่างว่าเป็นกรรมวิธีทางกายภาพที่ทำให้โลหะแตกตัวด้วยไฟฟ้า ใช้ได้ดีกับโลหะบริสุทธิ์ เช่น เหล็ก ทอง เงิน ทองแดง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการการแตกตัวของโลหะเหล็ก ก็ให้นำแผ่นเหล็กแขวนไว้ที่ขั้วบวก (+) ใช้แผ่นสแตนเลสแขวนไว้ที่ขั้วลบ (-) หลังจากปล่อยกระแสเข้าไปนานประมาณ 48 ชั่วโมง จะเกิดสภาวะการแตกตัวของโลหะเหล็กที่ขั้วบวก อนุภาคของโลหะเหล็กที่แตกตัวออกมาจากขั้วบวกนั้นจะมาเกาะที่ขั้วลบ เมื่อนำตะกอนนี้มาล้างและกรองด้วยตะแกรงอีกครั้ง จะได้ผงที่มีสภาพเปราะต้องนำไปอบอ่อนเพื่อเพิ่มค่าความเหนียวก่อนนำไปใช้ ขนาดของผงที่ได้จะมีขนาดเล็กประมาณ 0.1-30 μm

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะแต่ละประเภทนั้น จะให้ผงโลหะที่มีขนาดและความบริสุทธิ์ของโลหะที่แตกต่างกัน นอกจากประเภทของการผลิตผงโลหะที่ให้ขนาดและความบริสุทธิ์ของผงโลหะที่แตกต่างกันแล้วนั้น ปัจจัยและการควบคุมในระหว่างการผลิตก็ยังให้ขนาดและความบริสุทธิ์ของผงโลหะที่แตกต่างกันอีกด้วย ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ของผงโลหะเงินที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ

กรรมวิธีการผลิต	Apparent density (g/cm^3)	Tap density (g/cm^3)	Particle size (μm)	Surface area (m^2/g)
Atomization	3.0-7.0	4.0-7.0	>40	<20
Chemical				
- Organically reduced	0.4-1.5	0.8-3.0	0.5-3.0	0.2-4.0
-Inorganically reduced	1.0-2.0	1.0-3.0	3.0-20	<0.3
Galvanic Reduction	1.5-4.0	2.0-4.5	>100	<0.3
Electrolytic Reduction	1.5-3.0	2.5-3.5	40-1000	<0.2

ที่มา : นภิสพร มีมงคล. โลหกรรมวัสดุผง

จากตารางจะเห็นได้ว่ากรรมวิธีทางเคมีที่ใช้สารอินทรีย์เป็นตัวรีดิวซ์นั้นจะให้ขนาดของผงโลหะที่มีขนาดเล็กกว่ากรรมวิธีการผลิตแบบอื่น ๆ และมีต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมาก

2.2 ซิลเวอร์เคลย์ (Silver Clay)

ซิลเวอร์เคลย์ คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบของผงโลหะเงิน ตัวประสาน (Binder) และน้ำ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยอาจมีการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surface Active Agent) หรือน้ำมัน (Oil) เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น สามารถนำมาปั้นแต่งได้เหมือนดินเหนียวทั่วไปโดยใช้อุปกรณ์ขั้นพื้นฐานอย่างง่ายๆก็สามารถสร้างสรรค์งานได้หลากหลายรูปแบบ หลังจากที่ได้รูปทรงตามต้องการแล้วจึงปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำมาทำการอบที่อุณหภูมิประมาณ 600 ^{o}C ที่อุณหภูมินี้ส่วนที่เป็นตัวประสานจำพวกเซลลูโลสจะสลายไปและอนุภาคของโลหะจะเข้าไปประสานตัวกันกลายเป็นชิ้นงานโลหะเงินที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.9% หลังจากนั้นสามารถนำชิ้นงานมาตะไบตกแต่งเชื่อมประสาน ขัดเงา ลงยาสี และรมดำ ดังเช่นชิ้นงานเงินทั่วไป

2.2.1 องค์ประกอบของซิลเวอร์เคลย์

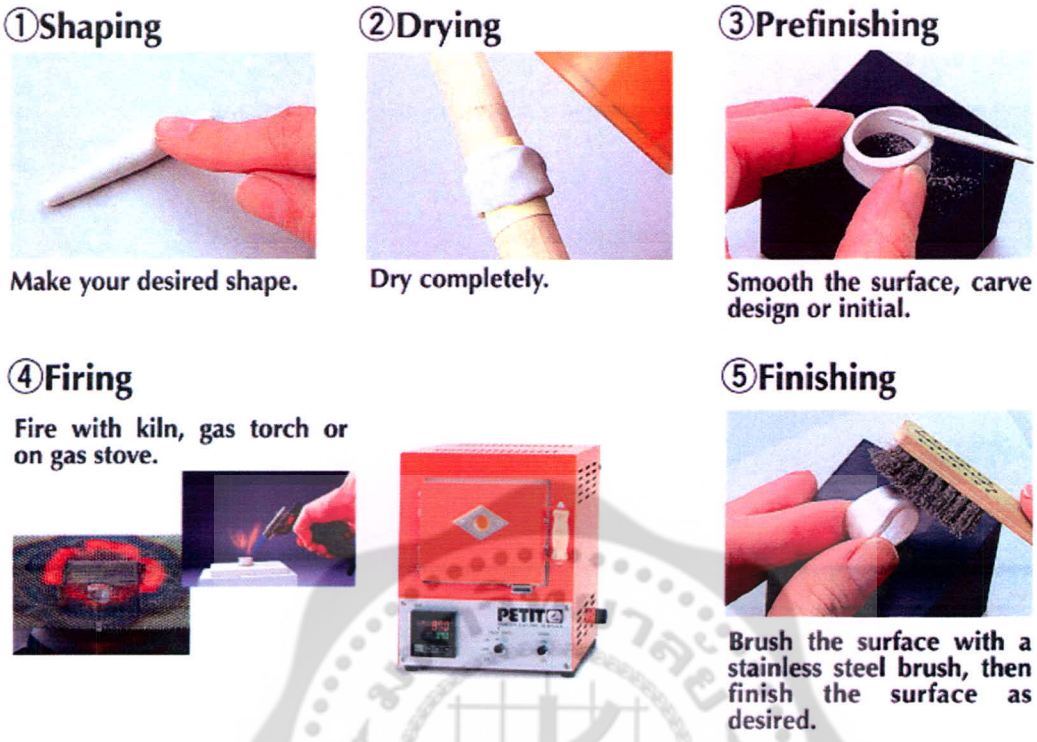
โดยทั่วไปซิลเวอร์เคลย์ประกอบด้วย

1) ผงโลหะเงิน โดยใช้ผงโลหะเงิน 2 ขนาดขึ้นไปซึ่งผงโลหะเงินจะได้จากกระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางอะตอมไมเซชัน
2) ตัวประสาน เป็นสารที่ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างอนุภาค ทำให้ชิ้นงานขึ้นรูปได้ง่ายและมีความแข็งแรงก่อนที่จะทำการเผา โดยส่วนใหญ่ตัวประสานจะเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีหลายชนิดเช่น เซลลูโลส แวกซ์ เรซินและแป้ง เป็นต้น ซึ่งสมบัติของตัวประสานที่ดีต้องรวมตัวได้ดีกับน้ำ มีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคที่ดีมีความยืดหยุ่น สามารถเผาไม้ได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคของผงโลหะซึ่งทำให้ผงโลหะมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปและไม่เป็นอันตราย
3) สารลดแรงตึงผิว
4) น้ำมันมะกอก (Olive oil)
5) น้ำ

2.2.2 กระบวนการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์

กระบวนการในการขึ้นรูปชิ้นงานเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์มีอยู่ด้วยกัน 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ปั้นแต่ง ขึ้นรูปให้ได้รูปทรงชิ้นงานตามที่ต้องการ
2) อบ หรือเป่า ให้แห้ง เพื่อให้ชิ้นงานสามารถคงรูปทรง และมีความแข็งแรงมากขึ้น
3) ตกแต่ง เก็บรายละเอียดของชิ้นงานก่อนที่จะนำชิ้นงานไปเผา
4) เผาชิ้นงานด้วยหัวไฟ หรืออบในเตาโดยใช้อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมกับซิลเวอร์เคลย์ตามที่ได้มีการระบุไว้
5) ขัดตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย ได้เป็นชิ้นงานสำเร็จ



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเครื่องประดับด้วยซิลเวอร์เคลย์ [8]

จะเห็นได้ว่าซิลเวอร์เคลย์เป็นอีกวัสดุอีกประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นจึงมีผู้สนใจที่จะศึกษาค้นคว้าและทำงานวิจัย โดยในปี ค.ศ. 2005 Hirasawa และ Ido [3] ได้ทำการศึกษา โดยการผสมผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 ไมครอน เข้ากับผงโลหะเงินที่มีขนาดตั้งแต่ 2-100 ไมครอน กับตัวประสาน สารลดแรงตึงผิว น้ำมันมะกอก และน้ำ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แล้วนำมาทดสอบสมบัติทางความแข็งและความหนาแน่น โดยในงานวิจัยของ Hirasawa และ Ido ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาขนาดของผงโลหะเงินและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าขนาดของผงโลหะเงินที่เหมาะสมคือ 1 ไมครอน ผสมเข้ากับผงโลหะเงินขนาด 5 ไมครอน ในอัตราส่วนของผงโลหะเงิน 30 wt%ต่อ 70 wt%ตามลำดับ

2) ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าอัตราส่วน ผงโลหะเงิน 80 % เซลลูโลส 7.5% สารลดแรงตึงผิว 2.3 % และน้ำในอัตราส่วนที่เหลือ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้ สามารถทนแรงดึงได้ 100 N/mm^2 และมีความหนาแน่น 8.7 g/cm^3

และในปีเดียวกันนี้ Fujimaru และคณะ [4] ได้ทำการทดลองผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยในงานวิจัยของ Fujimaru ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้

1) ศึกษาขนาดของผงโลหะเงินและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าขนาดของผงโลหะเงินที่เหมาะสมคือ 2.5 ไมครอน ผสมเข้ากับผงโลหะเงินขนาด 20 ไมครอน ในอัตราส่วนของผงโลหะเงิน 50 wt%ต่อ 50 wt%ตามลำดับ

2) ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าอัตราส่วน ผงโลหะเงิน 92 wt% Strach 0.8 wt% เซลลูโลส 0.7 wt% และน้ำในอัตราส่วนที่เหลือ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้ มีเปอร์เซนต์การหดตัวเท่ากับ 7.8 % และค่าความทนทานต่อแรงหักงอ (Bending Strength) เท่ากับ 33.81 %

3) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาซินเตอร์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาซินเตอร์ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์มีค่าเท่ากับ 600 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที

การศึกษาถึงตัวประสานที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปวัสดุผงก็เป็นที่น่าสนใจ ในปีค.ศ. 1989 Banyai และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของตัวประสานชนิดที่เป็นสารละลายสำหรับการขึ้นรูปผงโลหะ (Metal Powder) โดยผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Celluylose) หรือคาร์บอกซีเมทิลไฮดรอกซีอีทิลเซลลูโลส(Carboxymethyl Hydroxyethyl Cellulose)กับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต(Sodium Tripolyphosphate) ได้ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C และไม่ทำปฏิกิริยากับผงโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป

และหลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1990 Menke และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของตัวประสานสำหรับการขึ้นรูปผงโลหะ และผงเซรามิกส์ (Ceramic Powder) ด้วยกระบวนการอบซินเตอร์ริ่งโดยผสมโพลีไวนิลอะซีเตต (Polyvinyl Alcohol ; PVA) และ โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG) เข้าด้วยกัน ได้ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิประมาณ 200 ^{o}C และไม่ทำปฏิกิริยากับผงโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป

1) ศึกษาขนาดของผงโลหะเงินและอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าขนาดของผงโลหะเงินที่เหมาะสมคือ 2.5 ไมครอน ผสมเข้ากับผงโลหะเงินขนาด 20 ไมครอน ในอัตราส่วนของผงโลหะเงิน 50 wt%ต่อ 50 wt%ตามลำดับ

2) ศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตซิลเวอร์เคลย์ พบว่าอัตราส่วน ผงโลหะเงิน 92 wt% Strach 0.8 wt% เซลลูโลส 0.7 wt% และน้ำในอัตราส่วนที่เหลือ โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยส่วนผสมดังกล่าวนี้ มีเปอร์เซนต์การหดตัวเท่ากับ 7.8 % และค่าความทนทานต่อแรงหักงอ (Bending Strength) เท่ากับ 33.81 %

3) ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาซินเตอร์ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาซินเตอร์ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์มีค่าเท่ากับ 600 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที

การศึกษาถึงตัวประสานที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปวัสดุผงก็เป็นที่น่าสนใจ ในปีค.ศ. 1989 Banyai และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของตัวประสานชนิดที่เป็นสารละลายสำหรับการขึ้นรูปผงโลหะ (Metal Powder) โดยผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Celluylose) หรือคาร์บอกซีเมทิลไฮดรอกซีอีทิลเซลลูโลส(Carboxymethyl Hydroxyethyl Cellulose)กับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต(Sodium Tripolyphosphate) ได้ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C และไม่ทำปฏิกิริยากับผงโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป

และหลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1990 Menke และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของตัวประสานสำหรับการขึ้นรูปผงโลหะ และผงเซรามิกส์ (Ceramic Powder) ด้วยกระบวนการอบซินเตอร์ริ่ง โดยผสมโพลีไวนิลอะซีเตต (Polyvinyl Alcohol ; PVA) และ โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG) เข้าด้วยกัน ได้ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิประมาณ 200 ^{o}C และไม่ทำปฏิกิริยากับผงโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งวิธีดำเนินการวิจัยเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การเตรียมผงโลหะเงิน และการผลิตซิลเวอร์เคลย์

3.1 การเตรียมผงโลหะเงิน

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมผงโลหะเงิน

1) นำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 5 g ผสมกับกลีเซอรอล 100 ml คนให้เข้ากัน

2) นำสารละลายที่ได้ตั้งบน Hot plate จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องไปจนถึงอุณหภูมิ 120 ºC โดยกำหนดอัตราเร็วในการคน (stirred) ที่ 575 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง

3) สารละลายเงินเริ่มปรากฏการตะกอนของโลหะเงินออกมา เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ

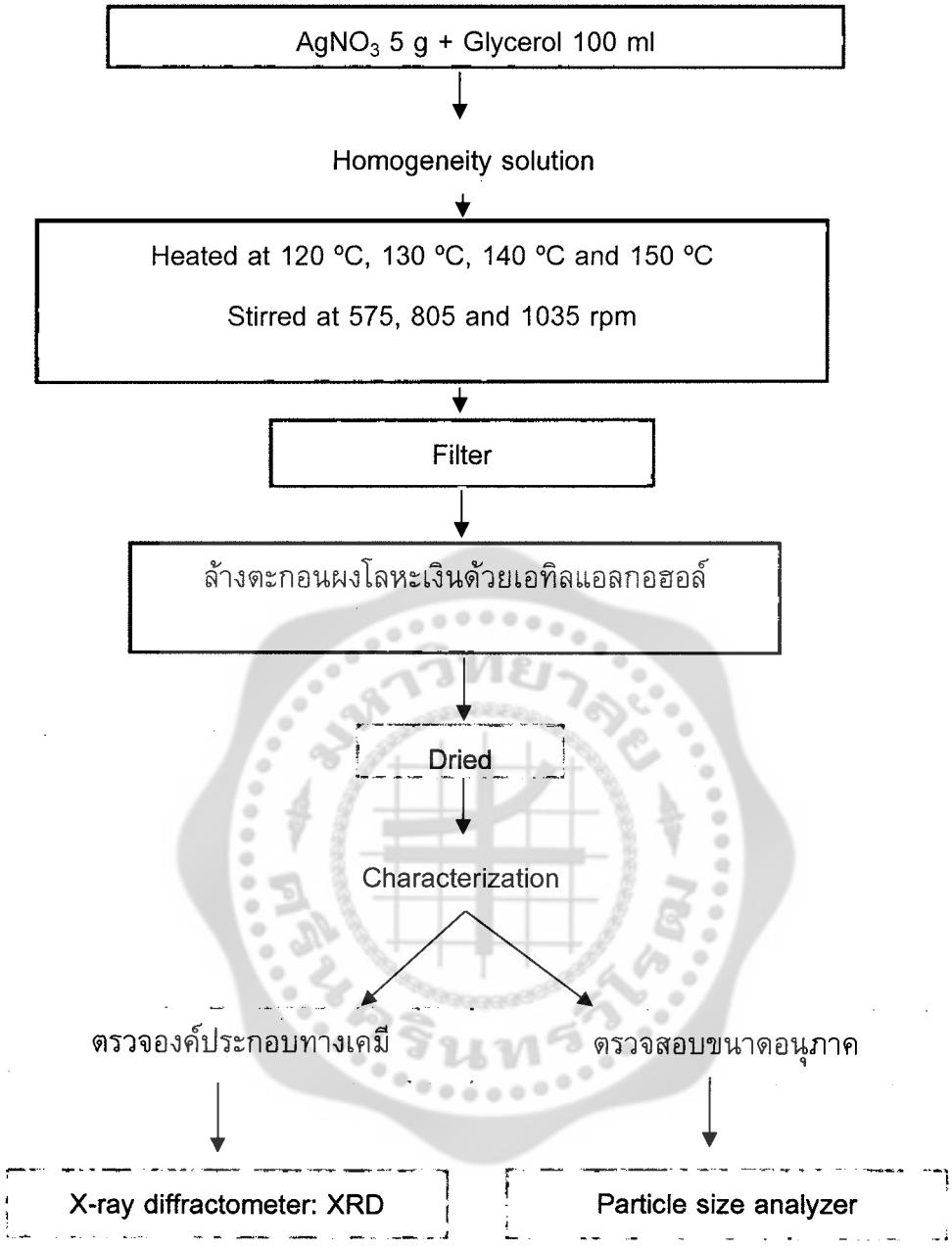
4) นำตะกอนที่ได้ไปทำการกรองเพื่อแยกตะกอนโลหะเงินออกมา

5) ล้างตะกอนเงินที่ได้ด้วยเอทิล แอลกอฮอล์ และน้ำกลั่น เพื่อกำจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรกที่อาจปะปนอยู่กับตะกอนเงินออก

6) นำตะกอนเงินที่ได้ไปทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตะกอนเงินที่ได้

7) จากนั้นนำผงเงินที่ได้ไปทำการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นเช่น ตรวจหาขนาดอนุภาคของผงเงินด้วยเครื่อง Particle size analyzer และ ตรวจหาองค์ประกอบของผงโลหะเงินด้วยเทคนิค X-ray diffraction

8) ทำการทดลองซ้ำในขั้นต้นจากข้อ 1.2-1.7 โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วในการกวนสารละลาย เป็น 805 และ 1,035 รอบต่อนาที และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเคมีเป็น 130 ºC, 140 ºC และ 150 ºC แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองดังแสดงด้วยภาพประกอบที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองเตรียมผงโลหะเงิน

3.2 การผลิตซิลเวอร์เคลย์

3.2.1 การทดลองสมบัติของตัวประสาน

ผสมตัวประสาน ในอัตราส่วน 1.0 wt%, 2.0 wt% และ 3.0 wt% กับน้ำ โดยกำหนดว่าจะใช้ผงโลหะเงิน 92 wt% เพื่อศึกษาสมบัติในการละลายและพฤติกรรมการเกิดเจล (Gelation) โดยตัวประสานที่เลือกใช้ได้แก่ Hydroxypropyl Methyl Cellulose (HPMC) , Carboxy Methyl Cellulose (CMC) , Methyl Cellose (MC) , Hydroxy Ethyl Cellulose (HEC) และ Polyvinyl Alchohol (PVA)

3.2.2 การทดลองผสมซิลเวอร์เคลย์

1) ชั่งผงโลหะเงิน 92%wt และบดผงโลหะเงินด้วยโกร่งบด เพื่อให้อนุภาคที่เกาะตัวกัน เกิดการกระจายออกจากกันไม่จับเป็นก้อน

2) ผสมผงโลหะเงิน ตัวประสาน และน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดเข้าด้วยกัน

3.2.3 การอัดขึ้นรูปชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์

1) เตรียมซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากการผสมกับตัวประสานชนิดต่างๆ โดยชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 g

2) นำซิลเวอร์เคลย์ที่เตรียมมาอัดขึ้นรูปด้วยแม่แบบอัดขึ้นรูปชิ้นงานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm

3.2.4 การทดลองเผาซินเตอร์ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์

1) นำชิ้นงานที่ได้ผ่านการอัดขึ้นรูป วางบนแผ่นอะลูมินาซับสเตรท (Alumina Substrate)

2) อบไล่น้ำด้วยเตาอบ ที่อุณหภูมิ 100 ºC เป็นเวลา 30 นาที

3) นำชิ้นงานที่ผ่านการอบมาตกแต่งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320

4) นำชิ้นงานที่ผ่านการอบมาชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดของชิ้นงานด้วย

5) นำชิ้นงานที่ผ่านการอบมาเผาซินเตอร์ด้วย ที่อุณหภูมิ 700 ºC เป็นเวลา 30 นาที

3.2.5 การทดสอบสมบัติของชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ได้

นำชิ้นงานที่ผ่านการเผาซินเตอร์มาทดสอบสมบัติด้านต่างๆ โดยสมบัติที่ทำการทดสอบได้แก่ วัดความแข็งแบบวิกเกอร์ ความหนาแน่นด้วยวิธีการหาความหนาแน่นแบบมวลรวม เปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น เปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตร และเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสียของชิ้นงาน

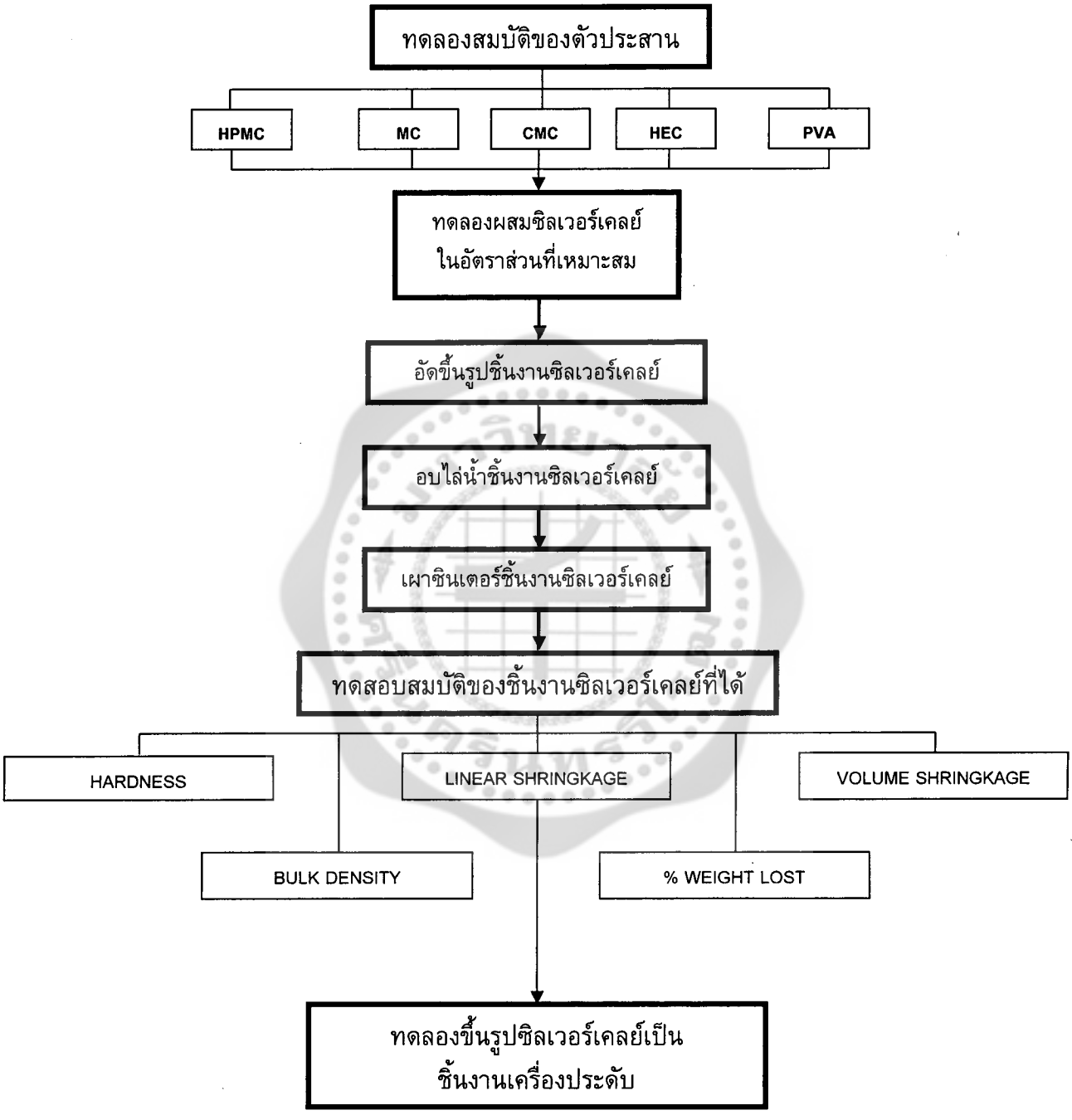
3.2.6 ทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ

1) ผสมซิลเวอร์เคลย์ด้วยตัวประสานชนิดที่มีสมบัติดีที่สุด

2) นำมาปั้นเป็นชิ้นงานเครื่องประดับ

3) นำชิ้นงานเครื่องประดับไปทำการอบไล่น้ำ และเผาซินเตอร์

ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานการผลิตซิเวอร์เคลย์ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3.2



ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังการผลิตซิลเวอร์เคลย์

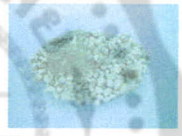
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลวิเคราะห์ข้อมูลการเตรียมผงโลหะเงิน และผลวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตซิลเวอร์เคลย์

4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการเตรียมผงโลหะเงิน

4.1.1 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่ได้จากการทดลอง

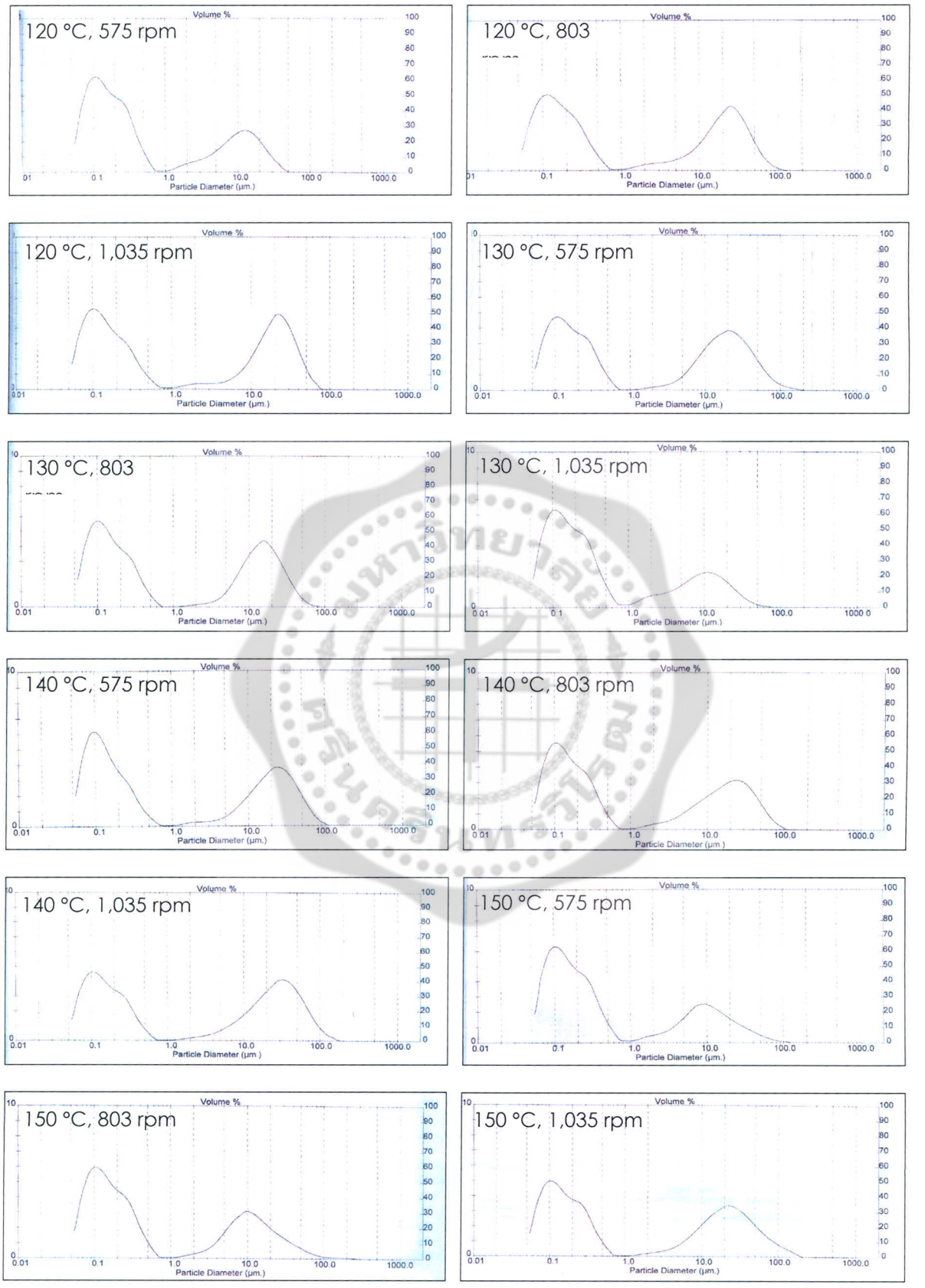
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่อุณหภูมิและอัตราการกวนต่าง ๆ

rpm	ลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงิน			
	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C
575				
805				
1,035				

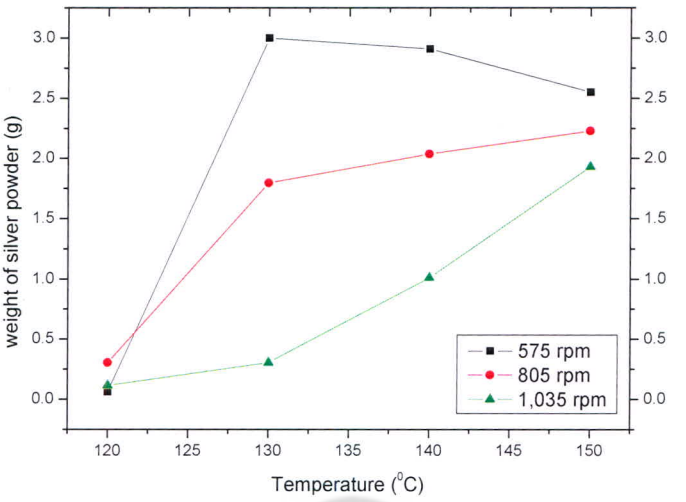
จากตารางที่ 4.1 จะแสดงให้เห็นลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่เตรียมได้ที่สภาวะต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิคงที่พบว่า การเพิ่มอัตราเร็วในการกวน จะทำผงโลหะเงินที่เตรียมได้จะมีลักษณะละเอียดขึ้น อนุภาคมีขนาดเล็กลง และเกิดการเกาะกัน (Agglomerate) น้อยลง ส่วนในกรณีที่พิจารณาที่ใช้อัตราเร็วในการกวนคงที่ จะพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเคมี จะทำให้ผงโลหะที่เตรียมได้มีความหยาบ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังเกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อนชนิดที่เรียกว่า Hard agglomerate ซึ่งสามารถทำการบดย่อยได้ยากมาก หลังจากนั้นก็นำผงโลหะเงินที่เตรียมได้ทุกเงื่อนไขไปทำการตรวจสอบขนาดอนุภาค ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค ผลการตรวจสอบพบว่า พฤติกรรมการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะเงินสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4.1 จากรูป จะสังเกตเห็น

ได้ว่า ลักษณะกราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีลักษณะเป็นพีคฐานกว้าง แสดงให้เห็นว่า ผงโลหะเงินที่เตรียมได้มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแบบ polydisperse นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นกราฟที่มี 2 พีค ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่า ขนาดอนุภาคผงโลหะเงินมีการกระจายตัวออกเป็น 2 ช่วง คือ อยู่ในช่วง 0.05-1 μm และ 1- 45 μm โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.1 μm และ 14.85 μm ในแต่ละช่วง เหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ทำให้ขนาดอนุภาคที่วัดได้เป็นขนาดของกลุ่มอนุภาค ซึ่งมีค่าสูงเกินความเป็นจริง เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟ ณ อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อัตราเร็วในการกวนสูง ปริมาณของผงที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้น (การเกาะกลุ่มกันจะลดลง) แต่จะทำให้การอัตราการตกตะกอนของผงโลหะเงินช้าลง (เกิดขึ้นได้ยากขึ้น) อาจเนื่องมากจากผลของอัตราเร็วในการกวนที่สูงทำให้การเกิด nucleation และ growth เป็นไปได้ยากขึ้น และมีการละลายกลับคืนสู่สารละลายมากขึ้น ถ้ารัศมีของ Nuclei มีขนาดต่ำกว่าค่าวิกฤต ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าผลการตรวจสอบขนาดอนุภาคมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของผงโลหะเงินที่แสดงในตารางที่ 4.1 ได้เป็นอย่างดี

เมื่อทำการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และอัตราเร็วในการกวนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากปริมาณตะกอนของโลหะเงินที่ได้ กราฟความสัมพันธ์แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4.2 จากรูปจะเห็นได้ว่า ที่อัตราเร็วในการกวนต่ำๆ (575 rpm) นั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ค่อนข้างดี ได้ตะกอนในปริมาณที่ค่อนข้าง ณ อุณหภูมิ 130-140 °C และจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น แต่จากผลการทดลองการตรวจสอบหาขนาดอนุภาคพบว่า ตะกอนที่ได้มีอนุภาคขนาดใหญ่จำนวนมาก ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นซิลเวอร์เคลย์ต่อไป แต่ถ้าหากใช้อัตราเร็วในการกวนสูงเกินไป (1,035 rpm) ตะกอนที่ได้จะมีปริมาณน้อยมากทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ในเนื่องมาจากการกระเด็นของสารละลาย ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผงโลหะเงินที่เตรียมได้ ณ อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และ อัตราเร็วในการกวนต่างๆ



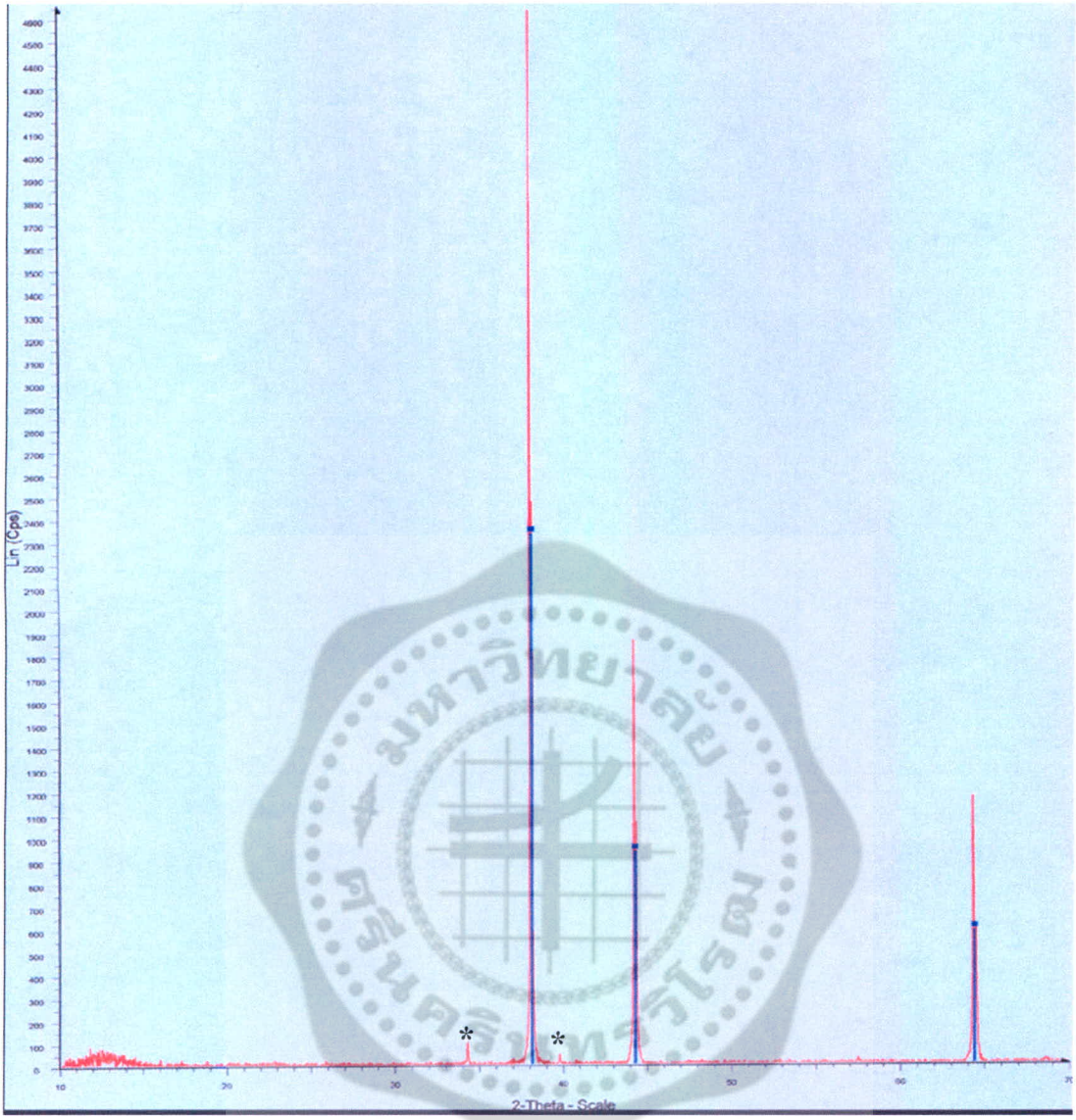
ภาพประกอบที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอัตราเร็วในการกวนที่มีผลต่อปริมาณผงโลหะเงิน

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักและขนาดอนุภาคของผงโลหะเงินที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ และ อัตราเร็วในการกวนต่างๆ กัน

อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็วในการกวน (rpm)	น้ำหนักของผงโลหะเงิน (g)	% yield ของผงโลหะเงิน	ขนาดอนุภาค (μm)
120 °C	575	0.06	1.89 %	0.11
	805	0.3	9.45 %	0.11
	1,035	0.11	3.46 %	0.09
130 °C	575	3	94.46 %	0.11
	805	1.8	56.68 %	0.09
	1,035	0.3	9.45 %	0.11
140 °C	575	2.91	91.62 %	0.11
	805	2.04	64.23 %	0.09
	1,035	1.01	31.80 %	0.09
150 °C	575	2.55	80.29 %	0.09
	805	2.23	70.21 %	0.09
	1,035	1.93	60.77 %	0.09

4.1.2 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของผงโลหะเงินที่ได้จากการทดลอง

จากการตรวจสอบผงโลหะเงินที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค XRD เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการเกิดและการเปลี่ยนแปลงเฟสของผงโลหะเงิน โดยการนำข้อมูล XRD ที่ได้มาทำการสอบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) จากผลการทดลองพบว่า XRD pattern ที่ได้มีลักษณะ sharp peak แสดงว่าผงโลหะเงินที่เตรียมได้นั้นมีความเป็นผลึกดี (characteristic peak of crystalline) มีค่า d-spacing เท่ากับ 2.359, 2.044 และ 1.445 ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า d-spacing ของ Ag ในแฟ้มข้อมูลหมายเลข 04-0783 ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นลูกบาศก์ (Cubic) แบบ FCCนอกจากนี้ยังพบอีกว่าไม่สามารถเตรียม ผงโลหะเงิน ให้มีเพียงเฟสเดียวได้ เพราะยังคงมีเฟสของสารกลุ่ม second phase ปรากฏปะปนอยู่ในทุกเงื่อนไขของการเตรียมที่ใช้ และจากการนำข้อมูล XRD ที่ได้ไปสอบเทียบกับฐานข้อมูล JCPDS พบว่า second phase ที่เกิดขึ้นมีชุดข้อมูลพีคที่ตำแหน่ง 2θ มีค่าเท่ากับ 34 และ 40 ซึ่งมีความสอดคล้องกับ JCPDS File ของ Ag_3O_4 ในแฟ้มข้อมูลหมายเลข 40-1054 จึงมีความเป็นไปได้ว่าในขั้นตอนการเตรียมผงเงินนั้น อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ขึ้นทำให้โลหะเงินเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ขึ้น ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงตัวอย่างของ XRD Pattern ของผงโลหะเงินที่เตรียมได้ในสภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 130 °C โดยใช้อัตราเร็วในการกวน 575 rpm เป็นตัวแทนในการนำเสนอผลการทดลองเนื่องจากที่สภาวะการเตรียมอื่นๆ ก็ให้ลักษณะ XRD Pattern ที่คล้ายคลึงกัน



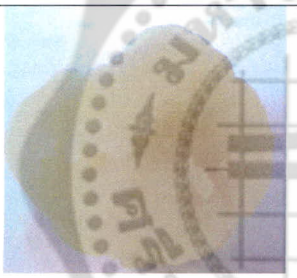
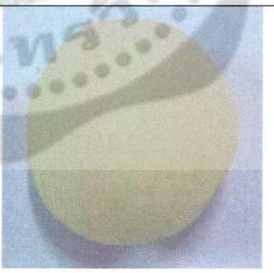
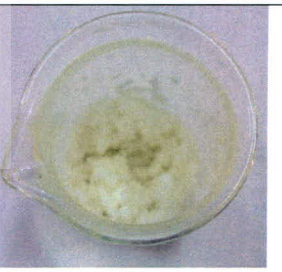
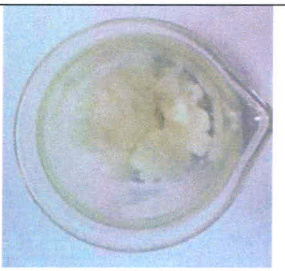
ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงโลหะเงินที่ผ่านการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 130 °C โดยกำหนดอัตราเร็วในการกวน 575 rpm (* หมายถึง พีคของ second phase)

4.2 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตซิลเวอร์เคลย์

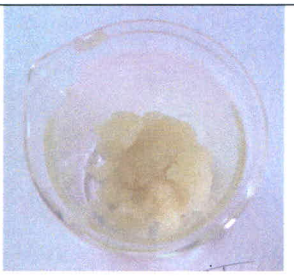
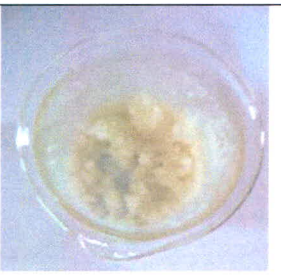
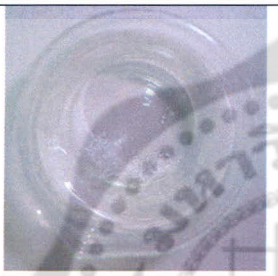
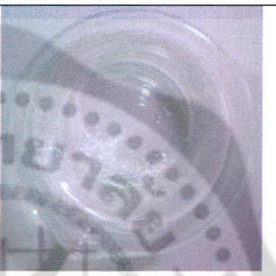
4.2.1 ผลวิเคราะห์สมบัติของตัวประสาน

จากการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติในการละลายและพฤติกรรมการเกิดเจล (Gelation) ในตัวประสานในตระกูลเซลลูโลส (Cellulose) และ ไวนิล แอลกอฮอล์ (Vinyl alcohol) ที่เลือกใช้ ได้แก่ HPMC, MC, CMC , HEC และ PVA เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการที่จะเลือกใช้เป็นตัวยึดจับในการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ โดยพิจารณาจากลักษณะเจลที่ได้ ความยืดหยุ่น ความสามารถในการขึ้นรูปด้วยมือ และความเป็นเนื้อเดียวกัน จากผลการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของเจลที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับน้ำ และชนิดของตัวประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองสมบัติของตัวประสานทั้ง 5 ชนิด ที่อัตราส่วน 1 wt% 2 wt% และ 3wt%

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 3 wt%
HPMC			
MC			
CMC			

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองสมบัติของตัวประสานทั้ง 5 ชนิด ที่อัตราส่วน 1 wt% 2 wt% และ 3wt% (ต่อ)

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 3 wt%
HEC			
PVA			

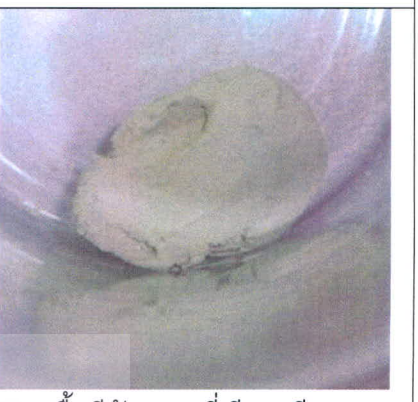
จากการทดลองผสมตัวประสานและน้ำ เพื่อดูสมบัติของตัวประสานแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าตัวประสานในตระกูลเซลลูโลสที่อัตราส่วน 1 wt% และ 2 wt% สามารถรวมตัวได้ดีกับน้ำ และมีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคที่ค่อนข้างดี มีความยืดหยุ่น แต่ในอัตราส่วน 3 wt% ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดีเท่ากับตัวประสารในอัตราส่วน 1 wt% และ 2 wt% เนื่องจากปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะละลายตัวประสานให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้มีลักษณะที่ร่วนและแห้ง ส่วนตัวประสานชนิด PVA ไม่ละลายเข้ากับน้ำ

4.2.2 ผลวิเคราะห์การผสมซิลเวอร์เคลย์

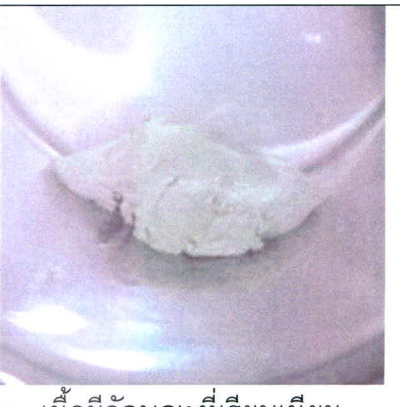
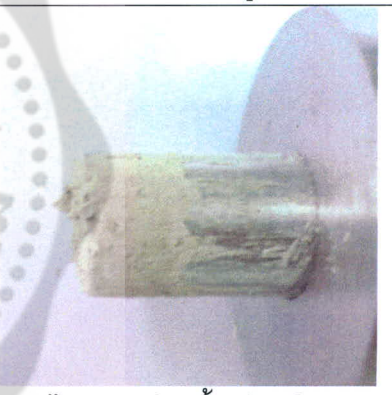
จากผลการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของตัวประสานดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 จึงเลือกเงื่อนไขในการทดลองผสมซิลเวอร์เคลย์ด้วยอัตราส่วนผงโลหะเงิน 92 wt% กับตัวประสานที่อัตราส่วน 1 wt% และ 2 wt% และอัตราส่วนที่เหลือคือน้ำ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะพิจารณาจากลักษณะซิลเวอร์เคลย์ที่ได้ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการขึ้นรูปด้วยมือ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ร 352136

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt%

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%
HPMC	เนื้อมีลักษณะหยาบ	 เนื้อมีลักษณะที่เรียบเนียน สามารถปั้นขึ้นรูปได้
MC	เนื้อมีลักษณะหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	มีลักษณะที่ผสมเข้ากันได้ดีเป็นเนื้อเดียวกัน มีความยืดหยุ่น สามารถปั้นขึ้นรูปได้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองการผสมซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt% (ต่อ)

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%
CMC	เนื้อมีลักษณะหยาบ มีความเหนียว	 เนื้อมีลักษณะที่เรียบเนียน สามารถปั้นขึ้นรูปได้
HEC	เนื้อมีลักษณะหยาบ ไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้	 ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน มีความเหนียว ไม่สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปได้

จากการผสมผงโลหะเงิน ตัวประสานในตระกูลเซลลูโลสในอัตราส่วน 1wt% และ 2wt% และน้ำ พบว่า ถ้าหากใช้ตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส ได้แก่ HPMC, MC และ CMC พบว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ได้มีลักษณะค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยอัตราส่วนของตัวประสาน 1wt% ถึงแม้จะสามารถปั้นขึ้นรูปได้ แต่เนื้อซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จะค่อยข้างหยาบ เนื่องจากการยึดจับระหว่างอนุภาคไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยอัตราส่วนของตัวประสาน 2wt% ซึ่งจะได้เนื้อที่เรียบเนียน เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวประสานชนิด HPMC และCMC ส่วนตัวประสานจำพวกเอทิลเซลลูโลส ได้แก่ HEC พบว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยอัตราส่วนของตัวประสานทั้งที่ 1wt% และ 2wt% มีลักษณะหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และไม่สามารถปั้นขึ้นรูปได้

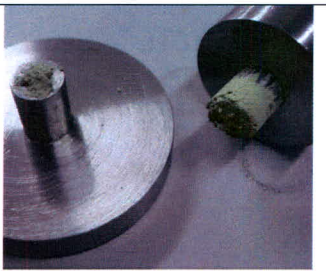
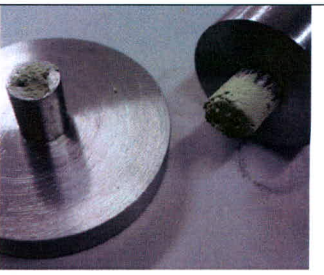
4.2.3 ผลวิเคราะห์การอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

นำซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากการผสมตัวประสานชนิดต่างๆ มาทำการอัดขึ้นรูปด้วยแม่แบบอัดขึ้นรูปชิ้นงานวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt% เปรียบเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ต้นแบบ (Art Clay 650)

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%
HPMC	สามารถขึ้นรูปได้	สามารถขึ้นรูปได้
MC	สามารถขึ้นรูปได้แต่มีการสูญเสียเนื้อบางส่วนไปในระหว่างการขึ้นรูป	สามารถขึ้นรูปได้แต่มีการสูญเสียเนื้อบางส่วนไปในระหว่างการขึ้นรูป
CMC	สามารถขึ้นรูปได้	สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ตัวประสานตระกูลเซลลูโลสต่างชนิดกันที่อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt% และ 2wt% เปรียบเทียบกับซิลเวอร์เคลย์ต้นแบบ (Art Clay 650) (ต่อ)

อัตราส่วนตัวประสาน / ชนิดตัวประสาน	อัตราส่วนตัวประสาน 1 wt%	อัตราส่วนตัวประสาน 2 wt%
HEC	 ติดแม่พิมพ์ ไม่สามารถขึ้นรูปได้	 ติดแม่พิมพ์ ไม่สามารถขึ้นรูปได้
ART CLAY 650	สามารถขึ้นรูปได้ดี	

จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ที่ได้จากตัวประสานชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วน 1 wt% และ 2 wt% ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมขึ้นจากตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส สามารถขึ้นรูปได้ แต่ยังไม่สามารถขึ้นรูปได้ดีเท่ากับ ART CLAY 650 ที่มีขายอยู่ทั่วไป ส่วนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมขึ้นจากตัวประสานจำพวกเอทิลเซลลูโลส ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้

4.2.4 ผลวิเคราะห์การทดลองเผาซินเตอร์ชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปมาทำการอบไล่น้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อนำชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ไปทำการอบไล่น้ำ ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที จะได้ชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายดินที่แห้ง แข็งแต่มีความเปราะ สามารถนำมาขัดตกแต่งได้ จากนั้นนำชิ้นงานไปเข้าสู่กระบวนการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 30 นาที ผลที่ได้ คือ ได้ชิ้นงานที่เป็นโลหะเงิน เนื่องจากตัวประสานชนิดต่างๆ ได้เผาไหม้ไปในระหว่างการเผาซินเตอร์ ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะแข็ง สามารถนำมาแต่งขึ้นรูปได้ แต่ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์โดยใช้ HPMC และ MC เป็นตัว

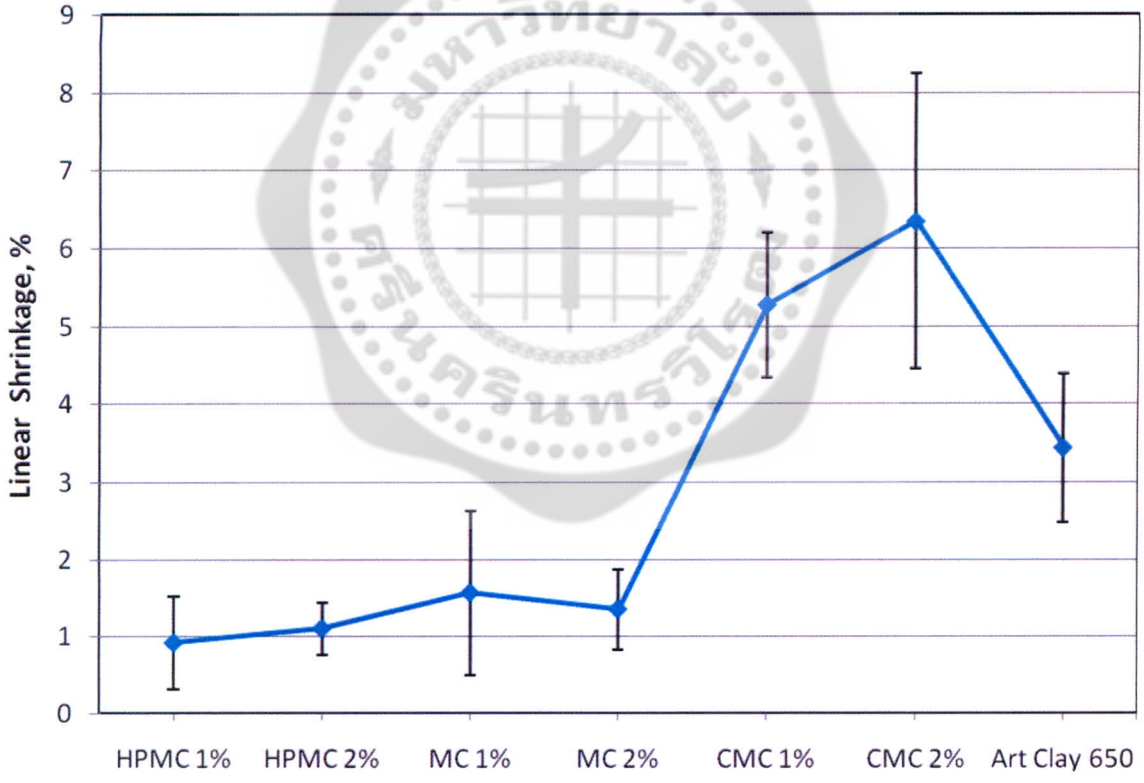
ประสาน พบว่าเมื่อลองใช้เล็บขูด จะมีลักษณะเป็นรอยอย่างชัดเจนเกิดขึ้น แต่ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์โดยใช้ CMC เป็นตัวประสาน และ ART CLAY 650 จะเกิดเป็นรอยขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.2.5 ผลวิเคราะห์การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์ที่ได้

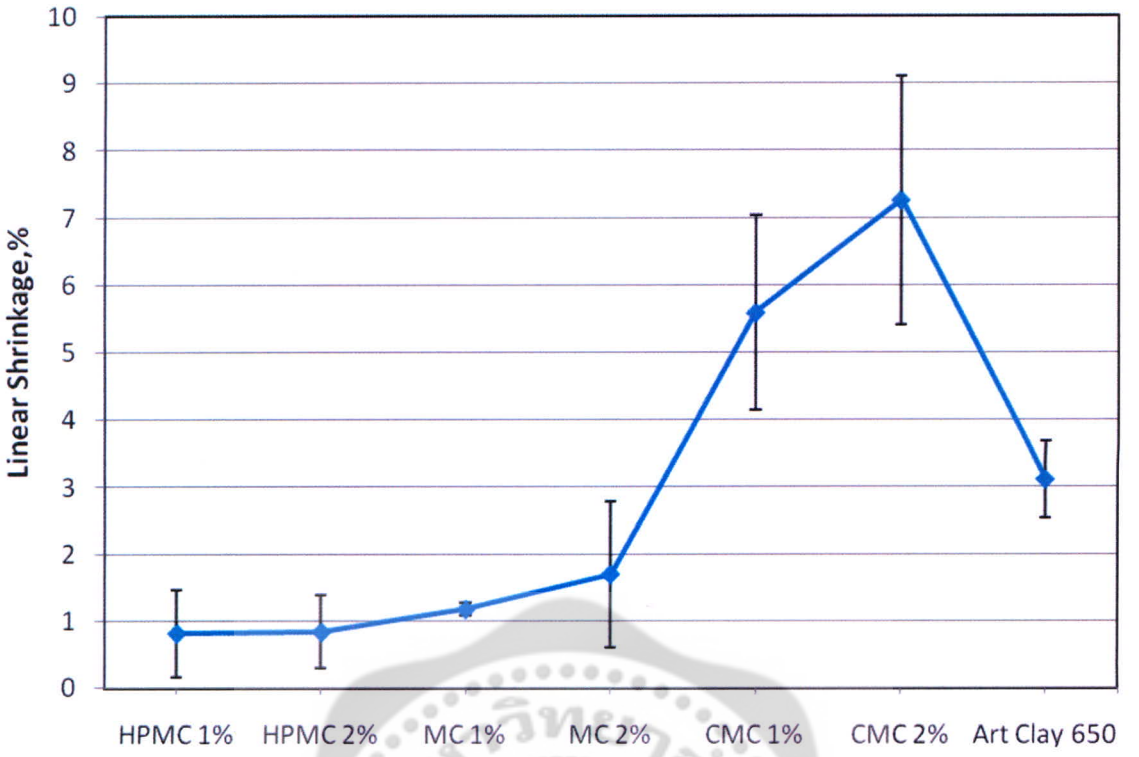
หลังจากการเผาซินเตอร์นำชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์มาทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ ค่าเปอร์เซนต์หดตัวเชิงเส้น ค่าเปอร์เซนต์หดตัวเชิงปริมาตร เปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสีย ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งแบบวิกเกอร์

4.2.5.1 เปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage, %)

การหาค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นทำได้โดยการวัดความยาวในด้านของเส้นผ่านศูนย์กลางและด้านความหนาของชิ้นงาน ทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.4 และ 4.5



ภาพประกอบที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นในแนวความหนาของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

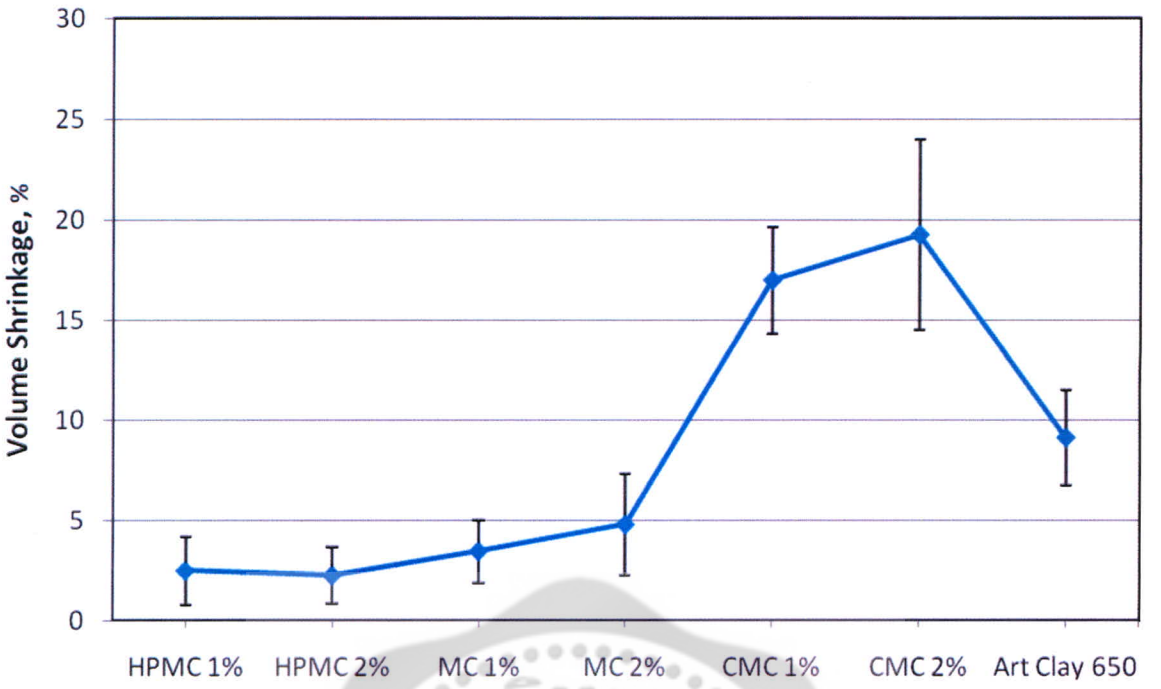


ภาพประกอบที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ ทั้งในแนวความหนาและแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง มีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นต่ำกว่า ART CLAY 650 ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้นสูงกว่า ART CLAY 650 ส่วนอัตราส่วนของตัวประสาน ไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น

4.2.5.2 เปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตร (Volume shrinkage, %)

การหาค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรทำได้โดยการคำนวณหาปริมาตรทรงกระบอกทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตร ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.6

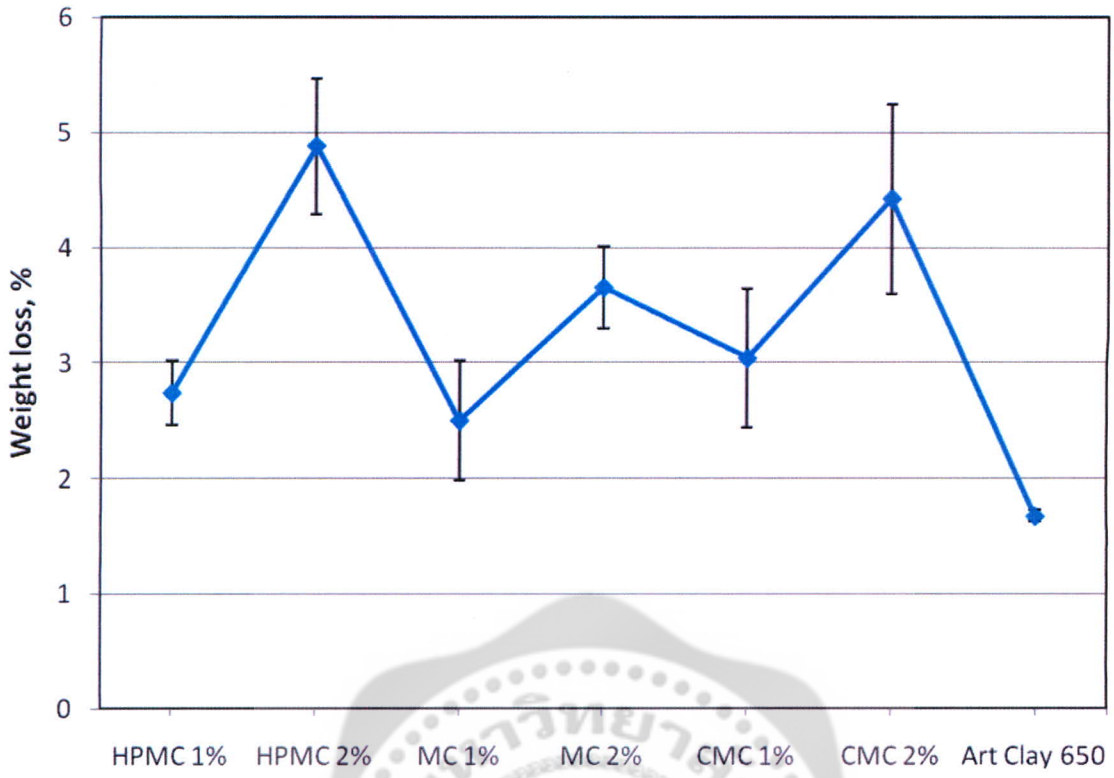


ภาพประกอบที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตร
ของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป ซิลเวอร์เคลย์ พบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรต่ำกว่า ART CLAY 650 ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงปริมาตรสูงกว่า ART CLAY 650 ส่วนอัตราส่วนของตัวประสาน ไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น

4.2.5.3 เปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสีย (Weight lost, %)

การหาค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสียทำได้โดยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ ทั้งก่อนและหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสีย ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.7

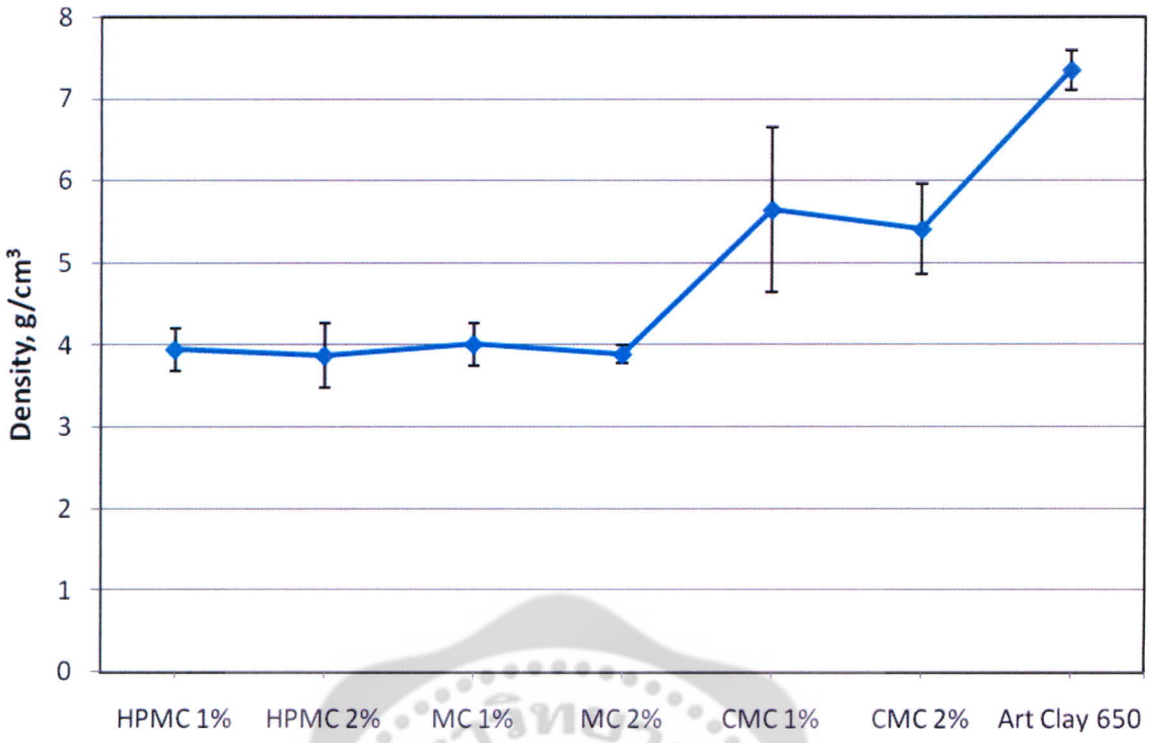


ภาพประกอบที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสีย
ของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสีย พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ชนิดที่ใช้ตัวประสานในอัตราส่วน 1 wt% มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ให้ค่าเปอร์เซนต์น้ำหนักสูญเสียที่น้อยกว่าชิ้นงานที่ได้จากการผสมตัวประสานในอัตราส่วน 2 wt% แต่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานในตระกูลเซลลูโลสในอัตราส่วนทั้ง 1 wt% และ 2 wt% ยังมีค่าเปอร์เซนต์ความสูญเสียมากกว่า ART CLAY 650

4.2.5.4 ความหนาแน่น (Density, g/cm^3)

การหาค่าความหนาแน่นทำได้โดยการคำนวณค่าความหนาแน่นแบบมวลรวมจากชิ้นงานหลังการเผาเผาซินเตอร์ แล้วนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 4.8

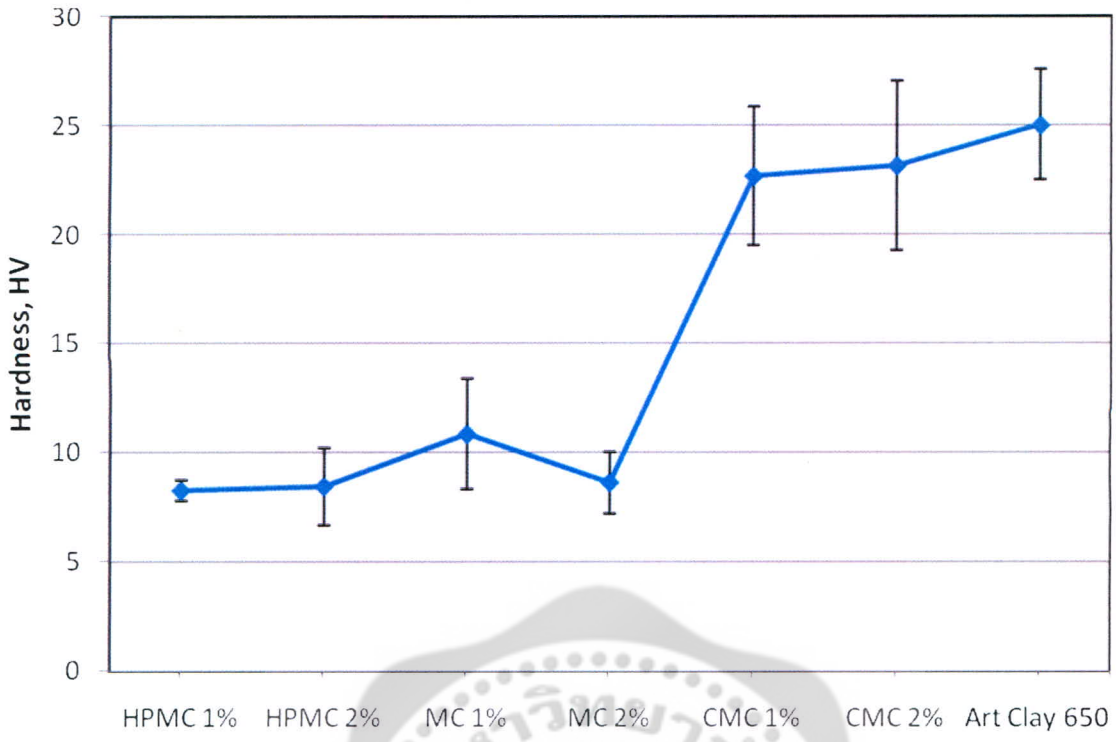


ภาพประกอบที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ พบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าน้อยกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC ซึ่งก็ยังมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า ART CLAY 650 ในขณะที่อัตราส่วนของตัวประสาน ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของชิ้นงาน

4.2.5.5 ค่าความแข็ง (Hardness, HV)

การหาค่าความแข็งทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์วัดค่าความแข็งจากชิ้นงานหลังการเผาซินเตอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซนต์การหดตัวเชิงเส้น ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่4.9



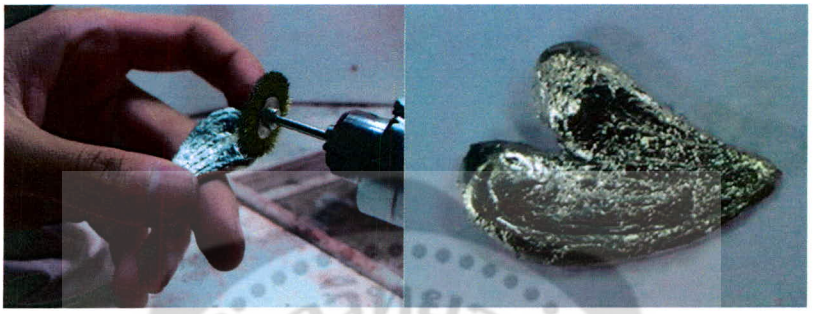
ภาพประกอบที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างซิลเวอร์เคลย์

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์ พบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าน้อยกว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมจากตัวประสานชนิด CMC ซึ่งมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับ ART CLAY 650 ในขณะที่อัตราส่วนของตัวประสาน ไม่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน

4.2.6 ทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองขึ้นรูปซิลเวอร์เคลย์เป็นชิ้นงานเครื่องประดับอย่างง่าย โดยทดลองใช้ตัวประสานชนิด CMC และ HPMC ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.10 และ ภาพประกอบที่ 4.11

(ก) (ข)



(ค) (ง)

ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด CMC โดย

(ก) การปั้นขึ้นรูปชิ้นงาน

(ข) ชิ้นงานหลังการเผาซินเตอร์

(ค) การขัดชิ้นงานด้วยหัวแปรงทองเหลือง

(ง) ชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์สำเร็จ

(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงชิ้นงานซิลเวอร์เคลย์ที่ใช้ตัวประสานชนิด HPMC

(ก) แหวน และ (ข) จี้

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การเตรียมผงโลหะเงิน

จากผลการทดลองการเตรียมผงโลหะเงิน ทำให้สามารถวิเคราะห์ในเบื้องต้นได้ว่า เงื่อนไขในการเตรียมผงโลหะเงินที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือ ทำการตกตะกอนที่อุณหภูมิในช่วง 130-140 °C โดยใช้อัตราเร็วในการกวน 805 rpm จะทำให้ได้ตะกอนของผงโลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1 μm ในปริมาณ % yield สูงถึงร้อยละ 64.23 โดยน้ำหนักและเกิดการเกาะรวมตัวของผงอนุภาคเงินน้อยที่สุด

5.2 การผลิตซิลเวอร์เคลย์

จากผลการทดลองการผลิตซิลเวอร์เคลย์ โดยใช้ชนิดและอัตราส่วนตัวประสานที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถได้ข้อสรุปในเบื้องต้นว่า ตัวประสานในกลุ่มเมทิลเซลลูโลส สามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวประสานในกลุ่มเอทิลเซลลูโลสและไวนิลคลอไรด์ ชนิดของตัวประสาน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงสมบัติของซิลเวอร์เคลย์ จากงานวิจัยพบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด HPMC และ MC มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัว ความหนาแน่น และความแข็ง ที่น้อยกว่า ART CLAY 650 ในขณะที่ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีค่าเปอร์เซนต์การหดตัวที่สูงกว่า ART CLAY 650 ส่วนค่าความหนาแน่นของซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC จะมีค่ามากกว่าตัวประสานชนิดอื่นๆ แต่ยังคงให้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่า ART CLAY 650 สำหรับค่าความแข็งซึ่งเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากความแข็งของซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีค่าที่ใกล้เคียงกับ ART CLAY 650 นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนที่ต่างกันของตัวประสาน มีผลอย่างมากอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเปอร์เซนต์การสูญเสีย ถ้าหากใช้ตัวประสานในปริมาณที่มาก ค่าเปอร์เซนต์การสูญเสียก็ยิ่งมาก อย่างไรก็ตามตัวประสานชนิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ ยังคงมีค่าเปอร์เซนต์การสูญเสียที่มากกว่า ART CLAY 650

จากข้อสรุปเบื้องต้นดังกล่าว จะเห็นได้ว่าตัวประสานจำพวกเมทิลเซลลูโลส สามารถผสมกับผงโลหะเงินและปั้นขึ้นรูปได้ และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า ซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมกับตัวประสานชนิด CMC มีสมบัติค่อนข้างใกล้เคียงกับ ART CLAY 650 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวประสานชนิดอื่นในกลุ่มเมทิลเซลลูโลส โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความแข็ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก CMC นอกจากจะมีหน้าที่เป็นตัวประสานแล้ว ยังมีสมบัติในการเป็นสารช่วยกระจายลอยตัว (deflocculant) ทำให้อนุภาคมีการกระจายตัวที่ดีและทำให้สารแขวนลอยได้ดีอีกด้วย

จากการทดลองผลิตชิ้นงานเครื่องประดับอย่างง่ายด้วยซิลเวอร์เคลย์ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตชิ้นงานเครื่องประดับจากซิลเวอร์เคลย์ แต่หากยังพบปัญหาอยู่บางประการ ตัวอย่างเช่น ถึงแม้ว่าซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานชนิด CMC จะมีสมบัติค่อนข้างใกล้เคียงกับ ART CLAY 650 แต่ก็พบมีปัญหาในเรื่องของรูปทรงและขนาดของชิ้นงานสำเร็จ มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวเชิง

ปริมาตรที่สูงกว่า ART CLAY 650 ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานสำเร็จไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ ส่วนซิลเวอร์เคลย์ที่ผสมด้วยตัวประสานชนิดHPMC มีข้อดีในด้านการนำมาขึ้นรูป สามารถรักษารูปร่างได้ดี แต่ความหนาแน่นและความแข็งยังคงต่ำกว่า ART CLAY 650 อยู่มาก ซึ่งคงจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในเรื่อง ขนาดของผงโลหะเงินซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการผสมซิลเวอร์เคลย์ ความหนืดของตัวประสาน (Viscosity) การปรับแต่งตัวประสาน (Modify) สารเติมแต่งอื่นๆ และอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมเป็นซิลเวอร์เคลย์

บรรณานุกรม

1. ไสว ด่านชัยวิจิตร. Powder Metallurgy. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 6-21.
2. นภัสพร มีมงคล. โลหะกรรมวัสดุผง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 60-101.
3. Juichi Hirasawa and Yasuo Ido. 2005. Silver Powder for Silver Clay and Silver Clay Comprising the Silver Powder. US patent 7,081,149.
4. Atsushi Fujimaru, Akiyoshi Yatsugi and Tomoaki Kasukawa. 2005. Clay Composition for Shaping Noble Metal and Method for Production of Sinter of Noble Metal. US patent 6,840,979.
5. Amit Sinha and B. P. Sharma. 2005. Preparation of Silver Powder through Glycerol Process, *J. Bull. Mater. Sci.* 28: 213-217.
6. Wu Songping and Meng Shuyuan. 2005. Preparation of ultrafine Silver Powder Using Ascorbic Acid as Reducting agent and its Application in MLCI. *J. Mater. Chem. & Phy.* 89: 423-427.
7. Dan V. Goia, Daniel Andreescu and Brendan P. Farrell. 2006. Polyol-Based Method for Producing Ultra-Fine Silver Powders. US patent 0,090,599.
8. Basic steps in using Art Clay Silver. Available from URL:http:// www.artclay.co.jp. 7 August 2006.
9. Bruce E. Banyai, Denis E. Lasota and Dennis L. Strunk. 1989. Binder for Metal-Containing Ores. US patent 4,863,512.
10. Klaus Menke, Lothar Merz and Mathias Helfrich. 1992. Binder for Metal or Ceramic Powder. US patent 5,098,942.

ประวัติย่อผู้วิจัย

BIOGRAPHICAL INFORMATION

I. PERSONAL DATA

Name: Ms. Supitcha Supansomboon

Office Addresses: Division of Materials Science (Gems &Jewelry)
Department of General Science
Faculty of Science
Srinakharinwirot University
114 Sukhumvit 23, Bangkok 10110, Thailand
Tel (66) 2 664-1000 ext 8654 Fax (66) 2 664-1000 ext 8663

E-mail address: supitcha@swu.ac.th

II. EDUCATION

2002 School of Energy and Materials
King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Bangkok, Thailand
M.Eng. (Materials Technology)

1999 School of Energy and Materials
King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Bangkok, Thailand
Graduate Diploma (Materials Technology)

1998 Faculty of Science, Srinakharinwirote University
Bangkok, Thailand
B.Sc. 2nd Hons. (Materials science)

III. EXPERIENCE

September 2003-Present Lecturer, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Thailand

April-May 1997 Diamond cutting training, General Diamond Co.,Ltd.

IV. ACADEMIC AREAS OF SPECIALIZATION

Courses Taught:

GJ 418 Plating I

GJ 315 Jewelry Making I

GJ 316 Jewelry Mastering and Casting

GJ 433 Polymers Products in Gems and Jewelry Industry

GJ 472 Costume Jewelry Production

V. PUBLICATIONS

1. Leksophee, T., Sombatsompop, N. and Supansomboon, S. (2002), Effects of Preparation and Dyeing Conditions of Physicochemical Properties of Thai Silk Fabric, The First Symposium on Science and Technology, March 15th 2002, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, 79-84
2. Leksophee T., Supansomboon S. and Sombatsompop N.(2004), *Effects of Cross-linking Agents, Dyeing Temperature and pH on Mechanical Performance and Whiteness of Silk Fabric*, Journal of Applied Polymer Science, 91(2):1000-1007
3. Na ranong S., Muangsamai T., Pinthong A., Suwansri S., Supansomboon S., Srivihok A., Metmankul C., Pengvanich T. and Promboon A. (2005), *Data Mining Developed for Consumer's Satisfaction with Thai Silk and Silk Products Survey to Predict Their Choices of Silk Patterns*, The 20th Congress of the International Sericultural Comission, December 15th-18th 2005, Bangalore, India, 141-146.

IX. EXTENSION/OUTREACH ACTIVITIES

1998	Jewelry Dummy Company, Bangkok Gems and Jewelry Fair
1997-1998	Chairman, Gemology Club, Srinakharinwirote University
1994-1996	Co-operator, Jewelry Season Fair, Srinakharinwirote University

BIOGRAPHICAL INFORMATION

I. PERSONAL DATA

Name: Ms. Anocha Munpakdee

Office Addresses: Division of Materials Science (Gems &Jewelry)
Department of General Science
Faculty of Science
Srinakharinwirot University
114 Sukhumvit 23, Bangkok 10110, Thailand
Tel (66) 2 664-1000 ext 8655 Fax (66) 2 664-1000 ext 8663

E-mail address: anocha@swu.ac.th

II. EDUCATION

2005 Ph.D. (Materials Science), Chiang Mai University, Chiang Mai, THAILAND

2001 M.Sc. (Materials Science), Chiang Mai University, Chiang Mai, THAILAND

1998 B.Sc. (Chemistry), Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, THAILAND

III. ACADEMIC AREAS OF SPECIALIZATION

Courses Taught:

- Materials Science I
- Materials Science II

IV. PUBLICATIONS

1. A. Munpakdee, J. Tontrakoon, K. Siriwittayakorn and T. Tunkasiri, "Effects of $Ba(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ on microstructure and dielectric properties of Barium Titanate Ceramics,
J. Mat. Sci. Lett .**22** (2003) 1307.

2. A. Munpakdee, J. Tontragoon, K. Siriwitayakorn and T. Tunkasiri, Dielectric properties of low firing $0.98BaTiO_3$-$0.02Ba(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ with Bi_2O_3/Li_2CO_3 - PbO ceramics. *J. Mat. Sci. Lett.* (2005) 4675.

3. A. Munpakdee, K. Pengpat,J. Tontragoon and T. Tunkasiri, The Study of Dielectric Diffuseness in the $Ba(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ -$BaTiO_3$ceramic system. In press of *J. Smart. Mater. Struct.* **15** (2006) 1.

BIOGRAPHICAL INFORMATION

I. PERSONAL DATA

Name: Ms. Supinya Wongsriruksa

Office Addresses: Division of Materials Science (Gems &Jewelry)
Department of General Science
Faculty of Science
Srinakharinwirot University
114 Sukhumvit 23, Bangkok 10110, Thailand
Tel (66) 2 664-1000 ext 8657 Fax (66) 2 664-1000 ext 8663

E-mail address: supinya@swu.ac.th

II. EDUCATION

2003 Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
Master of Engineering (Metallurgical Engineering)
Faculty of Engineering

1998 Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand.
Bachelor of Science (Materials Science)
Faculty of Science

III. ACADEMIC AREAS OF SPECIALIZATION

Courses Taught:

- Jewelry Making II
- Plating I
- Plating II
- Metallurgy of Precious Metals

IV. PUBLICATIONS

Supinya Wongsriruksa and Ekasit Nisaratanaporn, *"Influence of Manganese Alloy in Mechanical Properties and Tarnish Resistance of Sterling Silver"*, World of Gold Jewelry & Watches Magazine, Issue 45 July-August 2004, pp.118-121.

V. REWARDS

The winner of Thainox Metallurgy Award 2003 (Master Level)
"Mechanical Properties and Tarnish Resistance of 92.5%Ag – Cu – Mn alloys"
Advisor is Dr.Ekasit Nisarattanaporn