

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีการวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 อุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ยาง

- 3.1.1.1 กรอบอะลูมิเนียมวัดขนาดแม่พิมพ์ (aluminium mold frame)
- 3.1.1.2 ยางสำหรับทำแม่พิมพ์ (mold rubber)
- 3.1.1.3 มีดผ่าแม่พิมพ์ (mold knife)
- 3.1.1.4 หัวจุกทางน้ำโลหะเข้า (sprue former)
- 3.1.1.5 ตัวแบบตัวเรือน (jewelry model)
- 3.1.1.6 เครื่องอัดแม่พิมพ์ยาง (vulcanizer machine)

##### 3.1.2 อุปกรณ์ในการหล่อเทียนและติดต้น

- 3.1.2.1 เครื่องฉีดเทียนแบบสุญญากาศ (vacuum wax injector)
- 3.1.2.2 เทียน (wax)
- 3.1.2.3 สเปร์ย์ แป้ง และแปรงสำหรับทำความสะอาดแม่พิมพ์ยาง
- 3.1.2.4 ฐานยาง
- 3.1.2.5 หัวแรงไฟฟ้า

##### 3.1.3 อุปกรณ์ในการทำแม่พิมพ์ปูนหล่อและอบเผา

- 3.1.3.1 กระจกหล่อ
- 3.1.3.2 ปูนปลาสเตอร์หล่อแบบต้นเทียน
- 3.1.3.3 ขามผสมปูนหล่อ
- 3.1.3.4 เครื่องผสมปูนหล่อ
- 3.1.3.5 เครื่องสุญญากาศ (vacuum machine)
- 3.1.3.6 กระจกตวงน้ำและตาชั่ง
- 3.1.3.7 เตาอบแม่พิมพ์

##### 3.1.4 อุปกรณ์หล่อและหลอมเพื่อเตรียม Master Alloy ทองแดงและซิลิคอน

- 3.1.4.1 เตาหลอมแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (induction furnace) พร้อมเครื่องระบายความร้อน ด้วยน้ำไหลเวียนภายในแบบระบบปิด
- 3.1.4.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิด R-Type วัดอุณหภูมิในช่วง 700-1700 °C
- 3.1.4.3 เตาหลอมกราไฟต์ขนาดปริมาตร 620 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และความลึก 13 เซนติเมตร)

3.1.4.4 แท่งกราไฟต์สำหรับกวนน้ำโลหะ

3.1.4.5 เตาดอบไฟฟ้า

3.1.4.6 แบบหล่อโลหะสำหรับหล่อชิ้นงานเป็นแท่งทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร

3.1.4.7 ถังก๊าซอาร์กอน พร้อมเกจวัดความดัน และหัวพ่น จำนวน 2 ชุด โดยชุดแรกใช้กับเตาดอบไฟฟ้า เพื่อลดการเกิดออกไซด์ของผิวแบบหล่อ ส่วนชุดที่สองใช้สำหรับพ่นก๊าซอาร์กอนลงในเบ้าหลอมกราไฟต์ เพื่อคลุมผิวน้ำโลหะ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำโลหะ

### 3.1.5 อุปกรณ์หล่อและหลอมเพื่อเตรียม Master Alloy ทองแดงและแคลเซียม

3.1.5.1 Vacuum arc furnace

3.1.5.2 ถังก๊าซอาร์กอน พร้อมเกจวัดความดัน

3.1.5.3 โลหะไทเทเนียม 1 ชิ้น

### 3.1.6 อุปกรณ์ในการตรวจสอบการกัดกร่อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

3.1.6.1 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) คือ Ag/AgCl

3.1.6.2 ขั้วไฟฟ้าวัดกระแส (counter electrode) คือ แท่งแพลตตินัม (Pt rod)

3.1.6.3 ขั้วไฟฟ้าโลหะทดสอบ (working electrode) คือ ชิ้นงานตัวอย่างโลหะผสมเงิน 92.5% - ทองแดง - แคลเซียม - ซิลิคอน

3.1.6.4 ชุดเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อน

3.1.6.5 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

3.1.6.6 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

3.1.6.7 โถดูดความชื้น (desiccator)

3.1.6.8 ชุดเครื่องแก้วในการเตรียมสารเคมี

3.1.6.9 เครื่องขัดโลหะ

3.1.6.10 กระดาษทราย (SiC paper) เบอร์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200

### 3.1.7 เครื่องมือวิเคราะห์

3.1.7.1 กล้องจุลทรรศน์แสง (optical microscope)

3.1.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (scanning electron microscope, SEM)

3.1.7.3 Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)

3.1.7.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (universal tensile testing machine)

3.1.7.5 เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (vickers hardness testing)

Machine)

3.1.7.6 เครื่องวัดค่าสีบนผิววัสดุสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.7.7 เครื่องมือวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน  
(Atomic absorption spectroscopy, AAS)

3.1.7.8 เครื่องมือทดสอบการกัดกร่อนด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิค  
โพเทนชิโอดนามิกส์ (Potentiodynamics technique)

### 3.2 วัสดุดิบ

3.2.1 เม็ดโลหะเงิน (Ag) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์

3.2.2 เม็ดโลหะทองแดง (Cu) ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์

3.2.3 โลหะแคลเซียม (Ca) ความบริสุทธิ์ 98.5 เปอร์เซ็นต์

3.2.4 คอปเปอร์ซิลิไซด์ (Cu-Si) โดยมีสัดส่วนของ Cu : Si = 70 : 30 โดยน้ำหนัก

### 3.3 สารเคมี

3.3.1 โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

3.3.2 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )

3.3.3 กรดกำมะถัน ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

3.3.4 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ความเข้มข้น 7% โดยปริมาตร

3.3.5 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )

3.3.6 น้ำกลั่น

3.3.7 แอลกอฮอล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในแต่ละส่วนผสมของโลหะทั้ง 12 ชุด ทำการทดลองดังนี้

3.4.1 นำต้นแบบตัวเรือนทั้ง 2 แบบ แบบแรกมีลักษณะแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำจากโลหะเงินสเตอร์ลิง ขนาดกว้าง 9 มิลลิเมตร ยาว 26 มิลลิเมตร และหนา 1.5 มิลลิเมตร แบบที่สองมีลักษณะเป็นแท่งมีขนาดมิติตามรูปที่ 3.1 มาทำแม่พิมพ์ยางเพื่อใช้ในการฉีดเทียนและนำไปหล่อต่อไป

3.4.2 ฉีดเทียนที่หลอมละลาย ให้เข้าไปในแม่พิมพ์ยางด้วยเครื่องฉีดเทียน ได้แบบเทียนทั้ง 2 ลักษณะตามต้นแบบในหัวข้อ 3.4.1 จำนวน อย่างละ 96 ชิ้น

3.4.3 นำแบบเทียน (wax pattern) ที่ได้มาติดต้นเทียนเพื่อจัดให้เป็นกลุ่มอย่างมีระเบียบเพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก

3.4.4 ชั่งน้ำหนักต้นเทียนที่ได้ เพื่อนำไปคำนวณหาส่วนผสมโลหะที่ต้องการหล่อ

3.4.5 นำต้นเทียนจากข้อ 3.4.4 ไปใส่ในกระบอกล้อ แล้วตรวจอัตราส่วนระหว่างปูนหล่อและน้ำให้เหมาะสม โดยให้น้ำมีน้ำหนัก 37 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูนหล่อ

3.4.6 ผสมปูนหลอกับน้ำด้วยเครื่องผสมปูนหล่อ แล้วดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อด้วยเครื่องสูญญากาศ (vacuum machine) หลังจากนั้นเทปูนลงในกระบอกล้อ แล้วดูดอากาศออกอีกครั้ง

3.4.7 รอให้กระบอกล้อแห้งโดยทิ้งไว้ในสภาวะปกติ แล้วนำกระบอกล้อเข้าเตาอบเผาแม่พิมพ์ปูนหล่อ เพื่อขจัดเทียนออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อ โดยเพิ่มอุณหภูมิเตาขึ้นช้าๆ และคงที่ไว้ที่อุณหภูมิ 580 °C ใช้เวลาในการอบเผาทั้งสิ้นประมาณ 19 ชั่วโมง

3.4.8 เตรียมมวลเตอร้อัลลอยของทองแดงซิลิคอน (ที่มีอัตราส่วนทองแดง : ซิลิคอน เท่ากับ 90 : 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) โดยคำนวณและชั่งน้ำหนักของ คอปเปอร์ซิลิไซด์ (ทองแดง : ซิลิคอน เท่ากับ 70 : 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และทองแดงบริสุทธิ์แล้วนำไปหลอมในเตาหลอมแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (induction furnace) จากนั้นเทลงแบบ จะได้มวลเตอร้อัลลอยที่มีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1 cm x 1 cm x 10 cm

3.4.9 เตรียมมวลเตอร้อัลลอยของทองแดงและแคลเซียม การหลอมแต่ละครั้งจะทำได้ทีละ 30 กรัม เพราะเบ้าหลอมมีขนาดเล็ก โดยชั่งน้ำหนักทองแดงบริสุทธิ์และแคลเซียมบริสุทธิ์ 29 กรัม และ 1 กรัมตามลำดับ ทำการหลอมโดยใช้ vacuum arc furnace โดยทำการหลอมแต่ละชิ้นจะทำการพลิกชิ้นงานแล้วทำการหลอม 4 ครั้งเพื่อให้ทองแดงและแคลเซียมหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

3.4.10 เตรียมส่วนผสมและอุปกรณ์ในการหลอมและหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิงทั้งหมด 12 ชุด โดยชั่งน้ำหนักเม็ดเงินบริสุทธิ์ 99.99%, เม็ดทองแดงบริสุทธิ์ 99.99%, มวลเตอร้อัล

ลอยของทองแดงและซิลิคอน, มาสเตอร์อัลลอยของทองแดงและแคลเซียม ให้ได้ปริมาณ ส่วนผสมดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิงที่ใช้ในการทดลอง

เลขชุด	ส่วนผสม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)			
	เงิน	ทองแดง	แคลเซียม	ซิลิคอน
1	92.500	7.500	-	-
2	92.500	7.476	0.024	-
3	92.500	7.404	0.096	-
4	92.500	7.332	0.168	-
5	92.500	7.284	0.216	-
6	92.500	7.470	-	0.030
7	92.500	7.410	-	0.090
8	92.500	7.380	-	0.120
9	92.500	7.260	-	0.240
10	92.500	7.356	0.024	0.120
11	92.500	7.284	0.096	0.120
12	92.500	7.212	0.168	0.120

\* หมายเหตุ การคำนวณเปอร์เซ็นต์ซิลิคอนมาจากมาสเตอร์อัลลอย ซึ่งมีอัตราส่วนทองแดง : ซิลิคอนคือ 90 : 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.4.11 ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาหลอมไว้ที่ 1030 °C สำหรับส่วนผสมที่มีแคลเซียม และ 980°C สำหรับส่วนผสมที่ไม่มีแคลเซียม เมื่ออุณหภูมิขึ้นถึงประมาณ 600 °C เทส่วนผสมที่เตรียมไว้ลงไป หลอมและหล่อโลหะผสมทีละชุดจนครบ 12 ชุด ด้วยเครื่องหลอมและหล่อแบบสูญญากาศ โดยกวนน้ำโลหะขณะโลหะหลอมละลาย

3.4.12 นำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องหล่อโลหะ ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง ประมาณ 20 นาที แล้วนำแม่พิมพ์ไปทำจุ่มถึงน้ำ แล้วความสะอาดชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง เพื่อล้างปูนหล่อออกจากกระบอกหล่อ

3.4.13 นำต้นชิ้นงานโลหะที่ได้ทำความสะอาดด้วยการจุ่มกรดกัดแก้วเพื่อกัดให้ผิวชิ้นงานสะอาด

3.4.14 ตัดแต่งและขัดชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบ วิเคราะห์คุณสมบัติต่อไป

### 3.5 ระเบียบและวิธีการตรวจสอบ

#### 3.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.5.1.1 เตรียมชิ้นงานโดยการตัดชิ้นงานหล่อ แล้วเตรียมผิวโดยการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 แล้วขัดละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 9, 6, 3, 1 และ  $\frac{1}{4}$  ไมครอน ตามลำดับ จากนั้นล้างคราบสกปรกด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้ง แล้วกัดผิวชิ้นงานด้วยสารละลาย  $H_2O_2$  50% +  $NH_4OH$  25% +  $H_2O$  25% โดยปริมาตร ประมาณ 10-30 วินาที

3.5.1.2 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แล้วถ่ายรูปรูปโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายขนาด 100, 200 และ 500 เท่า

3.5.1.3 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) พร้อมกับตรวจสอบปริมาณของธาตุผสมในเฟสหรือโครงสร้างที่พบด้วย EDX เพื่อหาชนิดของเฟส

#### 3.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุเงินและทองแดง ด้วยเครื่องมือ Atomic Absorption Spectroscopy

3.5.2.1 ชั่งตัวอย่างไว้ปริมาณ 0.3 กรัม ละลายในกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 10 มิลลิลิตร

3.5.2.2 ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จนละลายหมด แล้วไล่ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) ออกให้หมดจากนั้นผสมน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร

3.5.2.3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณของ ทองแดง ซิลิคอน และแคลเซียม โดยนำไปเผาด้วย Air-acetylene โดยใช้ความร้อนประมาณ  $6000\text{ }^{\circ}C$  เพื่อให้สารทดสอบเกิดการแตกตัวเป็นอะตอม แล้วทำการกระตุ้นอะตอมให้เข้าสู่สภาวะ Excited state เพื่อให้เกิดการคายพลังงานออก

3.5.2.4 วัดค่าพลังงานที่คายออกมาเทียบกับตอนเริ่มต้น จะทำให้ทราบพลังงานส่วนที่ถูกดูดกลืนไป แล้วนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐานของเครื่องมือ จะทำให้ทราบว่าชิ้นงานที่นำมาทดสอบมีส่วนผสมของโลหะที่ต้องการทราบเป็นปริมาณเท่าใด

### 3.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุแคลเซียมและซิลิคอนด้วยเครื่องมือ ICP

ทำการส่งชิ้นตัวอย่างทดสอบไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุแคลเซียมและซิลิคอน ที่ศูนย์พัฒนาอณูมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (มหาชน) ด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma (ICP)

การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุด้วยวิธี ICP ทำได้โดย

3.5.3.1 ชั่งตัวอย่างไว้ปริมาณ 0.3 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 10 มิลลิลิตร

3.5.3.2 ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จนละลายจากนั้นผสมน้ำให้ได้ปริมาตรรวม 50 มิลลิลิตร

3.5.3.3 จากนั้นทำการวิเคราะห์สารละลายโดยสารละลายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นละอองแล้วถูกพาเข้าพลาสมาของ ICP torch ซึ่งสารละลายจะแห้งเป็นไอกลายเป็นอะตอมแล้วเกิดการกระตุ้น อะตอมที่ถูกกระตุ้นจะเปล่งแสงซึ่งมีลักษณะเฉพาะออกมา

3.5.3.4 แสงที่เกิดขึ้นจะผ่านเข้าไปในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อแยกเอาเฉพาะแสงที่ต้องการวัดที่ความยาวคลื่นที่ต้องการ แล้วให้แสงดังกล่าวตกลงบนดีเทคเตอร์เพื่อวัดออกมาเป็นสัญญาณซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นได้

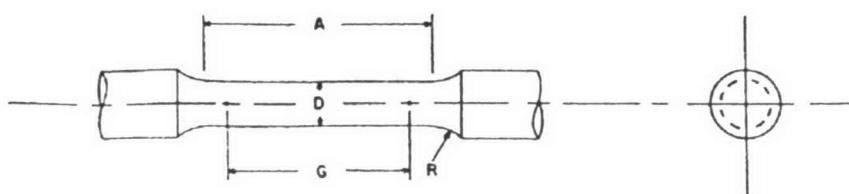
### 3.5.4 การตรวจวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

3.5.4.1 ชัดชิ้นงานให้ได้ระนาบและขนานกันทั้ง 2 ด้านกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 1200 แล้วขัดให้ละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 3, 1 และ 1/4 ไมครอนตามลำดับ

3.5.4.2 วัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ ตามมาตรฐาน ASTM E 92-82 [21] ด้วยน้ำหนักกด 1 กิโลกรัม วัดระยะอินเดนท์ทั้ง 2 แกนโดยเครื่องจะคำนวณค่าความแข็งเป็นหน่วยวิกเกอร์ (HV) ในการวัดให้วัดตามหน้าตัดขวางของชิ้นงาน ห่างจากด้านริมของชิ้นงาน 2 มิลลิเมตร และวัดรอยต่อไปห่างจากรอยแรกทุกๆ 2 มิลลิเมตร จำนวนทั้งหมด 5 รอย ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าความแข็งของชิ้นงานนั้นๆ ต่อไป

### 3.5.5 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

หล่อชิ้นงานให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M- 96 ดังรูปที่ 3.1



G – Gage length =  $20 \pm 0.1$  mm

D – Diameter =  $4.0 \pm 0.1$  mm

R – Radius of fillet = 4.0 mm

A – Length of reduced section = 24 mm

รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นทดสอบแรงดึง [22]

นำชิ้นทดสอบแรงดึงของแต่ละชุดส่วนผสมของเงินสเตอร์ลิง มาทำการทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าต่างๆ คือ ค่าแรงดึงสูงสุด ค่าแรงดึงที่จุดคราก และเปอร์เซ็นต์การเสียรูปหรือยืดตัวมาทำการเปรียบเทียบ วิเคราะห์และสรุปผล

### 3.5.6 การทดสอบความต้านทานการหมอง

3.5.6.1 ตัดชิ้นงานหล่อขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วขัดผ้าฝ้ายหน้าตัดทั้ง 2 ด้าน ด้วยกระดาษทราย เบอร์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ

3.5.6.2 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบ และวัดค่าความสว่าง L และค่าสี a, b ก่อนการทดสอบ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer GRET AG – SPM 50 มุม 2 องศา, D65A เพื่อนำไปคำนวณตามสมการ (2-5) ดังนี้คือ

$$DE^* = [(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2]^{1/2}$$

โดย  $L_1^*$ ,  $L_2^*$  คือ ค่าความสว่างของชิ้นงานก่อนและหลังทดสอบ

$a_1^*$ ,  $a_2^*$  คือ ค่าสีแดง-เขียว ของชิ้นงานก่อนและหลังทดสอบ

$b_1^*$ ,  $b_2^*$  คือ ค่าสีน้ำเงิน-เหลืองของชิ้นงานก่อนและหลังทดสอบ

3.5.6.3 แขนงชิ้นงานไว้เหนือสารละลายอิมมิตัวของโซเดียมซัลไฟต์ในภาชนะที่มีฝาปิดเป็นเวลา ½, 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง



3.5.6.4 นำชิ้นงานหลังการทดสอบการหมอง ไปชั่งน้ำหนัก แล้ววัดค่าความสว่าง และค่าสีของชิ้นงาน

3.5.6.5 นำค่าต่าง ๆ ได้มาคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชิ้นงานของแต่ละชุดตัวอย่างแล้วนำมาสรุปผล

### 3.5.7 การตรวจสอบสีผิวหลังจากการอบให้ความร้อน

3.5.5.1 นำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อที่เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้ง 12 ส่วนผสม มาเตรียมผิวโดยขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ ล้างน้ำด้วยแอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้ง

3.5.5.2 นำชิ้นงานไปอบในเตาที่สภาวะบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 °C เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ในแต่ละอุณหภูมิ

3.5.5.3 แล้วสังเกตดูสีผิวของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป ถ่ายภาพบันทึกผล

### 3.5.8 การทดสอบการกัดกร่อนของเงินสเตอร์ลิงที่ผสมซิลิคอนและแคลเซียม ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีโดยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิก (Potentiodynamic Technique)

3.5.8.1 เตรียมชิ้นงานโดยขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ล้างด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้ง เก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.8.2 ติดตั้งเครื่องโพเทนชิโอสแตทกับเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยชิ้นงานต่อกับขั้วไฟฟ้าโลหะทดสอบ (working electrode; WE) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode; RE) คือ ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) และขั้วไฟฟ้าวัดกระแส (counter electrode; CE) คือ แท่งแพลตตินัม (Pt rod) พร้อมทั้งจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ในสารละลายเพื่อวัดอุณหภูมิ

3.5.8.3 วัดเส้นโพลาริเซชันของชิ้นงาน [23] ในสารละลายที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปล่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลายจนอิ่มตัว โดยใช้อัตราการป้อนศักย์ไฟฟ้า (potential scanning rate) 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที พื้นที่ของโลหะทดสอบที่จุ่มในสารละลาย เท่ากับ 1.86 ตารางเซนติเมตร

3.5.8.4 หาค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_p$  และ  $I_{corr}$  จากเส้นโพลาริเซชันที่ได้ แล้วคำนวณหา ค่าอัตราการกัดกร่อน จากสูตรดังสมการ

$$CR = \frac{3272 \cdot I_{corr} \cdot EW}{d \cdot A} \quad (3-1)$$

เมื่อ

CR = corrosion rate (mm/year)

 $I_{corr}$  = corrosion current density (A)

EW = equivalent weight (g)

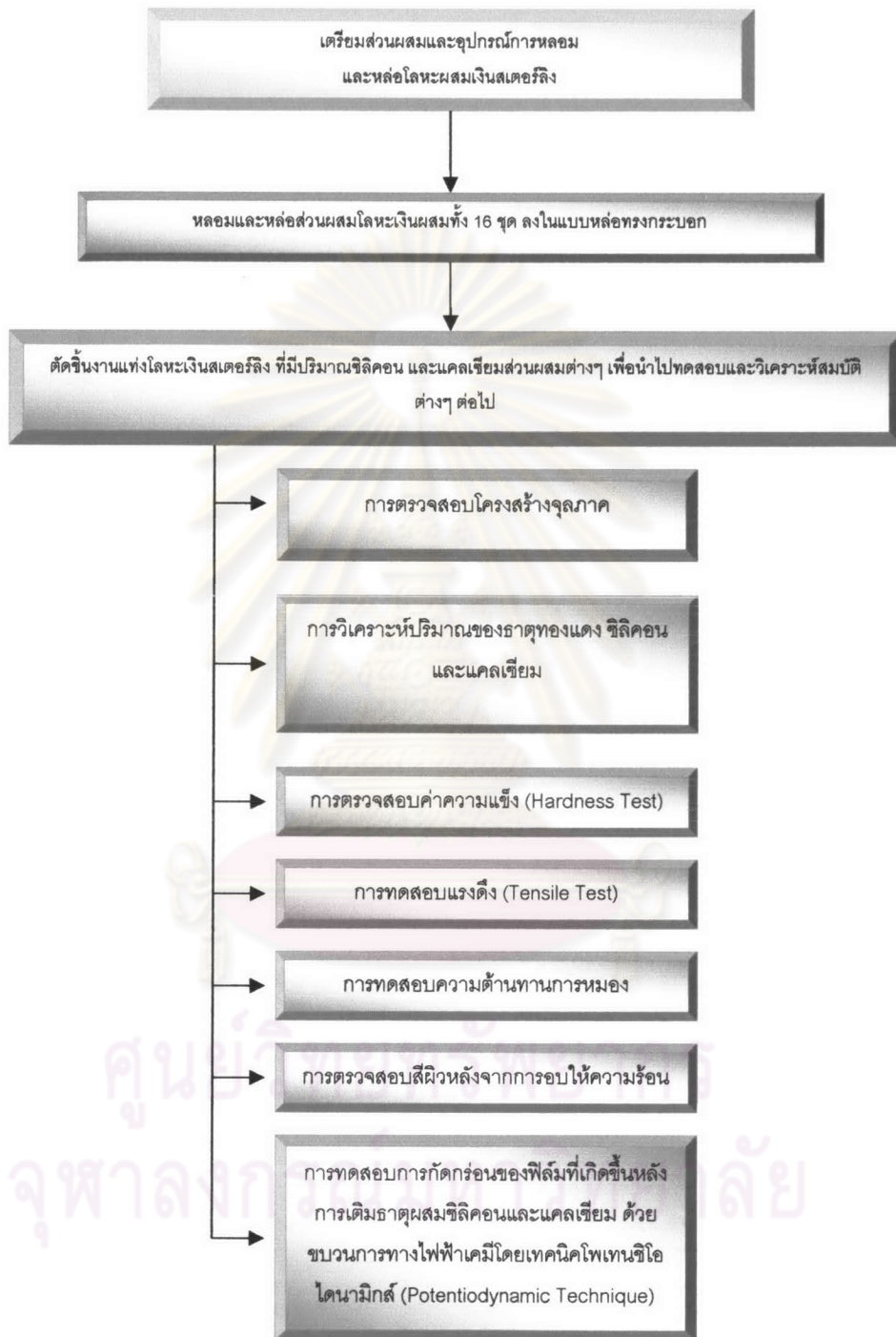
d = density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )A = surface area ( $\text{cm}^2$ )

### 3.5.8.5 วิจัยรณพฤตกรรมการกัดกร่อนของโลหะทดสอบและสรุปผล



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5.9 แผนภูมิกระบวนการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการทดลอง