

## บทที่ 3

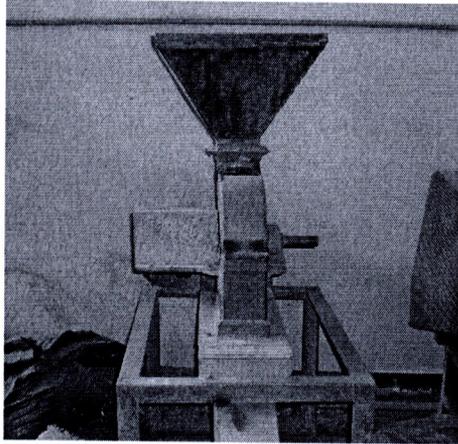
### เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุดิบ สารเคมี และวิธีทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง รุ่น ARB120 บริษัท Ohaus
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบแทนที่น้ำ 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 บริษัท Ohaus
3. เตาเผาไฟฟ้าของบริษัท KI Inter Kilns
4. เครื่องบดหยาบ ดังรูป 3.1
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น ID1000 บริษัท Index
6. เครื่องอัดขึ้นรูปของบริษัทสุเทพการธรณีสถาปาง
7. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) บริษัท Golden Seal
8. ตะแกรงร่อน (Sieve analysis) ขนาด 80, 140, 200 mesh บริษัท U.S.A Standard sieve และเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve shaker) รุ่น AS200 Basic บริษัท Retsch
9. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Laser particle size analyzer) รุ่น Mastersizer S บริษัท Malver
10. เครื่องเขย่าสาร (Shaker) รุ่น NB – 101MT บริษัท N – Biotek
11. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X – ray diffraction; XRD) รุ่น D8 Advance บริษัท Bruker (ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง)
12. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X – ray fluorescence; XRF) รุ่น Mesa – Soow บริษัท Horiba (ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง)
13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์ (Scanning electron microscope; SEM และ X – ray micro analysis) รุ่น JSM – 6335F บริษัท JEOL
14. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด (Bending strength) บริษัท Tokyo Testing Machine
15. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) รุ่น BX60M บริษัท Olympus

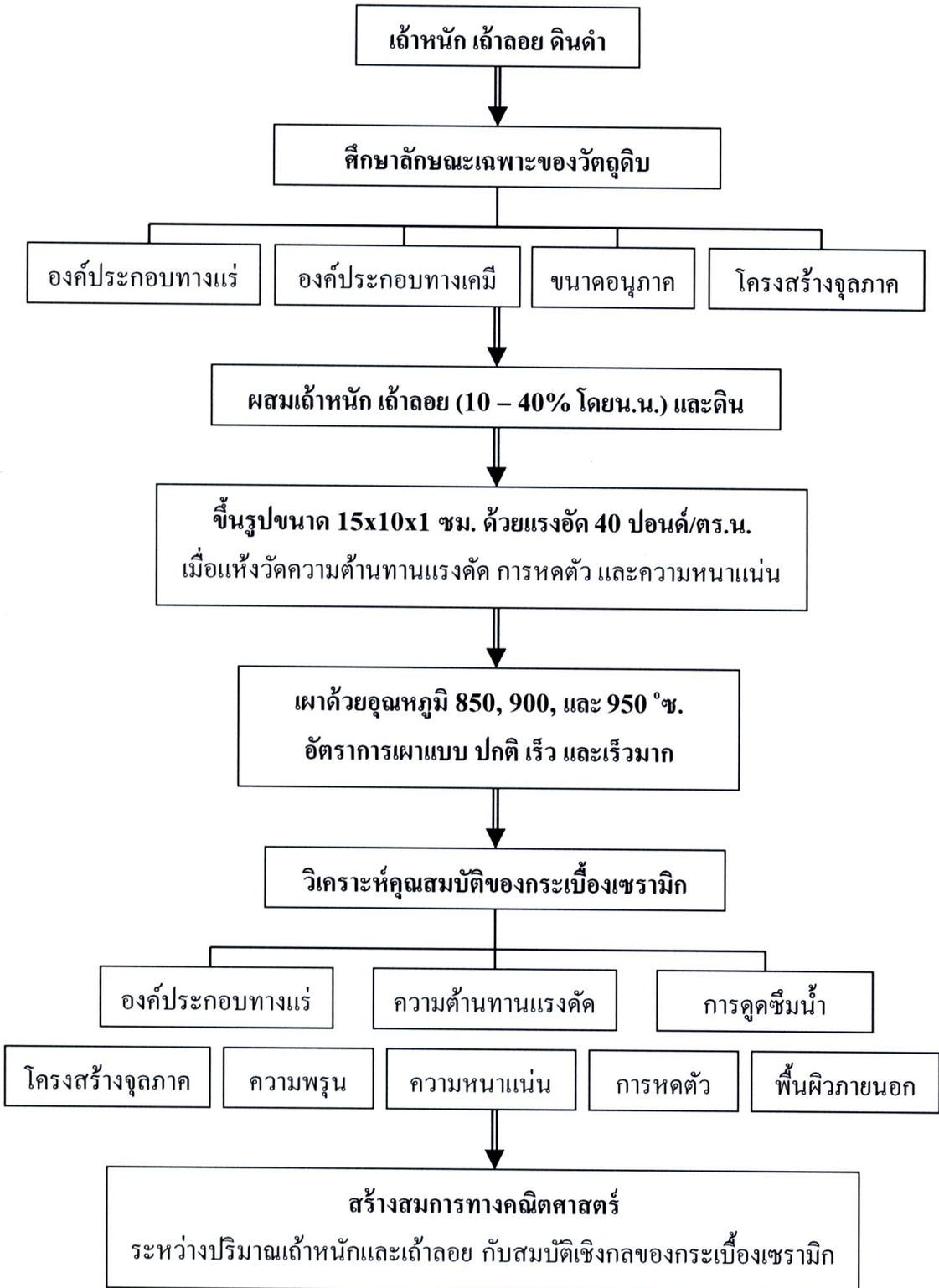
### 3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

1. ถ่านหินโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
2. ถ่านลอยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
3. ดินดำแมริม จากบริษัทกระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์ อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 3.1 เครื่องบดหยาบ (Hammer mill)

3.3 วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนภาพกระบวนการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้

### 3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้วัตถุดิบซึ่งได้แก่ ถั่วเหลืองและถั่วลันเตา จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของเตาเผาหมายเลข 13 โดยเก็บในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552 และดินค้ำแมริมจากโรงงาน กระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์ จังหวัดเชียงใหม่

ถั่วเหลือง อบที่อุณหภูมิ 100 °ซ. เป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงนำไปบดโดยใช้เครื่องบดหยาบ  
ดินค้ำ ตากทิ้งไว้ 1 อาทิตย์ แล้วจึงนำไปบดโดยใช้เครื่องบดหยาบ

### 3.3.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ

วิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบในงานวิจัย ดังนี้

- 1) องค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน
- 2) องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรส
- 3) พิเศษด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

4) ขนาดอนุภาคด้วยการร่อนผ่านตะแกรงร่อนและเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

การวิเคราะห์ในข้อที่ 1 และ 2 ใช้ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และดินค้ำที่ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากนั้นจึงส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การวิเคราะห์ในข้อที่ 3 ใช้ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และดินค้ำ ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช 20 กรัม เติมน้ำกลั่น 40 มล. นำไปเขย่าในเครื่องเขย่าสารที่ความถี่ 50 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนจึงนำสารละลายที่ได้มาวัดค่า pH

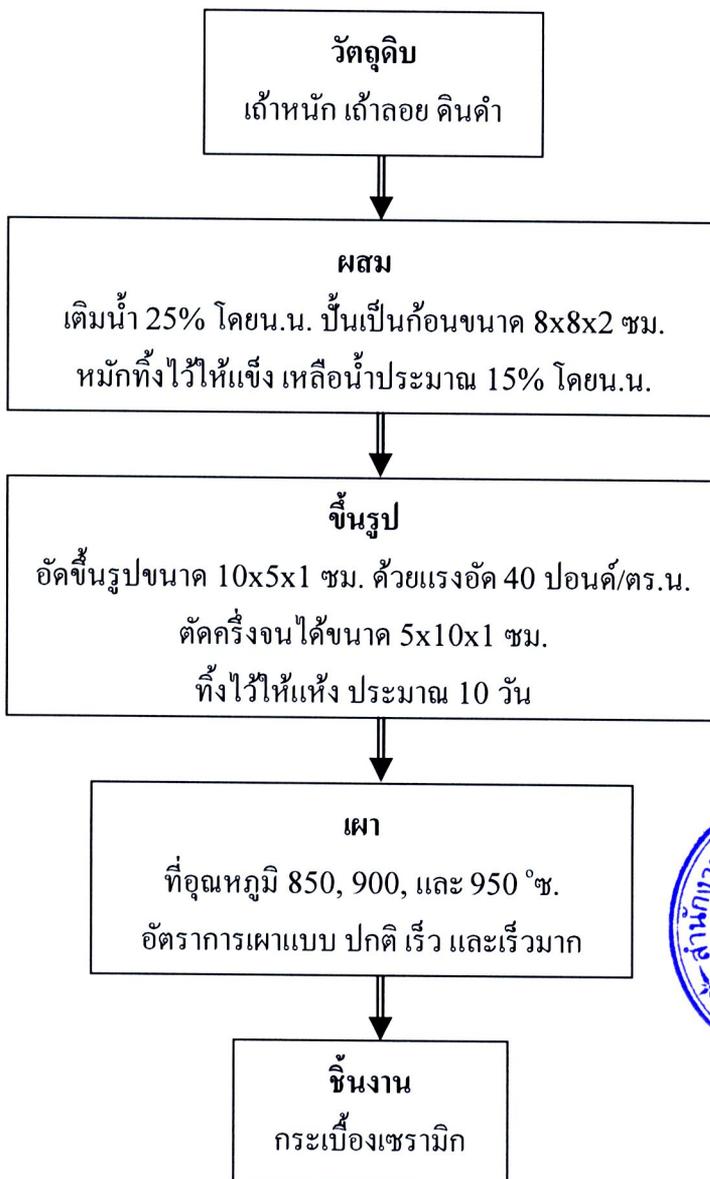
การวิเคราะห์ในข้อ 4 ใช้ถั่วเหลือง ถั่วลันเตา และดินค้ำ ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช, 140 เมช และ 200 เมช ด้วยเครื่องเขย่าตะแกรงร่อน เพื่อหาสัดส่วนในแต่ละช่วงขนาดอนุภาค จากนั้นจึงนำถั่วเหลืองที่ร่อนผ่านตะแกรง 140 เมช ถั่วลันเตาที่ร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช และดินค้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 เมช มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

5) โครงสร้างจุลภาคของถั่วเหลืองและถั่วลันเตา ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของงานวิจัยอื่น ที่ใช้ถั่วเหลืองและถั่วลันเตาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

### 3.3.3 การทำกระเบื้องเซรามิก

งานวิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำกระเบื้องเซรามิก คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก และเถ้าลอยต่อดิน อุดหนุมิการเผา และอัตราเร็วในการเผา โดยได้นำเถ้าหนัก และดิน ซึ่งผ่านการบดโดยใช้เครื่องบดหยาบ และเถ้าลอย มาผสมในอัตราส่วนต่างๆ โดยพิจารณาการผสมในอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแบบกึ่งเปียกได้ ดังแสดงในตาราง 3.1

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลการเผาของโรงงาน จึงทดลองเผาชิ้นงานที่อุดหนุมิและอัตราการเผา ดังแสดงในตาราง 3.2 โดยมีขั้นตอนการทำกระเบื้องเซรามิกดังรูป 3.2



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทำกระเบื้องเซรามิก

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุคืบโดยน้ำหนัก

วัสดุคืบ	อัตราส่วนของวัสดุคืบโดยน้ำหนัก (%)												
	100	80	60	40	20	50	50	50	50	80	60	40	20
ดิน	100	80	60	40	20	50	50	50	50	80	60	40	20
เถ้าหนัก	-	20	40	60	80	10	15	20	25	-	-	-	-
เถ้าลอย	-	-	-	-	-	40	35	30	25	20	40	60	80

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิและอัตราการเผา

อัตราการเผา	ช่วงที่ 1 (เผาเริ่มต้น)	ช่วงที่ 2 (เผา)
เร็วมาก	2 °ซ./นาทิตั้งไว้ 30 นาที	5 °ซ./นาทิตั้งไว้ 1.5 ชั่วโมง
เร็ว	2 °ซ./นาทิตั้งไว้ 30 นาที	3 °ซ./นาทิตั้งไว้ 1.5 ชั่วโมง
ปกติ	1 °ซ./นาทิตั้งไว้ 30 นาที	2 °ซ./นาทิตั้งไว้ 3 ชั่วโมง

ในอัตราการเผาแบบปกติจะเท่ากับของโรงงานกระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์ โดยในช่วงที่ 1 จะเผาจนถึงอุณหภูมิ 350 °ซ. ซึ่งเท่ากันในทุกๆ อัตราการเผา และส่วนช่วงที่ 2 โรงงานจะเผาจนถึงอุณหภูมิ 950 °ซ.

### 3.3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระเบื้องเซรามิก [1, 15, 31]

#### 1) ความต้านทานแรงคด (Bending strength)

การวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงคด ทำโดยวัดความกว้าง และความหนาของชิ้นงาน และวัดความกว้างของบารอง (Span length) ต่อจากนั้นจึงนำชิ้นงานมาวัดค่าด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงคด โดยค่าที่อ่านได้จากเครื่องมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kgf) ต้องนำมาคำนวณด้วยสมการ 3.1 ดังนี้ เพื่อปรับแก้ค่า

$$Y = 1.0448X + 5.719 \quad (R^2 = 0.9999) \quad (3.1)$$

เมื่อ Y คือ ค่าที่ปรับแก้ (กิโลกรัม)  
X คือ ค่าที่อ่านจากเครื่อง (กิโลกรัม)

ดังนี้

$$\text{ค่าความต้านทานแรงคัต} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (3.2)$$

เมื่อ F คือ แรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก (กิโลกรัม)  
L คือ ความกว้างของบารอง (Span length) (เซนติเมตร)  
b คือ ความกว้างของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (เซนติเมตร)  
d คือ ความหนาของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (เซนติเมตร)

## 2) การดูซึมน้ำ ความพรุน และความหนาแน่น

การวิเคราะห์ค่าการดูซึมน้ำ ความพรุน และความหนาแน่น ทำโดยอบชิ้นงานให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ. ประมาณ 1 วัน แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า จากนั้นจึงนำชิ้นงานมาแช่ในน้ำเดือดนาน 6 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นอีก 1 วัน เสร็จแล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักในน้ำด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบแทนที่น้ำ จากนั้นนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักที่ผิวให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า การวิเคราะห์ค่าคำนวณจากสมการที่ 3.3 – 3.6 ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของชิ้นงาน (V)} = \frac{W - S}{d} \quad (3.3)$$

$$\text{ร้อยละของความพรุนปรากฏ} = \frac{W - D}{V} \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{ร้อยละของการดูซึมน้ำ} = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (3.5)$$

$$\text{ความหนาแน่น (Bulk density)} = \frac{D}{V} \quad (3.6)$$

เมื่อ	W	คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในอากาศ (กรัม)
	S	คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในน้ำ (กรัม)
	D	คือ น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)
	V	คือ ปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	d	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

### 3) การหดตัว (Shrinkage)

การวิเคราะห์ค่าการหดตัว ทำโดยวัดความยาวของชิ้นงานหลังจากขึ้นรูปเสร็จ เมื่อแห้งก่อนที่จะเผา และชิ้นงานหลังเผา โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เพื่อหาค่าการหดตัวเมื่อแห้งเชิงเส้น การหดตัวหลังเผาเชิงเส้น และการหดตัวรวมเชิงเส้น ด้วยสมการที่ 3.7 – 3.9 ดังนี้

$$\text{ร้อยละการหดตัวเมื่อแห้งเชิงเส้น} = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100 \quad (3.7)$$

$$\text{ร้อยละการหดตัวหลังเผาเชิงเส้น} = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100 \quad (3.8)$$

$$\text{ร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้น} = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100 \quad (3.9)$$

เมื่อ	$L_p$	คือ ความยาวของแท่งทดสอบหลังขึ้นรูป (เซนติเมตร)
	$L_d$	คือ ความยาวของแท่งทดสอบเมื่อแห้ง (เซนติเมตร)
	$L_f$	คือ ความยาวของแท่งทดสอบหลังเผา (เซนติเมตร)

### 4) องค์ประกอบทางแร่ (XRD)

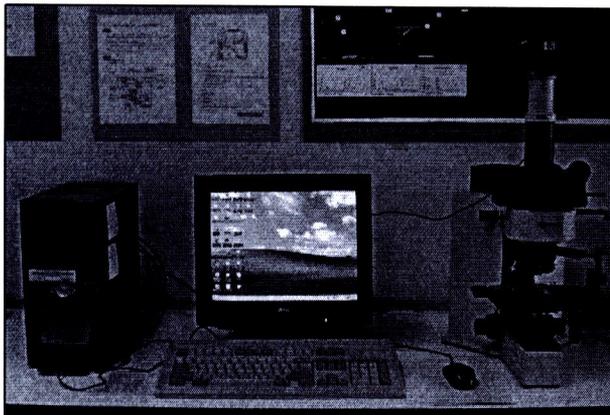
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ทำโดยนำชิ้นงานมาบด และร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากนั้นจึงส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

### 5) โครงสร้างจุลภาค (SEM)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ทำโดยนำชิ้นงานมาทาบจนได้ขนาด 3x8x1 มม. แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °ซ. ประมาณ 1 วัน เมื่อแห้งสนิทนำชิ้นทดสอบที่ได้วางบนแท่นกลม (Stub) ติดด้วยเทปกาวยโลหะ (Carbon paste) จากนั้นนำไปฉาบทองด้วยเครื่อง Sputter coater เพื่อให้มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า แล้วจึงนำไปดูโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์ธาตุ (EDS) ด้วยเครื่อง X – ray microanalysis ซึ่งเลือกบริเวณวิเคราะห์แบบพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 1x1 ไมโครเมตร

### 6) พื้นผิวภายนอก

ในการวิเคราะห์พื้นผิวภายนอก ทำโดยนำชิ้นงานอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ. ประมาณ 1 วัน แล้วนำไปส่องดูพื้นผิวภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ต่อเข้ากับกล้องถ่ายรูป เพื่อบันทึกภาพ ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ต่อเข้ากับกล้องถ่ายรูป