

บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมี

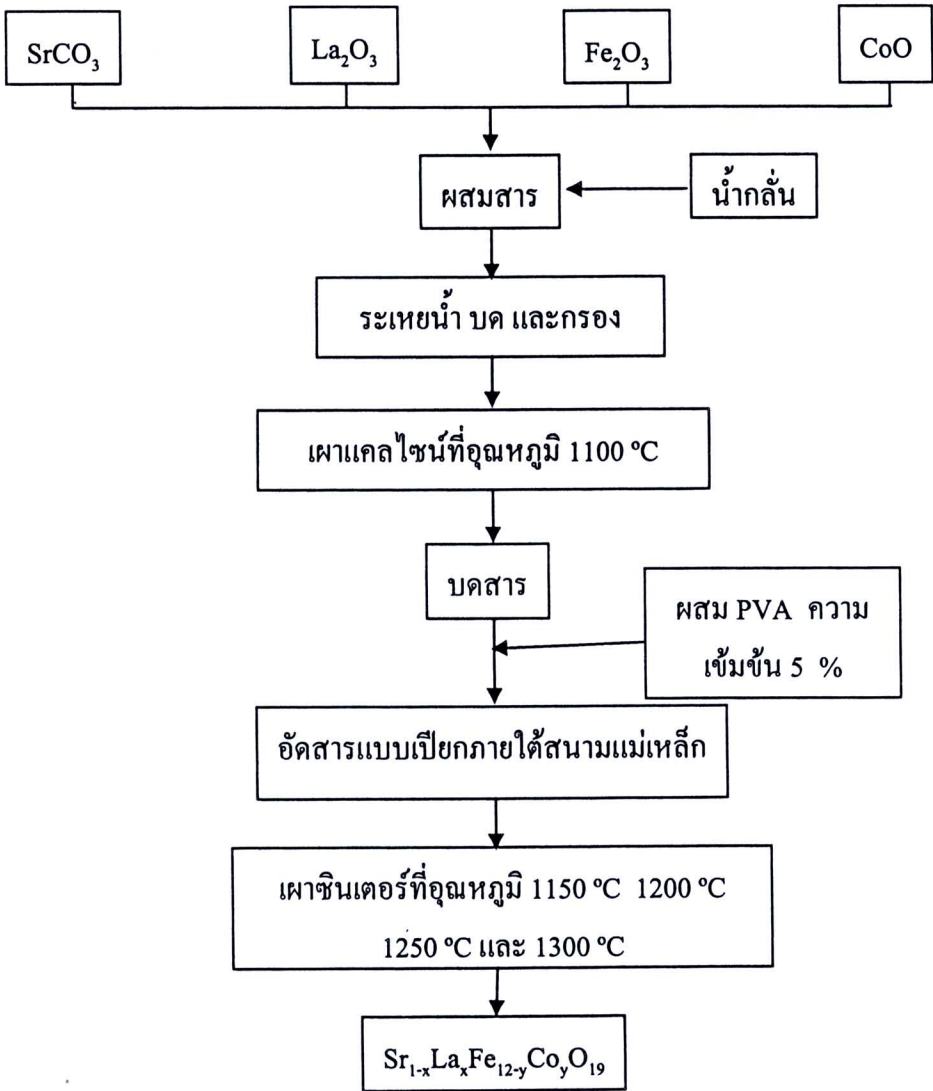
- 1) สตรอนเทียมคาบอร์เนต SrCO_3 99.9% (Aldrich)
- 2) เหล็กออกไซด์ Fe_2O_3 99% (Sigma-Aldrich)
- 3) โคบอลต์ออกไซด์ CoO -325 MESH (Aldrich)
- 4) แลนทานัมออกไซด์ La_2O_3 99.99% (Sigma-Aldrich)
- 5) Polyvinyl alcohol (PVA)
- 6) น้ำกลั่น

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

- 1) ช้อนตักสารและบีกเกอร์
- 2) เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius
- 3) เครื่องบดสาร ยี่ห้อ SPEX Certiprep รุ่น 8000-D Mixer MILL
- 4) เตาแผ่นความร้อน (hot plate)
- 5) เตาเผาสาร ยี่ห้อ CARBOLITE
- 6) เครื่องอัดสารภายใต้สนามแม่เหล็ก
- 7) เครื่องขัดชิ้นงานตัวอย่าง
- 8) เครื่องอัลตราโซนิก
- 9) เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAXIII
- 10) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1455VP
- 11) เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น ยี่ห้อ LakeShore รุ่น Model 7407
- 12) กระจกบดสาร
- 13) ผ้ากรอง ขนาดประมาณ 5 ไมครอน
- 14) ถ้วยเผาอะลูมินา
- 15) บล็อกอัดเม็ดสาร

3.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรต์ด้วยกระบวนการทางเซรามิกส์ เพื่อศึกษาผลของการเจือปนทานัมและโคบอลต์ตามสูตร $Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO_{19}$ โดยที่ $x = 0$ และ 0.2 ส่วน $y = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.8$ และ 1.0 และผลของอุณหภูมิในการเผาซินเตอร์ที่มีผลต่อโครงสร้าง และสภาพแม่เหล็กของสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรต์มีวิธีการทดลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรต์



3.4 การเตรียมสาร

ขั้นตอนการผสมสาร โดยจะคำนวณน้ำหนักของสารตั้งต้นแต่ละชนิด และนำมาผสมกันตามสูตรที่ต้องการ

ตัวอย่าง 1 การคำนวณส่วนผสมของ SrCO_3 (147.63 g/mol) และ Fe_2O_3 (159.69 g/mol) ตามสูตร $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (1,061.77 g/mol) โดยต้องการน้ำหนักของสารตั้งต้นรวมกันได้น้ำหนักประมาณ 10 กรัม (เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องบดสาร)

จากการคำนวณสัดส่วนโมล



$$\text{ต้องการ SrFe}_{12}\text{O}_{19} \text{ 10 กรัม จะได้ SrFe}_{12}\text{O}_{19} = \frac{10\text{g}}{1061.77\text{g/mol}} = 0.0094 \text{ mol}$$

ดังนั้นต้องใช้

$$\text{SrCO}_3 = 0.0094 \times 1 \text{ mol} \times 147.63 \text{ g/mol} = 1.3877 \text{ g}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.0094 \times 6 \text{ mol} \times 159.69 \text{ g/mol} = 9.0065 \text{ g}$$

ตัวอย่าง 2 การคำนวณส่วนผสมของ SrCO_3 , Fe_2O_3 และ La_2O_3 (325.82 g/mol) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามสูตร $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ เมื่อ $x = 0.2$ โดยต้องการน้ำหนักของสารตั้งต้นรวมกันได้น้ำหนักประมาณ 10 กรัม

จากการคำนวณสัดส่วนโมล

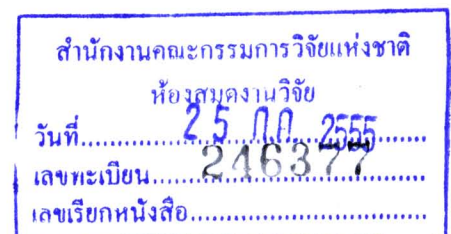


ดังนั้นต้องใช้

$$\text{SrCO}_3 = 0.0094 \times 0.8 \text{ mol} \times 147.63 \text{ g/mol} = 1.1102 \text{ g}$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.0094 \times 6 \text{ mol} \times 159.69 \text{ g/mol} = 9.0065 \text{ g}$$

$$\text{La}_2\text{O}_3 = 0.0094 \times 0.1 \text{ mol} \times 325.82 \text{ g/mol} = 0.3063 \text{ g}$$



ตัวอย่าง 3 การคำนวณส่วนผสมของ SrCO₃ Fe₂O₃ La₂O₃ และ CoO (74.93 g/mol) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามสูตร Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO₁₉ เมื่อ x = 0.2 ส่วน y = 0.1 โดยต้องการน้ำหนักของสารตั้งต้นรวมกันได้น้ำหนักประมาณ 10 กรัม



ดังนั้นต้องใช้

$$SrCO_3 = 0.0094 \times 0.8 \text{ mol} \times 147.63 \text{ g/mol} = 1.1102 \text{ g}$$
$$Fe_2O_3 = 0.0094 \times 5.95 \text{ mol} \times 159.69 \text{ g/mol} = 8.9315 \text{ g}$$
$$La_2O_3 = 0.0094 \times 0.1 \text{ mol} \times 325.82 \text{ g/mol} = 0.3063 \text{ g}$$
$$CoO = 0.0094 \times 0.1 \text{ mol} \times 74.93 \text{ g/mol} = 0.0704 \text{ g}$$

รายละเอียดปริมาณส่วนผสมของสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เจือเลนทานัมและโคบอลต์ในปริมาณต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนผสมของสารที่ใช้เตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ในอัตราส่วนต่างๆ

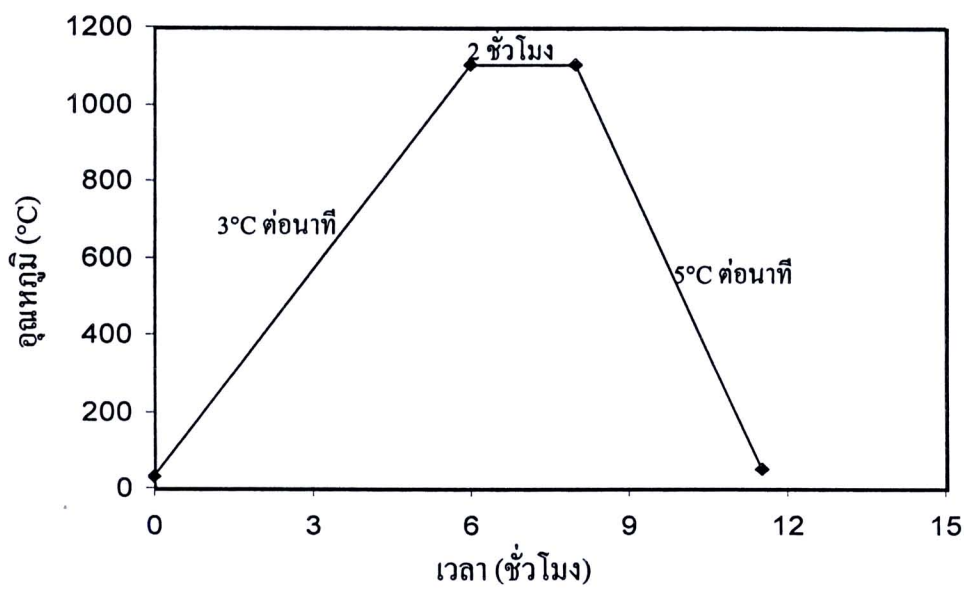
สูตรของสาร Sr _{1-x} La _x Fe _{12-y} Co _y O ₁₉		ปริมาณสารที่ใช้ (กรัม)			
x	y	SrCO ₃	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	CoO
0	0	1.3877	9.0065	-	-
0.2	0	1.1102	9.0065	0.3063	-
0.2	0.1	1.1102	8.9315	0.3063	0.0704
0.2	0.2	1.1102	8.8564	0.3063	0.1409
0.2	0.3	1.1102	8.7814	0.3063	0.2113
0.2	0.4	1.1102	8.7063	0.3063	0.2817
0.2	0.5	1.1102	8.6313	0.3063	0.3522
0.2	0.8	1.1102	8.4061	0.3063	0.5635
0.2	1.0	1.1102	8.2560	0.3063	0.7043

เมื่อคำนวณปริมาณที่ต้องใช้แล้ว จากนั้นจะนำสารที่ได้รับการชั่งน้ำหนักแล้วมาผสมกัน ลงใน กระบอกผสมสาร แล้วนำไปเข้าเครื่องบดสาร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.4.1 การเผาแคลไซน์ (Calcination)

เมื่อผสมสารในเครื่องบดสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว สารที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวข้นสีน้ำตาลแดง จากนั้นนำไปประเหยด้วยเตาแผ่นความร้อนอุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สารที่ได้จะแห้งแต่ยังจับตัวเป็นก้อนดังนั้นต้องนำไปบดด้วยครกบดให้ละเอียด แล้วนำไปกรองด้วยผ้ากรองขนาดของรูประมาณ 5 ไมครอน ผงที่ได้จากการกรองจะนำไปสู่ขั้นตอนเผาแคลไซน์

การเผาแคลไซน์เป็นกรรมวิธีการใช้ความร้อนสูงแต่ยังไม่ถึงอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ ในการทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิในการเผาแคลไซน์ 1100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในถ้วยเผาที่ทำจากอลูมินา โดยให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 3°C ต่อนาที และอัตราการลดลงของอุณหภูมิเป็น 5°C ต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.2

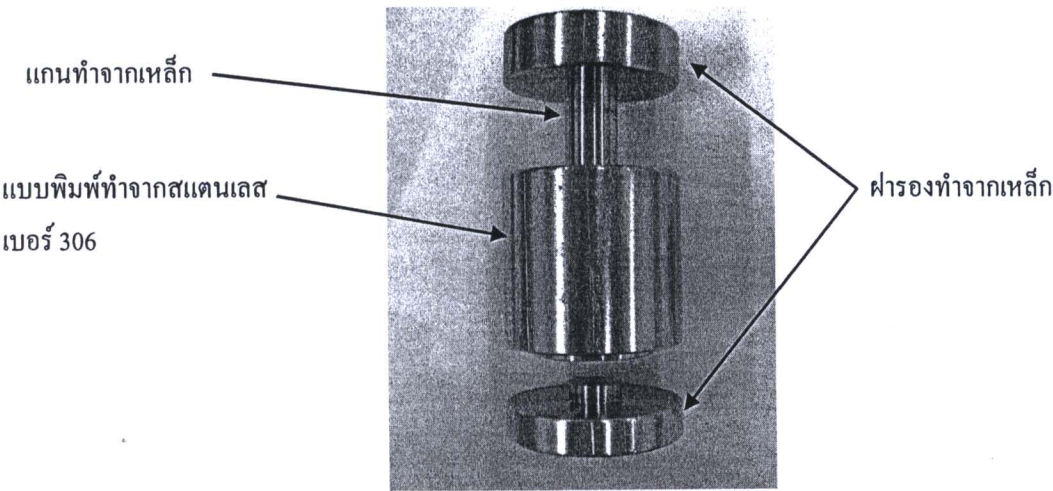


รูปที่ 3.2 อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิการเผาแคลไซน์

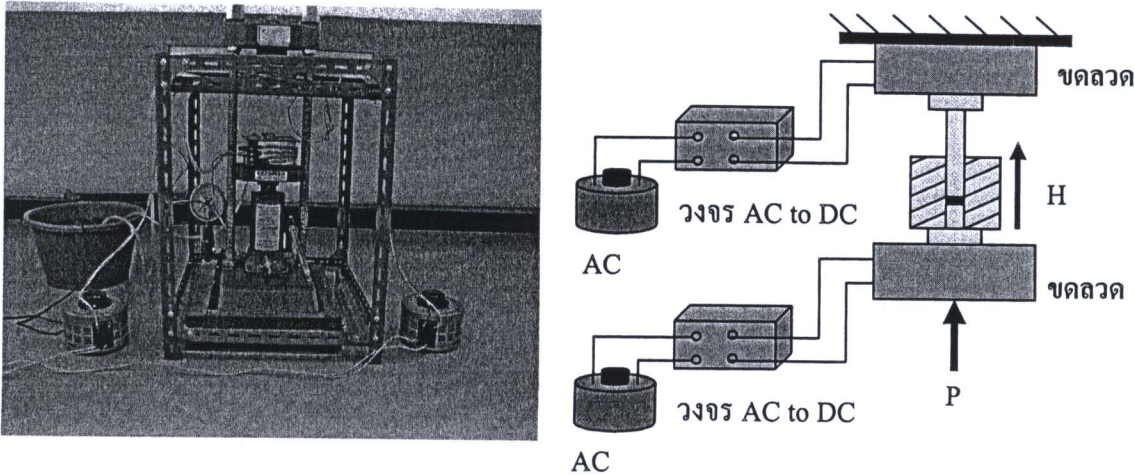
3.4.2 การอัดขึ้นรูป

ผงที่ได้จากการเผาแคลไซน์จะถูกนำมาบดอีกครั้งด้วยครกบดเพื่อทำให้ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กจากนั้นจะนำสารที่บดแล้วข้างต้นไปสู่ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปต่อไป

ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเป็นการเพิ่มแรงยึดเกาะของอะตอมของสารที่อยู่ลักษณะเป็นผงให้สามารถจับตัวกันอยู่เป็นรูปทรง ในการทดลองนี้ต้องการอัดขึ้นรูปสารให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกคล้ายเม็ดยา โดยในการทดลองต้องการจัดให้แกน easy ซีไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นในการอัดขึ้นรูปสารต้องใช้กระบวนการอัดแบบเปียกภายใต้สนามแม่เหล็ก โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรกจะนำสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่ผ่านการเผาแคลไซน์และนำมาบดแล้วมาผสมกับ PVA ความเข้มข้น 5% โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาณ 25-32% ของน้ำหนักของสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์บดให้เข้ากัน จากนั้นจะนำสารที่ได้มาเทใส่แม่แบบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ดังในรูปที่ 3.3 ขั้นตอนต่อมาจะนำแม่แบบมาอัดภายใต้สนามแม่เหล็กเพื่อเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กมีทิศทางของแกน easy ทิศทางเดียวกัน โดยจะให้สนามแม่เหล็กจากขดลวดขดลวดเหนี่ยวนำที่อยู่ระหว่างแม่แบบดังรูปที่ 3.4 ขดลวดทั้งสองนี้จะมีแกนเหล็กตรงกลางขดลวดทำให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กขนาดความเข้ม 1.3 เทสลา ส่วนการอัดจะใช้แรงดันในการอัดขนาดประมาณ 1 เมตริกตัน



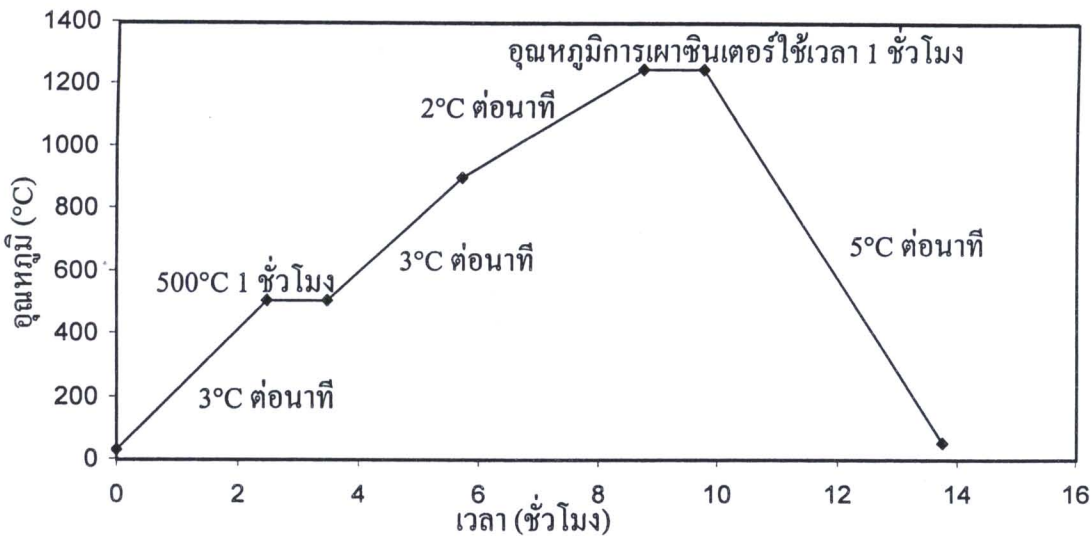
รูปที่ 3.3 แม่แบบในการอัดขึ้นรูปของสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ที่มีขดลวดเพื่อเป็นแหล่งจ่ายสนามแม่เหล็กให้กับชิ้นงาน

3.4.3 การเผาซินเตอร์

การเผาซินเตอร์เป็นกระบวนการที่ทำให้อะตอมของสารจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบและชิดกันมากขึ้น แต่ไม่เกิดการหลอมละลายเข้าด้วยกัน ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ความร้อนกับสารที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปจะสามารถคงรูป ซึ่งทำให้อยู่ในลักษณะเม็ดสารดังกล่าวอย่างแข็งแรง กล่าวคือ เมื่อให้อุณหภูมิสูงกับเม็ดสารตัวอย่างจะกระตุ้นให้อะตอมต่างๆ เกิดการแพร่เข้าหากัน ทำให้จุดสัมผัสที่ผิวของแต่ละอะตอมมีพื้นที่มากขึ้น เข้าใกล้กันมากขึ้น เม็ดสารที่ได้จากการอัด (Green body) จะถูกวางในถ้วยเผาทำจากอลูมินาแล้วนำเข้าสู่เตาเผาเพื่อนำไปเผาในขั้นตอนการเผาซินเตอร์ สำหรับการเผาซินเตอร์ในการทดลองนี้จะทำการเผาที่ อุณหภูมิ 1150°C 1200°C 1250 °C และ 1300°C ในอากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งในการเผาซินเตอร์จะใช้อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิการเผาซินเตอร์

ในรูปที่ 3.5 ขั้นแรกจะเพิ่มอุณหภูมิเตาจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 500°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผา 3°C ต่อนาที จากนั้นจะคงอุณหภูมิไว้ที่ 500°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อเผาไล่ PVA ต่อมาจะเพิ่มอุณหภูมิเตาจนถึงอุณหภูมิ 900°C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผา 3°C ต่อนาที จากนั้นเพื่อทำให้การเพิ่มอุณหภูมิของเตากับโปรแกรมที่ตั้งไว้ตรงกันมากที่สุด การเพิ่มจากอุณหภูมิ 900°C ถึงอุณหภูมิซินเตอร์จึงใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 2°C ต่อนาที จากนั้นจะคงอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิซินเตอร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้องด้วยอัตราการลดอุณหภูมิการเผาเป็น 5°C ต่อนาที

3.5 การทดสอบตัวอย่าง

เม็ดยาที่ผ่านการเผาซินเตอร์แล้วจะนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ คือ วัดความหนาแน่น ศึกษาโครงสร้างด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) วัดขนาดเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวัดสมบัติแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น (VSM)

3.5.1 การวัดความหนาแน่น

เม็ดยาที่ได้จากการเผาซินเตอร์จะถูกนำมาขัดให้เม็ดยามีความเรียบ จากนั้นนำเม็ดยาที่ขัดเสร็จไปล้างโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก และนำสารที่ได้ไปต้มภายใต้อุณหภูมิ 80°C เพื่อให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกในรูพรุนภายในเม็ดยา จากนั้นนำ เม็ดยาที่ต้มแล้วไปชั่งด้วยวิธีการชั่งในน้ำ จะได้น้ำหนักของสารที่ชั่งในน้ำ $W(\text{fl})$ จากนั้นนำสารที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เพื่อไล่น้ำออกจากภายในเม็ดยาเสร็จแล้วนำเม็ดยาที่ผ่าน การอบไปชั่งได้น้ำหนักของสารที่ชั่งในอากาศ $W(\text{a})$ และนำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาหาความหนาแน่นของเม็ดยา จากหลักการของอะคิมิดีสที่กล่าวว่า “ของแข็งที่จุ่มลงในของเหลวจะมีแรงของการลอยตัว (G) กระทำ ซึ่งแรงลอยตัวนี้จะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยของแข็งนั้น โดยปริมาตรของของแข็งที่จุ่มลงในของเหลว $V(\text{s})$ จะเท่ากับปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ $V(\text{fl})$ ”

$$\text{ความหนาแน่นหาได้จาก} \quad \rho = \frac{M(\text{g})}{V(\text{cm}^3)} \quad (3.1)$$

เมื่อ M คือ มวลของของแข็ง มีหน่วยเป็นกรัม (g)

V คือ ปริมาตรของของแข็ง มีหน่วย ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

ในการหาความหนาแน่นต้องทราบตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- 1) น้ำหนักที่อ่านค่าได้ในเครื่องชั่งของตัวอย่างที่ชั่งในอากาศ $W(a)$
- 2) แรงลอยตัวของของแข็งในของเหลว G โดยที่ $G = W(a) - W(f)$ เมื่อ $W(a)$ คือ น้ำหนัก ที่อ่านค่าได้ในเครื่องชั่งของของแข็งที่ถูกชั่งในอากาศ และ $W(f)$ คือ น้ำหนักที่อ่านค่าได้ในเครื่องชั่งของของแข็งที่ถูกชั่งในของเหลว

ความหนาแน่นของของแข็งในที่ถูกชั่งในอากาศ (ρ) หาได้จาก

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{W(a)}{V(s)g} = \frac{W(a)}{V(f)g} \quad (3.2)$$

เมื่อ $V(s)$ คือปริมาตรของวัตถุ

$V(f)$ คือปริมาตรของของเหลว

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ถ้ารู้ความหนาแน่นของของเหลว $\rho(f)$

$$V(f) = \frac{M(f)}{\rho(f)} \quad (3.3)$$

เนื่องจากแรงลอยตัวหาได้จาก

$$G = \rho V g \quad (3.4)$$

จากสมการที่ (3.3) และสมการที่ (3.4) จะได้สมการ

$$V(f) = \frac{G}{\rho(f)g} \quad (3.5)$$

เมื่อ $M = \rho V$

นำสมการ (3.5) แทนในสมการที่ (3.2)

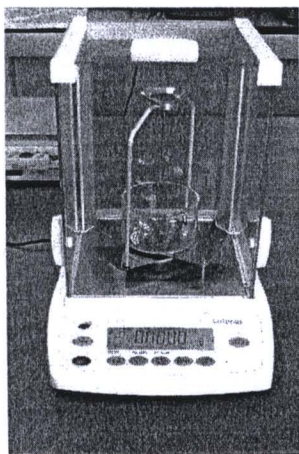
$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(f)}{G} \quad (3.6)$$

จะได้

$$\rho = \frac{W(a) \cdot \rho(f)}{W(a) - W(f)} \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.7) เป็นสมการที่จะนำไปใช้หาความหนาแน่นของสารต่อไป

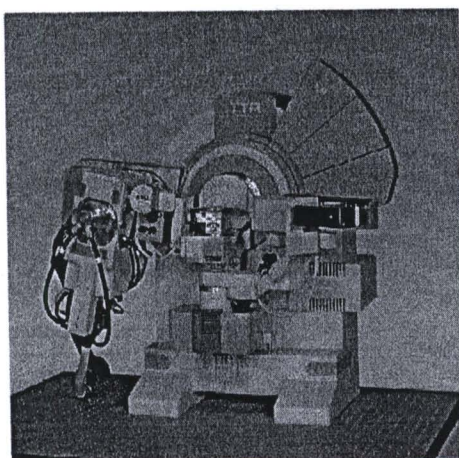




รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งความละเอียดตศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius

3.5.2 การศึกษาโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

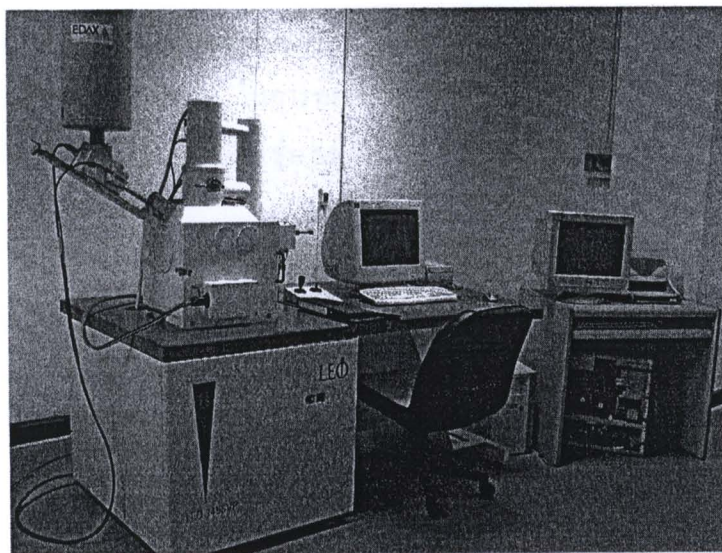
การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นเทคนิควิเคราะห์วัสดุพื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ โดยจะใช้เครื่องดิฟแฟรคโทมิเตอร์ทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ยี่ห้อ Rigaku การนำไปทดสอบจะต้องนำเม็ดสารที่ผ่านการเผาซินเตอร์แล้วไปขัดให้ผิวเรียบก่อนที่จะนำไปวัด ข้อมูลที่ได้จากเครื่องดิฟแฟรคโทมิเตอร์จะถูกบันทึกเป็นกราฟระหว่างมุม 2θ กับจำนวนสัญญาณที่เครื่องตรวจนับสัญญาณนับได้ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากได้ข้อมูลจากดิฟแฟรคโทมิเตอร์แล้ว จะนำกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตามมาตรฐาน JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Dstandard) เพื่อนำมาเปรียบเทียบโครงสร้างต่อไป ในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAXIII



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAXIII

3.5.3 การหาขนาดเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

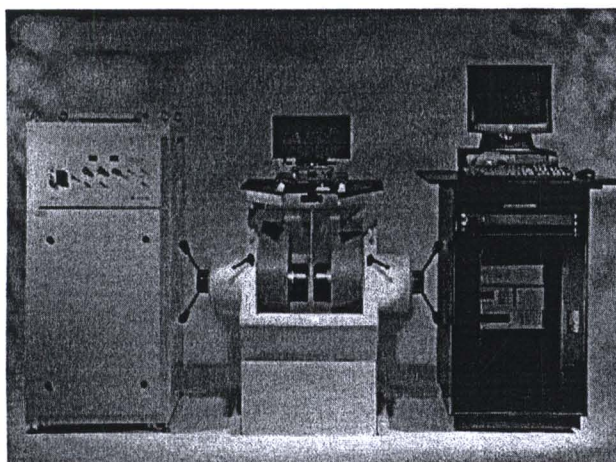
การศึกษาขนาดเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือ SEM การถ่ายภาพด้วย SEM วัสดุที่จะนำไปทดสอบต้องเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้า สารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรต์ตัวอย่างมีความเป็นฉนวน ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์ต้องนำเม็ดสารที่ผ่านการเผาซินเตอร์แล้วไปเคลือบผิวหน้าด้วยทองด้วยวิธีสปัตเตอริง เมื่อผ่านการถ่ายภาพที่กำลังขยายต่างๆ ต่อจากนั้นก็ให้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะและขนาดของเกรนที่เกิดขึ้นในปัจจัยการสังเคราะห์ต่างๆ



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1455VP

3.5.4 การศึกษาสมบัติแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น (VSM)

การศึกษาสมบัติแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น (VSM) ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะแสดงในรูปวงฮิสเทอรีซิส ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กภายนอก (H) กับแมกเนไทเซชัน (M) เนื่องจากการวัดด้วย VSM มีข้อจำกัดในการเตรียมชิ้นสารนั้นคือสารที่จะวัดต้องมีลักษณะเป็นผง หรือถ้าต้องการวัดสภาพแม่เหล็กของตัวอย่างที่เป็นเม็ด ขนาดของเม็ดต้องมีขนาดเล็ก ขนาดโดยประมาณ คือ กว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร โดยในการวัดสภาพแม่เหล็กจะให้สนามแม่เหล็กภายนอกสูงสุด 10 kOe ข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาค่าแมกเนไทเซชันอิ่มตัว (Saturation magnetization) สภาพแม่เหล็กคงค้าง (remanence) ค่าสภาพลบถ้างแม่เหล็ก และรูปร่างของวงฮิสเทอรีซิส ในการทดสอบนี้จะใช้เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น ยี่ห้อ LakeShore รุ่น Model 7407 ดังแสดงรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น (VSM) ยี่ห้อ LakeShore รุ่น Model 7407