

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอผลที่ได้จากการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมสารตัวอย่าง การตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธีต่างๆ การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า ตลอดจนการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ในแง่มุมต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 การตรวจวิเคราะห์ผลละเอียดของสารตัวอย่างด้วย XRD

ทิศของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction patterns) ที่ได้จากการนำสารตั้งต้นมาผสมกัน ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ คือ $0.8 \text{ BaCO}_3 + 0.2 \text{ SrCO}_3 + 1.01 \text{ TiO}_2 + 0.03 \text{ SiO}_2$ และผสมกับสารเชื้อ Sb_2O_3 0.003 โมล นำไปหมუნผสมสารแบบเปียกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำให้แห้งและนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ $10^\circ\text{C} / \text{นาที่}$ หลังจากการเผาแคลไซน์ นำไปหมუნผสมสารเพิ่มเติมด้วยเวลา ดังนี้ คือ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.1

เมื่อนำค่า d-spacing ของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทุกสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์เทียบกับค่า d-spacing ใน JCPDS files no. 44-0093 ของแบเรียม - สทรอนเชียม ดิตาเนต ($\text{Ba}_{0.77}\text{Sr}_{0.23}\text{TiO}_3$) เนื่องจากมีสัดส่วนของแบเรียมและสทรอนเชียมใกล้เคียงกัน พบว่าสารตัวอย่างมีค่า d-spacing สอดคล้องกับค่า d-spacing ของแบเรียม - สทรอนเชียม ดิตาเนต ที่อยู่ใน JCPDS files no. 44-0093 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเตตระโกนอล โดยมีค่า d-spacing หลักเรียงตามลำดับความเข้ม ดังนี้ คือ 2.8162, 1.6246, 1.9885, 2.2983 และ 3.977

จากการตรวจสอบทิศของ XRD ทั้งหมดที่ได้ พบว่าในทุกสารตัวอย่างจะให้ทิศที่มีลักษณะเหมือนกัน และมีทิศของสารปนเปื้อนหรือเกิดการฟอร์มตัวเป็นเฟสอื่นเหมือนกันทุกกรณี ปรากฏออกมาด้วย โดยทิศดังกล่าวมีค่า d-spacing ประมาณ 3.288, 3.118 และ 3.056

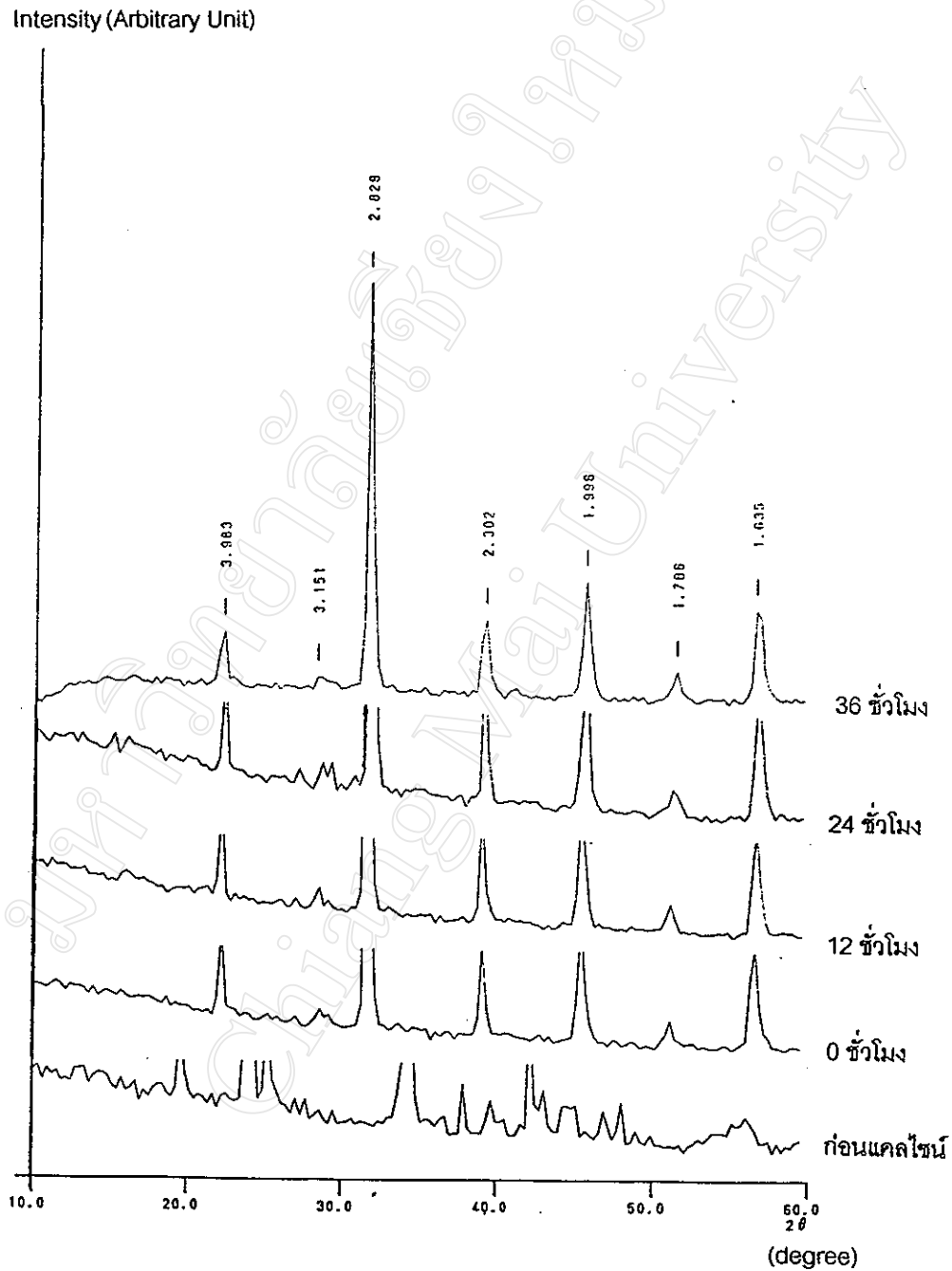
เมื่อนำค่า d-spacing ของเฟสปนเปื้อนไปเปรียบเทียบกับค่า d-spacing ของสารต่างๆ ใน JCPDS-files พบว่าค่า d-spacing ที่มีค่าประมาณ 3.118 ของเฟสปนเปื้อนจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า d-spacing ประมาณ 3.121 (ที่ $1/\lambda = 100$) โดยพบว่าเป็นเฟสของ Ba_2TiO_4 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโมโนคลินิค โดยมีค่า d-spacing หลัก ๆ เรียงตามค่าความเข้มจากมากไปหาน้อยดังนี้ 3.121, 3.052 และ 3.101 ตามลำดับ

สำหรับค่า d-spacing ของเฟสปนเปื้อนที่มีค่า 3.056 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า d-spacing ประมาณ 3.05 (ที่ $1/l, = 80$) โดยพบว่ามี 3 เฟสที่ให้ค่า d-spacing ใกล้เคียงกับ 3.056 คือ Ba_2TiO_4 , $Ba_2Ti_9O_{20}$ และ $Ba_6Ti_{17}O_{40}$ แต่จากการพิจารณาเฟสไดอะแกรมของระบบ $BaO-TiO_2$ เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของ TiO_2 มากกว่าและต่ำกว่า 50 ร้อยละโดยโมลเล็กน้อย พบว่าเฟสปนเปื้อนที่อาจเกิดร่วมกับเฟสของ $BaTiO_3$ ได้แก่ Ba_2TiO_4 สำหรับ TiO_2 น้อยกว่า 50 ร้อยละโดยโมล และ $Ba_6Ti_{17}O_{40}$ สำหรับ TiO_2 ที่มากกว่า 50 ร้อยละโดยโมล ดังนั้นเฟสปนเปื้อนที่เกิดขึ้นสำหรับค่า d-spacing ที่มี 3.056 นี้ น่าจะเป็น $Ba_6Ti_{17}O_{40}$

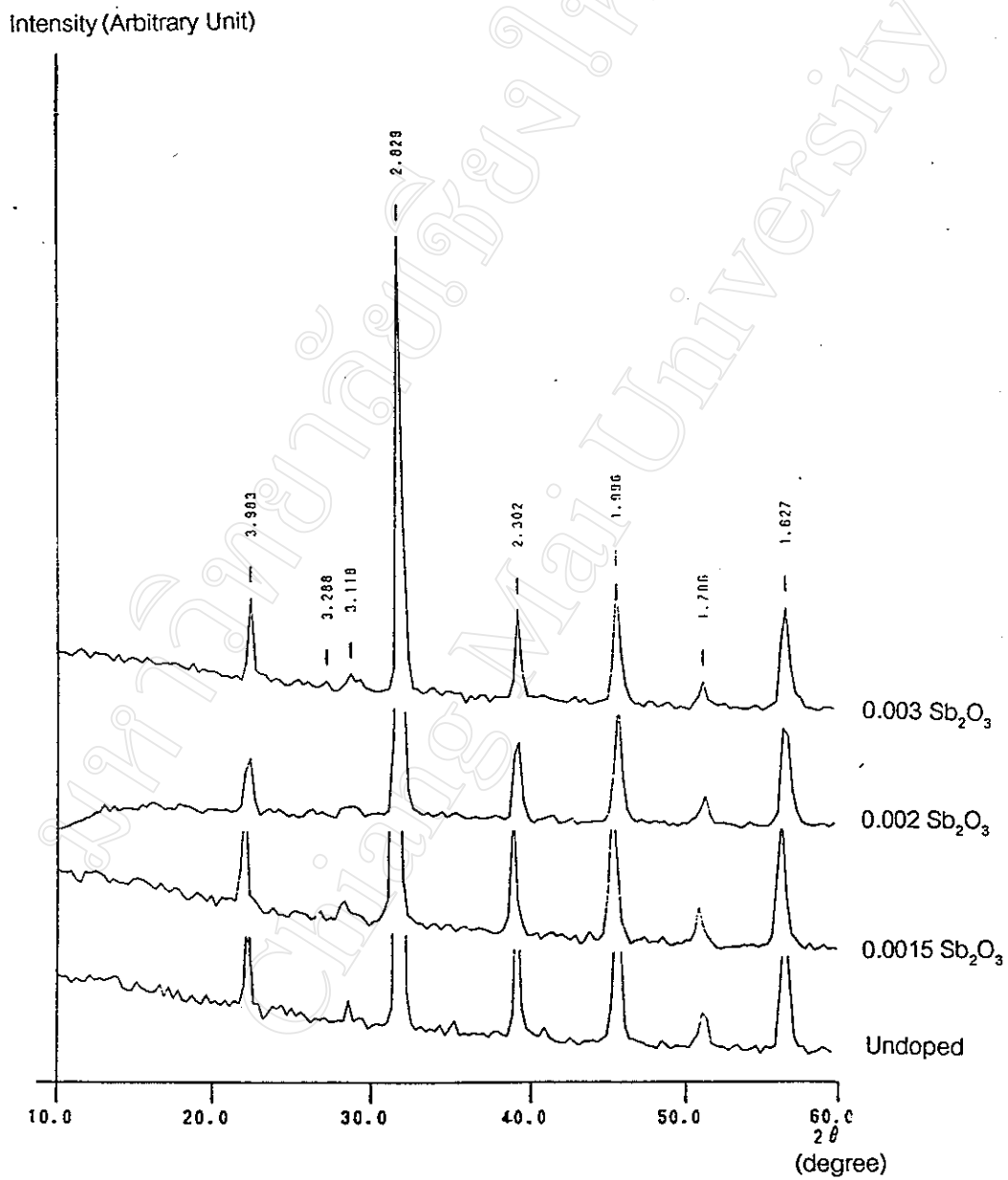
สำหรับค่า d-spacing ของเฟสปนเปื้อนที่มีค่า 3.288 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่า d-spacing ประมาณ 3.218 (ที่ $1/l, = 100$) ของ Sb_2O_3 ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์สารตั้งต้น Sb_2O_3 ตัวนี้ด้วย XRD ดังแสดงในรูป ก.4 โดยมีค่า d-spacing หลัก เรียงตามความเข้มจากมากไปหาน้อย ดังนี้คือ 3.22, 2.79 และ 6.44 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้สำหรับเฟสปนเปื้อนที่มีค่า d-spacing 3.288 นี้ อาจจะไม่ใช่เฟสของ Sb_2O_3 ก็ได้ เนื่องจากมีค่า d-spacing ต่างกันอยู่ประมาณ 0.6 อีกทั้งเป็นขีดจำกัดของเครื่องเอกซเรย์ที่ไม่สามารถตรวจจับสารที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้ เพราะส่วนใหญ่แล้วสารที่เป็นสารเจือมักจะตรวจจับไม่ได้ด้วยเครื่องเอกซเรย์ ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นไปได้ที่จะพบเฟสของ Sb_2O_3 โดยฟีดที่เกิดขึ้นอาจเป็นเฟสอื่น (Unknown phase) ที่ไม่รู้จักหรืออาจฟอร์มเป็นตัวอื่นที่ผู้ทำการวิจัยคาดไปไม่ถึงก็อาจเป็นไปได้

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่ต่างกันคือ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง นั้นไม่ได้ทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า d-spacing แต่อย่างใด โดยพบว่ามีค่า d-spacing ที่ได้ของสารตัวอย่างที่ทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับสารตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ (0 ชั่วโมง)

จากรูปที่ 4.2 แสดงฟีดของ XRD ของสารตัวอย่างเมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0, 0.0015, 0.002 และ 0.003 โมล จะได้ว่า การเจือด้วยปริมาณ Sb_2O_3 ที่มากขึ้น ค่า d-spacing ที่ได้ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่า d-spacing ของสารตัวอย่างที่ไม่มีสารเจือ (undoped) แต่มีเฟสปนเปื้อนที่มีค่า d-spacing ประมาณ 3.288 เกิดขึ้น แต่สำหรับสารที่ไม่มีสารเจือ (0 โมล) จะไม่เกิดฟีดของเฟสปนเปื้อนที่มีค่า d-spacing 3.288 เหมือนที่เกิดกับสารตัวอย่างที่มีการเจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ กัน



รูปที่ 4.1 XRD ของผงละเอียดของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาต่างกัน



รูปที่ 4.2 XRD ของผงละเอียดของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน และนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.2 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของผงละเอียดของสารตัวอย่างด้วย laser diffraction spectrometer

การตรวจวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของผงละเอียดของสารตัวอย่างด้วย laser diffraction spectrometer แสดงดังรูปที่ 4.3 - 4.9 พร้อมกับข้อมูลทางสถิติแสดงไว้ในภาคผนวก ดังตารางที่ ข.6 - ข.12

จากรูปที่ 4.3 - 4.9 จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารตัวอย่างทั้งหมดแสดงออกมาในรูปของกราฟแจกแจงความถี่ โดยแกน X มีสเกลเป็น log ของขนาดอนุภาคมีหน่วยเป็น μm และแกน Y แทนด้วยปริมาณของขนาดอนุภาคคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าตั้งแต่ 0-100% พร้อมกับมีข้อมูลทางสถิติที่เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ผลการตรวจสอบ ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ในการวิจัยนี้ได้เลือกเอาค่าสถิติบางค่ามาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean), ฐานนิยม (Mode) และ มัธยฐาน (Median) ค่าทางสถิติที่ได้เลือกไว้แสดงดังตัวอย่างที่ 4.1 และ 4.2

ตาราง 4.1 แสดงค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล แล้วทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการหมวนผสมสารหลังการแคลไซน์

เวลาในการหมวน ผสมสาร (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ย (μm)	ฐานนิยม (μm)	มัธยฐาน (μm)
0	3.913	0.157	0.669
12	2.052	2.450	2.012
24	1.920	2.3	1.864
36	7.65	0.157	0.997

ตาราง 4.2 ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ โดยวิธี laser diffraction spectrometer

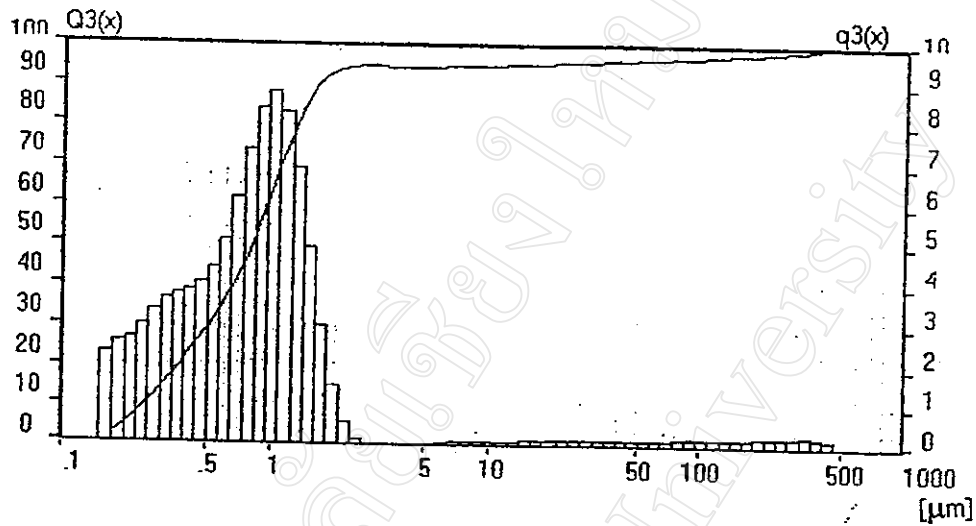
Sb_2O_3 (โมล)	ค่าเฉลี่ย (μm)	ฐานนิยม (μm)	มัธยฐาน (μm)
0.0	8.086	0.157	0.803
0.0015	5.858	0.157	1.208
0.002	5.351	0.157	1.573
0.003	3.913	0.157	0.669

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.1 จะได้ว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้เวลาในการหมวนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์มากขึ้น โดยจะมีค่า 3.913, 2.052 และ 1.920 μm สำหรับสารตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมวนผสมสาร 0, 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาสารตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมวนผสมสาร 36 ชั่วโมง พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคกลับมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากสารอาจเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่ม ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูป 4.9 สำหรับฐานนิยมนั้นพบว่า ค่าที่ได้ไม่แปรผันตามเวลาที่ใช้ในการหมวนผสมสารแต่อย่างใด กล่าวคือ มีค่า 0.157, 2.450, 2.3 และ 0.157 μm เมื่อใช้เวลาในการหมวนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่ามัธยฐาน ก็พบว่าไม่ได้สอดคล้องกับเวลาที่ใช้ในการหมวนผสมสาร เช่นเดียวกัน โดยมีค่า 0.669, 2.012, 1.864 และ 0.997 μm เมื่อใช้เวลาในการหมวนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ

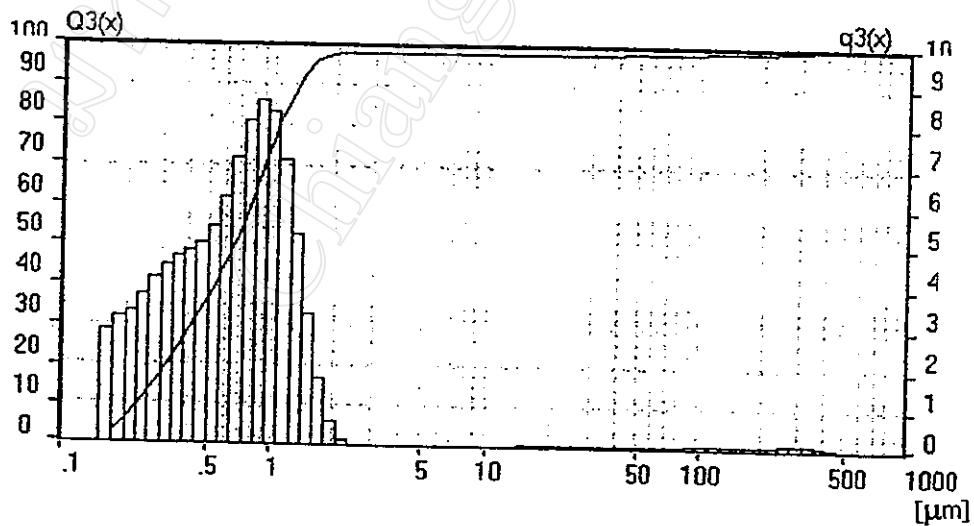
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Sb_2O_3 จากนั้นเมื่อพิจารณาค่าฐานนิยมซึ่งเป็นค่าของขนาดอนุภาคที่พบมากที่สุด พบว่ามีขนาดเท่ากันหมด คือมีค่าประมาณ 0.157 μm และจากการพิจารณาค่ามัธยฐานซึ่งเป็นค่าของขนาดอนุภาคที่อยู่ตรงกลางของขนาดอนุภาคทั้งหมด พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0, 0.0015 และ 0.002 โมล โดยมีค่าเป็น 0.803, 1.208 และ 1.573 μm แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของ Sb_2O_3 เป็น 0.003 โมล พบว่าค่ามัธยฐานกลับมีค่าลดลง โดยมีค่า 0.669 μm ซึ่งแสดงแนวโน้มของขนาดอนุภาคมีค่าลดลง อนุภาคขนาดเล็กมีมากขึ้น

ในการวิเคราะห์ข้อมูล นอกจากจะพิจารณาค่ากลางของข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของขนาดอนุภาคทั้งหมดแล้ว พบว่ายังมีองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ใช้วัดความแตกต่างของขนาดอนุภาคทั้งหมดของสารตัวอย่าง โดยจากกราฟที่แสดงดังรูปที่ 4.3 - 4.9 จะเห็นได้ว่าพีคของการกระจายตัวของข้อมูลส่วนใหญ่จะมี 2 พีค โดยทั่วไปนั้นข้อมูลที่กระจายตัวน้อยหรือกระจายตัวในช่วงแคบๆ เป็นการบ่งบอกว่าขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนข้อมูลที่มีการกระจายตัวของข้อมูลในช่วงกว้าง เป็นการบ่งบอกว่าขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างมีขนาดแตกต่างกันมาก จากกราฟในรูปที่ 4.3 , 4.4 , 4.5 , 4.6 และ 4.9 จะสังเกตได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลมี 2 ช่วง คือ ประมาณ $0.2 - 5 \mu\text{m}$ และประมาณมากกว่า $5 - 500 \mu\text{m}$ ทำให้สรุปได้ว่าอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนค่าขนาดอนุภาคในช่วง $5 - 500 \mu\text{m}$ นั้น น่าจะเกิดจากการจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มของอนุภาคที่ไม่แตกตัวในขณะที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบกับการควบคุมให้อนุภาคของสารตัวอย่างมีการแตกตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำได้ค่อนข้างยาก ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ขนาดของอนุภาคที่วัดได้คลาดเคลื่อนไป ตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่ทำให้ขนาดอนุภาคที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปคือ ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$ เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือนี้ คือไม่สามารถวัดขนาดที่เล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$ ได้ และปรากฏว่าในขณะที่ทำการวัดนั้นอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าที่เครื่องมือจะวัดได้ ซึ่งถ้าขนาดอนุภาคที่เล็ก ๆ นี้ มีจำนวนมากผู้วิจัยคิดว่าข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่ากลางทางสถิติมานั้น ก็ไม่อาจนำมาใช้เป็นตัวแทนของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างได้

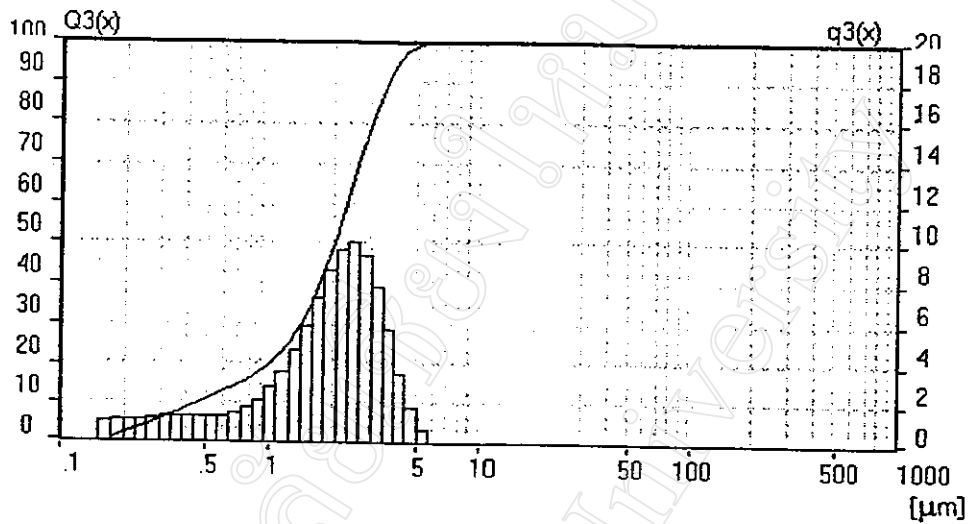
ซึ่งกราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาค แสดงตามลำดับดังนี้ คือ



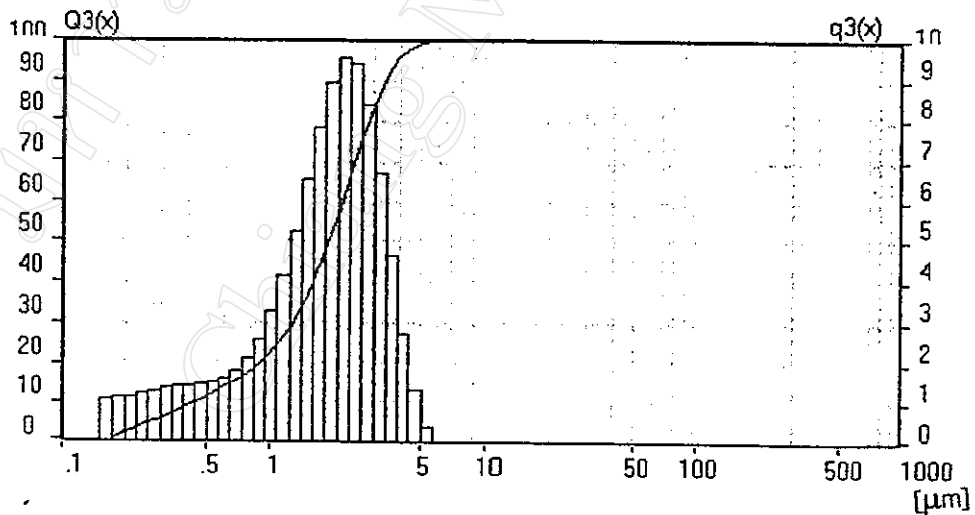
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่ไม่มีสารเจือ (Undoped)



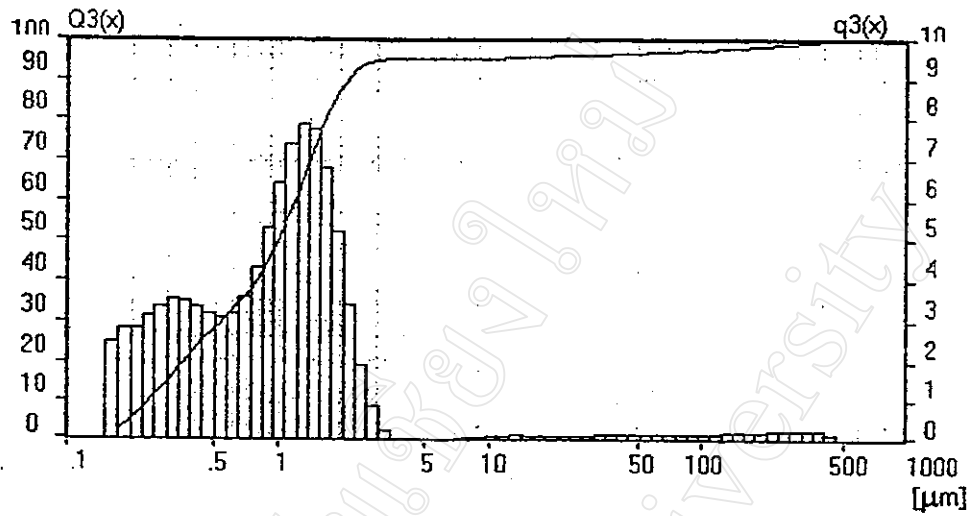
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และไม่ได้ทำการหมุนผสมสารเพิ่มเติมหลังการเผาแคลไซน์



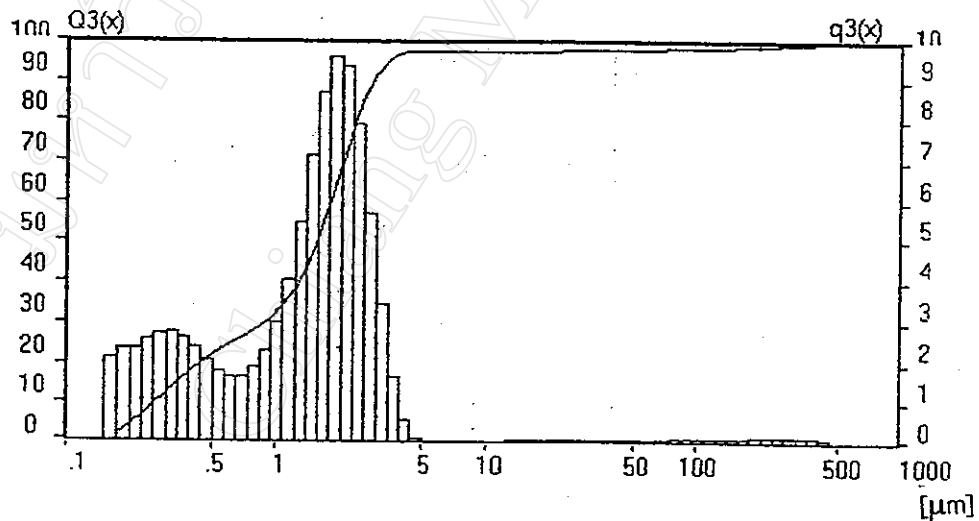
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ 12 ชั่วโมง



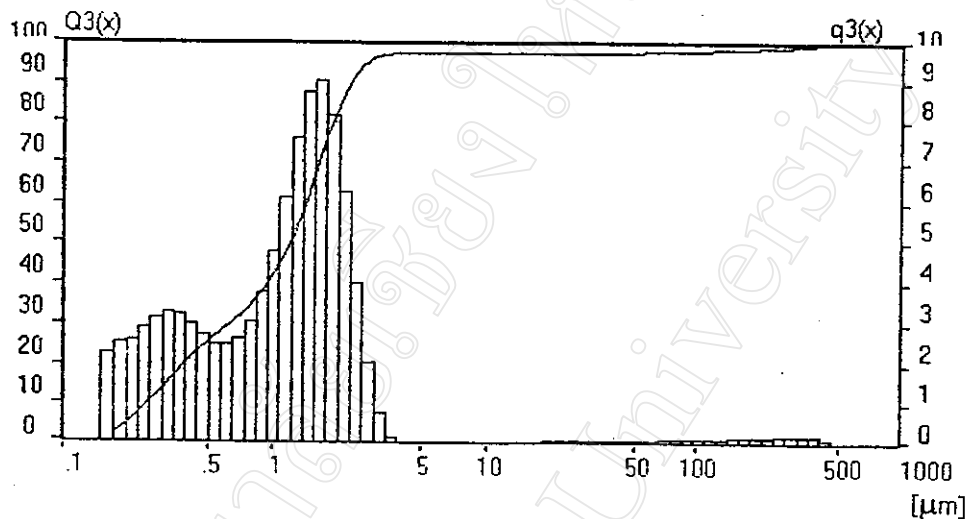
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ 36 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.002 โมล



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล

4.3 การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของเซรามิกที่เตรียมได้

เซรามิกที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีสมออกไซด์แบบดั้งเดิม โดยผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น – ลงของอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที และผ่านกระบวนการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิที่ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการขึ้น – ลงของอุณหภูมิ 5°C ต่อนาที สำหรับสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และหมุนผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์โดยใช้เวลา 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง โดยพบว่าหลังจากผ่านการเผาซินเตอร์แล้ว สารตัวอย่างจะกลายเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีสี ดังตารางที่ 4.3

เมื่อพิจารณาเซรามิกที่ได้จากการเจือด้วย Sb_2O_3 0.002 และ 0.0015 โมล และผ่านกระบวนการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น – ลงของอุณหภูมิ 5°C ต่อนาที จะมีสีดังตารางที่ 4.4

และเมื่อพิจารณาเซรามิกที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล และเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะให้สีดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 สีของสารตัวอย่างเมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการหมวนผสมสารหลังการแคลไซน์

ตัวที่	เวลาที่ใช้ในการหมวนผสมสาร (ชั่วโมง)	สีของสารตัวอย่าง	
		เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา	เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา
1	0	เทาแกมน้ำเงิน	สีเขียวอ่อน
2	12	เทาแกมน้ำเงิน	สีเขียวอ่อนแต่เข้มกว่าตัวที่ 1
3	24	เทาแกมน้ำเงิน	สีเขียวอ่อนแต่เข้มกว่าตัวที่ 2
4	36	เทาแกมน้ำเงิน	สีเขียวอ่อนแต่เข้มกว่าตัวที่ 3

ตารางที่ 4.4 สีของสารตัวอย่างเมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 ,0.002 และ 0.003 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Sb_2O_3 (โมล)	สีของสารตัวอย่าง	
	เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา	เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา
0	เทาแกมน้ำเงิน	เหลืองอ่อน
0.0015	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน
0.002	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน
0.003	เทาแกมน้ำเงิน	สีเขียวอ่อน

ตารางที่ 4.5 สีของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ ด้วยเวลาต่างกัน

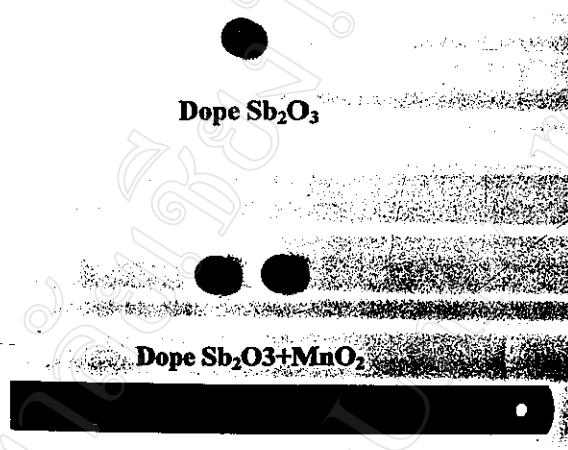
เวลาที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ (ชั่วโมง)	สีของสารตัวอย่าง	
	เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยอะลูมินา	เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยอะลูมินา
2	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน
4	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน
6	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน
8	เทาแกมน้ำเงิน	เทาแกมน้ำเงิน

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการหมუნผสมสารหลังการเผาแคลไซน์มีผลต่อสีของสารตัวอย่างเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ซึ่งจะมีเข้มขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลาในการหมუნผสมสารที่มากขึ้น และสำหรับสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ถึงแม้ว่าจะให้สีเทาแกมน้ำเงินเหมือนกัน แต่ความสม่ำเสมอจะมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการหมუნผสมสารมากขึ้น

สำหรับสีของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ปริมาณในปริมาณต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 นั้น พบว่า ปริมาณของสารเจือมีผลต่อสีของสารตัวอย่าง กล่าวคือตอนที่ยังไม่เติมสารเจือ (Undoped) สารตัวอย่างจะมีสีเหลืองอ่อน แต่เมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 และ 0.002 โมล สีของสารตัวอย่างจะเป็นสีเทาแกมน้ำเงิน และมีความสม่ำเสมอ แต่ถ้าพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่า สารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาจะให้สีสม่ำเสมอมากกว่าสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และเมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล ปรากฏว่าปริมาณสารเจือที่มากขึ้นนี้ส่งผลต่อสีของสารตัวอย่าง โดยสีของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล นี้ ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

และเมื่อพิจารณาสีของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลาต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 นั้น พบว่าเวลาที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ที่มากขึ้น คือ 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมงนั้น สารตัวอย่างยังคงให้สีเหมือนเดิมทุกประการ เหมือนกับเมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

โดยสีของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 สารตัวอย่างที่เตรียมได้เมื่อเจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล

4.4 การตรวจวิเคราะห์เซรามิกที่เตรียมได้ด้วย XRD

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เป็นการตรวจสอบว่าสารที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์มาแล้ว เป็นสารต้องการหรือไม่ และมีเฟสปนเปื้อนเกิดขึ้นเพิ่มเติมหรือลดลงจากเดิมที่ได้ตรวจวิเคราะห์ไว้ตอนผ่านการเผาแคลไซน์ ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1

พิกของการเลี้ยวของเอ็กซ์เรย์(XRD) ของเซรามิกที่เตรียมได้ แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 – 4.16

เมื่อพิจารณาพิก XRD ของเซรามิกสารตัวอย่างทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 – 4.16 นั้นพบว่า ค่า d-spacing ของเซรามิกสารตัวอย่างที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกับค่า d-spacing ของแบเรียม - สทรอนเทียมดีตาเนต ใน JCPDS – file no. 44-0093 และมีเฟสปนเปื้อนเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับผงละเอียดที่ผ่านการเผาแคลไซน์มาแล้ว ซึ่งข้อมูลของค่า d-spacing ของเฟสหลักและเฟสปนเปื้อนได้วิเคราะห์ไว้อย่างละเอียดแล้วในหัวข้อ 4.1

ค่า d-spacing ของเซรามิกสารตัวอย่างที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่า d-spacing ของแบเรียม - สทรอนเทียมดีตาเนต แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 – 4.8

ค่า d-spacing ของแบเรียม - สตรอนเทียมทิตาเนต($\text{Ba}_{0.77}\text{Sr}_{0.23}\text{TiO}_3$)

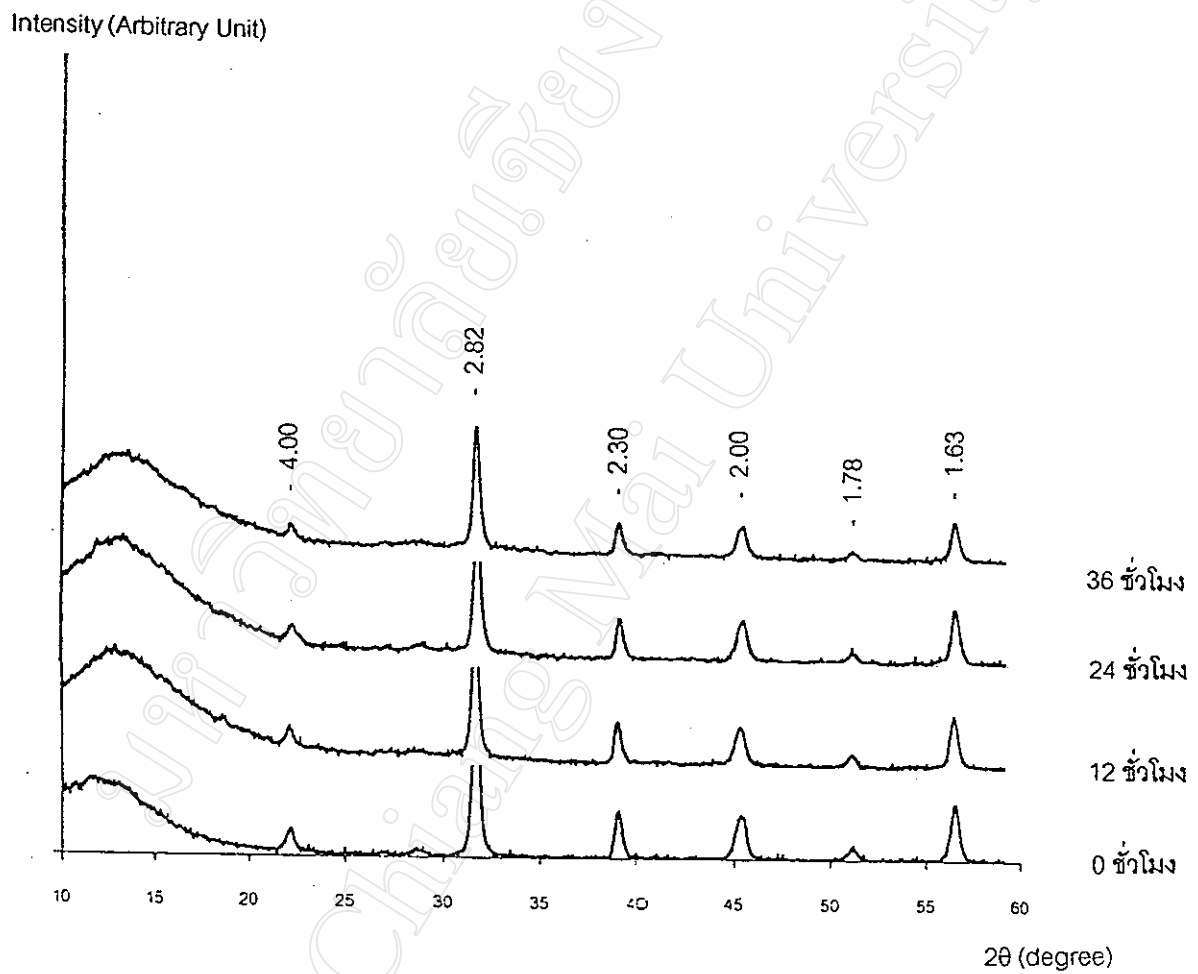
[illegible]

ตารางที่ 4.7 ค่า d-spacing ของเซรามิกสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน เทียบ
กับ ค่า d-spacing ของแบเรียม – สทรอนเทียมติตาเนต ($\text{Ba}_{0.77}\text{Sr}_{0.23}\text{TiO}_3$)

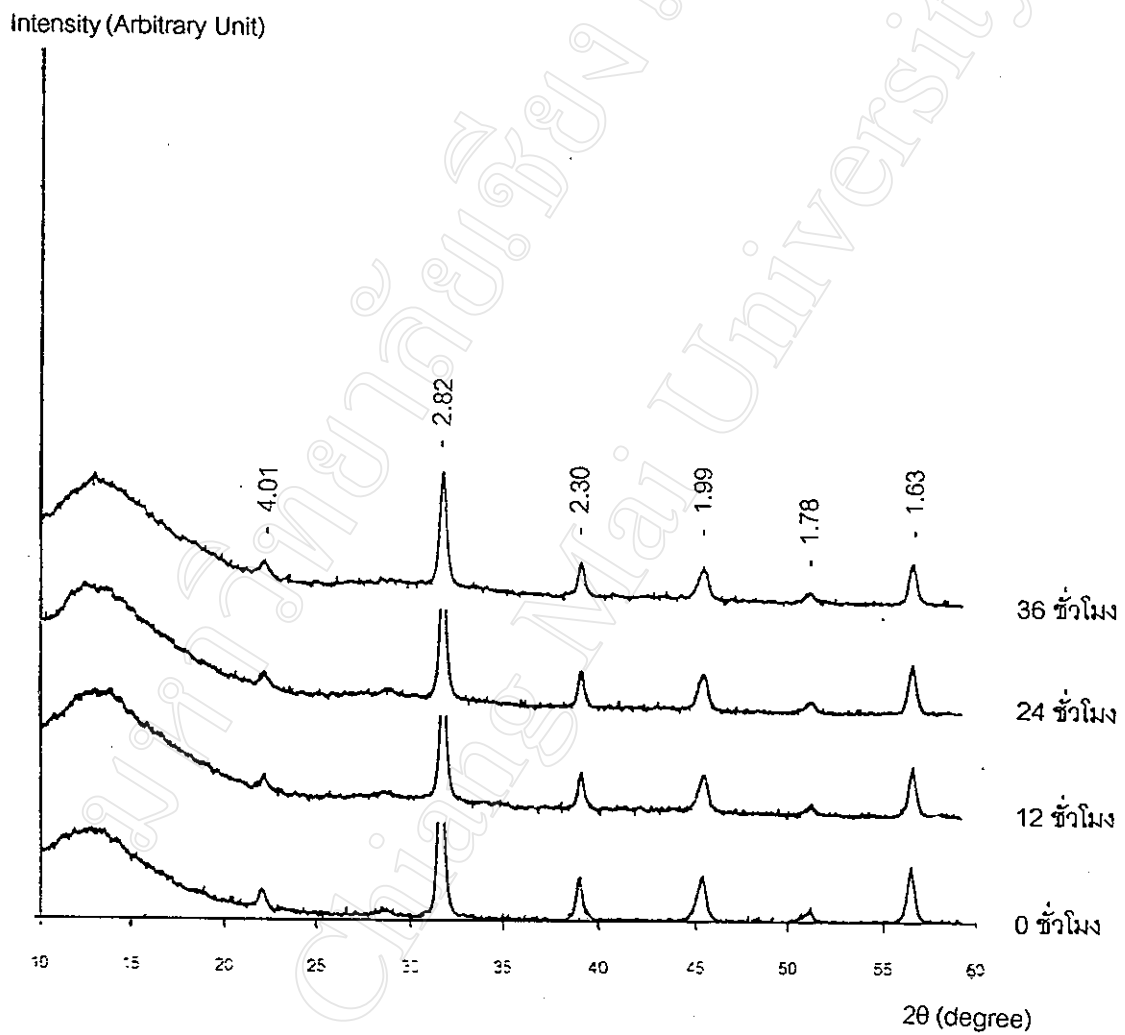
JCPDS no. 44-0093		ค่า d-spacing ของสารตัวอย่าง							
		เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผง อะลูมินา				เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา			
		Sb_2O_3 (โมล)				Sb_2O_3 (โมล)			
		0	0.0015	0.002	0.003	0	0.0015	0.002	0.003
I/I	d (Å)								
	4.03			4.04				4.02	
18	3.977	3.983	3.983		3.983	3.983	3.983		3.983
		3.118	3.118		3.118	3.118	3.118		3.118
100	2.8162	2.803	2.083	2.84	2.829	2.80	2.803	2.83	2.829
32	2.2983	2.285	2.285	2.31	2.302	2.302	2.285	2.31	2.30
3	1.9950			2.01	1.996	1.997		2.00	2.00
43	1.9885	1.984	1.984				1.984		
10	1.7795	1.776	1.776	1.80	1.786	1.786	1.776	1.79	1.78
47	1.6246	1.619	1.627	1.64	1.627	1.627	1.619	1.63	1.63

ตารางที่ 4.8 ค่า d-spacing ของเซรามิกสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล แล้วนำมา
 ชินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C ด้วยเวลาต่าง ๆ กัน เทียบกับค่า d-spacing ของ
 แบเรียม – สทรอนเทียมดีตาเนต ($\text{Ba}_{0.77}\text{Sr}_{0.23}\text{TiO}_3$)

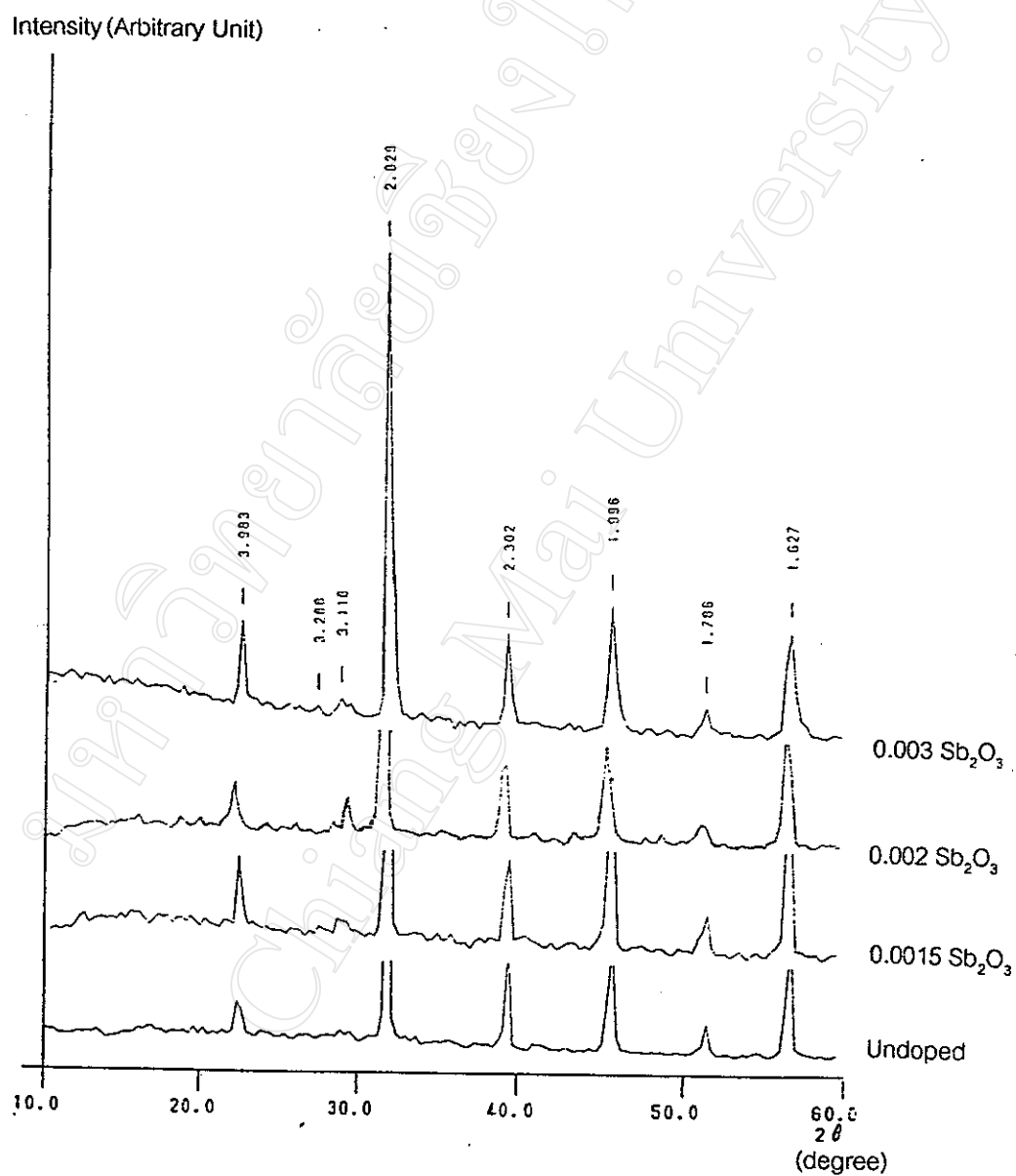
JCPDS no. 44-0093		ค่า d-spacing ของสารตัวอย่าง							
		เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผง อะลูมินา				เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผง อะลูมินา			
		เวลาในการเผาซินเตอร์ (ชั่วโมง)				เวลาในการเผาซินเตอร์ (ชั่วโมง)			
I/I	d (Å)	2	4	6	8	2	4	6	8
	4.03		4.037	4.037	4.037		4.037	4.037	4.037
18	3.977	3.983				3.983			
		3.118	3.118	3.118	3.151	3.118	3.118		
			3.056	3.056	3.056		3.056	3.087	3.056
10 0	2.8162	2.803	2.829	2.829	2.829	2.803	2.829	2.829	2.829
32	2.2983	2.285	2.319	2.319	2.302	2.285	2.319	2.302	2.302
3	1.9950	1.996	2.009	2.009	2.009		2.009	1.996	1.996
43	1.9885					1.984			
10	1.7795	1.776	1.786	1.796	1.786	1.776	1.796	1.786	1.786
47	1.6246	1.627	1.635	1.635	1.627	1.619	1.635	1.627	1.627



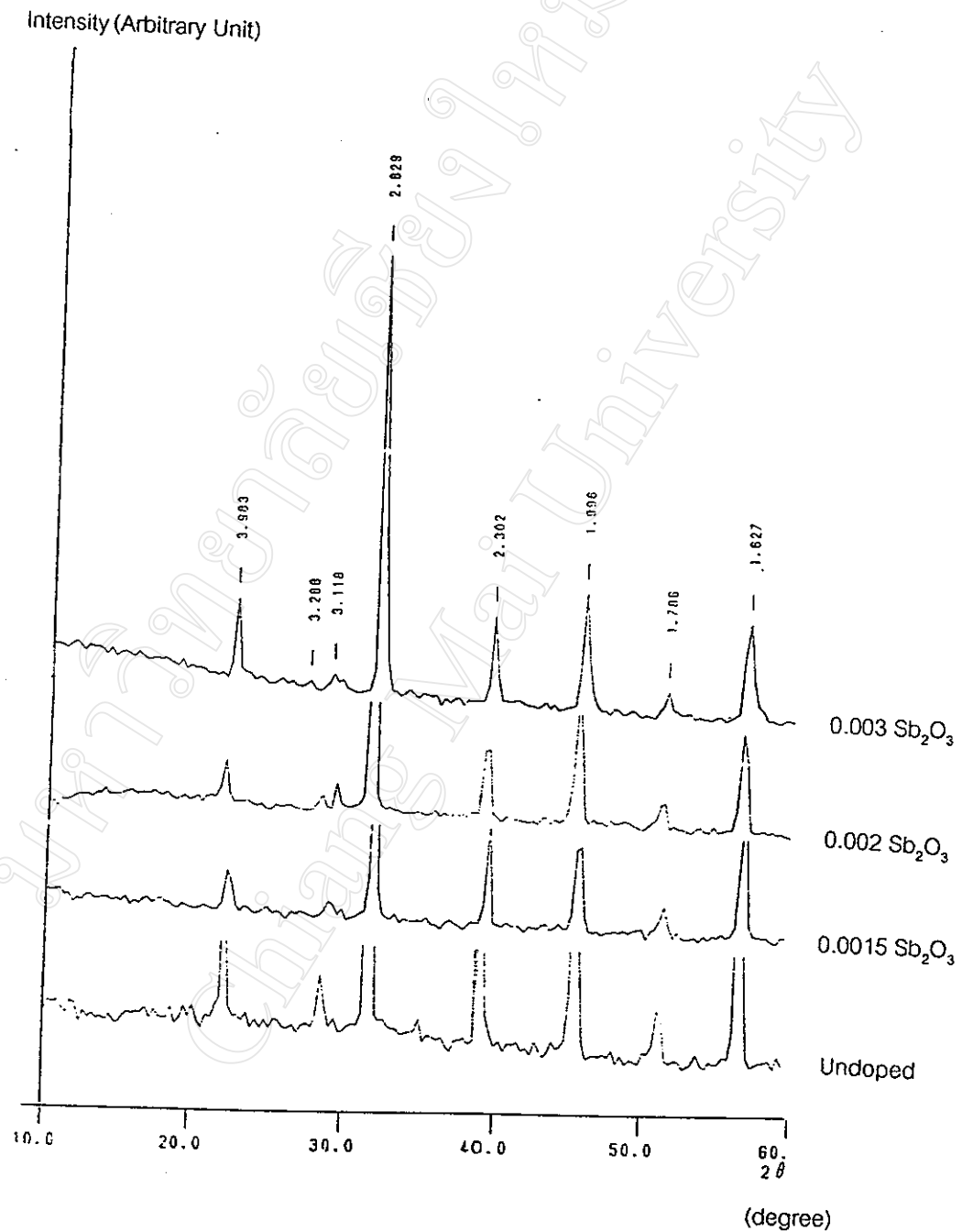
รูปที่ 4.11 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเวลาหมุนผสมสารหลังจากการเผาแคลไซน์ และนำมาเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



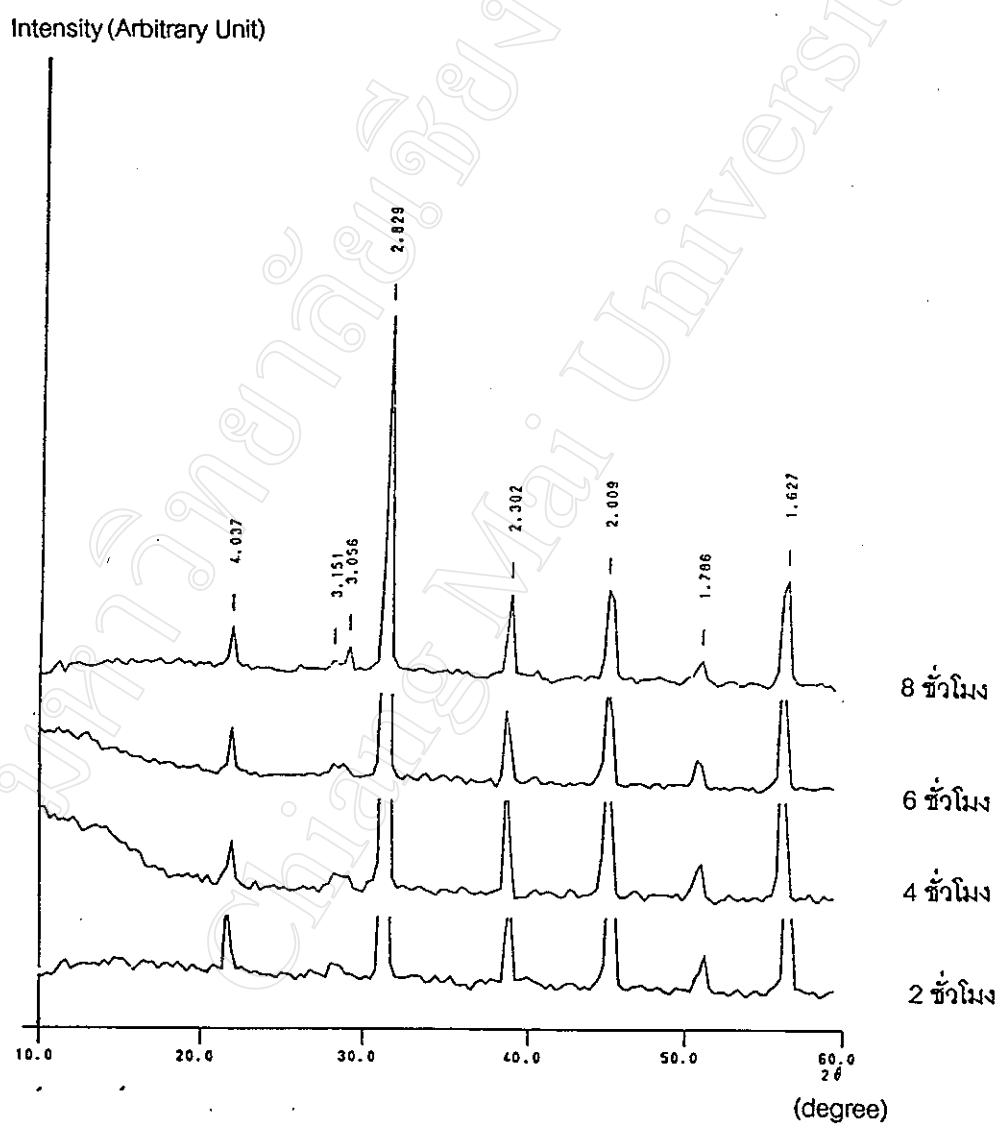
รูปที่ 4.12 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเวลาหมน ผสมสารหลังจากการเผาแคลไซน์ และนำมาเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



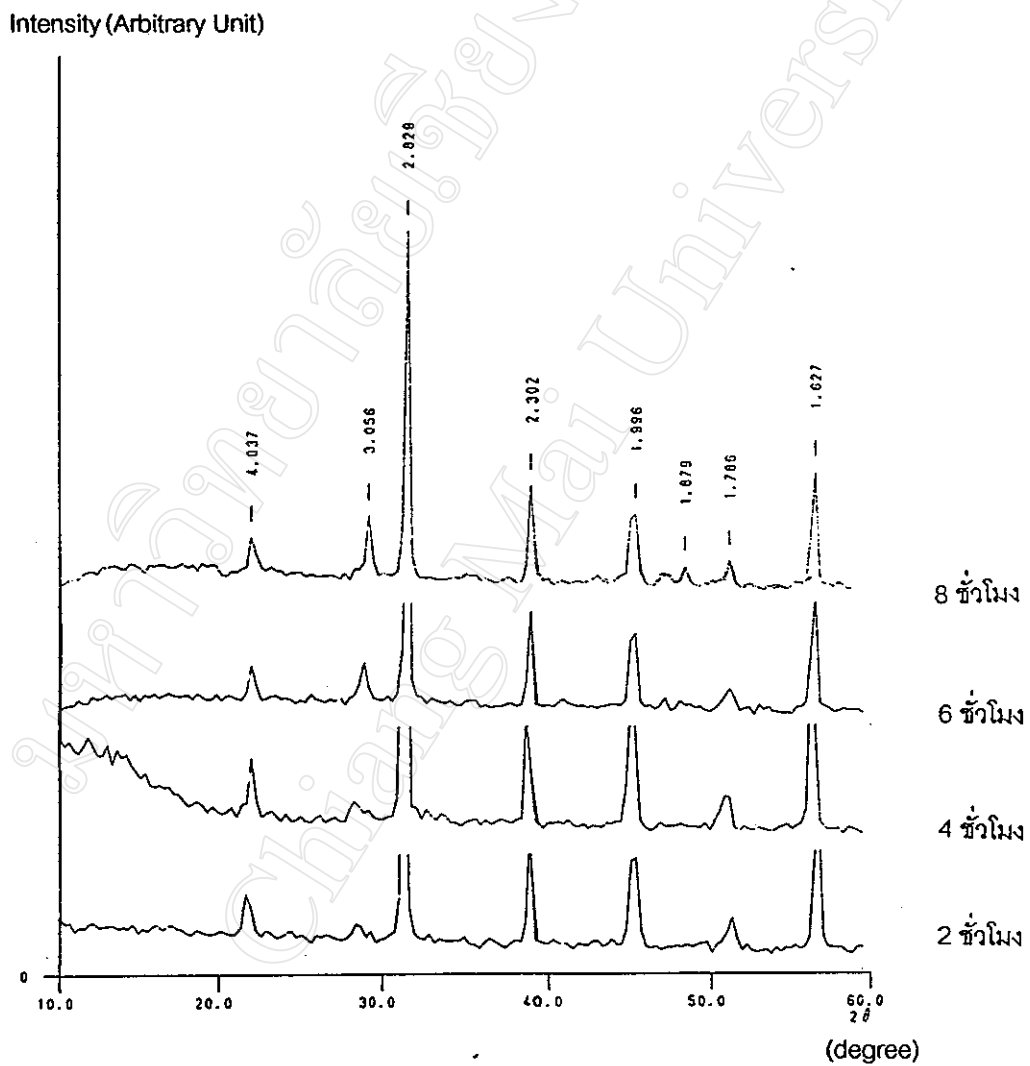
รูปที่ 4.13 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน เมื่อนำมาเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.14 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน เมื่อนำมาเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อนำมาเผาขึ้นเตอร์แบบกลบ ด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาที่ต่างกัน



รูปที่ 4.16 XRD ของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อนำมาเผาขึ้นเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาที่ต่างกัน

4.5 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก - สทรอนเซียมดีตาเนต

4.5.1 การตรวจสอบค่าการหดตัว

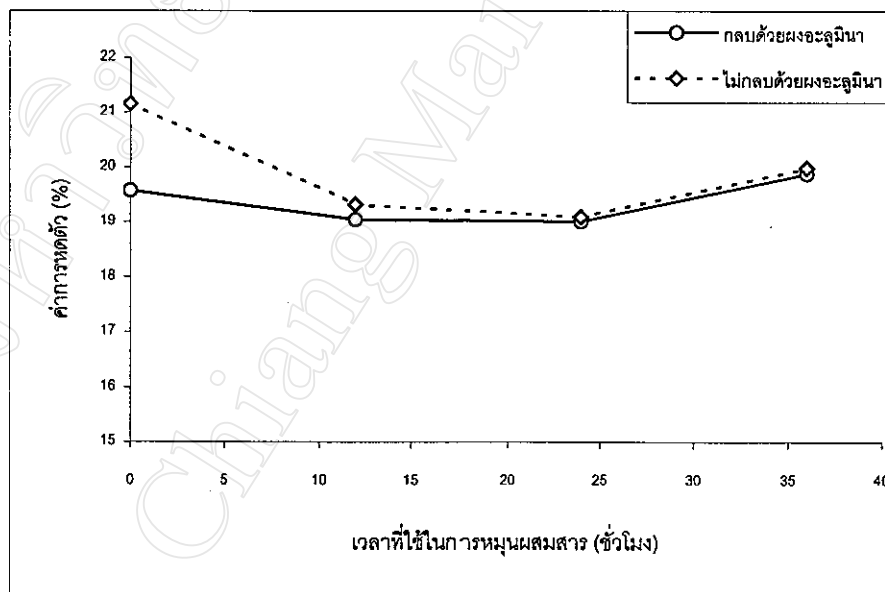
การศึกษาค่าการหดตัวของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ ตลอดจนค่าการหดตัวของสารตัวอย่างที่ทำการหมุนผสมสารหลังการแคลไซน์และการเผาซินเตอร์ด้วยเวลาที่ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.17 - 4.19

จากรูปที่ 4.17 เมื่อทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่มากขึ้น คือ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่าในช่วงแรกของการหมุนผสมสารคือ ที่เวลา 0, 12 และ 24 ชั่วโมง ค่าการหดตัวของสารตัวอย่างลดลง ดังนี้คือ 19.57%, 19.04% และ 19.01% เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการหมุนผสมสารขึ้นไปอีกเป็น 36 ชั่วโมง พบว่าค่าการหดตัวกลับมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีของการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาการซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่าค่าการหดตัวโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะเห็นได้ว่า เมื่อเติมสารเจือคือ Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.003 โมล แล้วทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการหมุนผสมสารนั้น พบว่าการซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าการหดตัวมากกว่าการซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาเล็กน้อย คือ การซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าการหดตัวเป็น 19.57%, 19.04%, 19.01% และ 19.88% และการซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา จะมีค่าการหดตัวเป็น 21.16%, 19.32% , 19.09% และ 19.99% เมื่อเพิ่มเวลาในการหมุนผสมสารจาก 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ

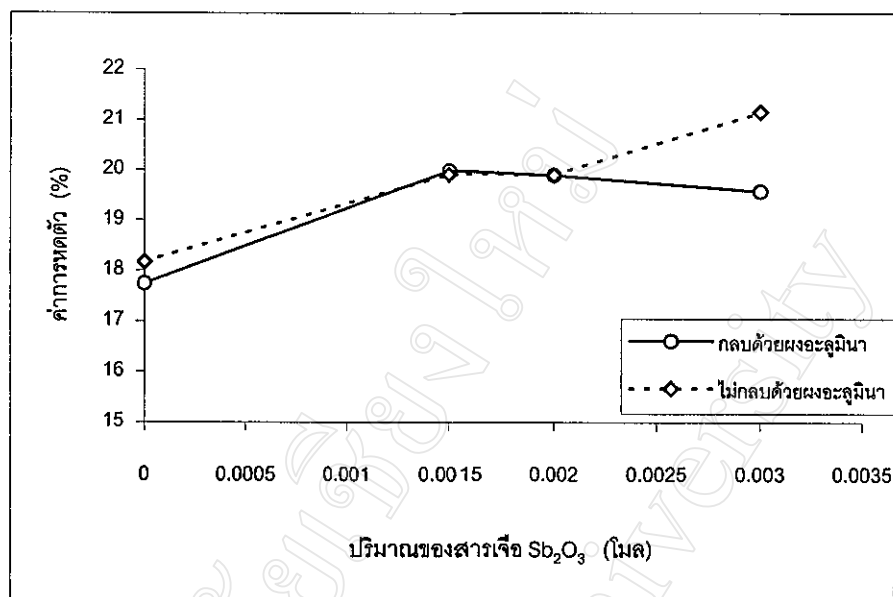
จากรูปที่ 4.18 แสดงค่าการหดตัวของสารตัวอย่างเมื่อเติมสารเจือในปริมาณต่างกัน คือ 0, 0.0015, 0.002 และ 0.003 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ว่าค่าการหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเจือด้วยสารเจือปริมาณมากขึ้น และเมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยอะลูมินา และแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่า ค่าการหดตัวในการเผาซินเตอร์ทั้ง 2 แบบ จะให้ค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน คือ การเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา จะมีค่าการหดตัวเป็น 19.99% และ 19.89% และสำหรับการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าการหดตัวเป็น 19.92% และ 19.90% เมื่อเติมสารเจือในปริมาณ 0.0015, และ 0.002 โมล ตามลำดับ แต่สำหรับสารเจือที่เจือด้วยสารเจือ 0.003 โมล นั้นพบว่าค่าการหดตัวเมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา โดยมีค่าการหดตัว 19.57% และ 21.16% ตามลำดับ

แต่สำหรับสารที่ไม่มีการเจือ (Undoped) พบว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาจะให้ค่าการหดตัวที่สูงกว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาเช่นเดียวกับเมื่อเจือด้วยสารเจือ 0.003 โมล คือ จะมีค่าการหดตัวเป็น 18.17 และ 17.74 ตามลำดับ

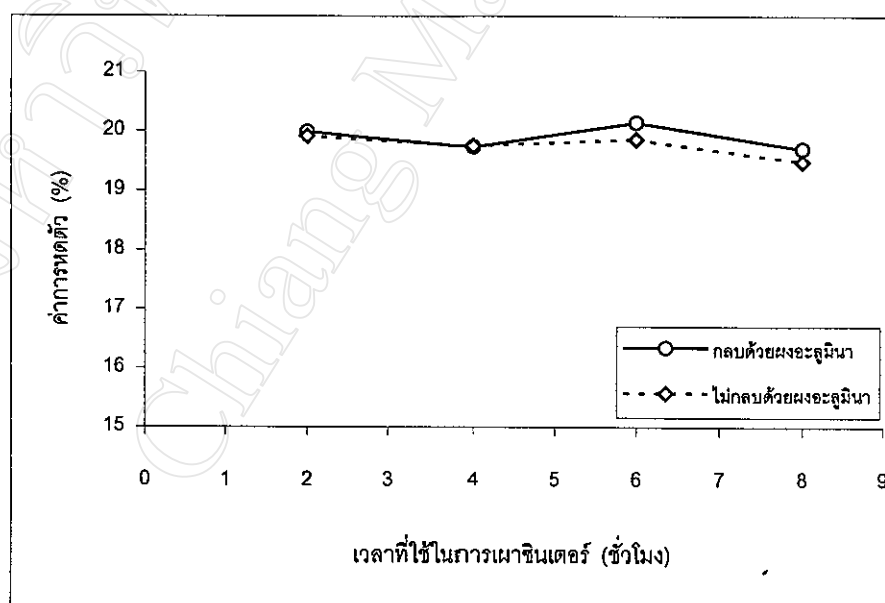
จากรูปที่ 4.19 แสดงค่าการหดตัวของสารตัวอย่างแบบเรียบ - สทรอนเนียมดีทานาเนตที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ ด้วยเวลาต่างๆ กัน พบว่าค่าการหดตัวของสารตัวอย่างไม่ได้แปรตามเวลาที่ใช้ในการซินเตอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยจะได้ว่าค่าการหดตัวของสารตัวอย่างอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ ประมาณ 20% และเมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ก็พบว่าทั้งสองกรณีจะให้ค่าการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาในกรณีที่เผาซินเตอร์ด้วยเวลา 6 และ 8 ชั่วโมงนั้น พบว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะให้ค่าการหดตัวมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาเล็กน้อย



รูปที่ 4.17 ค่าการหดตัวของเซรามิก $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหลอมผสมสารเพิ่มหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่ต่างกัน และนำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 ค่าการหดตัวของเซรามิก $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกันและนำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ $1350^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 ค่าการหดตัวของเซรามิก $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล และนำไปเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ $1350^\circ C$ ด้วยเวลาที่ต่างกัน

4.5.2 การตรวจสอบความพรุนของสารตัวอย่าง

การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ ปริมาณสารเจือ และเวลาที่ใช้ในการซินเตอร์ที่ต่างกัน ที่มีต่อค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ แสดงดังรูปที่ 4.20 – 4.22

เมื่อพิจารณาค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลา 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าค่าของความพรุนที่ได้ ไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าการหดตัวของสารตัวอย่าง พบว่ามีความสัมพันธ์กันในช่วงแรกของการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ คือ การหดตัวมีค่าน้อยค่าความพรุนจะมีค่ามากสำหรับสารตัวอย่างที่หมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 0 และ 12 ชั่วโมง แต่สำหรับสารตัวอย่างที่หมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 24 และ 36 ชั่วโมง นั้นพบว่าค่าความพรุนที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการหดตัว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเมื่อค่าการหดตัวมากค่าความพรุนควรจะมีค่าน้อย และเมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา พบว่า จะมีความพรุนมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ซึ่งสอดคล้องกับค่าการหดตัวที่คำนวณได้ คือ การหดตัวเมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบอะลูมินามีค่าหดตัวน้อยกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ส่วนค่าความพรุนของสารตัวอย่างที่ได้พบว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา จะมีค่าความพรุนมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

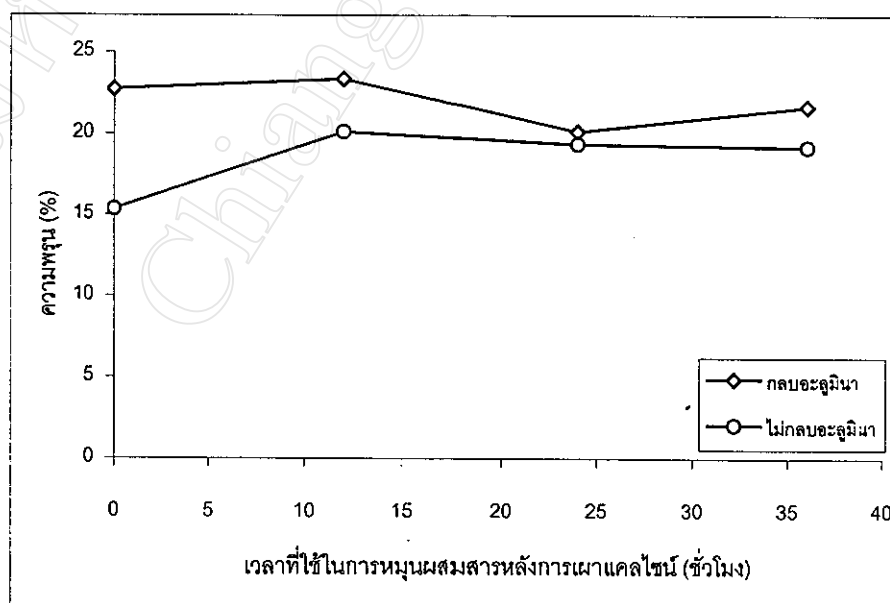
เมื่อพิจารณาสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.002 โมล จะมีความพรุนมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และเมื่อพิจารณาเมื่อเจือด้วยสารเจือในปริมาณ 0.0015 - 0.002 โมล จะได้ว่า การเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา จะมีความพรุนน้อยกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา แต่เมื่อเจือด้วยสารเจือในปริมาณ 0.003 โมล กลับพบว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินามีความพรุนมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบอะลูมินา ซึ่งสอดคล้องกับค่าการหดตัวของสารตัวอย่าง

และเมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C ด้วยเวลา 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าค่าความพรุนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเผาซินเตอร์มากขึ้น โดยในช่วงแรก คือ เมื่อเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ความพรุนมีค่าลดลงเล็กน้อย ตามลำดับ และการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีความพรุนน้อยกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยอะลูมินา แต่เมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าค่าความพรุนที่ได้มี

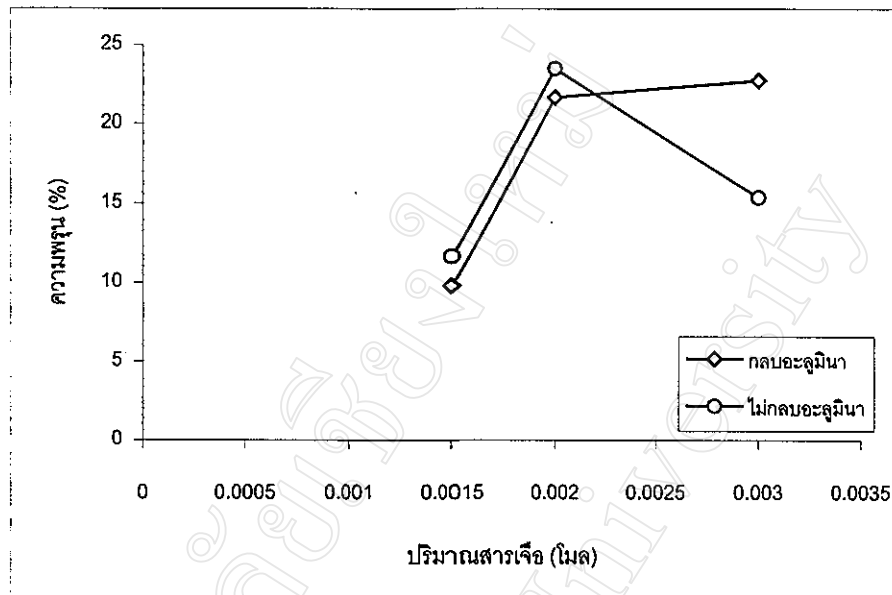
ค่าเพิ่มขึ้น โดยการเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 8 ชั่วโมงนั้นค่าความพรุนที่ได้จะกันข้ามกับการเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง คือการเผาซินเตอร์แบบกลบอะลูมินามีความพรุนมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ซึ่งพบว่าไม่สอดคล้องกับค่าการหดตัวที่คำนวณไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการหมนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ ปริมาณสารเจือ และเวลาที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ ล้วนมีผลต่อความพรุนของสารตัวอย่าง ถึงแม้ว่าจะไม่ได้แปรผันตามกัน ทั้งนี้เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก ที่มีผลต่อความพรุนของสารตัวอย่าง เช่น ปริมาณสารที่ใช้ในขั้นตอนอัดขึ้นรูป แรงดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ตลอดจนปริมาณของ PVA ที่หยดลงไปในสารตัวอย่างก่อนการอัดขึ้นรูป และอีกกรณีที่น่าจะเป็นไปได้ คือ ตำแหน่งการวางสารตัวอย่างในเตาเผาซึ่งถ้าไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกันก็อาจทำให้สารตัวอย่างได้รับอุณหภูมิไม่เท่ากัน

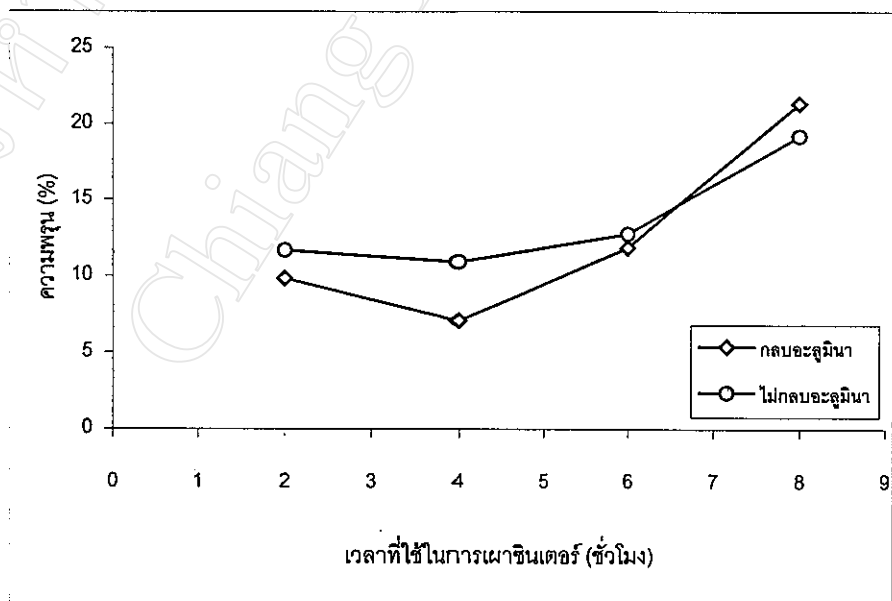
สำหรับความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ไม่มีสารเจือ (undoped) ไม่สามารถหาได้เนื่องจากความพรุนมีขนาดเล็กมาก เกินความสามารถของผู้วิจัยเนื่องจากในขั้นตอนของการหาค่าความพรุนนี้ หาโดยการถ่ายภาพรูปผิวของสารตัวอย่างด้วยกล้องแสง ซึ่งกำลังขยายสูงสุดของกล้องโฟลราไรซ์ที่สามารถใช้งานได้ คือ 400 เท่า สำหรับสารตัวอย่างที่ไม่มีสารเจือนี้ ความพรุนที่สังเกตได้นั้นกำลังขยาย 400 เท่าของกล้องแสง ก็ไม่สามารถแยกความพรุนของสารออกจากเนื้อสาร จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าความพรุนได้



รูปที่ 4.20 ค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการหมนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่ต่างกัน



รูปที่ 4.21 ค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน



รูปที่ 4.22 ค่าความพรุนของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาที่ต่างกัน

4.6 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกแบบเรียม-สทรอนเชียมดีตาเนต

4.6.1 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ)

เทียบกับอุณหภูมิ

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) เทียบกับอุณหภูมินั้น ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 ทำการศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) เทียบกับอุณหภูมิของทุกสารตัวอย่างที่เตรียมได้ โดยใช้โลหะอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า

ตอนที่ 2 เลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในตอนที่ 1 แล้วนำมาศึกษาอิทธิพลของขั้วไฟฟ้าที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบอุณหภูมิหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าลักษณะเฉพาะของ PTCR โดยวัสดุที่เลือกมาศึกษา ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) , ทองแดงบริสุทธิ์ (Cu) , ทองคำบริสุทธิ์ (Au) , กาวเงิน, เงินบริสุทธิ์ (Ag) , ไทเทเนียม (Ti) และทองที่ใช้ในการเคลือบผิวสารตัวอย่างเวลาถ่าย SEM

สำหรับการศึกษาในตอนที่ 1 นั้น สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.23 – 4.32 โดยรูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการหมนผสมสารหลังจากการเผาแคลไซน์ จะเห็นได้ว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องมีค่าต่างกัน ขึ้นอยู่กับเวลาในการหมนผสมสารหลังการแคลไซน์ โดยพบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการหมนผสมสารมากขึ้น โดยมีค่า 1.36×10^5 , 1.13×10^5 , 1.05×10^5 และ 1.24×10^4 โอห์ม – เซนติเมตร สำหรับสารตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมนผสมสารเป็น 0 , 12 , 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ส่วนการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินานั้น พบว่า เมื่อทำการหมนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลา 0 , 12 และ 24 ชั่วโมง ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องมีค่าสูงมาก ไม่สามารถทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิได้ แต่เมื่อทำการหมนผสมสารเพิ่มเติมเป็น 36 ชั่วโมง ปรากฏว่า สามารถวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 โดยพบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้มีค่ามากกว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา คือ มีค่าประมาณ 1.6×10^5 และ 1.2×10^4 โอห์ม – เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.42 และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.46

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิคูรีของสารตัวอย่าง พบว่าเวลาในการผสมสารที่มากขึ้นไม่มีผลต่ออุณหภูมิคูรีของสาร โดยจะได้อุณหภูมิคูรีของสารตัวอย่างทั้งหมด มีค่าประมาณ 50°C

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) ที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด (ρ_{max}) พบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมสารหลังการแคลไซน์มากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) ที่ทำให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด (ρ_{max}) มีค่ามากขึ้น โดยจะได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่า 200, 212, 214 และ 206°C สำหรับสารตัวอย่างที่ใช้เวลาในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 0, 12, 14 และ 36 ชั่วโมง เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ตามลำดับ และ 176°C สำหรับสารตัวอย่างที่ทำการหมุนผสมสารเพิ่มเติมหลังการเผาแคลไซน์และเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

เมื่อพิจารณาขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่าง จะพบว่าในทุกสารตัวอย่างจะให้ค่าขนาดของ PTCR ใกล้เคียงกัน คือ 2.00, 2.01, 1.88 และ 2.36 อันดับ เมื่อใช้เวลาในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยจะสังเกตได้ว่าค่าขนาดของ PTCR ที่ได้จะมีค่าสอดคล้องกับค่าการหดตัวของสารตัวอย่าง ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.1 และเมื่อพิจารณาขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่างเมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่ามีขนาด 1.71 อันดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.50

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่างที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน คือ 0.003, 0.002 และ 0.0015 โมล ดังแสดงในรูปที่ 4.25 – 4.26 พบว่าลักษณะของ PTCR ของสารตัวอย่างมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณสารเจือที่เจือลงไป ซึ่งในการวิจัยนี้พบว่าปริมาณสารเจือ 0.002 โมล จะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.43 และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.47 และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิคูรีของสารตัวอย่าง จะพบว่า อุณหภูมิคูรีมีค่าลดลงเมื่อเจือด้วยสารเจือในปริมาณมากขึ้น และสัมพันธ์กับอุณหภูมิสูงสุดที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด คือจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกันเมื่อเจือด้วยสารเจือในปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่างนี้ พบว่า การเจือด้วยสารเจือในปริมาณต่างกันจะทำให้สารตัวอย่างมีขนาดของ PTCR ต่างกันเล็กน้อย โดยการเจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.002 โมล จะมีขนาดของ PTCR สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.51

สำหรับสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาที่ต่างกัน คือ 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.27 – 4.32 พบว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อซินเตอร์ด้วยเวลาที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่

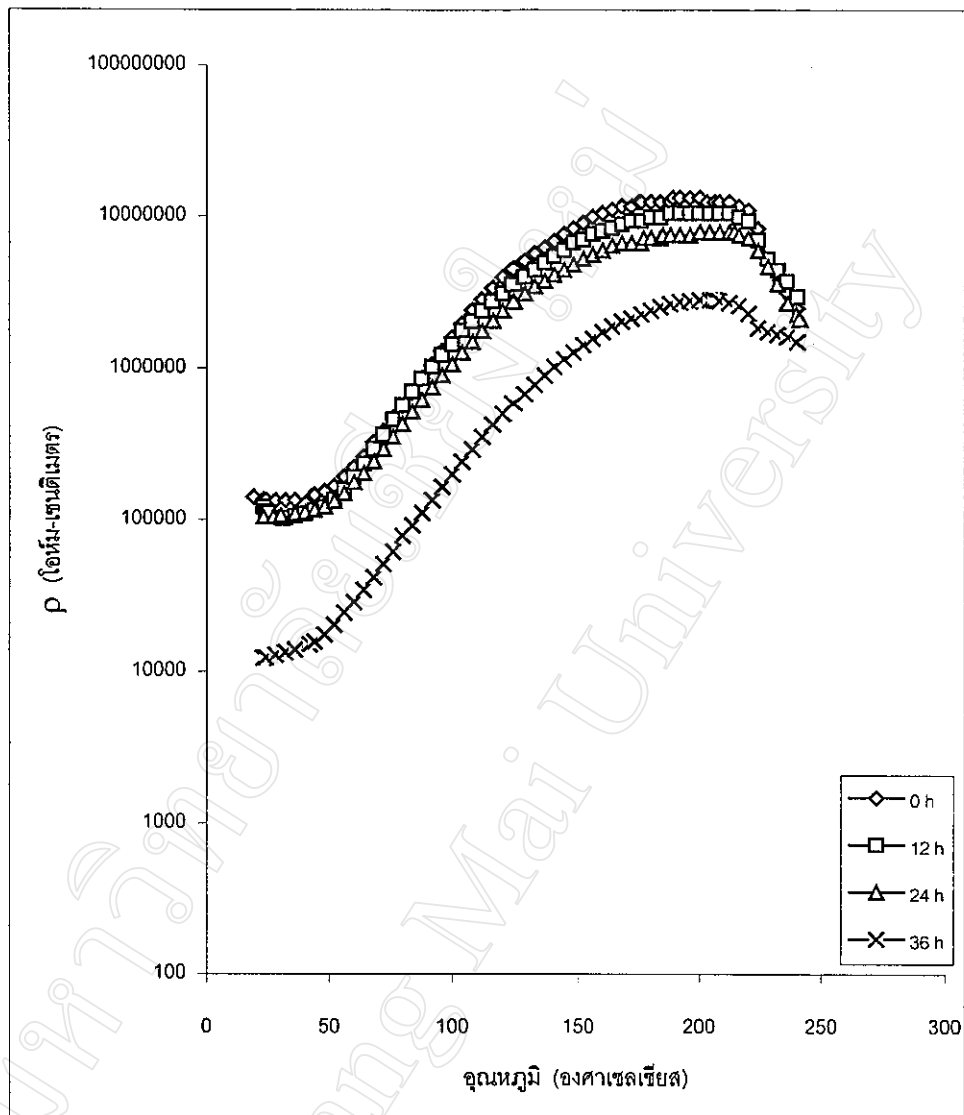
4.44 ส่วนค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.48 เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิคูรีและอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุด ก็มีค่าลดลงเมื่อขึ้นเตอร์ด้วยเวลาที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาการเผาขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่าการเผาขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำกว่าการเผาขึ้นเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และเมื่อพิจารณาขนาดของ PTCR พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การเผาขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาในกรณีที่ขึ้นเตอร์ด้วยเวลาที่ต่างกันนั้น พบว่าการขึ้นเตอร์ด้วยเวลาที่มากขึ้น คือ 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะให้ค่าขนาดของ PTCR สูงขึ้นตามเวลาในการขึ้นเตอร์ที่มากขึ้น โดยการเผาขึ้นเตอร์ด้วยเวลา 8 ชั่วโมง จะให้ค่าขนาดที่มากที่สุด คือ 2.69 และ 2.66 อันดับ เมื่อขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.52

สำหรับตอนที่ 2 นั้นได้เลือกเอาสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อขึ้นเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาในขั้นตอนของการหาข้อไฟฟ้าที่เหมาะสม เนื่องจากการขึ้นเตอร์ที่เวลา 8 ชั่วโมงที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุดนั้น ค่อนข้างที่จะใช้เวลาในการเผาขึ้นเตอร์นาน และมีปัจจัยเสี่ยงในการเผาไหม้ คือ ไฟฟ้ามักจะดับอยู่เสมอ ทำให้ต้องเผาขึ้นเตอร์ใหม่ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงเลือกสารตัวอย่างที่ขึ้นเตอร์ด้วยเวลา 2 ชั่วโมงแทน เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเวลา มาทำข้อไฟฟ้าโดยใช้วัสดุหลายชนิด ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น มาศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 4.33 – 4.41 พบว่าข้อไฟฟ้าแต่ละชนิดจะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องและลักษณะของ PTCR ที่ต่างกัน ซึ่งจะได้ว่าสารตัวอย่างที่ทำข้อด้วยไทเทเนียมจะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด ถัดมาคือ อะลูมิเนียม ทองบริสุทธิ์ เงินบริสุทธิ์ ทองแดง และสูงที่สุด คือ กาวเงิน สำหรับสารตัวอย่างที่เผาขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ส่วนสารตัวอย่างที่ขึ้นเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินานั้น พบว่า อะลูมิเนียมจะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด(เนื่องจากในกรณีนี้ไม่ได้ทำการตรวจสอบด้วยไทเทเนียม) ถัดมา คือ ทองบริสุทธิ์ ทองแดง เงินบริสุทธิ์ ทองที่ใช้ในการเคลือบสารตัวอย่างเวลาถ่าย SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.45 และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดยังคงเป็น กาวเงิน เหมือนในกรณีที่ขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ดังแสดงในรูปที่ 4.49

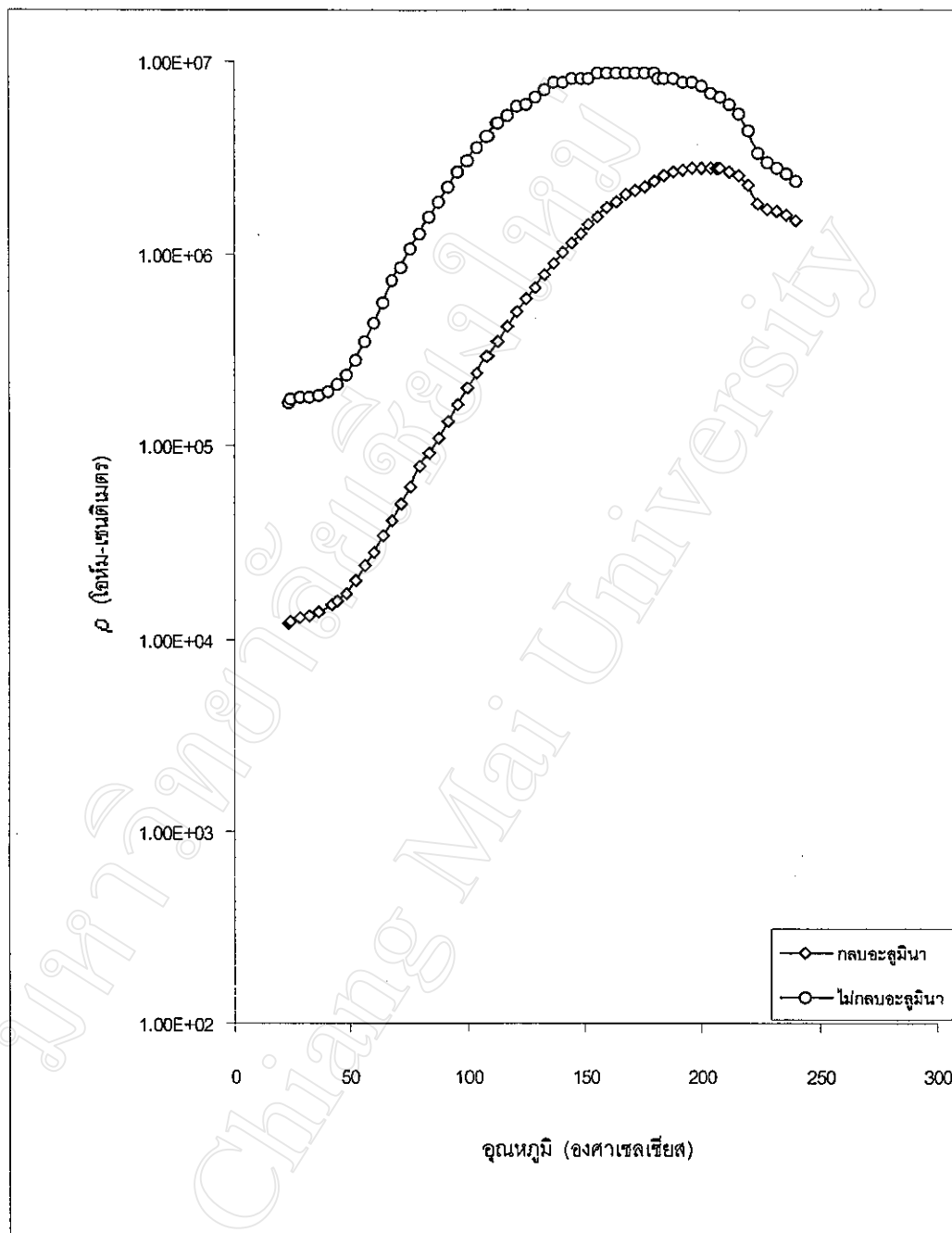
และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิคูรี พบว่าวัสดุที่ใช้ทำข้อไฟฟ้าแต่ละชนิดจะให้ค่าอุณหภูมิคูรีที่แตกต่างกัน และบางวัสดุก็ไม่สามารถหาค่าอุณหภูมิคูรีได้

และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุด พบว่า อุณหภูมิสูงสุดของสารตัวอย่างก็มีค่าขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้ทำขั้วเช่นเดียวกัน โดยพบว่า อะลูมิเนียมจะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดมากที่สุด ถัดมาคือ ทองแดง ทอง ที่ใช้ในการสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM กาวเงิน และเงินบริสุทธิ์จะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดน้อยที่สุด สำหรับสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ส่วนสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินานั้น พบว่า ไทเทเนียมจะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดมากที่สุด ถัดมาคือ อะลูมิเนียม ทอง เงินบริสุทธิ์ ทองแดง และกาวเงินจะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.54 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดมีลักษณะที่แตกต่างกันในวัสดุบางชนิด เมื่อซินเตอร์แบบที่กลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา โดยพบว่าเมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม และทองนั้น การเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดสูงกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบอะลูมินา ส่วนขั้วไฟฟ้าทองแดง กาวเงิน และเงินบริสุทธิ์นั้น พบว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดต่ำกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา สำหรับขั้วไฟฟ้าไทเทเนียมและทองที่ใช้สำหรับเคลือบผิวของสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM นั้นไม่มีตัวเปรียบเทียบ

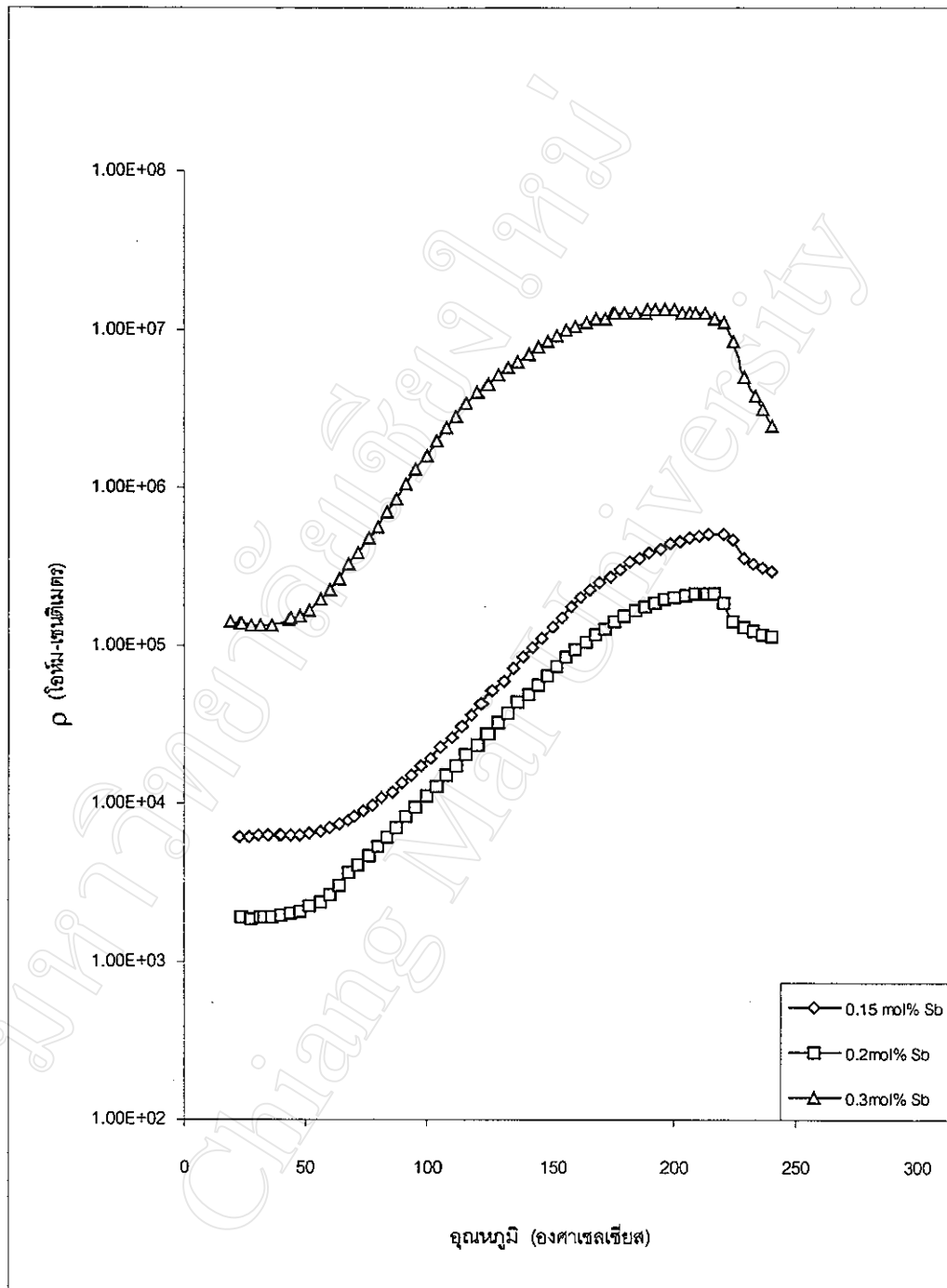
โดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่า วัสดุที่เลือกมาศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร แต่จากวัสดุที่เลือกมานั้น พบว่า ตัวที่เหมาะสมที่สุดน่าจะเป็นอะลูมิเนียม เนื่องจากให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำพอสมควรถ้าเทียบกับวัสดุที่เลือกมาทั้งหมด และขั้นตอนในการทำเป็นขั้วไฟฟ้านั้นก็ไม่ยุ่งยากเท่ากับ เงินบริสุทธิ์ ทอง และทองแดง เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำและน้ำหนักเบาสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายกว่าตัวอื่นๆ ที่ทำขั้วด้วยวิธีเดียวกัน แต่สำหรับขั้วไฟฟ้าไทเทเนียมนั้น จากการทดลองพบว่ามีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด จากขั้วไฟฟ้าทั้งหมดที่ทำการศึกษา แต่ผู้วิจัยคิดว่าขั้วไฟฟ้าตัวนี้ยังไม่เหมาะสมในการศึกษาลักษณะของ PTCR ถ้าหากจะพิจารณาในกรณีของอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุด เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดนั้นสูงมากเกินไปประมาณ 253 °C ประกอบกับลักษณะของกราฟที่ได้ก็มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่ถ้าจะพิจารณาในกรณีของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุดแล้ว ปรากฏว่าไทเทเนียมนี้จะเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด



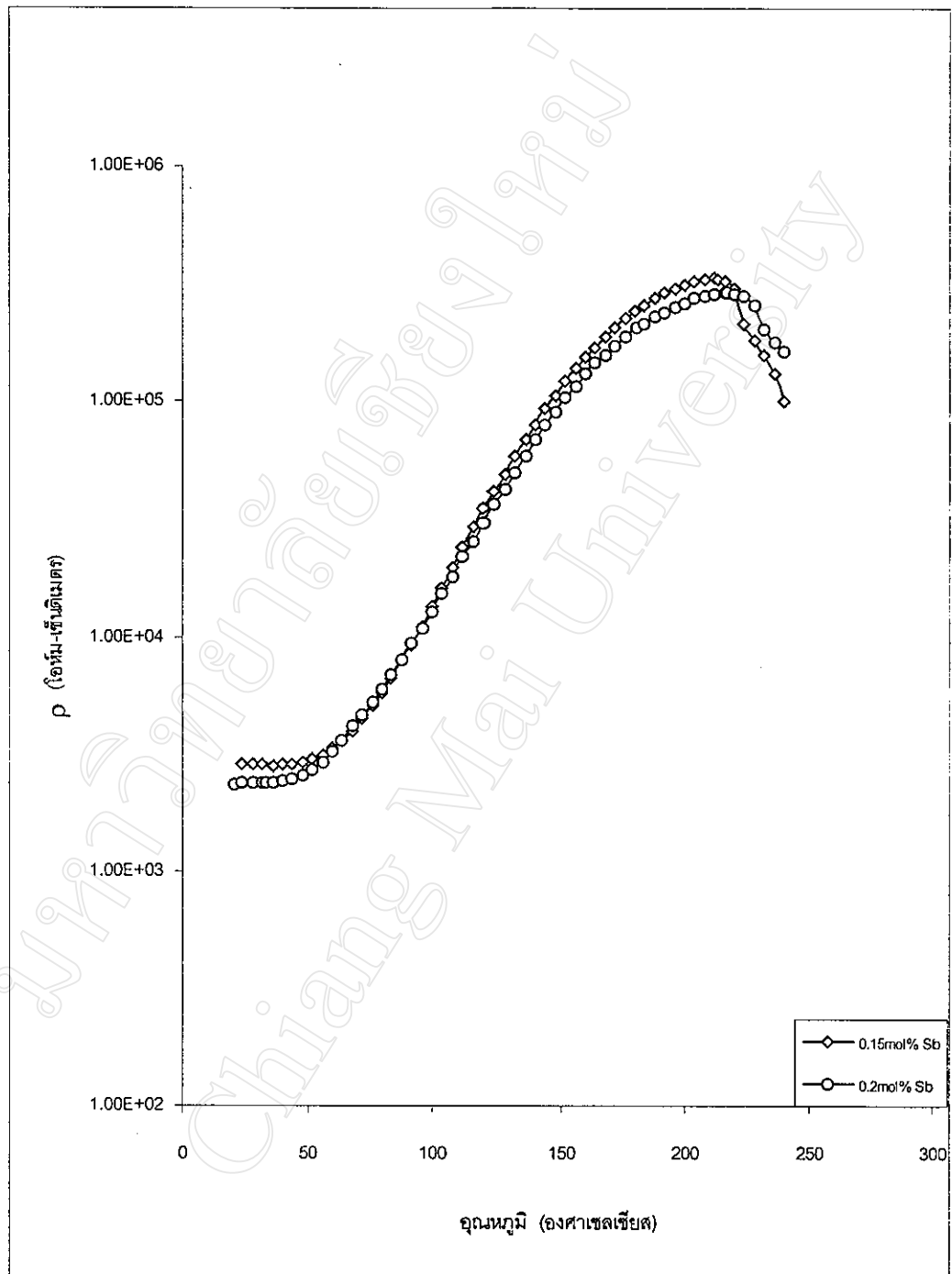
รูปที่ 4.23 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการหมนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่ต่างกัน และเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



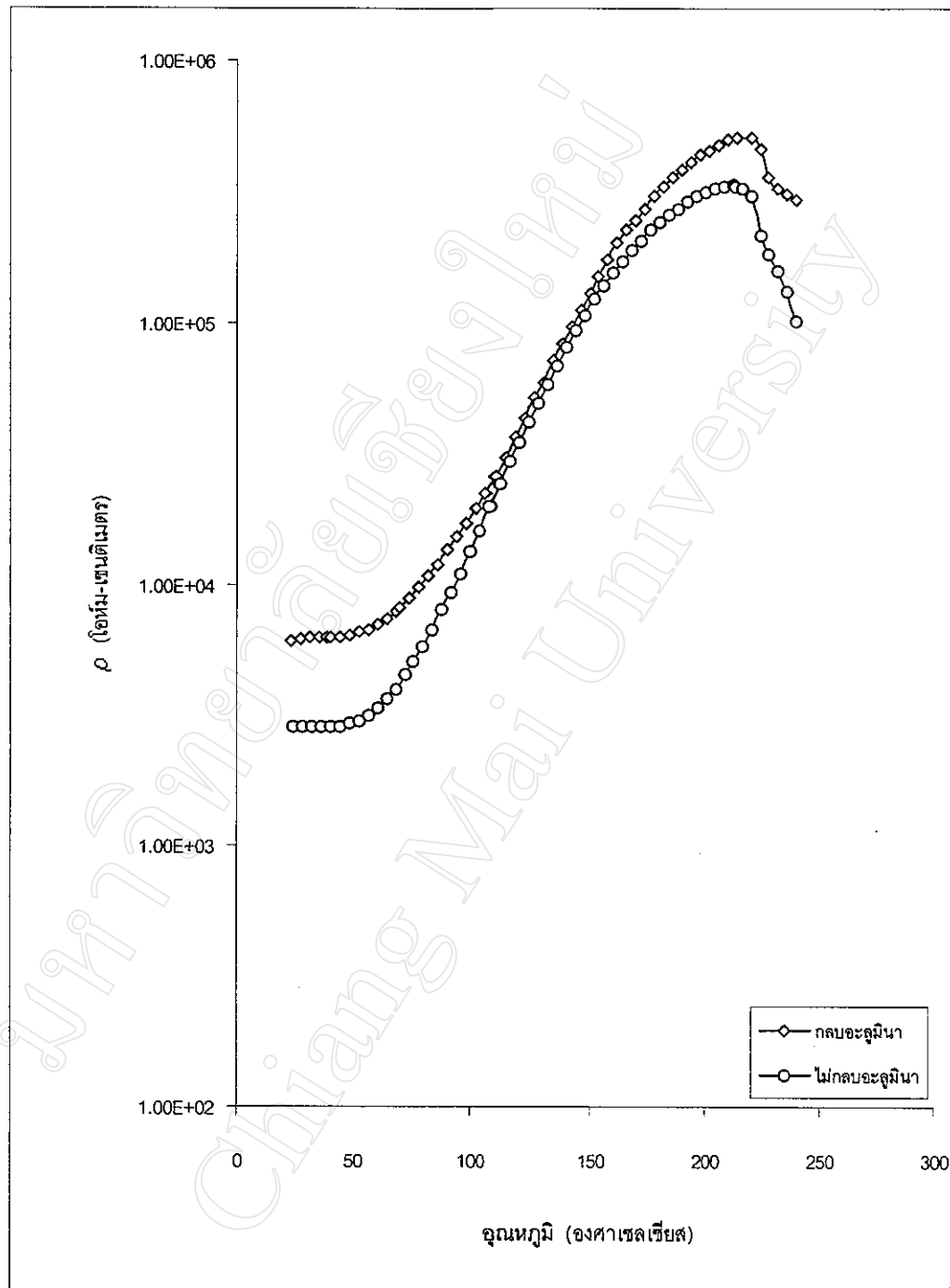
รูปที่ 4.24 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลา 36 ชั่วโมงและเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



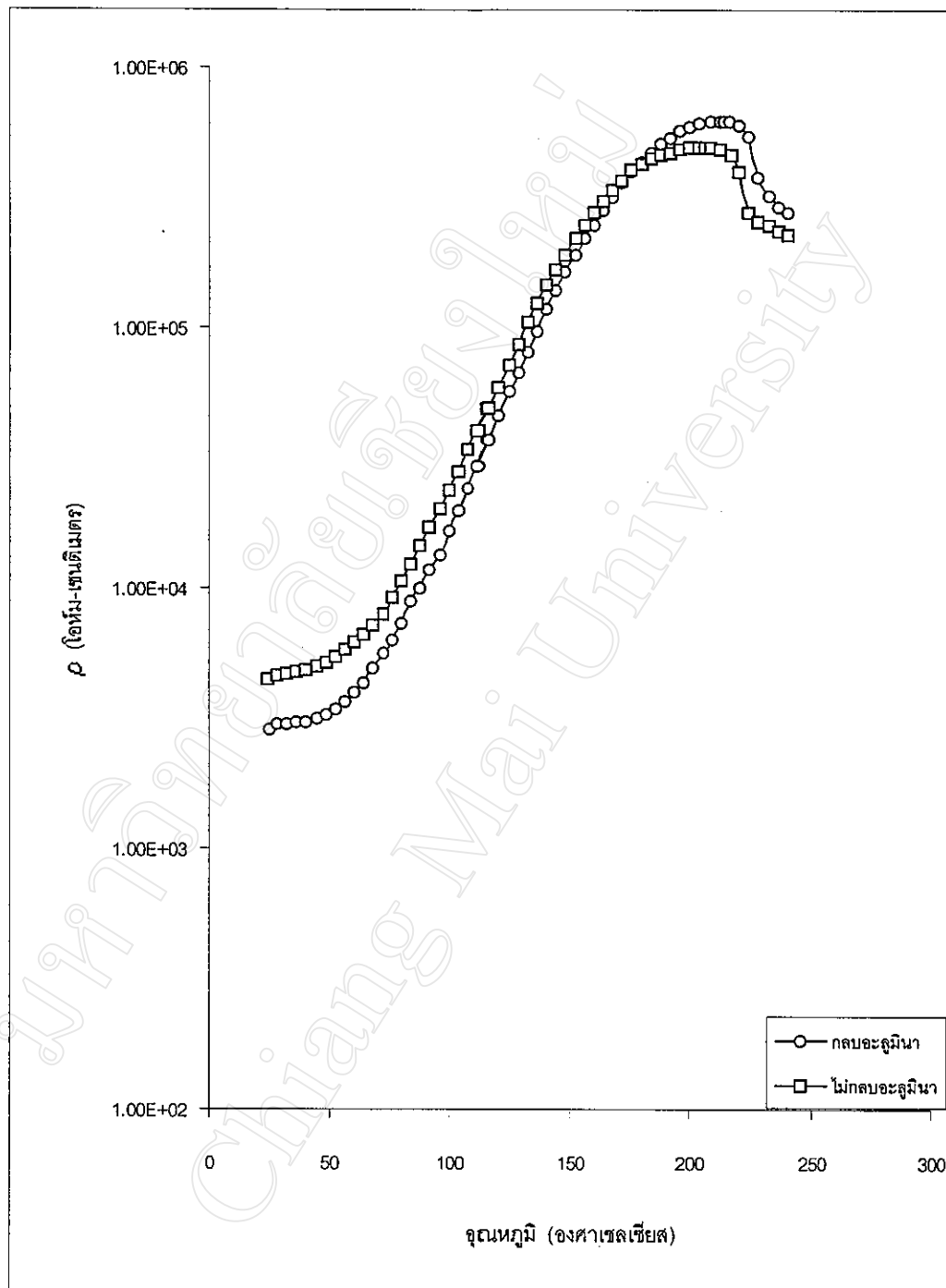
รูปที่ 4.25 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน และเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



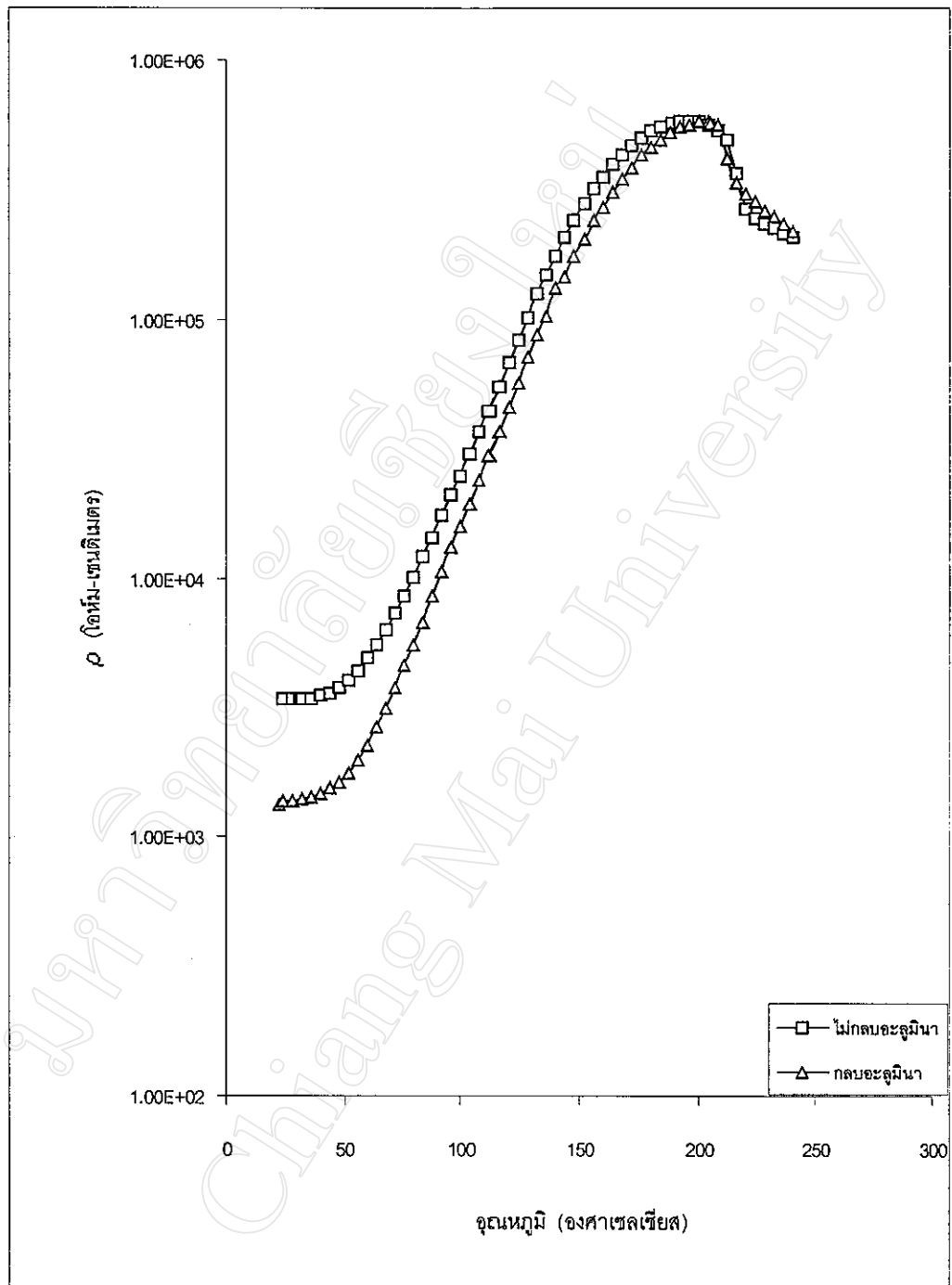
รูปที่ 4.26 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณที่ต่างกัน และเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



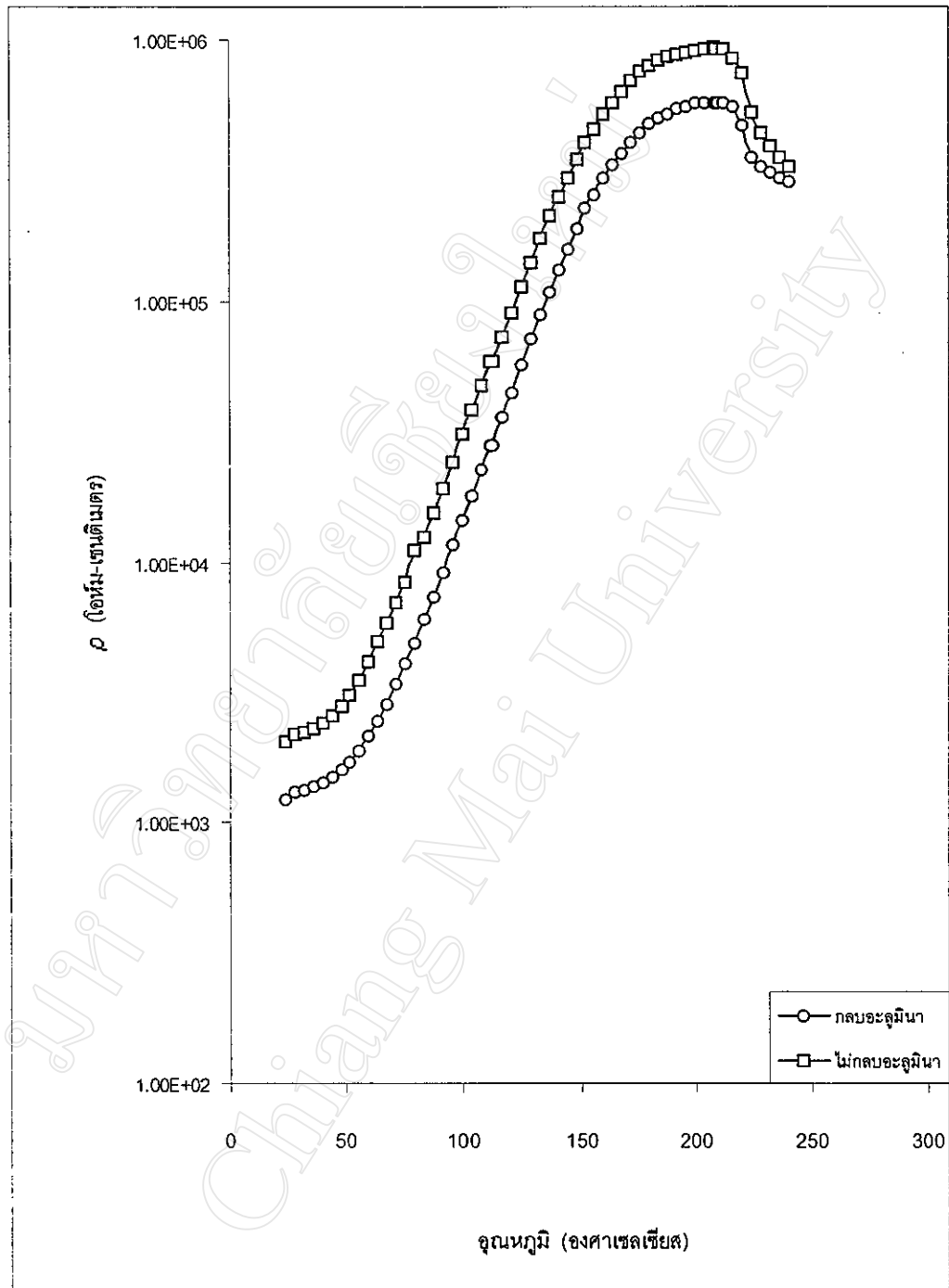
รูปที่ 4.27 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



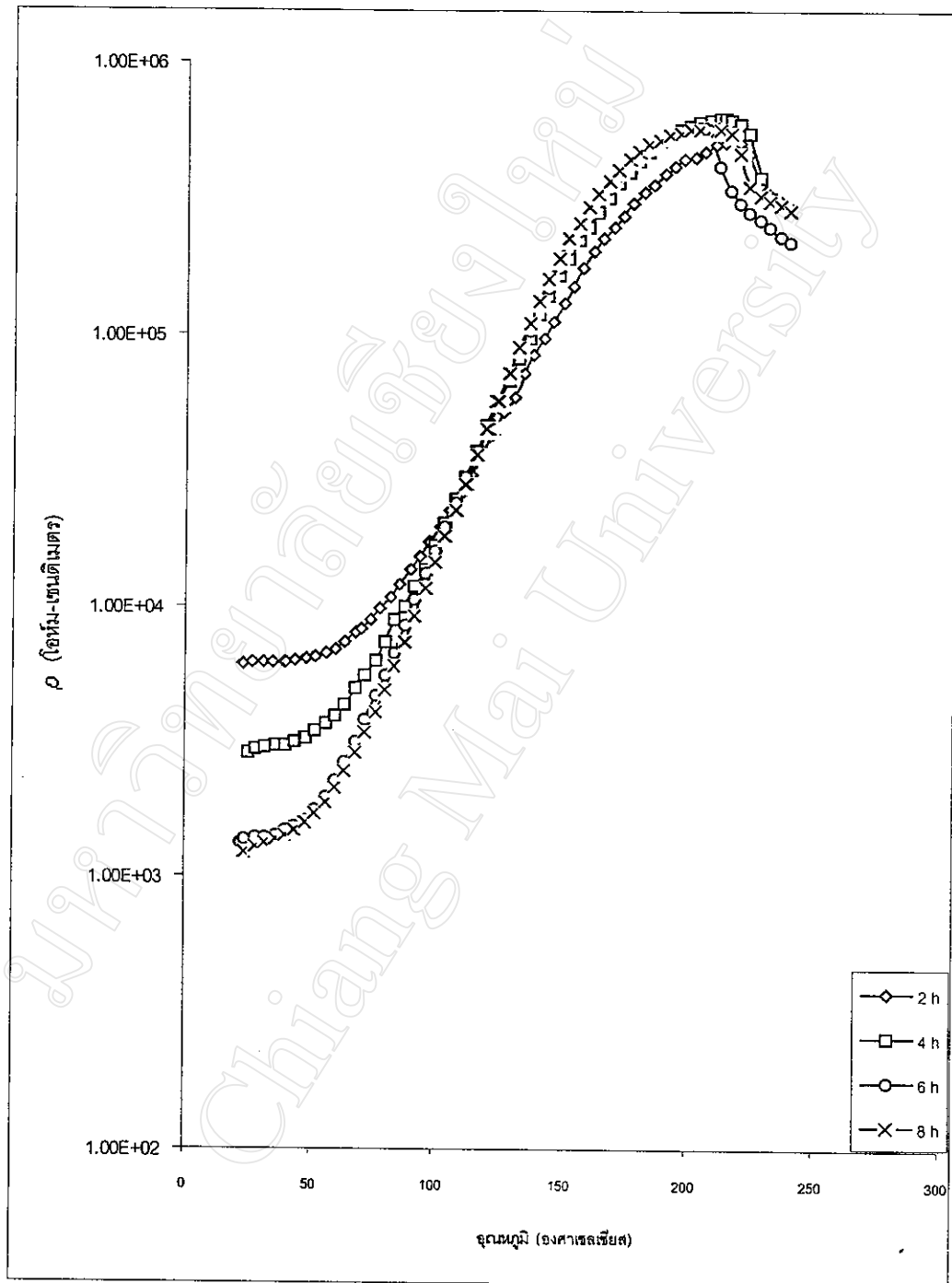
รูปที่ 4.28 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และเผาขึ้นเตอรที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง



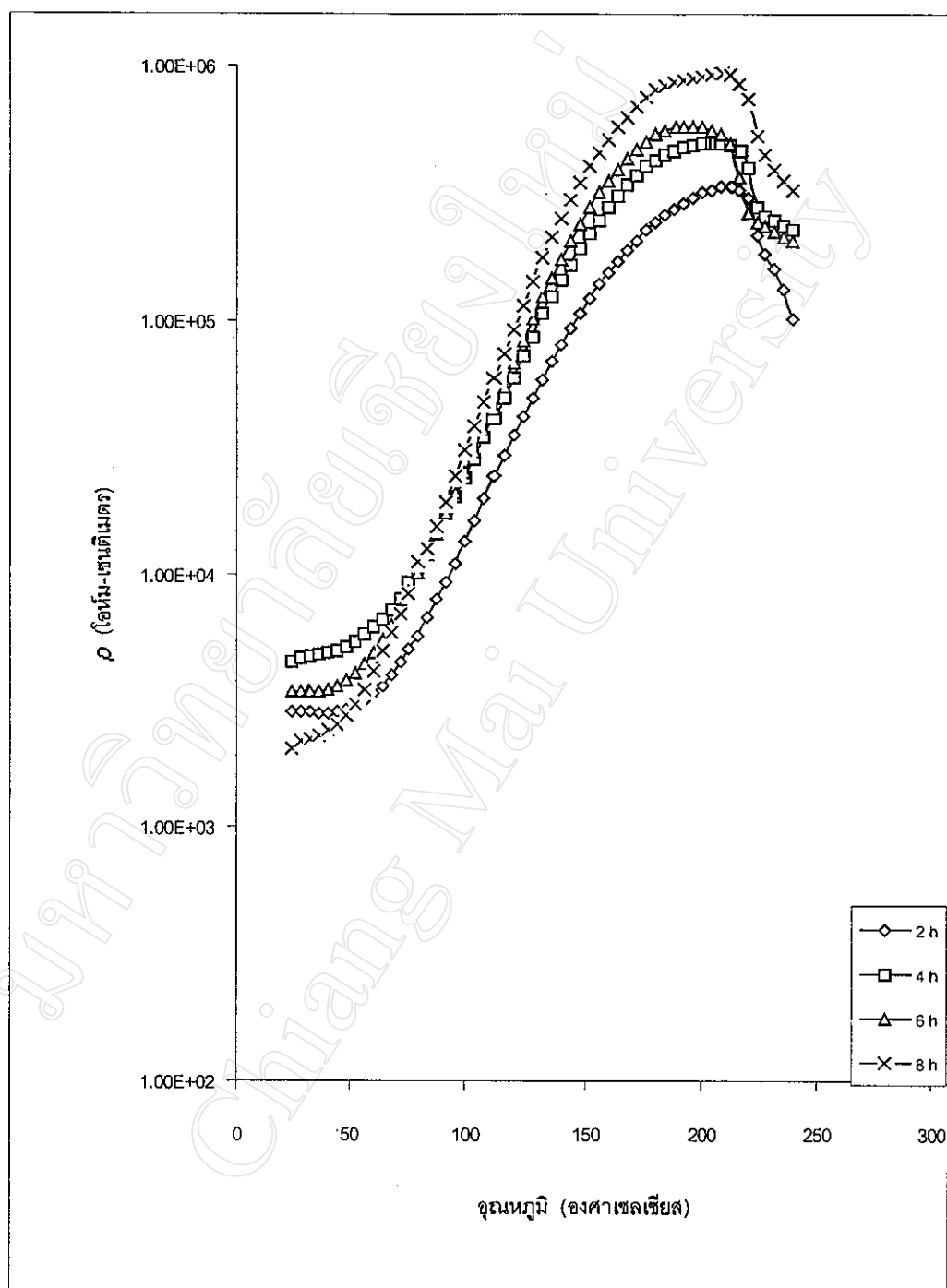
รูปที่ 4.29 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และเผาขึ้นเตอรที่อุณหภูมิ 1350 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



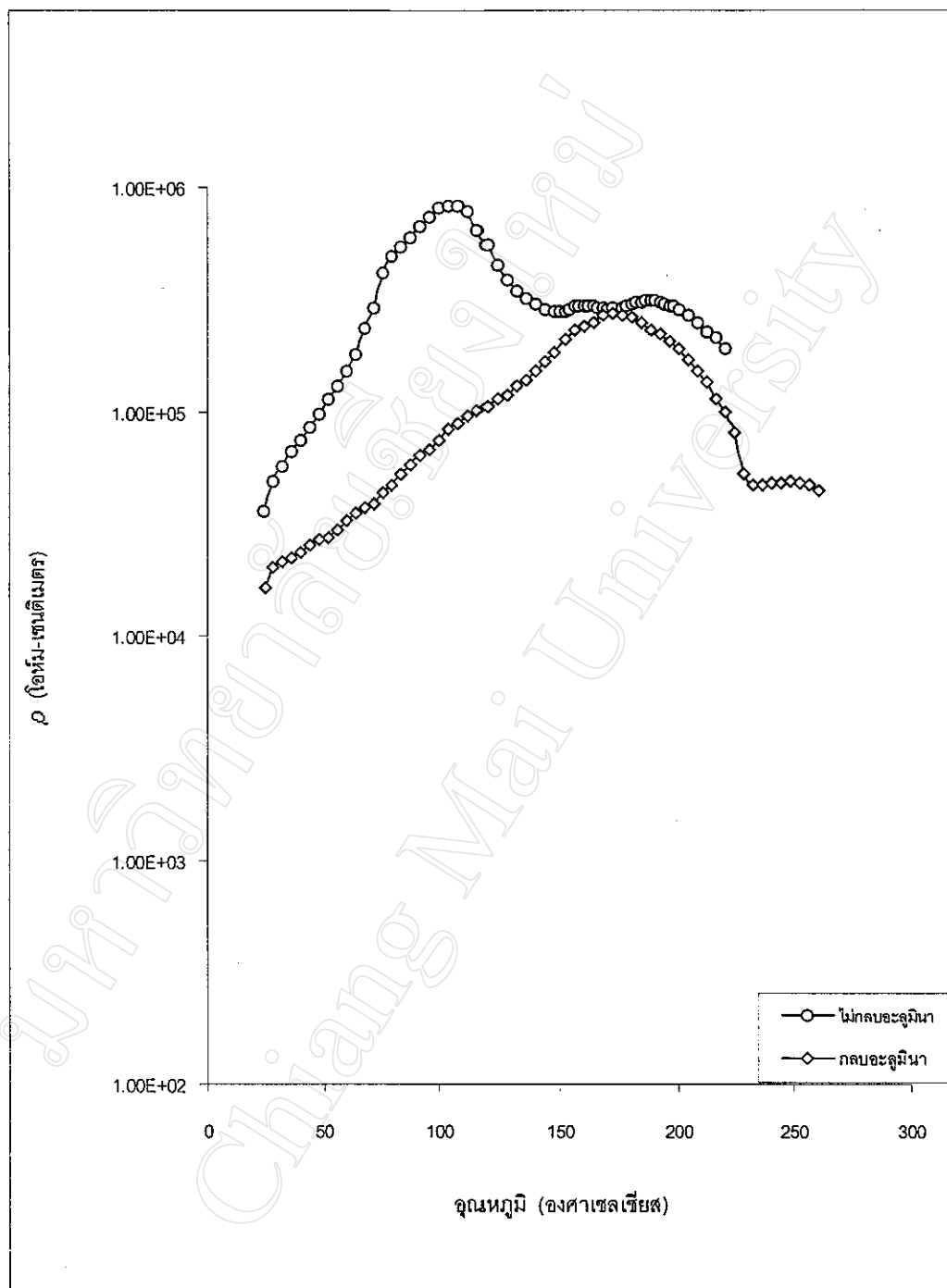
รูปที่ 4.30 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง



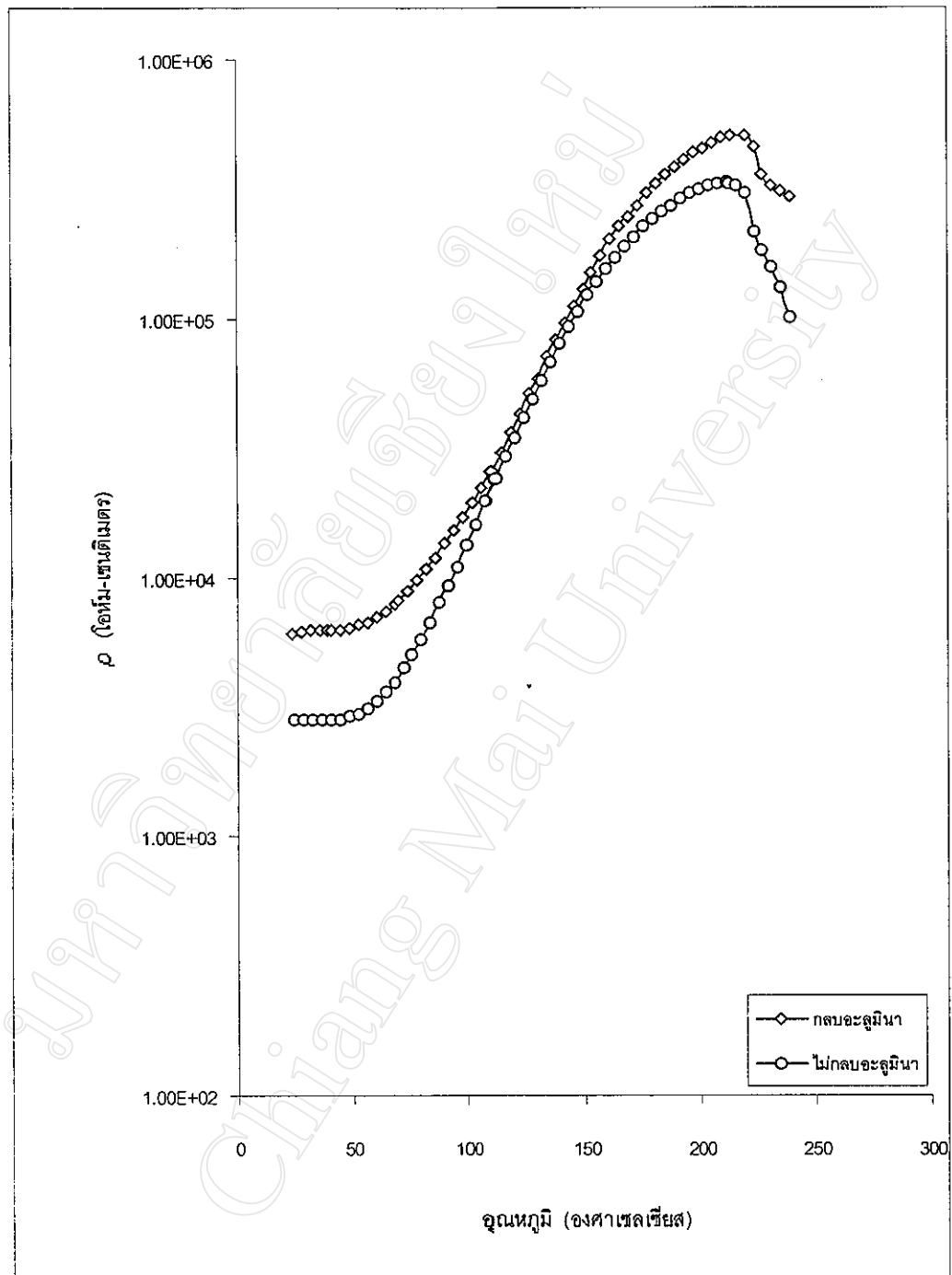
รูปที่ 4.31 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และเผาขึ้นเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลาต่างๆ กัน



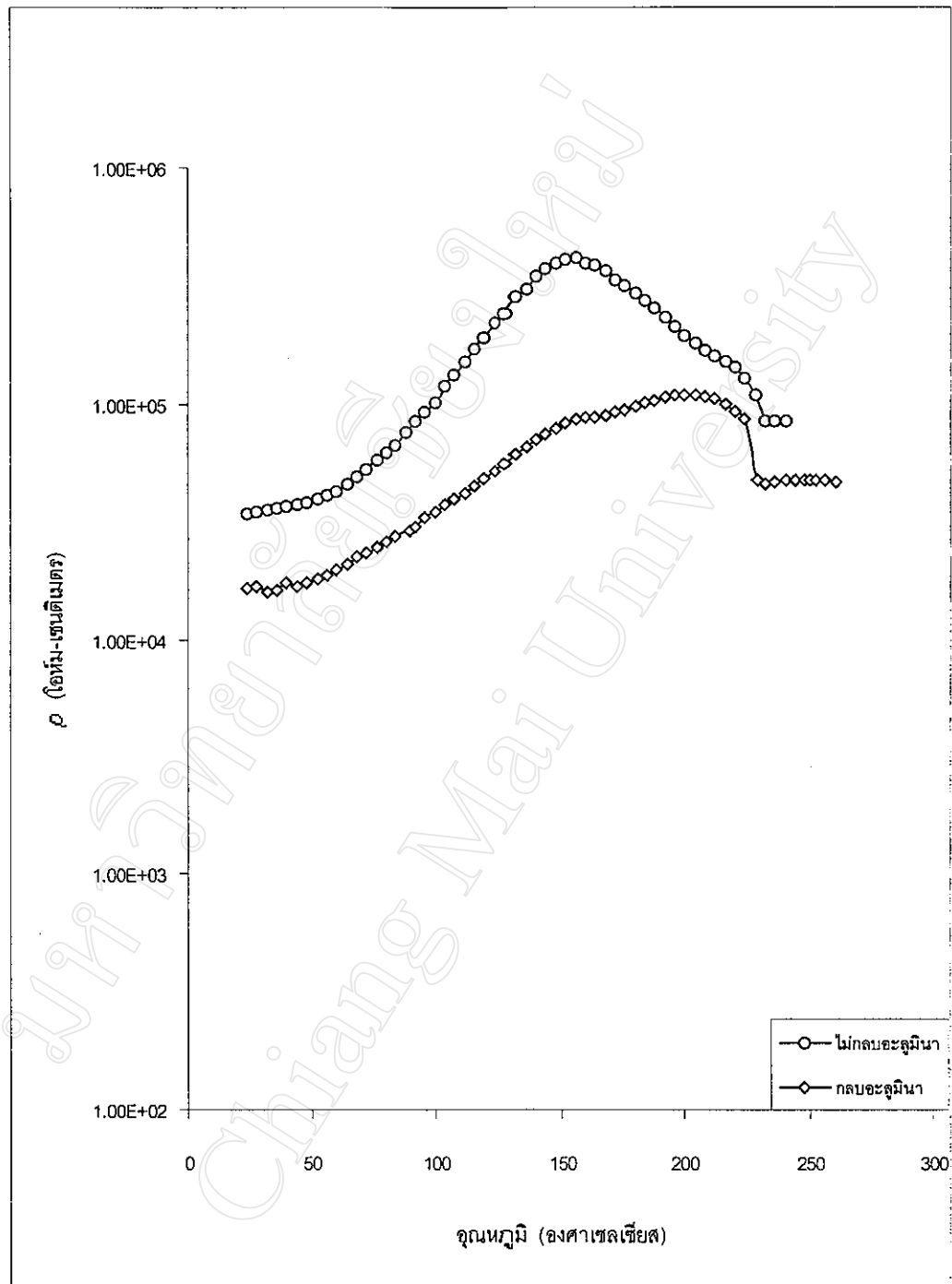
รูปที่ 4.32 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่ อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลาต่างๆ กัน



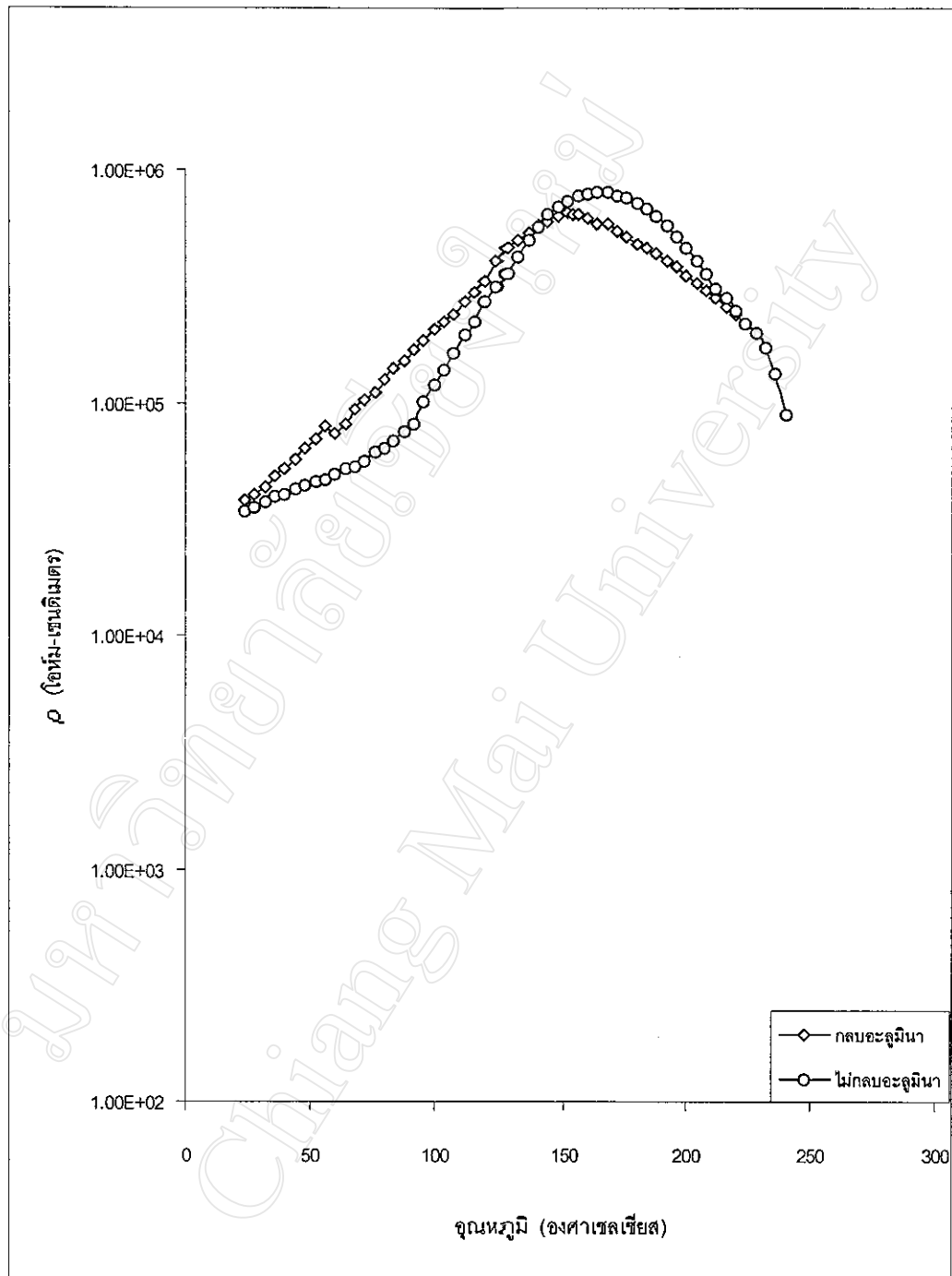
รูปที่ 4.33 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำ ขั้วไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์(Ag)



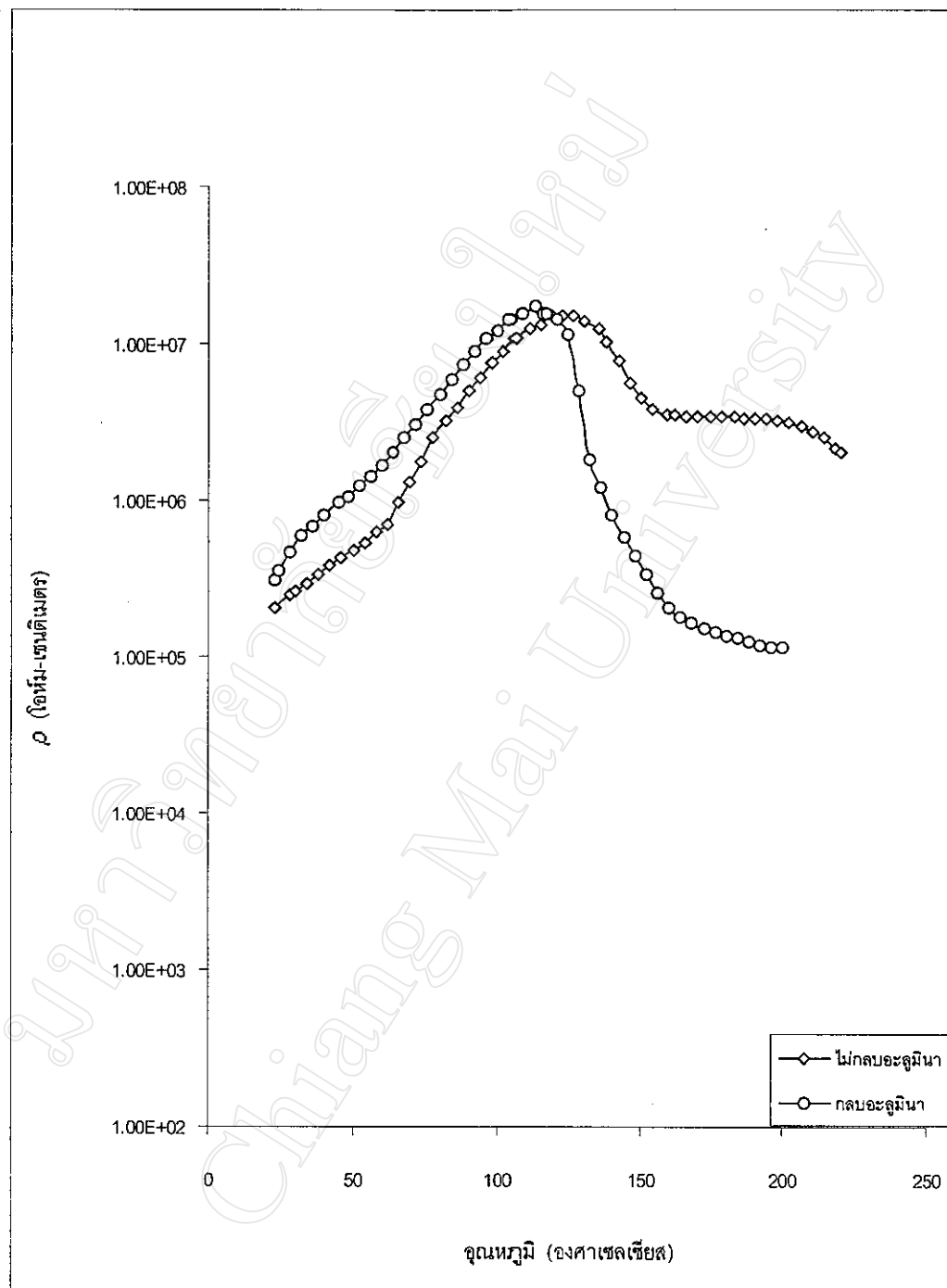
รูปที่ 4.34 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำ หัวไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม (Al)



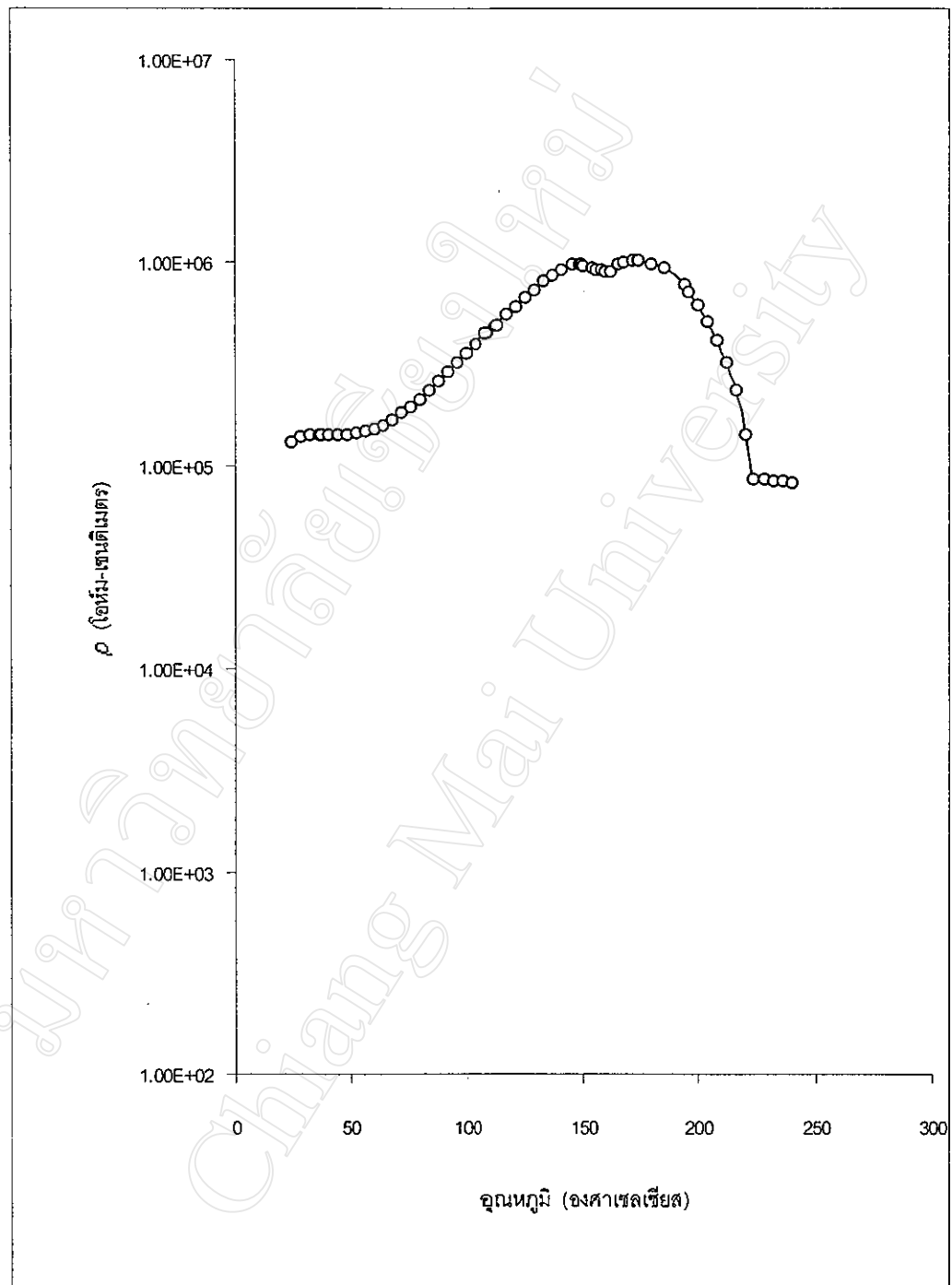
รูปที่ 4.35 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองคำบริสุทธิ์ (Au)



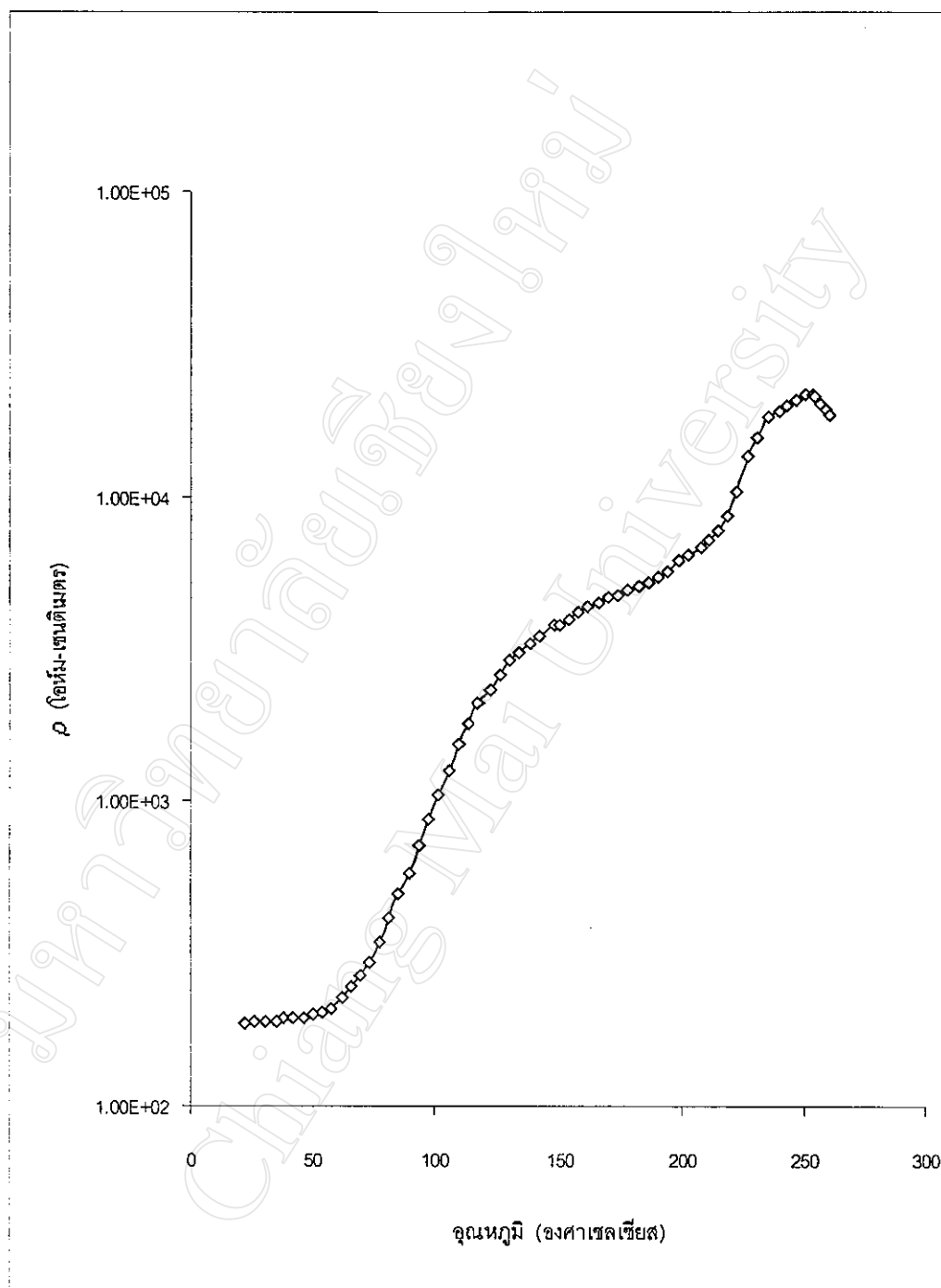
รูปที่ 4.36 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาขึ้นเตอรที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยทองแดงบริสุทธิ์ (Cu)



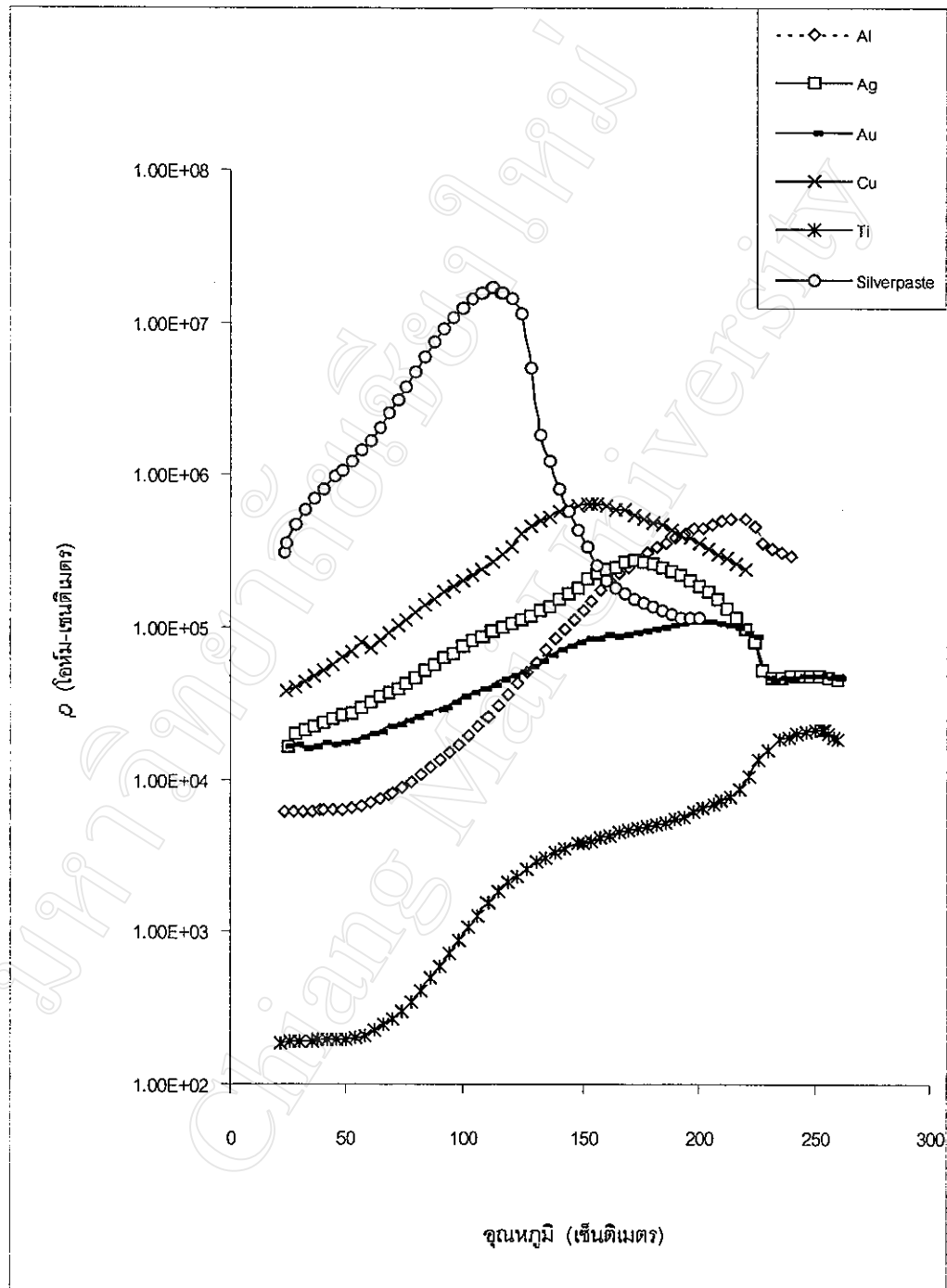
รูปที่ 4.37 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยกาเวเงิน



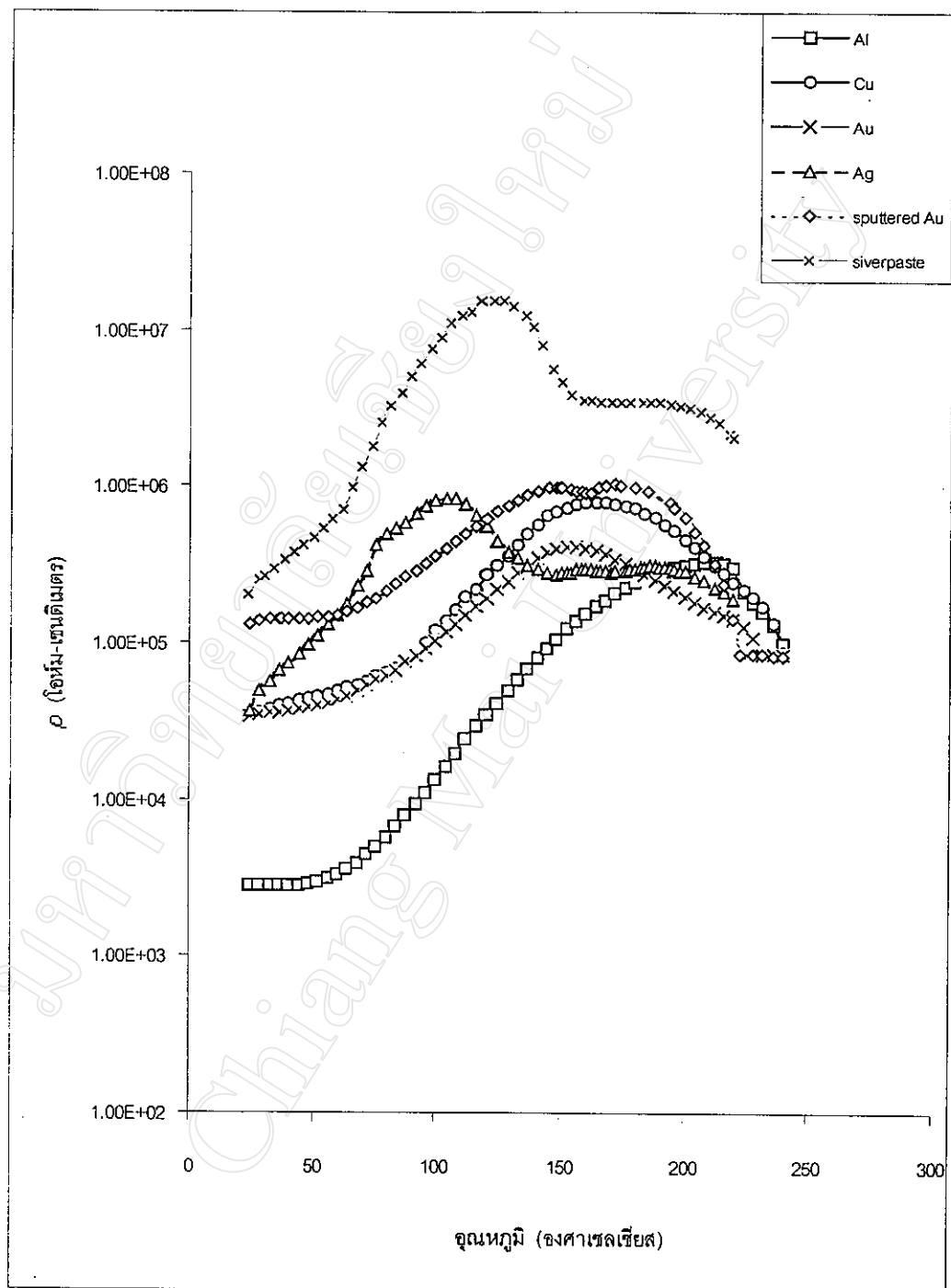
รูปที่ 4.38 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยทองคำบริสุทธิ์(Au)ที่ใช้ในการฉีควสารตัวอย่างในการถ่าย SEM



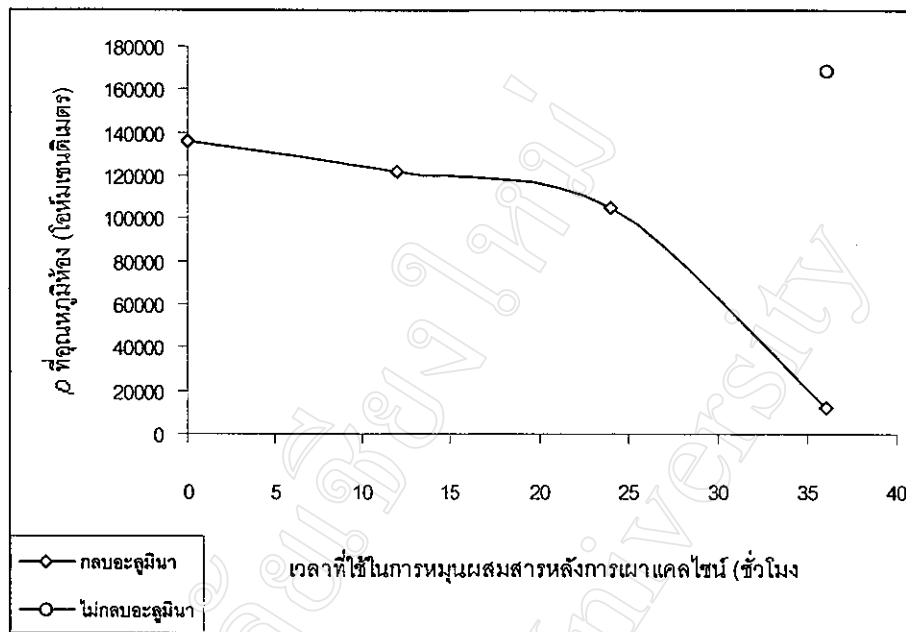
รูปที่ 4.39 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยไทเทเนียม(Ti)



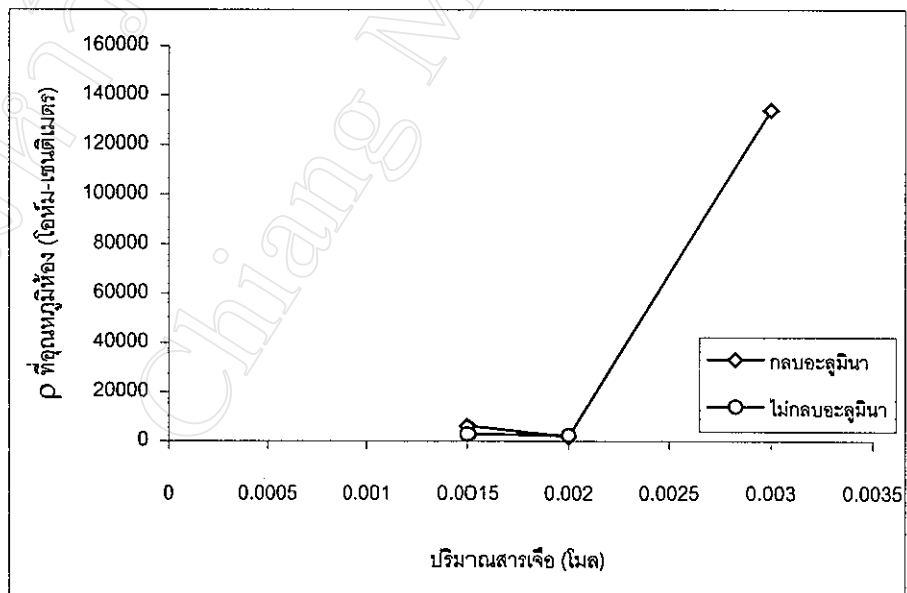
รูปที่ 4.40 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



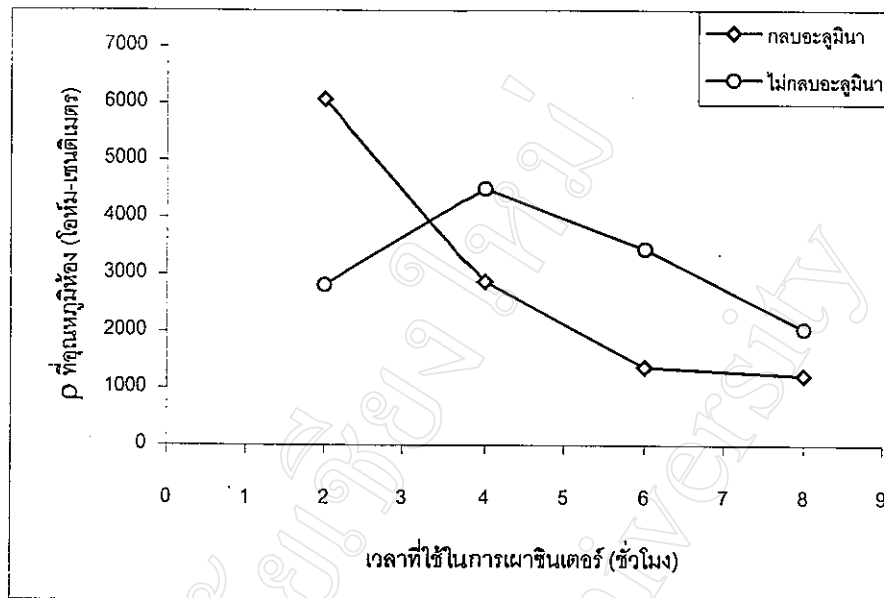
รูปที่ 4.41 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิของสารตัวอย่าง $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



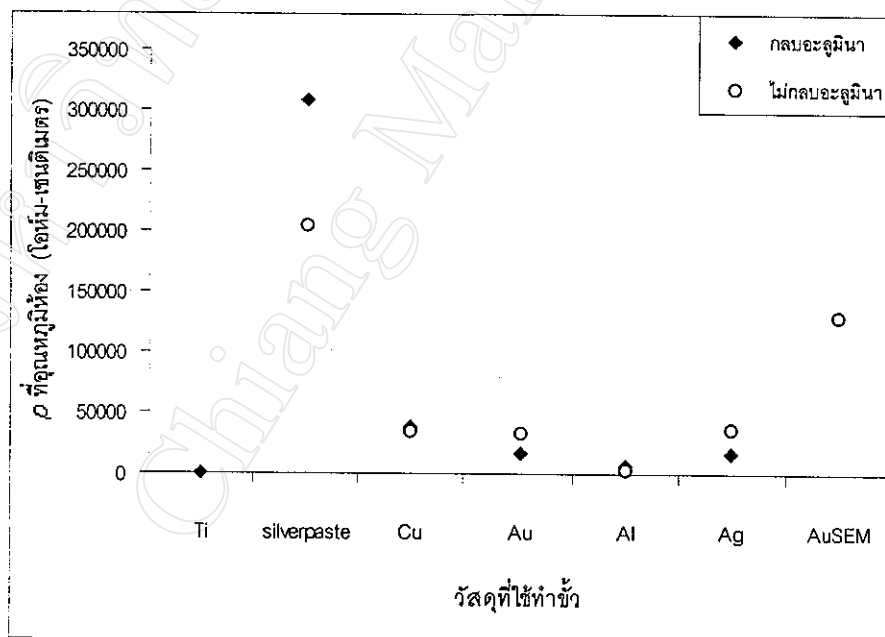
รูปที่ 4.42 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



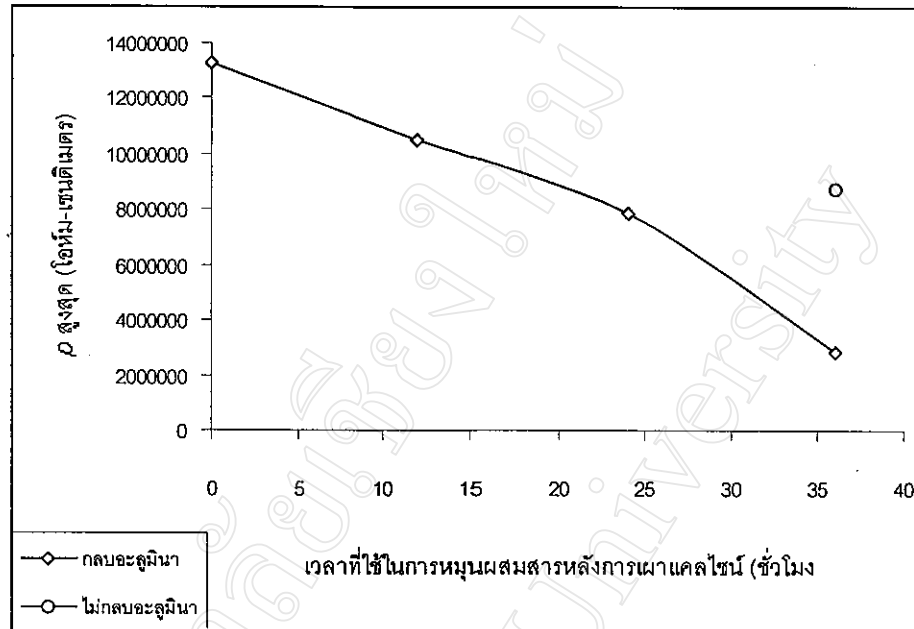
รูปที่ 4.43 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



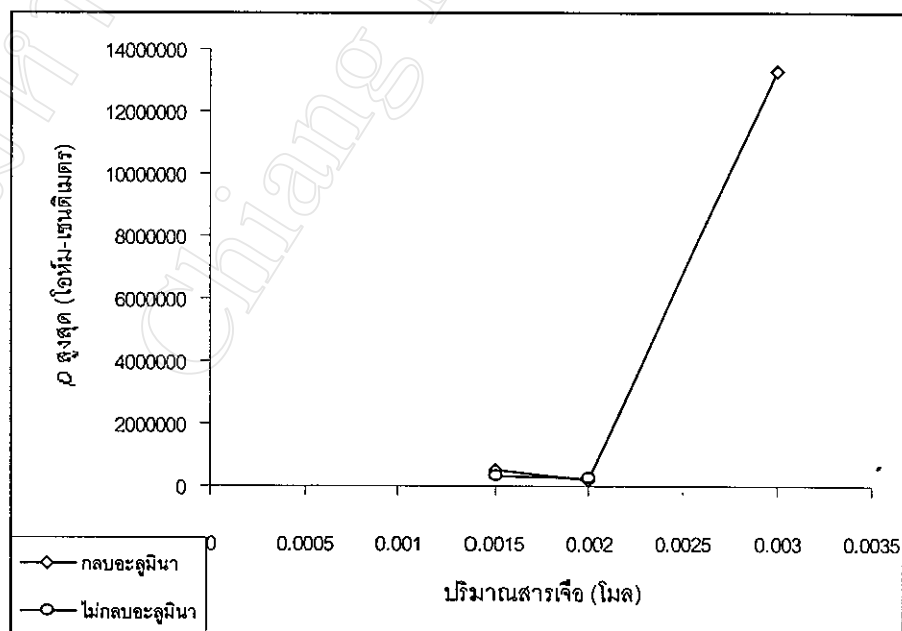
รูปที่ 4.44 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาต่างๆ กัน



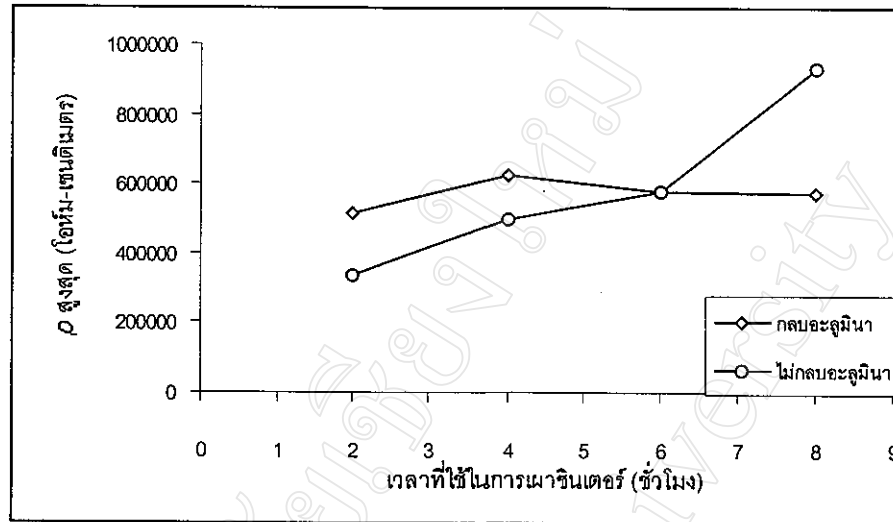
รูปที่ 4.45 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



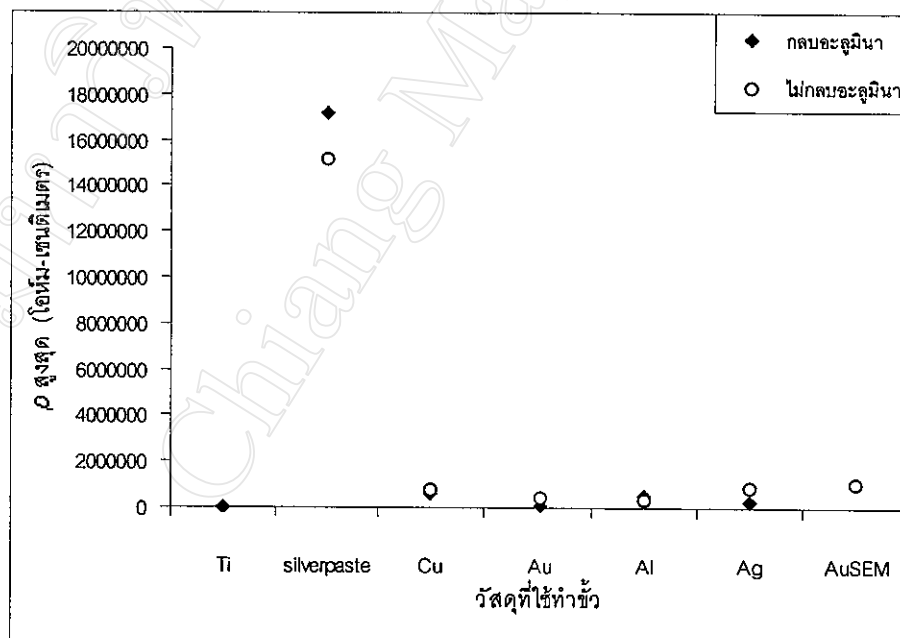
รูปที่ 4.46 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



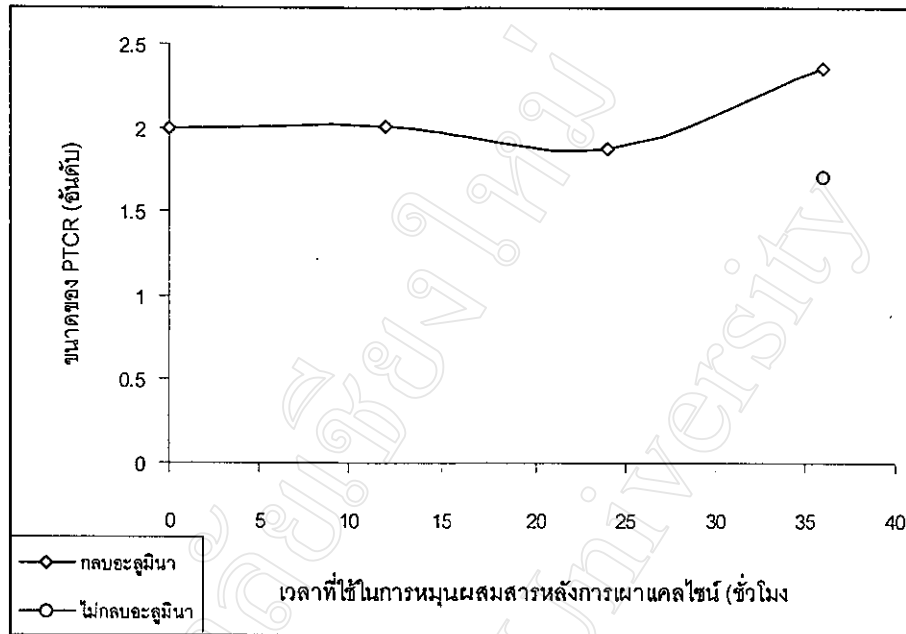
รูปที่ 4.47 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



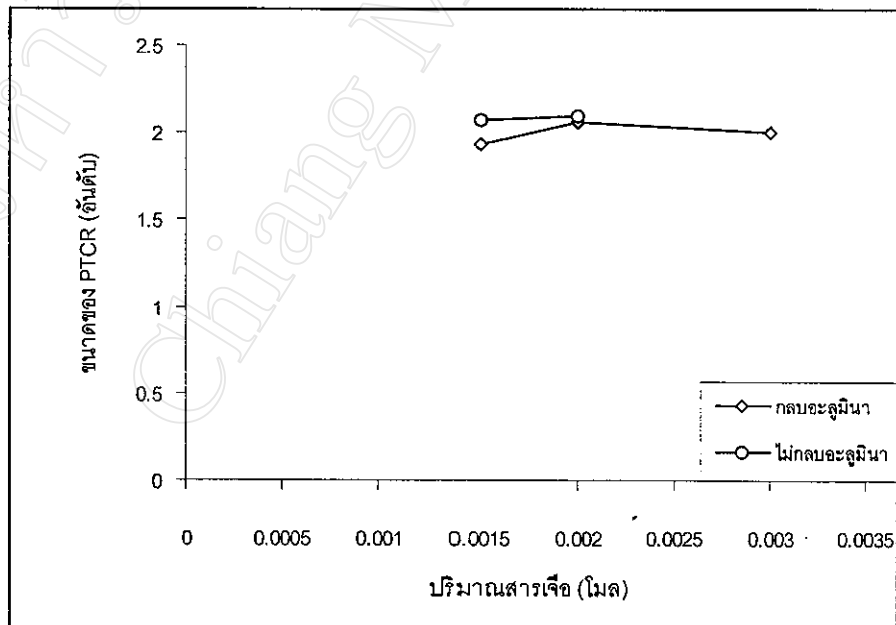
รูปที่ 4.48 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C ด้วยเวลาต่างๆ กัน



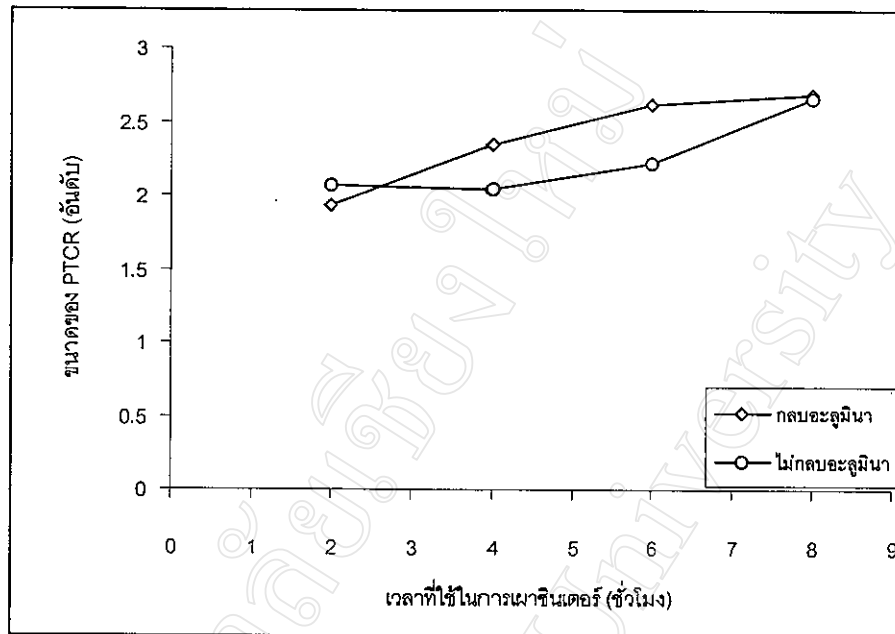
รูปที่ 4.49 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



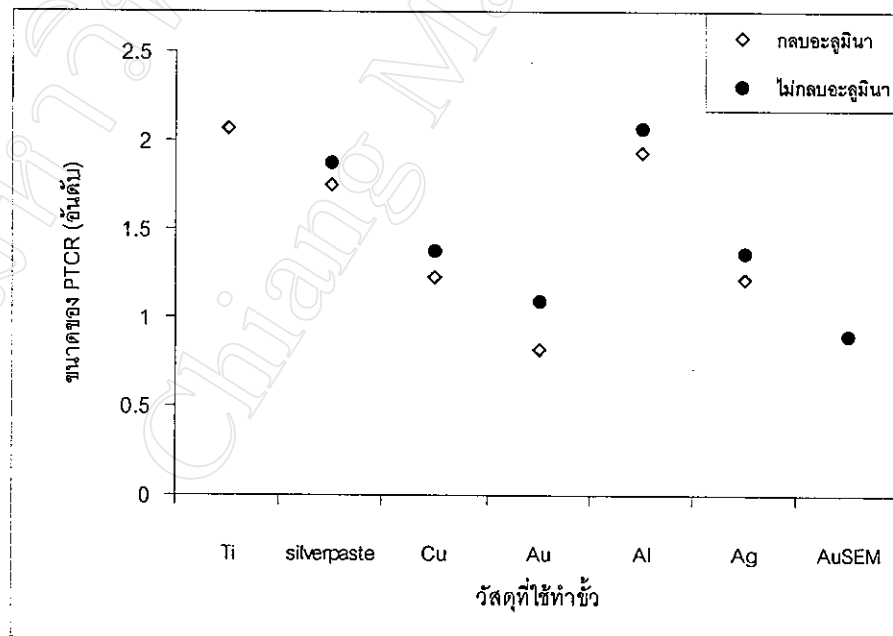
รูปที่ 4.50 ค่าขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมนผลผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



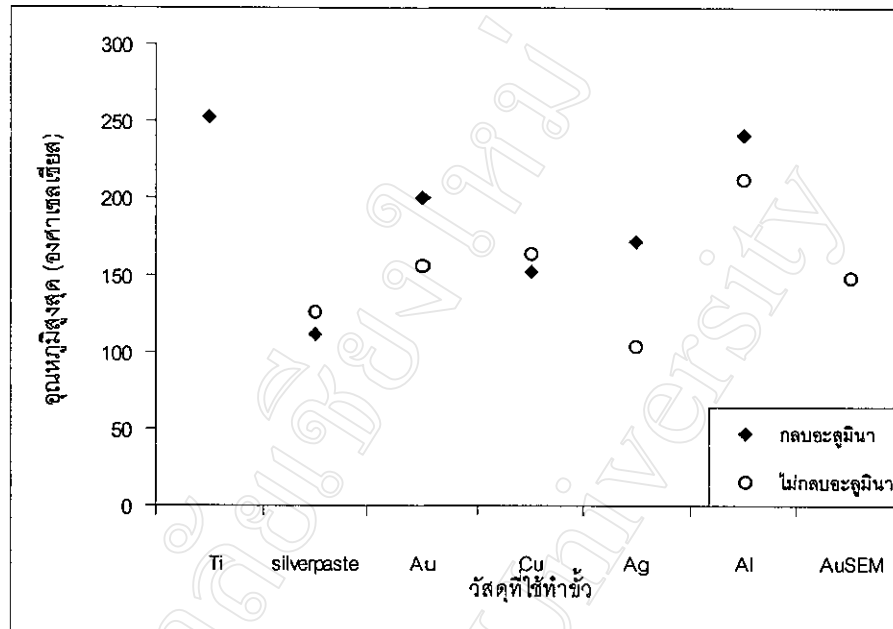
รูปที่ 4.51 ค่าขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณต่างๆ กัน เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.52 ค่าขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C ด้วยเวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.53 ค่าขนาดของ PTCR ของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 4.54 อุณหภูมิที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ

4.6.2 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้า(I_s) และความต่างศักย์ไฟฟ้า(V_s) ที่ตกคร่อมเซรามิกแบเรียม-สทรอนเนียมดีตาเนต

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I_s) และความต่างศักย์ไฟฟ้า(V_s) ของสารตัวอย่าง $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.0015 โมล และทำซ้ำไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ เมื่อเผาซินเตอร์ทั้งแบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินาที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.58 – 4.66

เมื่อพิจารณาการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ทั้งการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

และเมื่อพิจารณาการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 4.59 พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะค่อนข้างที่เป็นเส้นตรงในกรณีของการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา แต่ในกรณีของการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินากราฟที่ได้ก็มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเหมือนในกรณีของการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์ แต่เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้ จะพบว่าเมื่อทำซ้ำไฟฟ้าด้วยอะลูมินาจะให้ค่าความต้านทานน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิ ซึ่งกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.6.1

เมื่อพิจารณาการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยทองคำบริสุทธิ์ ทองแดง และกาวเงิน ดังแสดงในรูปที่ 4.60 – 4.61 และ 4.64 ตามลำดับ พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งเช่นเดียวกับในกรณีของการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์

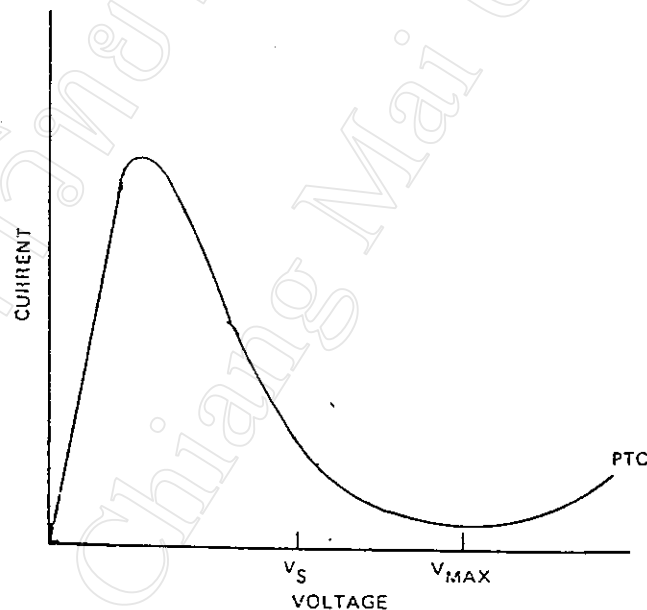
แต่เมื่อพิจารณาการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยทองคำที่ใช้เคลือบสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM ซึ่งสารตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีที่เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ดังแสดงในรูป 4.62 พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งน้อยกว่าในกรณีที่ทำซ้ำไฟฟ้าด้วย เงินบริสุทธิ์ ทองคำบริสุทธิ์ ทองแดง และกาวเงิน แต่ความโค้งของเส้นกราฟนี้ยังมากกว่าในกรณีของการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียมที่เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

เมื่อพิจารณาการทำซ้ำไฟฟ้าด้วยไทเทเนียม ซึ่งสารตัวอย่างในกรณีนี้เป็นสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ดังแสดงในรูป 4.63 พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง

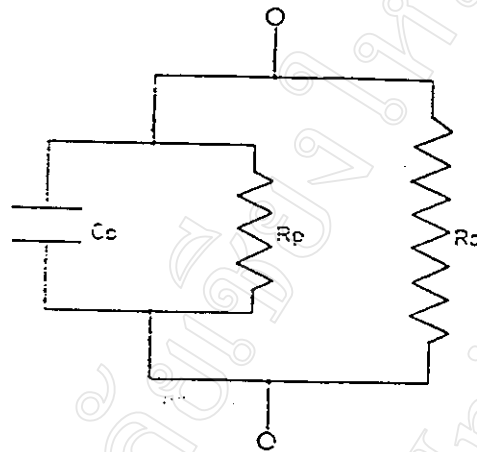
เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่าวัสดุที่เลือกมาทำการวิจัยในครั้งนี้ ยังได้ผลไม่ค่อยดีเท่าที่ควร เพราะซ้ำไฟฟ้าที่จะนำมาศึกษาลักษณะเฉพาะของ PTCR นั้น จะต้องได้กราฟของความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่างเป็นเส้นตรง ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี และเป็นไปตามกฎของโอห์ม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าซ้ำไฟฟ้าที่ใช้มีลักษณะ

เป็นแบบโอห์มิก(ohmic - contact) ดังแสดงในรูปที่ 4.55 และในขณะการทดลองนี้ก็ได้ทำการวัดอุณหภูมิของสารตัวอย่างไปด้วย ปรากฏว่าสารตัวอย่างมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ประมาณ $25 - 28^{\circ}\text{C}$ (ในขณะที่ทำการทดลองอุณหภูมิห้องมีค่า ประมาณ 23°C) ซึ่งยังไม่ถึงอุณหภูมิคูรีของสารอย่างแน่นอน

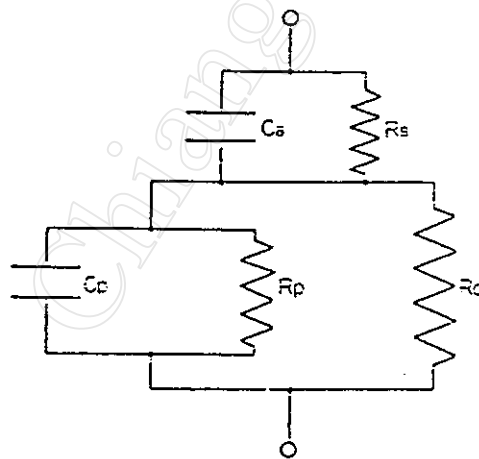
ถ้าวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าที่เลือกมาในการทำวิจัยนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นไปตามกฎของโอห์ม กราฟที่ได้จะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งในการทดลองพบอยู่กรณีเดียว คือ ไทเทเนียม นั่นคือ ไทเทเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าที่มีแนวโน้มที่มีลักษณะเป็นแบบโอห์มิก ส่วนวัสดุตัวอื่นๆ เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเป็นแบบไม่เป็นโอห์มิก (non - ohmic contact) ซึ่งจากการรายงานของ Saburi ⁽⁶⁾ พบว่าขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแบบโอห์มิกจะมีวงจรสมมูลดังรูปที่ 4.56 และขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะแบบไม่เป็นโอห์มิกจะมีวงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 4.57



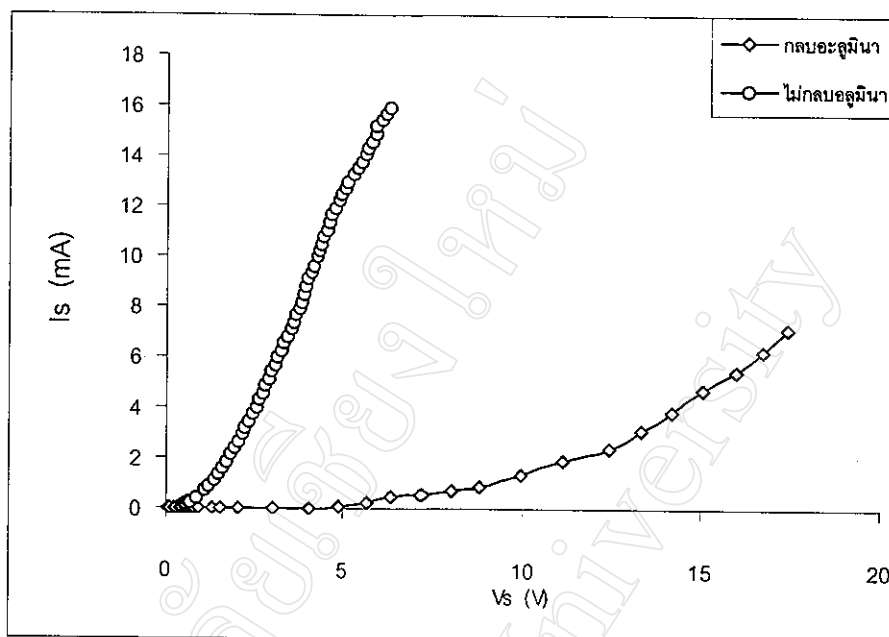
รูปที่ 4.55 พฤติกรรมของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของเทอร์มิสเตอร์ชนิด PTC ⁽²⁾



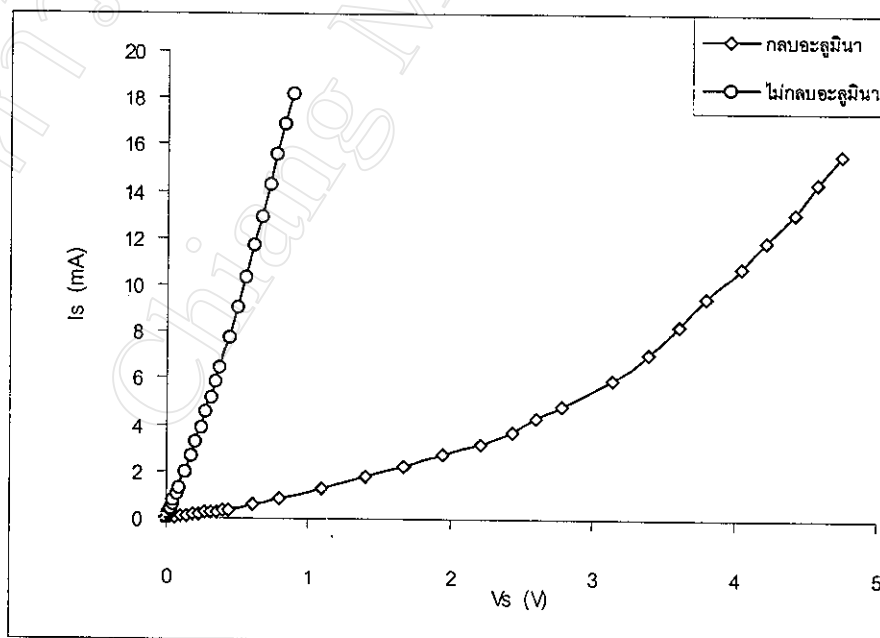
รูปที่ 4.56 วงจรสมมูลของสารกึ่งตัวนำแบบเรียบติดตามเนตที่มีขั้วไฟฟ้าในลักษณะที่เป็นโอห์มิก⁽⁶⁾



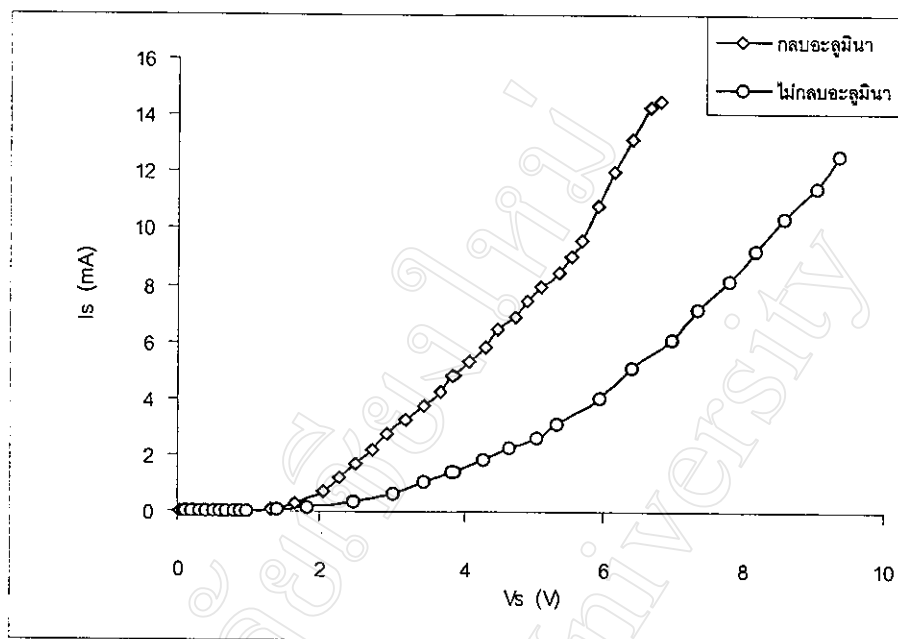
รูปที่ 4.57 วงจรสมมูลของสารกึ่งตัวนำแบบเรียบติดตามเนตที่มีขั้วไฟฟ้าในลักษณะที่ไม่เป็นโอห์มิก⁽⁶⁾



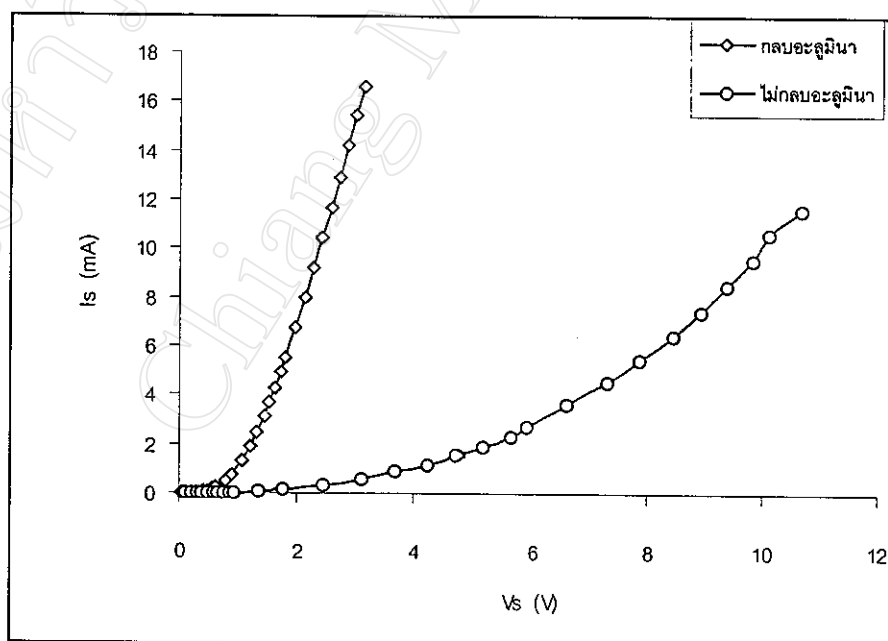
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์(Ag)



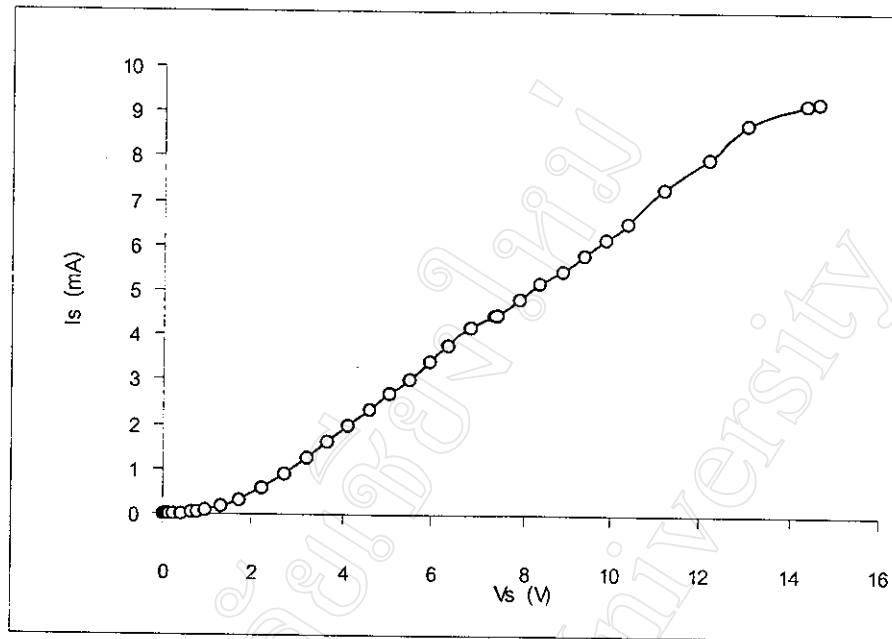
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม(Al)



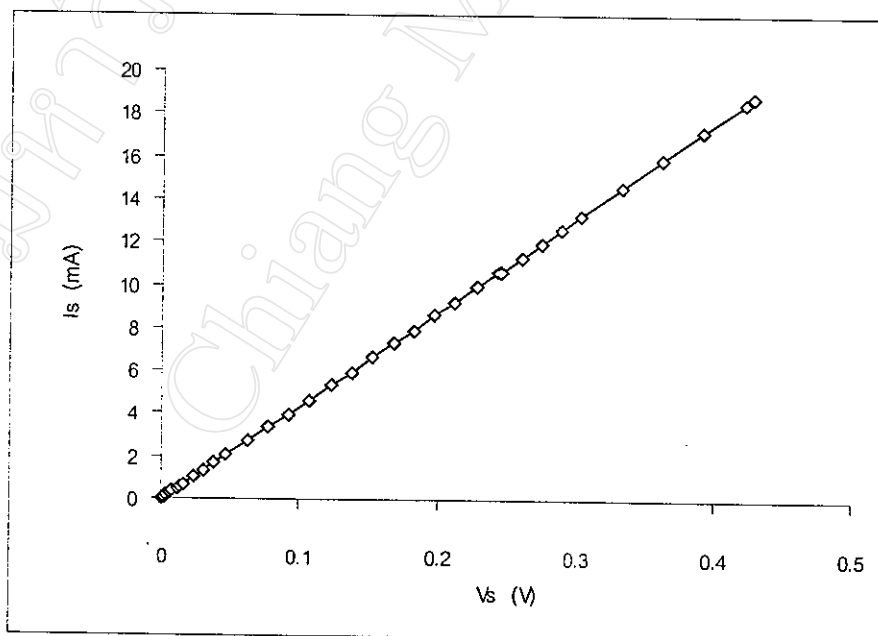
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองบริสุทธิ์ (Au)



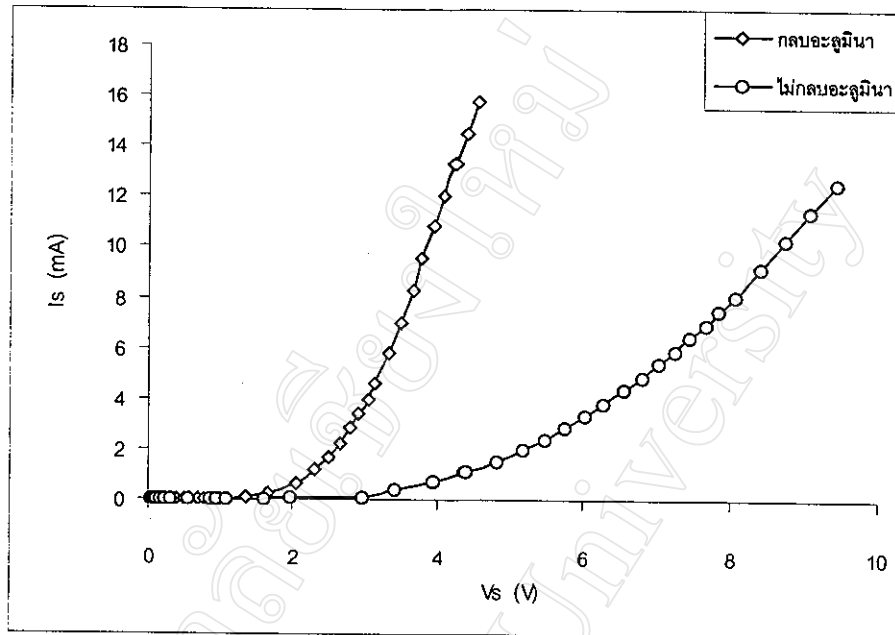
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองแดงบริสุทธิ์ (Cu)



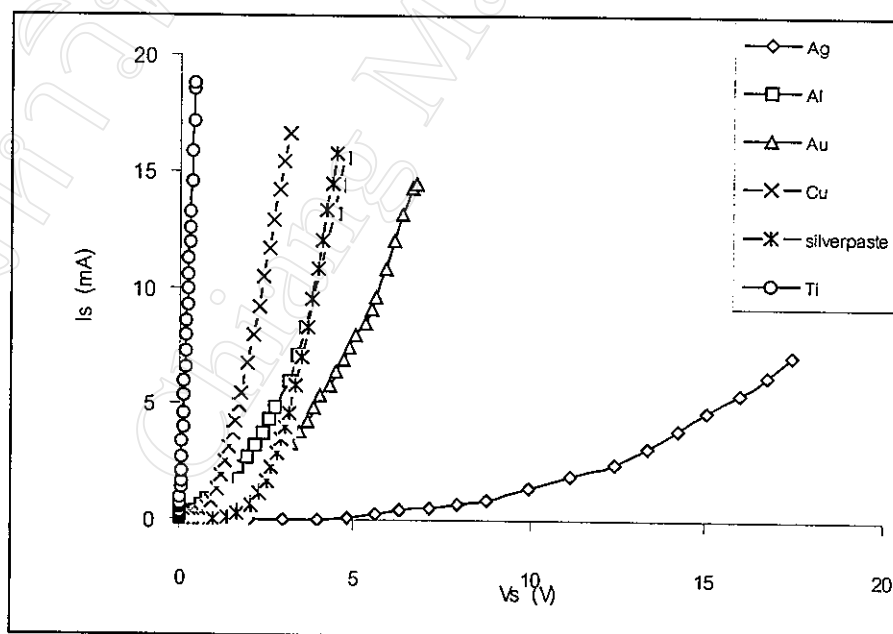
รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองที่ใช้ในการเคลือบผิวสารตัวอย่างในตอนที่ย้าย SEM(Au)



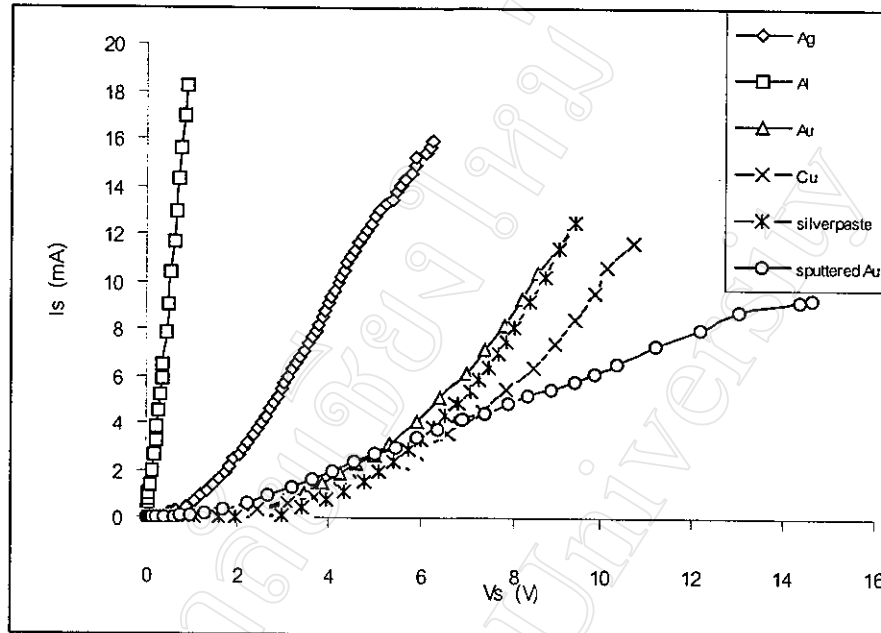
รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยไทเทเนียม(Ti)



รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน



รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆเมื่อ ซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา



รูปที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ที่ตกคร่อมสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆเมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

4.6.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (ϵ_r) และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปความร้อนของไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) เทียบกับอุณหภูมิ

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนของไดอิเล็กตริกเทียบกับอุณหภูมิ โดยทำการวัดที่ความถี่ 1 kHz ของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุต่างๆ คือ Al, Ag, Au, Cu, Ti, กาวเงิน และ ทองที่ใช้ในการเคลือบผิวสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM แสดงดังรูปที่ 4.67 – 4.81

เมื่อพิจารณาในกรณีการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา พบว่าค่าสภาพยอมสัมพัทธ์มีค่าขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำขั้ว โดยขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยเงินบริสุทธิ์จะมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิห้องสูงที่สุด รองลงมา คือ กาวเงิน ทองแดง อะลูมิเนียม และขั้วไฟฟ้าทองบริสุทธิ์จะมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิห้องต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาในกรณีการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยอะลูมินา พบว่าค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ก็มีค่าขึ้นอยู่กัวัสดุที่ใช้ทำขั้วเช่นเดียวกัน โดยขั้วไฟฟ้า

ที่ทำด้วยทองที่ใช้ในการเคลือบผิวของสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM นั้นจะมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิห้องสูงที่สุด รองลงมา คือ ทองแดง อะลูมิเนียม ทองบริสุทธิ์ กาวเงิน และขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยเงินบริสุทธิ์จะให้ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่ำที่สุด ดังแสดงในรูป 4.82

แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิคูรีของสารตัวอย่าง พบว่าขั้วไฟฟ้าที่ใช้ก็มีผลต่ออุณหภูมิคูรีเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ขั้วไฟฟ้าบางชนิดไม่สามารถหาค่าอุณหภูมิคูรีได้เนื่องจากค่าสภาพยอมสัมพัทธ์มีค่าลดลงเรื่อยๆ จากอุณหภูมิห้อง - 200 °ซ ซึ่งได้แก่ ขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยเงินบริสุทธิ์ และทองแดง

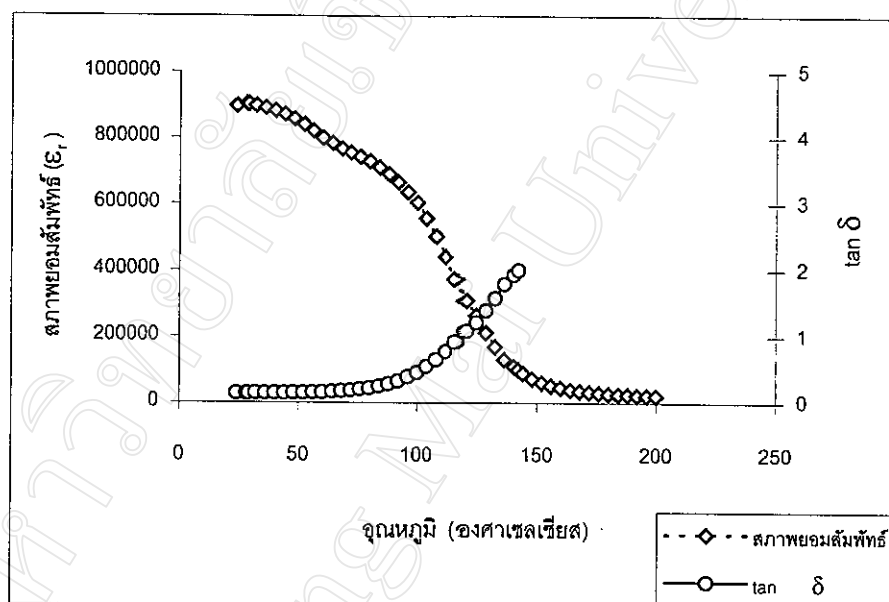
และเมื่อพิจารณาค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนของไดอิเล็กตริก พบว่า ที่อุณหภูมิห้องนั้นสารตัวอย่างที่ทำขั้วด้วยอะลูมิเนียมจะมีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ ทองแดง ส่วนขั้วไฟฟ้าอื่นๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการเผาชินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และสำหรับการเผาชินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินานั้น พบว่า ขั้วไฟฟ้าที่ทำด้วยอะลูมิเนียมก็มีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนสูงที่สุดเช่นเดียวกันกับกรณีเผาชินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา ส่วนสารตัวอย่างที่ทำขั้วด้วยวัสดุชนิดอื่นๆ พบว่าค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.83

แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 100 °ซ พบว่าค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปความร้อนนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนในสารตัวอย่างบางตัวไม่สามารถวัดค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนได้ เนื่องจากมีค่ามากกว่าค่าที่เครื่องมือสามารถวัดได้ โดยจะสังเกตได้จากกราฟของ $\tan \delta$ เทียบกับอุณหภูมิ ซึ่งจะมีการขาดหายไปในช่วง และเมื่อพิจารณาสารตัวอย่างที่เผาชินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่า สารตัวอย่างที่เผาชินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปความร้อนมากกว่าสารตัวอย่างที่เผาชินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

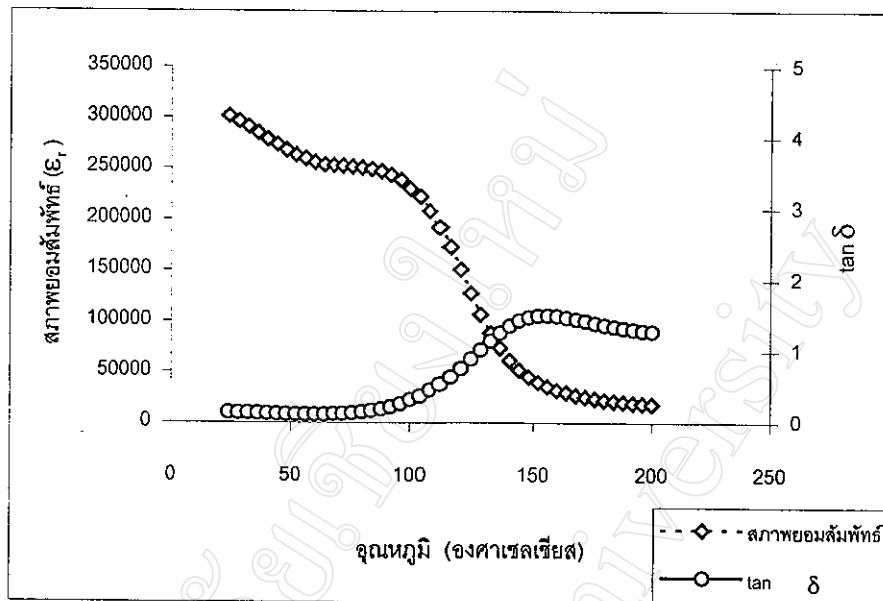
สำหรับสารตัวอย่างที่ทำขั้วไฟฟ้าด้วยไทเทเนียมนั้นไม่สามารถวัดค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับอุณหภูมิได้ เนื่องจากเกิดการช็อตในวงจรไฟฟ้าที่ทำการทดลอง เพราะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำประมาณ 31 โอห์ม

กล่าวโดยสรุปแล้วสารตัวอย่างที่เผาชินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์สูงกว่าสารตัวอย่างที่เผาชินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และเมื่อพิจารณาค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปความร้อน พบว่าจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับลักษณะเฉพาะของ PTCR ของสารตัวอย่าง ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.6.1 และเมื่อพิจารณาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในการศึกษาค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การ

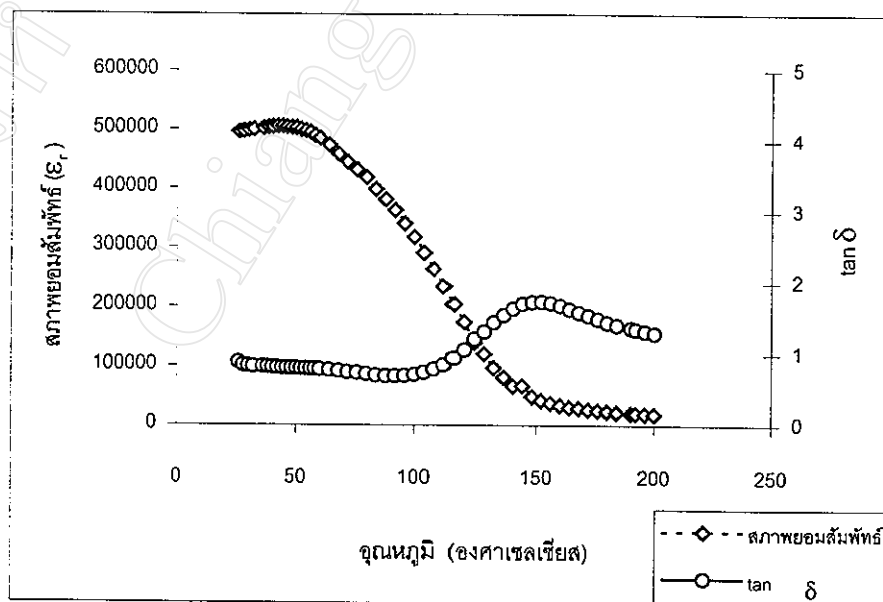
สูญเสียในรูปของความร้อนนั้น พบว่า ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมน่าจะเป็นขั้วไฟฟ้าที่ทำจากเงินบริสุทธิ์ หรือการเงินสำหรับสารตัวอย่างที่ซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา เนื่องจากมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิห้องค่าสูงและค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนค่าต่ำ และสำหรับสารตัวอย่างที่เผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากทองที่ใช้ในการเคลือบการตัวอย่างในตอนถ่าย SEM หรือทองแดง เนื่องจากมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ค่าสูงและแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนค่าต่ำที่อุณหภูมิห้อง



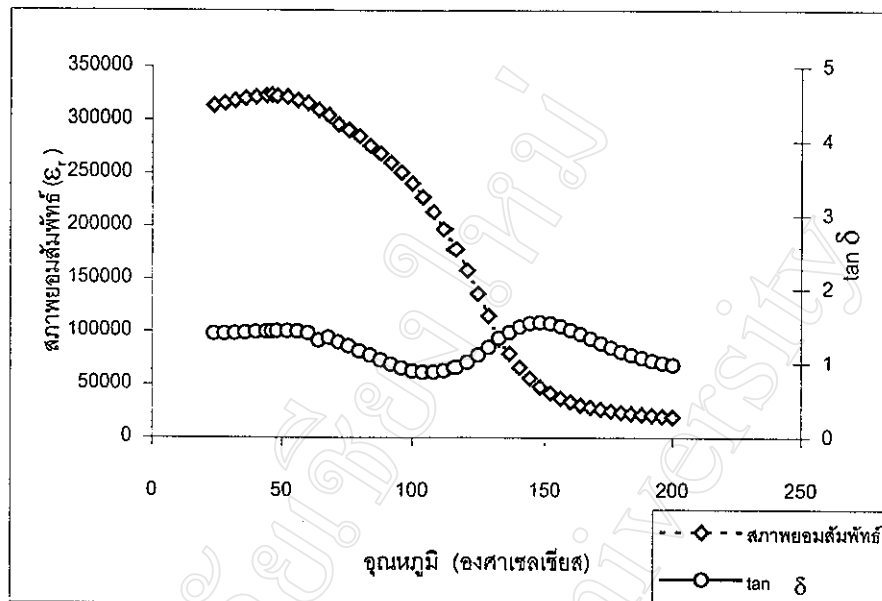
รูปที่ 4.67 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์



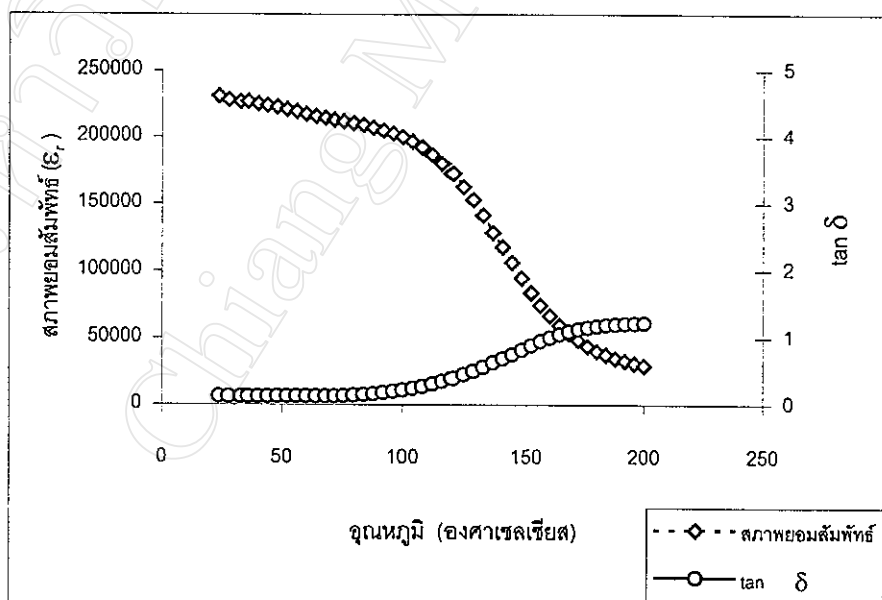
รูปที่ 4.68 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยเงินบริสุทธิ์



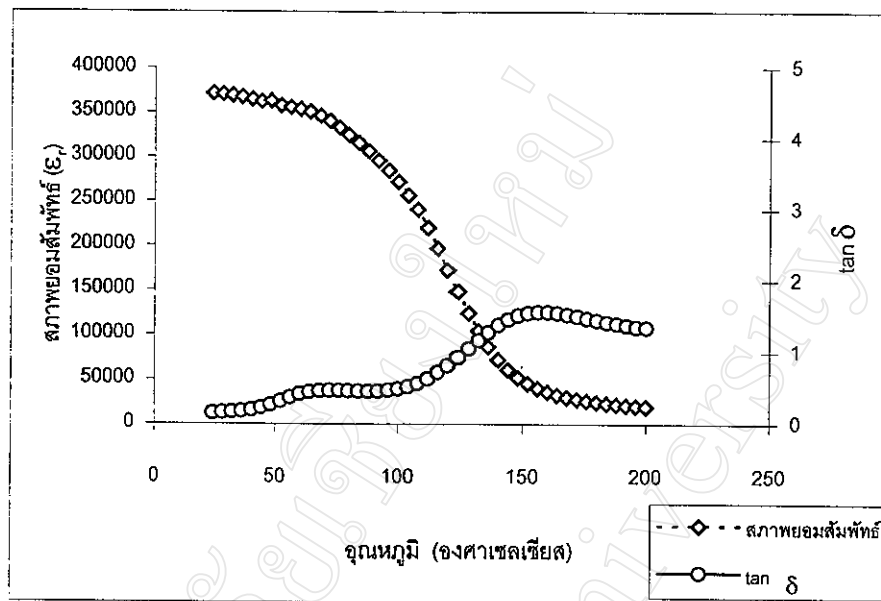
รูปที่ 4.69 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม



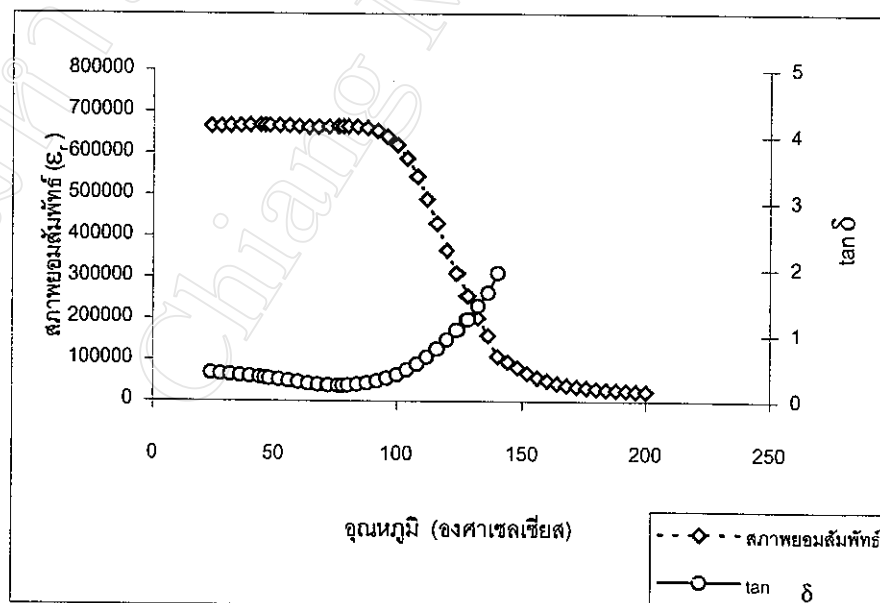
รูปที่ 4.70 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบไม่ด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียม



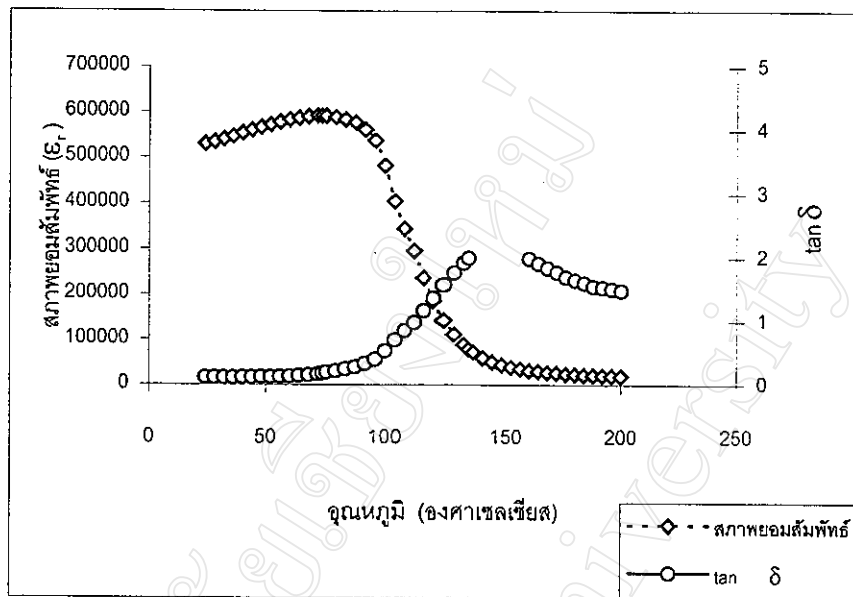
รูปที่ 4.71 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองบริสุทธิ์



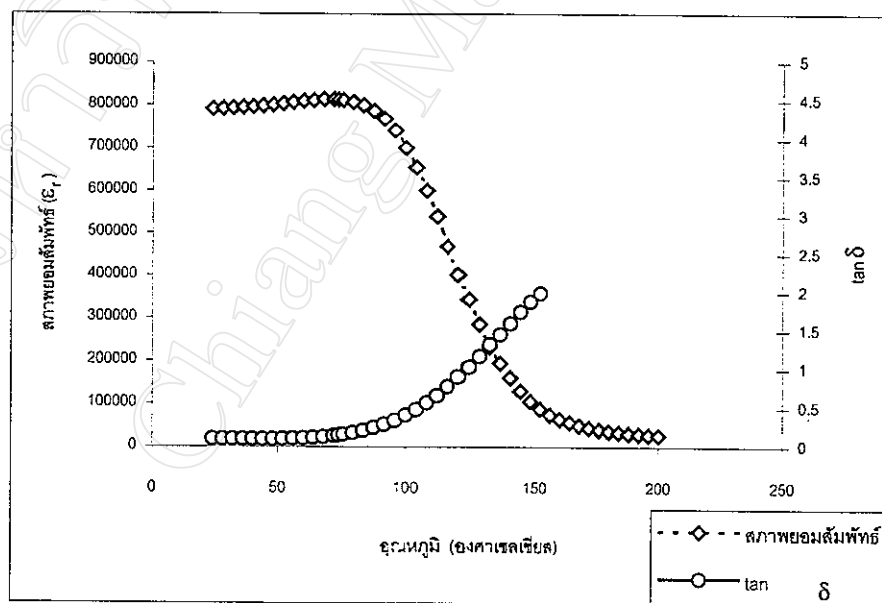
รูปที่ 4.72 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองบริสุทธิ์



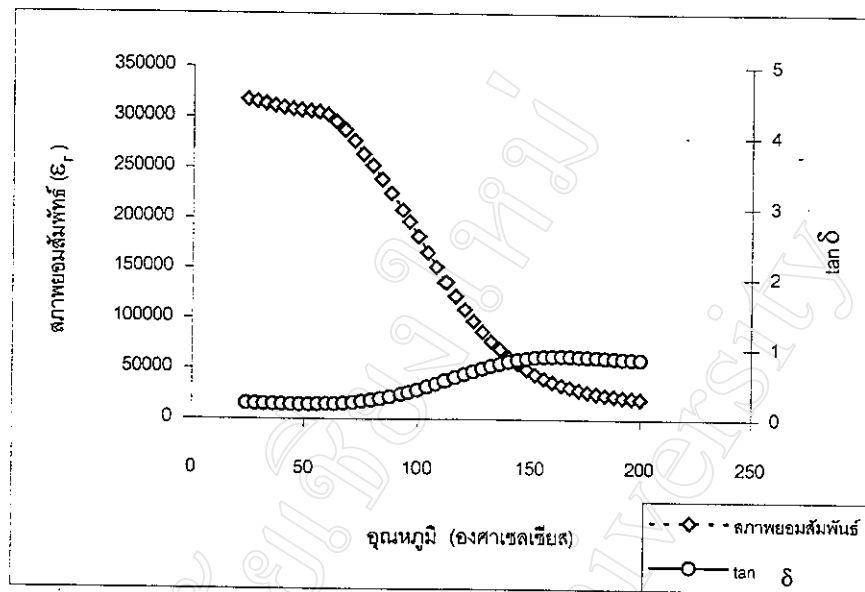
รูปที่ 4.73 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองแดง



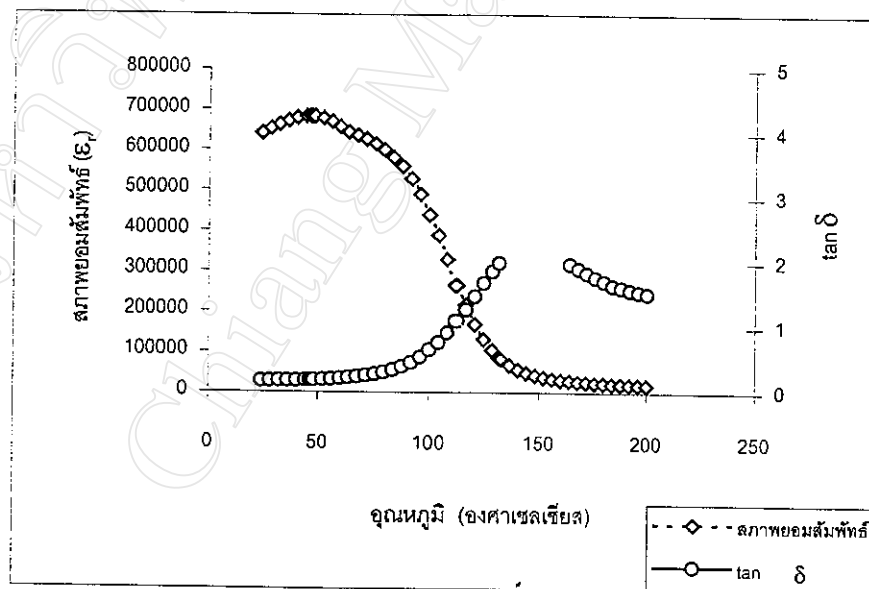
รูปที่ 4.74 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับอุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลับด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองแดง



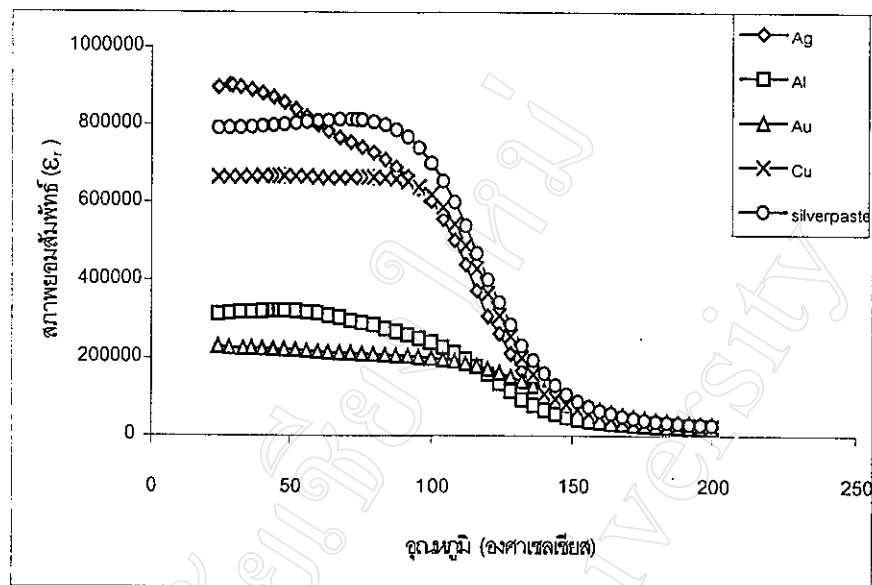
รูปที่ 4.75 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับอุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลับด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน



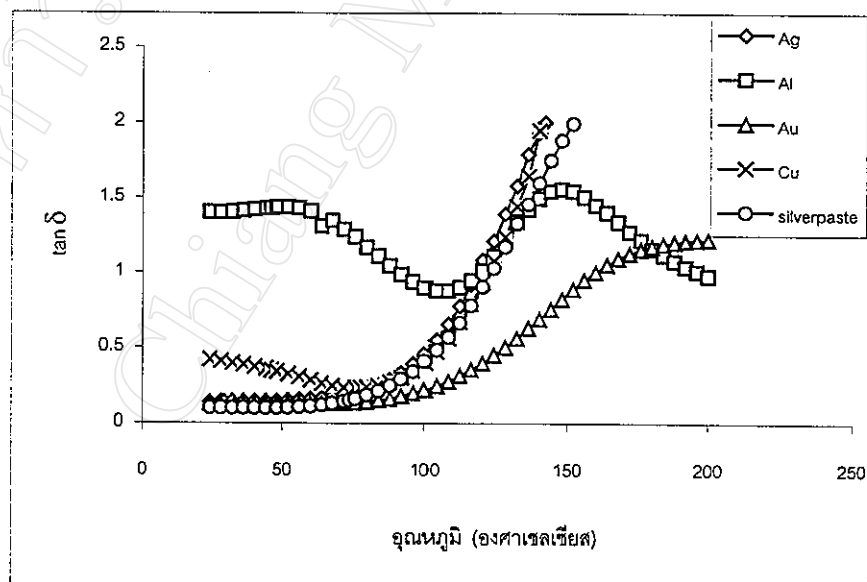
รูปที่ 4.76 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยกาวเงิน



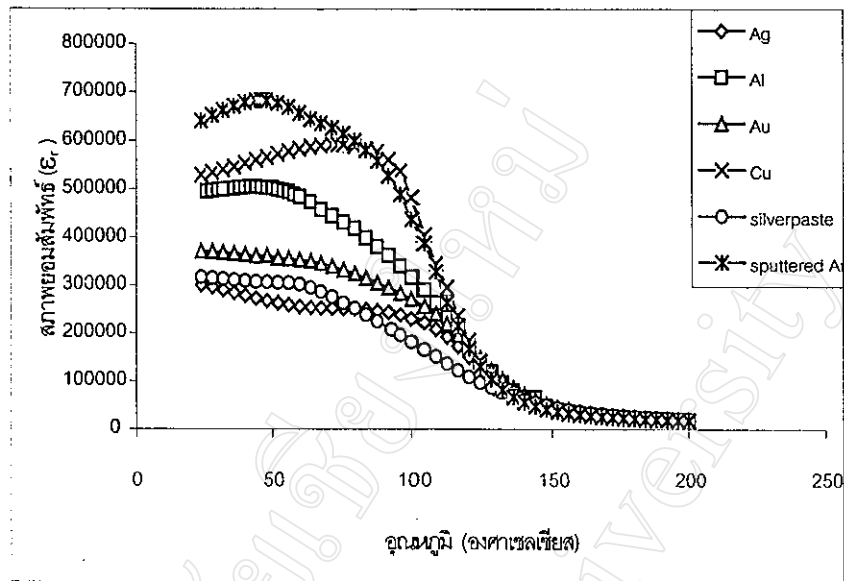
รูปที่ 4.77 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์และค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนเทียบกับ
อุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยทองที่ใช้ในการ
เคลือบผิวสารตัวอย่างในตอนถ่าย SEM



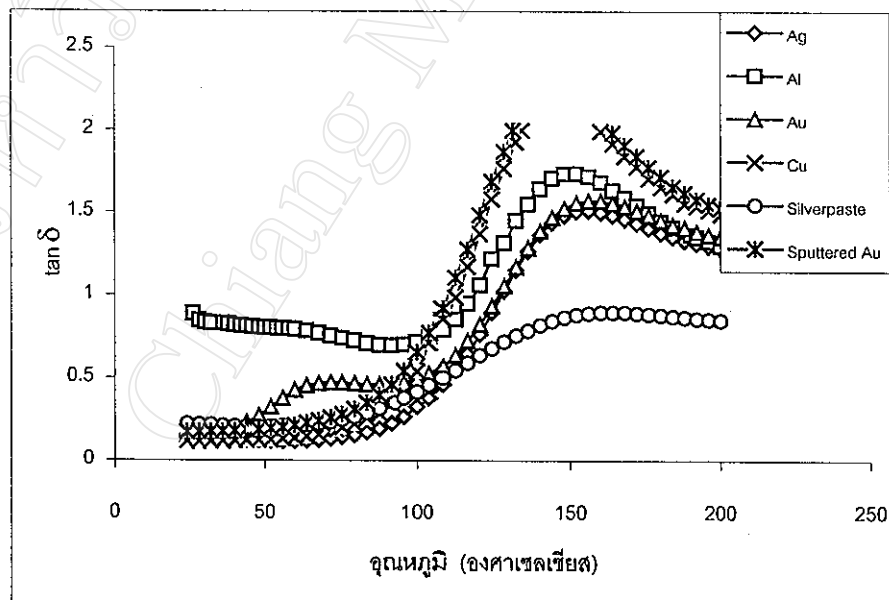
รูปที่ 4.78 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของสารตัวอย่างเทียบกับอุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



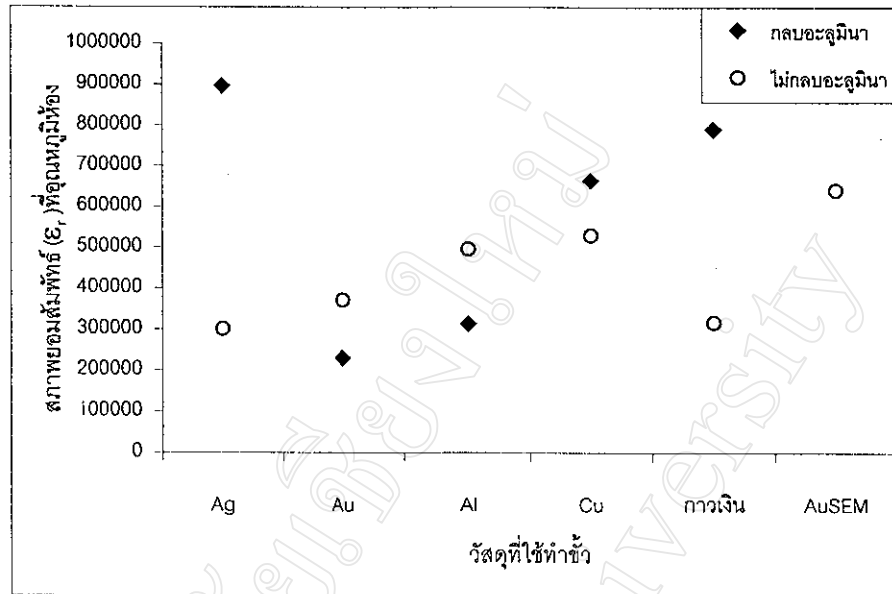
รูปที่ 4.79 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนของสารตัวอย่างเทียบกับอุณหภูมิ เมื่อซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



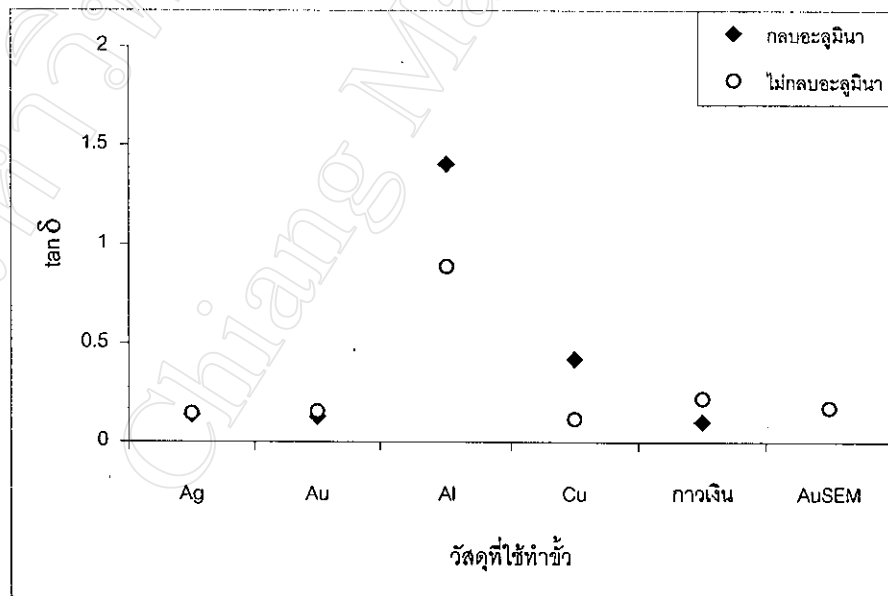
รูปที่ 4.80 ค่าสภาพยอมล้มพังของสารตัวอย่างเทียบกับความถี่ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.81 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความถี่ของสารตัวอย่างเทียบกับความถี่ เมื่อซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา และทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.82 ค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง ที่ทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.83 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียในรูปของความร้อนที่อุณหภูมิห้องของสารตัวอย่าง เมื่อทำขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

4.7 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกสารตัวอย่างที่เตรียมได้

การศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำศึกษาเพื่อผลของเวลาที่ใช้ในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ ปริมาณสารเจือและเวลาที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ที่ต่างกันว่าจะมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกแบเรียม - สทรอนเทียมดีทานเตอย่างไบบ้าง และจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ในแง่มุมใดได้บ้าง โดยแยกพิจารณาเป็น 3 กรณี คือ

กรณีแรก พิจารณาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ที่ต่างกันที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลา ดังนี้คือ 0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.85 – 4.86

กรณีที่ 2 พิจารณาถึงผลของปริมาณสารเจือที่ต่างกันที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของสารตัวอย่าง โดยสารเจือที่เติมลงไปมีปริมาณดังนี้ คือ 0.0015, 0.002 และ 0.003 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.85, 4.87 – 4.88

กรณีที่ 3 พิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการซินเตอร์ที่ต่างกัน ที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.88 – 4.91

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.84 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ไม่มีสารเจือ(undoped) พบว่าเกรนที่ได้มีขนาดเล็กมาก ประมาณ $1.5\ \mu\text{m}$ แต่ลักษณะของเกรนที่ได้จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและไม่สม่ำเสมอมากนัก นั่นคือ บางเกรนจะเกิดการโตแบบผิดปกติ(abnormal grain growth) ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์ยังไม่สูงเพียงพอและอีกกรณีหนึ่งซึ่งมักพบอยู่เสมอคือ เนื่องจากกระบวนการเผาซินเตอร์เป็นกระบวนการเผาแบบไซลิคเตทซินเตอร์ริง การเกิดเกรนโตแบบผิดปกติก็มักจะแสดงให้เห็นอยู่เสมอในแบเรียมดีทานเต

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.85 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และไม่ได้ทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์เพิ่มเติม พบว่าลักษณะโครงสร้างจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่แยกออกเป็นเกรนและอีกส่วนจะหลอมรวมกัน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเห็นเป็นบริเวณที่หลอมรวมกันมากกว่าบริเวณที่แยกออกเป็นเกรน สำหรับบริเวณที่เห็นเป็นเกรนนั้น พบว่าลักษณะของเกรนที่ได้จะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ เกรนมีลักษณะที่เกิดการโตแบบผิดปกติ และมีขนาดโตกว่า $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ไม่มีการเจือเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา พบว่าการซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะให้เกรนที่มีลักษณะสม่ำเสมอมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา

และเมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าจะให้ผลเช่นเดียวกับสารตัวอย่างที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อไม่ได้หมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์เพิ่มเติม ดังแสดงในรูปที่ 4.86 แต่เกรนที่ได้จะมีลักษณะที่สม่ำเสมอมากกว่าสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล เมื่อไม่ได้หมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์

สำหรับโครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.002 โมล ดังแสดงในรูปที่ 4.87 พบว่าโครงสร้างจุลภาคก็จะประกอบด้วย 2 ส่วนเช่นเดียวกันกับสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล แต่บริเวณที่เห็นเป็นเกรนจะมีขนาดโตกว่าเมื่อเจือด้วยสารเจือปริมาณ 0.003 โมล

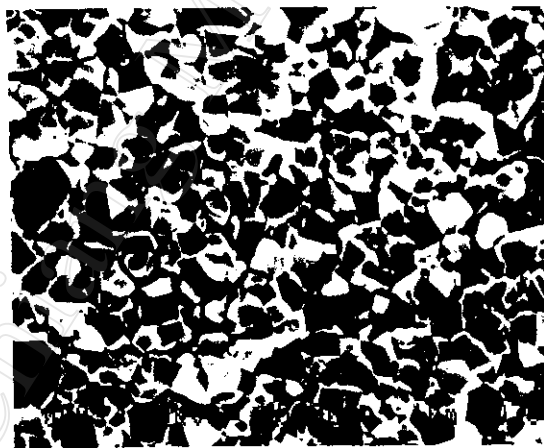
เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของสารตัวอย่าง $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล และทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °C เป็นเวลาต่างกัน คือ 2 , 4 , 6 และ 8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.88 – 4.91

จากรูปที่ 4.92 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของผิวหลังการเผาซินเตอร์ ก็ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในบริเวณที่เป็นเกรนนั้นมีลักษณะของเกรนที่เกิดการโตแบบไม่ปกติ ทั้งแบบการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาและแบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา แต่จะสังเกตได้ว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยอะลูมินาจะให้ขนาดของเกรนที่ใกล้เคียงกันและมีความสม่ำเสมอมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยอะลูมินา

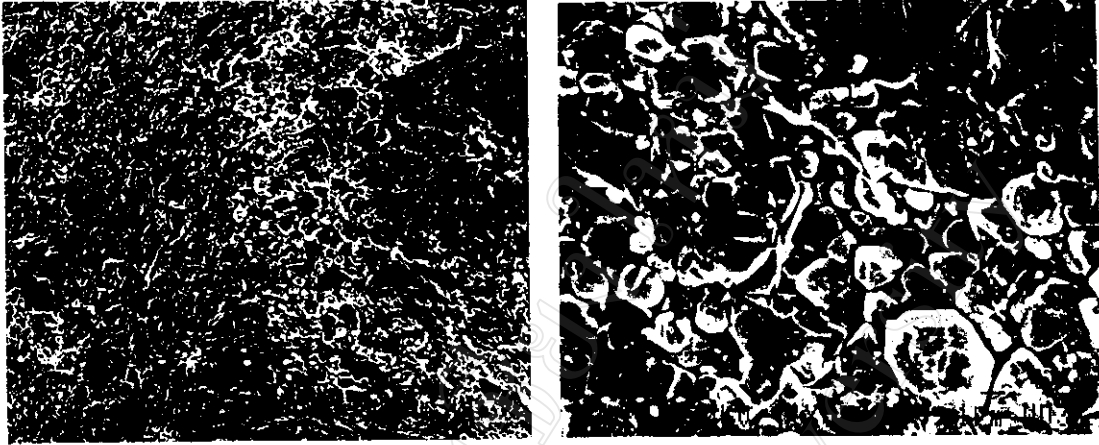
แต่เมื่อพิจารณาในกรณีที่ใช้เวลาในการเผาซินเตอร์ที่ต่างกัน คือ 2 , 4 , 6 และ 8 ชั่วโมง พบว่าโดยทั่วไปนั้นโครงสร้างจุลภาคที่สังเกตได้จะประกอบด้วย 2 ส่วน ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พิจารณาเมื่อใช้เวลาในการเผาซินเตอร์ 2 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคที่สังเกตได้ในบริเวณที่เห็นเป็นเกรนนั้น จะมีเกรนที่มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อซินเตอร์ด้วยเวลา 4 , 6 และ 8 ชั่วโมง และพบว่าเมื่อซินเตอร์ด้วยเวลา 2 ชั่วโมงนั้น จะมีความพรุนมากกว่าเมื่อซินเตอร์ด้วยเวลา 4 และ 6 ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาการเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 8 ชั่วโมง พบว่ากลับมีความพรุนมากกว่าเมื่อเผาซินเตอร์ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อซินเตอร์ที่เวลามากขึ้น จะทำให้ปริมาณเฟสของเหลวที่เกิดขึ้นมีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการโตของเกรน ทำให้เกรนมีขนาดเล็กลง

เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้ว พบว่า การหมุนผสมสารหลังการเผาแคลไซน์ด้วยเวลาที่มากขึ้น จะช่วยโครงสร้างจุลภาคของสารมีลักษณะที่สม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนการเติมสารเจือในปริมาณ 0.0015 - 0.003 โมล ไม่ได้มีผลในการยับยั้งการโตของเกรน ซึ่งจากการทดลองของ Issa⁽²⁰⁾ พบว่า

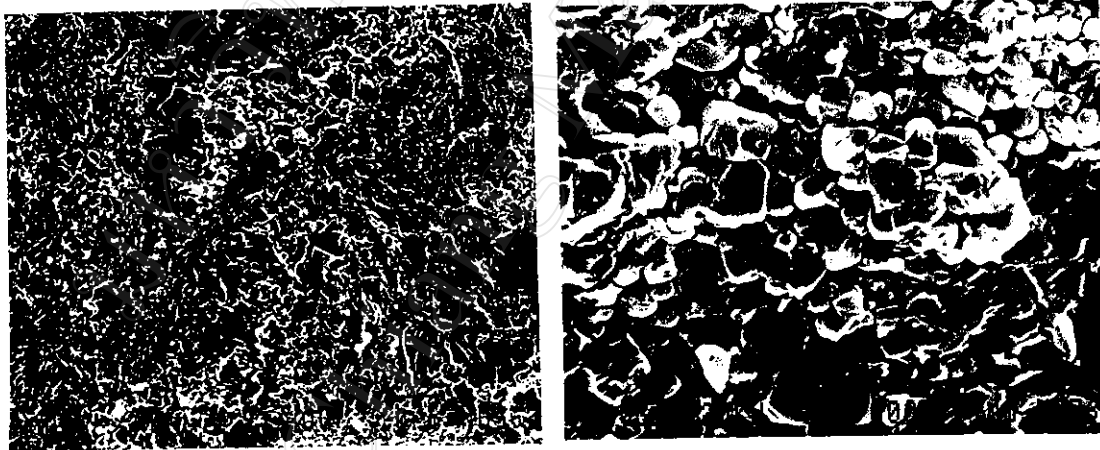
การเติม Ho_2O_3 ในปริมาณ 0.004 โมล ส่งผลทำให้เกรนของสารตัวอย่างมีขนาดเล็กลง สำหรับในการวิจัยนี้ขนาดของเกรนไม่ได้ลดลงอย่างในการทดลองของ Issa อาจเนื่องมาจากปริมาณสารเจือที่เติมลงไปมีปริมาณน้อยเกินกว่าที่จะส่งผลให้สารตัวอย่างมีขนาดเกรนที่เล็กลงได้ แต่ผลที่ได้กลับตรงกันข้ามคือ เกรนที่ได้มีขนาดโตขึ้น โดยจะโตขึ้นในปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณสารเจือที่เติมลงไป ซึ่งจะได้ว่า เกรนของสารตัวอย่างที่เติมสารเจือปริมาณ 0.003 โมล มีขนาดเล็กที่สุด และมีขนาดโตขึ้นเมื่อเจือด้วยสารเจือ Sb_2O_3 ในปริมาณ 0.002 และ 0.0015 โมล ตามลำดับ และพบว่าการเผาซินเตอร์ด้วยเวลาที่มากขึ้นจะส่งผลให้สารตัวอย่างมีขนาดของเกรนที่เล็กลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินาจะให้โครงสร้างจุลภาคในส่วนที่เป็นเกรนนั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าการเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อถึงอุณหภูมิที่ซินเตอร์ผงอะลูมินาอาจจะแพร่เข้าไปในสารตัวอย่างเกิดเป็นเฟสของเหลวที่สามารถช่วยในกระบวนการซินเตอร์ริงได้



รูปที่ 4.84 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่ไม่มีสารเจือ(undoped)

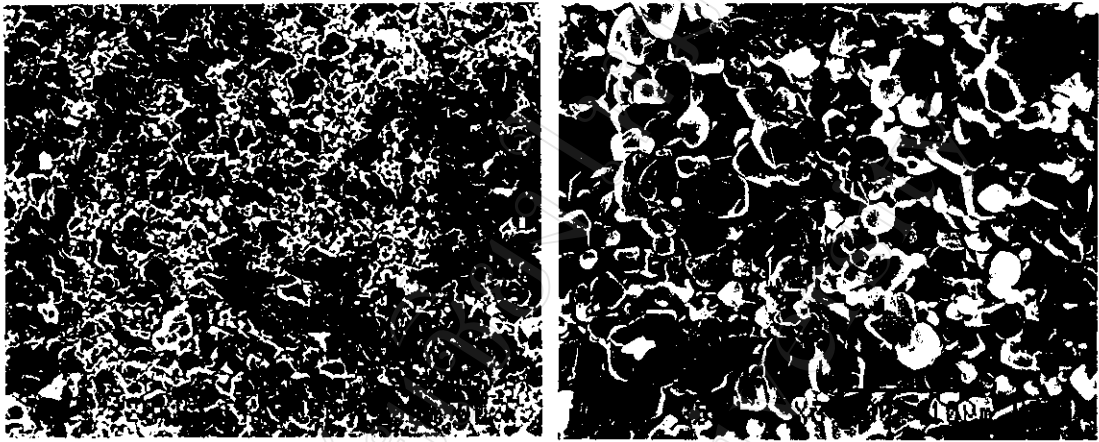


(n)

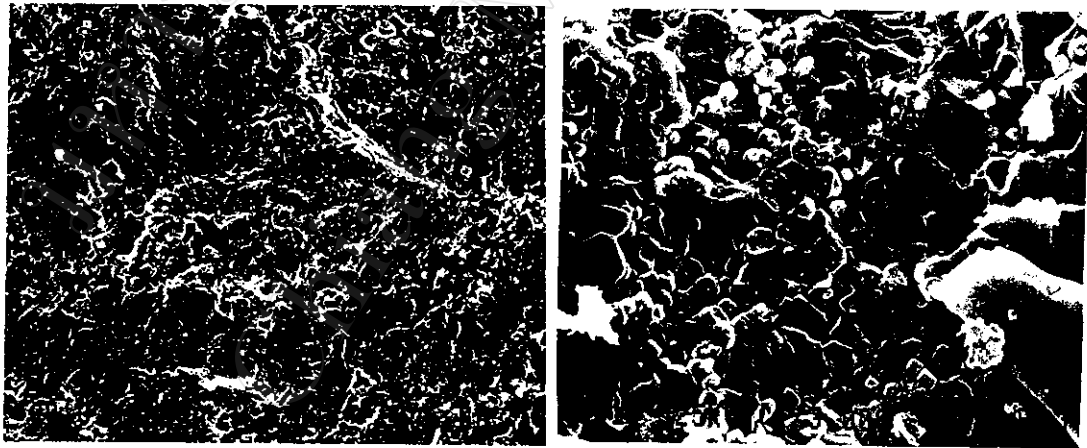


(ข)

- รูปที่ 4.85 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และ
ไม่ได้ทำการหมนผสมสารเพิ่มเติมหลังการเผาแคลไซน์
- (ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา
- (ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา



(ก)

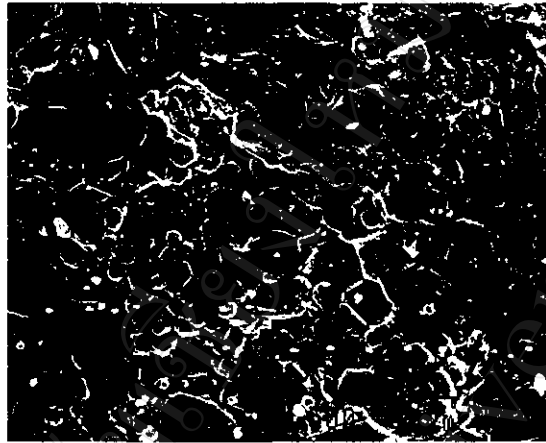


(ข)

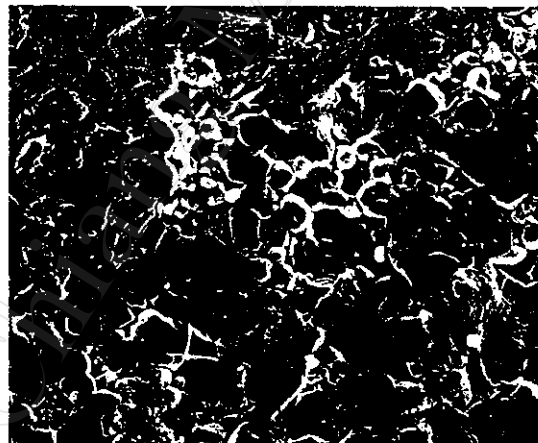
รูปที่ 4.86 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.003 โมล และทำการหมุนผสมสารเพิ่มเติมหลังการเผาแคลไซน์เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา



(ก)

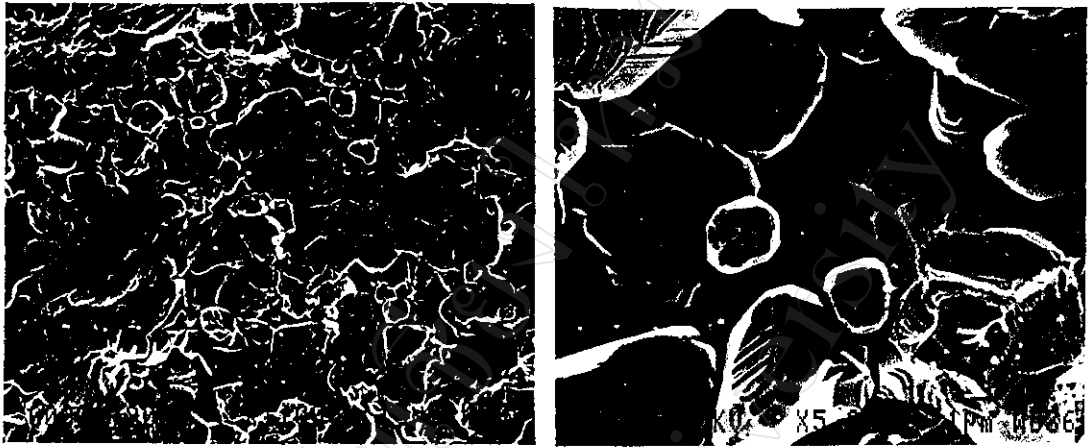


(ข)

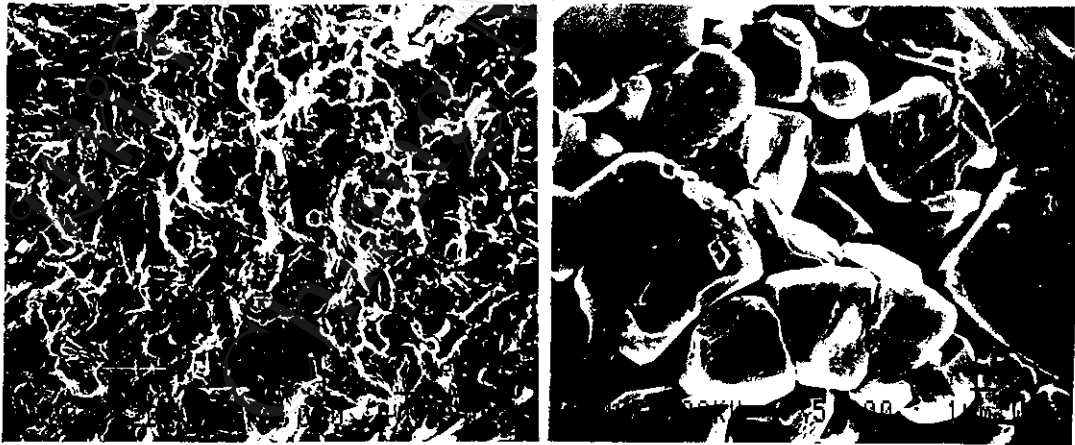
รูปที่ 4.87 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.002 โมล

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา



(ก)

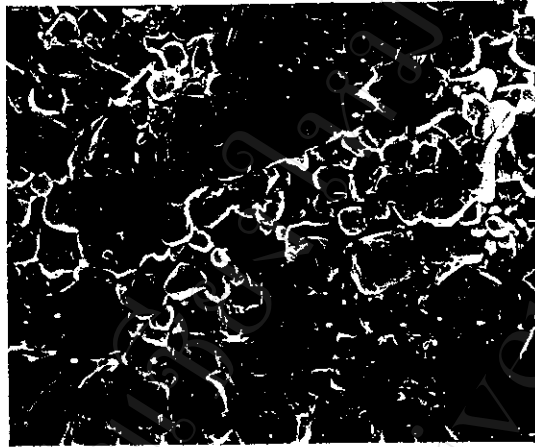


(ข)

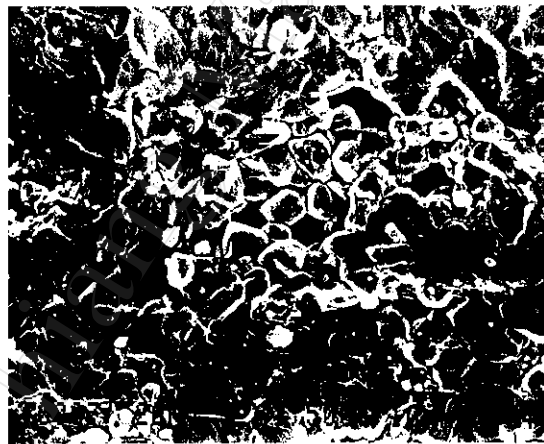
รูปที่ 4.88 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลับด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลับด้วยผงอะลูมินา



(ก)

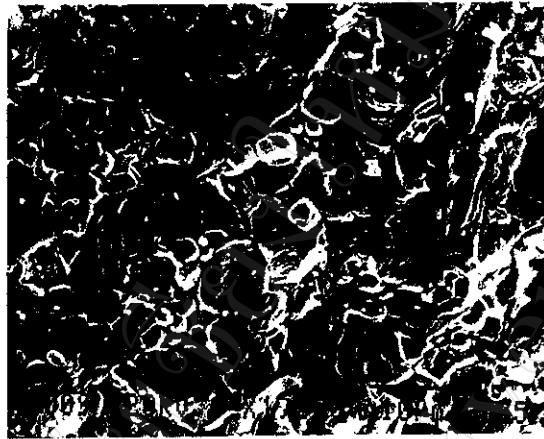


(ข)

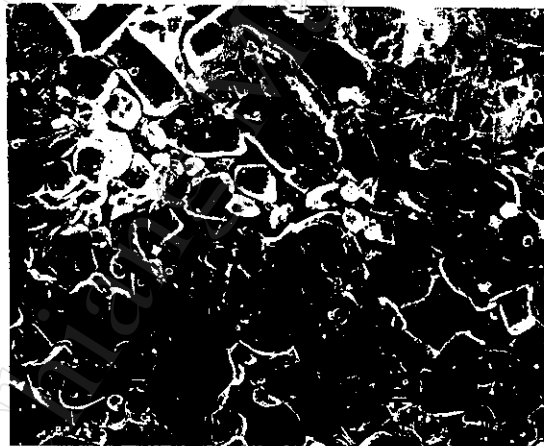
รูปที่ 4.89 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา



(ก)

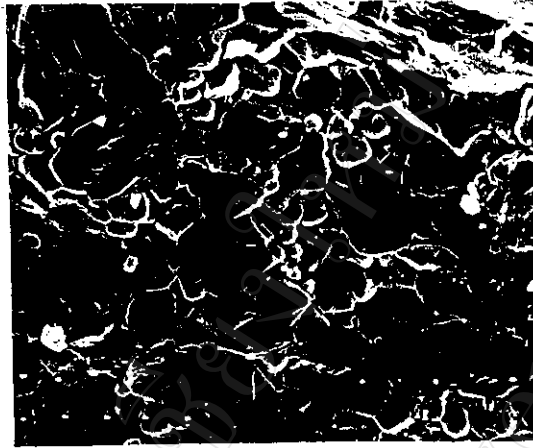


(ข)

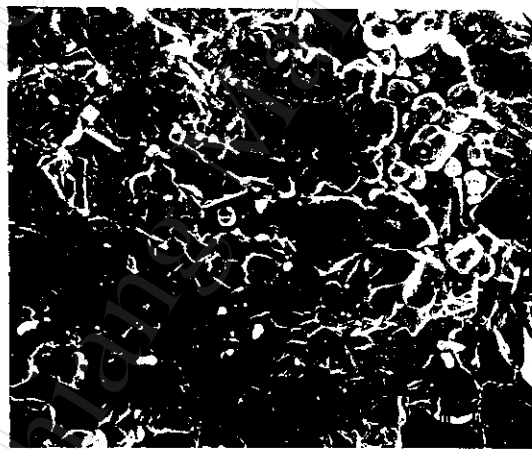
รูปที่ 4.90 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ ที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลับด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลับด้วยผงอะลูมินา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.91 โครงสร้างจุลภาคของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่ อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.92 โครงสร้างจุลภาคของผิวหลังการเผาซินเตอร์ของ $\text{Ba}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3$ ที่เจือด้วย Sb_2O_3 0.0015 โมล เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1350 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(ก) เมื่อเผาซินเตอร์แบบกลบด้วยผงอะลูมินา

(ข) เมื่อเผาซินเตอร์แบบไม่กลบด้วยผงอะลูมินา