

อิทธิพลของสเตียริกแอซิดต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกส์ซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม

อ้อมตะวัน แสงจักรวาล และ ธนภรณ์ โตโสภณ*

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาผลของสเตียริกแอซิด (SA) ที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกส์ซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม (AZO) โดยตัวอย่างมีส่วนประกอบเป็น $(100-x)$ AZO + x SA โดยที่ x มีค่าตั้งแต่ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% ตามลำดับ ส่วนผสมต่างๆ ถูกนำมาเตรียมเป็นเซรามิกส์ด้วยวิธีการผสมออกไซด์แบบดั้งเดิมและเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ตรวจสอบลักษณะของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของทุกตัวอย่างพบว่า เมื่ออุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่เจือด้วย SA ในปริมาณเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 wt% ให้ลักษณะการนำไฟฟ้าที่ดี ขณะที่การนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่มีปริมาณการเจือมากกว่า 10 wt% กลับลดลง

จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างทั้งหมดและขนาดของเกรนเพิ่มขึ้น แต่รูพรุนเปิดลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้จากอุณหภูมิเผาผนึกที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันที่ขอบเกรน ปริมาณการเจือของ SA ต่ำ ทำให้เกรนเติบโต ขณะที่ปริมาณการเจือสูงกว่า 5 wt% จะไปยับยั้งการเติบโตของเกรนซึ่งทำให้ขนาดของเกรนลดลง

คำสำคัญ: เซรามิกส์ซิงค์ออกไซด์เจือด้วยอลูมิเนียม เซรามิกส์นำไฟฟ้า การเผาผนึก รูพรุนเปิด สเตียริกแอซิด

Influence of Stearic Acid on Microstructure and Electrical Properties of Aluminium Doped Zinc Oxide Ceramics

Aomtawan Sangjakrawan and Thanaporn Tohsophon*

ABSTRACT

Effect of stearic acid (SA) on microstructure and electrical properties of Zinc oxide ceramics doped Aluminium (AZO) were examined. Specimens with composition of $(100-x)$ AZO + x SA, where x varied from 0, 1, 5, 10 and 25 wt% were prepared by a conventional mixed oxide method and sintered at a temperature of 1,000, 1,100 and 1,200 °C for 2 hours. Current-Voltage characteristics of all specimens were investigated. The specimens with doping level equal or less than 10 wt% show a good conductive characteristic as the sintering temperature increase. While the conductivity of specimens with doping level more than 10 wt% is found to decrease as increasing the sintering temperature.

In addition, the density of all specimens and grain size increase but the open porosity decrease as the sintering temperature is increased. This effect can be explained by considering the high sintering temperature promotes interconnect at grain boundary. Low doping level of SA promote grain growth while higher doping content of more than 5 wt% acts as a grain growth inhibitor that reduce the grain size.

Keywords: AZO ceramics, conductive ceramics, sintering, open porosity, stearic acid

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทกับการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งทางด้าน การสื่อสารโทรคมนาคม การแพทย์ การค้า การลงทุน รวมถึงทางด้านอุตสาหกรรม ล้วนแต่อาศัย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยให้งานมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ส่วนใหญ่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ซึ่งสารกึ่งตัวนำบางอย่างต้องอาศัยการเตรียมจากองค์ประกอบที่มีเงื่อนไขพิเศษ (มักไม่พบตามธรรมชาติ) ซึ่งกระบวนการในการเตรียมนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมด้วยเงื่อนไขหลายประการและก่อให้เกิดรูปแบบที่ซับซ้อนเต็มไปด้วยคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติทางไฟฟ้า ความสำเร็จที่เห็นได้ชัดเจนก็คือ การทำให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กลง มีน้ำหนักเบา ราคาถูกลง แต่ยังคงประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดี จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าออกไซด์ของพวกโลหะนั้นมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide: ZnO) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง เมื่อเจือสารอื่นลงไป ZnO จะทำให้โครงสร้างเดิมมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางไฟฟ้าที่ดีขึ้น [1] เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ในปี 2004 Tohsophon และคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก ZnO ที่เจือด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide: Al_2O_3) พบว่า ZnO ที่เจือด้วย Al_2O_3 (AZO) มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการเจือ Al_2O_3 โดยปริมาณการเจือที่น้อยกว่า 2 mol% ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดี โดยสูงถึง 120 S/m เมื่อเจือด้วย Al_2O_3 0.3 mol% และให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณการเจือ Al_2O_3 มากกว่า 2 mol% ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง [2] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Yongheng และ Juan ในปี 2006 ที่ได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการนำไฟฟ้าของเซรามิก ZnO เจือด้วย Al_2O_3 พบว่า เซรามิก AZO ให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำลงและเกรน (grain) มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเซรามิกที่ได้มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น [3]

นอกจากนั้น มีการนำสารบางชนิดที่มีจุดหลอมเหลวต่ำมาเติมลงในเซรามิก เพื่อทำให้เกิดรูพรุนในโครงสร้าง เนื่องจากสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะระเหิดไปในระหว่างการเผาผลาญที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในเซรามิก ซึ่ง Zhang และคณะ (2006) ได้ศึกษาพบว่า เมื่อนำกรดสเตียริก (stearic acid: SA) และโพลีเมทิลเมทาไครเลต (polymethylmethacrylate: PMMA) เจือในเซรามิก PZT (lead zirconium titanate) จะทำให้เกิดรูพรุนซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก PZT [4]

ปัจจุบันมีการนำเซรามิกมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ได้ศึกษาและทำการวิจัยทางด้านเซลล์เชื้อเพลิงของแข็งออกไซด์ (Solid oxide fuel cell: SOFC) ซึ่งให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงและปราศจากมลพิษ จึงเป็นทางเลือกที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ โดยการนำของ ดร.ภาวดี อังค์วัฒน์ ร่วมกับหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ได้จัดทำโครงการวิจัยและพัฒนาหน่วยต้นแบบขนาด 1-3 kW ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิด SOFC สำหรับเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในบ้านและชุมชน (1-3 kW Tubular SOFC Stack for Household Distributed Generator) [5] ขั้วไฟฟ้าแคโทดของ SOFC เป็นเซรามิกอีกชนิดหนึ่งที่ต้องมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีและมีความเป็นรูพรุน โดยปัจจุบันนิยมใช้สารในตระกูลเพอโรฟสไกต์ (Perovskites) มาเป็นขั้วไฟฟ้า การประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้านี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น คุณสมบัติทางกายภาพของสารตั้งต้น

คุณสมบัติการนำไฟฟ้า โครงสร้างจุลภาค และการเปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดปฏิกิริยา [6] ปัจจุบันมีการพัฒนาเซรามิกส์เพื่อนำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้า SOFC อย่างต่อเนื่อง เช่น Hrovat และคณะ (1996) ได้ศึกษาคุณสมบัติของแลนทานาเนียมนิกเกิลโคบอลต์ออกไซด์ ($\text{LaNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$) เพื่อนำไปทำขั้วไฟฟ้าแคโทดของ SOFC โดยมีเซอร์โคเนียม (zirconium) ที่เจือด้วยยิตเรียม (yttrium) เป็นอิเล็กโทรไลต์ [7]

เซรามิกส์ AZO เป็นเซรามิกส์ที่นำไฟฟ้า ดังนั้น การนำเซรามิกส์ AZO มาเจือด้วย SA เพื่อทำให้เกิดรูพรุนน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประยุกต์ใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดของ SOFC วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้าและความเป็นรูพรุนของเซรามิกส์ AZO ที่เจือด้วย SA ในปริมาณและอุณหภูมิการเผาผนึก (sintering) ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำมาศึกษาโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึกและสมบัติทางไฟฟ้า เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เหมาะสมเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงของแข็งออกไซด์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

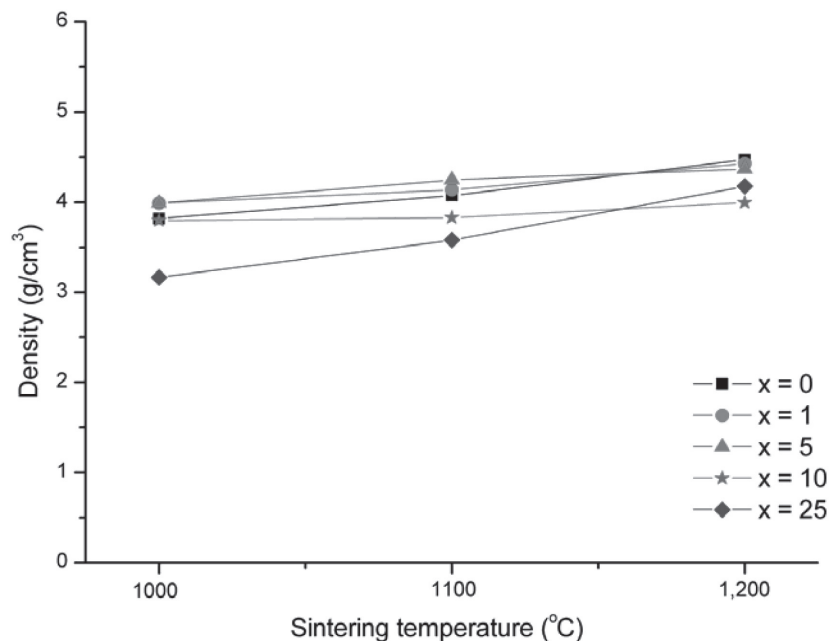
ในงานวิจัยได้ใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ความบริสุทธิ์ 99.9% อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ความบริสุทธิ์ 99.99% และกรดสเตียริก (stearic acid: SA) เป็นสารตั้งต้น โดยส่วนผสมของตัวอย่างเป็น $(100-x)\text{AZO} + x\text{SA}$ เมื่อ x เท่ากับ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% ตามลำดับ ตัวอย่างถูกเตรียมด้วยวิธีผสมออกไซด์แบบดั้งเดิม (conventional mixed oxide method) [8] นำส่วนผสมทั้งหมดเติมเอทานอลเป็นตัวกลาง จากนั้นนำไปหมუნบดต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำส่วนผสมมาทำให้แห้ง แล้วขึ้นรูปอัดเป็นเม็ดยาโดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดมีค่า 15 มิลลิเมตร หนา 4.0 มิลลิเมตร นำตัวอย่างที่ได้ไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากเผาผนึกนำเซรามิกส์ที่ได้ไปซัดให้ขึ้นเงาด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 400, 800, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ โดยให้ตัวอย่างมีความหนา 2.5 มิลลิเมตร จากนั้นทำขั้วไฟฟ้าโดยการทากาวเงินบริเวณพื้นผิวทั้งสองด้านของตัวอย่างและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำตัวอย่างไปวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ด้วยมัลติมิเตอร์ (รุ่น DM-879, อินเทลเลกซ์) และเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง (รุ่น ITL-1043, อินเทลเลกซ์) ศึกษาโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction: XRD) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) วัดค่าความหนาแน่นและรูพรุนเปิดโดยใช้เทคนิคอาร์คิมิดีส (Archimedes method)

ผลการทดลอง

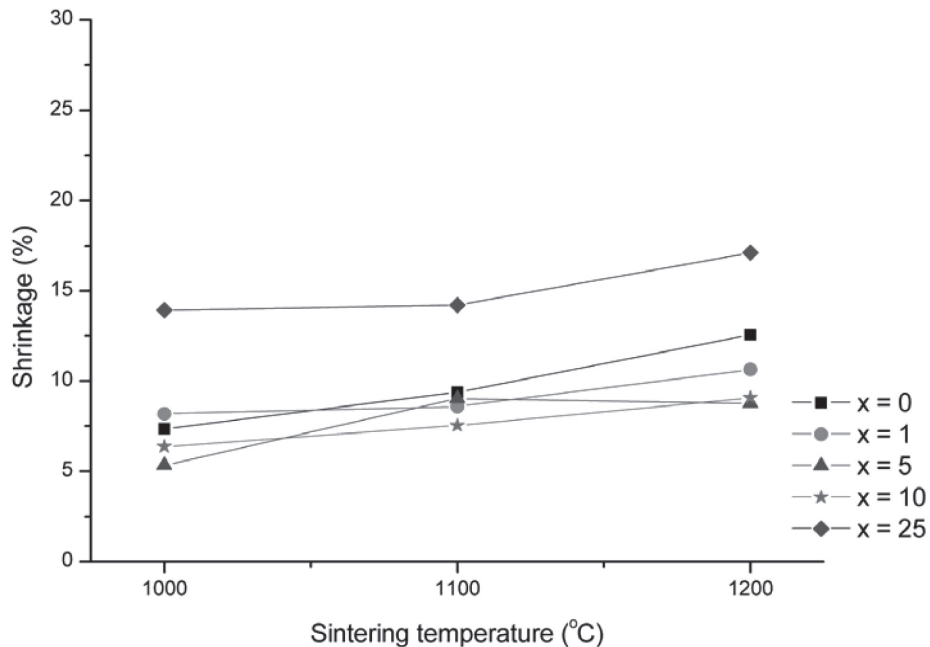
ลักษณะทางกายภาพ

จากรูปที่ 1 แสดงอุณหภูมิการเผาผลาญที่มีผลต่อความหนาแน่นของเม็ดเซรามิกซ์พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีความหนาแน่นระหว่าง 3.2-4.5 g/cm³ โดยตัวอย่างที่มีอุณหภูมิเผาผลาญสูงจะมีความหนาแน่นสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Castro และ Aldao (1998) [9] ซึ่งรายงานว่าอุณหภูมิการเผาผลาญที่สูงขึ้นส่งผลให้ขนาดของเกรนและความหนาแน่นของเซรามิกซ์ ZnO สูงขึ้น เพราะเกิดการพ่นึกเชื่อมติดกันระหว่างขอบเกรนทำให้ช่องว่างระหว่างเกรนหายไปและรอยต่อระหว่างเกรนลดลงส่งผลให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่มีการเจือ SA ในปริมาณน้อยๆ (1-5 wt%) มีความหนาแน่นสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เจือ SA ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเจือ SA ในปริมาณมาก (10-25 wt%) มีความหนาแน่นน้อยลง

สำหรับผลของอุณหภูมิเผาผลาญที่มีต่อการหดตัวของเซรามิกซ์แสดงดังรูปที่ 2 โดยพบว่าที่อุณหภูมิเผาผลาญ 1,000 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่มีการเจือ SA ปริมาณน้อยกว่า 25 wt% มีเปอร์เซ็นต์หดตัวใกล้เคียงกับเซรามิกซ์ที่ไม่ได้เจือ SA โดยอยู่ในช่วง 5-9% แต่เมื่ออุณหภูมิเผาผลาญสูงขึ้นถึง 1200 องศาเซลเซียส ปริมาณสารเจือที่มากขึ้นจะทำให้ตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์หดตัวน้อยลงตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเจือ SA ที่ 25 wt% เผาผลาญที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงถึง 14% และเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเผาผลาญเป็น 1,200 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเจือ SA ในตัวอย่างปริมาณมาก เมื่อนำไปเผาผลาญจึงมี SA ระเหิดไปจำนวนมาก เนื่องจาก SA มีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงทำให้ตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูง



รูปที่ 1 แสดงความหนาแน่นของเซรามิกซ์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เผาผลาญที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

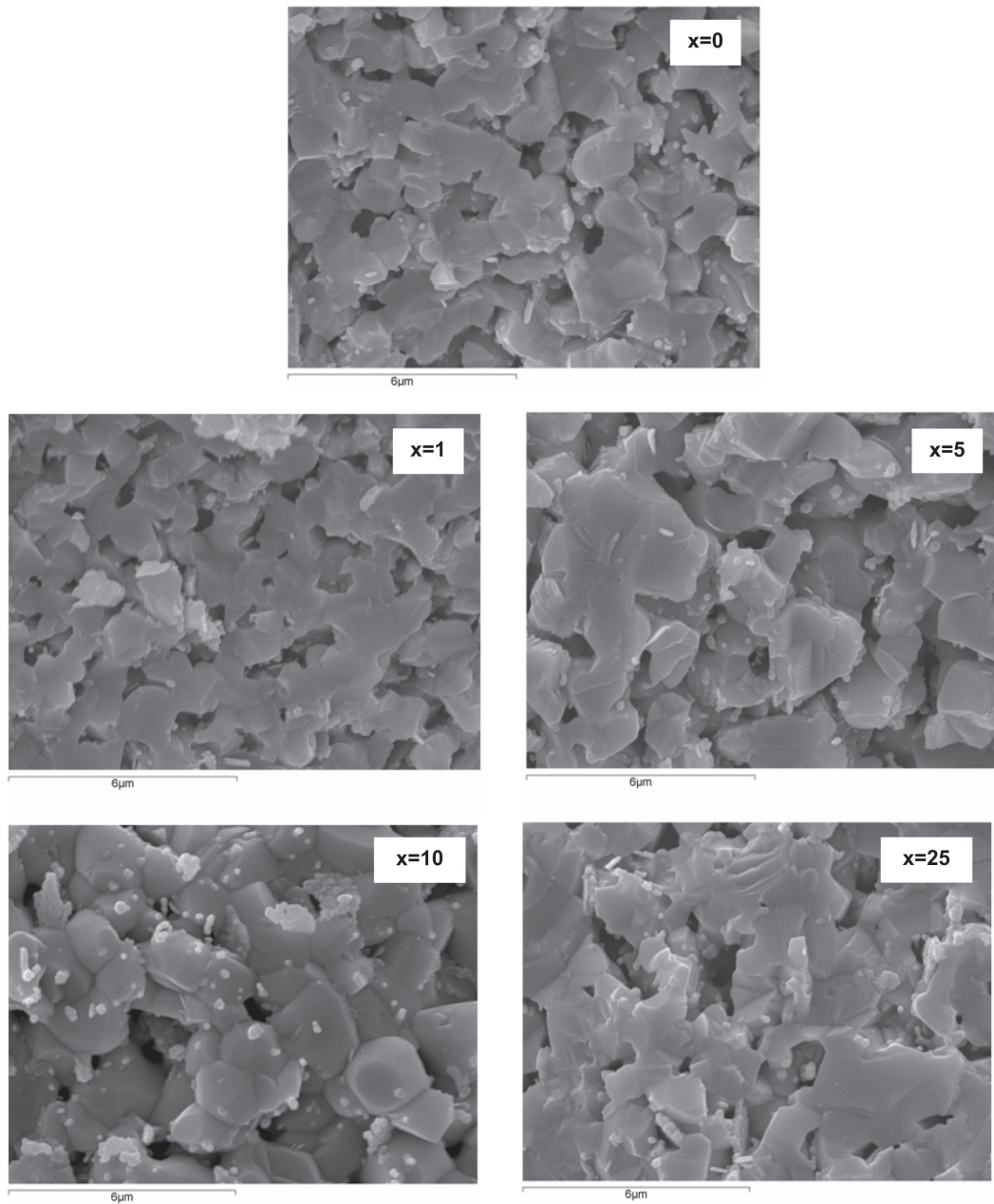


รูปที่ 2 แสดงการหดตัวของเซรามิก AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เฝื่อนที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

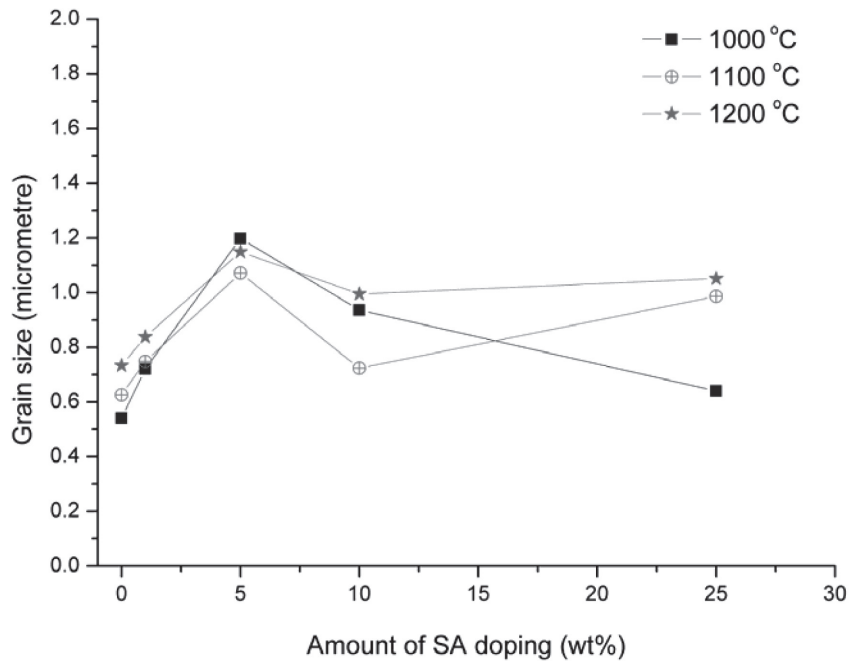
โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของเซรามิกที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังรูปที่ 3 โดยพบว่า การเจือ SA ในเซรามิก AZO ปริมาณน้อยๆ ขนาดของเกรนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจะมีขนาดใหญ่มากที่สุดเมื่อปริมาณสารเจือ SA เป็น 5 wt% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเจือ SA มากขึ้นกลับพบว่าขนาดของเกรนเล็กลง อย่างไรก็ตาม ยังมีขนาดใหญ่กว่าเซรามิกที่ไม่ได้เจือ SA โดยผลการเจือ SA ที่อุณหภูมิเฝื่อนที่ต่างๆ ที่มีต่อขนาดของเกรนเซรามิกส์สอดคล้องกันทั้งหมดดังรูปที่ 4

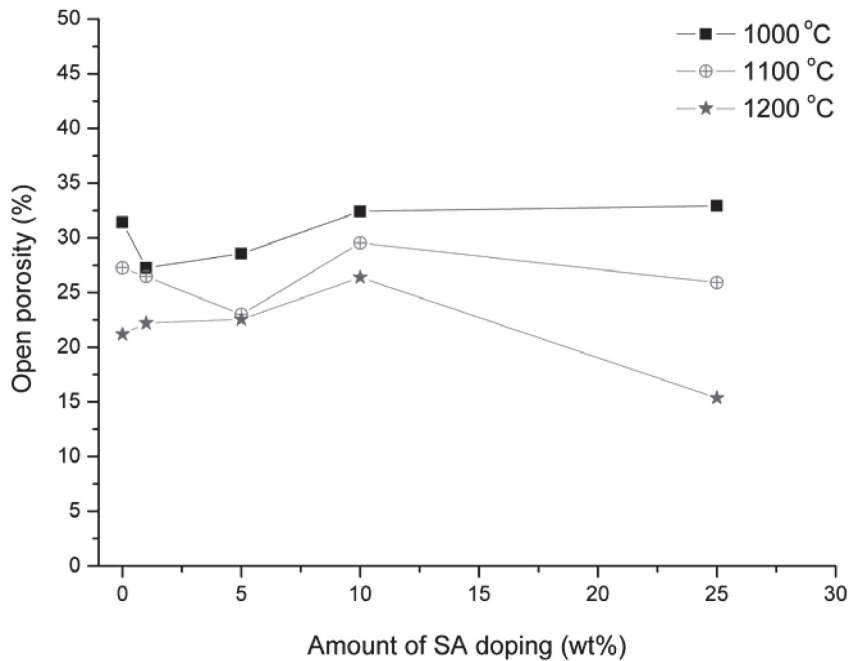
การเจือ SA ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นและจำนวนรูพรุนลดลงอันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อกันของเกรน โดยตัวอย่างทั้งหมดมีรูพรุนเปิดระหว่าง 16 - 33% ดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่า ตัวอย่างจะมีรูพรุนเปิดลดลงเมื่ออุณหภูมิการเฝื่อนที่สูงขึ้น เพราะอุณหภูมิการเฝื่อนที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการหลอมที่บริเวณขอบเกรนจึงเกิดการเชื่อมต่อบริเวณขอบเกรนทำให้รูพรุนที่เคยพบระหว่างเกรนหายไป ส่วนผลของปริมาณสารเจือ SA ต่อรูพรุนเปิดของตัวอย่างพบว่า ที่อุณหภูมิเฝื่อน 1,000 องศาเซลเซียส และ 1,100 องศาเซลเซียส การเจือ SA ในเซรามิก AZO ปริมาณเล็กน้อย (1-5 wt%) ทำให้รูพรุนเปิดของตัวอย่างลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือ SA มากขึ้นกลับพบว่าปริมาณสารเจือที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อจำนวนรูพรุนเปิดของตัวอย่าง ซึ่งสังเกตได้จากการที่ค่าจำนวนรูพรุนเปิดใกล้เคียงกับเซรามิก AZO ที่ไม่มีการเจือ ในขณะที่อุณหภูมิเฝื่อนที่สูงขึ้นเป็น 1,200 องศาเซลเซียส ปริมาณสารเจือ SA ที่เพิ่มขึ้นถึง 10 wt% ทำให้เกิดรูพรุนเปิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือ SA สูงถึง 25 wt% กลับทำให้จำนวนรูพรุนเปิดลดลงถึง 16% ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด โดยสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การหดตัวซึ่งมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 3 แสดงจำนวนรูพรุนเปิดของเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เผาผนังที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



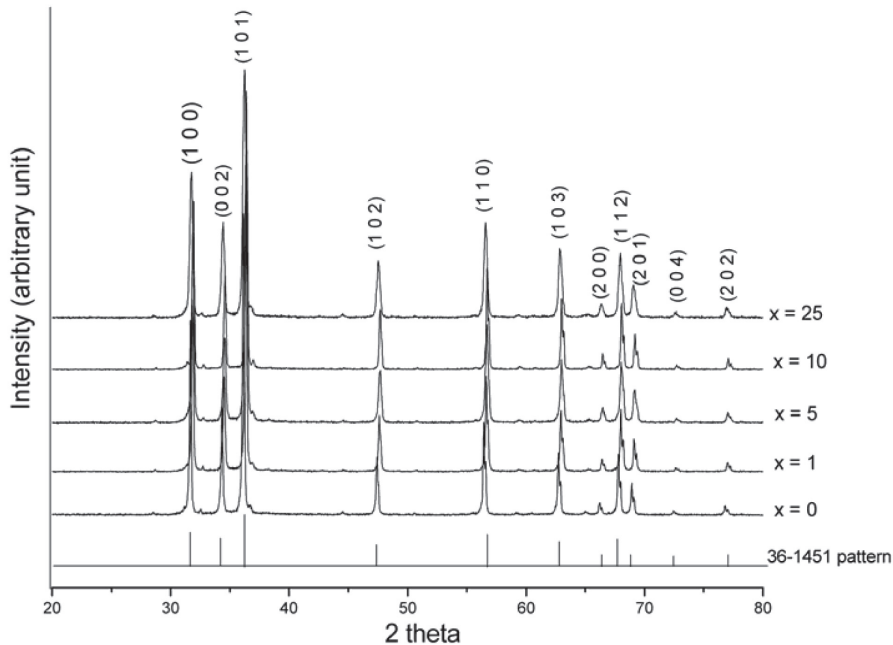
รูปที่ 4 แสดงขนาดของเกรนของเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เฝื่อนที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงรูพรุนเปิดของเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เฝื่อนที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

โครงสร้างผลึก

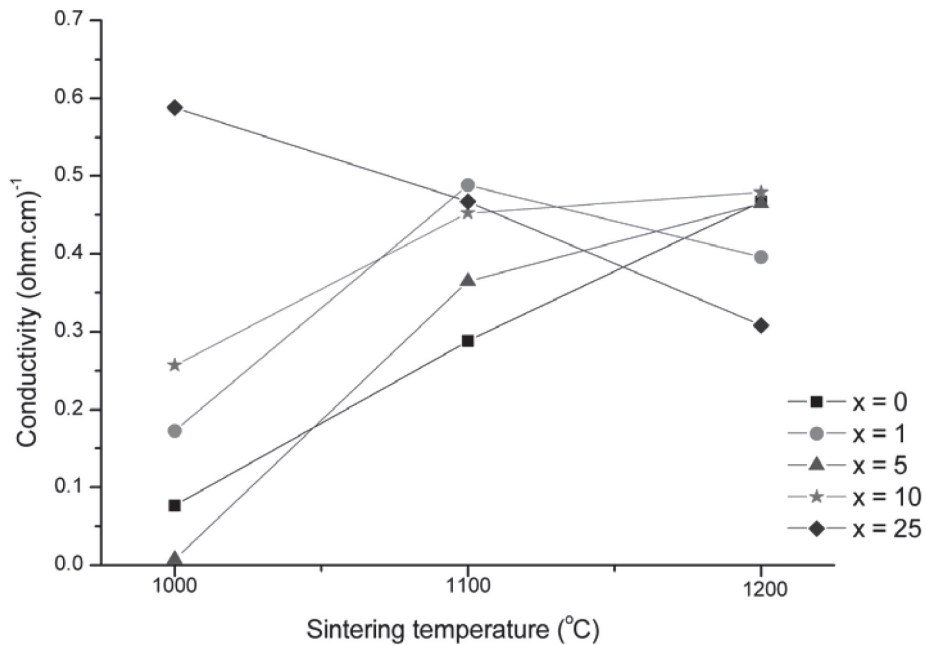
ผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เรย์ดังรูปที่ 6 พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะโกนอลแบบเวทซ์ไฮท์ (JCPDS file No. 36-1451) โดยปริมาณสารเจือและอุณหภูมิเผาผนึกไม่ส่งผลต่อโครงสร้างผลึกของตัวอย่าง



รูปที่ 6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สมบัติทางไฟฟ้า

จากรูปที่ 7 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่เจือด้วย SA ในปริมาณและการเผาผนึกที่แตกต่างกันพบว่า ที่อุณหภูมิเผาผนึก 1,000 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณสารเจือซึ่งมีค่าระหว่าง $0.01-0.59 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ตัวอย่างที่เจือด้วย SA เกือบทุกตัวอย่างให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นจากตัวอย่างที่ไม่ได้เจือ SA ยกเว้นตัวอย่างที่เจือด้วย SA ในปริมาณ 5 wt% ซึ่งแสดงความเป็นฉนวน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาผนึกเป็น 1,100 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้าจากตัวอย่างที่เจือด้วย SA ทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เจือ SA ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของเกรนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือ SA ในตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เจือด้วย SA ในปริมาณ 1 wt% มีการนำไฟฟ้าดีที่สุด ($0.5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาผนึกเป็น 1,200 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่เจือด้วย SA ในปริมาณน้อยกว่า 25 wt% มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ได้เจือ SA โดยอยู่ในช่วง $0.4-0.5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ เนื่องจากอุณหภูมิเผาผนึกที่สูงขึ้นส่งผลให้มีแรงขับเคลื่อนให้ตัวอย่างหลอมตัวมากยิ่งขึ้น จำนวนรูพรุนลดลงและเกรนมีขนาดใหญ่ การนำไฟฟ้าจึงดีขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าแนวโน้มการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่เจือด้วย SA 25 wt% ลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณ 0, 1, 5, 10 และ 25 wt% เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1,000, 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเซรามิกส์ AZO เจือด้วย SA ในปริมาณและเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างกัน ให้ค่าการนำไฟฟ้าและรูพรุนเปิดแตกต่างกัน โดยตัวอย่างทั้งหมดแสดงโครงสร้างเฮกซะโกนอลแบบเวทซ์ไท์ ซึ่งการเจือ SA ในตัวอย่างไม่มีผลต่อโครงสร้างของเซรามิกส์ เนื่องจาก SA มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อนำตัวอย่างไปเผาผนึกที่อุณหภูมิสูง SA จะระเหิดไปและทิ้งรูพรุนไว้ โดยสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกส์ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเซรามิกส์และจำนวนรูพรุนที่เกิดขึ้น โดยการเจือ SA ในปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 wt% ตัวอย่างจะให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดีและความหนาแน่นสูงเมื่ออุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้น ขณะที่การเจือ SA ในปริมาณมากถึง 25 wt% ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างกลับลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาผนึกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของเกรนที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารเจือ แต่กลับลดลงเมื่อปริมาณสารเจือมากเกินไป ทั้งนี้เพราะปริมาณสารเจือที่มากเกินไปนั้นส่งผลต่อแรงขับเคลื่อนระหว่างการเผาผนึกให้ลดลง ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าลดลงด้วย โดยตัวอย่างที่มีการนำไฟฟ้าที่ดี ความหนาแน่นและรูพรุนสูงคือ ตัวอย่างที่เจือ SA 10 wt% และเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.บัญชา ศิลป์สกุลสุข ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเพื่อให้ใช้ห้องปฏิบัติการทำการหมუნบดสาร ขอขอบคุณ คุณณัฐยา ติงวิไชย ที่คอยให้คำปรึกษาการใช้โปรแกรมออริจิน (Origin program) ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์เซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเพื่อสถานที่ให้ฝึกทำการทดลองการเตรียมเซรามิกส์ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

1. ณัฐยา ติงวิไชย. 2548. สังกะสีออกไซด์: โครงสร้างและสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกส์สังกะสีออกไซด์ที่เจือด้วยไนโอเบียมออกไซด์. เชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 1.
2. Tohsophon, T., Sirikulrat, N., and Tunkasiri, T. 2004. Quenching Effects and Conduction Characteristics of Al doped ZnO ceramics. *Transactions the Materials Research Society of Japan* 29(7): 3227-3229.
3. Yongheng, Z., and Juan, H. 2006. Microstructure and Temperature Coefficient of Resistivity for ZnO Ceramics Doped with Al_2O_3 . *Journal of Materials Letters* 20(60): 2522-2525.
4. Zhang, H. L., Li, J.-F., and Zhang, B.-, P. 2006. Microstructure and Electrical Properties of Porous PZT Ceramics Derived from Different Pore-Forming Agents. *ACTA Materialia* 1(55): 171-181.
5. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC). 2550. ไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง: พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับวันนี้. 5(51): 78-80.
6. Tietz, F., Mai, A., and Stover, D. 2008. From Powder Properties to Fuel Cell Performance - A Holistic Approach for SOFC Cathode Development. *Solid State Ionics* 179(27-32): 1509-1515.
7. Hrovat, M., Katsarakis, N., Reichmann, K., Bernik, S., Kuscer, D., and Holc, J. 1996. Characteristics of $LaNi_{1-x}Co_xO_3$ as a Possible SOFC Cathode Material. *Solid State Ionics* 83(1-2): 99-105.
8. สุปล อนันตา. ม.ป.ป. กระบวนการที่อุณหภูมิสูง: กระบวนการประดิษฐ์สำหรับเซรามิกส์ขั้นสูง. เชียงใหม่. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 125-136.
9. Castro, M. S., and Aldao, C. M. 1998. Effects of the Sintering Temperature on the Oxygen Adsorption in ZnO Ceramics. *Journal of the European Ceramic Society* 4(19): 511-515.

ได้รับบทความวันที่ 3 กันยายน 2552

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 17 กันยายน 2552

