

# โครงสร้างจุลภาคและสมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิก $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$ เติมสารเจือ ZnO

## Microstructure and Dielectric Properties of $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$ Ceramics Doped ZnO

สุพรรณณี ศรีแก้ววรรณ<sup>1\*</sup>, ประชิต คงรัตน์<sup>2</sup>, นิคม ชูศิริ<sup>3</sup> และประสงค์ เกษราธิคุณ<sup>4</sup>  
Supunnee Srikeawnawan<sup>1\*</sup>, Prachit Kongrattana<sup>2</sup>, Nikom Chusiri<sup>3</sup> and Prasong Kessaratikoon<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิก  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  เติมสารเจือ ZnO เตรียมด้วยวิธีการผสมออกไซด์ เผาอบผงที่อุณหภูมิ  $1,400^\circ\text{C}$  นาน 3 ชั่วโมง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาอบ ผงโดยวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยความร้อน (TGA) และวิเคราะห์โดยใช้ผลต่างของความร้อน (DTA) ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาสมบัติไดอิเล็กทริกพบว่า การเติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 3% mol จะปรากฏเฟสเดียว คือ  $\text{SrTiO}_3$  มีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ และมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $0.99\ \mu\text{m}$  และการเติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 2% mol พบว่า มีอุณหภูมิคูรีอยู่ในช่วง  $629^\circ\text{C} - 682^\circ\text{C}$  มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงสุดเท่ากับ 117.52 และมีค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำสุด เท่ากับ 0.002

**คำสำคัญ:** เผาอบผง ไดอิเล็กทริก อุณหภูมิคูรี

### Abstract

The purpose of this research is study the microstructure and dielectric properties of  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  ceramics doped ZnO which were prepared by mixed oxide method. The ceramics were sintered at the temperature of  $1,400^\circ\text{C}$  for 3 hours. The thermo gravimetric and differential thermal analysis (TGA-DTA) were employed study the suitable condition for sintering. Microstructure examination was performed by using x-rays diffraction (XRD) technique and scanning electron microscopy (SEM). Furthermore, the dielectric properties were studied and characterized. It was found that the single phase is  $\text{SrTiO}_3$  for 3% mol of doped ZnO ceramic. The ceramic has the cubic crystal structure and the average of grain size equal to  $0.99\ \mu\text{m}$ . Moreover, It was found that the curie temperature was in the range of  $629 - 682^\circ\text{C}$  with maximum value of dielectric constant value equal to 117.52 and minimum dielectric loss value equal to 0.002 for 2% mol of doped ZnO ceramic.

**Keywords:** Sintering, Dielectric, Curie Temperature

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท หลักสูตร วท.ม. (ฟิสิกส์) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

<sup>2</sup> อ., <sup>3</sup> ปร.ดร., <sup>4</sup> ผศ.ดร., หน่วยวิจัยและฟิสิกส์วัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

\*Corresponding author: e-mail: supun\_055@hotmail.com

## บทนำ

การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีมากมายหลายชนิด เพื่อความทันสมัยและการตอบสนองต่อความต้องการในโลกแห่งเทคโนโลยี ตัวเก็บประจุที่ทำด้วยเซรามิกนับว่าเป็นส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เก่าแก่ที่สุด ตั้งแต่ในปี ค.ศ 1930 ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรก ต่อมาในปี ค.ศ 1940 - 1965 ประเทศรัสเซียจึงได้สร้างกลุ่มวิจัยเพื่อศึกษาพัฒนาตัวเก็บประจุและได้พบวัสดุไดอิเล็กทริก (Dielectric) เซรามิกชนิดใหม่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant :  $\epsilon_r$ ) สูง คือ  $\text{BaTiO}_3$  ซึ่งจัดเป็นสารประกอบที่อยู่ในกลุ่ม เพอโรฟสไกต์ (Perovskite) นักวิจัยหลายกลุ่มจึงเริ่มให้ความสนใจสารประกอบที่อยู่ในกลุ่มเพอโรฟสไกต์ตั้งแต่ในปี ค.ศ. 2002 โดย Jawahar และคณะ [1] พบว่า สารประกอบ  $\text{La}_2\text{O}_3$  - $\text{TiO}_2$ - $\text{CaO}$  มีโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ (Perovskite) สมการทางเคมีทั่วไป คือ  $\text{A}_n\text{B}_n\text{O}_{3n+2}$  เมื่อ  $n = 4.5, 5$  และ  $6$  ตามลำดับ สารประกอบที่อยู่ในกลุ่มนี้ คือ  $\text{CaLa}_8\text{Ti}_9\text{O}_{31}$ ,  $\text{CaLa}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  และ  $\text{Ca}_2\text{La}_4\text{Ti}_6\text{O}_{20}$  ตามลำดับ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ( $\epsilon > 44$ ) มีค่า Q Factor สูงกว่า 17,350 GHz และมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสำหรับการสั่นพ้องอยู่ในช่วง  $-25$  ถึง  $+6$  ppm/K ต่อมาในปี ค.ศ. 2011 Iqbal และคณะ [2] ได้ทำการศึกษา  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) เตรียมสารด้วยวิธีการผสมออกไซด์ อุณหภูมิการเผาอบผนึกอยู่ในช่วง  $1,450 - 1,580$  °C พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสำหรับการสั่นพ้อง (Temperature Coefficient of Resonant Frequency)  $\tau_f \approx -1.4$  ppm/°C ค่า Q Factor  $\approx 11,532$  GHz และมีค่า  $\epsilon \approx 53.7$  ตามลำดับ จากผลงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เซรามิกที่จัดอยู่ในกลุ่มเพอโรฟสไกต์จำเป็นจะต้องลดอุณหภูมิการเผาอบผนึกให้ต่ำลง เพื่อสร้างตัวกำหนดไมโครเวฟหรือตัวกรอง (Filters) ซึ่งวัสดุที่มีจุดหลอมละลายต่ำ (Low Melting Point) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดอุณหภูมิการเผาอบผนึกของเซรามิกได้ ทำให้เซรามิกมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิการเผาอบผนึกลดต่ำลง

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide : ZnO) เป็นวัสดุที่มีจุดหลอมละลายต่ำมีโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลเวทไรต์ (Hexagonal Wurtzite) ขาดสมมาตรของอะตอมบริเวณตรงกลาง มีแถบพลังงานกว้าง 3.37 eV ที่อุณหภูมิห้องจึงได้รับความสนใจในการเติม ZnO เป็นสารเจือลงไปนในสารอื่นจะทำให้โครงสร้างของสารเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่งผลต่ออุณหภูมิการเผาอบผนึกและสมบัติไดอิเล็กทริก

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษาและพัฒนาการเตรียมสารประกอบในกลุ่มเพอโรฟสไกต์เพื่อให้ได้ตัวเก็บประจุที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิมและมีสมบัติไดอิเล็กทริกที่ดีขึ้น โดยทำการศึกษาสมบัติทางความร้อน โครงสร้างจุลภาค และสมบัติไดอิเล็กทริกของเซรามิก  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  เติมนำสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ตามลำดับ เพื่อเป็นประโยชน์และชี้แนวทางในการพัฒนางานวิจัยด้านเซรามิกให้มีความน่าสนใจในโลกของเทคโนโลยีในอนาคตต่อไป

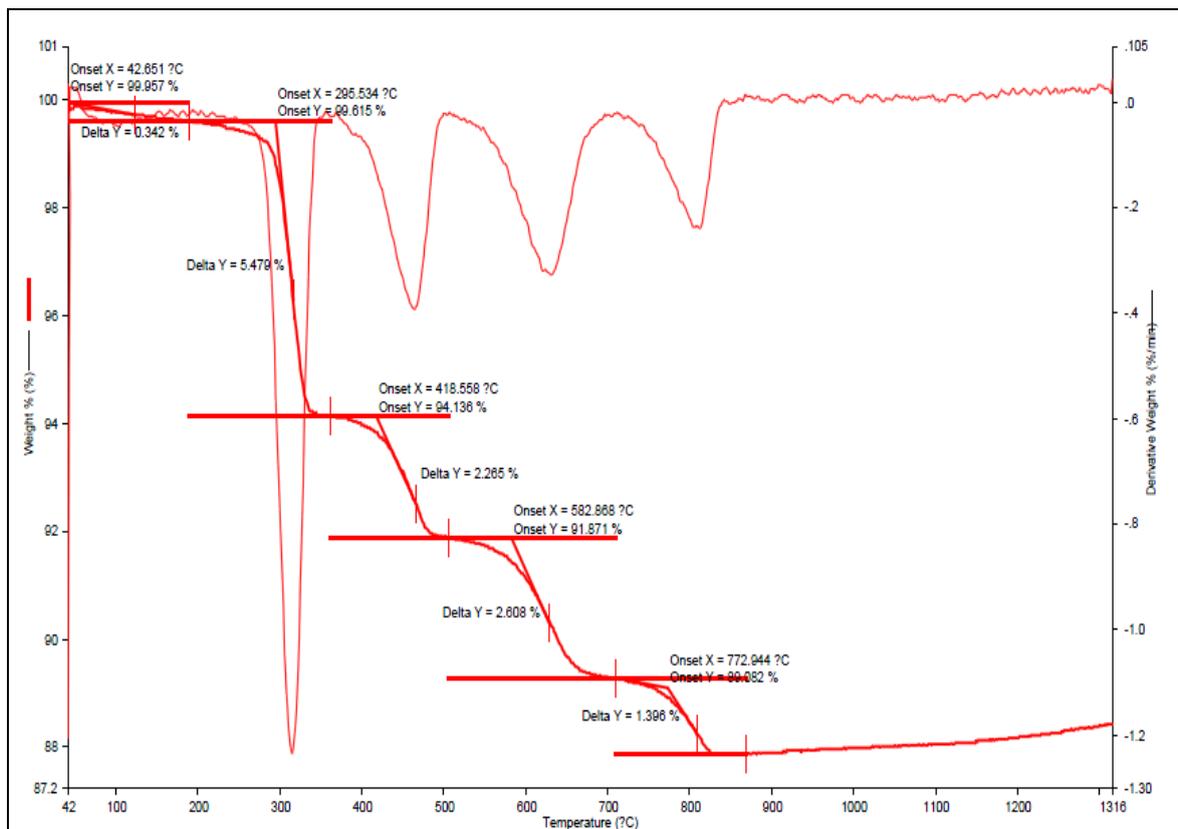
## วิธีการวิจัย

เตรียมเซรามิก  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  โดยวิธีการผสมออกไซด์ จากการบดผสมสาร  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  เติมด้วยอัตราส่วนผสม นาน 24 ชั่วโมง นำไปอัดขึ้นรูป เผาแคลไซน์ (Calcined) ที่อุณหภูมิ  $1,350$  °C นาน 5 ชั่วโมง อัตราขึ้นลงของอุณหภูมิเท่ากับ  $3$  °C/min จากนั้นนำมาบดผสมสารเข้าด้วยกันกับสาร ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol นาน 5 ชั่วโมง นำไปอัดขึ้นรูปโดยผสมกับ ตัวเชื่อมประสาน (Polyvinyl Alcohol) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ด้วยแรงดัน 50 kN ทำการเผาอบผนึกที่อุณหภูมิ  $1,400$  °C นาน 3 ชั่วโมง อัตราขึ้นลงของอุณหภูมิเท่ากับ  $3$  °C/min ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ทำซ้ำสารตัวอย่างด้วยกาเงินเพื่อนำมาตรวจสอบสมบัติอิมพีแดนซ์ด้วยเครื่อง LCR meter

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 1. การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยความร้อน (TGA)

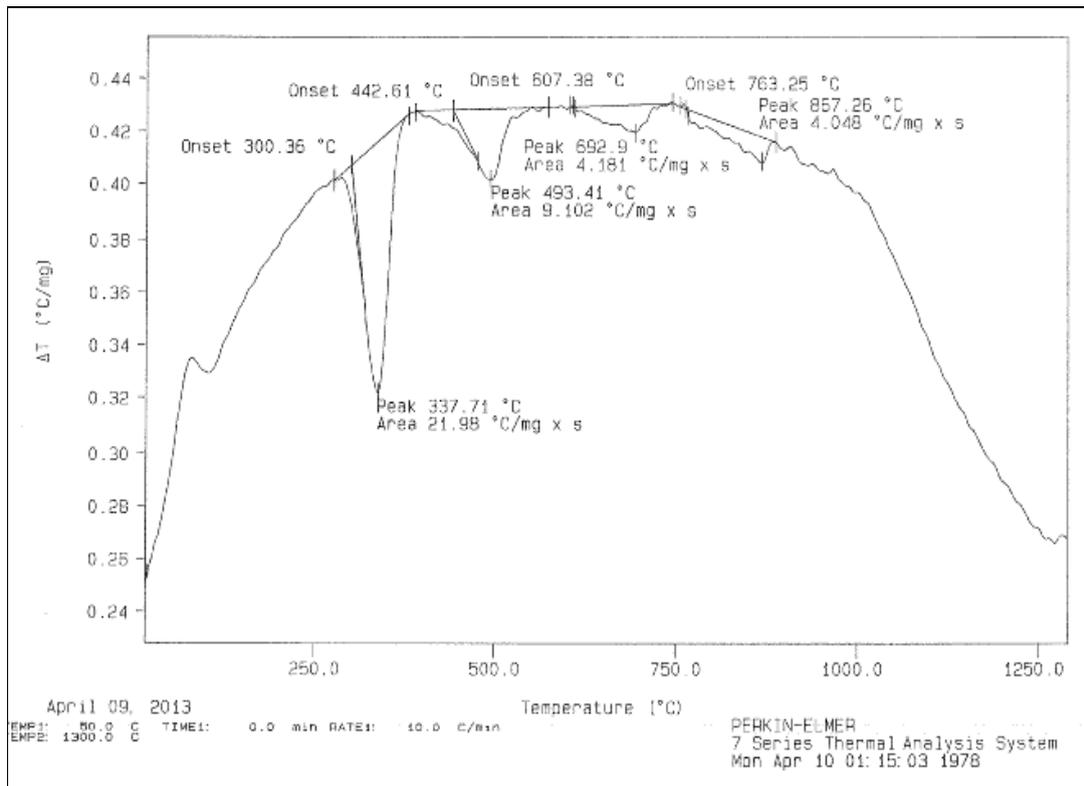
การเตรียมสารตั้งต้นในปริมาณน้อย ประมาณ 5.793 มิลลิกรัม มีการสูญเสียมวลของสารจากการกำจัดน้ำสิ่งตกค้างจากกระบวนการบดผสมสารและการกำจัดกาบคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ออกไป ดังนั้นที่อุณหภูมิ 1,300 °C จะทำให้สาร  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  สามารถเกิดอันตรกิริยาเป็นสารประกอบตัวใหม่ได้ ซึ่งร้อยละการสูญเสียน้ำหนักที่ได้ออกมานั้นน้อยมาก จนถือได้ว่า ไม่น่าจะมีผลกระทบต่อ การเตรียมสาร ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA ของสาร  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$

### 2. การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยการวิเคราะห์ผลต่างของความร้อน (DTA)

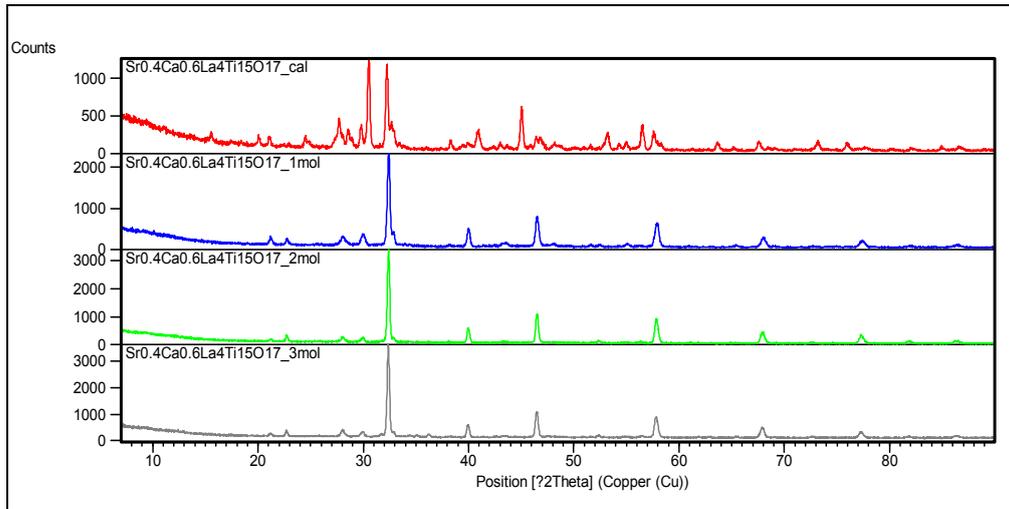
สารเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 337.71 °C จากปฏิกิริยาการละลาย ของสาร  $\text{TiO}_2$  ที่เป็นส่วนผสมของสารตั้งต้น บูรภัทซ์ อินทรีย์สังวร [3] ได้อธิบายไว้ว่า สารประกอบไททานเนียม (Ti) เกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 320 °C ส่วนการเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนในช่วงถัดไปที่อุณหภูมิประมาณ 493.41 - 692.9 °C เกิดจากการแตกตัวของสารประกอบ  $\text{SrCO}_3$  และ  $\text{CaCO}_3$  ที่ยังเหลืออยู่ในสารตั้งต้น สิทธิพงษ์ หาญพิมล [4] ได้อธิบายไว้ว่า การเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 692.9 °C เกิดจากการแตกตัวของสารประกอบคาร์บอเนต และการเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนในช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิประมาณ 867.26 °C เป็นการทำให้ปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่ คือ  $\text{La}_2\text{O}_3$  ดังแสดงในภาพที่ 2 ดังนั้นจึงควรทำการเผาแคลไซน์สารด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่า 1,300 °C เนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาการสร้างผลึกของสารที่อุณหภูมิระหว่าง 50 - 1,300 °C



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค DTA ของสาร  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$

### 3. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)

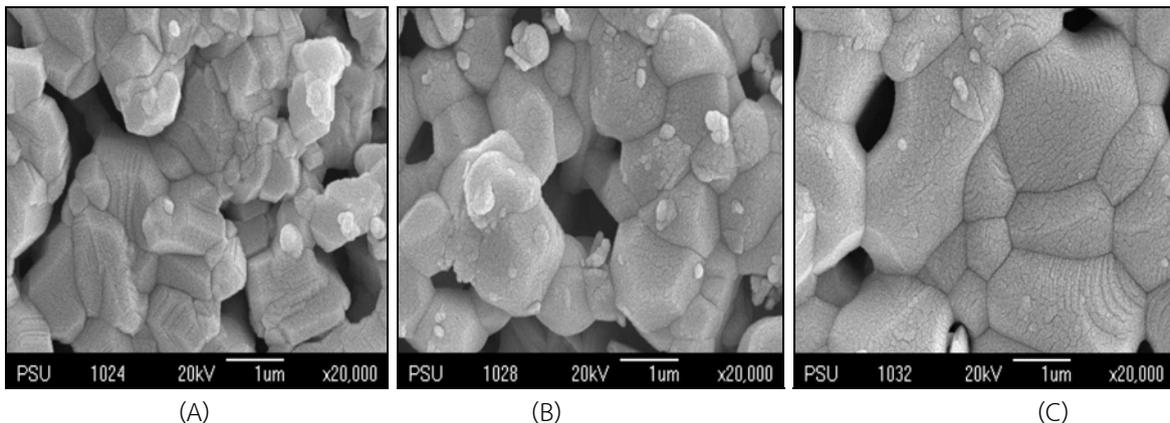
จากผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนส่งผลให้เลือกเผาแคลไซน์เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ที่อุณหภูมิ 1,350 °C นาน 5 ชั่วโมง ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่า เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  มีการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์จึงปรากฏเฟส 3 เฟส คือ  $SrLa_4Ti_4O_{15}$ ,  $La_2Ti_2O_7$  และ  $La_9Ti_7O_{27}$  มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลแบบออโทโรมบิก และแบบรอมโบฮีดรอล มี Space group : P-3m1, R-3c และ Pna21 ตามลำดับ เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1 และ 2% mol เฟสเริ่มมีการอยู่ร่วมกันจึงปรากฏเฟส 2 เฟส เฟสแรก คือ  $SrLa_8Ti_9O_{31}$  และ  $CaTiO_3$  มีโครงสร้างผลึกแบบออโทโรมบิก มี Space group : Pbnm ตามลำดับ เฟสที่สอง คือ  $SrTiO_3$  มีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ มี Space group : Pm-3m และเมื่อเติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 3% mol มีการทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์มากขึ้นทำให้ปรากฏเฟสเดียว (Single Phase) คือ  $SrTiO_3$  มีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ มี Space group Pm-3m เนื่องจากเฟสอยู่ร่วมกันมากขึ้น Demisar และคณะ [5] ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเซรามิก  $CaLa_4Ti_5O_{17}$  และ  $SrLa_4Ti_5O_{17}$  จะปรากฏเฟส 2 เฟส คือ  $CaTiO_3$  และ  $SrTiO_3$  ดังนั้นในการตรวจสอบลักษณะเฟสจึงไม่ปรากฏเฟสของ  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกและไม่ปรากฏเฟสของ ZnO เนื่องจากมีการเติมสารเจือ ZnO ในปริมาณน้อยเกินไปส่งผลให้เกิดการถูกบดบังด้วยไอออน  $Ca^{2+}$  และ  $Sr^{2+}$



ภาพที่ 3 แบบรูปการตรวจสอบลักษณะเฟสของเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO

#### 4. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

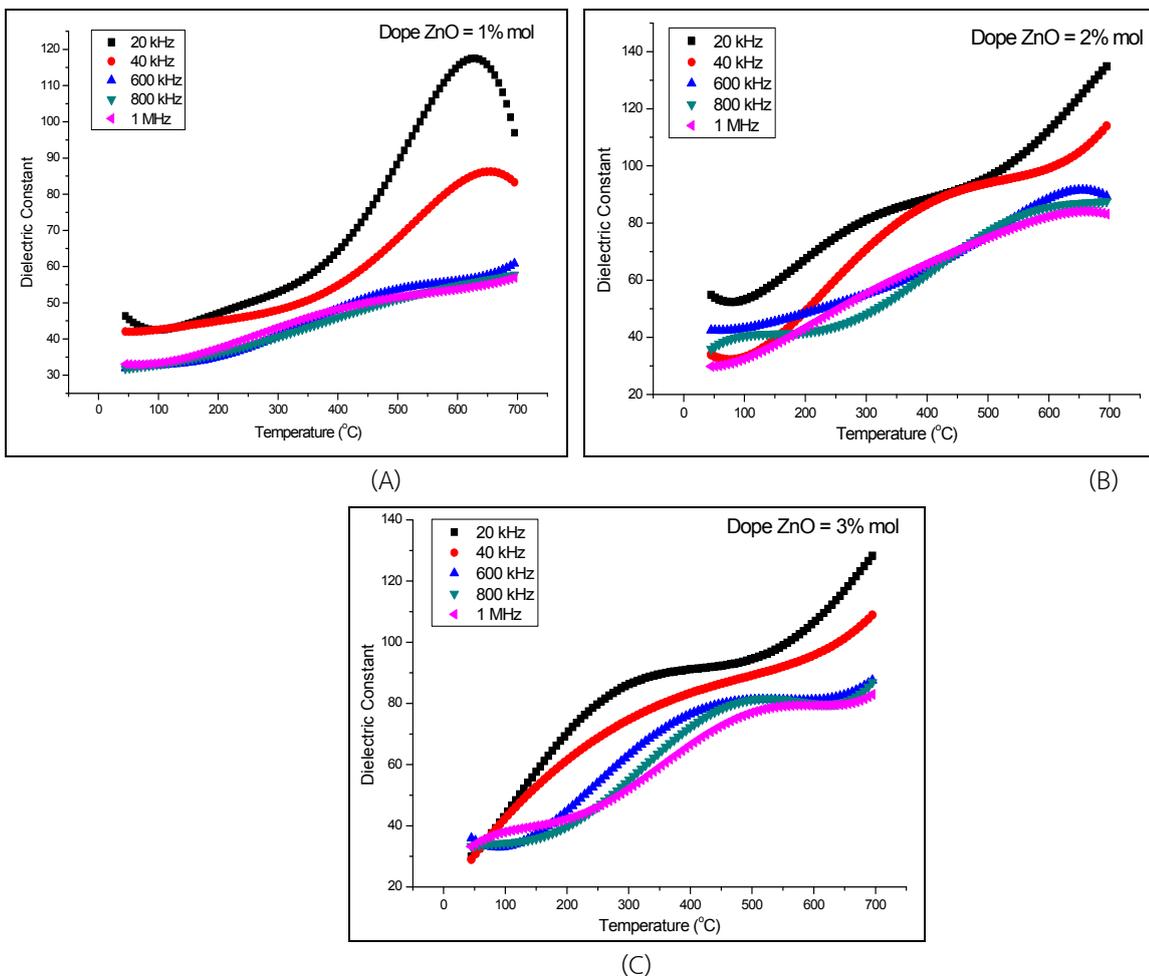
จากผลการตรวจสอบสภาพภายในของเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ด้วยเทคนิค SEM หลังเผาอบผนึกที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่า เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1% mol มีรูปร่างและขนาดของเกรนไม่คงที่ มีความหนาแน่นน้อย ความพรุนมาก ดังภาพที่ 4 (A) เมื่อเติมสารเจือเพิ่มขึ้นปริมาณ 2% และ 3% mol รูปร่างของเกรนจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นเหลี่ยมมากขึ้น ขนาดของเกรนเพิ่มขึ้น เกรนขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ในเกรนขนาดใหญ่ทำให้เกรนมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ความพรุนลดน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4 (B) และ (C) ซึ่งค่าขนาดเกรนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9 - 0.99  $\mu m$  แสดงให้เห็นว่า เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เมื่อเติมสารเจือ ZnO เพิ่มขึ้นขนาดของเกรนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่ง Chen และ Min. [6] ได้อธิบายไว้ว่า เซรามิก  $CaLa_4Ti_{(5-x)}Zr_xO_{17}$  ที่  $x = 0.01, 0.05$  และ  $0.07$  มีความหนาแน่นมากขึ้น ความพรุนลดน้อยลงส่งผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะเกรนของเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1% mol (A) 2% mol (B) และปริมาณ 3% mol (C)

### 5. การศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิ

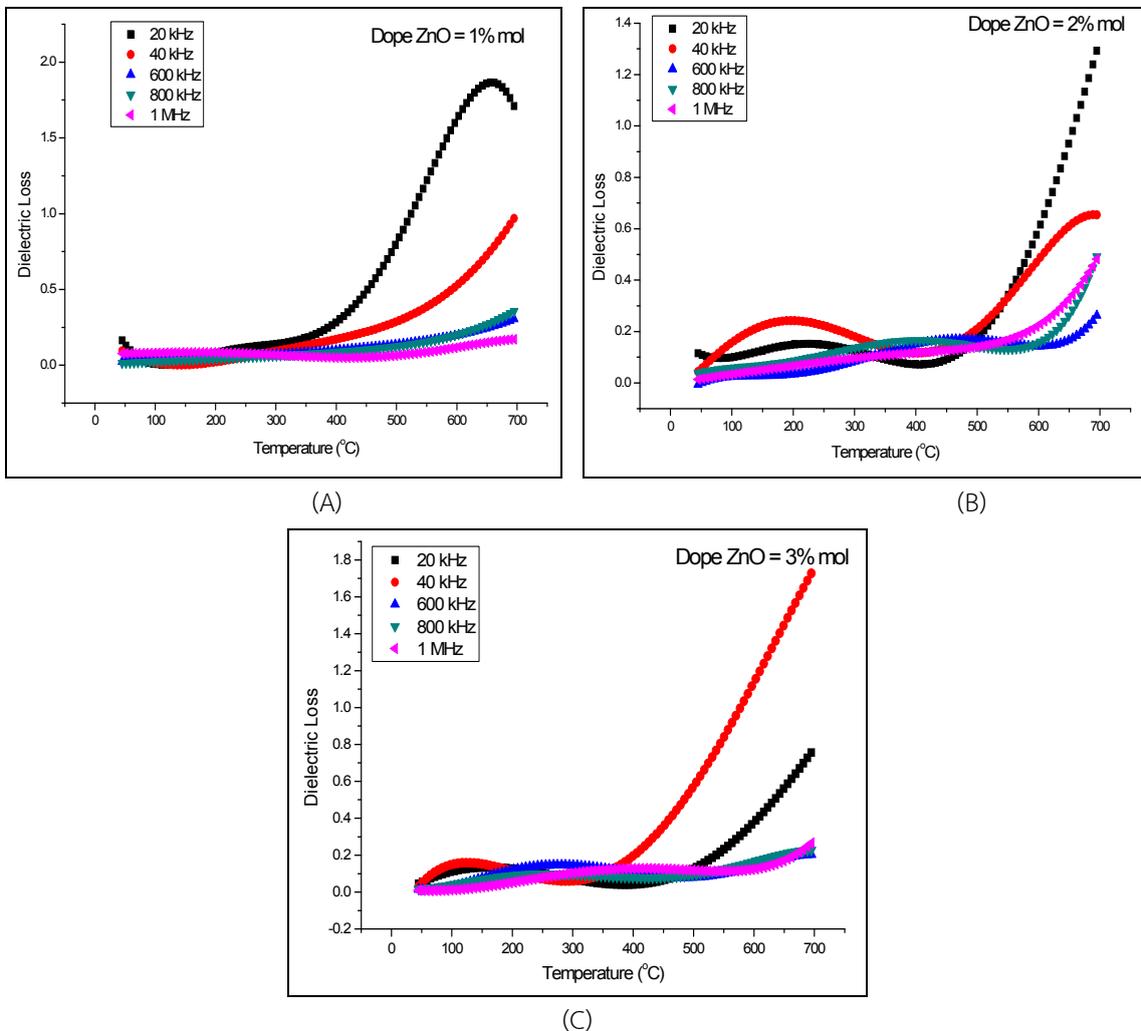
จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ที่ความถี่ 20 kHz - 1 MHz ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการให้ปริมาณความร้อนแก่สารตัวอย่างทำให้ประจุเกิดการเคลื่อนที่จนเกิดไดโพลโมเมนต์ทางไฟฟ้า เมื่อเกิดสนามไฟฟ้าจะทำให้ตำแหน่งของอะตอมประจุบวกและประจุลบเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมทำให้เกิดการโพลาริเซชัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงส่งผลให้เกิดอุณหภูมิคูรี ซึ่งการเติมสารเจือเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิคูรีมีค่าลดลงจาก 629 - 682 °C เนื่องจากเกิดการแทนที่ของไอออน  $Zn^{2+}$  ในไอออน  $Sr^{2+}$  และ  $Ca^{2+}$  และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงทำให้สารเกิดการผ่อนคลายเนื่องจากข้อจำกัดที่ไม่ทันหรือช้าหุนตามสนามไฟฟ้าไม่ทัน ดังนั้นความถี่จึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก Kim [7] ได้อธิบายไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการโพลาริเซชัน และเมื่ออุณหภูมิคูรีมีค่าลดลงทำให้สารประกอบเกิดการโพลาริเซชันได้น้อย นอกจากนี้ การเติมสารเจือ ZnO เพิ่มขึ้นปริมาณ 1, 2 และ 3% mol มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง เท่ากับ 117.52, 134.79 และ 128.27 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1% mol (A) 2% mol (B) และ 3% mol (C)

## 6. การศึกษาค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิ

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกกับอุณหภูมิของเซรามิก  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ที่ความถี่ 20 kHz - 1 MHz ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 629 - 652 °C ค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการชนกันของอะตอมข้างเคียงและเกิดการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อนไปกระตุ้นพาหะประจุ (Charge carrier) ทำให้ไอออนเกิดการเคลื่อนที่ส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างประจุเพิ่มขึ้นและเกิดตำแหน่งว่างของอะตอมออกซิเจนขึ้นภายในเม็ดเซรามิก และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 45 - 695 °C ค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ การเติมสารเจือ ZnO เพิ่มขึ้นปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ทำให้ค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกต่ำสุด เท่ากับ 0.013, 0.002 และ 0.01 Rao และคณะ [8] ได้อธิบายไว้ว่า การเติมสารเจือเพิ่มขึ้นค่าสภาพการสูญเสีย ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเกิดการแทนที่ตำแหน่งว่างของไอออนที่บริเวณขอบเกรนมากขึ้น ทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าลดลง



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานส่วนจินตภาพกับความถี่ของเซรามิก  $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{0.6}\text{La}_4\text{Ti}_5\text{O}_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1% mol (A) 2% mol (B) และ 3% mol (C)

## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA และ DTA พบว่า เซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  สามารถเกิดอันตรกิริยาเป็นสารประกอบตัวใหม่ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า  $1,300\text{ }^{\circ}C$  จึงทำการศึกษาเซรามิก  $Sr_{0.4}Ca_{0.6}La_4Ti_5O_{17}$  เติมสารเจือ ZnO ปริมาณ 1, 2 และ 3% mol ผ่านการเผาอบพูนที่อุณหภูมิ  $1,400\text{ }^{\circ}C$  นาน 3 ชั่วโมง ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย XRD และ SEM พบว่า การเติมสารเจือเพิ่มขึ้นปริมาณ 3% mol เฟสเริ่มอยู่รวมกันมากขึ้นทำให้ปรากฏเฟสเดียว คือ  $SrTiO_3$  มีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์ มี Space group : Pm-3m ให้ผลสอดคล้องกับกล้อง SEM ขนาดเกรนเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง  $0.9 - 0.99\text{ }\mu m$  และจากการศึกษาสมบัติไดอิเล็กทริก พบว่า การเติมสารเจือเพิ่มขึ้นปริมาณ 2% mol ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง  $117.52 - 134.79$  ค่าสภาพการสูญเสียไดอิเล็กทริกมีแนวโน้มลดลงอยู่ในช่วง  $0.002 - 0.013$  และมีอุณหภูมิคูรีอยู่ในช่วง  $629 - 682\text{ }^{\circ}C$

## คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภทเต็มจำนวน (พ.ศ. 2557) ขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากรภาควิชาฟิสิกส์ และห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำสนับสนุน เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย จนการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Jawahar, I. N., Santha, N. I., Sebastian, M. T. and Mater, J. (2002). Microwave Dielectric Properties of MO -  $La_2O_3$ - $TiO_2$  (M = Ac, Sr, Ba). *J. Appl. Phys.* 12(17), 3084-3089.
- [2] Iqbal, Y., Manan, A. and Reaney, I. M. (2011). "Low Loss  $Sr_{1-x}Ca_xLa_4Ti_5O_{17}$  Microwave Dielectric Ceramics", *Materials Research Bulletin.* 7(46), 1092-1096.
- [3] บูรภัทท์ อินทรีย์สังวร. (2548). การสังเคราะห์และการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยไนโอเบียม. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] สิริพิงษ์ หาญพิมล. (2548). วิวัฒนาการของเฟสและโครงสร้างจุลภาคของสารในระบบที่มีบิสมีทโซเดียมไทเทเนต. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Demsar, K., Skapin, S. D., Meden, A. and Suvorov, D. (2008). "Rietveld Refinement and Dielectric Properties of  $CaLa_4Ti_5O_{17}$  and  $SrLa_4Ti_5O_{17}$  Ceramics", *ActaChim. Slov.* 4(55), 966 - 972.
- [6] Chen Y. C. and Min J. (2007). "Influence of CuO Addition and Sintering Temperature on Microwave Dielectric Properties of  $Ca_{0.99}Zn_{0.01}La_4Ti_5O_{17}$  Ceramics for Application in Stacked Patch Antenna", *J. Appl. Phys.* 10, 7959-7962.
- [7] Kim, J.S. (2003). "Effects of Nb Doping on the Dielectric and the Electrical Properties of  $Ba_4Ti_3O_{12}$  Ceramics", *Journal of the Korean Physical Society.* 43(6), 1081-1086.
- [8] Rao, W., Wang, Y - B., Gao, J - X., Wang, Y - A., Zhou, W - L. and Yu, J. (2013). "Dielectric Properties of  $La_2O_3$ - Doped  $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$  Ceramics", *J. Mater. Sci.* 24, 4947-4950.