

ผลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อสมบัติ ของเซรามิกแบเรียมทิตาเนต

จงกล ทองนาม¹ พงษ์เทพ อากรสกุล² กมลพรรณ เพ็งพัค³
และ กอบวุฒิ รุจิจนากุล⁴

Abstract

Tongnam, C., Arkornsakul, P., Pangpat, K. and Rujijanagul, G.
Effect of heating/cooling rate on the properties of BaTiO₃ ceramics
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2005, 27(4) : 839-846

The effect of heating/cooling rate on the physical, microstructural and dielectric properties of BaTiO₃ ceramics has been studied. The heating/cooling rate using in this work is ranged from 10 to 20°C/min at sintering temperature of 1350°C for 2 hours. It was found that the physical properties of the barium titanate ceramics using heating/cooling rate of 20°C/min gave a higher value of percent shrinkage and density than that of 10 and 15°C/min. From the dielectric constant measurement, the maximum dielectric constant depended very much on the heating/cooling rates. The maximum dielectric constant of the ceramics using heating/cooling rate of 20°C/min was higher than that of 10 and 15°C/min. Hence, the small grain size and high density of the ceramics using high heating/cooling rate may have an influence on the value of maximum dielectric properties of the BaTiO₃ ceramics.

Key words : BaTiO₃ ceramics, heating/cooling rate, dielectric constant

Department of Physics, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand.

¹นักศึกษาลูกศรทว.บ. สาขาวัสดุศาสตร์ ²M.S.(Physics), ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ³Ph.D.(Materials Science) ⁴Ph.D.(Physics), รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Corresponding e-mail: rujijanagul@yahoo.com

รับต้นฉบับ 31 พฤษภาคม 2547 รับลงพิมพ์ 8 พฤศจิกายน 2547

บทคัดย่อ

จกมล ทองนาม พงษ์เทพ อากรสกุล กมลพรรณ เพ็งพัด และ กอบวุฒิ รุจิจานุกูล
ผลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อสมบัติของเซรามิกแบเรียมิตาเนต
ว. สขลานครินทร์ วทท. 2548 27(4) : 839-846

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ อาทิเช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางจุลภาค และสมบัติทางไดอิเล็กตริก ของเซรามิกแบเรียมิตาเนต จากการทดลองเผาสารเซรามิก ในอัตราการขึ้น-ลงต่าง ๆ กันตั้งแต่ 10 ถึง 20°C/นาที ที่อุณหภูมิซินเตอร์ 1350°C โดยใช้เวลาการเผาแห้งที่อุณหภูมิซินเตอร์ 2 ชั่วโมง พบว่าสมบัติทางกายภาพของเซรามิกแบเรียมิตาเนตที่ผ่านการเผาโดยใช้มีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที จะมีค่าความหดตัวและค่าความหนาแน่นสูงที่สุด จากการศึกษาวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกพบว่าอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิมิผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยที่สารเซรามิกที่ผ่านการเผาโดยใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิต่ำกว่า 20°C/นาที จะให้ค่าไดอิเล็กตริกสูงสุดได้มากกว่าสารเซรามิกที่ผ่านการเผาโดยใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 10 และ 15°C/นาที ซึ่งทั้งนี้ผลของขนาดของเกรนที่เล็กและค่าความหนาแน่นที่สูงในกรณีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่สูงน่าจะมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงสุดของสารเซรามิกแบเรียมิตาเนตนี้ด้วย

แบเรียมิตาเนต (BaTiO₃) เป็นสารประกอบในกลุ่มเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectrics) ที่เป็นที่รู้จักและถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในวงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กันอย่างกว้างขวาง โดยที่อุณหภูมิห้องแบเรียมิตาเนตจะมีโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ซึ่งจะแสดงสมบัติทางเฟอร์โรอิเล็กตริกจนกระทั่งถึงอุณหภูมิคูรี (curie temperature) ซึ่ง ณ อุณหภูมินี้สารแบเรียมิตาเนตจะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากเตตระโกนอลไปเป็นแบบคิวบิก (cubic) และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรีสารจะไม่มีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กตริกอีก แต่จะแสดงสมบัติเป็นพาราอิเล็กตริก (paraelectrics) แทน อุณหภูมิคูรีของสารแบเรียมิตาเนตนี้จะมีค่าประมาณ 130°C ซึ่งอุณหภูมิคูรีหรือถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของสาร (phase transition temperature) นี้ ได้ถูกนำไปใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่พบในสารเฟอร์โรอิเล็กตริกทั่วไป ซึ่งอุณหภูมิคูรีจะมีค่ามากหรือน้อยเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเฟอร์โรอิเล็กตริกเหล่านั้น นอกจากนั้นแล้วในช่วงอุณหภูมิห้องแบเรียมิตาเนตจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) สูง (Moulson and Herbert, 1990) และในช่วงอุณหภูมิใกล้อุณหภูมิคูรี ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะยิ่งสูงมาก ซึ่งสามารถนำคุณสมบัติเหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้าต่างๆ เช่น นำมาทำเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าตัวเก็บประจุเป็นหนึ่งใน

อุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญต่อวงการอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน และเนื่องจากการศึกษาและพัฒนาสารแบเรียมิตาเนตอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน จึงทำให้สามารถผลิตตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง สะดวกต่อการใช้งานอย่างมาก จากการสืบค้นข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าสมบัติของสารแบเรียมิตาเนตขึ้นกับกระบวนการผลิตหรือกระบวนการเตรียมสารเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิการเผาจะมีผลต่อขนาดของอนุภาค (particle size) ของผงที่เตรียม (Tunkasiri and Rujijanagul, 1994) และขนาดของเกรน (grain size) ของสารเซรามิกแบเรียมิตาเนต โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา ขนาดของอนุภาคและขนาดของเกรนของสารนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น (Tunkasiri and Rujijanagul, 1996) และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าขนาดของเกรนในแบเรียมิตาเนตมีผลต่อสมบัติไดอิเล็กตริก โดยในกรณีเซรามิกแบเรียมิตาเนตที่มีขนาดของเกรนเล็ก จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง (Kinoshita and Yamaji, 1976) นอกจากนั้นแล้วขนาดของอนุภาคก็มีผลต่อการเปลี่ยนเฟส (phase transition) ของสารนี้ด้วย โดยถ้าแบเรียมิตาเนตยังมีขนาดของอนุภาคเล็ก อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจะยิ่งต่ำ (Uchino et al., 1989) อย่างไรก็ตาม ถ้าขนาดของอนุภาคยังเล็กต่อไปจนถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง แบเรียมิตาเนตจะไม่แสดงสมบัติของสารเฟอร์โรอิเล็กตริกที่อุณหภูมิห้องอีก Rhim และคณะ (2000) วิจัย

ถึงอิทธิพลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาในสาร $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ และต่อมา Ryu และคณะ (2001) ได้วิจัยสาร $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ ซึ่งพบว่าอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาสารมีผลต่อสมบัติของสารดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามจากการค้นคว้าที่ผ่านมายังไม่มีผู้ใดได้ทำการศึกษาวิจัยผลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิซินเตอร์ (sintering temperature) ในเซรามิกแบเรียมทิตานเนตเลย ดังนั้นคณะวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาสารแบเรียมทิตานเนตโดยเฉพาะการเผาซินเตอร์ ซึ่งอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิในการเผาซินเตอร์นี้เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการผลิตสารเซรามิก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้นำผงแบเรียมทิตานเนต 99% ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ แล้วมาทำการทดลองโดยวิธีการทดลองนั้นเริ่มจากการเตรียมสารพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol; PVA) 0.3% โดยน้ำหนัก นำผงแบเรียมทิตานเนต 50 กรัม มาทำการบดโดยใช้ในกระป๋องพลาสติกที่มีเม็ดบดเซอร์โคเนีย (ZrO_2) แล้วเติมสารละลาย PVA กับพอลิเอทิลีนแอลกอฮอล์ (polyethylene glycol; PEG) ที่เตรียมไว้ลงไปจนพอดีที่ท่วมเม็ดบด จากนั้นนำไปทำการบดย่อยแบบเปียก (wet-milling) เป็นเวลา 24

ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงกรองสารผสมที่ได้ด้วยตระแกรงลวดเพื่อแยกเม็ดบดออกจากสารผสม โดยใช้น้ำกลั่นช่วยล้างทำความสะอาด แล้วจึงนำสารผสมที่แยกได้มาทำให้แห้งโดยการให้ความร้อนพร้อมกับทำการกวนจนของเหลวระเหยไปเกือบหมด จากนั้นจึงนำสารที่ได้ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ $120^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำสารที่แห้งแล้วไปทำการบดด้วยครก (agate mortar) ให้ละเอียด แล้วจึงนำไปทำการแยกขนาดของอนุภาคเพื่อให้ได้อนุภาคที่มีขนาดสม่ำเสมอด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (sieving) โดยใช้ซีฟไนลอน (nylon sieve) เบอร์ 120 นำผงที่ผ่านการคัดแยกอนุภาคแล้วไปทำการขึ้นรูปสารตัวอย่าง ให้มีลักษณะเหมือนเหรียญกลมแบนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 ± 0.05 มม.หนา 3.00 ± 0.05 มม. โดยใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิก (Riken Seiki Co., LTD 137609) จากนั้นนำสารที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วไปทำการเผาซินเตอร์ด้วยเตาเผาสาร (ผลิตโดยบริษัทสมศักดิ์ชัยพลาย ประเทศไทย) ตามเงื่อนไขต่างๆ ดังแสดงไว้ใน Figure 1 โดยเริ่มจากการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจากอุณหภูมิห้อง ($30^{\circ}C$) ด้วยการใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ $10^{\circ}C/นาท$ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ $500^{\circ}C$ จึงทำการเผาแช่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงเพื่อกำจัด PVA ออกไปจากสารตัวอย่าง จากนั้นจึงค่อยทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ $10^{\circ}C/นาท$ ไปจนกระทั่งถึงอุณหภูมิเผาซินเตอร์ที่ $1350^{\circ}C$ เผาแช่ทิ้ง

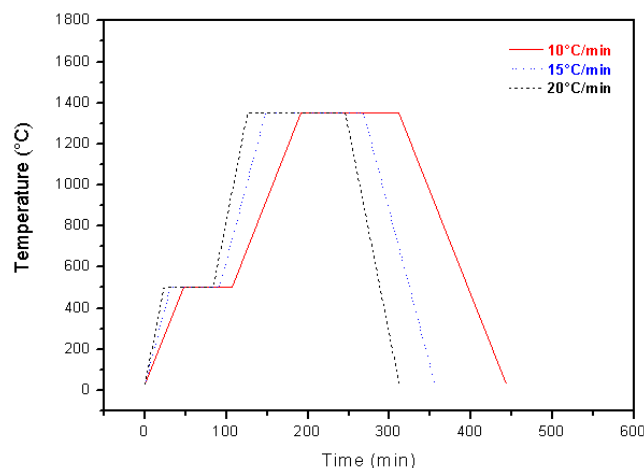


Figure 1. Sintering profiles of $BaTiO_3$ ceramics with different heating rates.

ไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิลงด้วยอัตราการลดลงของอุณหภูมิ 10°C/นาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้อง (30°C) ทำการทดลองแบบเดียวกัน แต่เปลี่ยนอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิเป็น 15 และ 20°C/นาที และเมื่อได้สารเซรามิก แล้วจึงทำการตรวจวิเคราะห์เซรามิกแบบเรียมิตาเนตที่ผ่านการเผาซินเตอร์ โดยการหาค่าความหดตัวและค่าความหนาแน่น หลังจากนั้นแล้ว จึงทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิกแบบเรียมิตาเนต โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-6335F Japan)

ซึ่งได้ทำการตรวจสอบลักษณะของผิวรอยแตกหัก (fracture surface) ซึ่งเกิดจากการหักผิวดังตัวอย่างเซรามิกเพื่อมาศึกษาลักษณะทางจุลภาคของผิวรอยแตกหักนั้น และลักษณะผิวหน้าที่ผ่านการกัดผิวด้วยความร้อน (thermal etching) ซึ่งจะสามารถบอกได้ถึงปริมาณของรูพรุน ลักษณะ รูปร่าง และขนาดของเกรน ในการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิกที่เตรียมได้ จะทำโดยนำเซรามิกที่เตรียมได้มาทำขั้วไฟฟ้า ด้วยการนำเซรามิกมาทำการขัดด้วยกระดาษทรายละเอียด จากนั้นนำไปอบให้แห้งโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทำขั้วไฟฟ้าโดยการใช้กาวเงินทาที่ผิวหน้าทั้งสองของสารตัวอย่าง แล้วนำไปเผาเพื่อให้กาวเงินที่เป็นขั้วไฟฟ้าแห้งแนบสนิทกับผิวหน้าทั้งสองของสารตัวอย่าง โดยอุณหภูมิที่ใช้เผาคือ 800°C แช่ไว้เป็นเวลา 12 นาที ใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 5°C/นาที แล้วนำสารตัวอย่างไปทำการตรวจสอบสมบัติทางไดอิเล็กตริก โดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยเครื่อง LCZ meter (Hewlett Packard 4276A) ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยใช้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าที่ 1 KHz ใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 3°C/นาที ค่าความจุไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยค่าความจุไฟฟ้าและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

โดย $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$

A คือ พื้นที่ และ d คือความหนาเฉลี่ยของสาร

ϵ_r คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ทำการเตรียมเซรามิกแบบเรียมิตาเนต จึงนำเซรามิกดังกล่าวมาวัดความหดตัวในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง และคำนวณค่าความหดตัวจะได้ผลดัง Figure 2 สำหรับการหดในเซรามิกนั้น เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวเชื่อมติดกันของอนุภาคในขณะเผาซินเตอร์ ซึ่งในการทดลองนี้กระบวนการซินเตอร์นั้นน่าจะเกิดปฏิกิริยาแบบของแข็ง (solid state reaction) โดยพบว่าเซรามิกที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที จะมีค่าความหดตัวมากกว่าเซรามิกที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 10°C/นาที ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิมิมีผลต่อค่าความหดตัวของเซรามิกแบบเรียมิตาเนต

และจากการนำเซรามิกของแบบเรียมิตาเนตที่ผ่านการเผาซินเตอร์แล้ว มาทำการหาค่าความหนาแน่นจะได้ผลดังแสดงไว้ใน Figure 3 ซึ่งเมื่อพิจารณาความหนาแน่นที่ได้ พบว่าสารที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที จะมีค่าความหนาแน่นของสารมากกว่าสารที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 10°C/นาที โดยการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นน่าจะสืบเนื่องมาจากขณะที่มีการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว มีการหดตัวอย่างรวดเร็วทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การหดตัวของสาร แสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นของเซรามิกแบบเรียมิตาเนตจะมีค่าแปรผันตามอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์

จากที่ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกแบบเรียมิตาเนตโดยได้ทำการถ่ายภาพผิวหน้าของเซรามิกแบบเรียมิตาเนต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณรูพรุนของเซรามิกแบบเรียมิตาเนต ดังแสดงใน Figure 4-6 เมื่อทำการหาขนาดของเกรนเฉลี่ยแล้วสามารถเขียนกราฟเทียบกับอัตราการขึ้น-ลงได้ดัง Figure 7 พบว่าเซรามิกที่ทำการเผาซินเตอร์โดยใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 10°C/นาที จะมีขนาดใหญ่กว่าเซรามิกที่ทำการเผาซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 20°C/นาที ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้สารได้รับปริมาณความร้อนที่ส่งผลต่อการ

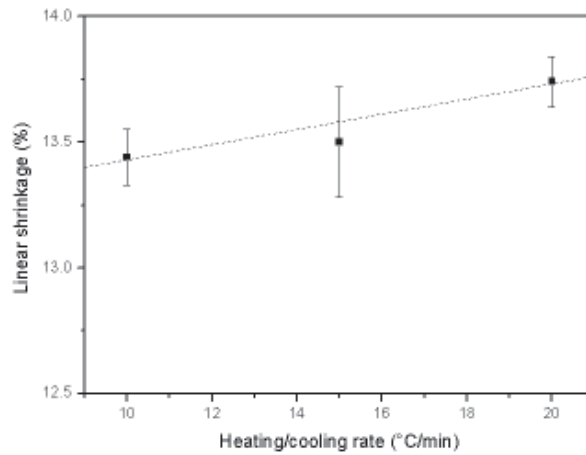


Figure 2. Linear shrinkage of the BaTiO₃ ceramics sintered at 1350°C for 2 hours as a function of heating/cooling rate.

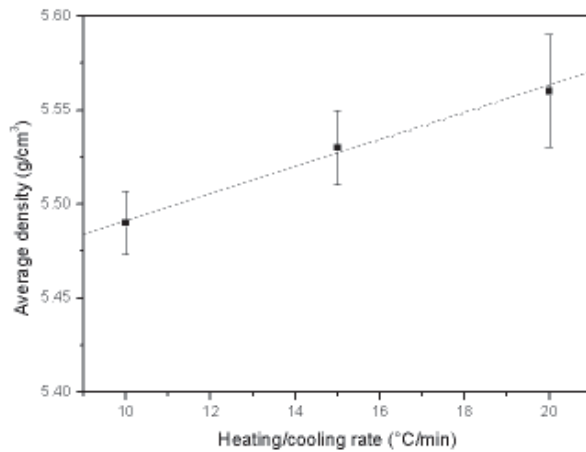


Figure 3. Density of the BaTiO₃ ceramics sintered at 1350°C for 2 hours as a function of heating/cooling rate.

เจริญเติบโตของเกรนที่น้อยลงจึงได้ผลลัพธ์เป็นสารเซรามิกที่มีเกรนขนาดเล็กกว่าสารที่ใช้อัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิช้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Ryu และคณะ (2001)

สำหรับการตรวจวัดค่าความจุไฟฟ้านั้นสามารถนำมาหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ ซึ่งในการทดลองนี้ทำการตรวจสอบสมบัติทางไดอิเล็กตริกโดยวัดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30°C ไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 170°C ที่ความถี่ 1 kHz ดังแสดงใน Figure 8 พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิประมาณตั้งแต่ 30°C จนถึงประมาณ 135°C ไม่

ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 130°C ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้การเปลี่ยนเฟส หลังจากนั้นแล้วค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะมีค่าลดลงถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่านี้ และจากการสังเกตค่าคงที่ไดอิเล็กตริกพบว่าเซรามิกแบเรียมทิตาเนตที่ผ่านการขึ้นเต๋อด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ณ จุดเปลี่ยนเฟส มากกว่าเซรามิกที่ผ่านการขึ้นเต๋อด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 10°C/นาที ตามลำดับผลที่ได้แสดงดังปรากฏใน Figure 9 ซึ่งน่าจะเป็นผลมา

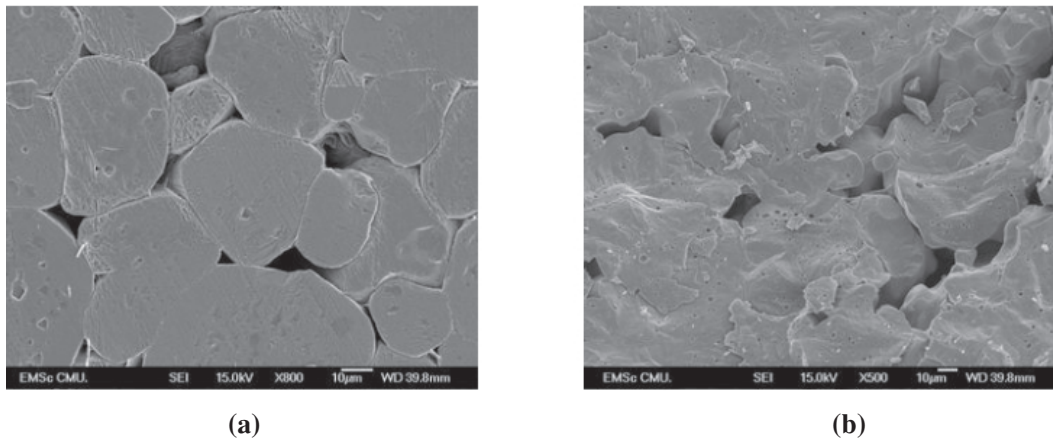


Figure 4. SEM micrographs of the BaTiO₃ ceramic sintered at 1350°C with 10°C heating/cooling rate: (a) thermally etched surface and (b) fracture surface.

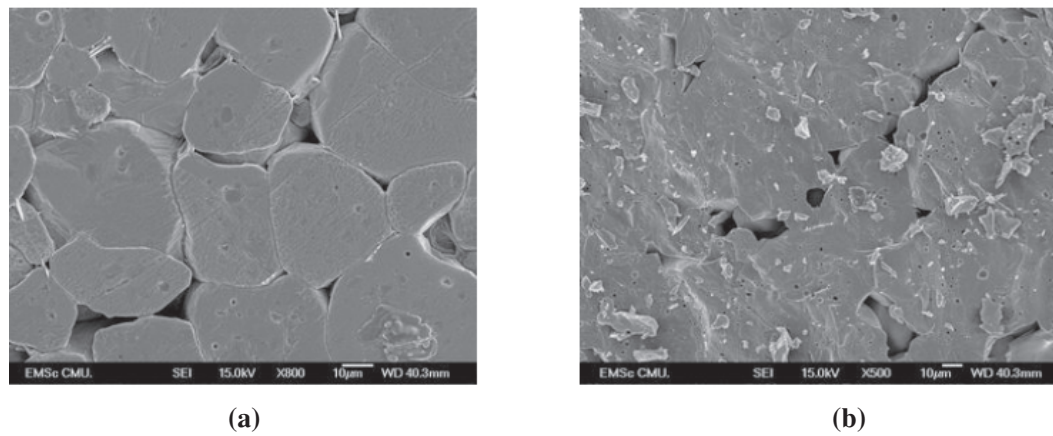


Figure 5. SEM micrographs of the BaTiO₃ ceramic sintered at 1350°C with 15°C heating/cooling rate: (a) thermally etched surface and (b) fracture surface.

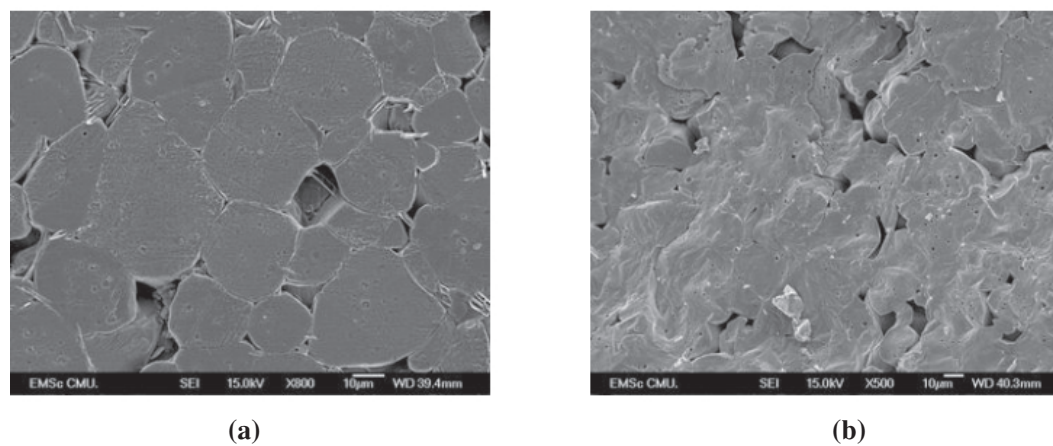


Figure 6. SEM micrographs of the BaTiO₃ ceramic sintered at 1350°C with 20°C heating/cooling rate: (a) thermally etched surface and (b) fracture surface.

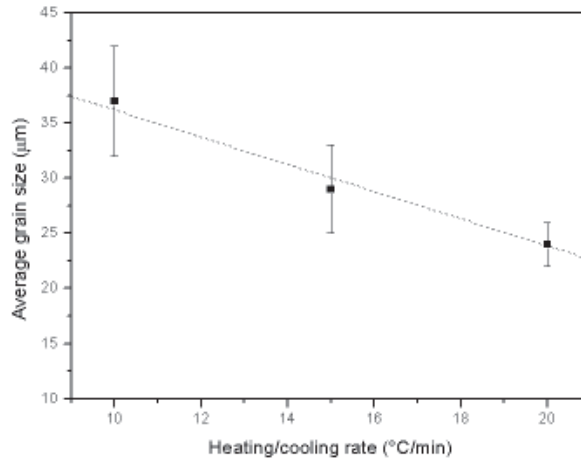


Figure 7. Average grain size of the BaTiO₃ ceramics sintered at 1350°C as a function of heating/cooling rate.

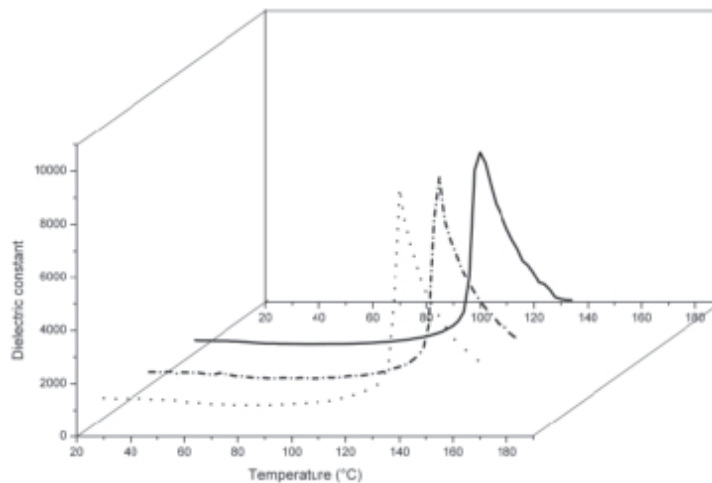


Figure 8. Temperature dependence of dielectric constant of the BaTiO₃ ceramics sintered at 1350°C using different heating/cooling rate.

จากการที่เซรามิกที่ผ่านการซินเตอร์ด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที นั้นจะทำให้เซรามิกมีขนาดของเกรนที่เล็กกว่าจึงทำให้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงกว่าเซรามิกที่อัตราการขึ้น-ลงที่ต่ำกว่า ผลอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือเซรามิกที่เผาด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที มีค่าความหนาแน่นสูงกว่ากรณีเซรามิกที่เผาด้วยอัตราการขึ้น-ลงที่ต่ำกว่า ซึ่งความหนาแน่นนี้เองก็มีส่วนสำคัญต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกด้วย (Fang *et al.*,1993)

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยในการเผาซินเตอร์ โดยเฉพาะอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิมิมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของสารเซรามิกแบเรียมทิตาเนตซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของเซรามิกแบเรียมทิตาเนตที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1350°C แช่วัวเป็น

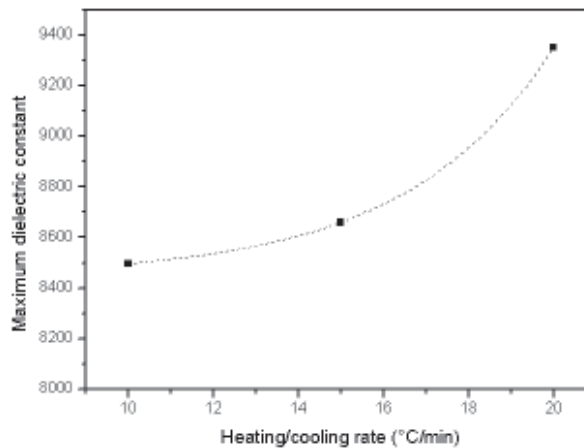


Figure 9. Maximum dielectric constant of the BaTiO₃ ceramics sintered at 1350°C as a function of heating/cooling rate.

เวลา 2 ชั่วโมง ที่มีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที่ จะมีค่าความหดตัวและค่าความหนาแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 13.75% และ 5.5558 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ ส่วนเซรามิกแบบเตรียมติดตามที่ที่มีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 10°C/นาที่ จะมีค่าความหดตัว และค่าความหนาแน่นลดลงตามลำดับ

2. จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคพบว่าขนาดของเกรนใหญ่มีแนวโน้มเล็กลงเมื่อใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยพบว่าการเผาซินเตอร์ที่มีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที่ จะมีขนาดของเกรนเล็กที่สุดเท่ากับ 24.7 ไมโครเมตร

3. เซรามิกที่ผ่านการเผาซินเตอร์ด้วยอุณหภูมิ 1350°C ที่มีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 20°C/นาที่ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงสุดเท่ากับ 9350 ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าเซรามิกที่เผาด้วยอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ 15 และ 10°C/นาที่ ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายด้วยผลของขนาดของเกรนที่เล็กและค่าความหนาแน่นที่สูงในกรณีอัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่สูง

เอกสารอ้างอิง

Fang, T., Hsieh, H. and Shiau, F. 1993. Effect of Pore Morphology and Grain size on the Dielectric Properties and Tetragonal-Cubic Phase Transition

of High-Purity Barium Titanate. J. Am. Ceram. Soc. 76(5): 1205-10.

Kinoshita, K. and Yamaji, A. 1976. Grain-Size Effect on Dielectric Properties in Barium Titanate Ceramics. J. Appl. Phys. 47: 371

Moulson, A.J. and Herbert, J.M. 1990. Electroceramics, Chapman and Hall, London.

Rhim, S., Bak, H., Hong, S. and Kim, O. 2000. Effect of Heating Rate on the Sintering Behavior and the Dielectric Properties Of Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ Ceramics prepared by Boron-Containing Liquid-Phase Sintering. J. Am. Ceram. Soc. 83(12): 3009-13.

Ryu, J., Choi, J.J. and Kim, H. 2001. Effect of Heating Rate on the Sintering Behavior and the Piezoelectric Properties of Lead Zirconate Titanate Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 84(4): 902-904.

Tunkasiri, T. and Rujijanagul, G. 1994. Characterization of Barium Titanate Prepared by Precipitation Technique, J. Mater. Sci. Letters. 13:165-169.

Tunkasiri, T. and Rujijanagul, G. 1996. Dielectric Strength of Fine Grained Barium Titanate Ceramics. J. Mater. Sci. Letters. 15: 1767-1769.

Uchino, K., Sadanaga, E. and Hirose, T. 1989. Dependence of the Crystal Structure on Particle Size in Barium Titanate. J. Am. Ceram. Soc. 72(8): 1555-58.