

#### 4.2.3 ผลการเตรียมผงและเซรามิก PMN-PZT

##### 4.2.3.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิก PMN-PZT

เมื่อเตรียมผง PMN และ PZT ได้แล้ว จากนั้นทำการทดสอบสารทั้งสองเข้าด้วยกันตามอัตราส่วนโดยไม่ลด คือ 0.8PMN-0.2PZT, 0.6PMN-0.4PZT, 0.4PMN-0.6PZT และ 0.2PMN-0.8PZT ทำการอัดขึ้นรูปและทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ  $1200-1300^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$  ลักษณะทั่วไปของเซรามิกผสมหลังการเผาซินเตอร์จะมีลักษณะแตกต่างกัน โดยเซรามิกที่มีปริมาณ PMN มากจะมีลักษณะเป็นเส้นที่มีปริมาณ PZT มากจะมีลักษณะเป็นตาลห่อหุ้น และเซรามิกที่มีอัตราส่วน PMN เท่ากันแต่เผาที่อุณหภูมิซินเตอร์ต่างกัน จะมีลักษณะอ่อนลงเมื่ออุณหภูมิซินเตอร์สูงขึ้น การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเซรามิกผสม PMN-PZT ที่ประกอบด้วย กារหาค่าความหนาแน่น กារหาค่าการหดตัว และน้ำหนักที่สูญเสีย สรุปได้ดังตาราง 4.16-4.19

การเปรียบเทียบความหนาแน่นและการหดตัวเชิงปริมาตรของเซรามิกผสม PMN-PZT ที่เผาซินเตอร์อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูป 4.33 และ 4.34 ตามลำดับ พบว่าเซรามิกผสม PMN-PZT ที่มีอัตราส่วน 0.8PMN-0.2PZT, 0.6PMN-0.4PZT และ 0.4PMN-0.6PZT และเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ  $1200 - 1275^{\circ}\text{C}$  มีแนวโน้มความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิซินเตอร์เพิ่มขึ้น จนถึงอุณหภูมิ  $1275^{\circ}\text{C}$  เซรามิกผสมในอัตราส่วนต่างๆ ส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นสูงที่สุด ยกเว้นในเซรามิกผสม 0.2PMN-0.8PZT ที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิ  $1250^{\circ}\text{C}$  แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นสูงสุดของเซรามิกผสมแต่ละอัตราส่วนไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนการวัดความหนาแน่นที่อุณหภูมิ  $1250^{\circ}\text{C}$  ประกอบกันไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิซินเตอร์สูงขึ้นจนถึง  $1300^{\circ}\text{C}$  พบว่าเซรามิกทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในเซรามิกผสมอัตราส่วน 0.8PMN-0.2PZT ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการสูญเสียตะกั่วในรูปของ  $\text{PbO}$  ไปสู่บรรยากาศในองค์ประกอบนี้ เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของเซรามิกผสมที่มีอัตราส่วนต่างกันที่เผาซินเตอร์อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าไม่สามารถหาแนวโน้มความหนาแน่นได้ ส่วนการหดตัวเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิซินเตอร์เพิ่มขึ้นจาก  $1200^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1250^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากเกรณเซรามิกมีการขยายตัวทำให้รูพรุนลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิซินเตอร์มากกว่า  $1250^{\circ}\text{C}$  พบว่าค่าการหดตัวลดลงอีกด้วย ซึ่งผลดังกล่าวไม่สอดคล้องกับผลของค่าความหนาแน่นนัก ในที่นี้เมื่อพิจารณาผลของค่าร้อยละการหดตัวด้วยจึงอาจจะอนุมานได้ว่าอุณหภูมิที่ทำให้เซรามิกผสมทั้งหมดนี้มีความหนาแน่นสูงจะอยู่ในช่วง  $1250-1275^{\circ}\text{C}$

ตาราง 4.16 สมบัติทางกายภาพของเซรามิกผสม 0.8PMN-0.2PZT

อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ร้อยละการหด ตัวเชิงปริมาตร	ร้อยละของน้ำหนัก ที่สูญเสียไป
1200	$6.55 \pm 0.05$	$21.9 \pm 2.20$	$4.40 \pm 0.41$
1225	$6.98 \pm 0.08$	$27.9 \pm 0.51$	$3.54 \pm 0.18$
1250	$6.97 \pm 0.48$	$43.5 \pm 0.77$	$8.88 \pm 7.70$
1275	$7.58 \pm 0.08$	$35.0 \pm 0.54$	$2.05 \pm 0.40$
1300	$7.33 \pm 0.10$	$33.6 \pm 1.18$	$6.16 \pm 0.80$

ตาราง 4.17 สมบัติทางกายภาพของเซรามิกผสม 0.6PMN-0.4PZT

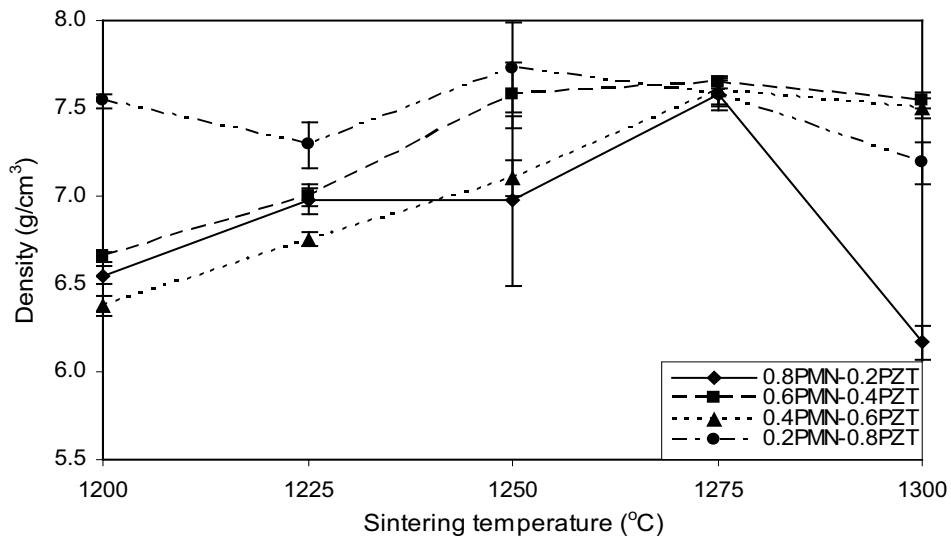
อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ร้อยละการหด ตัวเชิงปริมาตร	ร้อยละของน้ำหนัก ที่สูญเสียไป
1200	$6.65 \pm 0.02$	$26.2 \pm 0.46$	$3.28 \pm 0.40$
1225	$6.99 \pm 0.05$	$28.5 \pm 0.21$	$1.80 \pm 0.10$
1250	$7.58 \pm 0.19$	$42.8 \pm 0.08$	$1.70 \pm 0.36$
1275	$7.64 \pm 0.03$	$34.0 \pm 0.66$	$1.89 \pm 0.06$
1300	$7.54 \pm 0.05$	$35.4 \pm 0.34$	$2.96 \pm 0.08$

ตาราง 4.18 สมบัติทางกายภาพของเซรามิกผสม 0.4PMN-0.6PZT

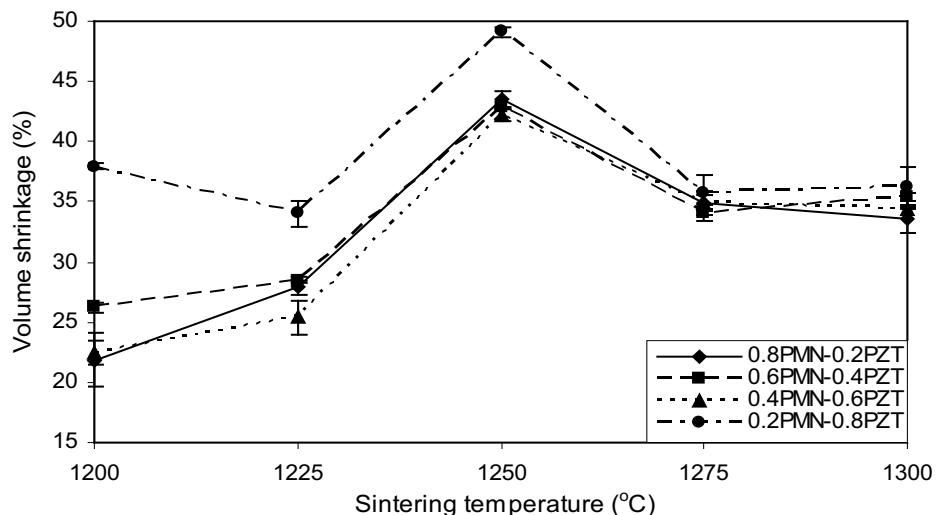
อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}$ ช)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ร้อยละการหด ตัวเชิงปริมาตร	ร้อยละของน้ำหนัก ที่สูญเสียไป
1200	$6.37 \pm 0.05$	$22.5 \pm 0.98$	$2.99 \pm 0.28$
1225	$6.75 \pm 0.04$	$25.4 \pm 1.44$	$2.08 \pm 0.43$
1250	$7.10 \pm 0.10$	$42.3 \pm 0.61$	$1.88 \pm 0.74$
1275	$7.60 \pm 0.08$	$34.9 \pm 0.97$	$2.00 \pm 0.22$
1300	$7.50 \pm 0.06$	$34.5 \pm 0.15$	$4.25 \pm 0.29$

ตาราง 4.19 สมบัติทางกายภาพของเซรามิกผสม 0.2PMN-0.8PZT

อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}$ ช)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ร้อยละการหด ตัวเชิงปริมาตร	ร้อยละของน้ำหนัก ที่สูญเสียไป
1200	$7.54 \pm 0.04$	$37.9 \pm 0.25$	$7.39 \pm 0.41$
1225	$7.29 \pm 0.13$	$34.0 \pm 1.10$	$8.10 \pm 0.23$
1250	$7.73 \pm 0.25$	$49.1 \pm 0.36$	$4.77 \pm 3.04$
1275	$7.58 \pm 0.09$	$35.7 \pm 1.46$	$8.06 \pm 0.58$
1300	$7.19 \pm 0.12$	$36.2 \pm 1.58$	$25.9 \pm 5.27$



รูป 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น (density) กับอุณหภูมิชินเตอร์ของเซรามิกผสม PMN-PZT



รูป 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวเชิงปริมาตร (volume shrinkage) กับอุณหภูมิชินเตอร์ของเซรามิกผสม PMN-PZT

#### 4.2.3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของเซรามิก PMN-PZT

จากการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคของเซรามิกผสม PMN-PZT ทั้งที่ผิวหน้าและรายหักโดยใช้กล้องอิเล็กทรอนแบบส่องกล้อง (SEM) แสดงดังรูป 4.36 - 4.43 พบว่า ลักษณะของเกรนเซรามิกผสม PMN-PZT ที่ทำการเผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิ  $1200 - 1300^{\circ}\text{C}$  มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ คือ ผสมกันระหว่างเกรนเล็กและใหญ่ ซึ่งมาจาก การผสม PMN และเกรน PZT เข้าด้วยกัน โดยที่เกรนของ PMN นั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าเกรนของ PZT (จากการทดลองตอนที่ 4.2.1.3 และ 4.2.2.3) ซึ่ง ในที่นี้สามารถเปรียบเทียบเกรนของเซรามิกที่เผาชินเตอร์อุณหภูมิต่างๆได้ดังตาราง 4.20 - 4.25 โดยขนาดเกรนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น ดังแสดงในรูป 4.35 และเมื่อเปรียบเทียบขนาดเกรนของเซรามิกผสมอัตราส่วนต่างๆที่เผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าไม่สามารถหาแนวโน้มขนาดเกรนได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าขนาดเกรนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น ในทุกอัตราส่วนผสม และจะสังเกตเห็นว่าอัตราการโตของเกรนจะเร็วขึ้น ในช่วง  $1275-1300^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถระบุหาสาเหตุการโตที่ผิดปกติได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามอาจเป็นผลกระทบเนื่องจากการเกิดการเติบโตของเกรนแบบผิดปกติ (abnormal grain growth) ที่มาจากการที่ขอบเกรนส่วนใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยจะมีเพียงเกรนที่โตที่สุดที่จะมีขอบเกรนโคงมากที่สุดเท่านั้นที่เกิดการเคลื่อนที่ การโตแบบผิดปกตินี้จะทำให้ขอบเกรนถูกแยกออกจากกันทำให้เกิดรูพรุนตกค้างในเซรามิก

จากรูปถ่าย SEM รูป 4.36 และ 4.37 แสดงผิวและรอยหักของเซรามิกผสม 0.8PMN-0.2PZT ตามลำดับ เมื่อเผาชินเตอร์อุณหภูมิ  $1200-1300^{\circ}\text{C}$  พบว่า เมื่อเผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิต่ำ เกรนที่ผิวหน้าของเซรามิกผสมจะมีขนาดเล็ก และมีปริมาณรูพรุนมาก และเมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น เกรนที่ผิวจะใหญ่ขึ้นและมีปริมาณรูพรุนลดลง ที่อุณหภูมิชินเตอร์  $1300^{\circ}\text{C}$  เกรนที่ผิวจะเกิดการเยิ่มติดกันจนไม่สามารถเห็นเกรนแต่ละเกรนแยกออกจากกันได้ ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิเผาชินเตอร์ที่สูงเกินไป ส่วนรอยหักของเซรามิกผสม จะพบว่าเกรนมีขนาดเฉลี่ยใหญ่ขึ้นและรูพรุนลดลง เมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น ลักษณะของเกรนเป็นรูปหลาเหลี่ยม (equiaxed grains) และมีความสม่ำเสมอทางสันฐานวิทยา การแตกหักของเกรนนั้นพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการแตกแบบผ่านเกรน (intergranular fracture) แต่ที่บางอุณหภูมิสามารถพบรูปการแตกแบบผ่านเกรน (transgranular fracture) ประปนาด้วย ดังแสดงในรูป 4.37(d)

จากรูปถ่าย SEM รูป 4.38 และ 4.39 แสดงผิวและรอยหักของเซรามิกผสม 0.6PMN-0.4PZT ตามลำดับ เมื่อเผาชินเตอร์อุณหภูมิ  $1200-1300^{\circ}\text{C}$  พบว่าเกรนที่ผิวของเซรามิกผสมไม่สามารถเปรียบเทียบขนาดเกรนได้ เนื่องจากเกิดการเยิ่มติดกันของเกรน แต่สามารถบอกได้ว่าเมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น ปริมาณรูพรุนที่ผิวจะมากขึ้น ซึ่งสังเกตเห็นว่าลักษณะรูพรุนที่ผิวเซรามิกผสมชุดนี้จะแตกต่างกันระหว่างที่อุณหภูมิ  $1200-1250^{\circ}\text{C}$  (รูป 4.38(a)-(c)) และที่อุณหภูมิ  $1275-1300^{\circ}\text{C}$  (รูป 4.38

(d)-(e)) ทั้งนี้เนื่องจากรูปนูนของเซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิต่ำกว่ามีลักษณะคล้ายกับเกรนของเซรามิกที่ยังผ่านกันได้ไม่เต็มที่ ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิเพาสูงขึ้น รูปนูนที่ได้มีลักษณะคล้ายกับการสกัดตัวมากเกินไป จึงทำให้เนื้อเกรนเยิ่มมาติดกัน และเกิดรูปนูนลักษณะค่อนข้างกลมขึ้น ซึ่งคาดว่า่น่าจะเกิดจาก การระเหยไปของตะกั่วน้ำเงิน ส่วนเกรนของเซรามิกผลสมบริเวณรอยหักจะมีขนาดเฉลี่ยใหญ่ขึ้นและรูพูนลดลงเมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเกรนของเซรามิกผลสมมีขนาดใหญ่มาก และเล็กมากอยู่ปางกัน ทำให้มีการกระจายตัวของขนาดเกรนเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูง และอีกครั้งที่เซรามิกผลสมชุดนี้แสดงลักษณะการแตกแบบสมระหว่างการแตกแบบระหว่างเกรนและการแตกแบบผ่านเกรน

จากรูปถ่าย SEM รูป 4.40 และ 4.41 แสดงผิวและรอยหักของเซรามิกผลสม 0.4PMN-0.6PZT ตามลำดับ เมื่อเผาชิ้นเตอร์อุณหภูมิ  $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$  พบร้า ลักษณะเกรนที่ผิวและลักษณะโดยทั่วไปไม่แตกต่างจากเซรามิกผลสมชุดก่อนหน้านี้ ส่วนเกรนที่รอยหักจะมีขนาดเฉลี่ยใหญ่ขึ้น เมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้นและมีรูพูนลดลง นอกจากรูปนี้จะสังเกตเห็นการหลุดของเกรน ที่เรียกว่า grain-pullout ได้ชัดเจนขึ้น ส่วนลักษณะรอยหักยังเป็นแบบสมระหว่างการแตกแบบระหว่างเกรนและการแตกแบบผ่านเกรน จะสังเกตเห็นว่าการแตกแบบผ่านเกรนจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิชินเตอร์สูงขึ้น (รูป 4.41(d) และ (e))

จากรูปถ่าย SEM รูป 4.42 และ 4.43 แสดงผิวและรอยหักของเซรามิกผลสม 0.2PMN-0.8PZT ตามลำดับ เมื่อเผาชิ้นเตอร์อุณหภูมิ  $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$  พบร้า เกรนที่ผิวของเซรามิกผลสมมีลักษณะเป็นผลึกคล้ายปริมาณิดอย่างชัดเจน โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกรนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ ลักษณะเกรน เช่นนี้คาดว่าจะเป็นเกรนของไฟโรคลอร์ ตามที่มีผู้จัยไว้หลายท่าน [1, 2, 14, 58, 59] รายงานไว้ว่า โครงสร้างผลึกของไฟโรคลอร์จะมีลักษณะสันฐานเป็นปริมาณิด โดยเกิดจากการสกัดตัวในรูปของ  $\text{PbO}$  ออกไประบาก และสูตรของไฟโรคลอร์ที่นำจะเป็นไปได้ เช่น  $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Pb}_3\text{Nb}_4\text{O}_{13}$  และ  $\text{Pb}_{1.83}\text{Mg}_{0.29}\text{Nb}_{1.71}\text{O}_{6.39}$  [18, 7, 14] เมื่อทำการเปรียบเทียบผลจากภาพถ่าย SEM นี้กับการตรวจสอบโครงสร้างผลึกและองค์ประกอบทางเคมีของเซรามิกผลสมที่นำเสนอไว้ในหัวข้อ 4.2.3.3 พบร้าเซรามิกผลสมอัตราส่วน 0.2PMN-0.8PZT จะมีเฟสแปลกปลอมที่เป็นไฟโรคลอร์สูตร  $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$  ประปนกับโครงสร้างผลึกเพอร์อฟไกท์ PMN และ PZT เป็นอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามทางทฤษฎีได้กล่าวไว้ว่าโครงสร้างผลึกไฟโรคลอร์นี้มักจะพบมากในการเตรียมสาร PMN และไม่พบในสาร PZT แต่ในเซรามิกผลสมชุดนี้จะมีอัตราส่วนของ PZT มากกว่า PMN ดังนั้นเฟสไฟโรคลอร์นี้จะเกิดได้น้อยลง ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองที่ได้เป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากเวลาในการทดลองมีจำกัดจึงไม่สามารถทำซ้ำเพื่อพิสูจน์ความขัดแย้งนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามจะทำการทดลองในส่วนนี้ซ้ำอีกครั้ง ในส่วนภาพถ่าย

SEM ที่เป็นส่วนของรอยหักของเซรามิกผลสมชุดนี้พบว่า ไม่แตกต่างกับเซรามิกชุดอื่นๆ นั้นก็ทั้งลักษณะ เกรน การแตก เป็นต้น

ตาราง 4.20 ขนาดเกรนเฉลี่ยของเซรามิก PMN ที่เผาชิ้นเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิชิ้นเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1200	$2.67 \pm 0.21$
1225	$4.01 \pm 0.01$
1250	$5.44 \pm 0.56$
1275	$3.62 \pm 0.02$
1300	$3.59 \pm 0.20$

ตาราง 4.21 ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของเซรามิกสม 0.8PMN-0.2PZT ที่เผาชิ้นเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิชิ้นเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1200	$0.84 \pm 0.06$
1225	$0.99 \pm 0.06$
1250	$1.26 \pm 0.07$
1275	$1.47 \pm 0.17$
1300	$3.85 \pm 0.02$

ตาราง 4.22 ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของเซรามิกสม 0.6PMN-0.4PZT ที่เผาชิ้นเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิชิ้นเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1200	$0.83 \pm 0.07$
1225	$0.83 \pm 0.02$
1250	$1.02 \pm 0.03$
1275	$1.08 \pm 0.03$
1300	$2.46 \pm 0.21$

ตาราง 4.23 ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของเซรามิกผลสม 0.4PMN-0.6PZT ที่เผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

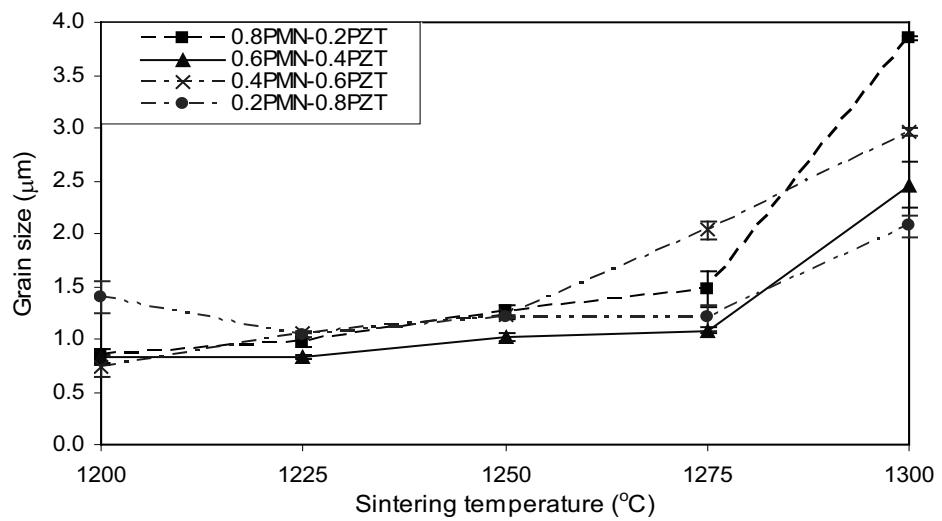
อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1200	$0.74 \pm 0.10$
1225	$1.06 \pm 0.01$
1250	$1.22 \pm 0.01$
1275	$2.03 \pm 0.09$
1300	$2.96 \pm 0.04$

ตาราง 4.24 ขนาดเกรนโดยเฉลี่ยของเซรามิกผลสม 0.2PMN-0.8PZT ที่เผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

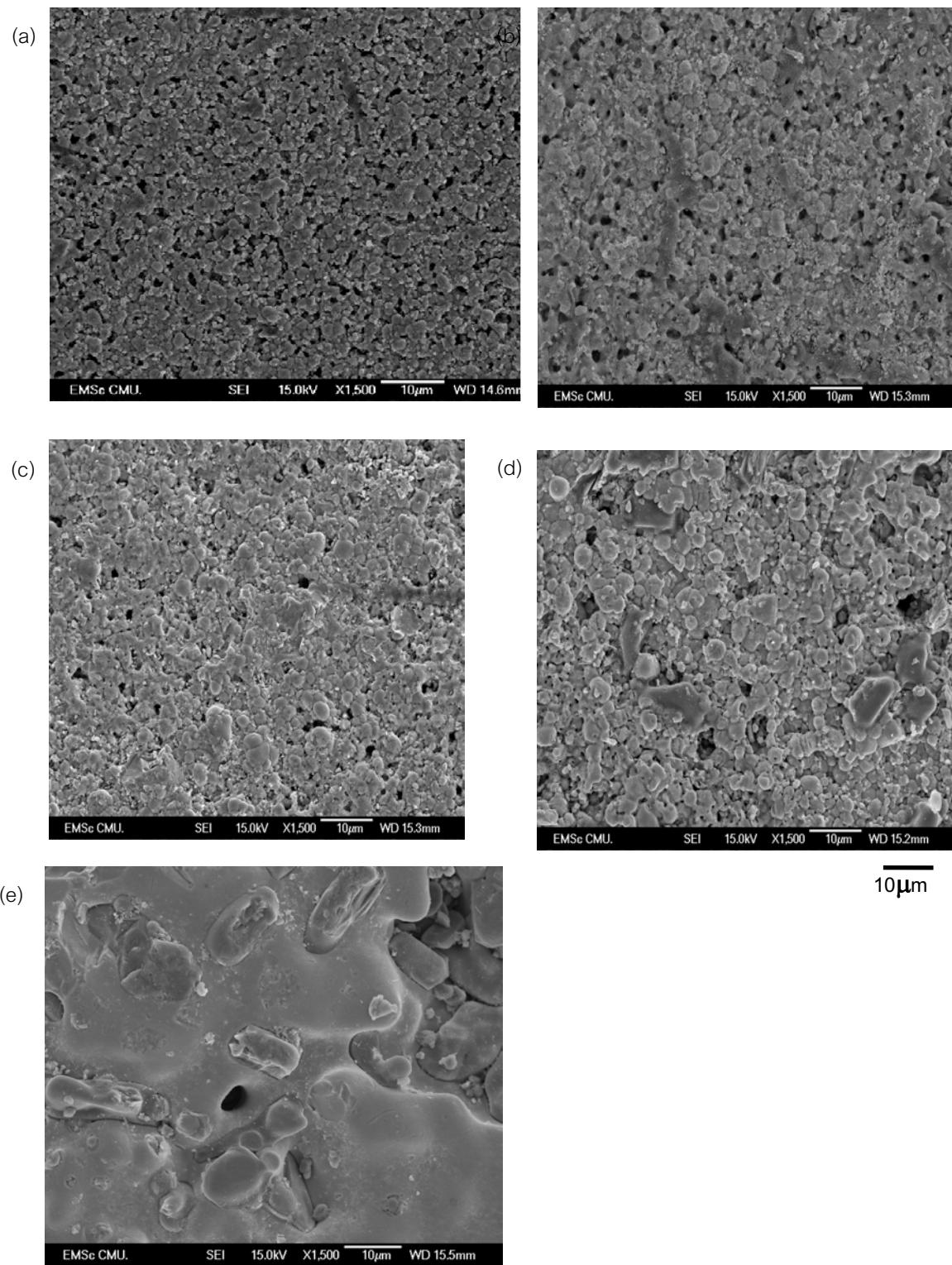
อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1200	$1.40 \pm 0.15$
1225	$1.03 \pm 0.02$
1250	$1.20 \pm 0.00$
1275	$1.20 \pm 0.12$
1300	$2.07 \pm 0.10$

ตาราง 4.25 ขนาดของเกรนเฉลี่ยของเซรามิก PZT ที่เผาชินเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

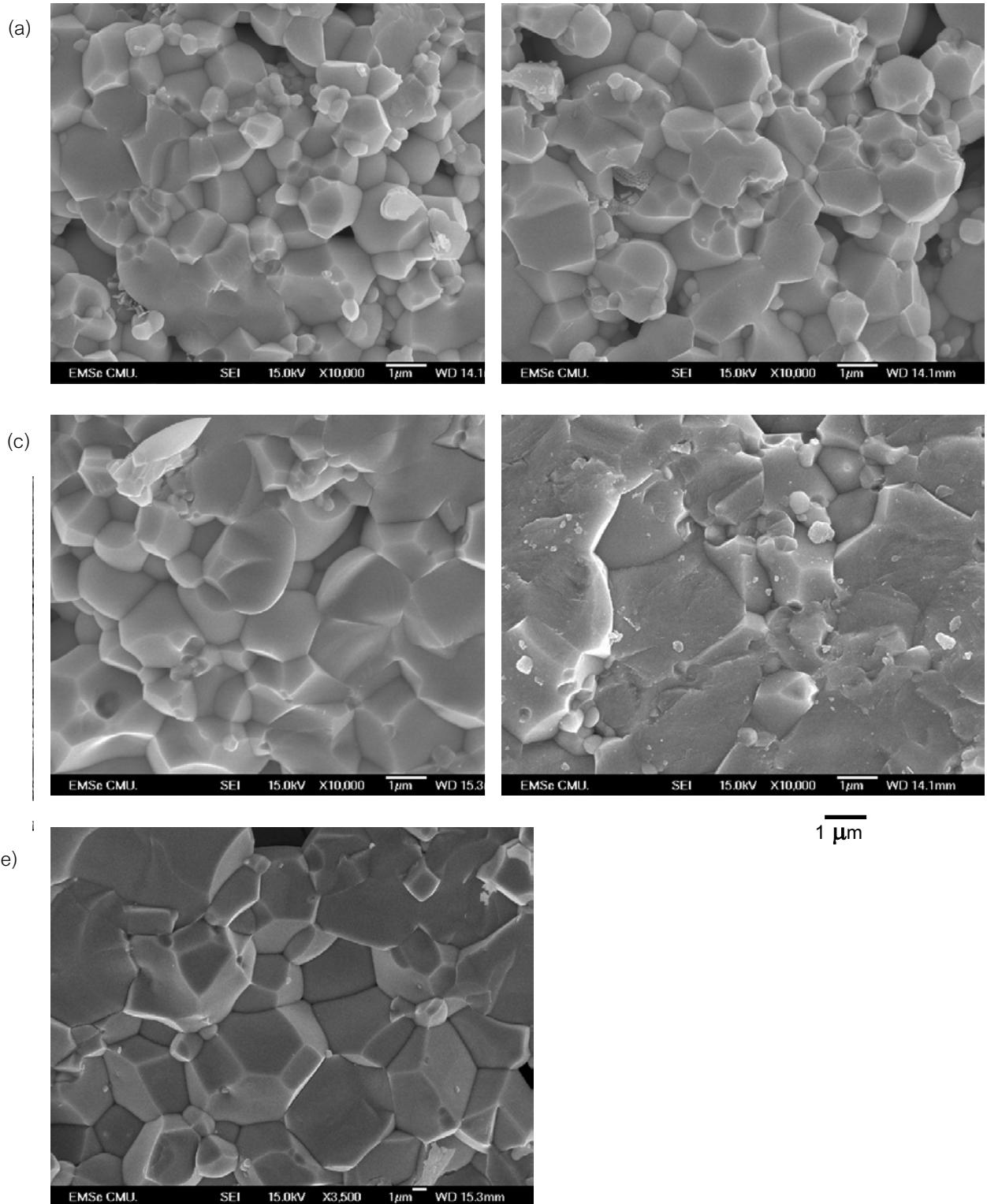
อุณหภูมิชินเตอร์ ( $^{\circ}\text{ซ}$ )	ขนาดเกรนเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1050	$1.14 \pm 0.02$
1100	$1.00 \pm 0.05$
1150	$1.10 \pm 0.04$
1200	$1.36 \pm 0.01$
1250	$1.55 \pm 0.01$
1300	$1.81 \pm 0.13$



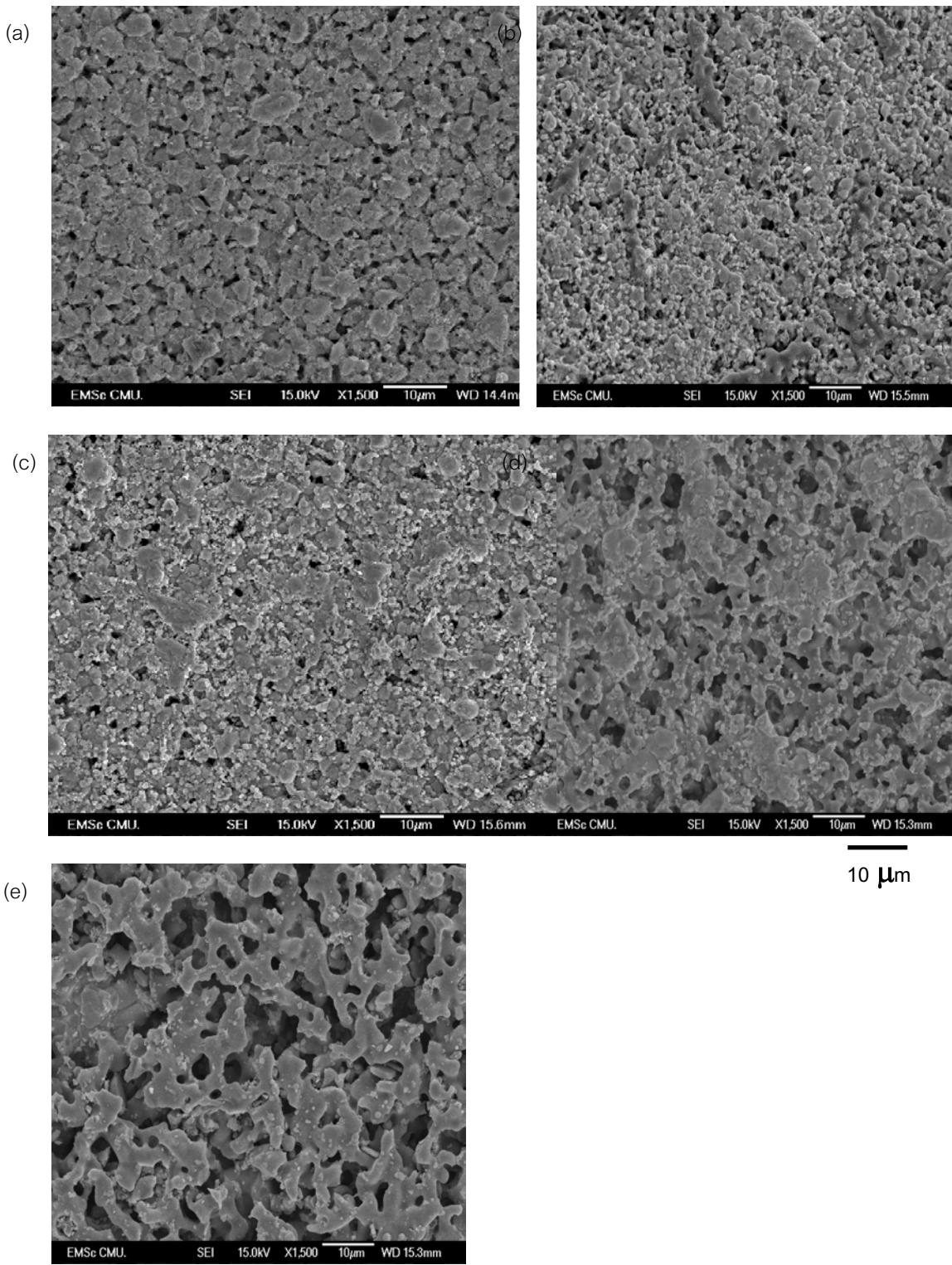
รูป 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกรานแล็ย (grain size) กับอุณหภูมิซินเตอร์ของเซรามิกผสม PMN-PZT



รูป 4.36 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงผิวของเซรามิกผสม 0.8PMN-0.2PZT ที่ผ่านการเผาต่อที่อุณหภูมิ (a) 1200, (b) 1225, (c) 1250, (d) 1275 และ (e) 1300 °C



รูป 4.37 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องการดูเส้นรอยหักของเซรามิกผสม 0.8PMN-0.2PZT ที่ผ่านการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (a) 1200, (b) 1225, (c) 1250, (d) 1275 และ (e) 1300 °C



รูป 4.38 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงผิวของเซรามิกผสม 0.6PMN-0.4PZT ที่ผ่านการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (a) 1200, (b) 1225, (c) 1250, (d) 1275 และ (e) 1300 °C