



บทที่ 2

การทดลองที่ 2

จุดประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรม PTCR ของสารประกอบ donor doped BaTiO_3 ที่อัดเม็ดด้วยแรงอัดต่างกัน

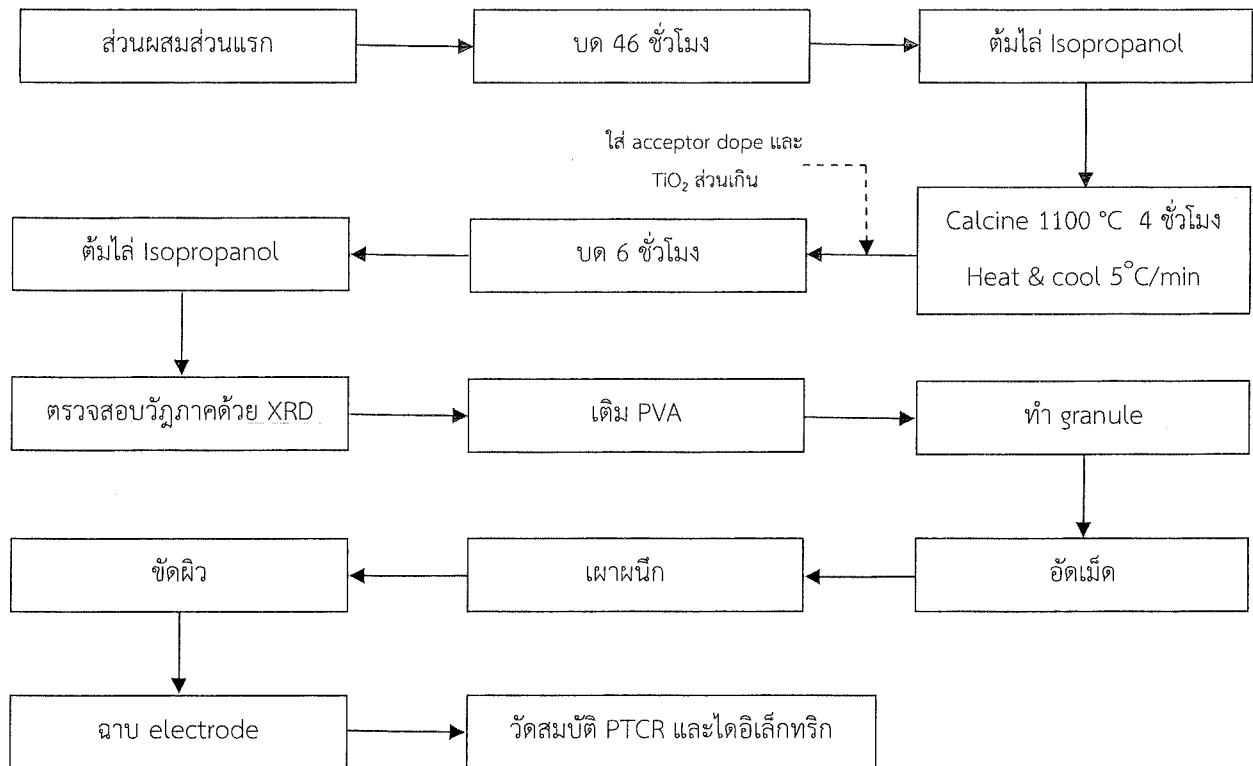
ความเป็นมา

Park และคณะ^{10, 12} และ Kim¹¹ รายงานว่าชั้น PTCR ที่มีความพรุนตัวสูงจะมีสมบัติ PTCR มากกว่าชั้น PTCR ที่มีความพรุนตัวต่ำ การทดลองนี้จึงทดลองอัดเม็ดชั้นตัวอย่างด้วยแรงอัดขนาดต่างๆกัน เพราะการใช้แรงอัดน้อยจะทำให้ได้ชั้นตัวอย่างที่มีความพรุนตัวสูงและการใช้แรงอัดมากจะทำให้ได้ชั้นตัวอย่างที่มีความพรุนตัวต่ำ

จากเอกสารอ้างอิงบางฉบับแนะนำให้เติม Mn-ไอออน เพื่อกระตุ้นให้เพิ่มสมบัติ PTCR นั้นควรเติมไปหลังจากใส่ donor ion เข้าไป dope BaTiO_3 เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเติม MnO_2 เข้าไปภายหลังจากเติม donor ions เข้าไปใน BaTiO_3 แล้ว นอกจากนี้ยังเติม TiO_2 ที่ใส่เข้าไปช่วยในการเผาผนึกในภายหลังด้วย

วิธีการทดลอง

ต่างกับการทดลองที่ 1 เล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 33 กล่าวคือตอนใส่ส่วนผสมไปบดผสมจะแยกใส่สองครั้ง ครั้งแรกจะใส่เฉพาะวัตถุดิบที่เป็นโครงสร้างหลักของ BaTiO_3 และวัตถุดิบที่ใช้เป็น donor dope เข้าไปก่อน ดังนั้นครั้งแรกจึงใส่ BaCO_3 , TiO_2 และ donor doped ion ซึ่งจะเป็น Sb_2O_3 หรือ La_2O_3 หรือ Nb_2O_5 เท่านั้น จากนั้นกับวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปครั้งแรก 46 ชั่วโมง แล้วต้มไล่ isopropanol และเผา calcine เหมือนการทดลองที่ 1 หลังจาก calcine แล้วจึงเติมสารที่ใส่ไปกระตุ้นเพิ่มสมบัติ PTCR คือ MnO_2 และสารที่ใส่ไปช่วยในการเผาผนึกคือ TiO_2 เข้าไป นำของผสมไปบดผสม 6 ชั่วโมง แล้วต้มไล่ isopropanol แล้วเติม PVA และอัดเม็ดเหมือนกับการทดลองที่ 1 แต่เวลาอัดเม็ดในการทดลองนี้ใช้แรงอัด 5000, 6000, 7000, 8000 และ 9000 ปอนด์ กดอัดบนแม่แบบรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. เมื่อคำนวณเป็นแรงดันในการอัดจะได้ 1130, 1357, 1583, 1808 และ 2034 กก/ซม² หรือแปลงเป็นหน่วย MPa ได้เท่ากับ 111, 133, 155, 177 และ 199 MPa ต่อจากนั้นก็นำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 °C และขัดผิวและฉาบโลหะตัวนำเหมือนการทดลองที่ 1 แล้ววัดสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR ด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 1

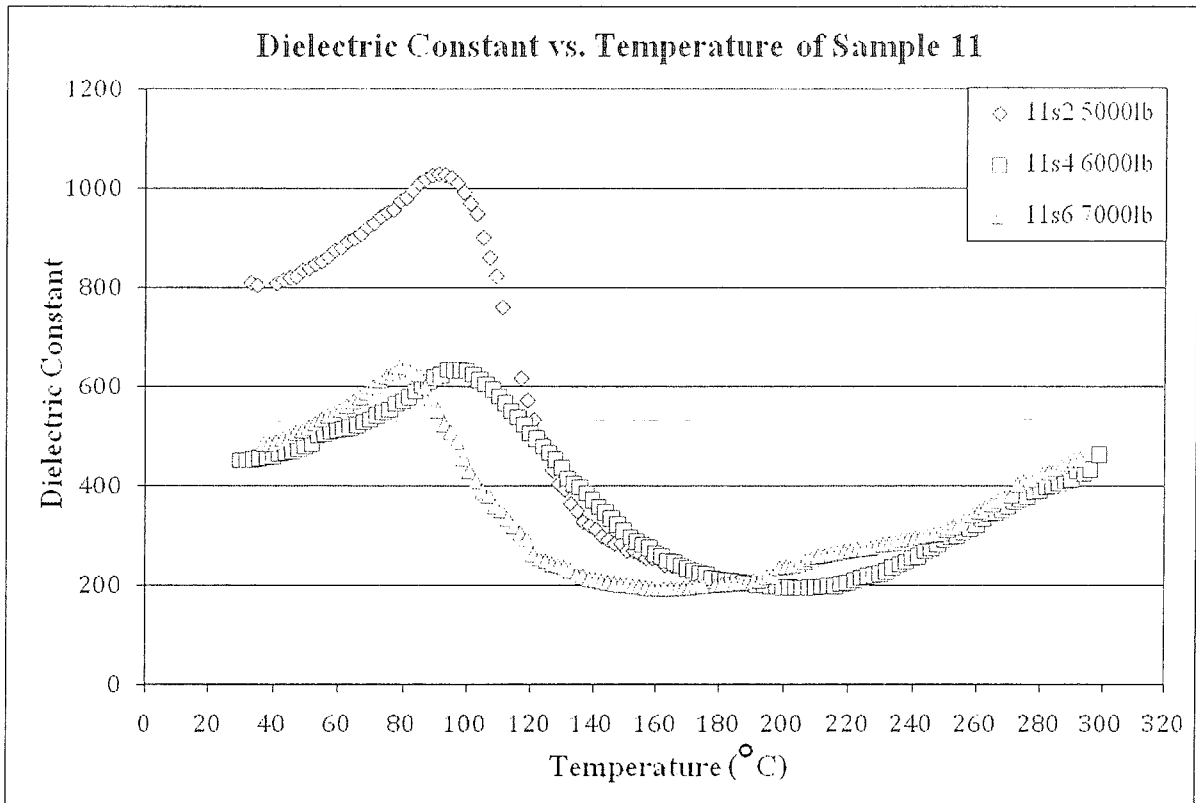


รูปที่ 33 วิธีการทดลองในการทดลองที่ 2

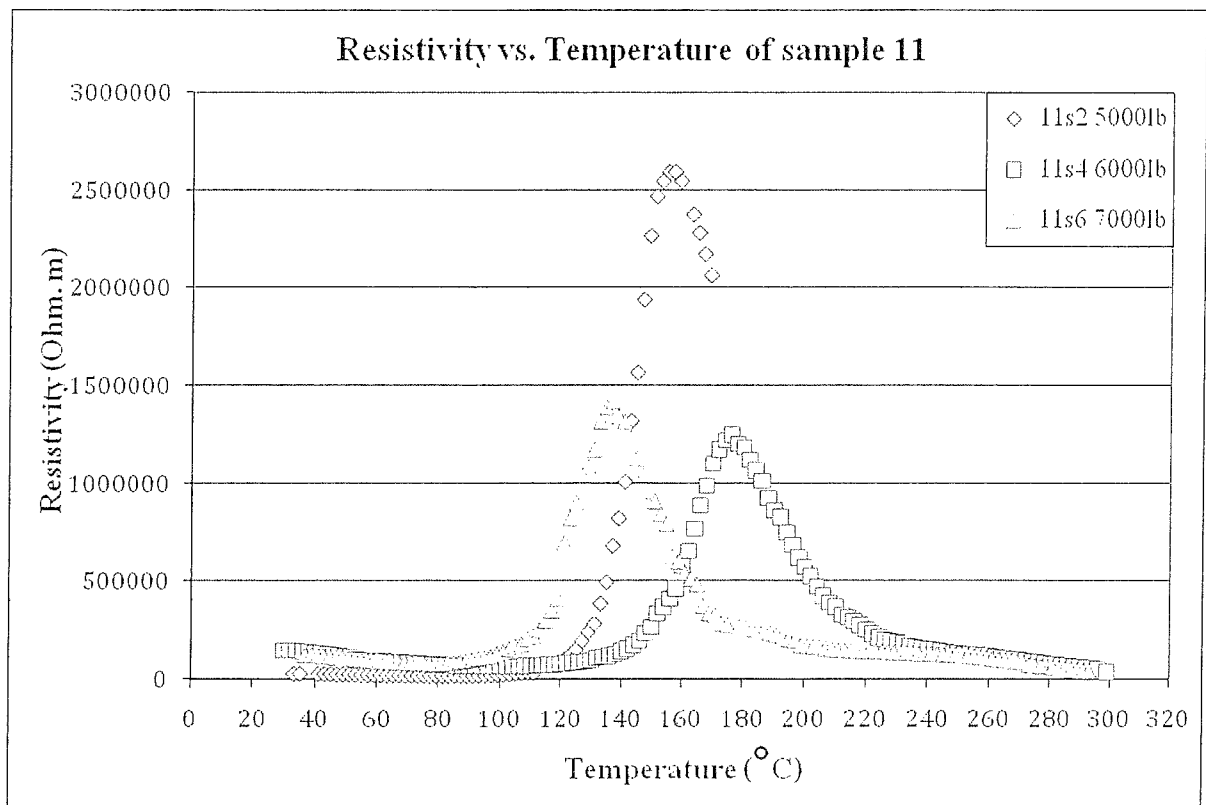
ผลการทดลอง

รูปที่ ค13-ค30 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11-13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงอัดต่างกัน แต่เผาฟีนิกที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 1300 °C จากกราฟจะเห็นได้ว่า PTCR สูตรเดียวกันซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงอัดต่างกันมีกราฟ X-ray diffraction ต่างกันไม่มาก แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงแรงอัดเม็ดไม่ทำให้วิฤภาคที่เกิดขึ้นต่างกันมากนัก

รูปที่ 34 และรูปที่ 35 แสดง K' และ ρ ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ ซึ่งเผาฟีนิกที่ 1300 °C จากรูปที่ 34 จะเห็นว่ากราฟ K' ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองนี้มีลักษณะแตกต่างจากกราฟ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 13) ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงอัด 9000 ปอนด์ เพราะที่แรกๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องขึ้นไป K' มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าเดิมเล็กน้อย กล่าวคือเพิ่มขึ้นไปประมาณ 200 ต่อจากนั้น K' ก็จะมีค่าลดลง เช่น K' ของชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดัน 6000 และ 7000 ปอนด์ มีค่าประมาณ 420 ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป K' ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นช้าๆ จนกระทั่งมีค่าประมาณ 600 ต่อจากนั้น K' จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยอย่างช้าๆ เมื่อเทียบรูปที่ 34 กับรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 11 ของการทดลองที่ 2 จะแสดงพฤติกรรมความเป็นวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกน้อยกว่า PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 เพราะว่ากราฟ K'



รูปที่ 34 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000-7000 ปอนด์ เฝานึกที่ 1300°C

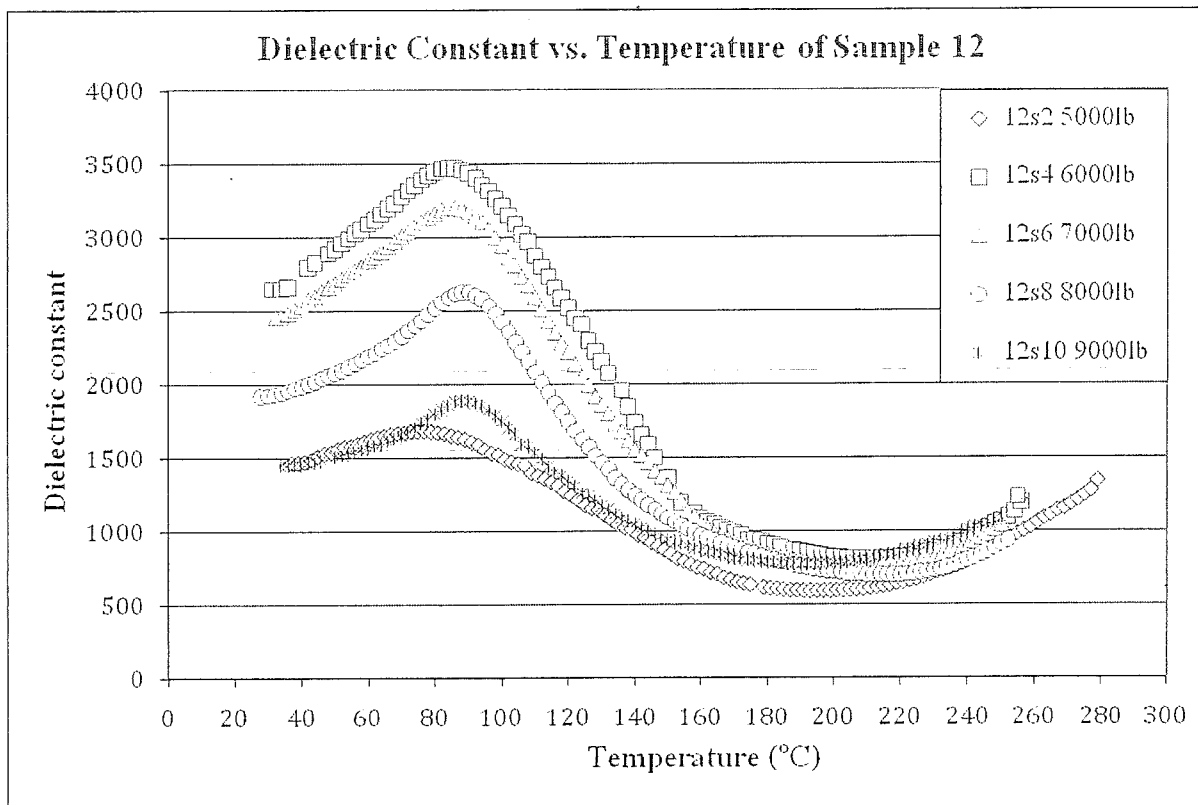


รูปที่ 35 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000-7000ปอนด์ เฝานึกที่ 1300°C

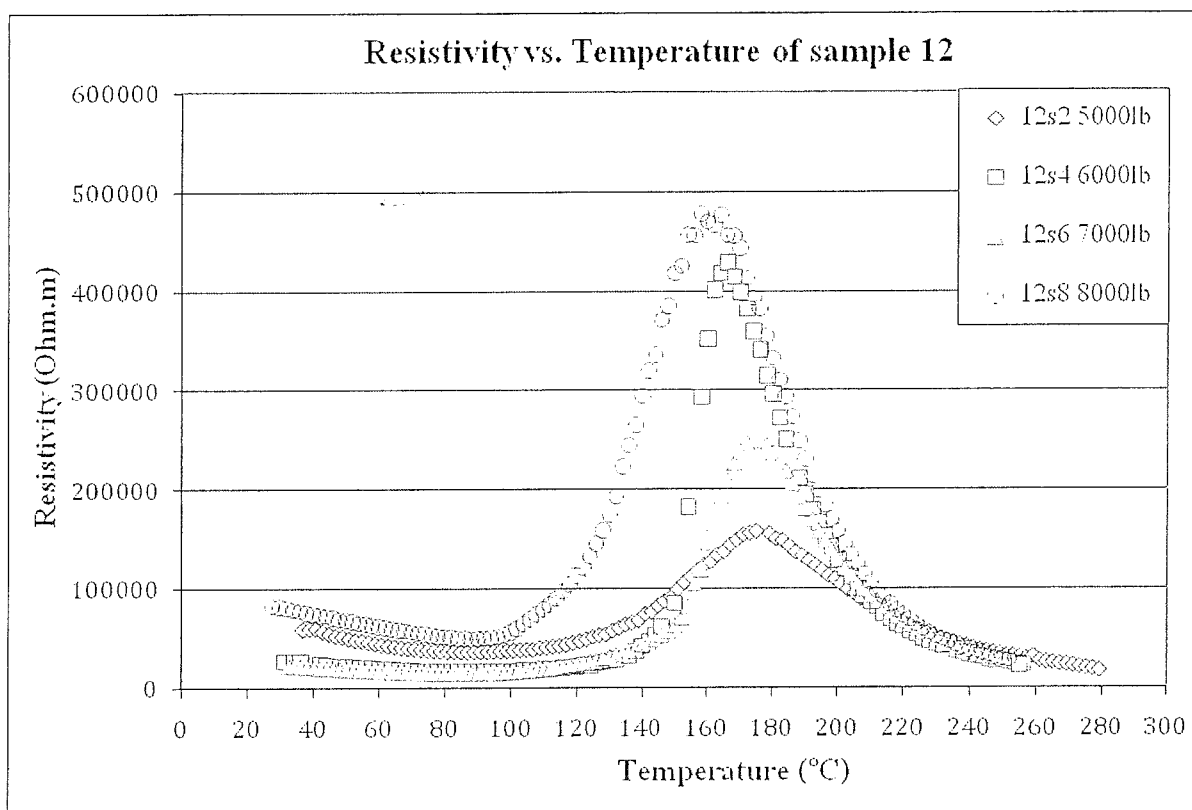
ของ PTCR ในการทดลองที่ 1 มี peak ที่เกิดจากการเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างชัดเจนขณะที่ PTCR ในการทดลองที่ 2 ไม่มี peak

จากรูปที่ 35 จะเห็นว่า PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 2 จะแสดงพฤติกรรม PTCR มากกว่า PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร 11 ที่อัดเม็ดด้วยแรงอัด 5000 ปอนด์ในการทดลองที่ 2 มีอัตราส่วนของ maximum ρ ต่อ minimum ρ ประมาณ 130 เท่า (เพราะ maximum ρ มีค่าประมาณ 2,600,000 Ohm.meter และ minimum ρ มีค่าประมาณ 19,000 Ohm.meter) ขณะที่สูตร 11 ที่อัดด้วยแรงอัด 6000 และ 7000 ปอนด์ มี maximum ρ ต่อ minimum ρ ประมาณ 33 เท่านั้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานของ Park^{10,12} และ Kim¹¹ ซึ่งอธิบายว่าวัสดุ PTCR ที่มีความพรุนตัวสูงกว่าจะแสดงสมบัติ PTCR ได้ดีกว่า ทั้งนี้ผู้เขียนคิดว่าอาจจะเพราะรูพรุนในชิ้นตัวอย่างทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้น้อยลง ดังนั้นความต้านทานของชิ้นตัวอย่างจึงสูงขึ้น ทำให้ชิ้นตัวอย่างที่อัดเม็ดด้วยแรงดันต่ำๆ (5000 ปอนด์) มี PTCR jump (ซึ่งหาได้จาก maximum ρ สูงสุดหรือด้วย minimum ρ) มาก อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 34 และ 35 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ขึ้นตัวอย่างมี K' สูงสุดเป็นอุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิที่ ρ ของชิ้นตัวอย่างเริ่มค่อยๆเพิ่มขึ้นไปอย่างรวดเร็ว ทำนองเดียวกันกับที่พบในผลการทดลองของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 13 ซึ่งเผาที่ 1400 และ 1450 °C ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Heywang^{1-2, 9} Daniels^{5,7} และ Jonker^{3,6,9} ที่อธิบายว่าวัสดุไดอิเล็กทริกจะเริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR เมื่อวัสดุได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิคูรี แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่า ρ ของชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิคูรีจะมีผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง K' กับของชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิคูรี

รูปที่ 36 และ 37 แสดงค่า K' และ ρ ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000, 7000, 8000 และ 9000 ปอนด์ ซึ่งเผาที่ 1300 °C จากรูปที่ 36 จะเห็นว่ากราฟระหว่าง K' กับอุณหภูมิของตัวอย่างสูตร 12 มีลักษณะเหมือนกับกราฟของตัวอย่างสูตร 11 คือมีการเปลี่ยนแปลง K' ไม่มากและการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างค่อยเป็นค่อยไปไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะกราฟไม่มี peak แหลมสูงมาก กราฟรูปที่ 36 มีลักษณะเหมือนกับกราฟ K' ของตัวอย่างสูตรเดียวกันที่อัดด้วยความดัน 9000 ปอนด์ และเผาที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 1300 °C ในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 28) แสดงว่าการลดแรงดันที่ใช้ในการอัดเม็ดและการแยกเติม MnO₂ และ TiO₂ ภายหลังในการทดลองนี้มีผลต่อสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ไม่มาก จากรูปที่ 37 จะเห็นว่า PTCR สูตร 12 ที่อัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000, 7000 และ 8000 ปอนด์ ในการทดลองนี้มีพฤติกรรมความเป็น PTCR เพราะ ρ มีค่าเพิ่มขึ้นหลายเท่าในช่วงอุณหภูมิแคบๆ นักวิจัยเรียกอัตราส่วนระหว่าง $\rho_{\max}$ กับ $\rho_{\min}$ ว่า PTCR jump จากรูปที่ 37 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 12 ที่อัดด้วยแรงดันต่างๆ มี PTCR jump ในช่วง 10-26 โดยที่ชิ้นที่อัดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์มี PTCR jump สูงสุด และชิ้นที่อัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์มี PTCR jump ต่ำสุด สังเกตว่าชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงอัดต่ำสุด (5000 ปอนด์) ไม่ได้แสดงพฤติกรรม PTCR มากที่สุดเหมือนกับ PTCR สูตร 11 ของการทดลองนี้ แสดงว่า นอกจากความพรุนตัวแล้วน่าจะมีปัจจัยอื่นอีกที่ควบคุมพฤติกรรม PTCR ของชิ้นตัวอย่าง



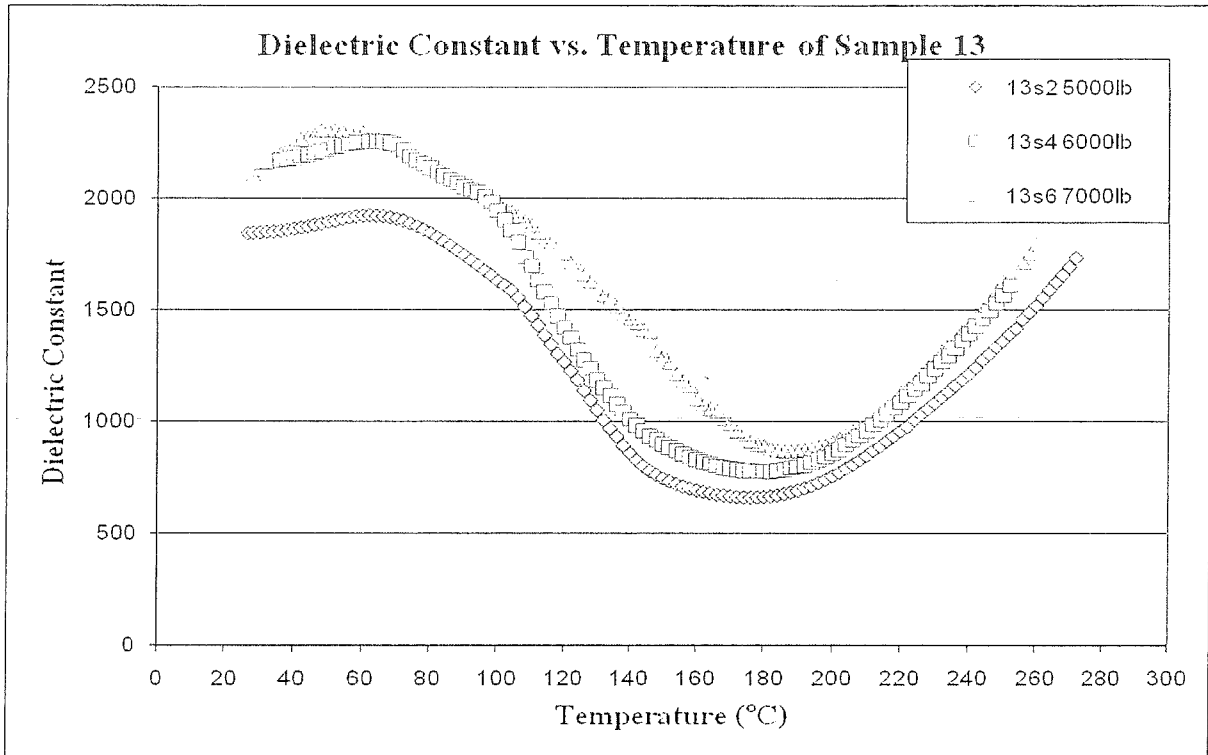
รูปที่ 36 ค่าคงที่ได้โออิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000-9000ปอนด์ เฝานึกที่ 1300°C



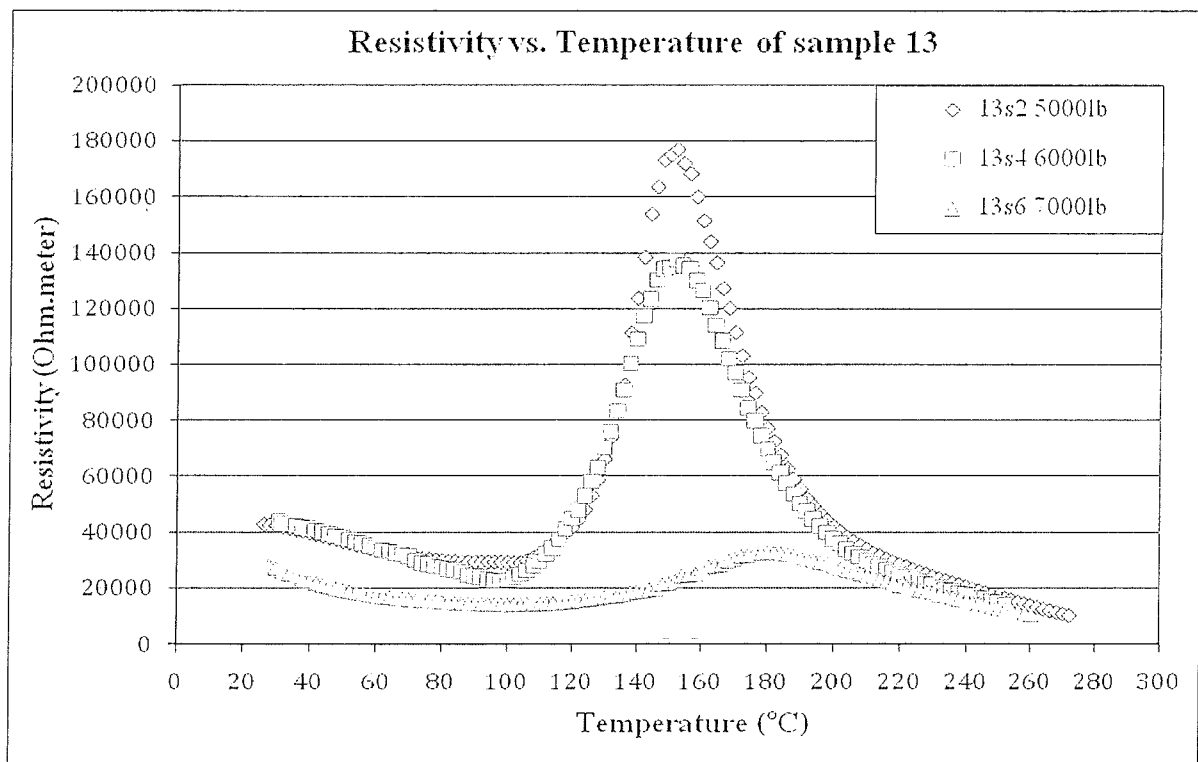
รูปที่ 37 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000-7000ปอนด์ เฝานึกที่ 1300°C

อนึ่งไม่สามารถวัด ρ ของชิ้นตัวอย่างที่อัดเม็ดด้วยแรงดัน 9000 ปอนด์ ในการทดลองนี้ได้ จึงไม่มีกราฟของ ρ ต่ออุณหภูมิของ PTCR สูตร 12 ที่อัดด้วยแรงดัน 9000 ปอนด์ ในการทดลองนี้ แต่คาดว่ากราฟที่ได้น่าจะเหมือนกับเส้นกราฟ 12/5 1300 °C ใน รูปที่ 29 เพราะชิ้นตัวอย่างทั้งสองเตรียมขึ้นมาด้วยการอัดและเผาในสภาวะเดียวกัน

รูปที่ 38 และ 39 แสดง K' และ ρ ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ แล้วเผาผนึกที่ 1300°C จากรูปที่ 38 จะเห็นว่ากราฟ K' กับอุณหภูมิของ PTCR สูตร 13 ที่อัดด้วยแรงดัน 5000, 6000, 7000 ปอนด์ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อได้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็น 60 °C ต่อจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้ามากๆ จึงทำให้จุดสูงสุดของกราฟแทบมองไม่ออกว่าเป็น peak ของกราฟเลย แสดงว่าอาจจะไม่เกิดการเปลี่ยนสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกใน PTCR สูตร 13 ในช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง นอกจากนี้มีข้อน่าสังเกตอีกอย่างจากรูปที่ 38 คือ K' ของ PTCR สูตร 13 ที่อัดด้วยแรงดันต่างกันมีค่าแตกต่างกันไม่มาก จากรูปที่ 39 จะเห็นว่า PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000 และ 6000 ปอนด์ แสดงสมบัติ PTCR ที่ดีเพราะว่า ρ ของตัวอย่างทั้งสองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบ $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ จะเห็นว่า PTCR ที่อัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์ แสดงสมบัติ PTCR มากที่สุด เพราะมี $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ มากที่สุด คือ 18 เท่า รองลงมาเป็นชิ้นตัวอย่างที่อัดเม็ดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์ เพราะมี $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ หรือ PTCR jump ประมาณ 9 เท่า ส่วนชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดัน 7000 ปอนด์ มี PTCR jump เพียง 3 เท่า ปกติแล้วชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำเมื่อนำไปเผาผนึกจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าชิ้นงานที่อัดด้วยแรงดันสูง ฉะนั้นชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำจึงมีความพรุนตัวสูง และเมื่อนำไปทำเป็น PTCR จึงได้ PTCR ที่มีความพรุนตัวมากจึงแสดงสมบัติ PTCR ได้มากกว่า PTCR ที่อัดด้วยแรงดันมากๆ อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิที่ ρ ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองนี้เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิที่ K' มีค่าสูงสุด นี่อาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ชัดว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเสมอตามทฤษฎีของ Heywang, Jonker และ Daniels เสมอไป รูปที่ 38 และ 39 แสดง K' และ ρ ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ แล้วเผาผนึกที่ 1300°C จากรูปที่ 38 จะเห็นว่ากราฟ K' กับอุณหภูมิของ PTCR สูตร 13 ที่อัดด้วยแรงดัน 5000, 6000, 7000 ปอนด์ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อได้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องเป็น 60 °C ต่อจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้ามากๆ จึงทำให้จุดสูงสุดของกราฟแทบมองไม่ออกว่าเป็น peak ของกราฟเลย แสดงว่าอาจจะไม่เกิดการเปลี่ยนสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกใน PTCR สูตร 13 ในช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง นอกจากนี้มีข้อน่าสังเกตอีกอย่างจากรูปที่ 38 คือ K' ของ PTCR สูตร 13 ที่อัดด้วยแรงดันต่างกันมีค่าแตกต่างกันไม่มาก จากรูปที่ 39 จะเห็นว่า PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000 และ 6000 ปอนด์ แสดงสมบัติ PTCR ที่ดีเพราะว่า ρ ของตัวอย่างทั้งสองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบ $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ จะเห็นว่า PTCR ที่อัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์ แสดงสมบัติ PTCR มากที่สุด เพราะมี $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ มากที่สุด คือ 18 เท่า รองลงมาเป็นชิ้นตัวอย่างที่อัดเม็ดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์ เพราะมี $\rho_{\max}$ ต่อ $\rho_{\min}$ หรือ PTCR jump



รูปที่ 38 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCT สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างกัน



รูปที่ 39 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCT สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างกัน

ประมาณ 9 เท่า ส่วนชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดัน 7000 ปอนด์ มี PTCR jump เพียง 3 เท่า ปกติแล้วชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำเมื่อนำไปเผาผนึกจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าชิ้นงานที่อัดด้วยแรงดันสูง ฉะนั้นชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำจึงมีความพรุนตัวสูง และเมื่อนำไปทำเป็น PTCR จึงได้ PTCR ที่มีความพรุนตัวมาก จึงแสดงสมบัติ PTCR ได้มากกว่า PTCR ที่อัดด้วยแรงดันมากๆ อนึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิที่ ρ ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองนี้เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิที่ K' มีค่าสูงสุด นี่อาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ชัดว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเสมอตามทฤษฎีของ Heywang, Jonker และ Daniels เสมอไป

สรุปผลการทดลองที่ 2 จะเห็นว่า PTCR สูตร 11, 12 และ 13 ที่ผสมโดยแยกใส่ MnO_2 กับ TiO_2 ภายหลัง และอัดด้วยแรงดันต่ำลง แล้วเผาผนึกที่ 1300°C ของการทดลองนี้ส่วนใหญ่มี K' ต่ำกว่า K' ของ PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ากราฟ K' ต่ออุณหภูมิของ PTCR ในการทดลองนี้ไม่มี peak ที่แสดงให้เห็นอุณหภูมิคู้อย่างชัดเจนเท่ากับ PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 แสดงว่า PTCR ของการทดลองนี้มีสมบัติไดอิเล็กทริกด้อยกว่า PTCR ในการทดลองที่ 1 จากกราฟ ρ ต่ออุณหภูมิของ PTCR ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า PTCR ในการทดลองนี้ส่วนใหญ่แสดงสมบัติ PTCR ได้มากกว่า PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำๆ (5000 และ 6000 ปอนด์) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองของ Park^{10,12} และ Kim¹¹ เป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิที่ PTCR สูตร 11 และ 12 เริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR (คือ ρ เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว) ตรงกันหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิคูรีของ PTCR ถึงแม้ว่ากราฟของ K' ที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้เป็นกราฟที่มี peak แหลมหเด่นชัดก็ตาม แสดงว่าที่อุณหภูมิดังกล่าว PTCR สูตร 11 และ 12 อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริก อย่างไรก็ตามสำหรับ PTCR สูตร 13 อุณหภูมิที่วัสดุเริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR มีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิที่วัสดุมี K' สูงสุดมากนอกจากนี้กราฟ K' ต่ออุณหภูมิของ PTCR ดังกล่าวก็แทบไม่มี peak ให้เห็นเลย ผลการทดลองดังกล่าวอาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ให้เห็นได้ว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกตามทฤษฎีของ Heywang^{1,2} และ Jonker^{3,6}