

รหัสโครงการ SUT7-708-49-18-51



## รายงานการวิจัย

# ตัวให้ความร้อนเซรามิกสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน Ceramic Heating Elements for Household Applicants

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



## รายงานการวิจัย

# ตัวให้ความร้อนเซรามิกสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน Ceramic Heating Elements for Household Applicants

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. สุธรรม ศรีหล่มสัก

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2549

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

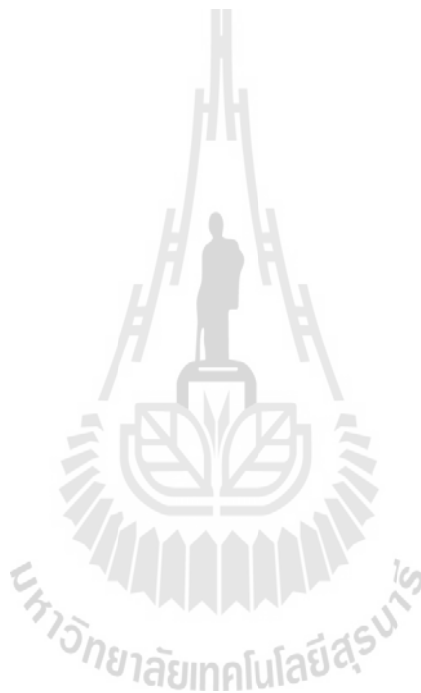
กันยายน 2554

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2549

ขอขอบคุณนักศึกษาศาสาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยทำการทดลองและเก็บข้อมูล ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และผู้ช่วยสอนอาคารเครื่องมือ 6/1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ที่สำคัญที่สุดคือขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้โอกาสและสนับสนุนการทำกรวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณภรรยาและบุตรของผผอาจารย์ ดร. นงลักษณ์ มีทอง และ ดช. ธรรมลักษณ์ ศรีหล่มสัก ที่เป็นกำลังใจให้ทำรายงานฉบับนี้สำเร็จได้



สุธรรม ศรีหล่มสัก  
กันยายน 2554

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษากระบวนการผลิตแท่งทำความร้อนเซรามิกที่มีสมบัติ PTCR ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองผสม PTCR เซรามิกที่มีสูตรเคมีแตกต่างกันขึ้นมา 13 สูตร และทดลอง vary พารามิเตอร์ต่างๆ แรงอัด ลำดับการเติมวัตถุดิบ และอุณหภูมิในการเผาพูนึกในการผลิตแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกต่างๆ กัน หลังจากนั้นได้ทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางไดอิเล็กทริกของแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกที่ผลิตในงานวิจัยนี้เทียบกับของแท่งทำความร้อน PTCR ที่ใช้ในทางการค้า ผลปรากฏว่าอุณหภูมิที่แท่งทำความร้อนเซรามิกซึ่งผลิตขึ้นในงานนี้เริ่มแสดงสมบัติ PTCR มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่แท่งทำความร้อน PTCR ที่ใช้ในทางการค้าแสดงสมบัติ PTCR นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกในงานนี้ก็มีค่าสูงกว่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกที่ใช้ในทางการค้ามาก ดังนั้นหากต้องการนำแท่งทำความร้อน PTCR ที่ผลิตขึ้นไปทดแทนแท่งทำความร้อน PTCR ที่ใช้ในทางการค้าจะต้องปรับปรุงส่วนผสมหรือพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตเสียก่อน

### Abstract

The objective of this work is to study a process to produce ceramic heating elements having PTCR properties. Thirteen different chemical compositions of PTCR ceramics were formulated and several processing parameters such as compaction pressures, sequence of adding raw materials, and sintering temperatures were varied in order to make the different PTCR ceramic heating elements in this work. After manufacturing these elements, their electrical and dielectric properties were determined and compared with commercially available PTCR heating elements. Results showed that the temperatures at which PTCR ceramic heating elements produced in this work start to exhibit their PTCR properties were lower than those of commercial PTCR heating elements. In addition, the electrical resistivities of PTCR ceramic heating elements of this work were much higher than those of commercially available PTCR ceramic heating elements. Thus, it is necessary to improve their composition and/or processing parameters if the PTCR heating elements of the type fabricated in this work are to be used as substitutes for currently available commercial PTCR heating elements.

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญเรื่อง.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญภาพ.....	จ
บทนำ.....	1
บทที่ 1 การทดลองที่ 1.....	3
บทที่ 2 การทดลองที่ 2.....	28
บทที่ 3 การทดลองที่ 3.....	36
บทที่ 4 การทดลองที่ 4.....	48
บทที่ 5 การทดลองที่ 5.....	62
บทที่ 6 การทดลองที่ 6.....	73
บทที่ 7 การทดลองที่ 7.....	76
สรุปและข้อเสนอแนะ.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	84
ภาคผนวก ข.....	92
ภาคผนวก ค.....	101
ประวัติผู้วิจัย.....	128

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 11, 12 และ 13.....	6
2 วัสดุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ PTCR สูตรที่ 11, 12 และ 13.....	6
3 ออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C14 และ C6.....	39
4 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 14, 15, 16 และ 17.....	48
5 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 18, 19, 20 และ 21.....	62
6 ส่วนผสมของ PTCR ในการทดลองที่ 6.....	73
7 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 22 และ 23.....	76
8 ความหนาแน่นและความพรุนตัวของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างๆ	77

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 กราฟ profile การเผาผนึกขึ้นตัวอย่าง.....	5
2 แผนภูมิแสดงลำดับวิธีการทดลอง.....	7
3 a) เครื่อง Hewlett Packard precision LCR meter (HP 4284A) ที่ใช้วัด Cp และ R	8
b) ปีกเกอร์บรรจุน้ำมันพืชใส่ sample holder ที่ใช้ในการวัด Cp และ R.....	8
4 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C.....	10
5 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1300 °C.....	11
6 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1300 °C.....	11
7 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1350 °C.....	12
8 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1350 °C.....	12
9 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1400 °C.....	13
10 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1400 °C.....	13
11 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1450 °C.....	14
12 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 เเผาผนึกที่ 1450 °C.....	14
13 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300-1400 °C.....	15
14 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างกัน.....	15
15 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C.....	16
16 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1300 °C.....	17
17 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1300 °C.....	17
18 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1350 °C.....	18
19 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1350 °C.....	18
20 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1400 °C.....	19
21 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1400 °C.....	19
22 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1450 °C.....	20
23 โครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เเผาผนึกที่ 1450 °C.....	20
24 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น dendrite ซึ่ง mark ด้วย 12/6-1 ในรูปที่ 17.....	21
25 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่อยู่รอบๆ dendrite ซึ่ง mark ด้วย 12/6-2 ในรูปที่ 17.....	21
26 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น grain boundary ซึ่ง mark ด้วย 12/8-1 ในรูปที่ 23....	22
27 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น grain ซึ่ง mark ด้วย 12/8-2 ในรูปที่ 23.....	22
28 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C.....	24

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
29 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C.....	25
30 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 เผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C.....	26
31 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C.....	27
32 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C.....	27
33 วิธีการทดลองในการทดลองที่ 2.....	29
34 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000-7000 ปอนด์.....	31
35 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000-7000 ปอนด์.....	31
36 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆ กัน.....	33
37 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆ กัน.....	33
38 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆ กัน.....	35
39 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆ กัน.....	35
40 เครื่องอุ่นน้ำชา.....	36
41 เครื่องทำความอบอุ่นในห้อง.....	36
42 เครื่องรีดผม.....	37
43 ตัวให้ความร้อนในรถยนต์ (web <a href="http://www.vortex.com">www.vortex.com</a> ).....	37
44 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR เชิงการค้าหมายเลข C17.....	40
45 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR เชิงการค้าหมายเลข C15.....	40
46 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15.....	41
47 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15.....	41
48 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15.....	41
49 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17.....	42
50 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17.....	42
51 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C17.....	44
52 สภาพต้านทานไฟฟ้าของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C17.....	44
53 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C12.....	45
54 สภาพความต้านทานของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C12.....	45
55 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C15.....	46
56 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C15.....	46
57 Logarithm ของสภาพความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของ PTCR ทางการค้าหมายเลขที่ C15.....	47



สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
58 แผนภูมิแสดงวิธีการทดลองในการทดลองที่ 4.....	49
59 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	51
60 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	51
61 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	52
62 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	52
63 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 14 เผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	53
64 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 14 ซึ่งเผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	53
65 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 15 เผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	55
66 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 15 ซึ่งเผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	55
67 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 16 เผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	57
68 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 16 ซึ่งเผาผนังที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C.....	57
69 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก PTCR สูตร 17 เผาผนังที่ 1000-1200 °C.....	60
70 สภาพความต้านทานไฟฟ้า PTCR สูตร 17 เผาผนังที่ 1000-1200 °C.....	60
71 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 14-17 เผาผนังที่ 1200 °C.....	61
72 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 14-17 เผาผนังที่ 1000 °C.....	61
73 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	63
74 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	63
75 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	65
76 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนังที่ 1000-1200 °C.....	65
77 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 19 ซึ่งเผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	67
78 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 19 ซึ่งเผาผนังที่ 1000 - 1200 °C.....	67
79 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 20 เผาผนังที่ 900 - 1200 °C.....	69
80 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนังที่ 900- 1200 °C.....	69
81 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนังที่ 900, 1000, 1100 และ 1200 °C.....	70
82 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนังที่ 900 - 1200 °C	72
83 สภาพความต้านทานไฟฟ้า PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนังที่ 900 - 1200 °C.....	72

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
84 ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของ PTCR สูตร 20 ที่ใส่แป้งในปริมาณต่างๆ.....	75
85 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ที่ใส่แป้งปริมาณต่างๆ กัน.....	75
86 ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1200 °C.....	78
87 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1200 °C.....	78
88 ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 – 1200 °C.....	80
89 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 – 1200 °C.....	80



## บทนำ

เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องทำความร้อน เช่น เครื่องรีดผม (hair iron) เครื่องเป่าผม เครื่องม้วนผม กาต้มน้ำไฟฟ้า เครื่องต้มน้ำกาแฟ เครื่องต้มน้ำชา เครื่องอุ่นน้ำชา เตารีด เครื่องอบขนม เครื่องทำลมอุ่นเป่าให้มือแห้ง (hand drier) เครื่องทำความอบอุ่นในห้อง (heater) เครื่องปิ้งขนมปัง (toaster) ฯลฯ เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในชีวิตประจำวัน จากสถิติปี พ.ศ. 2543-2546 ประเทศไทยมีการนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้กว่า 400 ล้านบาท ชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งในเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้คือแท่งทำความร้อน (heating element) ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดเป็นชนิดที่ทำมาจากโลหะผสม เช่น Nichrome (80% Ni, 20% Cr), Kanthal (FeCrAl) หรือ Cupronickel (CuNi) อย่างไรก็ตามแท่งทำความร้อนอีกชนิดหนึ่งทำมาจากเซรามิกพิเศษซึ่งมีสภาพความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิหนึ่ง เรียกสมบัติพิเศษนี้ว่า Positive temperature coefficient resistivity (PTCR) ทำให้แท่งทำความร้อนเซรามิกชนิดนี้มีสภาพความต้านทานไฟฟ้าสูงมาก เมื่อมีอุณหภูมิสูงถึงอุณหภูมินั้น ไฟฟ้าจึงไหลผ่านแท่งทำความร้อนไม่ได้ ดังนั้นแท่งทำความร้อนชนิดนี้จึงสามารถทำหน้าที่เป็น thermostat หรืออุปกรณ์ตัดไฟในตัวได้เมื่อได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมินั้น

ส่วนใหญ่แล้วแท่งทำความร้อนเซรามิกพิเศษดังกล่าวทำมาจากเซรามิกจำพวก doped  $\text{BaTiO}_3 + \text{PbTiO}_3$  ประเทศไทยนำเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องทำความร้อนที่ใช้แท่งทำความร้อนเซรามิกพิเศษที่มีสมบัติ PTCR เช่น เครื่องรีดผม (hair iron) ทั่วๆ ที่ประเทศของเราน่าจะผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้เองได้เพราะเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ได้มีส่วนประกอบอะไรที่ซับซ้อนเลย (ดังแสดงในภาคผนวก ค) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตแท่งทำความร้อนเซรามิกที่มีสมบัติ PTCR เทียบกับแท่งทำความร้อน PTCR ที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องทำความร้อนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในท้องตลาด เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกเองในประเทศ ซึ่งเมื่อทำได้แล้วก็จะ เป็นแนวทางในบริษัทอุตสาหกรรมผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในประเทศสามารถผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องทำความร้อนที่ใช้แท่งทำความร้อน PTCR เซรามิก จะได้ลดการนำเข้าสินค้าเหล่านั้นจากต่างประเทศและหากได้ผลดีถึงที่สุดอาจจะสามารถส่งสินค้าเหล่านั้นไปขายยังต่างประเทศได้อีกด้วย

วิธีดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากศึกษางานวิจัยที่ผ่านๆ เพื่อหาสูตรและส่วนผสมและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับผลิตแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิก จากนั้นก็ทดลองผลิตแท่งทำความร้อนที่มีสูตรผสมต่างๆ กันด้วยกระบวนการผลิตต่างๆ แล้วนำแท่งทำความร้อนที่ผลิตได้ไปเปรียบเทียบกับแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าในท้องตลาด และปรับปรุงส่วนผสมและกรรมวิธีผลิตเพื่อให้ได้แท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกที่มีสมบัติใกล้เคียงกับแท่งทำความร้อน PTCR เซรามิกที่ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าในท้องตลาด เนื้อเรื่องในรายงานแบ่งเป็น 7 บท ตามการทดลอง 7 การ

ทดลองที่ทำวิธีดำเนินการวิจัยของแต่ละการทดลองอยู่ในแต่ละบทอยู่แล้ว ตอนท้ายของแต่ละบทเป็น  
บทวิเคราะห์และสรุปผลของแต่ละบท ต่อจากนั้นบทที่ 8 เป็นบทสรุปรวมของการทดลองทั้ง 7



# บทที่ 1

## การทดลองที่ 1

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรม Positive temperature coefficient resistant (PTCR) ของสารประกอบ Doped BaTiO<sub>3</sub> ที่มีองค์ประกอบเคมีต่าง ๆ กัน

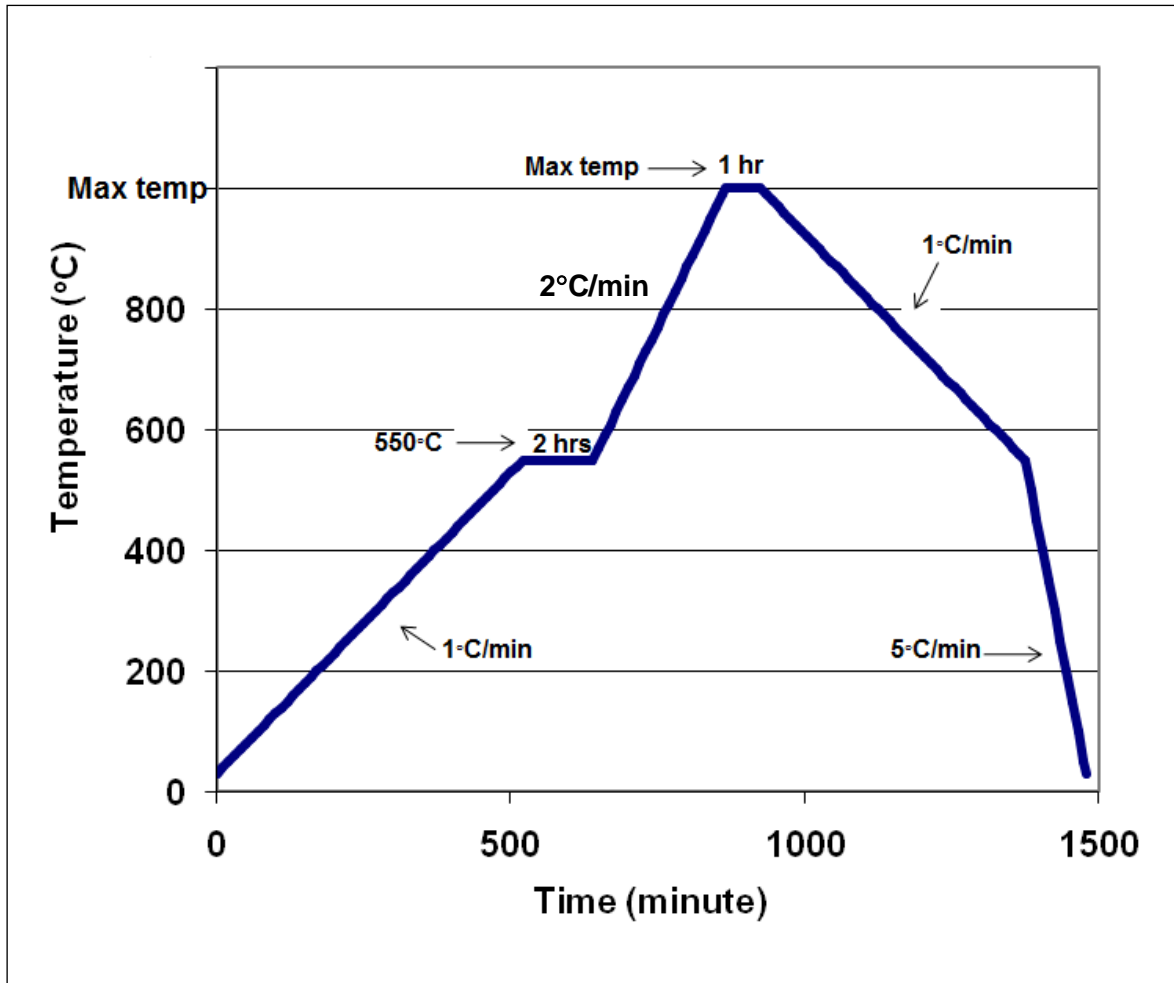
### ความเป็นมา

เป็นที่ทราบกันดีว่าการ dope BaTiO<sub>3</sub> ด้วย donor ion จะได้ BaTiO<sub>3</sub> ที่สามารถแสดงพฤติกรรม PTCR ได้ และการเติม Mn-oxide หรือ oxide ของธาตุ transition อื่นๆ จะทำให้ donor doped BaTiO<sub>3</sub> แสดงสมบัติ PTCR เด่นชัดยิ่งขึ้น<sup>1-9</sup> แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดจนกว่าการ dope ด้วย donor ไอออนต่างชนิดกันมีผลต่อ PTCR อย่างไร งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองผสม donor doped BaTiO<sub>3</sub> ให้เป็น PTCR ที่มีองค์ประกอบเคมีต่าง 3 สูตร (คือสูตรที่ 11, 12 และ 13) แล้วทดสอบสมบัติของชิ้นตัวอย่างที่ทำจากส่วนผสมที่มีองค์ประกอบเคมีต่างกันเปรียบเทียบกัน

### วิธีการทดลอง

- 1) ผสม PTCR สูตร 11, 12 และ 13 ตามส่วนผสมในตารางที่ 1 โดยใช้วัตถุดิบดังนี้ BaCO<sub>3</sub> (ACROS ORGANICS, USA. Lot : A0231587, 99+%), Sr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (LABCHEM, B/No F1A088 APS Ajax Finechem, Australia), TiO<sub>2</sub> (CARLO ERBA REAGENT, CAS. N. 13463-67-7), MnO<sub>2</sub> (APS Ajax Finechem, Australia, B/NO. 796107), La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Merck KGaA, Germany)
- 2) ชั่งส่วนผสมเพื่อสังเคราะห์ PTCR สูตร 11, 12 และ 13 สูตรละ 50 กรัม ตามส่วนผสมในตารางที่ 2 (ดูรายละเอียดการคำนวณส่วนผสมในภาคผนวก ก1) ถึง ก3)
- 3) ใส่ส่วนผสมในหม้อบดที่ทำจากขวดพลาสติก เติม Isopropanol เป็นตัวกลางในการบดผสมและใส่ลูกบดที่ทำจาก stabilized ZrO<sub>2</sub> บดผสมเป็นเวลา 46 ชั่วโมง
- 4) หลังจากบดผสมแล้ว กรองแยกเอาลูกบดออกแล้วต้มไล่ Isopropanol ใน beaker ตั้งบน hot plate อุณหภูมิประมาณ 90 °C

- 5) นำผงที่ได้ไปเผา calcine ให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิ 1100 °C โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 °C/นาที เมื่อถึงอุณหภูมิ 1100 °C แล้วเย็นไฟ 4 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 °C/นาที
- 6) นำผงที่ได้ไปใส่ในขวดพลาสติก เติม Isopropanol เป็นตัวกลางและใช้ stabilized ZrO<sub>2</sub> เป็นลูกบด บดผสม 6 ชั่วโมง
- 7) กรองแยกลูกบดออก แล้วนำของผสมที่ได้ไปต้มไล่ Isopropanol ออกได้ผง PTCR
- 8) เติม polyvinyl alcohol (PVA) ในรูปของสารละลาย PVA ความเข้มข้น 1% ทำหน้าที่เป็น binder ให้มีส่วนผสมเป็น PVA 0.008 กรัมต่อผงเซรามิกที่ได้จากข้อ 7) 1 กรัม ได้ของผสมเป็น paste เหนียวๆ นำไปตากแห้งในตู้ควั่น
- 9) นำของผสมตากแห้งในข้อ 8 ไปบดในโกร่งแล้วร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh ได้ผงเล็กๆ เรียกว่า granule
- 10) นำ granule ของ PTCR ทั้ง 3 สูตรไปอัดให้เป็น green pellet ด้วยเครื่องไฮดรอลิกแบบ uniaxial ในแม่แบบรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. โดยใช้แรงอัด 9000 ปอนด์ ซึ่งแปลงเป็นแรงดันที่ใช้อัดเท่ากับ 2035 กก./ซม.<sup>2</sup> หรือ 199 MPa
- 11) เผาผืนัก green pellets ที่อุณหภูมิ 1300, 1350, 1400 หรือ 1450 °C โดยใช้ profile การเผา ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้ pellets ของ PTCR
- 12) นำ pellets ที่ได้จากข้อ 11 ไปขัดตกแต่งผิวบน-ล่าง และขอบให้เรียบ แบ่งชิ้นตัวอย่างออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปตรวจสอบวัฏภาคที่เป็นองค์ประกอบและตรวจสอบว่ามีวัฏภาคแปลกปลอมหรือไม่ ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ส่วนที่ 2 นำไปส่องดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) สุดท้ายส่วนที่ 3 นำไปทำขั้วไฟฟ้า (electroding) เพื่อจะนำไปทดสอบในขั้นต่อไป
- 13) สำหรับ pellets ที่นำไปทำขั้วไฟฟ้าให้วัดความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของ pellet แล้วนำไปฉาบโลหะตัวนำบนผิว pellets โดยใช้ Ag-Pd paste ของ Dupont #7095 แล้วนำไปเผาที่ 550 °C โดยใช้ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องไป 550 °C เท่ากับ 10 °C/นาที เมื่อถึง 550 °C แล้วเย็นไฟ 15 นาที



รูปที่ 1 กราฟ profile การเผาขึ้นตัวอย่าง

จากนั้นลดอุณหภูมิด้วยอัตราเร็ว 5 °C/นาที จนถึงอุณหภูมิห้องจะได้ขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR

14) นำขึ้นตัวอย่างจากข้อ 13 ไปขัดถูออกไซด์ที่ผิวโลหะ โดยให้ยางลบหมึก ลบผิว electrode ที่ฉาบไว้เบาๆ จะได้ขึ้นตัวอย่าง PTCR แล้วนำขึ้นตัวอย่างไปทดสอบสมบัติไดอิเล็กทริก และสมบัติ PTCR

15) นำขึ้นตัวอย่าง PTCR ที่ได้ไปทดสอบสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR โดยจุ่มขึ้น PTCR ในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันพืช แล้วค่อยๆให้ความร้อนบีกเกอร์ขึ้นไปจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ พร้อมกันนี้วัดค่าความเก็บประจุ (Capacitance; Cp) และ ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance; R) ของขึ้นตัวอย่างโดยวัดขณะที่ให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างขึ้นไป เครื่องมือที่ใช้วัด Cp และ R คือเครื่อง Hewlett Packard precision LCR meter (HP 4284A) โดยวัดด้วยความต่างศักย์ 1 V ความถี่ 1 kHz

รูปที่ 2 แสดงแผนภูมิวิธีการทดลอง ที่กล่าวมาแล้ว รูปที่ 3 แสดงภาพเครื่อง HP4284A ที่ใช้ในการทดลองนี้และชิ้นตัวอย่างใน sample holder ที่จุ่มในน้ำมัน

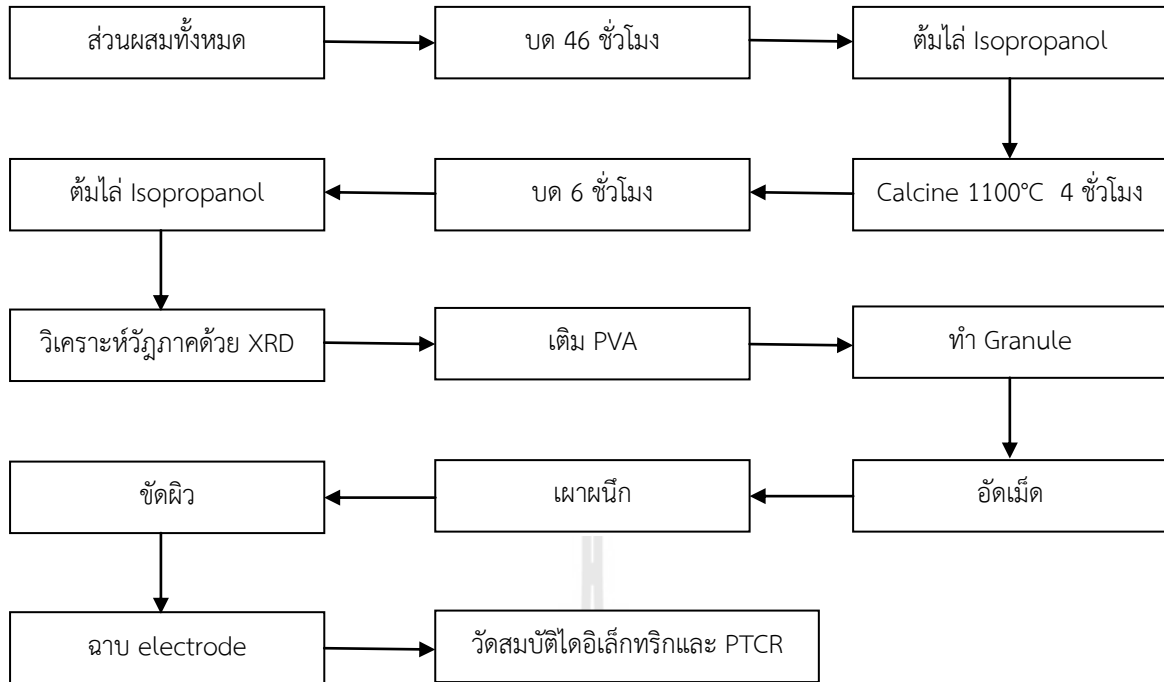
ตารางที่ 1 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 11, 12 และ 13

สูตร	สูตรเคมี
11	$\text{Ba}_{0.9971}\text{Sr}_{0.0029}\text{TiO}_3 + 0.0007\text{MnO}_2 + 0.015\text{TiO}_2$
12	$\text{Ba}_{0.9975}\text{La}_{0.0025}\text{TiO}_3 + 0.0007\text{MnO}_2 + 0.015\text{TiO}_2$
13	$\text{BaTi}_{0.998}\text{Nb}_{0.002}\text{O}_3 + 0.0007\text{MnO}_2 + 0.015\text{TiO}_2$

ตารางที่ 2 วัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์ PTCR สูตรที่ 11, 12 และ 13

สูตร	น้ำหนัก (กรัม)						
	$\text{BaCO}_3$	$\text{Sr}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$ สำหรับ เป็นโครงสร้าง ผลึก	$\text{La}_2\text{O}_3$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	$\text{MnO}_2$	$\text{TiO}_2$ สำหรับ ช่วยเผา ผนึก
11	35.3181	0.0759	14.3498	-	-	0.0109	0.2152
12	35.3542	-	14.3465	0.0732	-	0.0109	0.2152
13	35.4182	-	14.3079	-	0.0477	0.0109	0.2151





รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงลำดับวิธีการทดลอง

นำค่าความเก็บประจุ (capacitance) ที่วัดได้ไปคำนวณหา relative permittivity หรือ dielectric constant ของชิ้นตัวอย่าง ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$Cp = \frac{\epsilon_0 AK'}{d}$$

เมื่อ Cp = ความเก็บประจุ Capacitance (farad)  
 K' = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) หรือสภาพยอมสัมพัทธ์ (relative permittivity) (ไม่มีหน่วย)

$\epsilon_0$  = สภาพยอมสัมพัทธ์ของสุญญากาศ (relative permittivity of vacuum) (farad/m)

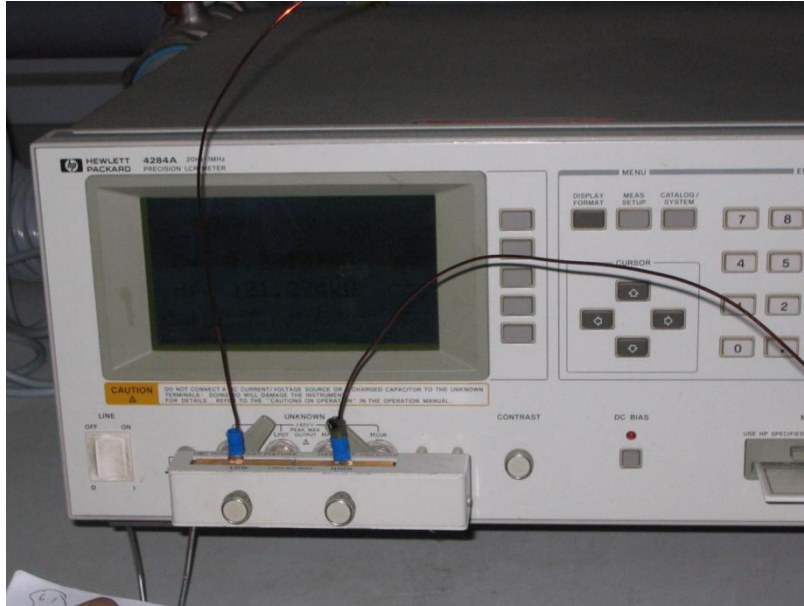
A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่าง ( $m^2$ )

d = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (m)

นำความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้ของทุกอุณหภูมิ (จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่วัด) ของชิ้น PTCR ทั้ง 3 สูตรไปคำนวณหาสภาพความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ตามสูตร

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

- เมื่อ  $\rho$  = สภาพความต้านทานไฟฟ้า (ohm-meter)  
 $R$  = ความต้านทานไฟฟ้า (ohm)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัด (meter<sup>2</sup>)  
 $l$  = ความหนา (meter)



(a)



(b)

- รูปที่ 3 a) เครื่อง Hewlett Packard precision LCR meter (HP 4284A) ที่ใช้วัด  $C_p$  และ  $R$   
 b) ปีกเกอร์บรรจุน้ำมันพืชใส่ sample holder ที่ใช้ในการวัด  $C_p$  และ  $R$

## ผลการทดลอง

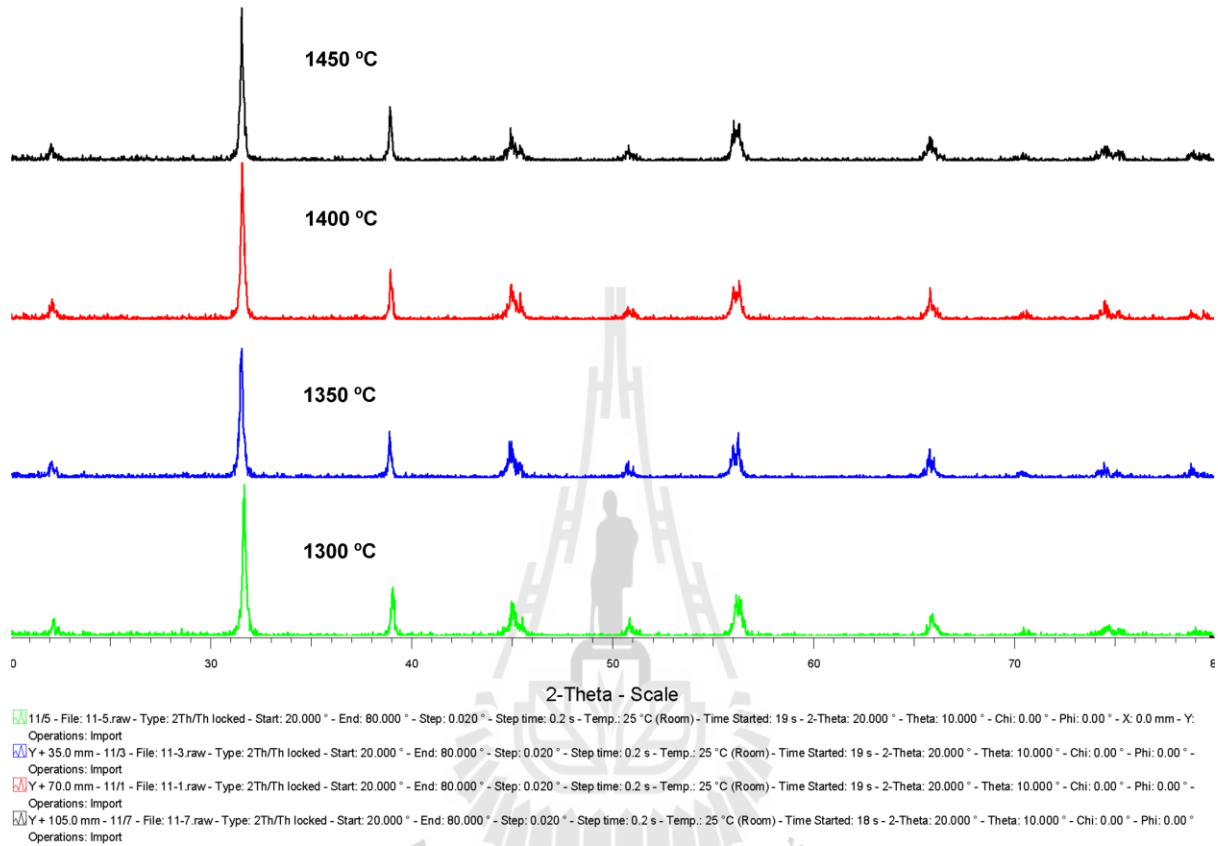
รูปที่ 4 และรูปที่ ค1-ค4 ในภาคผนวก ค แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300-1450 °C จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟทุกรูปมีแต่ peak คล้ายๆ peak ของ BaTiO<sub>3</sub> วัฏภาคเดียว ไม่มี peak ของวัฏภาคแปลกปลอมปนออกมาเลย แสดงว่าสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติของ PTCR สูตร 11 สามารถละลายเข้าไปในโครงสร้างของ BaTiO<sub>3</sub> ได้ดี

รูปที่ 5-12 แสดงโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300-1450 °C จากรูปจะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 11 จะมีผลึกโตขึ้นเมื่อเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 1300-1400 °C ไม่ปรากฏว่ามีผลึกแปลกปลอมปะปนในโครงสร้างจุลภาค เมื่อหาขนาดผลึกด้วยวิธีลากเส้นตัดจะเห็นว่า PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300, 1350, 1400 และ 1450 °C มีผลึกขนาด 17.24, 20.71, 22.92 และ 22.24  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ

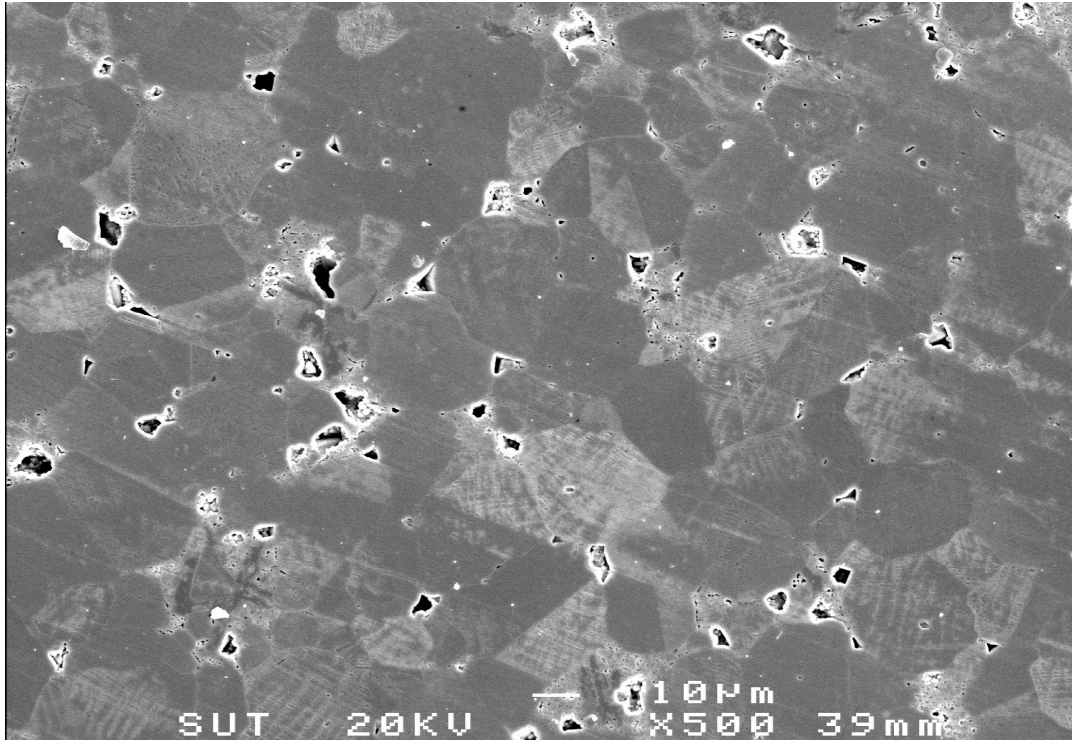
รูปที่ 13 และ 14 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300, 1350 และ 1400 °C จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่า  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างสูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างกัน มีค่าแตกต่างกันไม่มาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องถึง 80 °C  $K'$  ของ PTCR สูตร 11 ทั้งหมดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไป  $K'$  ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 7500-8000 ที่อุณหภูมิประมาณ 98 °C ต่อจากนั้น  $K'$  ของ PTCR สูตร 11 ทั้งหมดลดลงอย่างช้าๆอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิห้อง เรียกอุณหภูมิที่วัสดุมี  $K'$  สูงสุดว่า อุณหภูมิคูรี (Curie's temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัสดุเปลี่ยนพฤติกรรมจากเฟอร์โรอิเล็กทริกที่อุณหภูมิต่ำเป็นพฤติกรรมพาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมิสูง จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิของ PTCR สูตร 11 ทุกตัวมีอุณหภูมิคูรีชัดเจนแสดงว่า PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 – 1400 °C เป็นวัสดุไดอิเล็กทริกที่ดี

จากรูปที่ 14 จะเห็นว่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า ( $\rho$ ) ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างกัน มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือสำหรับชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 °C สภาพความต้านทานไฟฟ้าแทบไม่เปลี่ยนแปลงเลยจึงถือได้ว่าชิ้นตัวอย่างนี้ไม่แสดงสมบัติ PTCR แต่สำหรับชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่ 1350 และ 1400 °C สภาพความต้านทานไฟฟ้าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องถึงประมาณ 40 °C ต่อจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลงและมีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีก  $\rho$  (ของ PTCR สูตร 11 ที่เผาผนึกที่ 1350 และ 1400 °C) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 112°C ต่อจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีก  $\rho$  จะค่อยๆ มีค่าลดลง อาจจะสามารถกล่าวได้ว่า PTCR สูตร

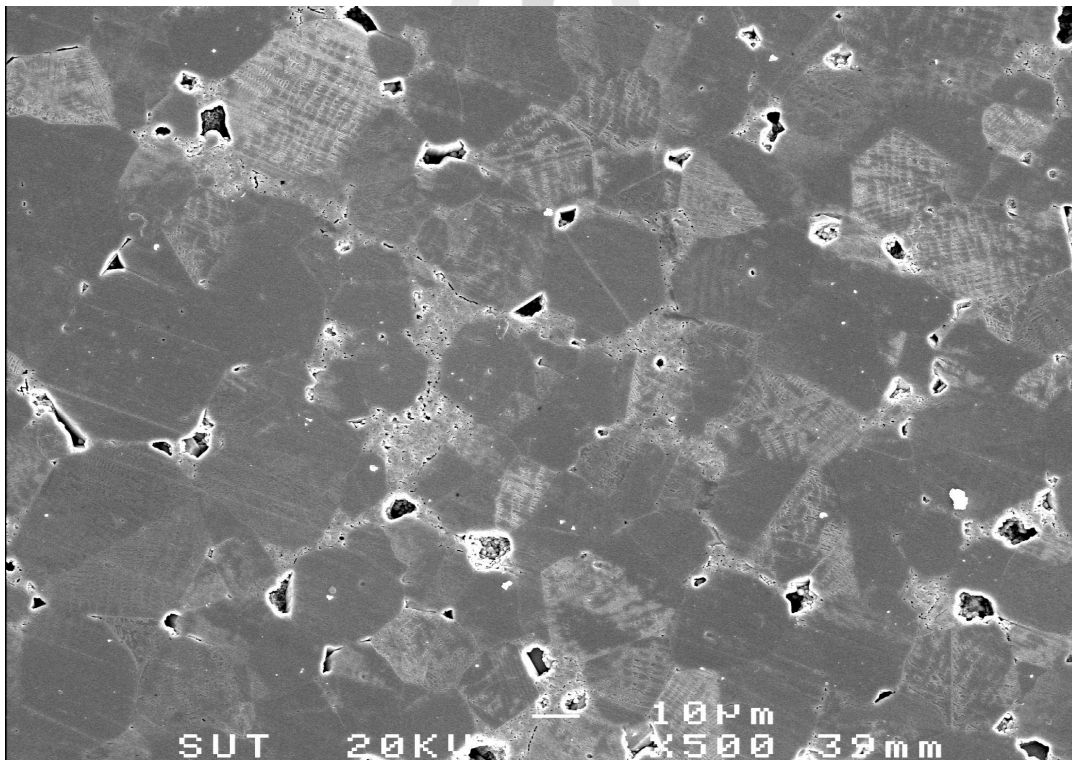
11 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1350 และ 1400°C แสดงสมบัติ PTCR ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 90-112 °C ก็ตาม แต่ก็อาจจะถือว่าขึ้นตัวอย่างดังกล่าวจะแสดงสมบัติ PTCR แต่สมบัติที่เกิดขึ้นไม่ชัดเจนนักเพราะว่า  $\rho$  ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิสั้นๆ และ  $\rho$  ที่เพิ่มก็เพิ่มขึ้นไม่มากนัก



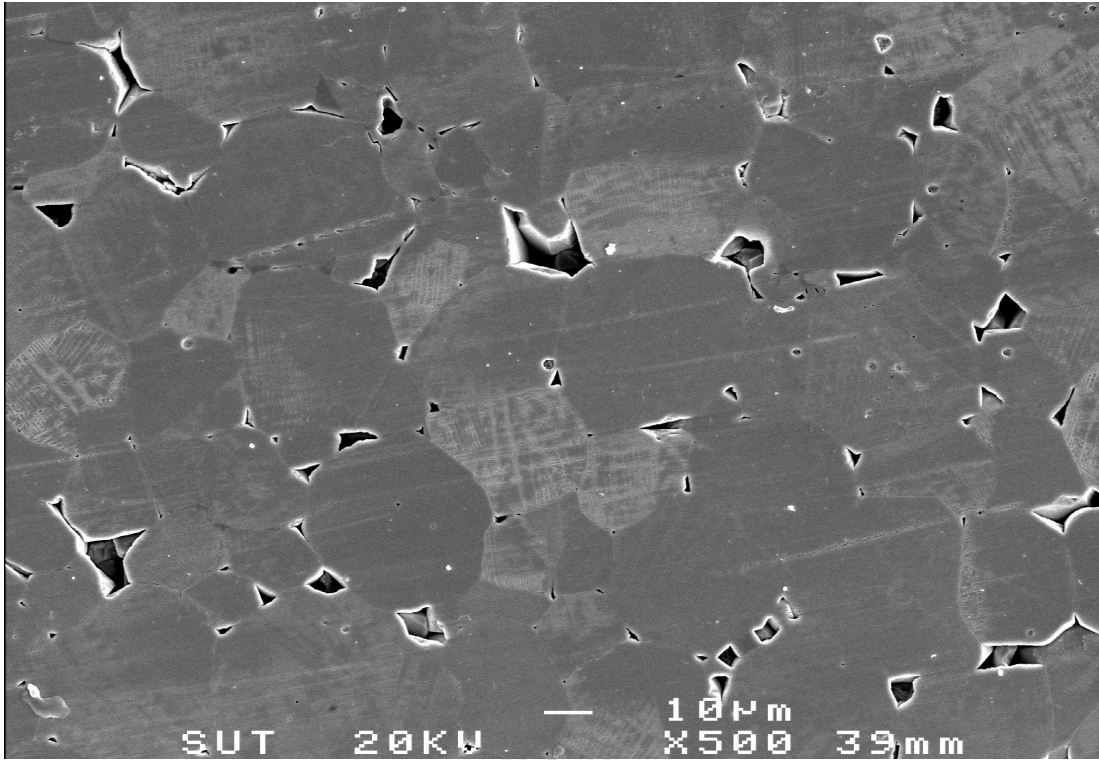
รูปที่ 4 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C



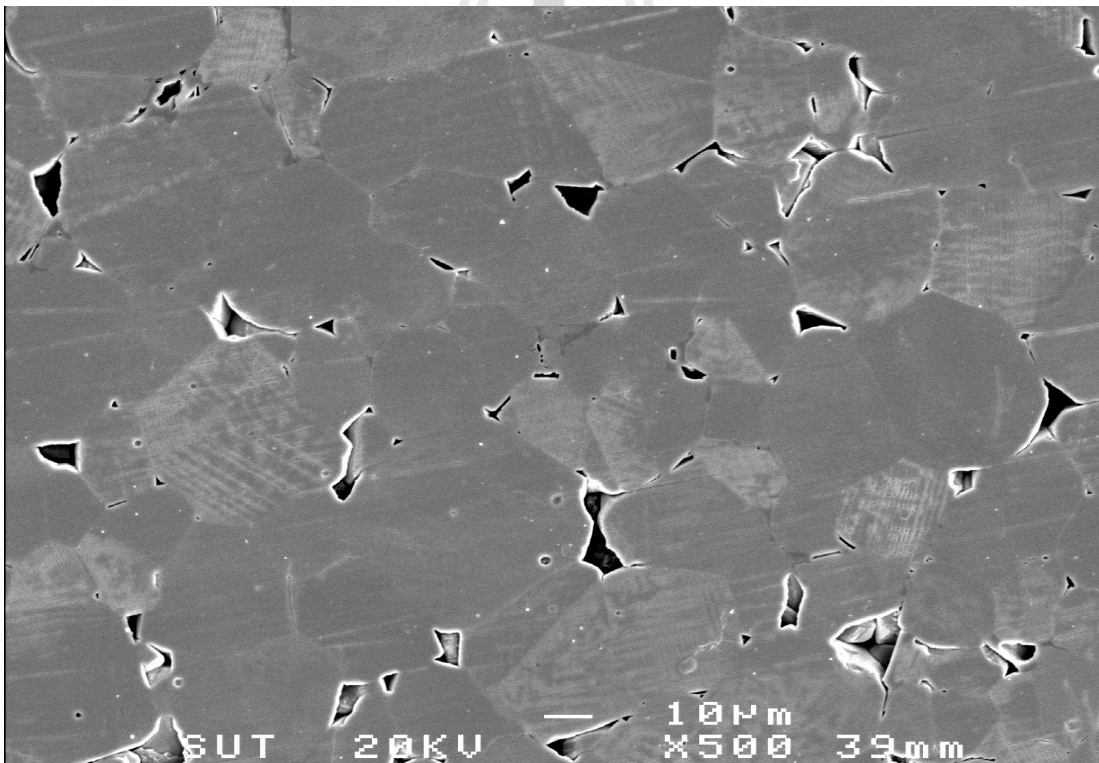
รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของ PTCE สูตร 11 เผาผนึกที่ 1300 °C



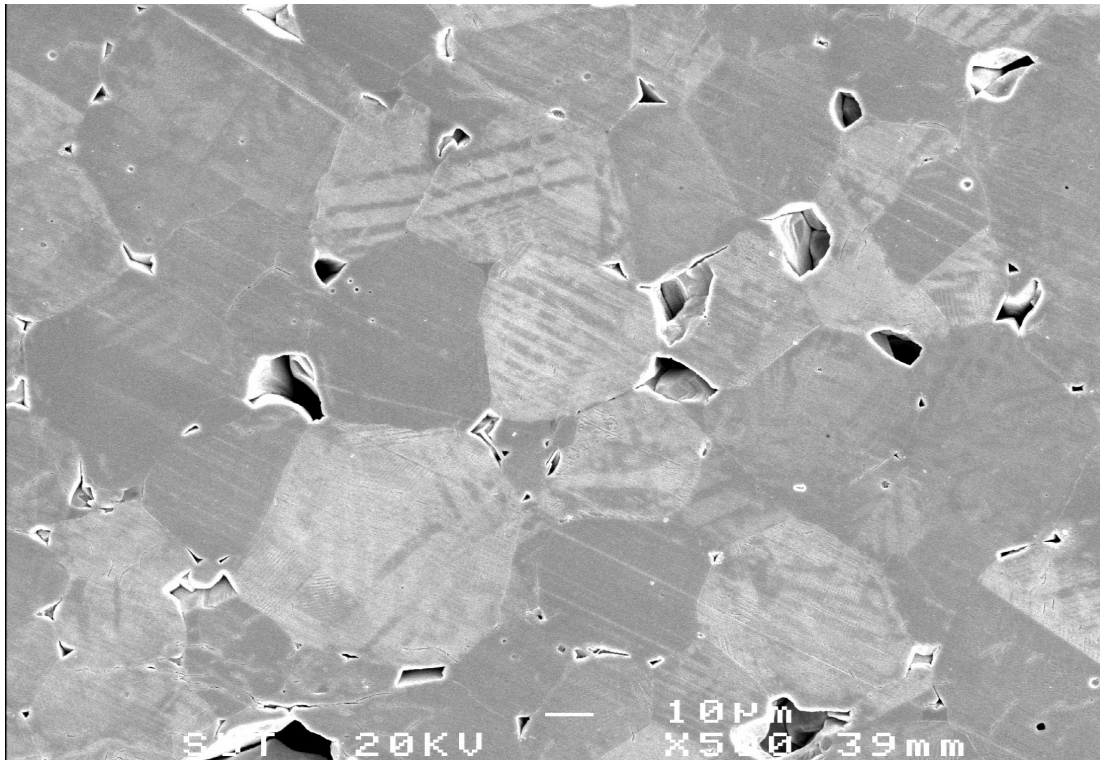
รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของ PTCE สูตร 11 เผาผนึกที่ 1300 °C



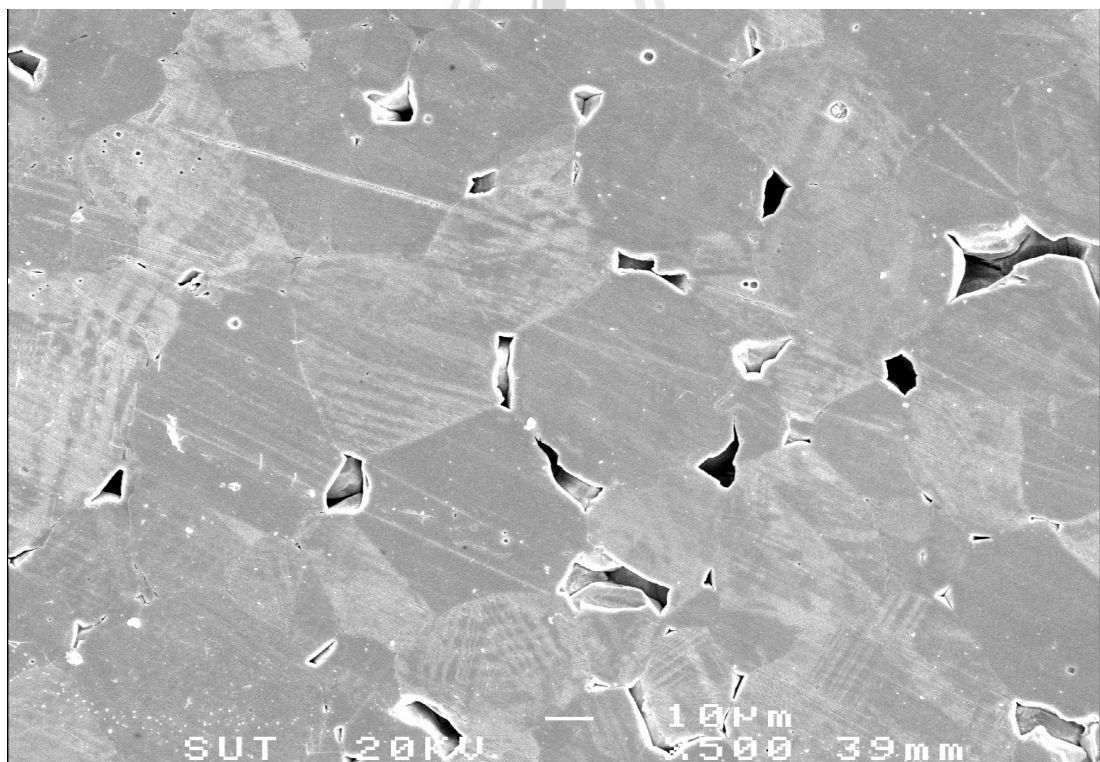
รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของ PTCTC สูตร 11 เผาผนึกที่ 1350 °C



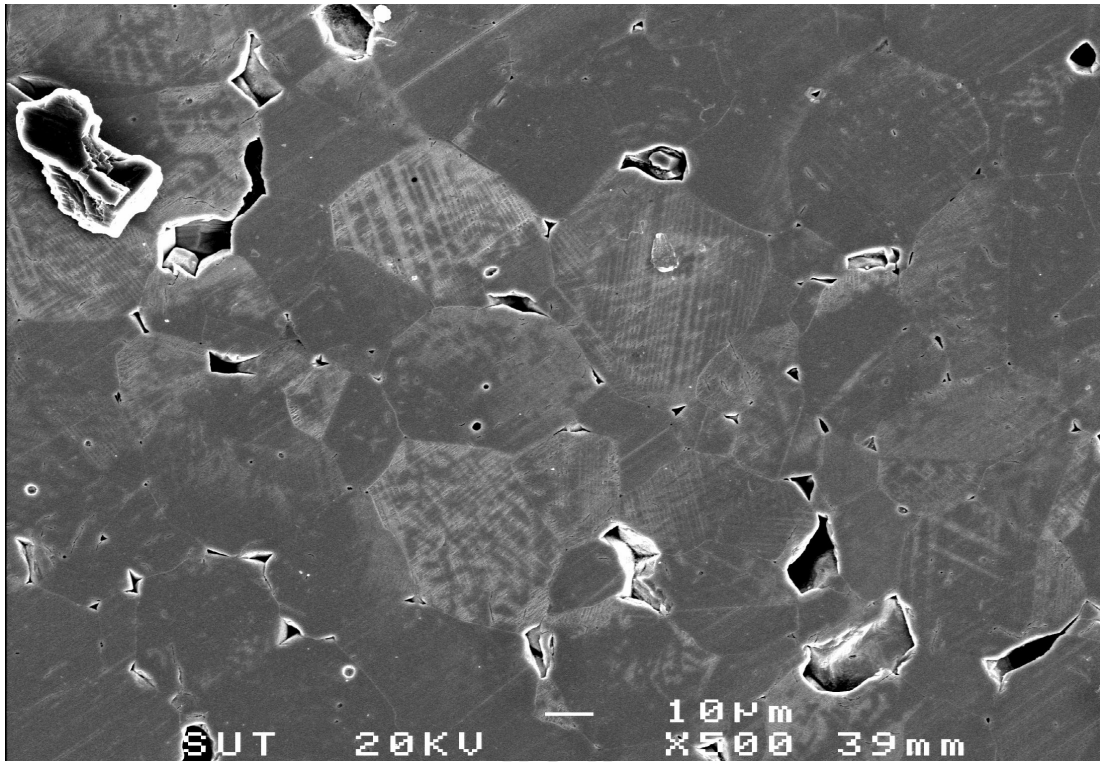
รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของ PTCTC สูตร 11 เผาผนึกที่ 1350 °C



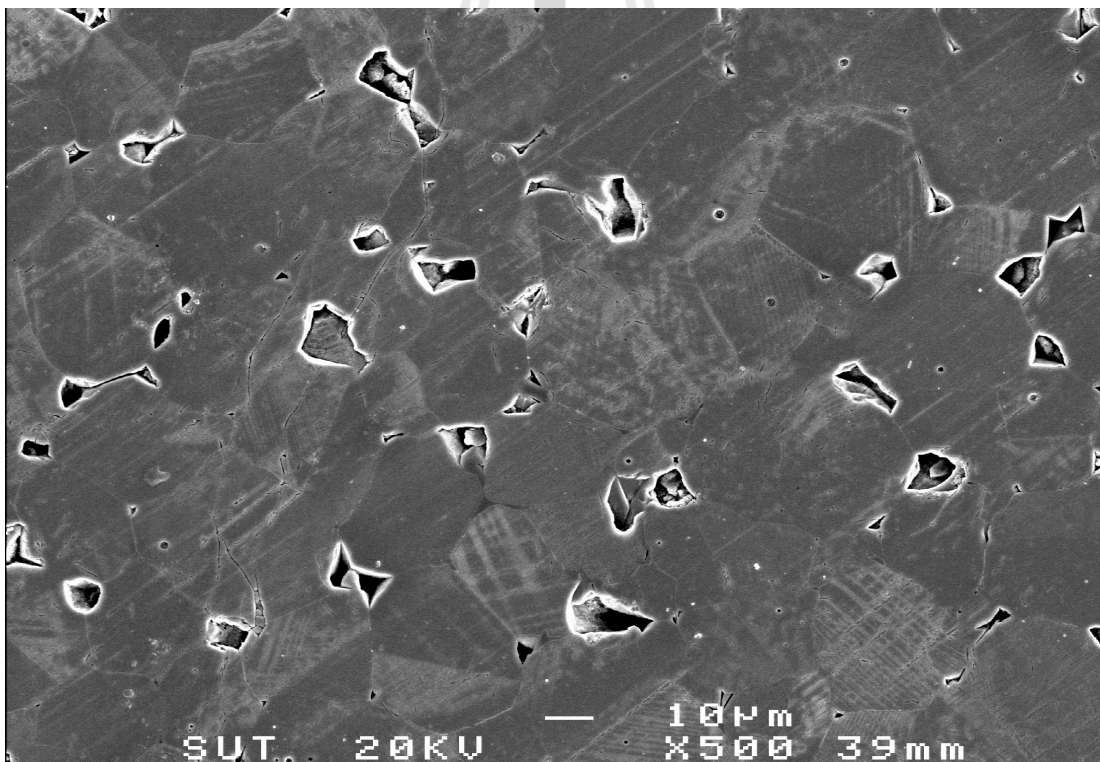
รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 11 เผาขึ้นที่ 1400 °C



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 11 เผาขึ้นที่ 1400 °C

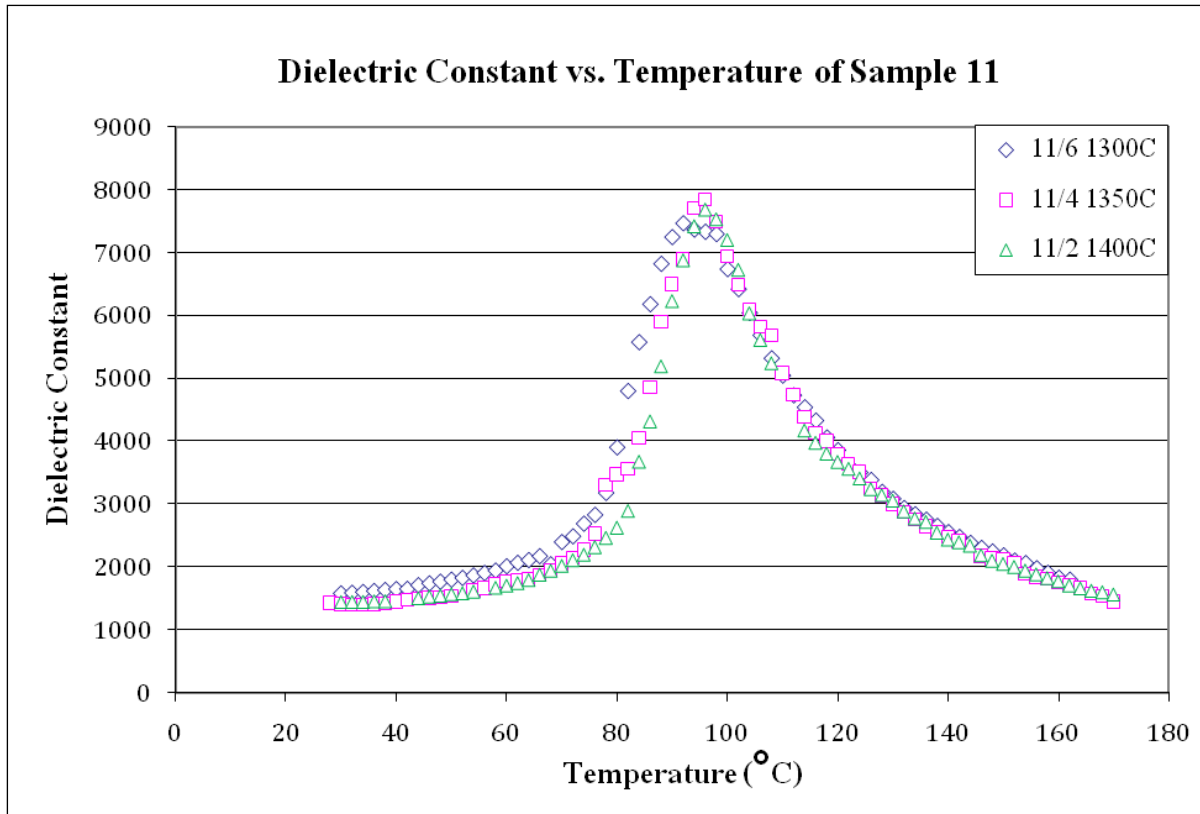


รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคของ PTCTC สูตร 11 เผาผนึกที่ 1450 °C

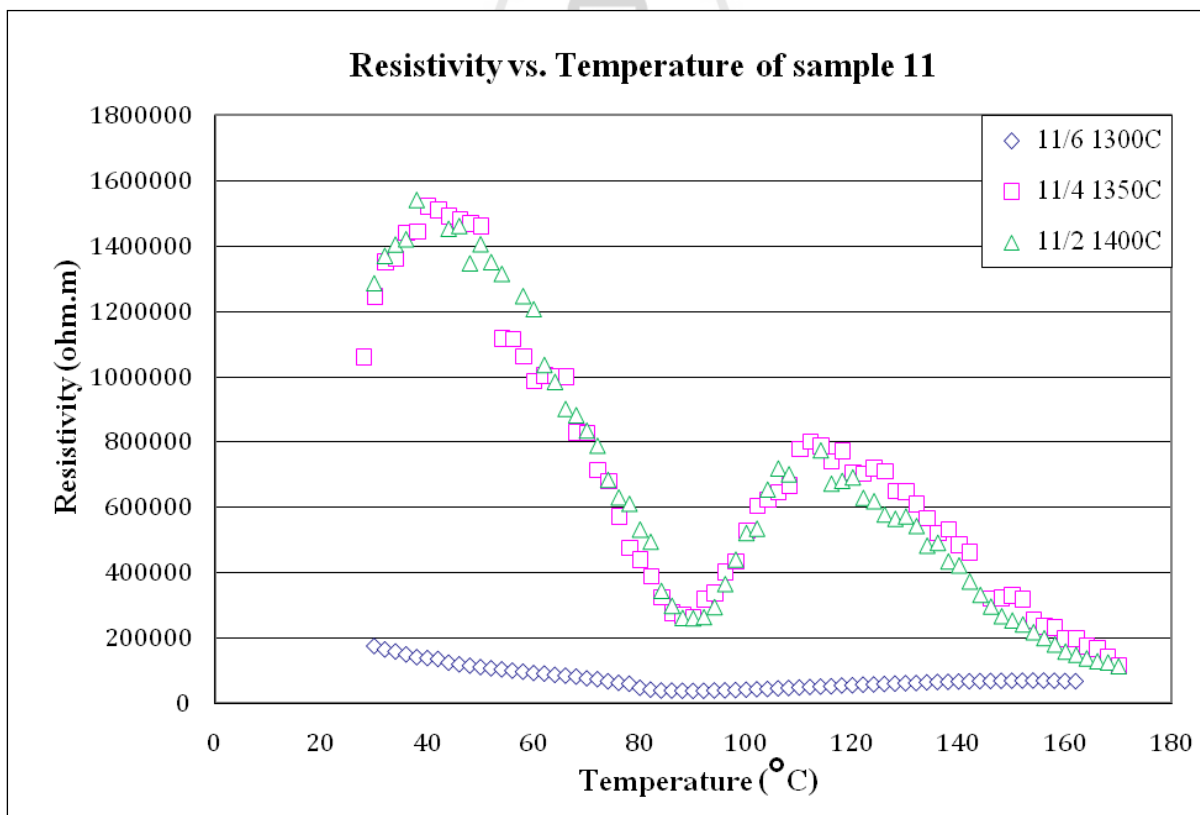


รูปที่ 12 โครงสร้างจุลภาคของ PTCTC สูตร 11 เผาผนึกที่ 1450 °C





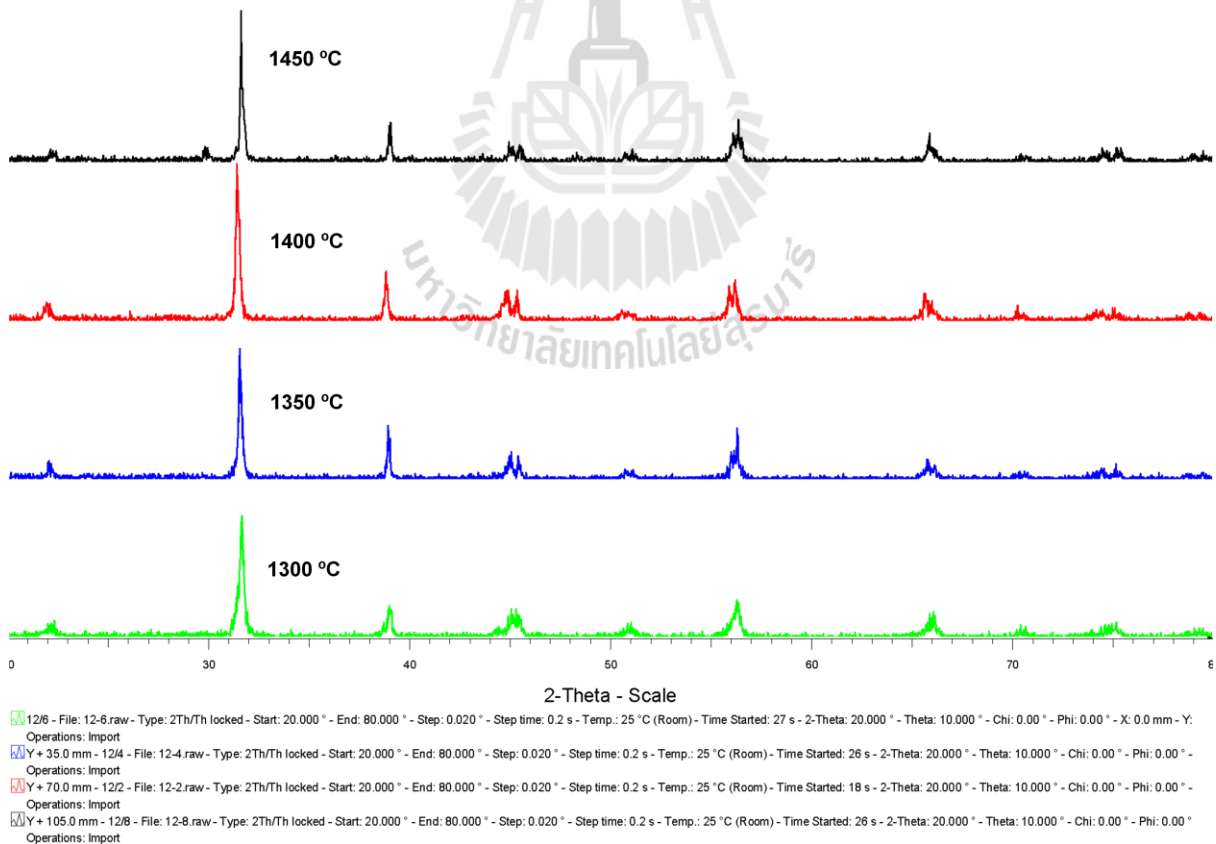
รูปที่ 13 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาพูนที่อุณหภูมิ 1300-1400 °C



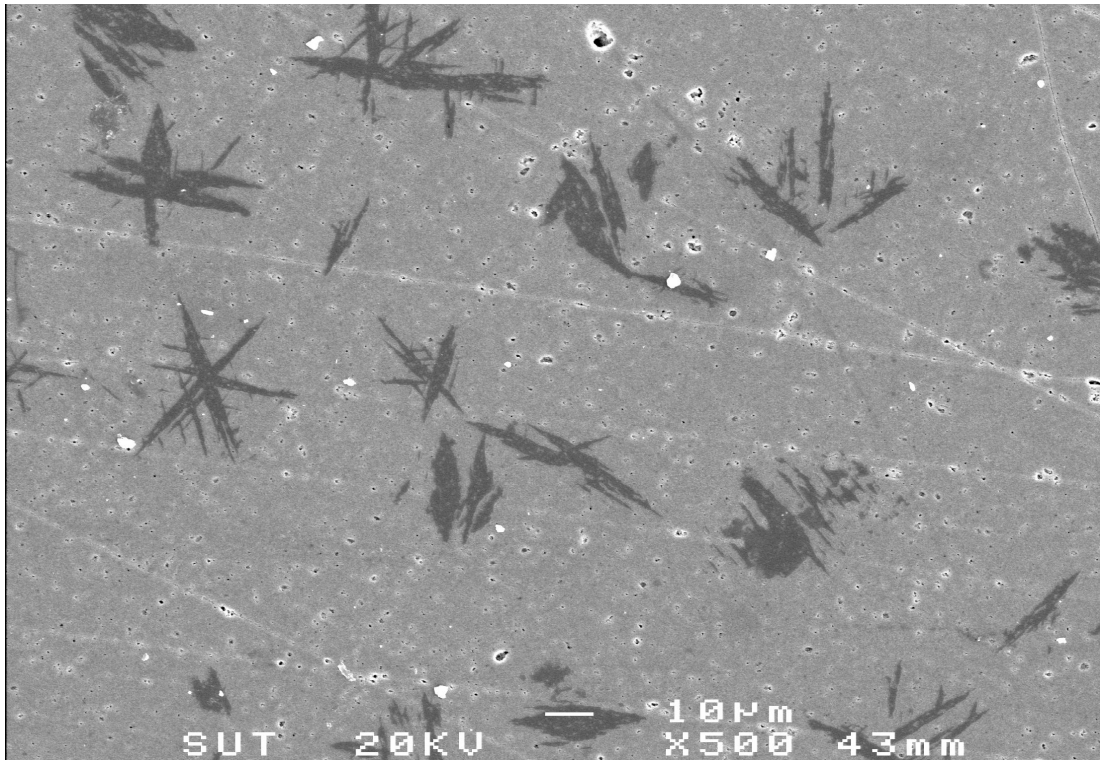
รูปที่ 14 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาพูนที่อุณหภูมิ 1300-1400 °C

รูปที่ 15 และรูปที่ ค5-ค8 ในภาคผนวก ค แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300-1450 °C จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟทุกรูปมีแต่ peak คล้ายๆ peak ของ BaTiO<sub>3</sub> วัฏภาคเดียว โดยไม่มี peak ของวัฏภาคแปลกปลอมอื่นออกมาเลย แสดงว่าสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติของ PTCR สูตร 12 น่าจะสามารถละลายเข้าไปในโครงสร้างของ BaTiO<sub>3</sub> ได้ดี

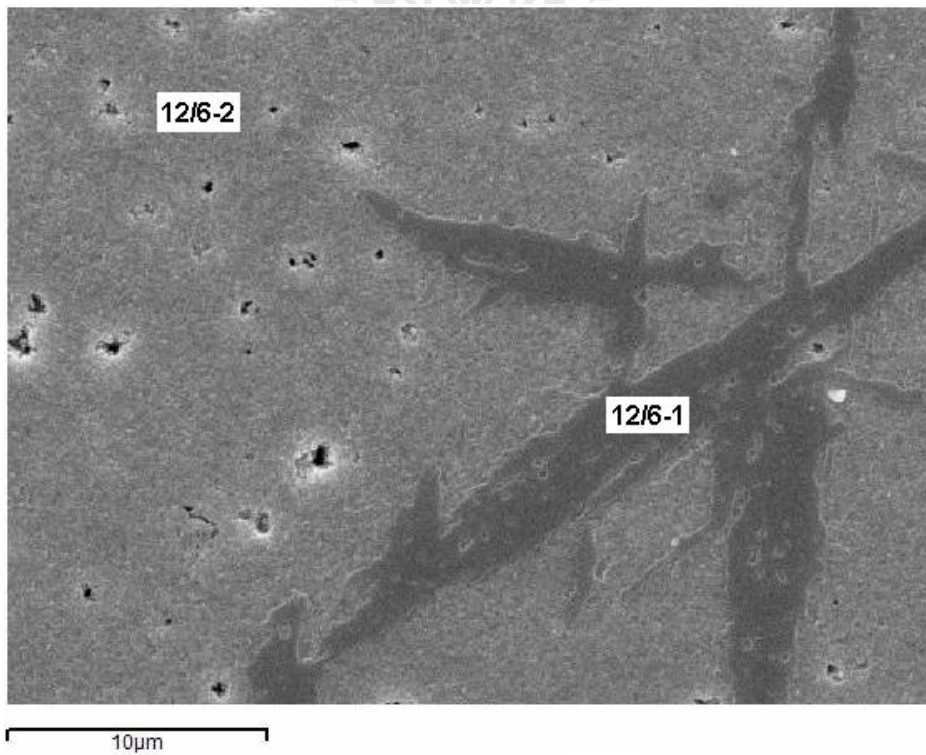
รูปที่ 16-23 แสดงโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300-1450 °C จากรูปที่ 16-17 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 °C ยังไม่มีโครงสร้างจุลภาคเป็นผลึกชัดเจน เพราะไม่เห็น grain และ grain boundary เลย แต่มี dendrite ของผลึกจำนวนมากเริ่มเกิดขึ้น เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เป็น dendrite กับส่วนอื่นที่อยู่รอบๆ ซึ่ง mark ด้วย 12/6-1 และ 12/6-2 ในรูปที่ 17 โดยใช้ EDS จะได้กราฟดังรูปที่ 24-25 จากรูปที่ 24-25 จะเห็นได้ว่าส่วนที่เป็น dendrite กับส่วนที่อยู่รอบๆ dendrite มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันไม่มาก จากรูปที่ 18-19 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1350 °C เริ่มมีผลึกแล้ว เพราะเริ่มเห็น grain boundary เป็นกลางๆ แต่ไม่มี dendrite ให้เห็นอีกต่อไป และเมื่อเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปเท่าใดก็ยิ่งจะเกิดผลึกให้เห็นชัดเจนขึ้นไปเท่านั้น เพราะเห็น grain boundary ชัดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 20-23 เมื่อตรวจองค์ประกอบเคมีของส่วนที่เป็น grain กับ grain boundary ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1450°C ที่ mark ด้วย 12/8-1 และ 12/8-2 ในรูปที่ 23 จะ



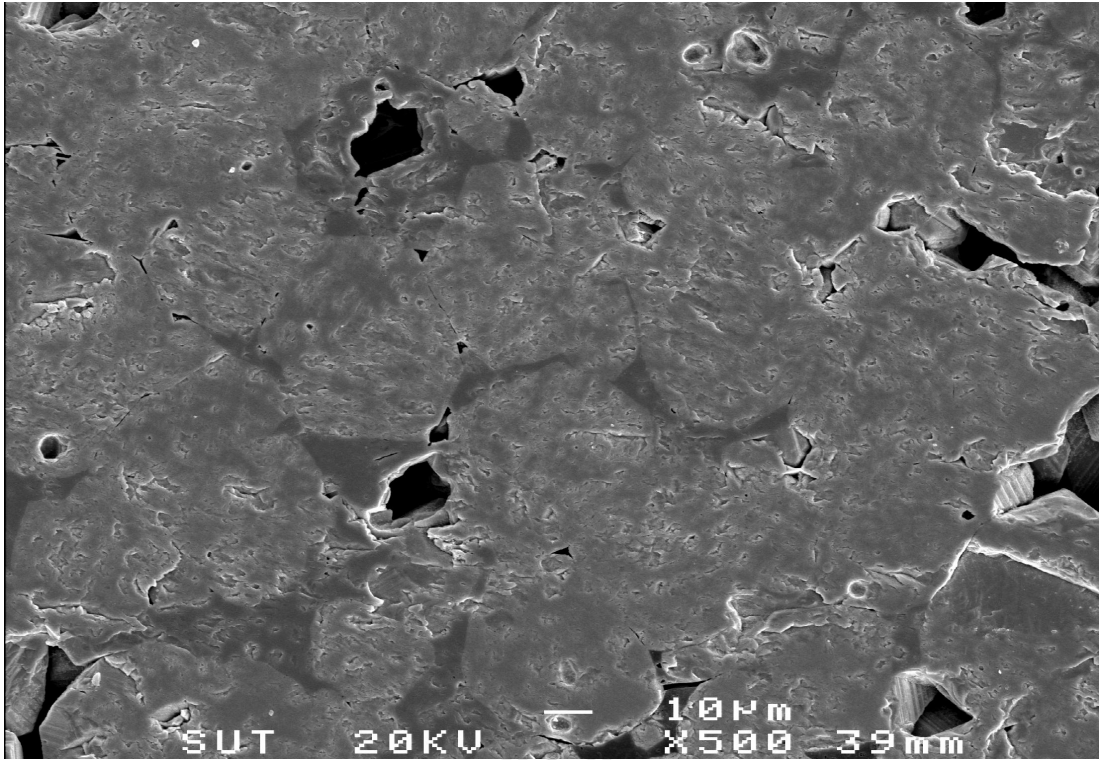
รูปที่ 15 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1300 - 1450 °C



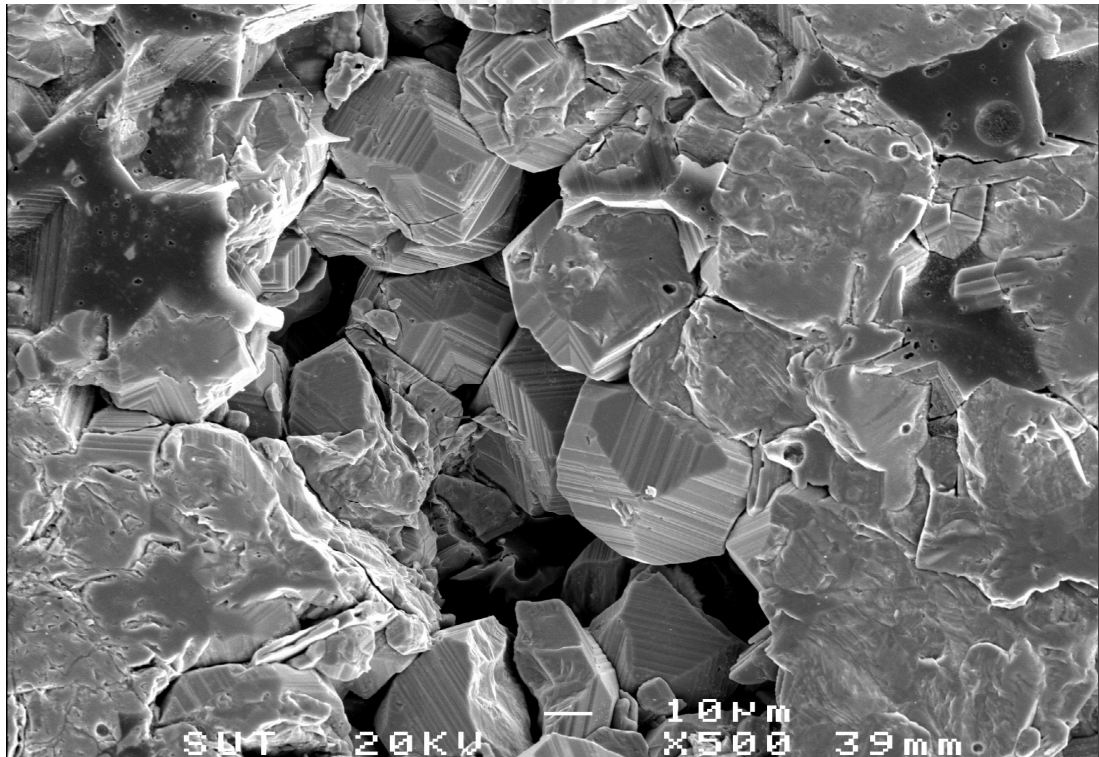
รูปที่ 16 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1300 °C



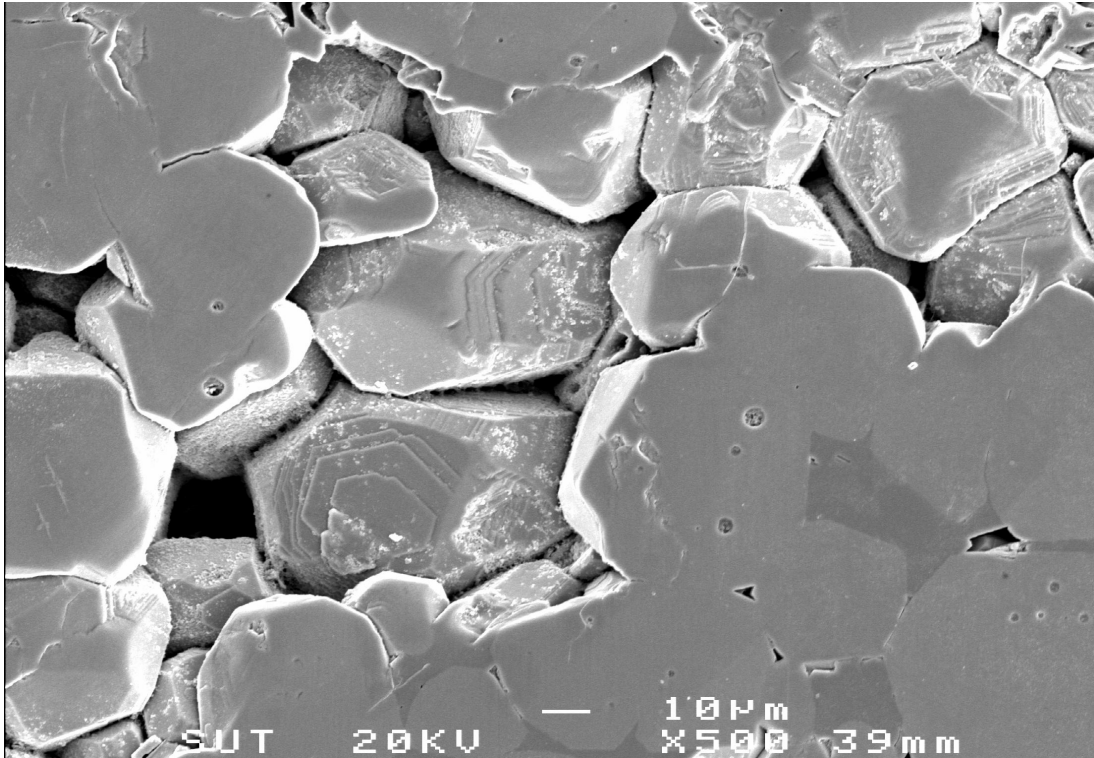
รูปที่ 17 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1300 °C



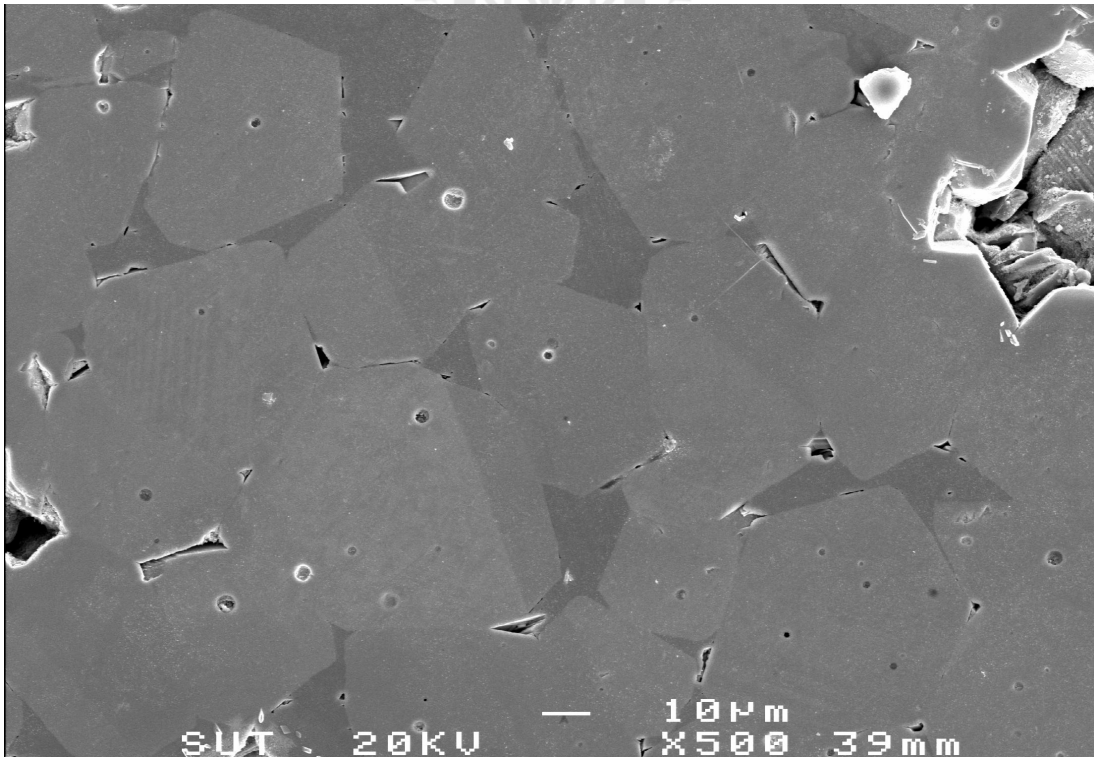
รูปที่ 18 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1350 °C



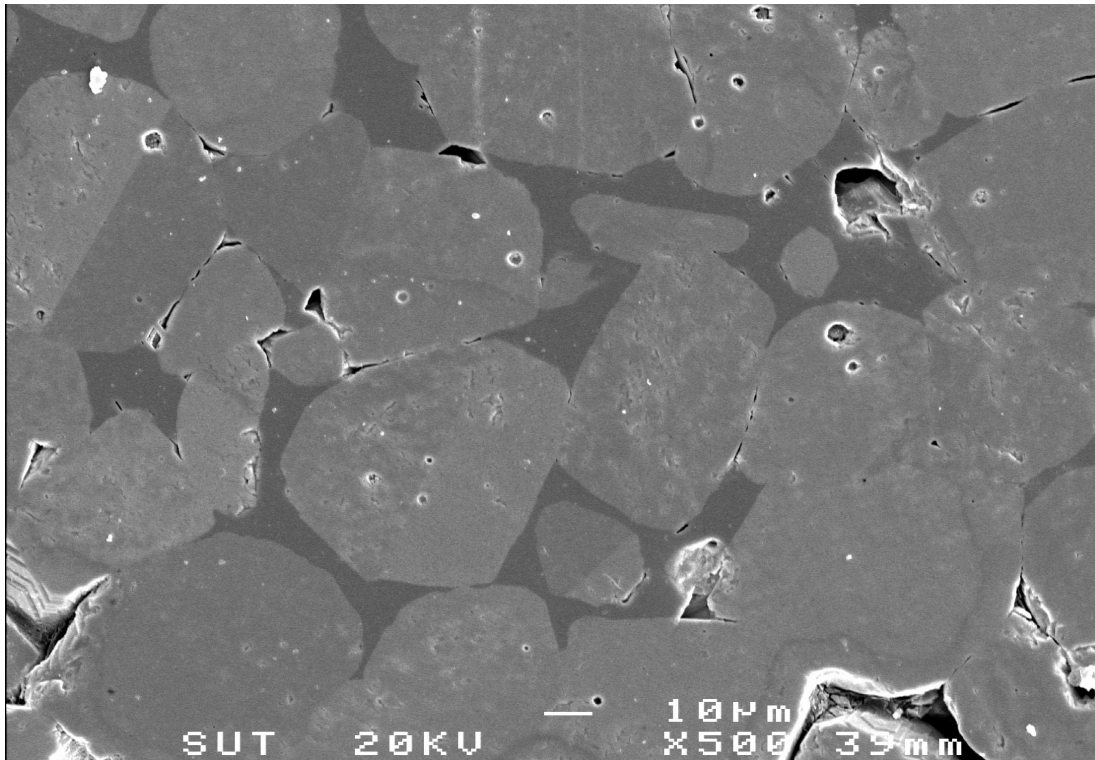
รูปที่ 19 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1350 °C



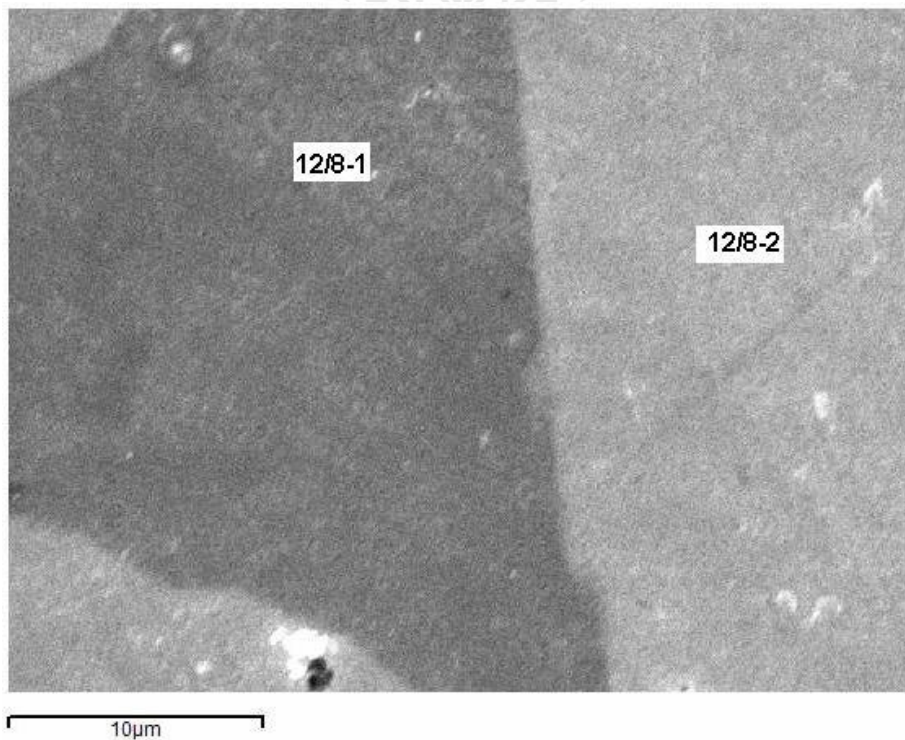
รูปที่ 20 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1400 °C



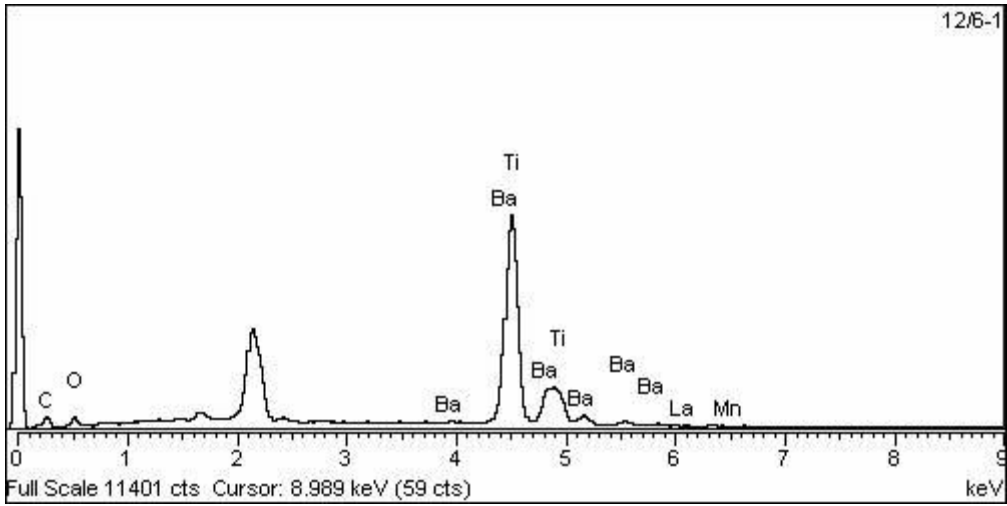
รูปที่ 21 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTZR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1400 °C



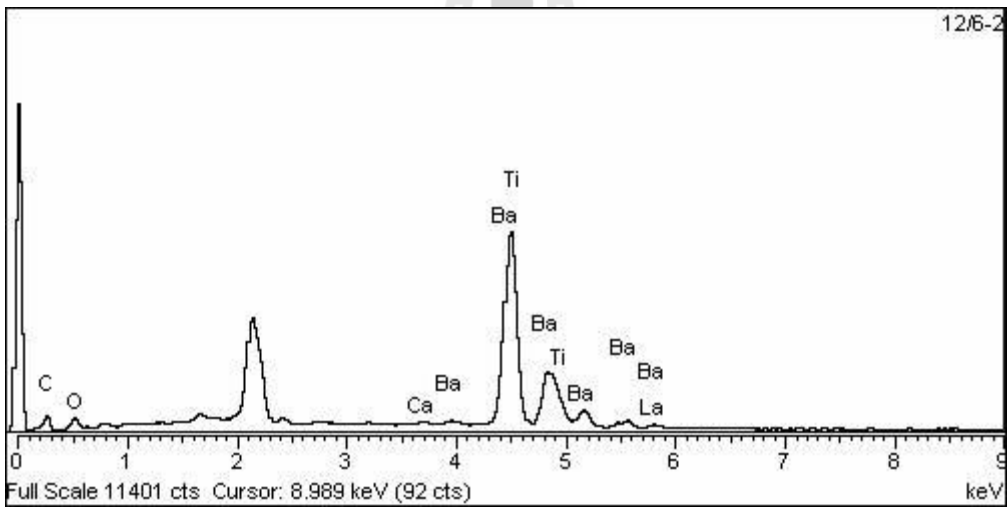
รูปที่ 22 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1450 °C



รูปที่ 23 ภาพโครงสร้างจุลภาคของ PTCR สูตร 12 เผาผนึกที่ 1450 °C

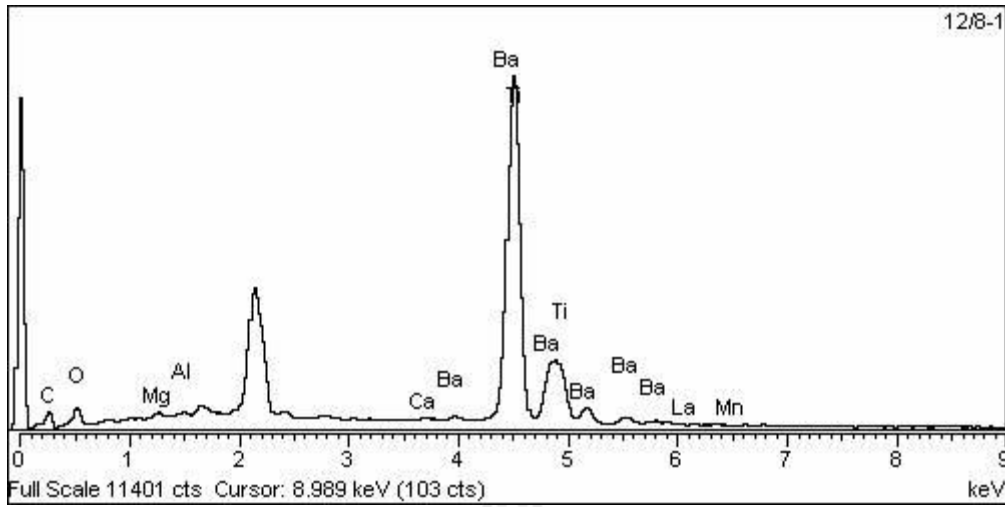


รูปที่ 24 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น dendrite ซึ่ง mark ด้วย 12/6-1 ในรูปที่ 17

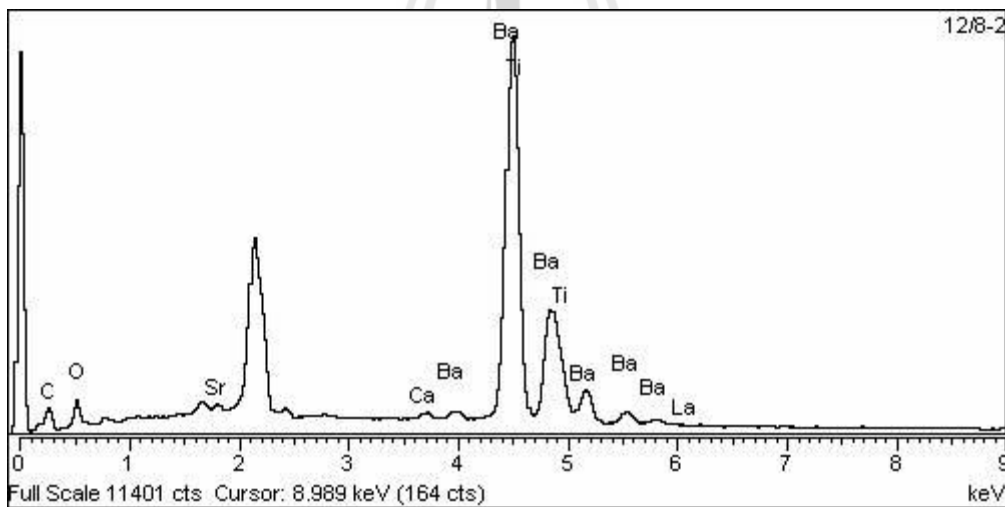


รูปที่ 25 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่อยู่รอบๆ dendrite ซึ่ง mark ด้วย 12/6-2 ในรูปที่ 17

เห็นได้ว่าทั้งสองส่วนมีองค์ประกอบเคมีต่างกันน้อยมากดัง แสดงในรูปที่ 26-27



รูปที่ 26 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น grain boundary ซึ่ง mark ด้วย 12/8-1 ในรูปที่ 23

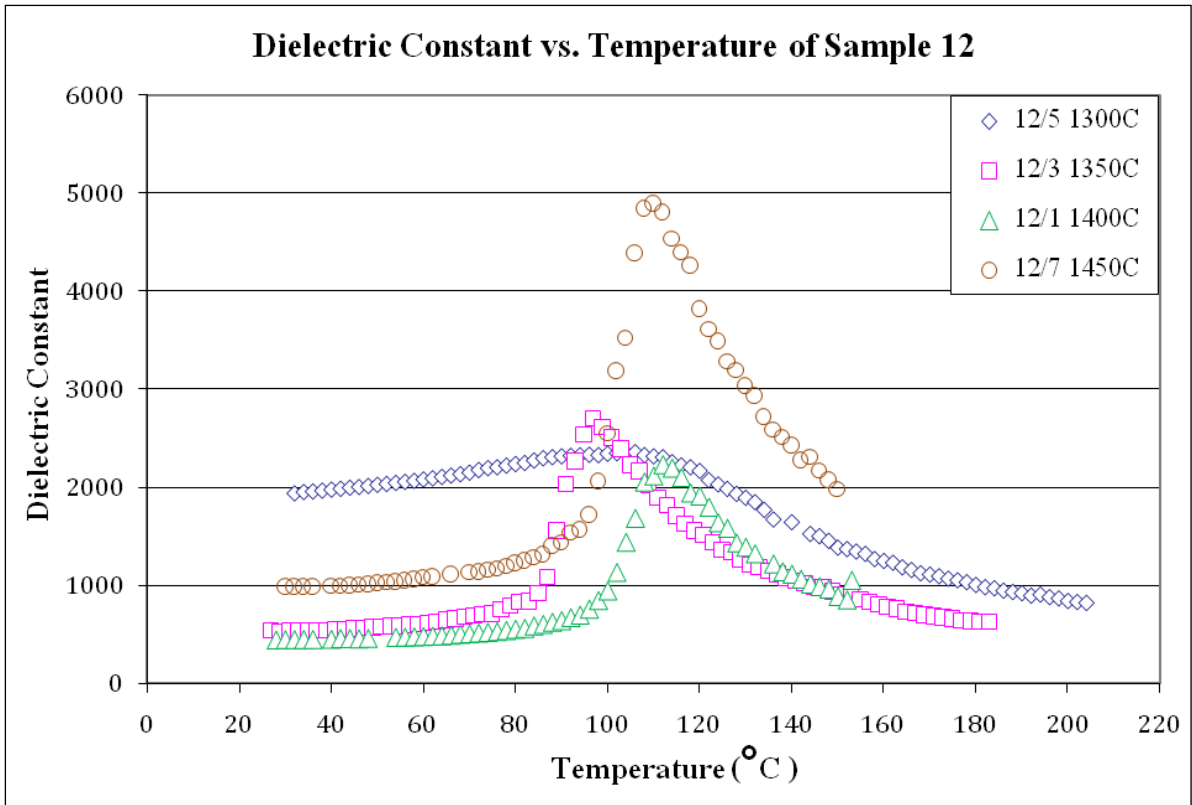


รูปที่ 27 ผลวิเคราะห์ EDS ของส่วนที่เป็น grain ซึ่ง mark ด้วย 12/8-2 ในรูปที่ 23

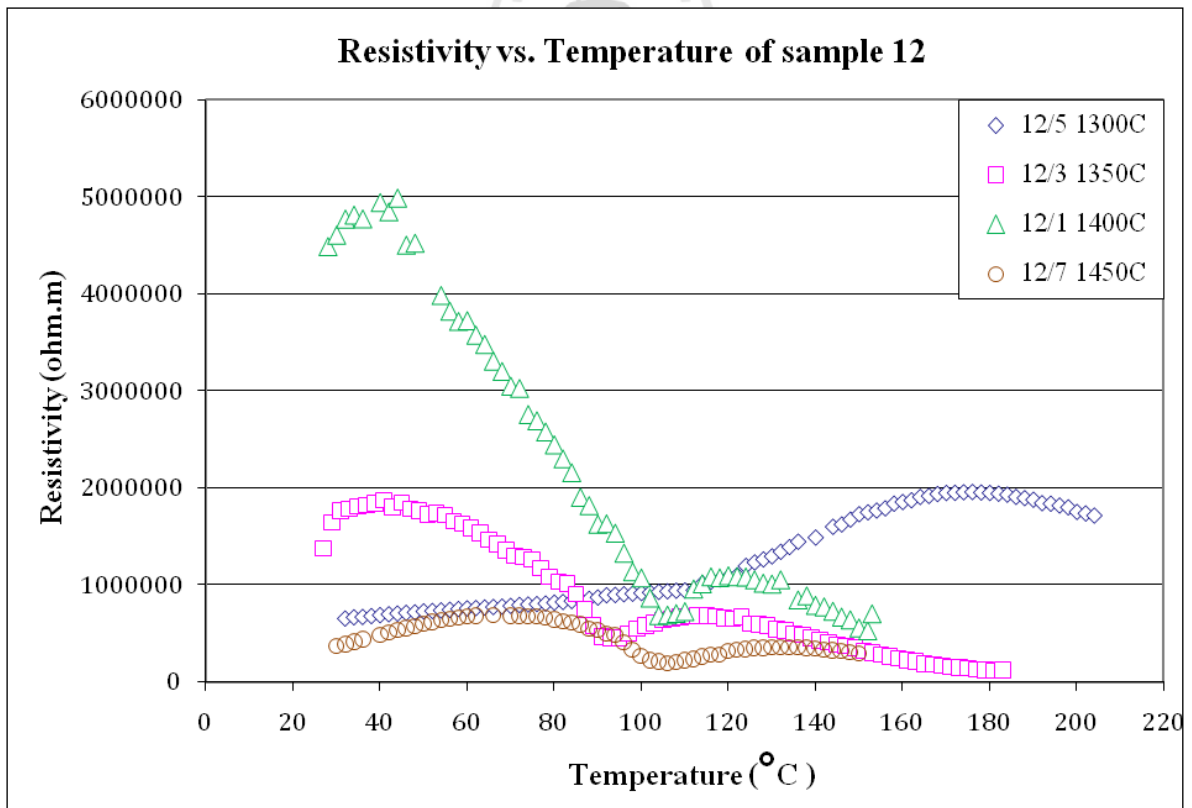


รูปที่ 28 และ 29 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300, 1350, 1400 และ 1450 °C จากรูปที่ 28 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1350-1450 °C มีกราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิที่แสดงอุณหภูมิคูรีชัดเจนที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 °C (เหมือนกับ PTCR สูตรที่ 11 ที่เผาผนึกที่ 1300-1400 °C) อุณหภูมิคูรีเป็นอุณหภูมิที่วัสดุเปลี่ยนพฤติกรรมจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริก วัสดุไดอิเล็กทริกที่มีสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกจะมีกราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิที่แสดงอุณหภูมิคูรีชัดเจน อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่ากราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิของ PTCR สูตร 12 ที่เผาผนึกที่ 1300 °C กลับไม่มีจุดที่  $K'$  มีค่าสูงสุดชัดเจนจึงไม่มีอุณหภูมิคูรี สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็น PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 °C ไม่มีผลึกที่มีขนาดโตพอ (ผลึกที่ได้ยังเป็น dendrite อยู่ดังแสดงในรูปที่ 16-17) ดังนั้น PTCR สูตร 12 ที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 °C จึงมีสมบัติไดอิเล็กทริกด้อยลงและไม่แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก

จากรูปที่ 29 จะเห็นว่า PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 °C ไม่แสดงสมบัติ PTCR เลยเพราะว่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องไปถึงประมาณ 170 °C ขณะที่ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1350 - 1450 °C มีความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องจนถึงประมาณ 100-110 °C ต่อจากนั้นขึ้นตัวอย่างจะมีความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะถือว่าการแสดงพฤติกรรมเป็น PTCR อย่างอ่อนๆ เหมือนกับ PTCR สูตร 11 ซึ่งเผาผนึกที่ 1350 และ 1400 °C



รูปที่ 28 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C

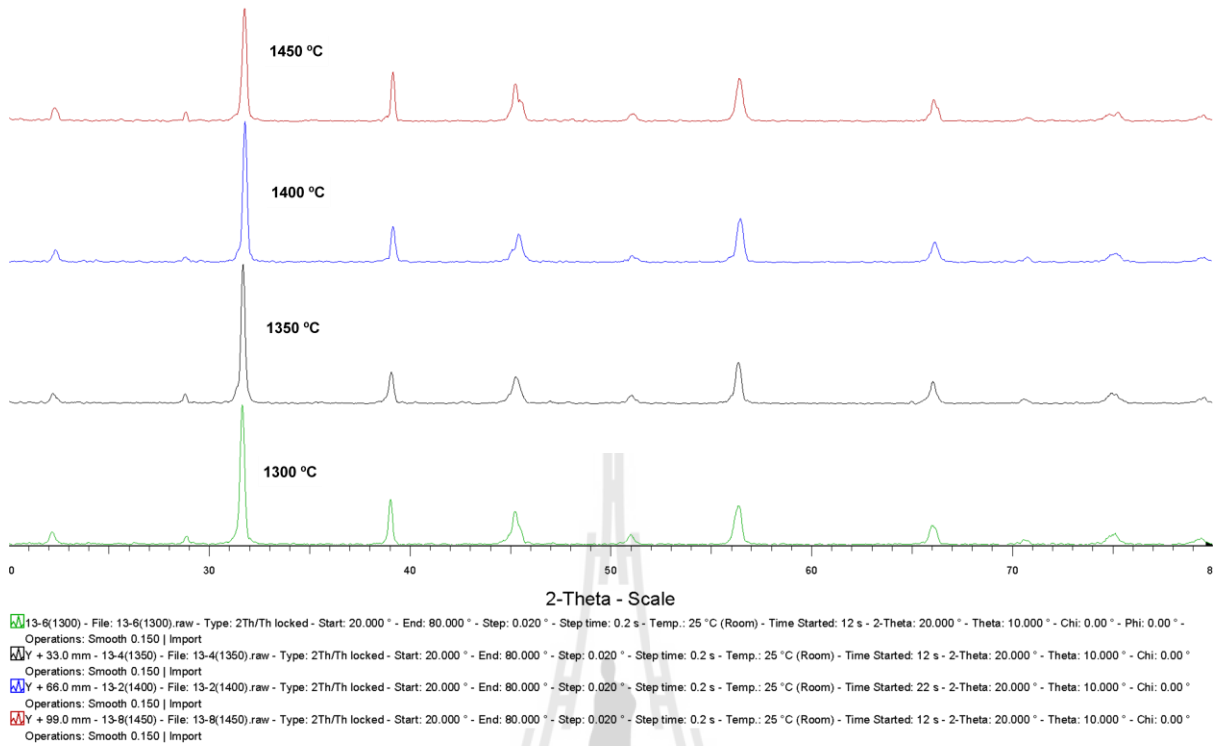


รูปที่ 29 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 12 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C

รูปที่ 30 และรูปที่ ค9-ค12 ในภาคผนวก ค แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1300-1450 °C จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟทุกรูปมีแต่ peak เหมือนๆ กับ peak ของสารประกอบ BaTiO<sub>3</sub> เพียงวัฏภาคเดียว โดยไม่มี peak ของวัฏภาคแปลกปลอมปนอื่นเลย แสดงว่าสารเติมแต่งที่เติมเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติของ PTCR สูตร 13 น่าจะสามารถละลายเข้าไปในโครงสร้างของ BaTiO<sub>3</sub> ได้ดี

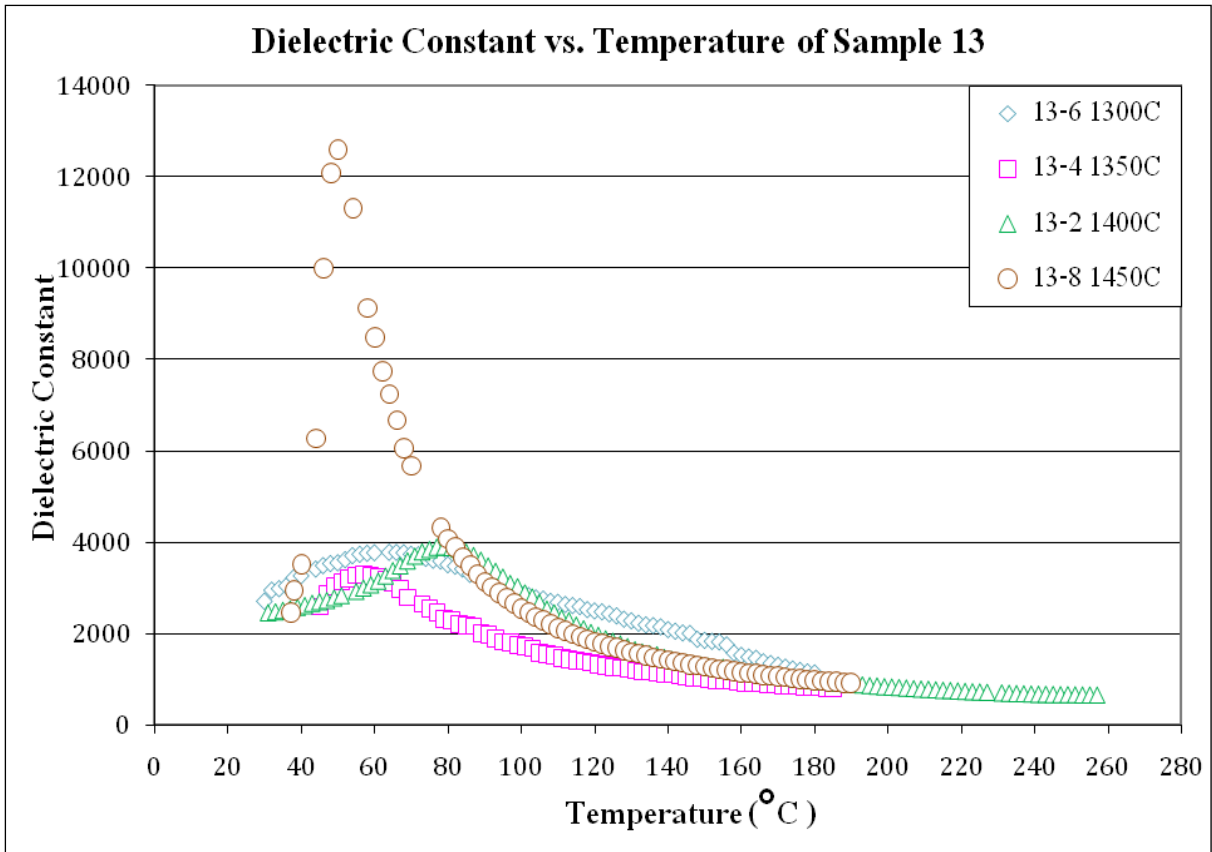
รูปที่ 31-32 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่ 1300-1450 °C จากรูปที่ 31 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่ 1450 °C แสดงพฤติกรรมของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริกชัดเจน โดยมี  $K'$  สูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C ส่วนขึ้นตัวอย่างที่เผาที่ 1350 และ 1400 °C มีจุด  $K'$  สูงสุดเช่นกันแต่ไม่ชัดเจน ขณะที่ขึ้นตัวอย่างที่เผาที่ 1300 °C ก็แทบจะไม่มีตำแหน่ง  $K'$  สูงสุดเลย ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิต่ำๆ ยังไม่มีผลึกเหมือนๆ กับ PTCR สูตรที่ 12 หรืออาจจะเป็นเพราะชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิต่ำๆ มีรูพรุนมากขึ้นตัวอย่างจึงเป็นวัสดุไดอิเล็กทริกที่ไม่ดีซึ่งทำให้ไม่แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก จากรูปที่ 32 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่ 1300 °C ไม่แสดงพฤติกรรม PTCR เลย ขณะที่ขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาที่ 1350 °C ก็เช่นกันไม่แสดงพฤติกรรม PTCR เลย ส่วนที่ขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาที่ 1400 และ 1450 °C แสดงพฤติกรรม PTCR ชัดเจน โดยที่ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่ 1450°C มี  $\rho$  เพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มจาก 50 °C ถึง 86 °C และ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาที่ 1400 °C มี  $\rho$  เพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 80-163 °C เป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิที่  $\rho$  ของขึ้นตัวอย่างทั้ง 2 เริ่มเพิ่มขึ้นอยู่ใกล้ๆ กับอุณหภูมิคูรีของขึ้นตัวอย่างทั้ง 2 แสดงว่า PTCR สูตรที่ 13 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1400-1450 °C เป็นวัสดุไดอิเล็กทริกที่เริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR เมื่อได้รับอุณหภูมิเกินกว่าอุณหภูมิคูรีขึ้นไปตามทฤษฎี PTCR ของ Heywang, Jonker และ Daniels<sup>1-9</sup>

เมื่อเปรียบเทียบ PTCR ทั้ง 3 สูตร (สูตร 11-13) จะเห็นว่า PTCR สูตร 13 (BaTi<sub>0.998</sub>Nb<sub>0.002</sub>O<sub>3</sub>) แสดงพฤติกรรม PTCR ชัดเจนที่สุด รองลงมาเป็นสูตร 12 (Ba<sub>0.9975</sub>La<sub>0.0025</sub>TiO<sub>3</sub>) และสูตร 11 (Ba<sub>0.9971</sub>Sb<sub>0.0029</sub>TiO<sub>3</sub>) ตามลำดับ จึงอาจจะกล่าวได้ว่าการทำ donor doped BaTiO<sub>3</sub> โดยการแทนที่ Ti<sup>4+</sup> ion ใน BaTiO<sub>3</sub> ด้วย Nb<sup>5+</sup> จะได้ donor doped-BaTiO<sub>3</sub> ที่แสดงพฤติกรรม PTCR ดีกว่า donor-doped BaTiO<sub>3</sub> ที่ได้จากการแทนที่ Ba<sup>2+</sup> ด้วย Sb<sup>3+</sup> หรือ La<sup>3+</sup> ยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจนว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น แต่อาจจะ PTCR สูตร 13 เป็นไปได้ที่ว่าการแทนที่ Ti<sup>4+</sup> ion ใน BaTiO<sub>3</sub> ขณะที่ PTCR สูตร 11 และ 12 เป็นการแทนที่ Ba<sup>2+</sup> ion ใน BaTiO<sub>3</sub> และการแทนที่ Ti<sup>4+</sup> ion ใน BaTiO<sub>3</sub> น่าจะมีผลต่อสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า เพราะว่า Ti<sup>4+</sup> เป็น ion ที่มีผลต่อสมบัติอิเล็กทรอนิกส์ใน BaTiO<sub>3</sub> มากกว่า Ba<sup>2+</sup> ion ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า Ti<sup>4+</sup> เป็น ion ที่มีขนาดเล็กและประจุมากกว่า Ba<sup>2+</sup> ion

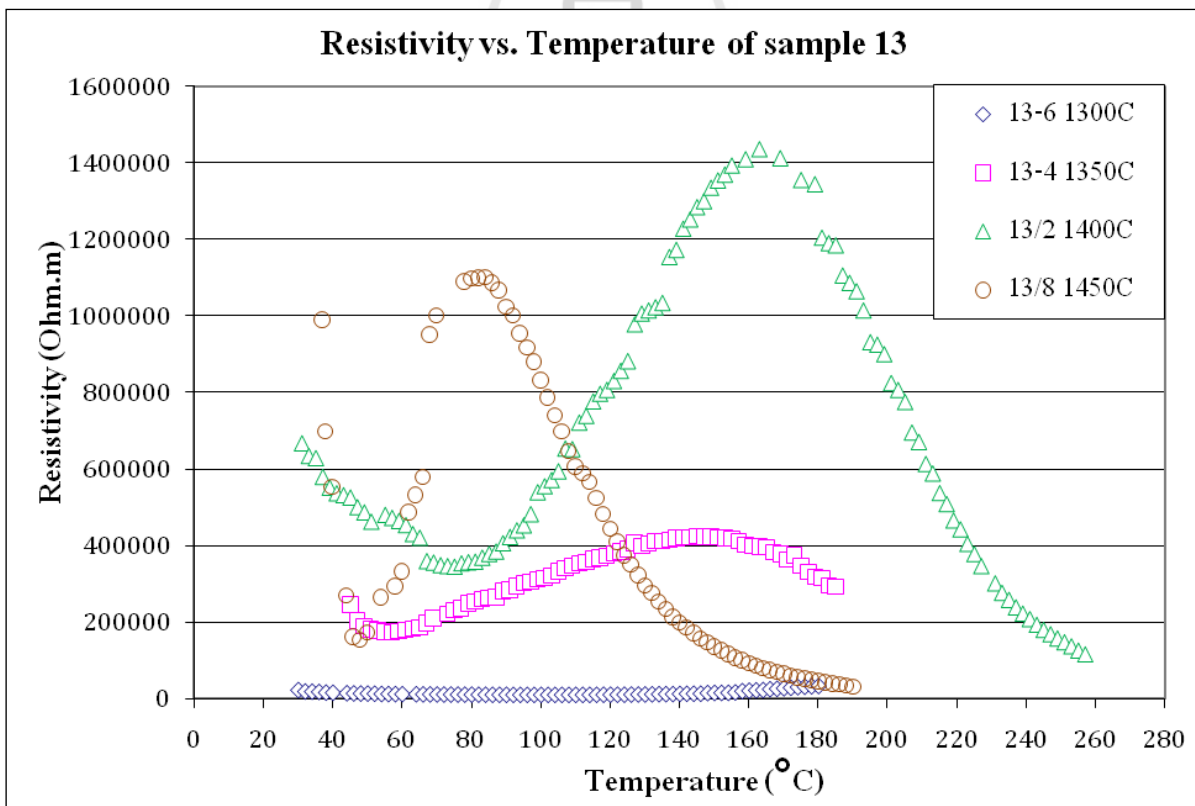


รูปที่ 30 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCEr สูตร 13 เฝานีที่ 1300 - 1450 °C





รูปที่ 31 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C



รูปที่ 32 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 13 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300 – 1450 °C

## บทที่ 2

### การทดลองที่ 2

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรม PTCR ของสารประกอบ donor doped BaTiO<sub>3</sub> ที่อัดเม็ดด้วยแรงอัดต่างกัน

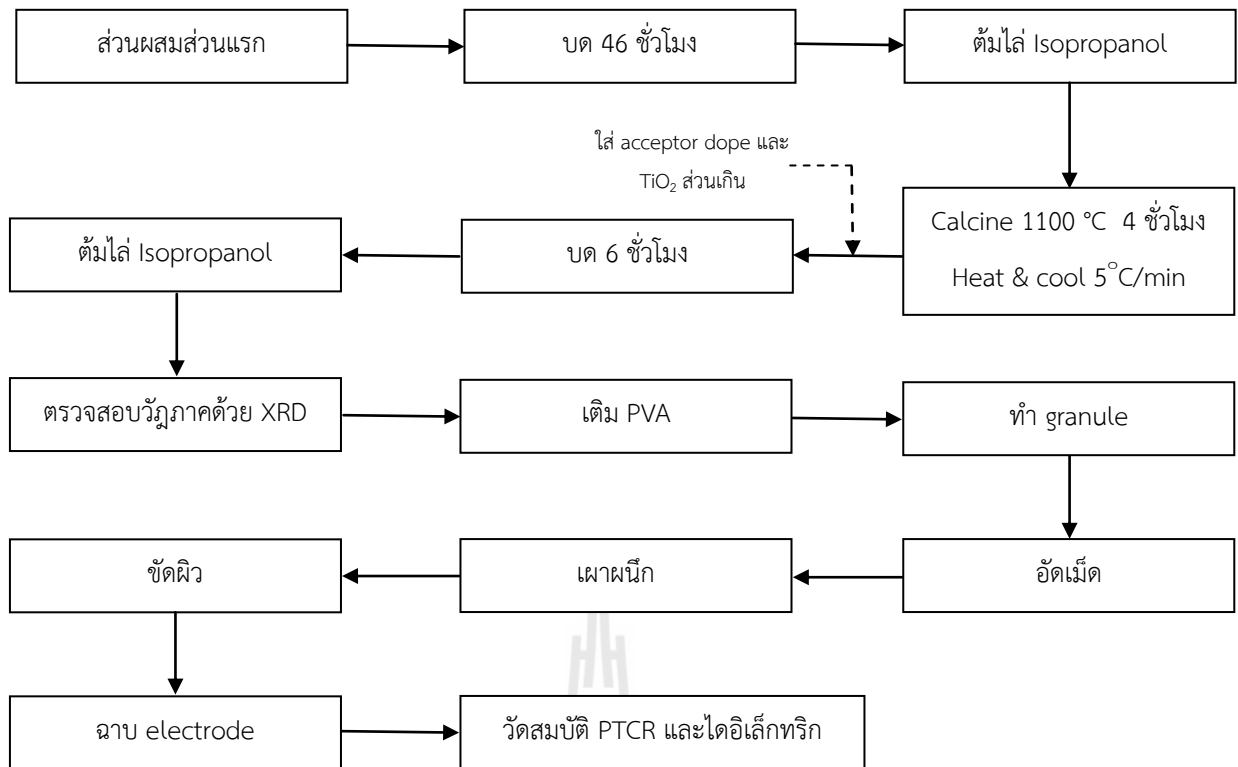
#### ความเป็นมา

Park และคณะ<sup>10, 12</sup> และ Kim<sup>11</sup> รายงานว่าชั้น PTCR ที่มีความพรุนตัวสูงจะมีสมบัติ PTCR มากกว่าชั้น PTCR ที่มีความพรุนตัวต่ำ การทดลองนี้จึงทดลองอัดเม็ดชั้นตัวอย่างด้วยแรงอัดขนาดต่างๆกัน เพราะการใช้แรงอัดน้อยจะทำให้ได้ชั้นตัวอย่างที่มีความพรุนตัวสูงและการใช้แรงอัดมากจะทำให้ได้ชั้นตัวอย่างที่มีความพรุนตัวต่ำ

จากเอกสารอ้างอิงบางฉบับแนะนำให้เติม Mn-ไอออน เพื่อกระตุ้นให้เพิ่มสมบัติ PTCR นั้นควรเติมไปหลังจากใส่ donor ion เข้าไป dope BaTiO<sub>3</sub> เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเติม MnO<sub>2</sub> เข้าไปภายหลังจากเติม donor ions เข้าไปใน BaTiO<sub>3</sub> แล้ว นอกจากนี้ยังเติม TiO<sub>2</sub> ที่ใส่เข้าไปช่วยในการเผาผนึกในภายหลังด้วย

#### วิธีการทดลอง

ต่างกับการทดลองที่ 1 เล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 33 กล่าวคือตอนใส่ส่วนผสมไปผสมจะแยกใส่สองครั้ง ครั้งแรกจะใส่เฉพาะวัตถุดิบที่เป็นโครงสร้างหลักของ BaTiO<sub>3</sub> และวัตถุดิบที่ใช้เป็น donor dope เข้าไปก่อน ดังนั้นครั้งแรกจึงใส่ BaCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> และ donor doped ion ซึ่งจะเป็น Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> หรือ La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> หรือ Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> เท่านั้น จากนั้นก็บดวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปครั้งแรก 46 ชั่วโมง แล้วต้มไล่ isopropanol และเผา calcine เหมือนการทดลองที่ 1 หลังจาก calcine แล้วจึงเติมสารที่ใส่ไปกระตุ้นเพิ่มสมบัติ PTCR คือ MnO<sub>2</sub> และสารที่ใส่ไปช่วยในการเผาผนึกคือ TiO<sub>2</sub> เข้าไป นำของผสมไปผสม 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/ซม<sup>2</sup> หรือแปลงเป็นหน่วย MPa ได้เท่ากับ 111, 133, 155, 177 และ 199 MPa ต่อจากนั้นก็นำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 °C และขัดผิวและฉาบโลหะตัวนำเหมือนการทดลองที่ 1 แล้ววัดสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR ด้วยวิธีเดียวกันกับการทดลองที่ 1

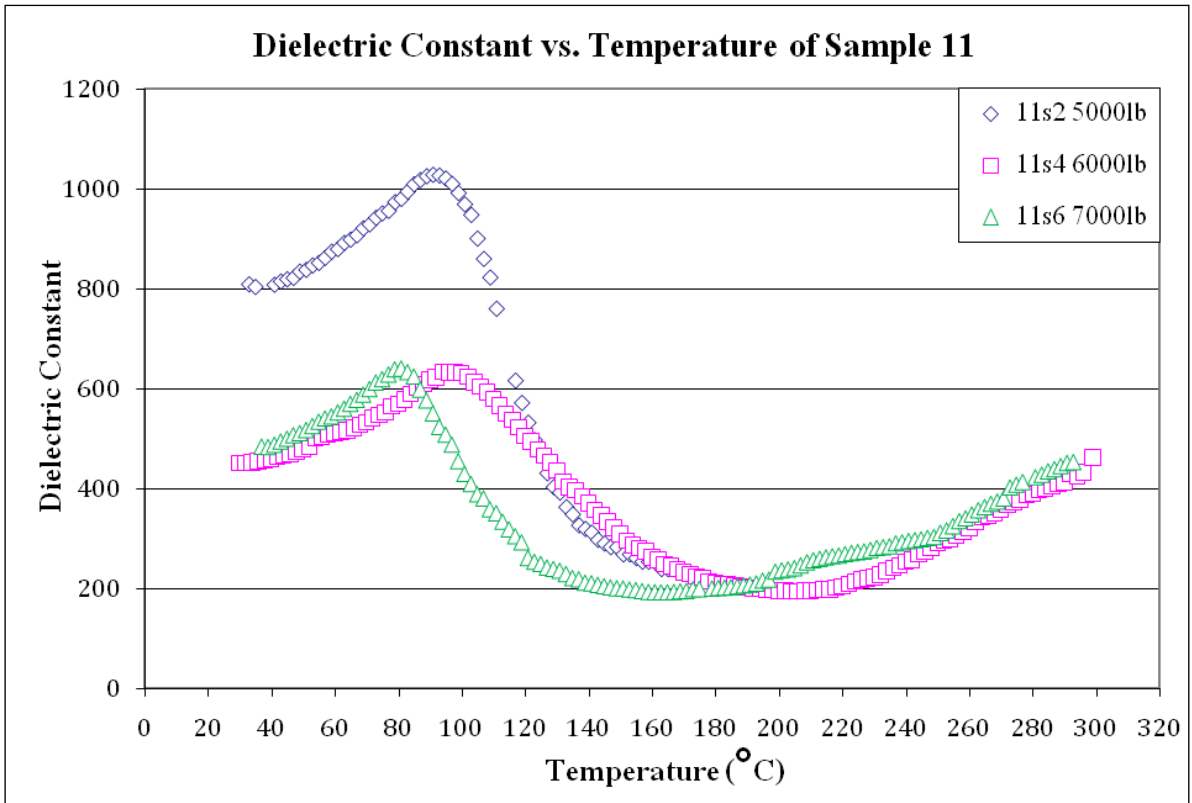


รูปที่ 33 วิธีการทดลองในการทดลองที่ 2

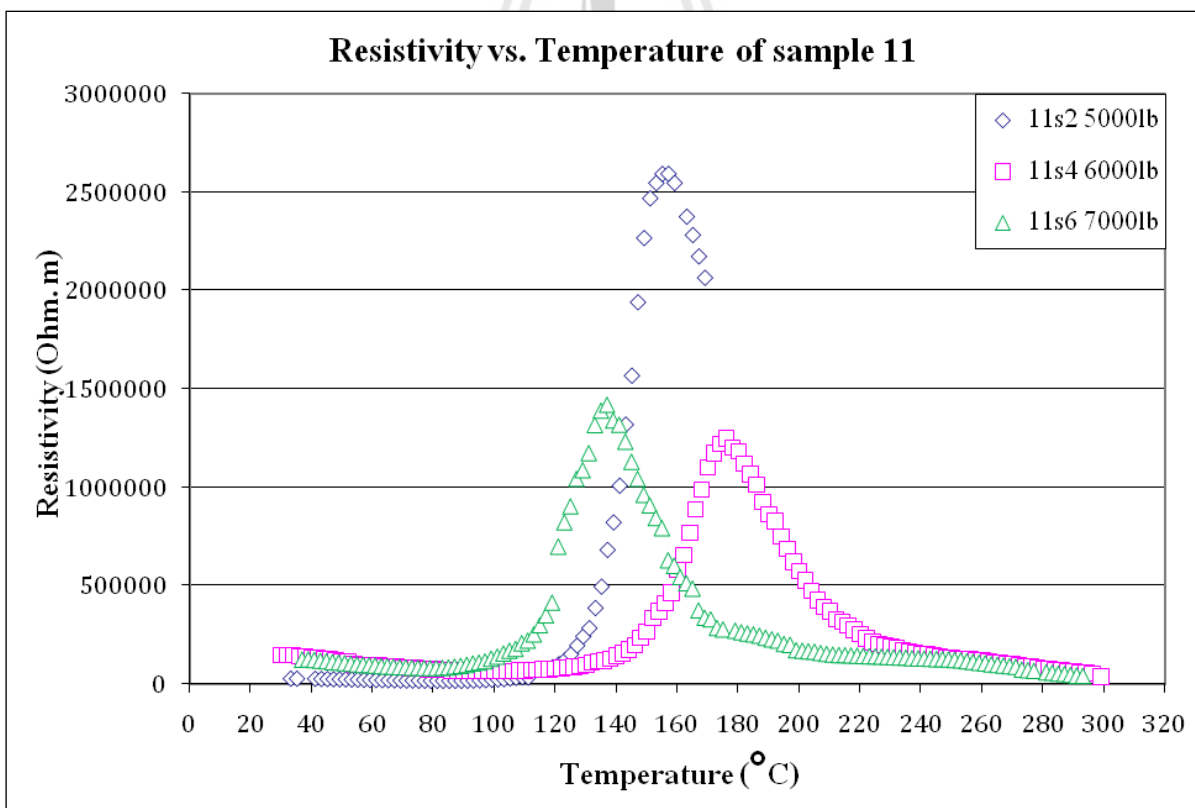
### ผลการทดลอง

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

รูปที่ 34 และรูปที่ 35 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000 และ 7000 ปอนด์ ซึ่งเผาผนึกที่ 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 เพราะว่าการ  $K'$



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



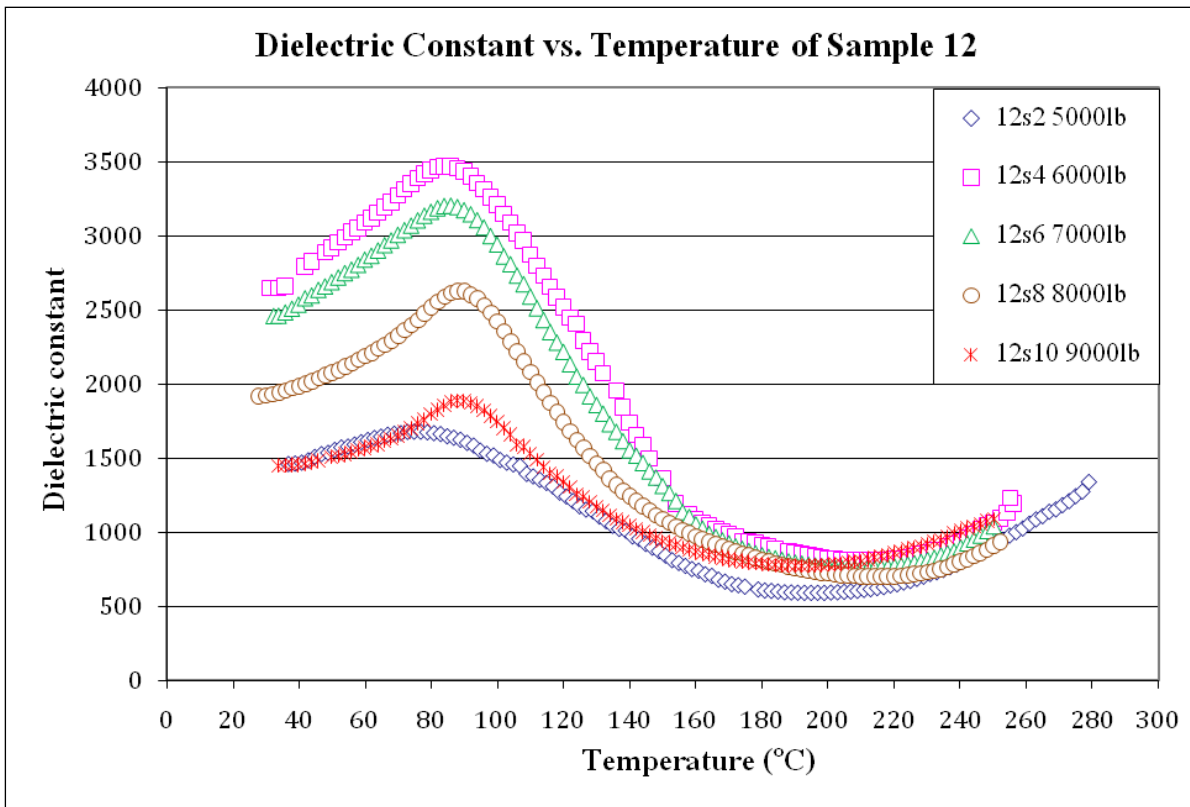
รูปที่ 35 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000-7000ปอนด์ เฝานี้กที่ 1300°C



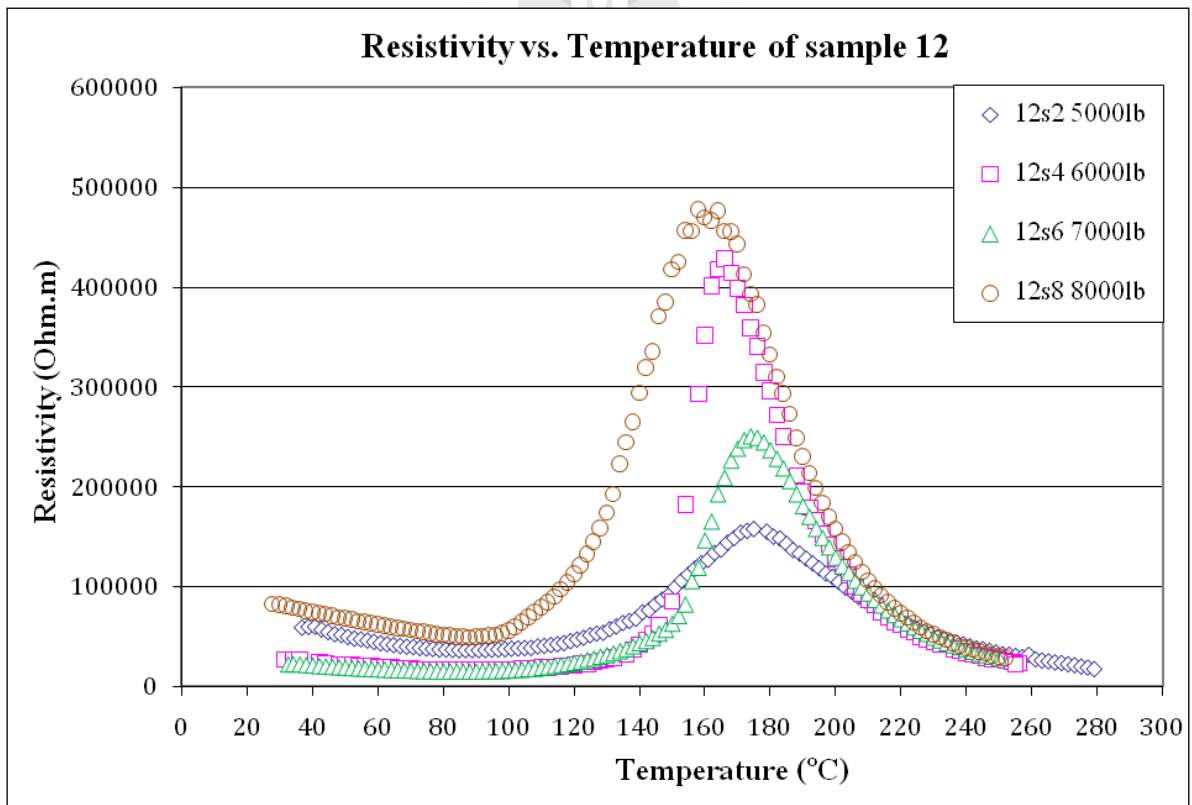
ของ PTCR ในการทดลองที่ 1 มี peak ที่เกิดจากการเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างชัดเจนขณะที่ PTCR ในการทดลองที่ 2 ไม่มี peak

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

รูปที่ 36 และ 37 แสดงค่า  $K'$  และ  $\rho$  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  $K'$  ไม่มากและการเปลี่ยนแปลงเป็นค่อยเป็นค่อยไปไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะกราฟไม่มี peak แแหลมสูงมาก กราฟรูปที่ 36 มีลักษณะเหมือนกับกราฟ  $K'$  ของตัวอย่างสูตรเดียวกันที่อัดด้วยความดัน 9000 ปอนด์ และเผาที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 1300 °C ในการทดลองที่ 1 (รูปที่ 28) แสดงว่าการลดแรงดันที่ใช้ในการอัดเม็ดและการแยกเติม MnO<sub>2</sub> และ TiO<sub>2</sub> ภายหลังในการทดลองนี้มีผลต่อสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ไม่มาก จากรูปที่ 37 จะเห็นว่า PTCR สูตร 12 ที่อัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000, 6000, 7000 และ 8000 ปอนด์ ในการทดลองนี้มีพฤติกรรมความเป็น PTCR เพราะ  $\rho$  มีค่าเพิ่มขึ้นหลายเท่าในช่วงอุณหภูมิแคบๆ นักวิจัยเรียกอัตราส่วนระหว่าง  $\rho_{\max}$  กับ  $\rho_{\min}$  ว่า PTCR jump จากรูปที่ 37 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 12 ที่อัดด้วยแรงดันต่างๆ มี PTCR jump ในช่วง 10-26 โดยที่ขึ้นที่อัดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์มี PTCR jump สูงสุด และขึ้นที่อัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์มี PTCR jump ต่ำสุด สังเกตว่าชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงอัดต่ำสุด (5000 ปอนด์) ไม่ได้แสดงพฤติกรรม PTCR มากที่สุดเหมือนกับ PTCR สูตร 11 ของการทดลองนี้ แสดงว่านอกจากความพรุนตัวแล้วน่าจะมีปัจจัยอื่นอีกที่ควบคุมพฤติกรรม PTCR ของชิ้นตัวอย่าง



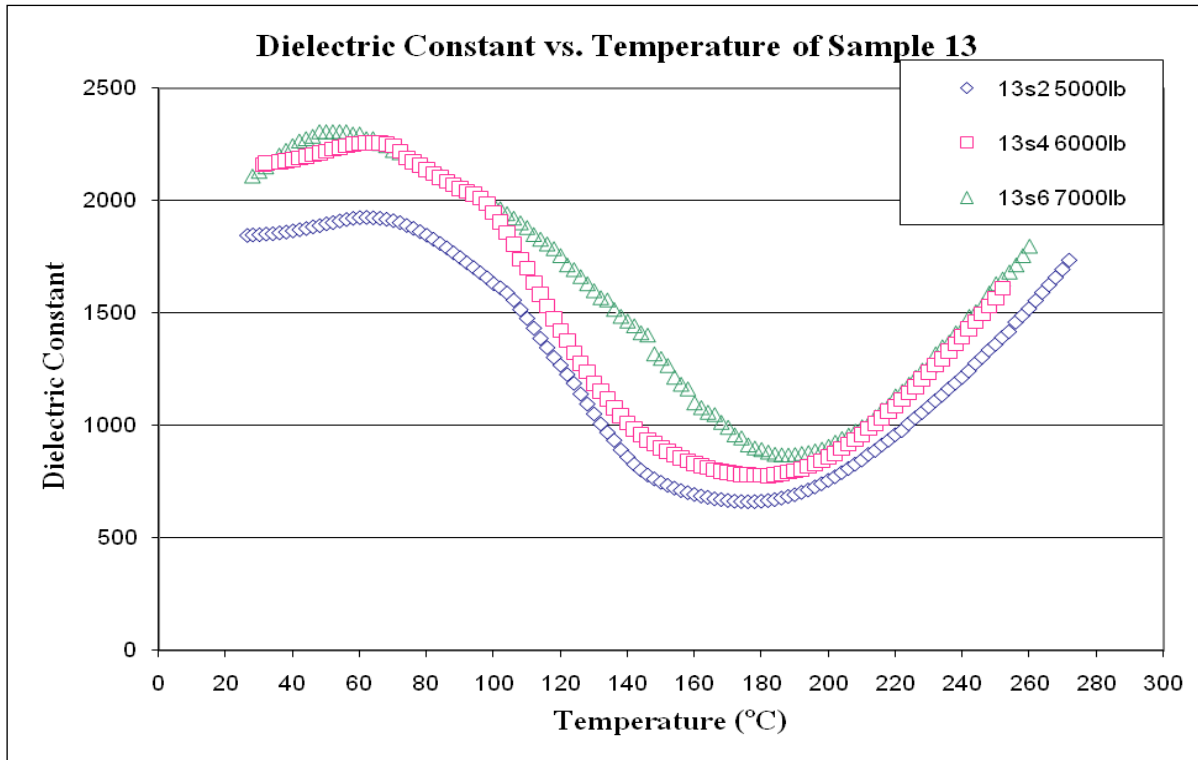
รูปที่ 36 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดัน 5000-9000ปอนด์ เพาพนี้กที่ 1300°C



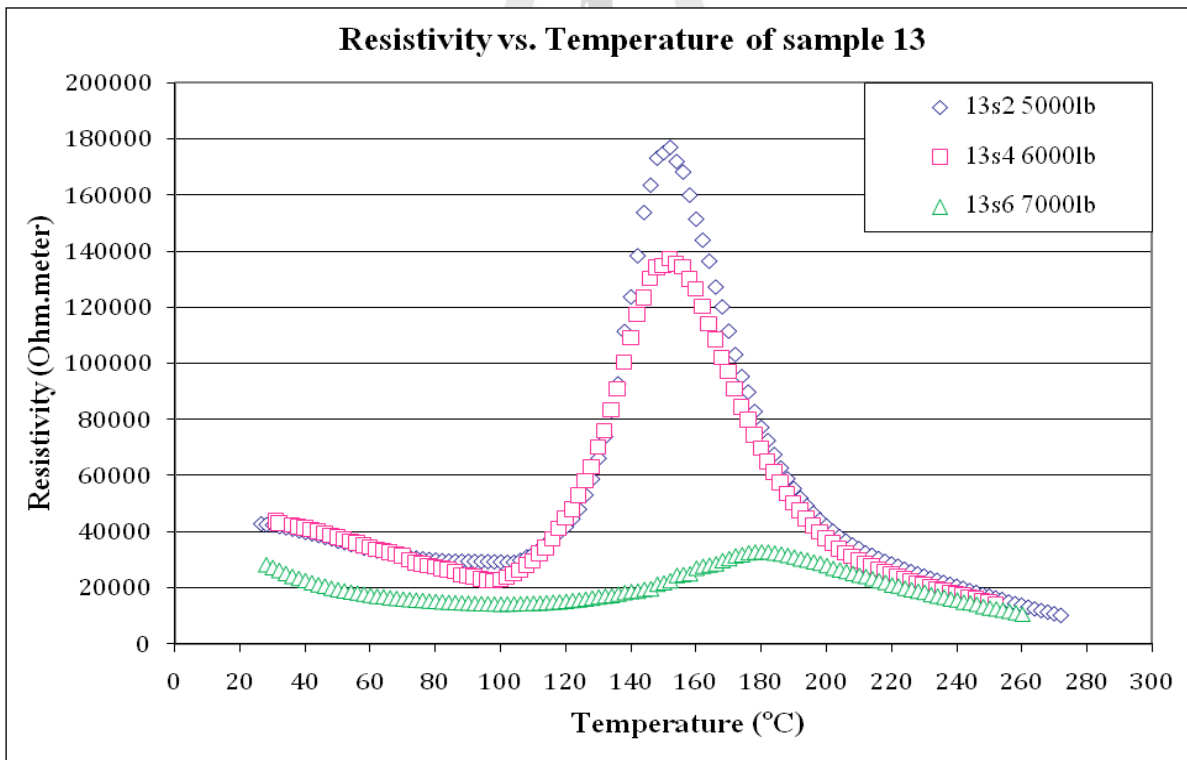
รูปที่ 37 สภาพความต้านทานของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000-7000ปอนด์ เพาพนี้กที่ 1300°C

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

รูปที่ 38 และ 39 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  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 แสดงว่าอาจจะไม่เกิดการเปลี่ยนสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกใน 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  $\rho$  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  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองนี้เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิที่  $K'$  มีค่าสูงสุด นี่อาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ชัดว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเสมอตามทฤษฎีของ Heywang, Jonker และ Daniels เสมอไปรูปที่ 38 และ 39 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  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 แสดงว่าอาจจะไม่เกิดการเปลี่ยนสมบัติเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกใน 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  $\rho$  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 PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆกัน



รูปที่ 39 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดเม็ดด้วยแรงดันต่างๆกัน

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  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองนี้เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วไม่อยู่ใกล้กับอุณหภูมิที่  $K'$  มีค่าสูงสุด นี่อาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ชัดว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเสมอตามทฤษฎีของ Heywang, Jonker และ Daniels เสมอไป

สรุปผลการทดลองที่ 2 จะเห็นว่า PTCR สูตร 11, 12 และ 13 ที่ผสมโดยแยกใส่  $MnO_2$  กับ  $TiO_2$  ภายหลัง และอัดด้วยแรงดันต่ำลง แล้วเผาผนึกที่  $1300\text{ }^{\circ}C$  ของการทดลองนี้ส่วนใหญ่มี  $K'$  ต่ำกว่า  $K'$  ของ PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิของ PTCR ในการทดลองนี้ไม่มี peak ที่แสดงให้เห็นอุณหภูมิคูรีอย่างชัดเจนเท่ากับ PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 แสดงว่า PTCR ของการทดลองนี้มีสมบัติไดอิเล็กทริกด้อยกว่า PTCR ในการทดลองที่ 1 จากกราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิของ PTCR ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า PTCR ในการทดลองนี้ส่วนใหญ่แสดงสมบัติ PTCR ได้มากกว่า PTCR สูตรเดียวกันในการทดลองที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นตัวอย่างที่อัดด้วยแรงดันต่ำๆ (5000 และ 6000 ปอนด์) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองของ Park<sup>10,12</sup> และ Kim<sup>11</sup> เป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิที่ PTCR สูตร 11 และ 12 เริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR (คือ  $\rho$  เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว) ตรงกันหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิคูรีของ PTCR ถึงแม้ว่ากราฟของ  $K'$  ที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้เป็นกราฟที่มี peak แห่ลมเด่นชัดก็ตาม แสดงว่าที่อุณหภูมิดังกล่าว PTCR สูตร 11 และ 12 อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริก อย่างไรก็ตามสำหรับ PTCR สูตร 13 อุณหภูมิที่วัสดุเริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR มีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิที่วัสดุมี  $K'$  สูงสุดมากนอกจากนี้กราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิของ PTCR ดังกล่าวก็แทบไม่มี peak ให้เห็นเลย ผลการทดลองดังกล่าวอาจจะเป็นหลักฐานสำคัญที่ชี้ให้เห็นได้ว่าพฤติกรรม PTCR ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นต่อเมื่อวัสดุเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกตามทฤษฎีของ Heywang<sup>1,2</sup> และ Jonker<sup>3,6</sup>

### บทที่ 3

### การทดลองที่ 3

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาแหล่งทำความร้อน PTCR เซรามิกในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้กันในห้องตลาด

#### ความเป็นมา

ปัจจุบันมีการนำ PTCR เซรามิกไปใช้ทำแทนทำความร้อนในเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันหลายชนิด เช่น

- 1) เครื่องอุ่นน้ำชา (Tea warmer)



รูปที่ 40 เครื่องอุ่นน้ำชา

- 2) เครื่องทำความอบอุ่นในห้อง (Room heater)



รูปที่ 41 เครื่องทำความอบอุ่นในห้อง

## 3) เครื่องรีดผม (Hair iron)



รูปที่ 42 เครื่องรีดผม

## 4) ตัวให้ความร้อนในรถยนต์ (Car heater)



รูปที่ 43 ตัวให้ความร้อนในรถยนต์ (web vvvortex.com)

## 5) เครื่องอุ่นเชื้อเพลิง

เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางไดอิเล็กทริกของ PTCR ซึ่งผลิตขึ้นโดยโรงงานผลิตชิ้นส่วน PTCR สำหรับนำไปใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า การทดลองนี้จึงนำเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้แก่งทำความร้อน PTCR มาถอดเอาชิ้น PTCR ในเครื่องใช้ไฟฟ้าออกมา แล้วศึกษาองค์ประกอบและวัสดุสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR ของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า

## วิธีการทดลอง

1) นำเครื่องใช้ไฟฟ้ามาถอดออกเป็นชิ้นๆ เพื่อหาชิ้น PTCR ในเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ดูภาพขั้นตอนการถอดเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อนำชิ้น PTCR ออกมาที่ภาคผนวก ข)

2) แบ่งชิ้น PTCR ที่ถอดจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์หาออกไซด์และวัฏภาคที่เป็นองค์ประกอบของ PTCR ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence และ X-ray diffractometer ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence นั้นส่งไปวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer วิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีซึ่งเป็นเครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D5005 ผลิตโดยบริษัท Bruker ประเทศเยอรมนี ส่วนที่ 2 นำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) รุ่น JSM 6400 ผลิตโดยบริษัท Jeol ประเทศญี่ปุ่น เตรียมตัวอย่างด้วยสำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีการ fracture surface และวิธี thermal etching โดยนำชิ้นตัวอย่างไปขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทรายจากเบอร์หยาบไปถึงเบอร์ละเอียด และสุดท้ายขัดด้วยผงกากเพชรต่อจากนั้นนำไปเผาจากอุณหภูมิห้องถึง  $1100^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที เมื่อถึง  $1100^{\circ}\text{C}$  แล้วเย็นไฟไว้ 60 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราการลดอุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  ต่อนาที ต่อจากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยอนุภาคทองบางๆ แล้วจึงนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

3) นำชิ้น PTCR ไปวัดค่าความเก็บประจุ (Capacitance;  $C_p$ ) และความต้านทานไฟฟ้า (Resistance ;R) แล้วคำนวณหาค่าคงที่ไดอิเล็กทริกกับสภาพความต้านทานด้วยวิธีเดียวกันกับวิธีที่กล่าวถึงในการทดลองที่ 1

## ผลการทดลอง

1) ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของ PTCR ที่ใช้ในทางการค้าด้วยเครื่อง X-ray fluorescence จากตารางจะเห็นว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ามีองค์ประกอบหลักเป็น  $\text{BaO}$ ,  $\text{PbO}$  และ  $\text{TiO}_2$  แสดงว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าเป็นสารประกอบจำพวก  $\text{Ba}_{1-x}\text{Pb}_x\text{TiO}_3$  นอกจากนี้มีองค์ประกอบรองเป็น  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ซึ่งอาจจะเป็นตัวที่ช่วยในการเผาผนึกตามที่กล่าวถึงในงานวิจัยของ Bomlai<sup>13</sup> และ Lee กับคณะ<sup>14</sup> นอกจากนี้ยังมี  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  ซึ่งน่าเป็นออกไซด์ที่เติมลงไปเพื่อให้  $\text{Nb}^{5+}$  ออกมาเป็น donor ion ซึ่งจะช่วยให้  $\text{Ba}_{1-x}\text{Pb}_x\text{TiO}_3$  แสดงสมบัติ PTCR ออกมา นอกจากนี้ยังมี  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ซึ่งคงจะเป็นพวกที่ให้ไอออนของธาตุแทรนซิชันซึ่งเติมลงไปเพื่อกระตุ้นให้สมบัติ PTCR เด่นชัดขึ้นดังที่กล่าวอ้างบทความของ Ueoka<sup>4</sup>



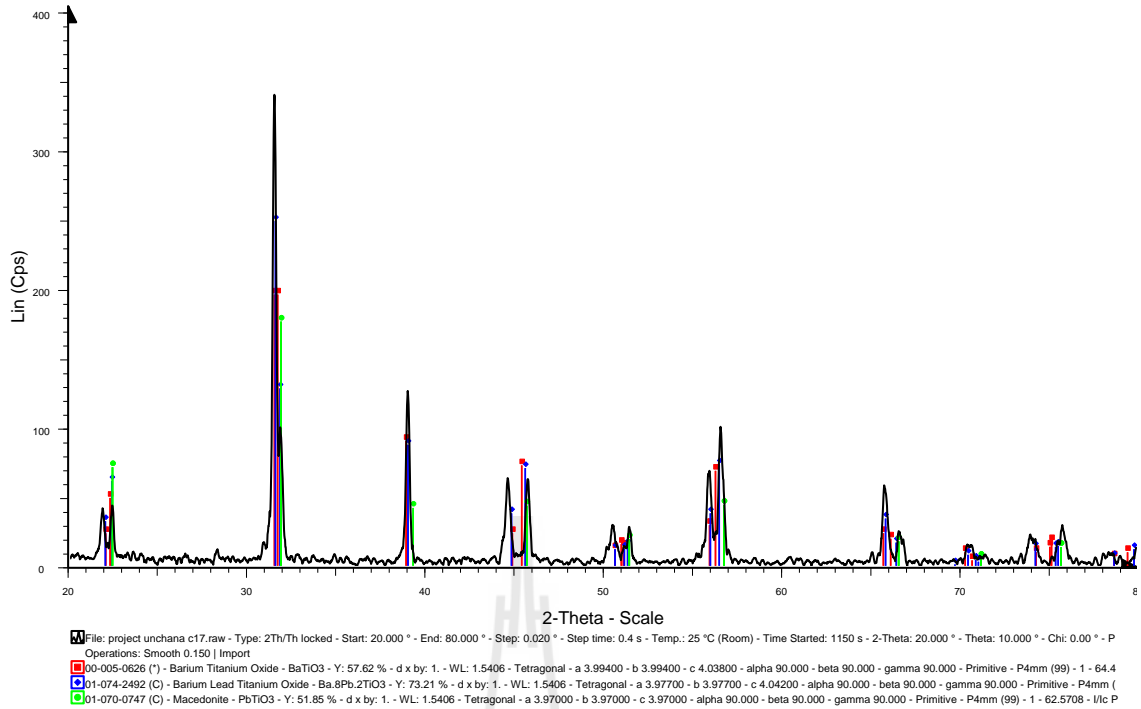
ตารางที่ 3 ออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C14 และ C6

No	Oxides	C6	C14
1	Barium oxide (BaO)	43.80	44.50
2	Lead oxide (PbO)	25.70	23.90
3	Titanium dioxide (TiO <sub>2</sub> )	27.90	27.90
4	Silica (SiO <sub>2</sub> )	1.07	1.03
5	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.52	1.18
6	Calcium oxide (CaO)	0.40	0.34
7	Ferric oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.00	0.26
8	Niobium Pentoxide (Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.17	0.21

2) รูป 44 และ 45 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17 และ C15 จากรูปแสดงว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ามีวัฏภาคหลักเป็น Ba<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> แต่เพียงอย่างเดียวไม่มี peak ของวัฏภาคแปลกปลอม แสดงว่าสารเติมแต่งซึ่งได้แก่ SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เติมลงไปช่วยในการเผาผนึก Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ที่เติมลงไปให้เกิดสมบัติ PTCR และ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เติมเข้าไปเพิ่มกระตุ้นให้สมบัติ PTCR คงจะมีปริมาณน้อยเกินไปหรือสามารถละลายเข้าไปในวัฏภาค Ba<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> ได้ดีจึงไม่ทำให้เกิด peak ของวัฏภาคใหม่หรือ 2<sup>nd</sup> phase ออกมา

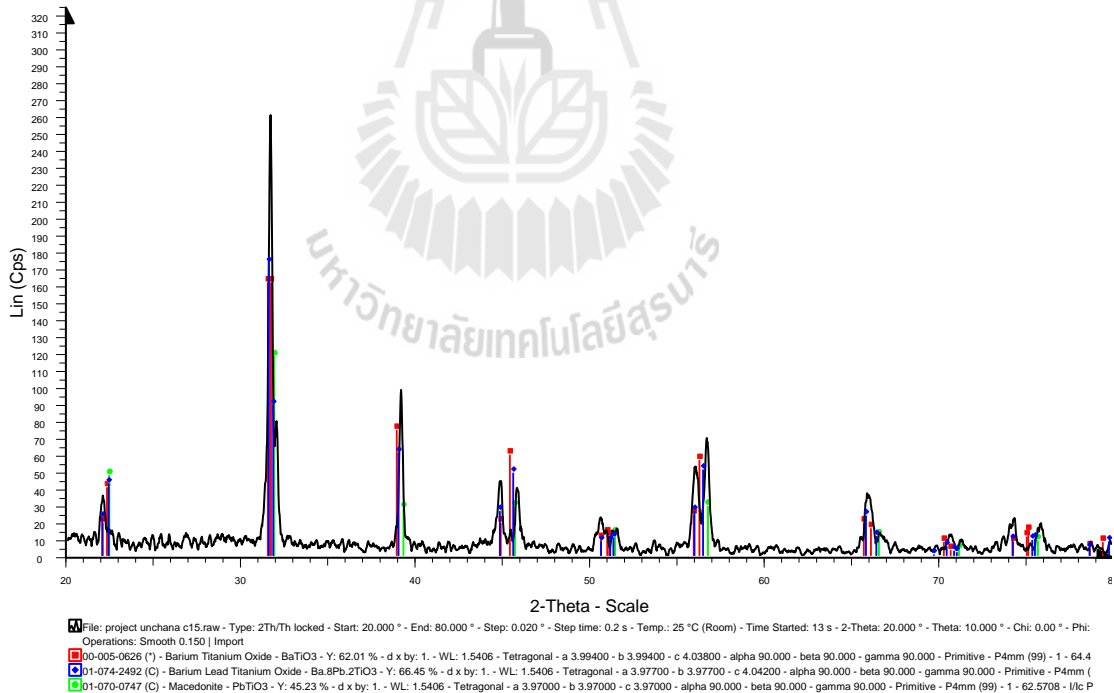
3) รูปที่ 46, 47 และ 48 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15 ที่กำลังขยายต่างๆ กัน ใช้วิธีลากเส้นตัดแล้วคำนวณขนาดของ grain ในรูปทั้งสามจะได้ว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ามี grain size ขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.05  $\mu\text{m}$  รูปที่ 49 และ 50 เป็นภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17 ซึ่งเตรียมตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพด้วยวิธี fracture surface จะเห็นว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17 มี grain size ขนาดใกล้เคียงกับ C15 อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 49 จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคเม็ดเล็กๆ เป็นแทบเป็นก้อนเกาะติดเป็นกลุ่มๆ บนผิวชิ้นตัวอย่าง C17 ซึ่งอาจจะเกิดจากการขัดผิวเอาสิ่งสกปรกออกจากผิวตัวอย่างไม่หมด

## C17

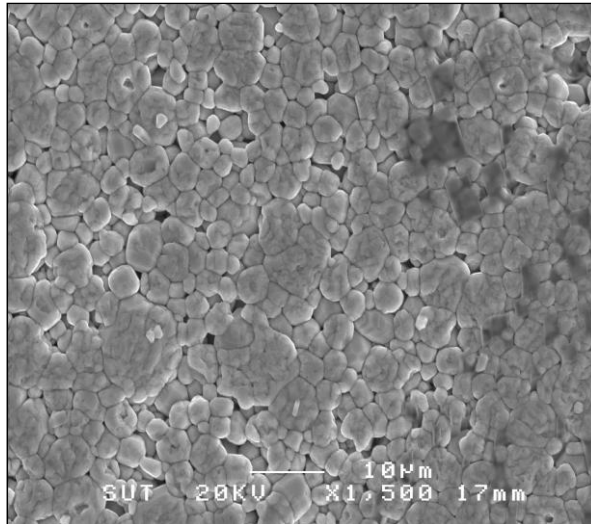


รูปที่ 44 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR เซิงการค้ำหมายเลข C17

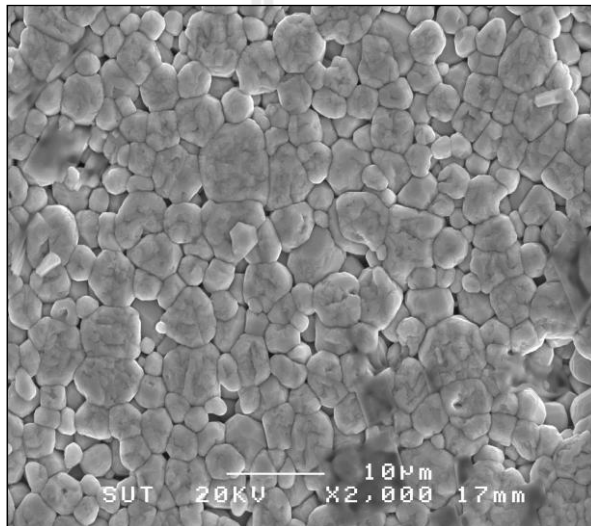
## C15



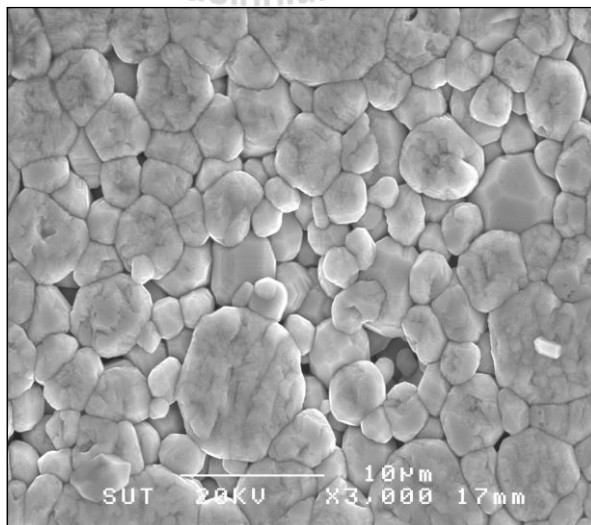
รูปที่ 45 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR เซิงการค้ำหมายเลข C15



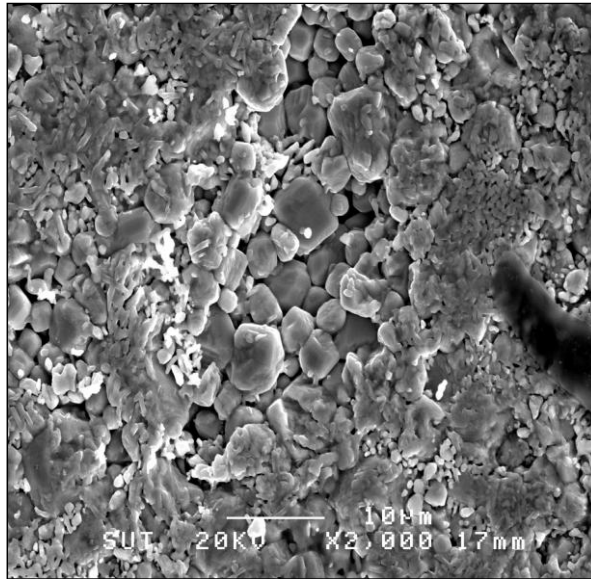
รูปที่ 46 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTZR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15



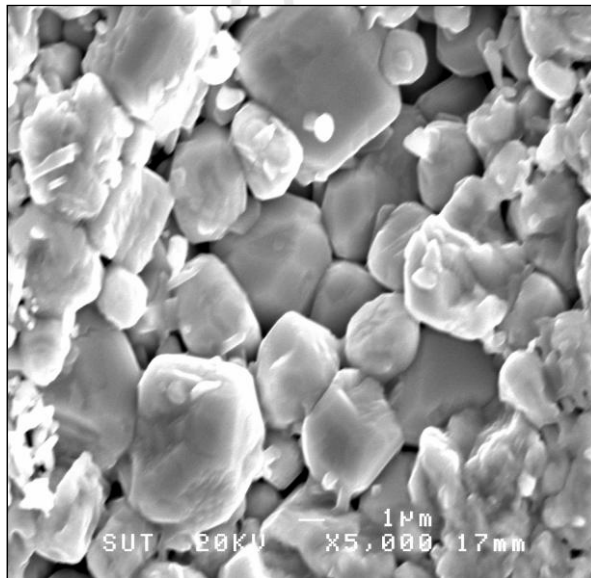
รูปที่ 47 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTZR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15



รูปที่ 48 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTZR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C15



รูปที่ 49 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17



รูปที่ 50 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข C17

4) รูปที่ 51 และ 52 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR ที่ใช้ในทางการค้าหมายเลข C17 จากรูปที่ 51 จะเห็นว่า PTCR ทางการค้าหมายเลข C17 มีอุณหภูมิคูรีประมาณ 280 °C และจากรูปที่ 52 จะเห็นได้ว่า เมื่อให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างผ่านอุณหภูมินี้  $\rho$  ของขึ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 100  $\Omega\text{m}$  เป็น 500  $\Omega\text{m}$  เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ใช้ในเชิงการค้าหมายเลข 17 มี  $K'$  สูงกว่า และ  $\rho$  ต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมในการทดลองที่ 1 และ 2 ที่ผ่านมามาก

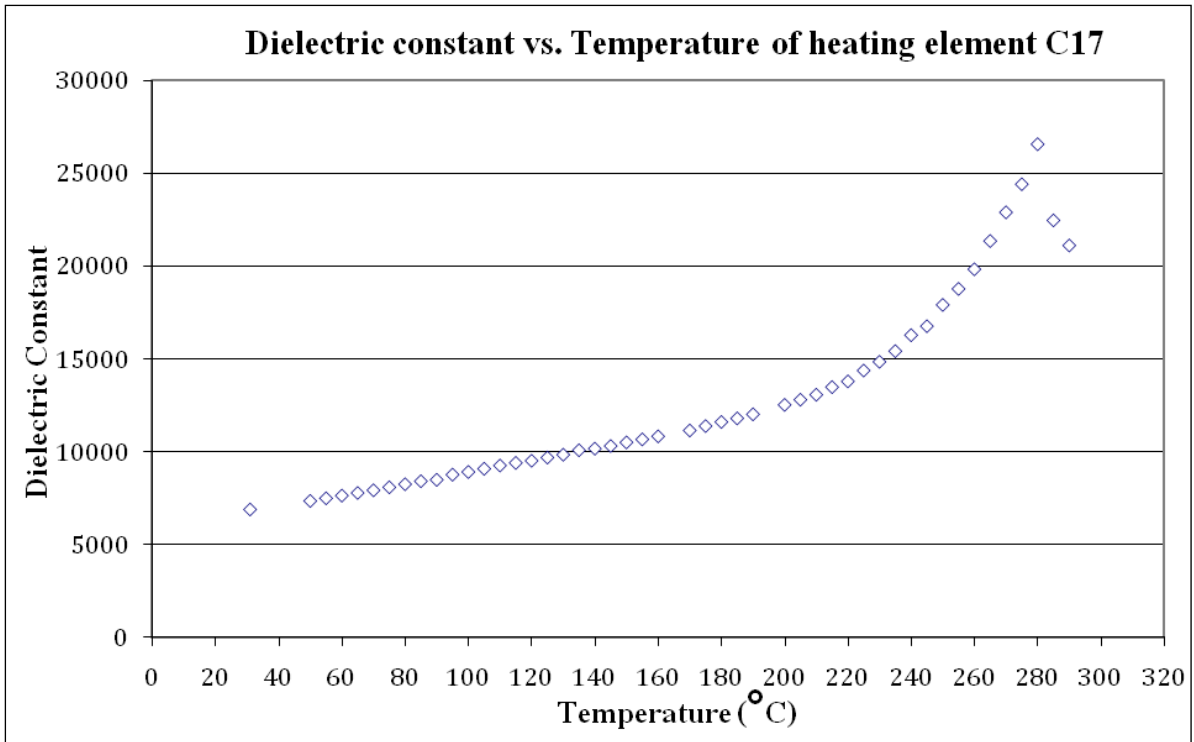
รูปที่ 53 และ 54 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR ที่ใช้ในทางการค้าหมายเลข C12 เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 53 และ 54 กับรูปที่ 51 และ 52 จะเห็นว่า C12 มีพฤติกรรมเหมือนๆ กับ C17 เลย ที่

แตกต่างกันคือขึ้นตัวอย่างหมายเลขที่ C12 จะเริ่มแสดงพฤติกรรม PTCR ที่อุณหภูมิคูรีซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิคูรีของขึ้นตัวอย่างหมายเลขที่ C17 เล็กน้อย

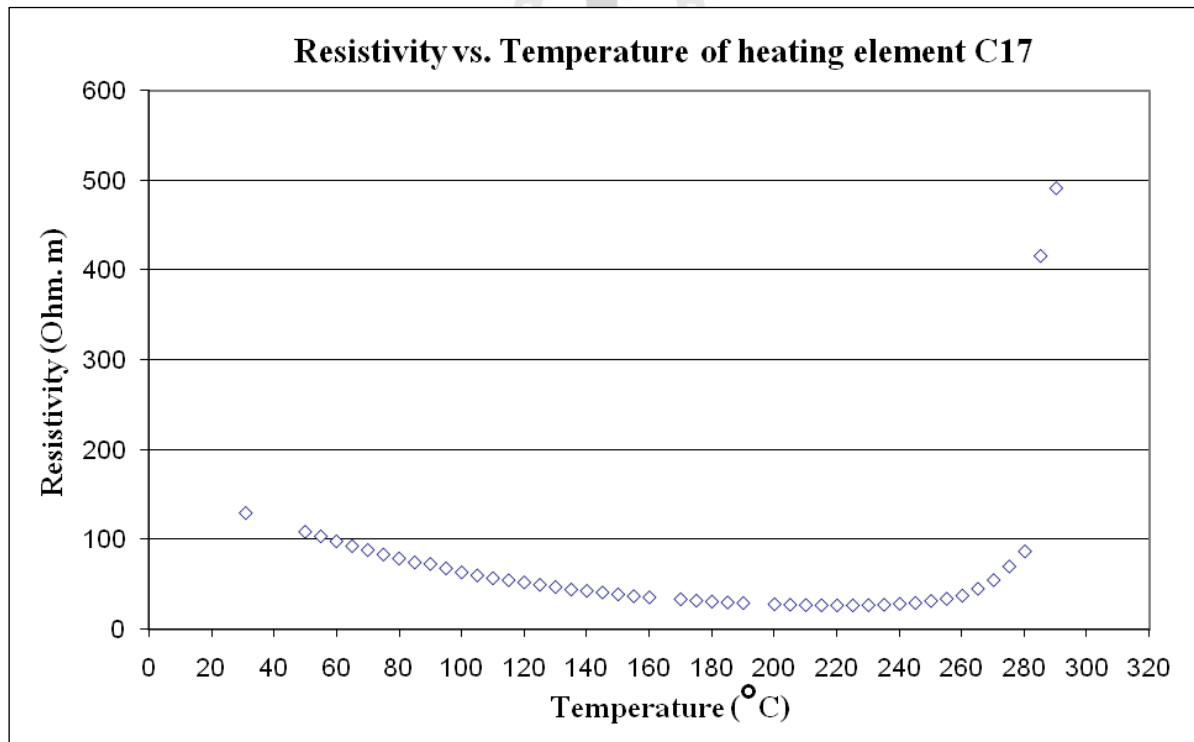
รูปที่ 55 และ 56 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR ที่ใช้ในทางการค้าหมายเลข C15 จากรูปที่ 55 จะเห็นว่า C15 มีอุณหภูมิคูรีและจุดที่เริ่มเกิดสมบัติ PTCR ใกล้เคียงกับ C12 เพื่อให้เห็นสมบัติความเป็น PTCR ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงเขียนกราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิอีกแบบหนึ่งโดยใช้แกน  $y$  ของกราฟเป็นแกน logarithm ได้ดังกราฟรูปที่ 57 จากรูปที่ 57 จะเห็นว่า  $\log$  ของสภาพความต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น  $2\frac{1}{2}$  เท่า เรียก  $\log \rho$  ที่เพิ่มขึ้น  $2\frac{1}{2}$  เท่าว่าเพิ่มขึ้น 2 order of magnitudes นอกจากนี้ในรูปที่ 57 ยังแสดงการหา PTCR jump ด้วย ซึ่งหาได้โดยนำ  $\rho$  ที่มีค่าต่ำสุด ( $\rho_{\min}$ ) ไปหาร  $\rho$  ที่มีค่าสูงสุด ( $\rho_{\max}$ ) ได้เป็น PTCR jump จากรูปที่ 34  $\rho_{\max}$  และ  $\rho_{\min}$  เท่ากับ 4400 และ 18 ตามลำดับ ดังนั้น  $\text{PTCR jump} = 4400 \div 18 = 244$

โดยสรุปจากการทดลองที่ 4 จะเห็นว่า PTCR ซึ่งใช้ในทางการค้าที่นำมาทดสอบมีวิฎภาคเป็น  $\text{Ba}_{1-x}\text{Pb}_x\text{TiO}_3$  dope ด้วย Nb มีการเติม  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ไปช่วยในการเผาผนึก และมีการเติม Fe ลงไปช่วยกระตุ้นให้มีสมบัติ PTCR มากยิ่งขึ้น มีอุณหภูมิคูรีประมาณ  $250^\circ\text{C}$  และมี  $\rho$  ที่อุณหภูมิห้องค่อนข้างต่ำคือประมาณ 50 – 200 Ohm-meter เมื่อได้รับความร้อนเกินกว่าอุณหภูมิคูรีสามารถเกิด PTCR jump ประมาณ 240 เท่า หรือ  $2\frac{1}{2}$  order of magnitude

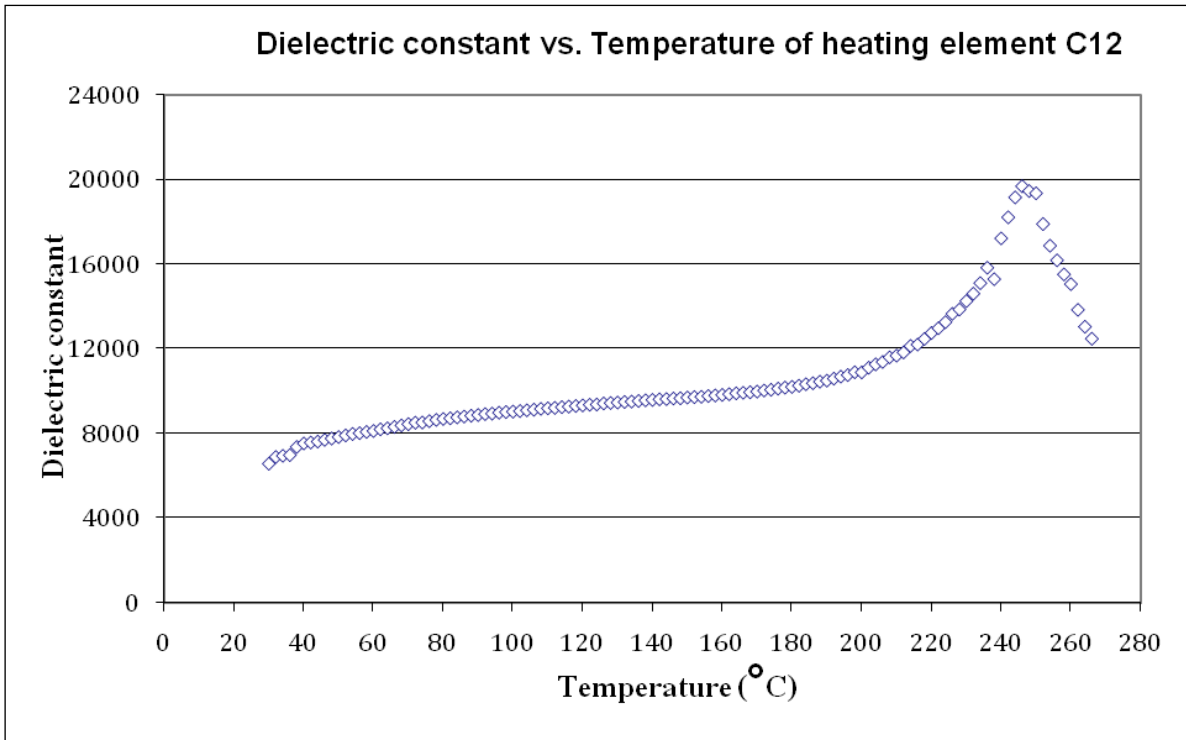




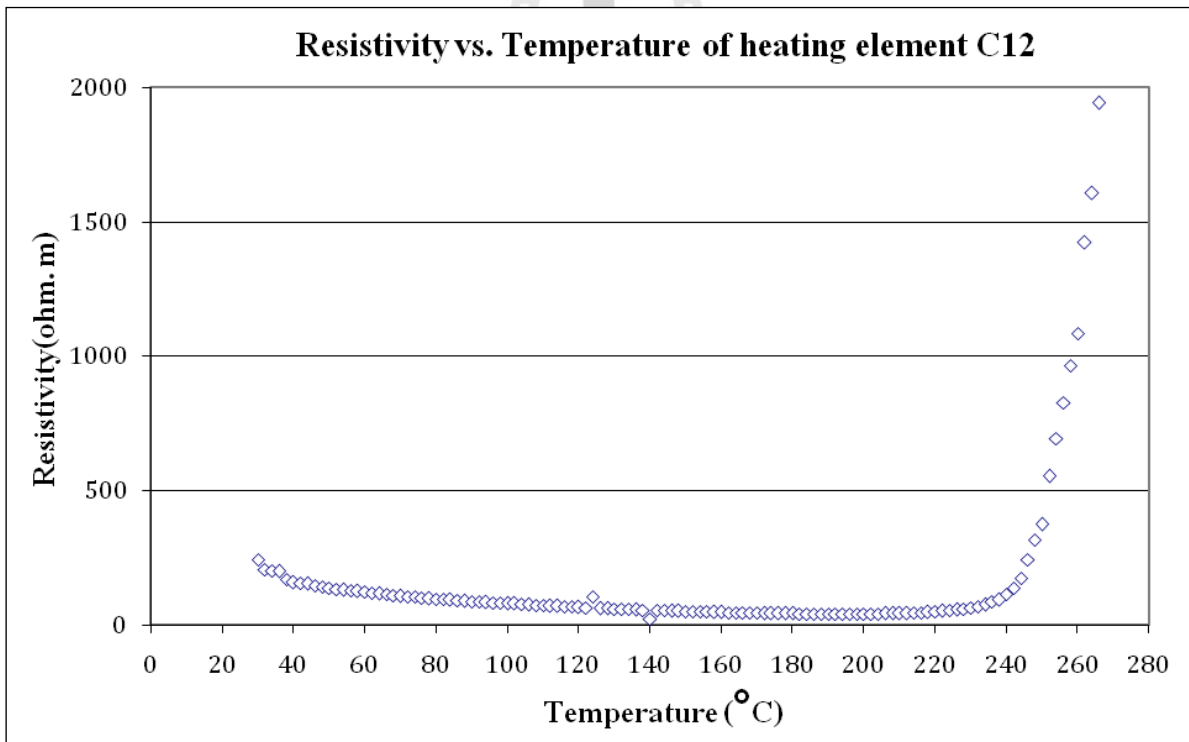
รูปที่ 51 ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C17



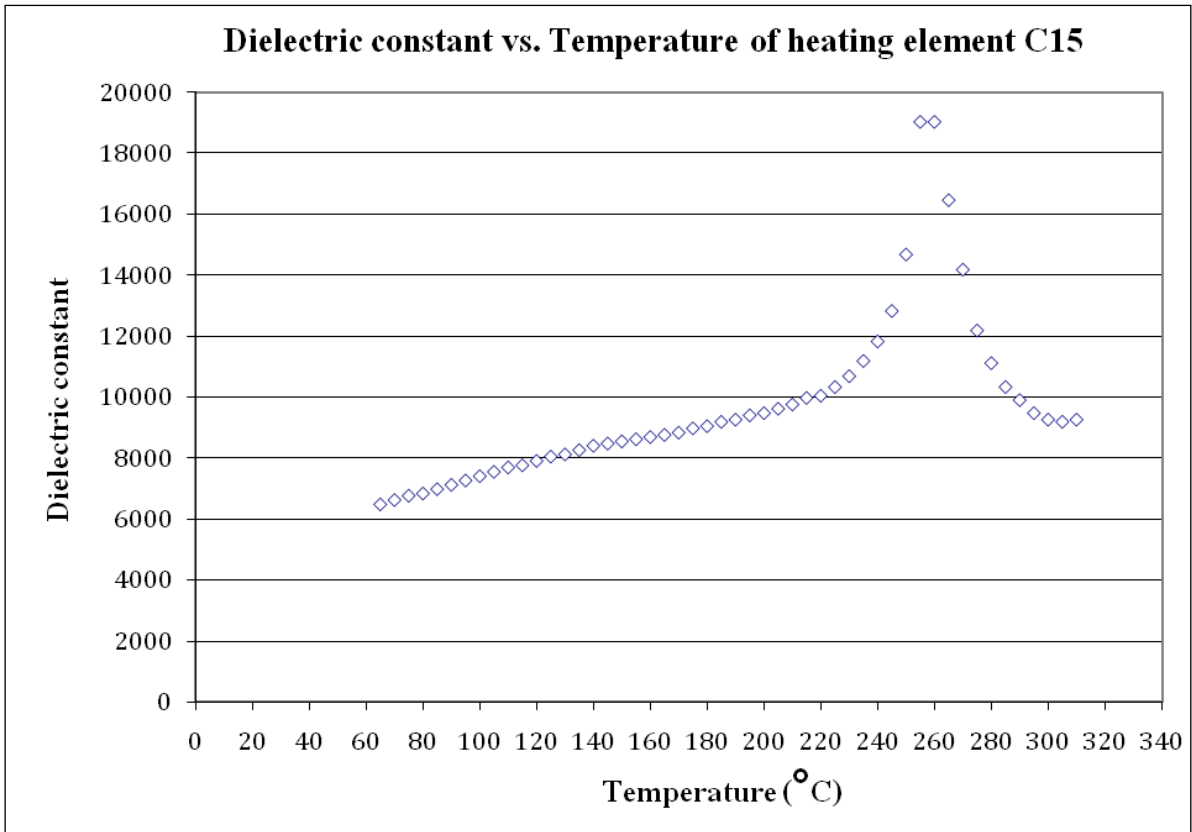
รูปที่ 52 สภาพต้านทานไฟฟ้าของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C17



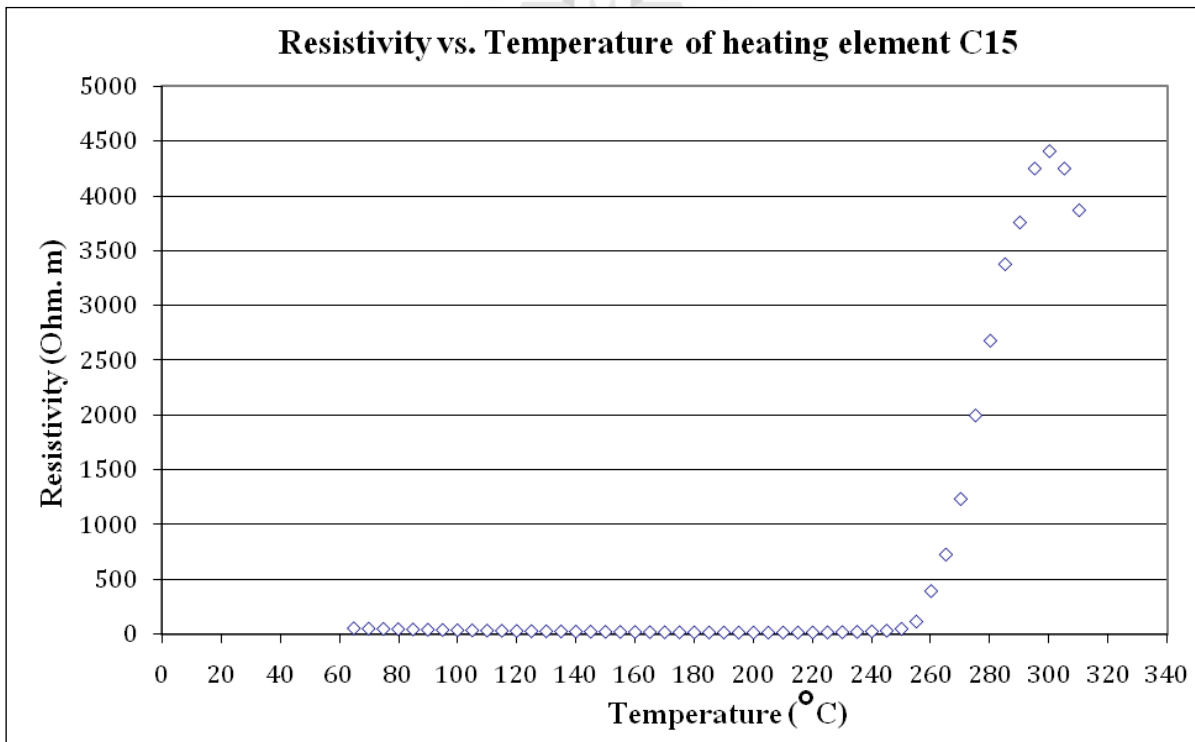
รูปที่ 53 ค่าคงที่ได้อิเล็กทริกของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C12



รูปที่ 54 สภาพความต้านทานของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C12

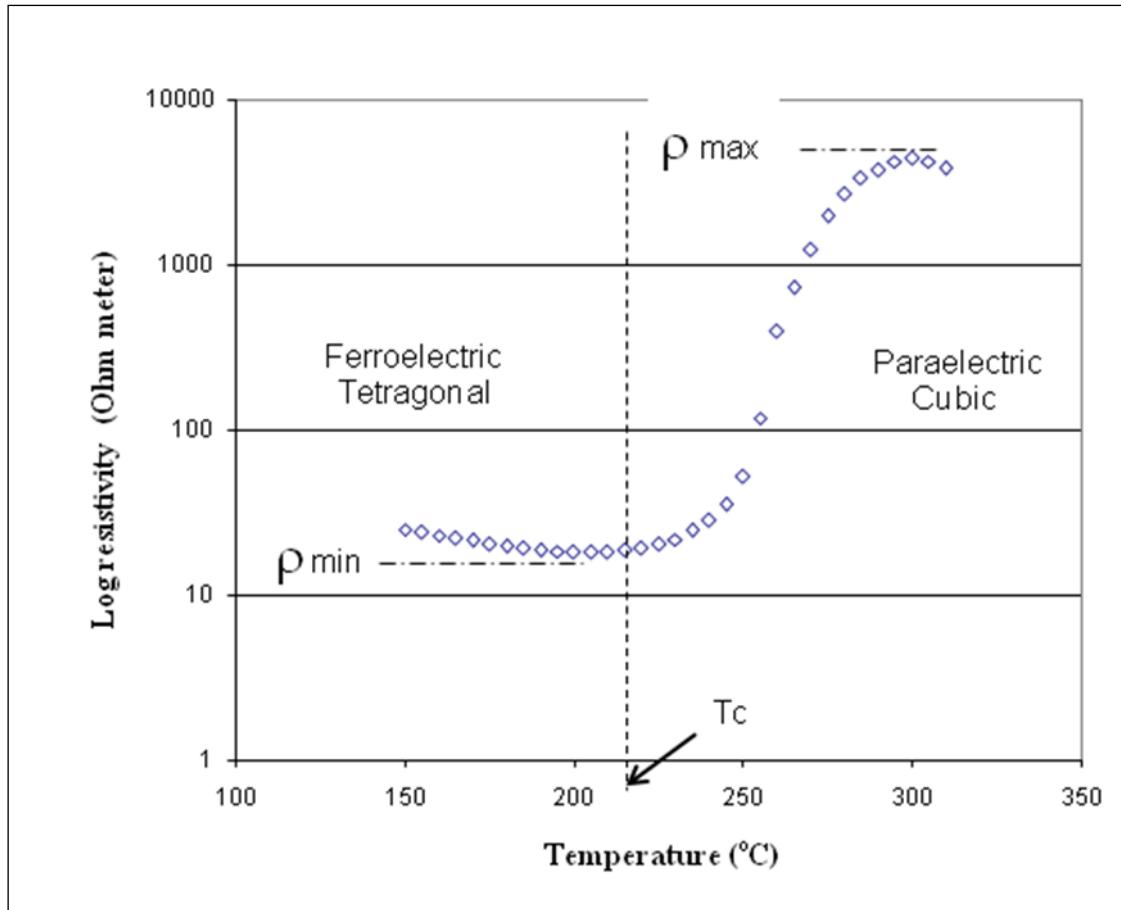


รูปที่ 55 ค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C15



รูปที่ 56 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR ที่ใช้ทางการค้าหมายเลข C15





รูปที่ 57 Logarithm ของสภาพความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของ PTCR ทางการค้าหมายเลขที่ C15



## บทที่ 4

### การทดลองที่ 4

#### จุดประสงค์

เพื่อเพิ่มอุณหภูมิคูรีของ PTCR ที่สังเคราะห์ขึ้นมาเองให้สูงขึ้น

#### ความเป็นมา

จากการทดลอง 3 ที่ผ่านมามองเห็นได้ชัดว่า PTCR ที่ใช้ในทางการค้ามีอุณหภูมิคูรีค่อนข้างสูงกว่า BaTiO<sub>3</sub> ธรรมดา (ซึ่งมีอุณหภูมิคูรีที่ประมาณ 120-130°C) และจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่าใน PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ามี Pb เป็นองค์ประกอบสำคัญด้วย ตามทฤษฎีแล้วการเติม Pb เข้าไปใน BaTiO<sub>3</sub> จะทำให้อุณหภูมิคูรีของ BaTiO<sub>3</sub> สูงขึ้น<sup>15</sup> ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทดลองผสม PTCR สูตรใหม่ที่มี Pb เป็นส่วนผสม

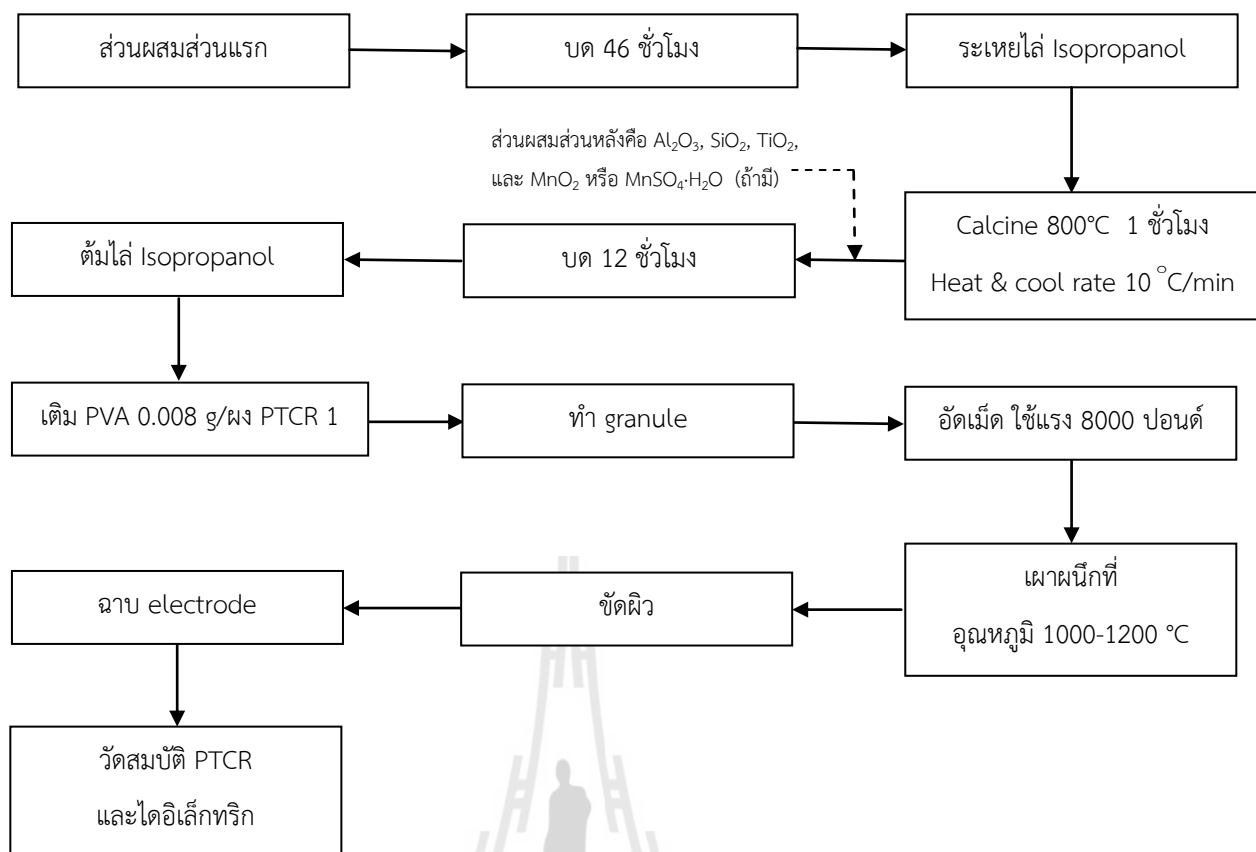
#### วิธีการทดลอง

- 1) ผสม PTCR สูตรที่ 14, 15, 16 และ 17 ตามส่วนผสมในภาคผนวก ก4) ถึง ก7) จากสูตรส่วนผสมจะเห็นได้ว่าแบ่งวัตถุดิบในแต่ละสูตรออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นวัตถุดิบที่ใช้ทำเป็นวัสดุภาคหลักคือ Ba<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> ที่เติม donor ion เข้าไปเพื่อให้แสดงสมบัติ PTCR และส่วนหลังซึ่งประกอบด้วย Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> และ MnO<sub>2</sub> หรือ MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O (ถ้ามี) เป็นส่วนที่ใส่เข้าไปภายหลังจากวัตถุดิบส่วนแรกทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นหลังจาก calcine วัตถุดิบส่วนแรกให้เกิดเป็น donor Ba<sub>1-x</sub>Pb<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> แล้ว ตารางที่ 4 เป็นสูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 14-17 และรูปที่ 58 เป็นแผนภูมิแสดงวิธีการเตรียมตัวอย่างสูตร 14-17

ตารางที่ 4 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 14, 15, 16 และ 17

สูตร	สูตรเคมี
14	(Ba <sub>0.797</sub> Pb <sub>0.2</sub> )La <sub>0.003</sub> TiO <sub>3</sub> + 0.0167Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0.0375SiO <sub>2</sub> + 0.0127TiO <sub>2</sub> + 0.0127MnO <sub>2</sub>
15	(Ba <sub>0.797</sub> Pb <sub>0.2</sub> )La <sub>0.003</sub> Ca <sub>0.005</sub> Ti <sub>0.995</sub> O <sub>3</sub> + 0.0167Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0.0375SiO <sub>2</sub> + 0.0127TiO <sub>2</sub>
16	(Ba <sub>0.797</sub> Pb <sub>0.2</sub> )La <sub>0.003</sub> TiO <sub>3</sub> + 0.0167Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0.0375SiO <sub>2</sub> + 0.0127TiO <sub>2</sub> + 0.0127MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O
17	(Ba <sub>0.797</sub> Pb <sub>0.2</sub> )La <sub>0.003</sub> Mn <sub>0.005</sub> Ti <sub>0.995</sub> O <sub>3</sub> + 0.0167Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0.0375SiO <sub>2</sub> + 0.0127TiO <sub>2</sub>

- 2) เผาขึ้นตัวอย่างที่ได้ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันตั้งแต่ 1000-1200 °C ด้วย profile การเผาดังนี้
  - 2.1 ให้ความร้อนขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึง 550 °C ด้วย heating rate 1°C/นาที
  - 2.2 ยืนไฟที่ 550 °C 120 นาทีเพื่อเผาไล่ binder ออกไป
  - 2.3 ให้ความร้อนขึ้นจาก 550 °C ไปยังอุณหภูมิเผาขึ้น 1000 หรือ 1100 หรือ 1150 หรือ 1200 °C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 °C/นาที



รูปที่ 58 แผนภูมิแสดงวิธีการทดลองในการทดลองที่ 4

2.4 ยื่นไฟที่อุณหภูมิสูงสุดเผาพูนิกในข้อ 2.3 นาน 60 นาที

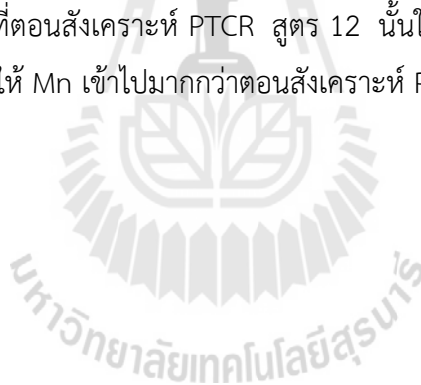
2.5 ลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิเผาพูนิกมาที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราเร็ว 10 °C/นาที

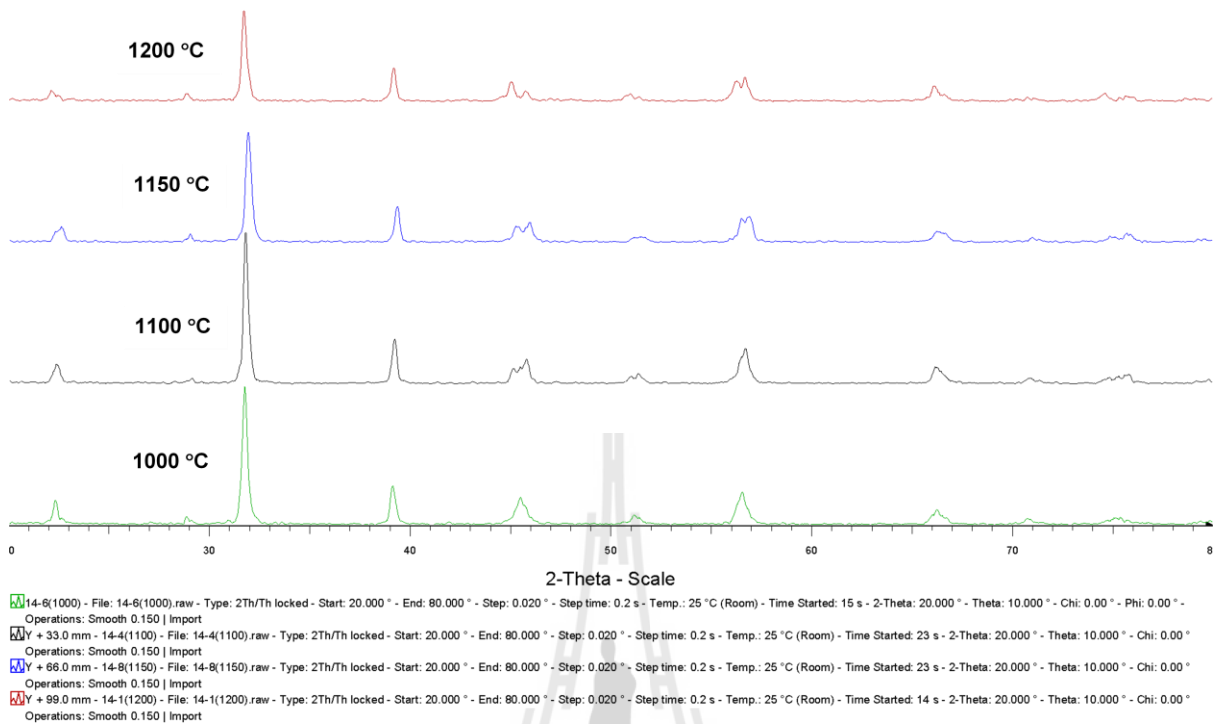
#### ผลการทดลอง

รูปที่ 59-62 และภาคผนวก ค31-ค46 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14-17 ซึ่งเผาพูนิกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C จากรูปจะเห็นได้ว่า กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR ทั้ง 4 สูตรซึ่งเผาพูนิกที่อุณหภูมิต่างๆ ส่วนใหญ่ยังคงมีวิวัฒนาการคล้ายๆ กับกราฟ X-ray diffraction ของ BaTiO<sub>3</sub> มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเผาพูนิกที่อุณหภูมิต่างกัน กล่าวคือเมื่อเผาพูนิกที่อุณหภูมิสูงขึ้นกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR ส่วนใหญ่มีการแยกตัวของ peak ที่  $2\theta$  ประมาณ 45-46° และมีการเกิด peak ใหม่ที่  $2\theta$  ประมาณ 29° แต่โดยภาพรวมแล้วจะเห็นได้ว่ากราฟ X-ray diffraction มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเผาพูนิกที่อุณหภูมิต่างกัน แสดงว่าการเผาพูนิกที่อุณหภูมิต่างกันมีผลทำให้เกิดวิวัฒนาการต่างกันเล็กน้อย

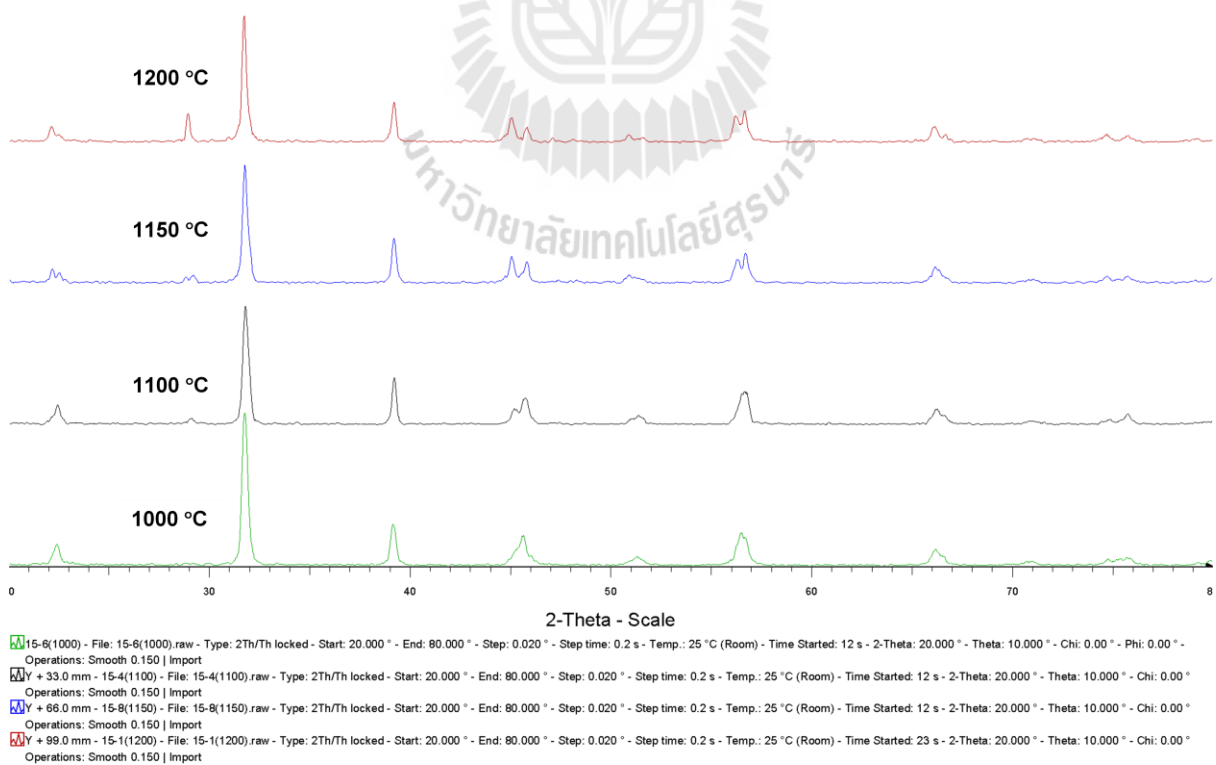
รูปที่ 63 และ 64 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 14 ซึ่งเตรียมในการทดลองนี้ แล้วเผาพูนิกที่อุณหภูมิ 1000 ถึง 1200 °C จากรูปที่ 63 จะเห็นได้ว่าขึ้นตัวอย่างที่เผาพูนิกที่อุณหภูมิ 1000 °C ถึง 1150 °C มีกราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิที่ไม่มีอุณหภูมิคูรีชัดเจน แต่ขึ้นตัวอย่างที่เผาพูนิกที่ 1200 °C มีกราฟ  $K'$  ต่อ

อุณหภูมิที่มีอุณหภูมิคูรีชัดเจนที่ประมาณ 198 °C แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็น พาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมินี้ ซึ่งตรงตามทฤษฎีที่ว่า การเติม Pb เข้าไปจะช่วยให้อุณหภูมิคูรีเลื่อนไปเกิดที่ อุณหภูมิสูงขึ้น<sup>15</sup> จากรูปที่ 64 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตรที่ 14 ที่เผาผนึกอุณหภูมิ 1000, 1100 และ 1150 °C แสดงสมบัติ PTCR เพราะมี  $\rho$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 150, 110 และ 110°C ตามลำดับ ส่วนขึ้นตัวอย่างที่เผาผนึก 1200 °C กลับไม่แสดงสมบัติ PTCR เลย จากกราฟ รูปที่ 64 จะเห็นว่าขึ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำจะมี  $\rho_{\max}$  สูงกว่า  $\rho_{\min}$  ของขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิสูง ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็น เพราะที่ขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาอุณหภูมิต่ำจะมีรูพรุนในตัวมากกว่าหรือผลึกยังไม่โตเต็มที่ จึงไม่มี grain boundary จึงทำให้พาหะประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ยากกว่า เมื่อดู  $\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$  ของขึ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000, 1100 และ 1150 °C พบว่า  $\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$  ของตัวอย่างทั้ง 3 เท่ากับ 280, 1000, 115 ตามลำดับ เมื่อเทียบรูปที่ 63 กับ 64 กับรูปที่ 36 และ 37 ซึ่งเป็นกราฟ  $K'$  กับ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิของสูตร 12 ซึ่งมีสูตรเคมีคล้ายๆ กับสูตร 14 จะเห็นได้ว่า กราฟมีลักษณะต่างกันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกราฟของสูตร 14 การทดลองนี้ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 8000 ปอนด์และเผาผนึกที่ 1200 °C ควรจะมีลักษณะคล้ายๆ กับกราฟสูตร 12 ที่อัดด้วยแรงดัน 8000 ปอนด์ และเผาผนึกที่ 1300 °C ของการทดลองที่ 2 แต่สาเหตุที่กราฟ  $K'$  กับ  $\rho$  ของ PTCR สูตรที่ 14 และ 12 ดังกล่าว มีลักษณะแตกต่างกันอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ตอนสังเคราะห์ PTCR สูตร 14 มีการใส่  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  เข้าช่วยในการเผาผนึก ขณะที่ตอนสังเคราะห์ PTCR สูตร 12 นั้นใส่  $\text{TiO}_2$  อย่างเดียว นอกจากนี้ตอนสังเคราะห์สูตร 14 ยังเติมวัตถุดิบที่ให้ Mn เข้าไปมากกว่าตอนสังเคราะห์ PTCR สูตร 12 อีกด้วย

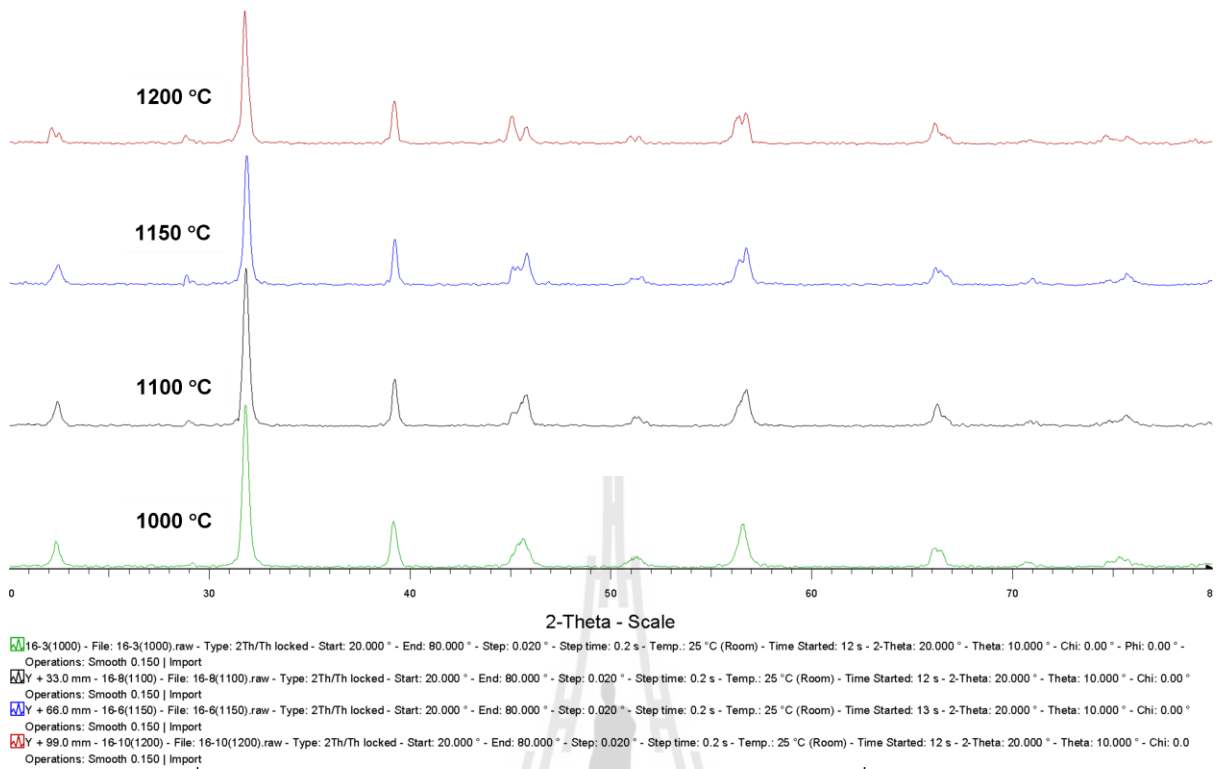




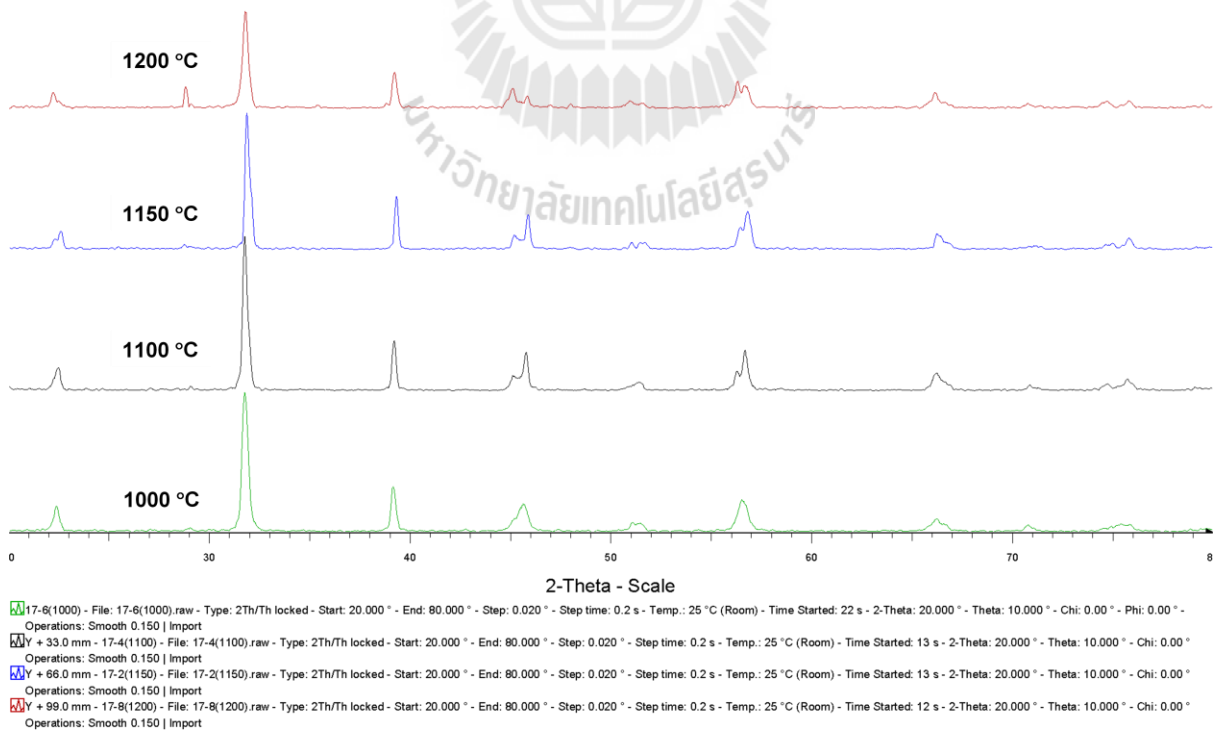
รูปที่ 59 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เฝ้าบันทึกที่ 1000 - 1200 °C



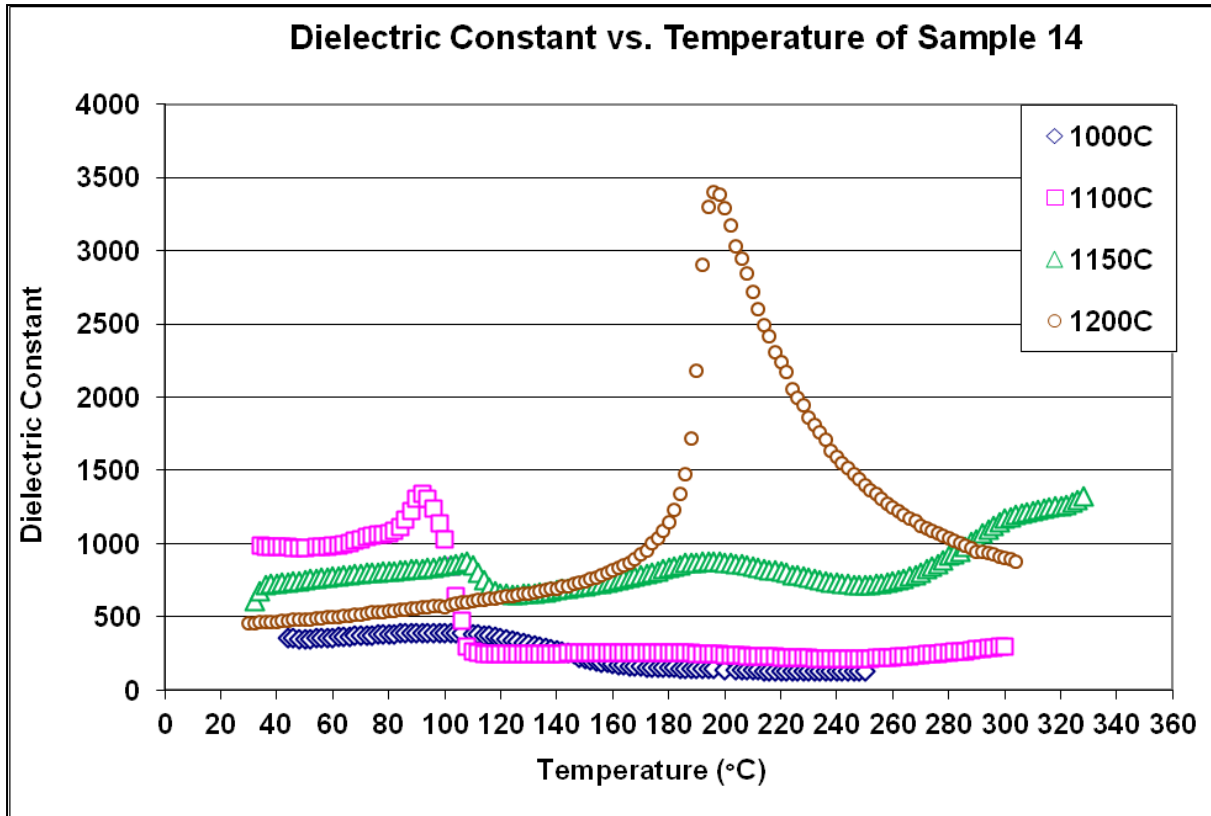
รูปที่ 60 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เฝ้าบันทึกที่ 1000 - 1200 °C



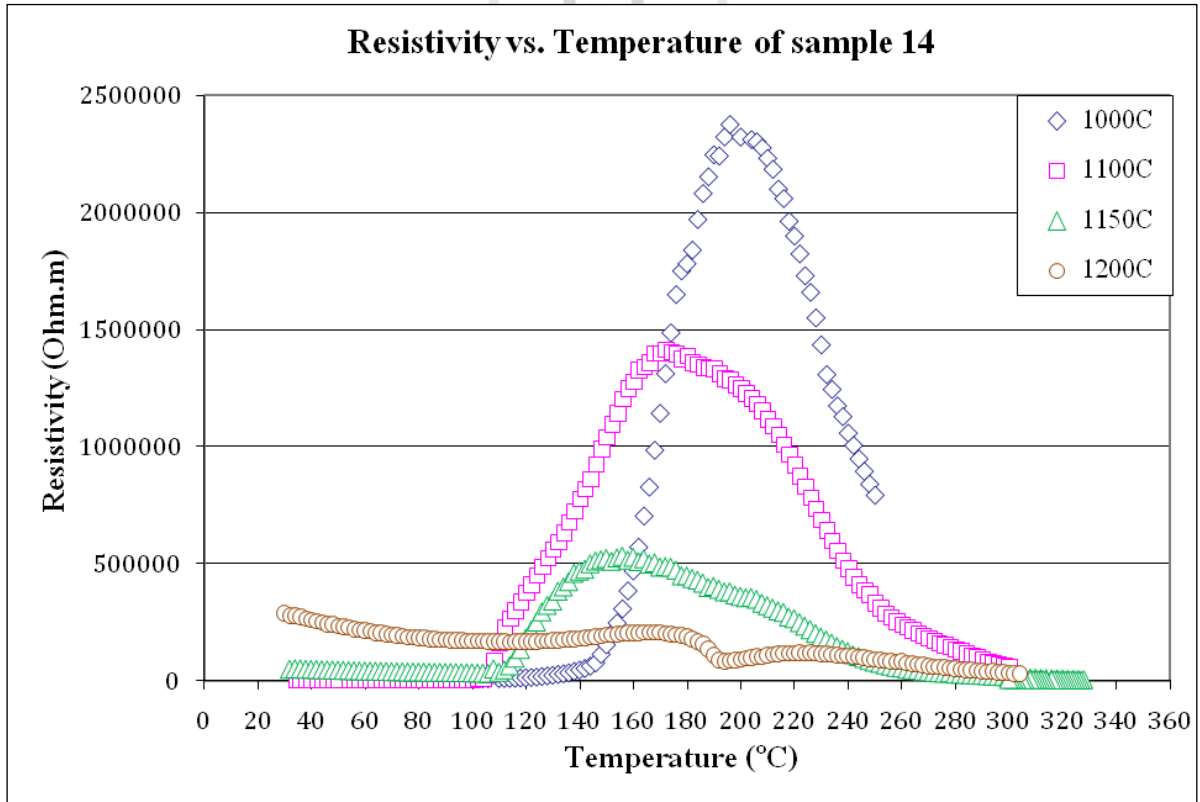
รูปที่ 61 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เฝ้าบันทึกที่ 1000 - 1200 °C



รูปที่ 62 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เฝ้าบันทึกที่ 1000 - 1200 °C



รูปที่ 63 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 14 เผาผนึกที่ 1000-1200 °C



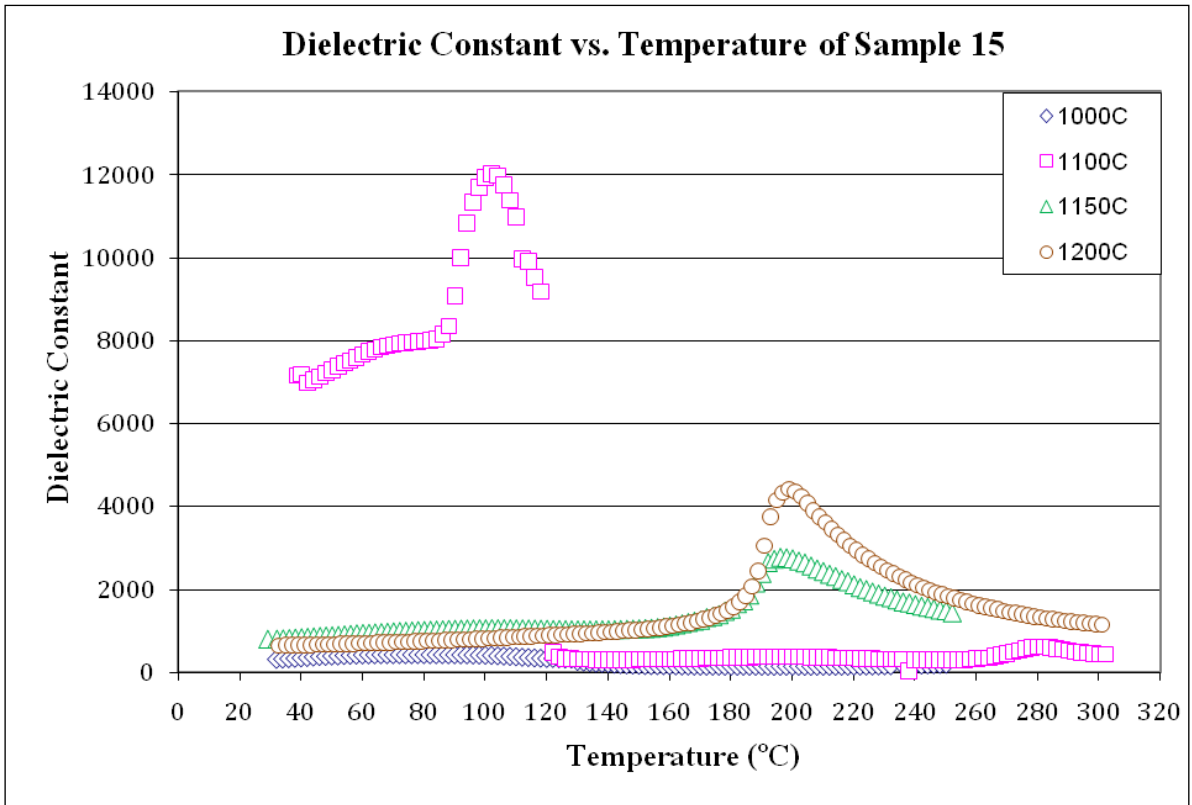
รูปที่ 64 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 14 เผาผนึกที่ 1000-1200 °C

รูปที่ 65 และ 66 แสดงค่า  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 15 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C จากรูปที่ 65 จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 และ 1200 °C มี peaks ที่แสดงว่ามีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกเพราะมีกราฟ  $K'$  ของตัวอย่างดังกล่าวมีอุณหภูมิคูรีชัดและอุณหภูมิคูรีจากตัวอย่างทั้งสองอยู่ที่ประมาณ 199-200 °C นอกจากนี้จากรูปที่ 65 จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ของ 1000 °C ไม่มี peak ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกเลย และ peak ในกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1100 °C ก็ไม่น่าจะเป็น peak ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเพราะว่าลักษณะของ peak แตกต่างจาก peak ของการเปลี่ยนแปลงจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1150 และ 1200 °C มาก

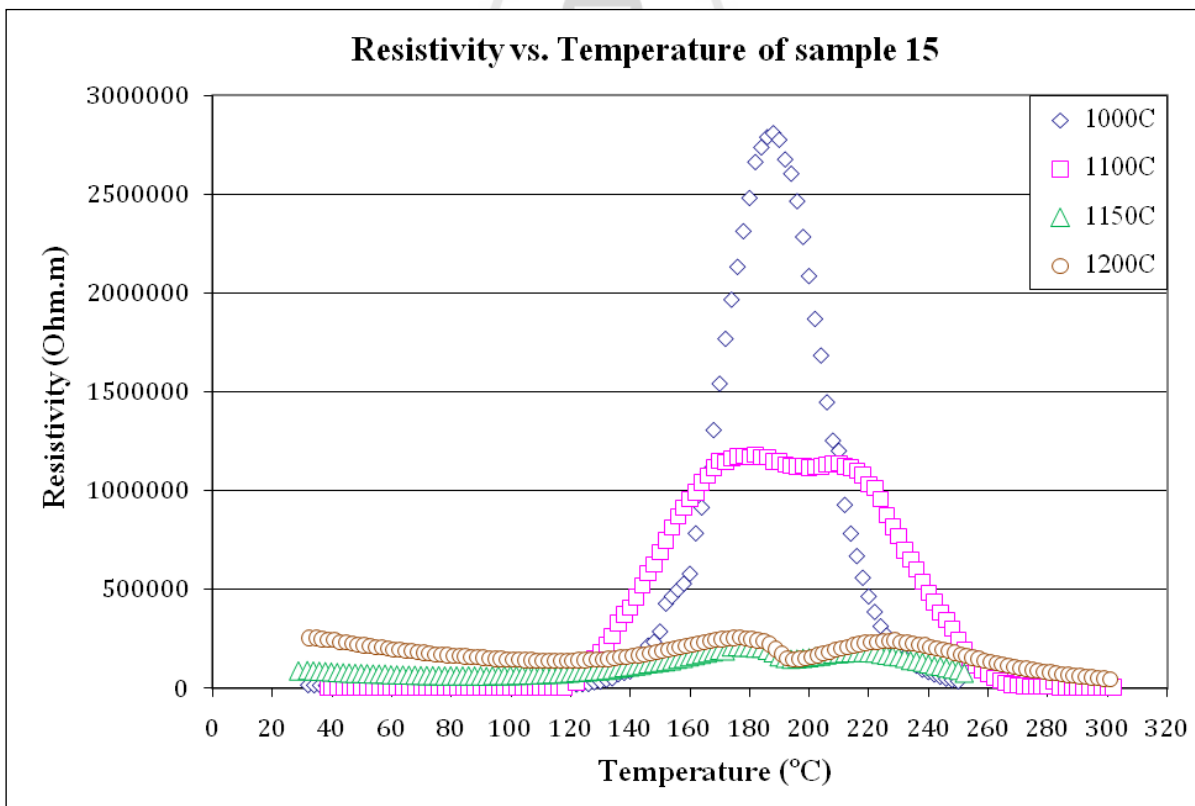
จากรูปที่ 66 จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างสูตร 15 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1100 °C มีกราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิที่แสดงพฤติกรรม PTCR เพราะว่าความต้านทานของตัวอย่างทั้ง 2 เพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงถึงประมาณ 150 และ 120 °C ตามลำดับ ขณะที่ชิ้นตัวอย่างสูตร 15 ซึ่งเผาผนึกที่ 1150-1200 °C ไม่แสดงพฤติกรรม PTCR เพราะกราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว

เมื่อเทียบรูปที่ 65 และรูปที่ 63 จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  และกราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตร 15 และ 14 มีลักษณะเป็นทำนองเดียวกัน ที่สำคัญคืออุณหภูมิคูรีของตัวอย่างทั้งสองสูตรก็เท่ากันแสดงว่าการแทนที่ host ion ใน  $\text{BaTiO}_3$  บางส่วนด้วย  $\text{Ca}^{2+}$  จะไม่มีผลต่อทำให้อุณหภูมิคูรีของ  $\text{BaTiO}_3$  เปลี่ยนแปลง และจากรูปที่ 66 และรูปที่ 64 จะเห็นได้ว่ากราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตร 15 และ 14 มีลักษณะเป็นทำนองเดียวกันคือ  $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ (1000 และ 1100 °C) มีค่าสูงแสดงว่าชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ แสดงพฤติกรรม PTCR ได้ดี ขณะที่ชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาที่อุณหภูมิสูง (1150 และ 1200 °C) กลับไม่แสดงพฤติกรรม PTCR เลย





รูปที่ 65 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 15 เฝ้าบันทึกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C

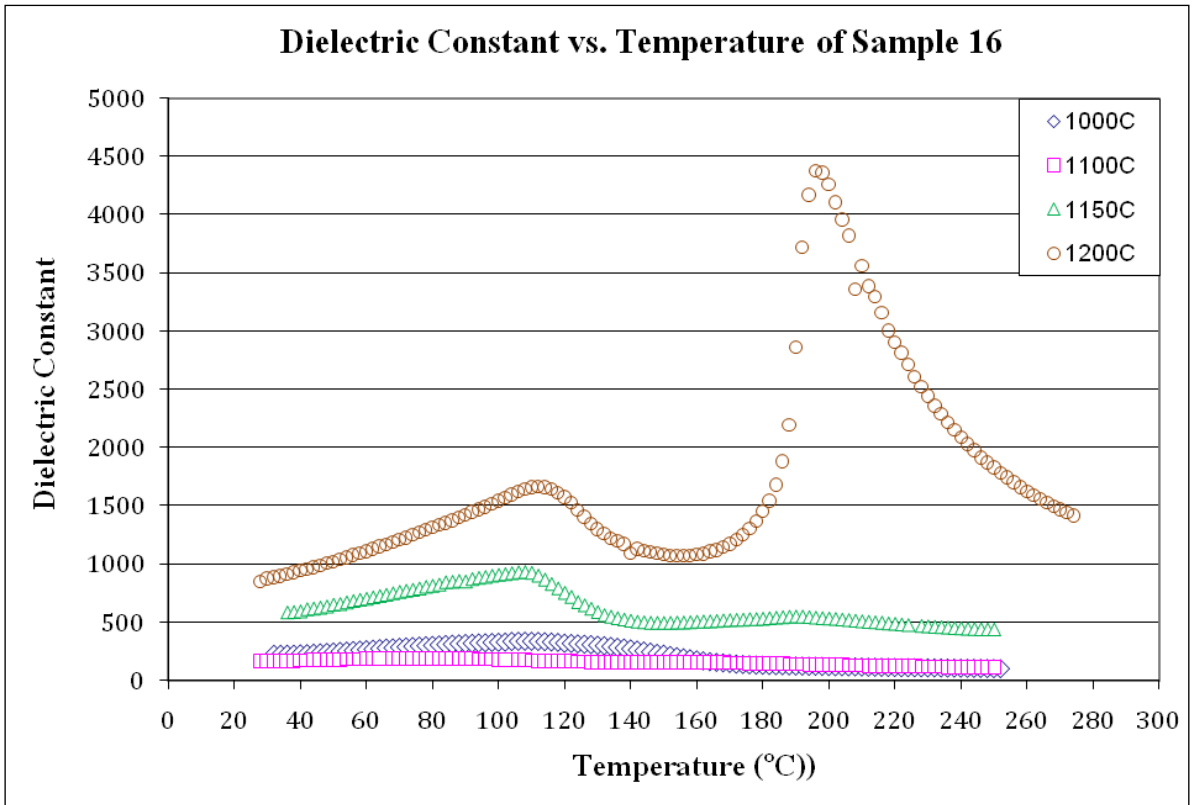


รูปที่ 66 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 15 ซึ่งเฝ้าบันทึกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C

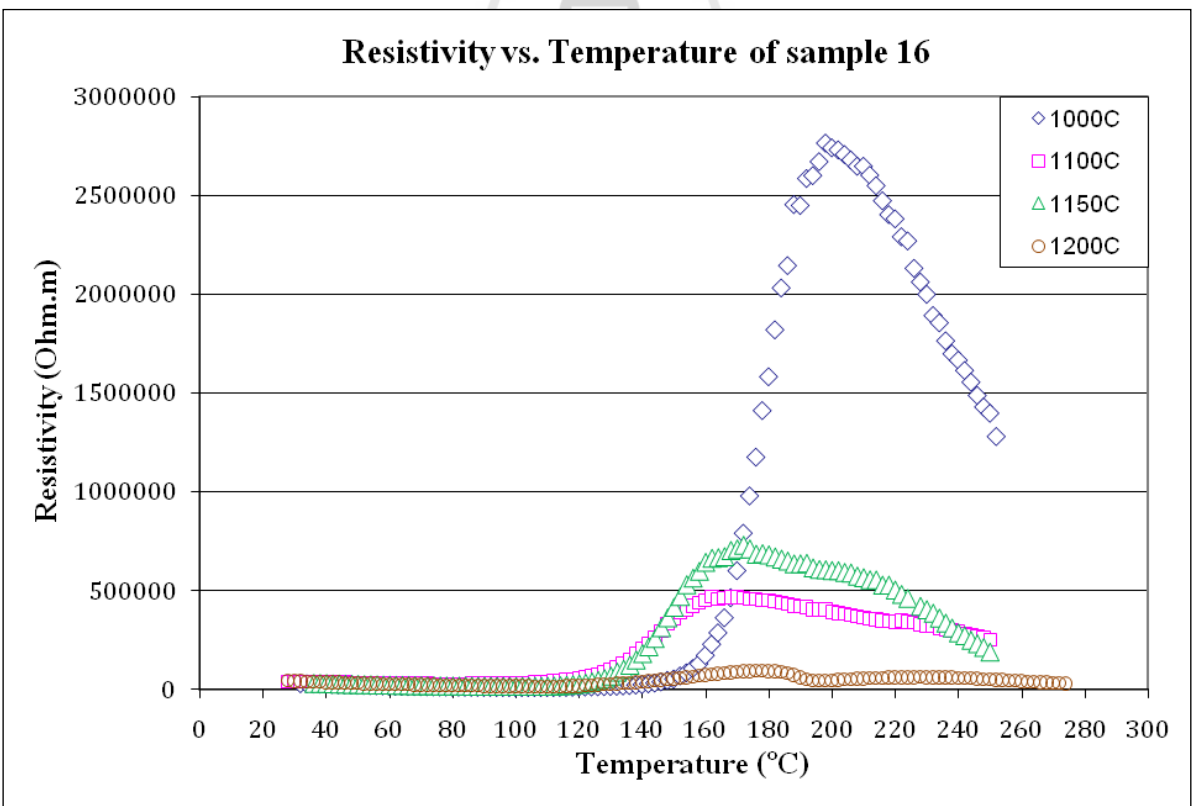
รูปที่ 67-68 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 16 เผาผนึกที่ 1000-1200 °C จากรูปที่ 67 จะเห็นได้ว่ามีแต่ขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C เท่านั้นที่มี peak การเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมิประมาณ 198 °C อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตว่ากราฟ  $K'$  ของขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C ยังมี peak เล็กๆ อีก peak หนึ่งที่อุณหภูมิประมาณ 116 °C ซึ่งก็ไม่ใช่ที่แน่ชัดว่าเป็น peak อะไร นอกจากนั้นขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 °C ก็มี peak เล็กๆ ดังกล่าวที่ประมาณ 111°C ด้วย แต่ไม่มี peak ใหญ่ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกที่ใกล้ๆ 200 °C เลย สุดท้ายสำหรับกราฟ  $K'$  ของขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1100 °C ไม่มี peak ทั้ง 2 เลย

จากรูปที่ 68 แสดงให้เห็นว่า PTCR สูตรที่ 16 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1150 °C มีความต้านทานเพิ่มขึ้นมากเมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิ 150 หรือ 120 °C แสดงว่าขึ้นตัวอย่างดังกล่าวแสดงสมบัติ PTCR ขณะที่ PTCR สูตร 16 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C กลับไม่แสดงสมบัติ PTCR เลย เมื่อเทียบผลการทดลองของ PTCR สูตรที่ 16 กับผลการทดลองของ PTCR สูตร 14 และ 15 จะเห็นว่า PTCR ทั้ง 3 สูตรมีพฤติกรรมคล้ายกันมาก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า PTCR ทั้ง 3 สูตรมีส่วนผสมทางเคมีแตกต่างกันไม่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร 14 กับสูตร 16 ต่างกันเพียงที่สารที่เติมลงไปเพื่อให้ Mn-ion ออกมาเพื่อเพิ่มสมบัติ PTCR โดยที่สูตร 14 เติม  $MnO_2$  (ซึ่งจะให้  $Mn^{4+}$  ion) ขณะที่สูตร 16 เติม  $MnSO_4 \cdot H_2O$  (ซึ่งจะให้  $Mn^{2+}$  ion) จะเห็นได้ว่ากราฟ  $K'$  และกราฟ  $\rho$  ของทั้งสองสูตรต่างกันน้อยมากแสดงว่าสารเติมที่ให้ Mn-ion ที่ต่างกันไม่มีผลต่อสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติ PTCR มาก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่า  $Mn^{4+}$  และ  $Mn^{2+}$  ที่ออกมาจาก  $MnO_2$  และ  $MnSO_4 \cdot H_2O$  ตามลำดับสามารถปรับเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของตัวเองได้ให้เท่ากันได้ขณะที่เผาผนึก





รูปที่ 67 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 16 เฝ้าบันทึกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C



รูปที่ 68 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 16 ซึ่งเฝ้าบันทึกที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C

รูปที่ 69 และ 70 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1200 °C จากรูปที่ 69 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เผาผนึกที่ 1200 °C แสดงพฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกที่อุณหภูมิคูรีประมาณ 200 °C ส่วนชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่ 1000 และ 1150 °C กลับไม่แสดงพฤติกรรมดังกล่าวเลย

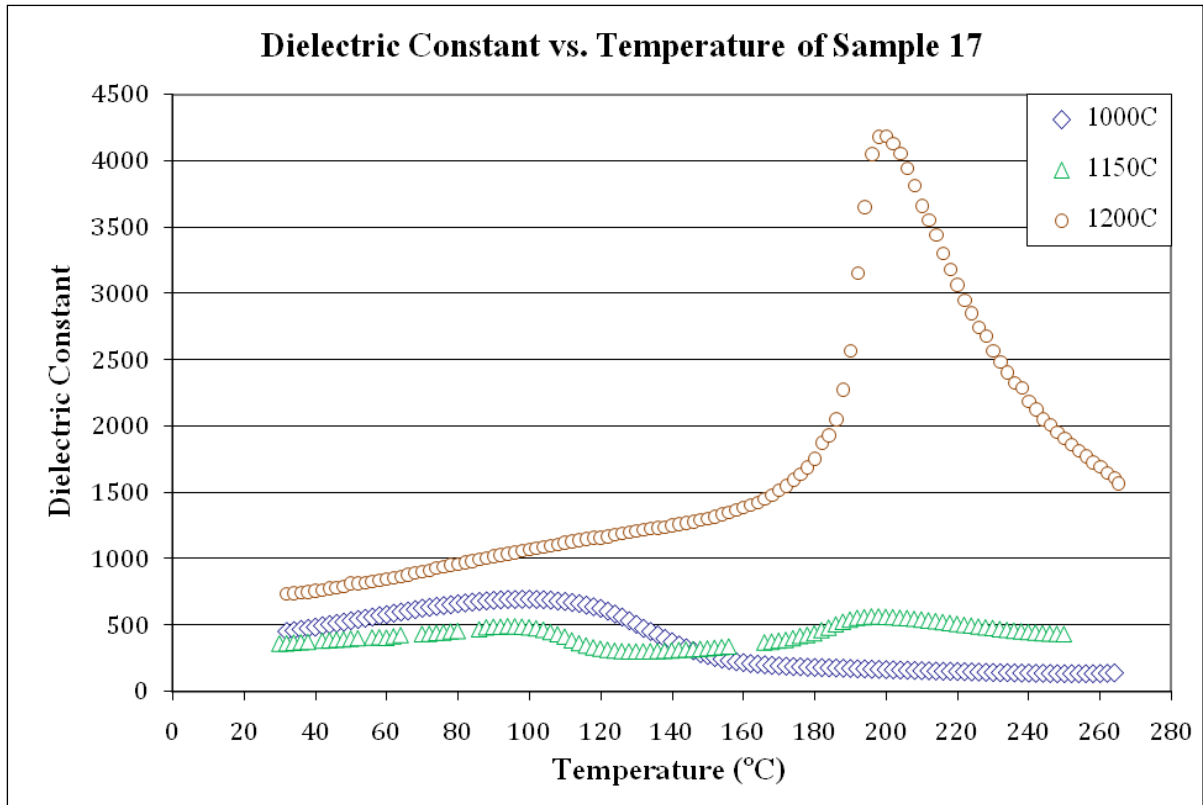
จากรูปที่ 70 จะเห็นได้ว่าสูตร 17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1150 °C แสดงสมบัติ PTCR อย่างชัดเจนขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่ 1200 °C แทบไม่แสดงสมบัติ PTCR เลย เมื่อเทียบกับชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1150 °C

อนึ่งเนื่องจาก  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาที่ 1200 °C มีค่าต่ำกว่า  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1150 °C มาก การนำ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C มา plot ในกราฟเดียวกันกับ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1150 °C อาจจะทำให้ไม่เห็นพฤติกรรม  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาที่ 1200 °C ชัด จึงนำ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิของสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาที่ 1200 °C มา plot เป็นกราฟด้วยกันต่างหากได้กราฟดังรูปที่ 71 จากรูปจะเห็นได้ว่ากราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิของสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C ทั้งหมดมีรอยหยักหักลงมา เมื่อเทียบอุณหภูมิต่ำสุดของของรอยหยักของกราฟในรูปที่ 71 กับอุณหภูมิคูรีของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C ในรูปที่ 63, 65, 67 และ 69 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เป็นจุดต่ำสุดของรอยหยักของกราฟในรูปที่ 71 เป็นอุณหภูมิคูรีนั่นเอง จากข้อสังเกตดังกล่าวทำให้ทราบว่า “ที่จริงแล้วชิ้นตัวอย่าง PTCR สูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาที่ 1200 °C แสดงสมบัติ PTCR ตามทฤษฎีของ Heywang<sup>1-2</sup> แต่เพราะ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างดังกล่าวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิคูรีแต่อย่างไรก็ตาม  $\rho$  ที่เพิ่มขึ้นนั้นเพิ่มขึ้นไม่มากจึงทำให้ไม่เห็นพฤติกรรม PTCR ของชิ้นตัวอย่างดังกล่าวในรูปที่ 63, 65, 67 และ 69” สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็นเพราะว่าการเผาผนึกที่อุณหภูมิสูง (1200°C) ทำให้อณูภาคหลอมและเชื่อมติดกันดีมากจนทำให้การนำไฟฟ้าในชิ้นตัวอย่างเป็นการนำไฟฟ้าในชิ้นตัวอย่างเป็นการนำไฟฟ้าใน bulk มากกว่าที่จะเป็นการนำไฟฟ้าตาม grain boundary ทำให้เส้นกราฟของ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C ในรูปที่ 71 ของผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎีของ Heywang เพราะตามทฤษฎีของ Heywang และทฤษฎี PTCR อื่นๆ โดยทั่วไปตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่า การนำไฟฟ้าของ PTCR ส่วนใหญ่เป็นการนำไฟฟ้าตาม grain boundary<sup>9</sup>

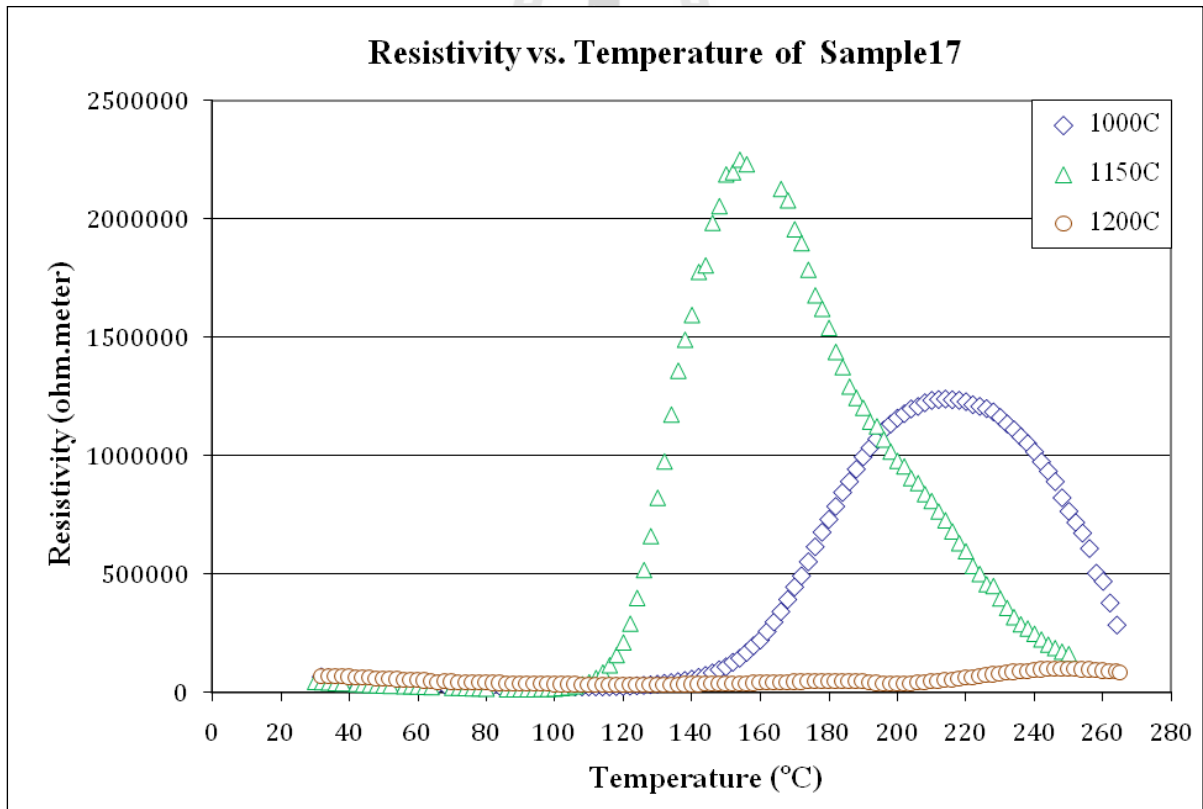
ข้อสังเกตที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือสำหรับ PTCR สูตร 14-17 ซึ่งเผาอุณหภูมิ 1000 °C ถึงแม้ว่าจะเกิดพฤติกรรม PTCR ได้ดี แต่ไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริก เพราะไม่เห็น peak แสดงอุณหภูมิคูรีในกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่าง สาเหตุที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว อาจจะเป็นเพราะว่าเรา plot กราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C ในกราฟเดียวกันกับกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C เนื่องจาก  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C มีค่าสูงกว่า  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C มาก การ plot กราฟของ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C ไว้ในกราฟเดียวกันกับกราฟของ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C อาจจะทำให้ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C อย่างชัดเจน ดังนั้นในที่นี้จึง plot กราฟของ  $K'$  ของชิ้น

ตัวอย่างสูตร 14-17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C ได้ผลดังรูปที่ 72 สังเกตว่าถึงแม้ว่ากราฟของ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างสูตร 14-17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C จะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงจุดสูงสุดของกราฟแต่จุดสูงสุดดังกล่าวไม่ใช่ลักษณะของ peak ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเพราะกราฟไม่ได้แสดงการเปลี่ยนแปลง  $K'$  อย่างรวดเร็วและ  $K'$  สูงสุดก็ไม่ได้สูงกว่า  $K'$  ที่อุณหภูมิข้างเคียงมากนัก เมื่อเทียบอุณหภูมิของจุดที่กราฟของ  $K'$  มีค่าสูงสุดในรูปที่ 72 กับอุณหภูมิที่ชิ้นตัวอย่างสูตร 14-17 แสดงสมบัติ PTCR ในกราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างในรูปที่ 64, 66, 68 และ 70 จะเห็นว่าตำแหน่งที่แสดงกราฟ  $K'$  มีค่าสูงสุดไม่สอดคล้องกับอุณหภูมิที่ชิ้นตัวอย่างเริ่มแสดงสมบัติ PTCR (คือเริ่มมี  $\rho$  เพิ่มขึ้น) แสดงว่าพฤติกรรม PTCR ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 °C ไม่เกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกตามทฤษฎีของ Heywang, Jonker และ Daniels เลย

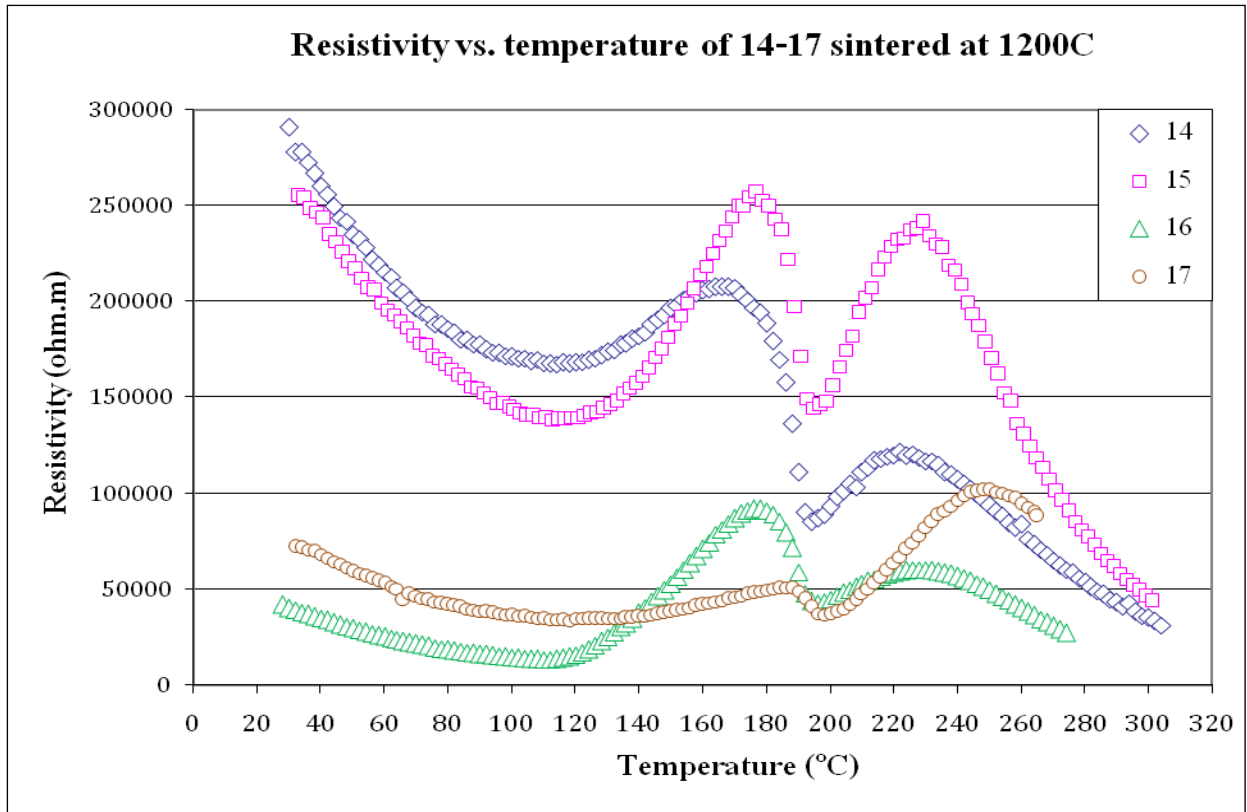
จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 14, 15, 16 และ 17 ทั้งหมดมีสมบัติคล้ายๆ กัน ทั้งนี้เพราะว่าทั้งหมดมีสูตรโครงสร้างหลักเป็น  $(\text{Ba}_{0.797}\text{Pb}_{0.2})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3$  เหมือนกัน นอกจากนี้ทั้ง 4 สูตร ก็ถูกเติม  $0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2$  ไปช่วยในการเผาผนึกเหมือนกัน ทั้ง 4 สูตรแตกต่างกันเล็กน้อยตรงที่มีการเติมสารช่วยกระตุ้นสมบัติ PTCR และมีการเติม Mn-ion ไม่เหมือนกัน โดยสรุปจะเห็นว่าชิ้นงานในการทดลองนี้ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1200 °C แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนจากเฟร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างเด่นชัด และส่วนชิ้นงานซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำ (1000-1150 °C) แสดงสมบัติ PTCR เด่นชัดเพราะมี  $\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$  สูง เนื่องจากงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษากระบวนการผลิต PTCR ให้ได้เหมือน PTCR ที่ใช้ในทางการค้า ดังนั้นจึงเลือกชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ (1000-1150 °C) มาใช้เพราะว่าชิ้นตัวอย่างเหล่านั้นแสดงสมบัติ PTCR แต่ก็มีปัญหาพบว่าชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 14-17 ซึ่งเผาผนึกอุณหภูมิต่ำในการทดลองนี้เริ่มแสดงสมบัติ PTCR ที่อุณหภูมิประมาณ 150 °C ซึ่งยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าเริ่มแสดงสมบัติ PTCR เพราะจากการทดลองที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าเริ่มแสดงสมบัติ PTCR อยู่ที่ 200-250 °C ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งคือ  $\rho_{\max}$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งผลิตขึ้นในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่า  $\rho_{\max}$  ของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ามากด้วย จึงต้องหาทางเพิ่มอุณหภูมิที่ชิ้นตัวอย่างเริ่มแสดงสมบัติ PTCR และลด  $\rho_{\max}$  ของชิ้นตัวอย่างหากต้องการทำให้ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมีสมบัติเหมือนกันกับ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า



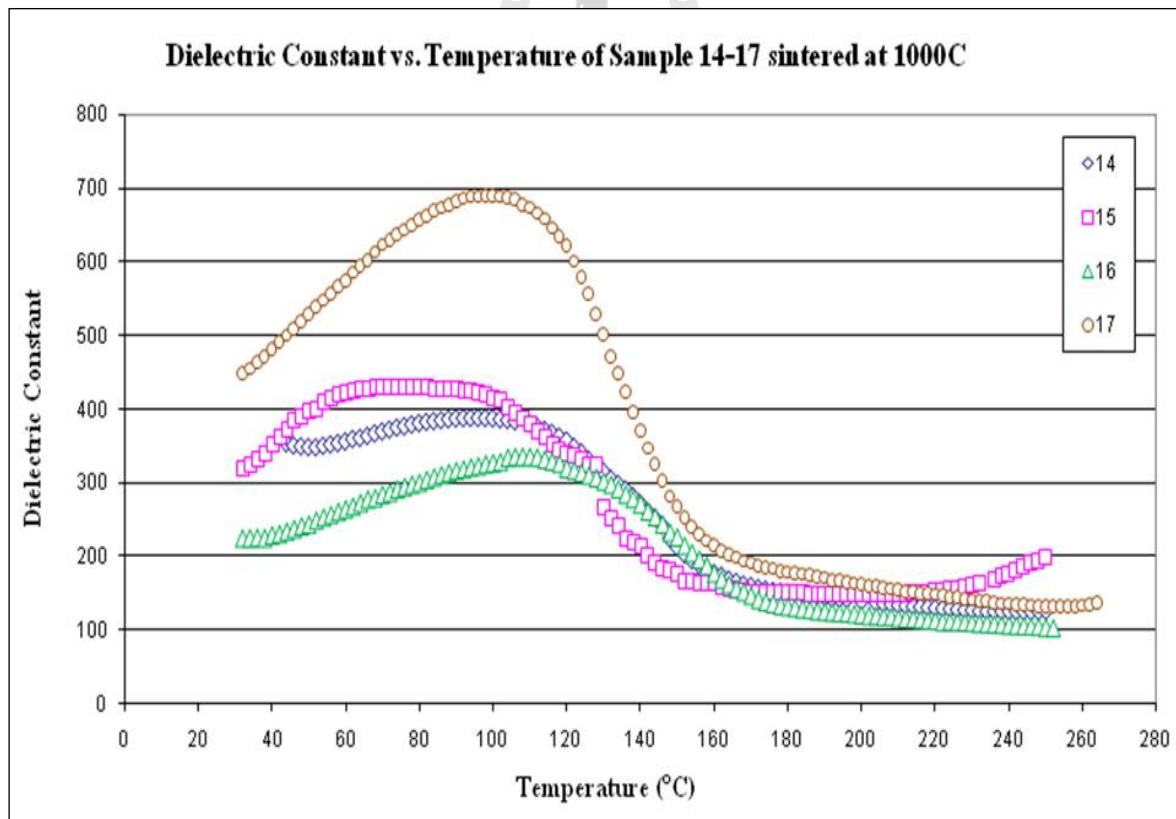
รูปที่ 69 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1000-1200 °C



รูปที่ 70 สภาพความต้านทานไฟฟ้า PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1000-1200 °C



รูปที่ 71 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 14-17 เผาผนึกที่ 1200 °C



รูปที่ 72 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 14-17 เผาผนึกที่ 1000 °C

## บทที่ 5

### การทดลองที่ 5

#### วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงให้ PTCR ที่สังเคราะห์ขึ้นเริ่มมีพฤติกรรม PTCR ที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีก

#### ความเป็นมา

ในการทดลองที่แล้ว ถึงแม้ว่าเราสามารถเพิ่มอุณหภูมิคูรี ของชิ้นตัวอย่างที่เผาที่ 1200 °C ขึ้นมาถึง 200 °C แต่ดูเหมือนว่า ชิ้นตัวอย่างที่เผาที่ 1200 °C เหล่านั้นไม่แสดงคุณสมบัติ PTCR เลย ในทางตรงกันข้ามชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาที่ 1000-1100 °C ซึ่งไม่มีอุณหภูมิคูรีกลับแสดงพฤติกรรม PTCR อย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตามพฤติกรรม PTCR เหล่านั้นเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 150 °C ซึ่งยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ PTCR ที่ใช้ในการค้าในการทดลองที่ 3 เริ่มแสดงสมบัติ PTCR ทดลองนี้จึงทดลองปรับปรุงสูตร PTCR ต่อไปอีกเพื่อให้ PTCR ที่สังเคราะห์ขึ้นแสดงสมบัติ PTCR ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า

#### วิธีการทดลอง

- 1) ผสม PTCR สูตร 18, 19, 20 และ 21 ซึ่งมีสูตรเคมีตามตารางที่ 5 ตามส่วนผสมในภาคผนวก ก8) ถึง ก11) โดยแยกผสมวัตถุดิบ 2 เที้ยว ตามแสดงในรูปที่ 58 อนึ่งเมื่อเทียบกับ PTCR สูตรที่สังเคราะห์ขึ้นมาก่อนหน้านี้นี้จะเห็นได้ว่า PTCR ที่เตรียมในการทดลองนี้มีส่วนผสมใกล้เคียงกับ PTCR สูตร 16 ที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยคือ PTCR ที่เตรียมในการทดลองนี้มี Pb เพิ่มขึ้นจาก 0.2 เป็น 0.3, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 18, 19, 20 และ 21

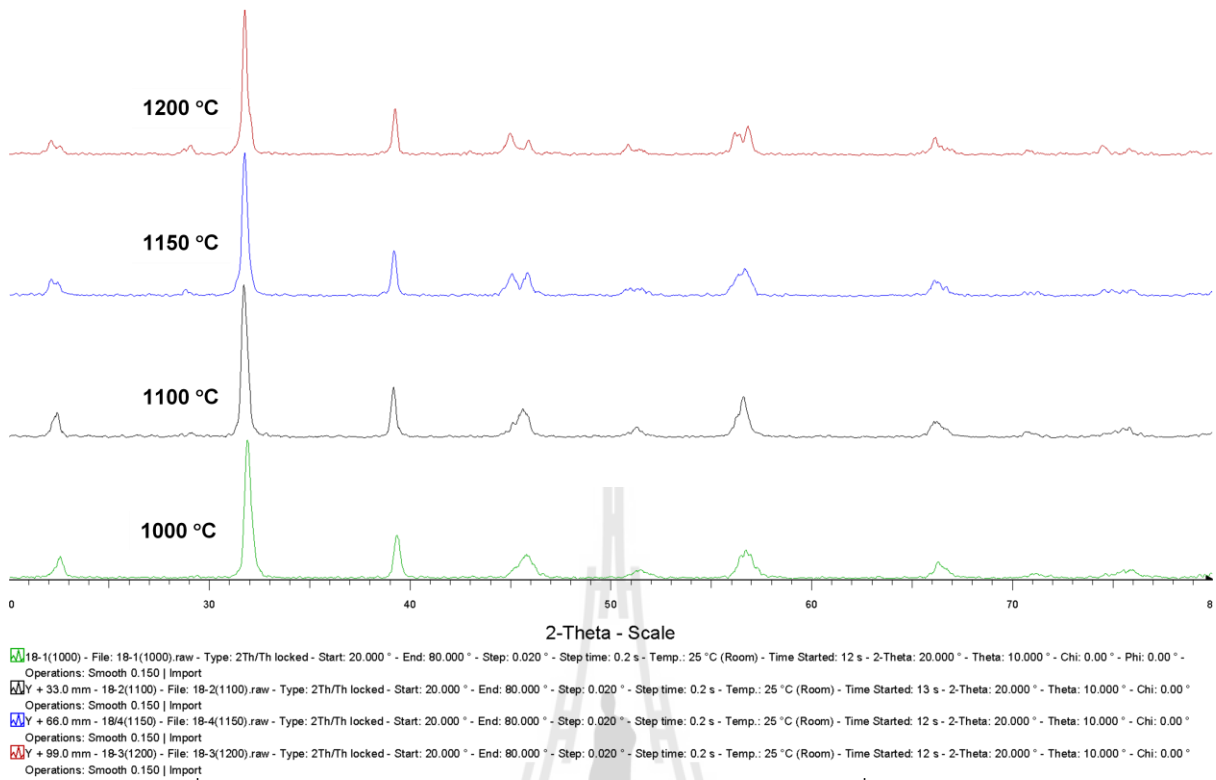
สูตร	สูตรเคมี
18	$(\text{Ba}_{0.697}\text{Pb}_{0.3})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
19	$(\text{Ba}_{0.597}\text{Pb}_{0.4})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
20	$(\text{Ba}_{0.397}\text{Pb}_{0.6})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
21	$(\text{Ba}_{0.197}\text{Pb}_{0.8})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- 2) เผาชิ้นตัวอย่างตั้งแต่ 1000-1200 °C ตาม profile การเผาในการทดลองที่ 4 เสร็จแล้วขัดผิวฉาบโลหะตัวนำและวัดสมบัติของชิ้นตัวอย่างและ plot กราฟเหมือนการทดลองที่ 4

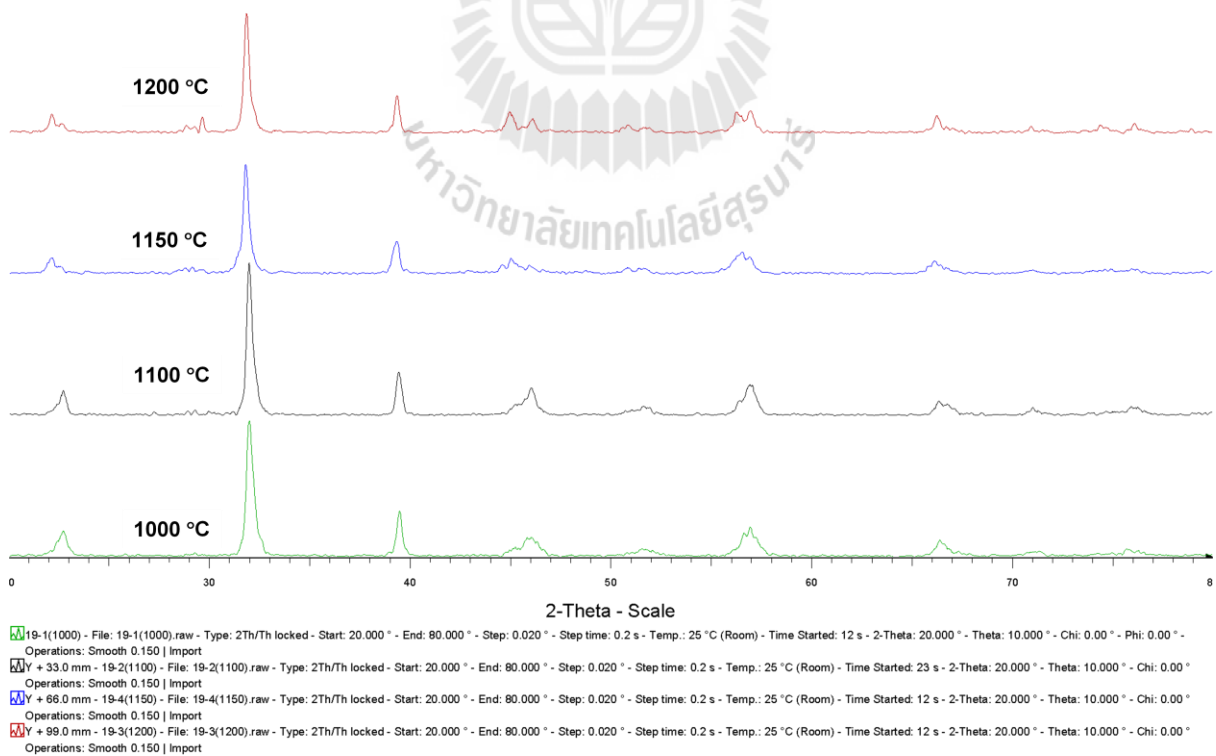
#### ผลการทดลอง

รูปที่ 73-74 และรูปที่ ค47-ค54 แสดงกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18-19 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1000-1200 °C จากกราฟจะเห็นได้ว่า กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18-19 ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่างๆ มีลักษณะคล้ายๆ กับกราฟ X-ray diffraction ของ  $\text{BaTiO}_3$  ที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย





รูปที่ 73 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เฝ้าผนังที่ 1000 - 1200 °C



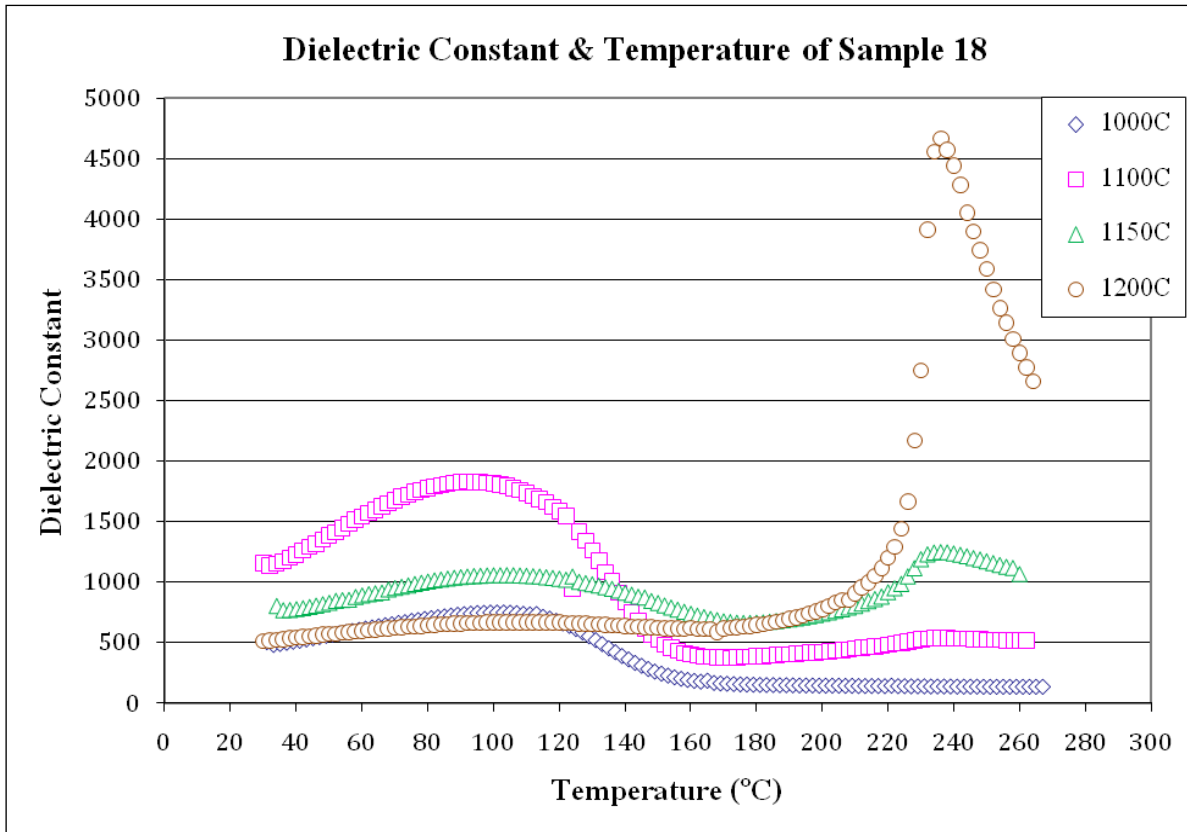
รูปที่ 74 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เฝ้าผนังที่ 1000 - 1200 °C

น้อยทำนองเดียวกันกับกราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14-17 ในการทดลองที่ 4 แสดงว่า PTCR สูตรที่ 18-19 การเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างกันมีผลทำให้เกิดวัฏภาคต่างกันเล็กน้อย

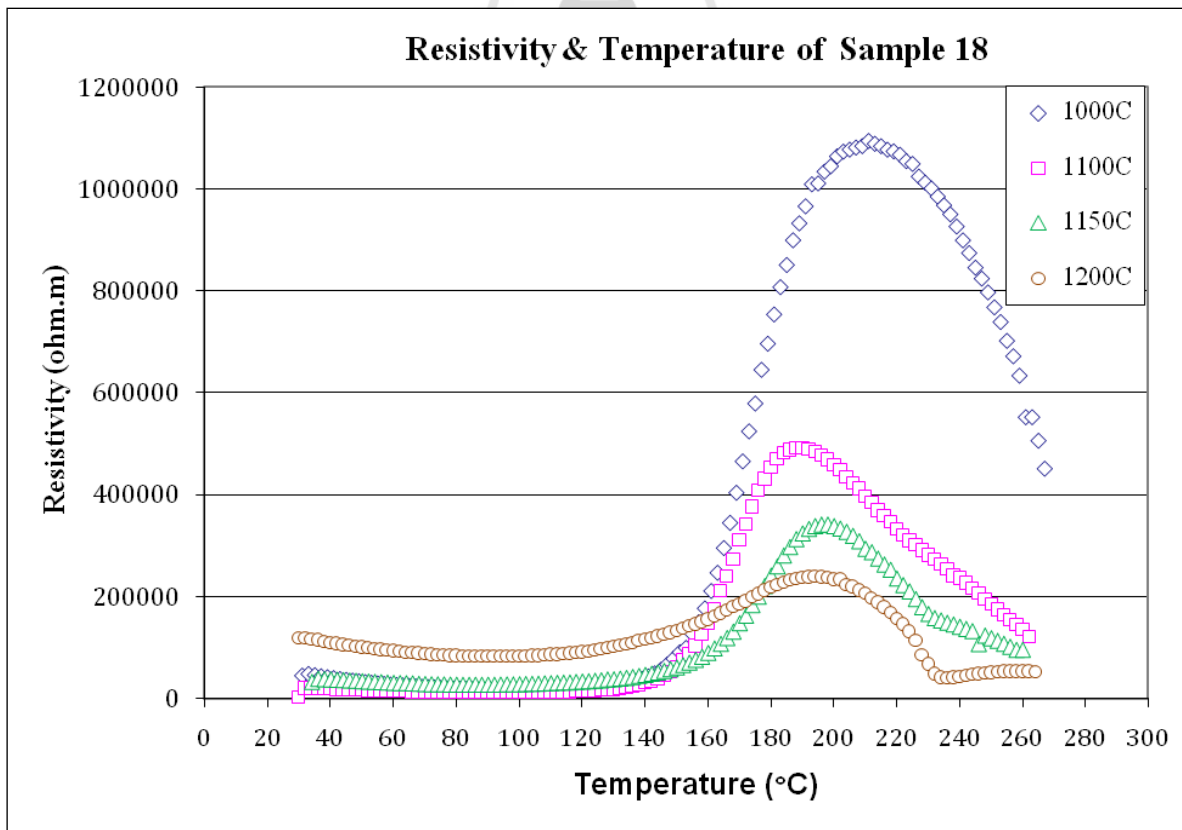
รูปที่ 75 และ 76 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1200 °C จากรูปที่ 75 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C แสดงพฤติกรรมของการเปลี่ยนสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างชัดเจน  $K'$  มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 236 °C ดังนั้นชิ้นงานนี้จึงมีอุณหภูมิคูรีที่ 236 °C ขณะที่ PTCR สูตร 16 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเตรียมขึ้นโดยแทนที่  $Pb^{2+}$  เข้าไปใน  $Ba^{2+}$  0.2 mole มีอุณหภูมิคูรี 198 °C แสดงว่าการเพิ่ม  $Pb^{2+}$  จาก 0.2 mole เป็น 0.3 mole ทำให้อุณหภูมิคูรีของ PTCR เพิ่มขึ้น 38 °C (เท่ากับ 236-198 °C) นอกจากนี้จากรูปที่ 46 จะเห็นได้ว่าไม่มี peak แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกในกราฟ  $K'$  ของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1150 °C

จากรูปที่ 76 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานสูตร 18 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1000-1150 °C แสดงพฤติกรรม PTCR ชัดเจนเพราะว่า  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่ชิ้นงานเผาผนึกที่ 1000 °C แสดงพฤติกรรม PTCR ชัดเจนที่สุดรองลงมาเป็นชิ้นงานซึ่งเผาผนึกที่ 1100 °C และ 1150 °C ตามลำดับ ที่น่าสังเกตคืออุณหภูมิที่ชิ้นงานเหล่านี้เริ่มมี  $\rho$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอยู่ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกันคือ 146 °C ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิคูรีของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C อย่างสิ้นเชิง

สำหรับชิ้นงานที่เผาผนึกที่ 1200 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $\rho$  มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันแต่อัตราเร็วที่  $\rho$  เพิ่มขึ้นเป็นไปอย่างช้าๆ และ  $\rho$  เพิ่มขึ้นไม่มากนัก ที่น่าสังเกตคือ กราฟ  $\rho$  มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันคือเปลี่ยนจาก  $\rho$  มีค่าลดลงเป็นมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นที่อุณหภูมิ 236 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิคูรีของชิ้นตัวอย่างนี้



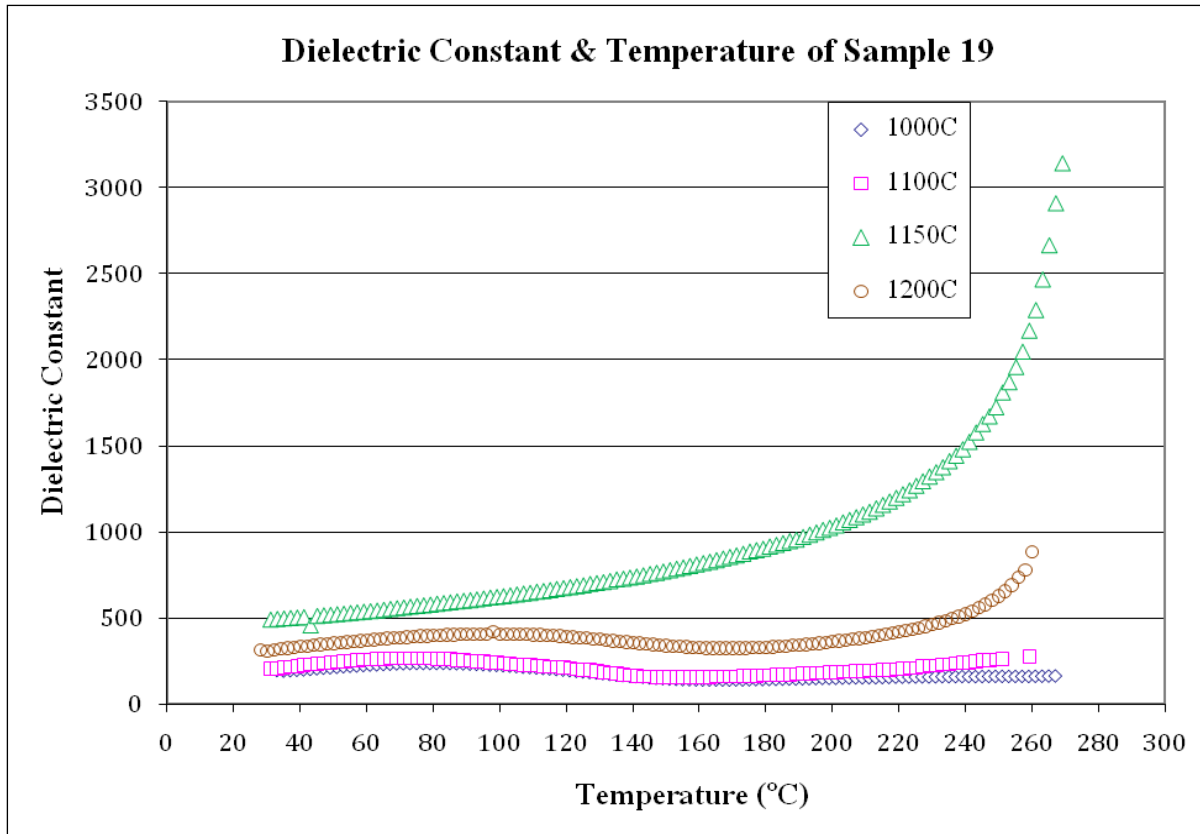
รูปที่ 75 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 – 1200 °C



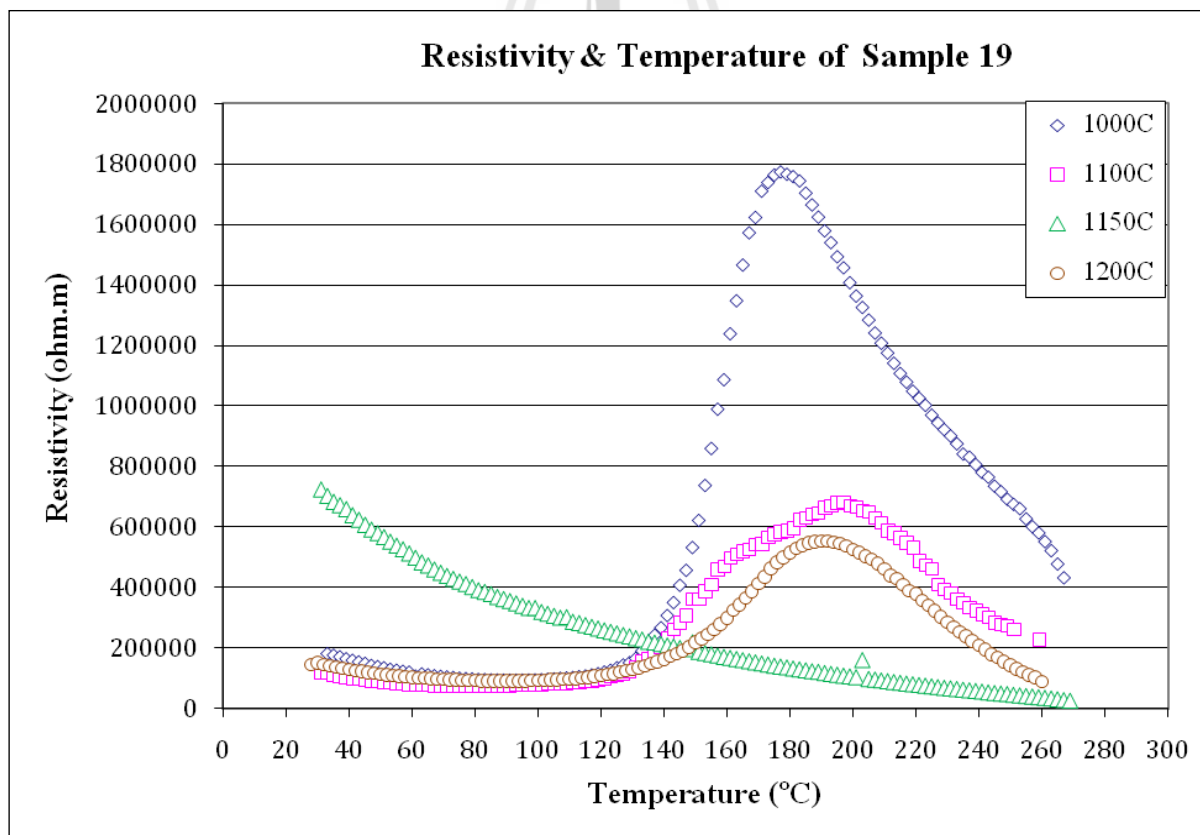
รูปที่ 76 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 18 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1200 °C

รูปที่ 77 และ 78 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 19 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1200 °C จากรูปที่ 77 จะเห็นได้ว่าไม่มี peak การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเมื่อให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างขึ้นไปจากอุณหภูมิห้องขึ้นไปถึงประมาณ 260 °C อย่างไรก็ตามจากกราฟจะเห็นได้ชัดว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปจนถึง 260 °C  $K'$  ของขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150°C กับ 1200 °C มีค่าเพิ่มขึ้นไปมากแล้วแต่ยังไม่ถึงจุดสูงสุดเท่านั้น คาดว่าหากให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างต่อไปอีกจะพบอุณหภูมิที่วัสดุมี  $K'$  สูงสุดซึ่งเป็นอุณหภูมิคูรี แสดงว่าขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 กับ 1200 °C น่าจะมีอุณหภูมิคูรีที่สูงกว่า 260 °C ซึ่งก็เป็นตามเอกสารอ้างอิง<sup>15</sup> เพราะว่าการแทนที่  $Ba^{2+}$  ใน  $BaTiO_3$  ด้วย  $Pb^{2+}$  มากขึ้นจะทำให้ อุณหภูมิคูรีของขึ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ  $Pb^{2+}$  ที่ใส่เข้าไปอย่างเป็นเส้นตรง (linearly dependence) จากการทดลองที่ 4 และจากการทดลองนี้จะเห็นว่าการแทนที่  $Ba^{2+}$  ด้วย  $Pb^{2+}$  เพิ่มขึ้นจาก 0.2 mole เป็น 0.3 mole จะทำให้อุณหภูมิคูรีของขึ้นตัวอย่างสูตรที่ 16 และ 18 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C เพิ่มขึ้น 38 °C (จาก 198 °C เป็น 236 °C) ดังนั้นสำหรับขึ้นตัวอย่างสูตรที่ 19 ซึ่งแทนที่  $Ba^{2+}$  ด้วย  $Pb^{2+}$  ถึง 0.4 mole น่าจะมีอุณหภูมิคูรีเท่ากับ  $198 + 2 \times 38$  °C = 276 °C นอกจากนี้จากรูปที่ 77 จะเห็นอีกอย่างได้ว่าขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1100 °C ไม่พบการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมจากเฟร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเลยเพราะกราฟ  $K'$  ต่ออุณหภูมิของขึ้นตัวอย่างดังกล่าวแทบไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเลย

จากรูป 78 ขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1000, 1100 และ 1200 °C แสดงสมบัติ PTCR เพราะ  $\rho$  ของขึ้นตัวอย่างเพิ่มเมื่อได้ความร้อนถึงประมาณ 120-130 °C อย่างไรก็ตามขึ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 °C กลับไม่แสดงพฤติกรรมดังกล่าวเลย ในทางตรงกันข้ามกลับแสดงสมบัติ NTCR (Negative Temperature Coefficient resistant) คือสภาพความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น



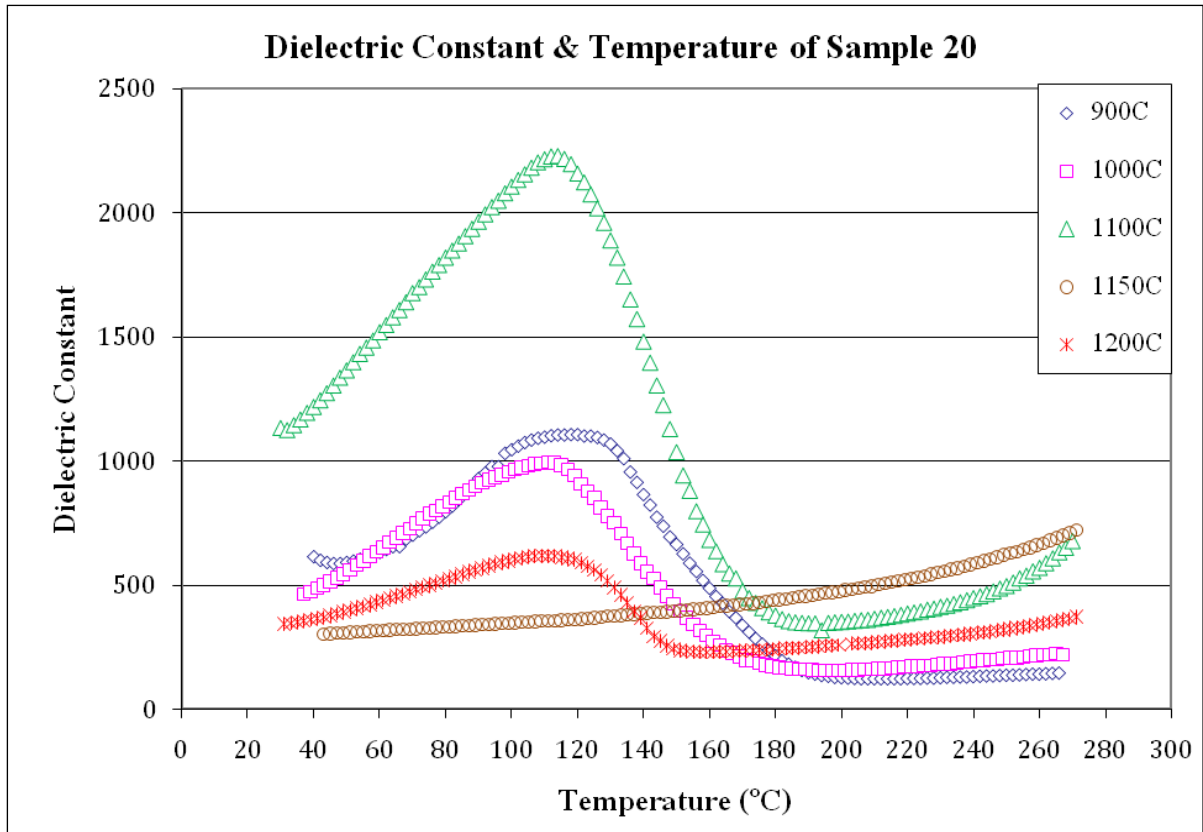
รูปที่ 77 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 19 ซึ่งเผาพูนที่ 1000 – 1200 °C



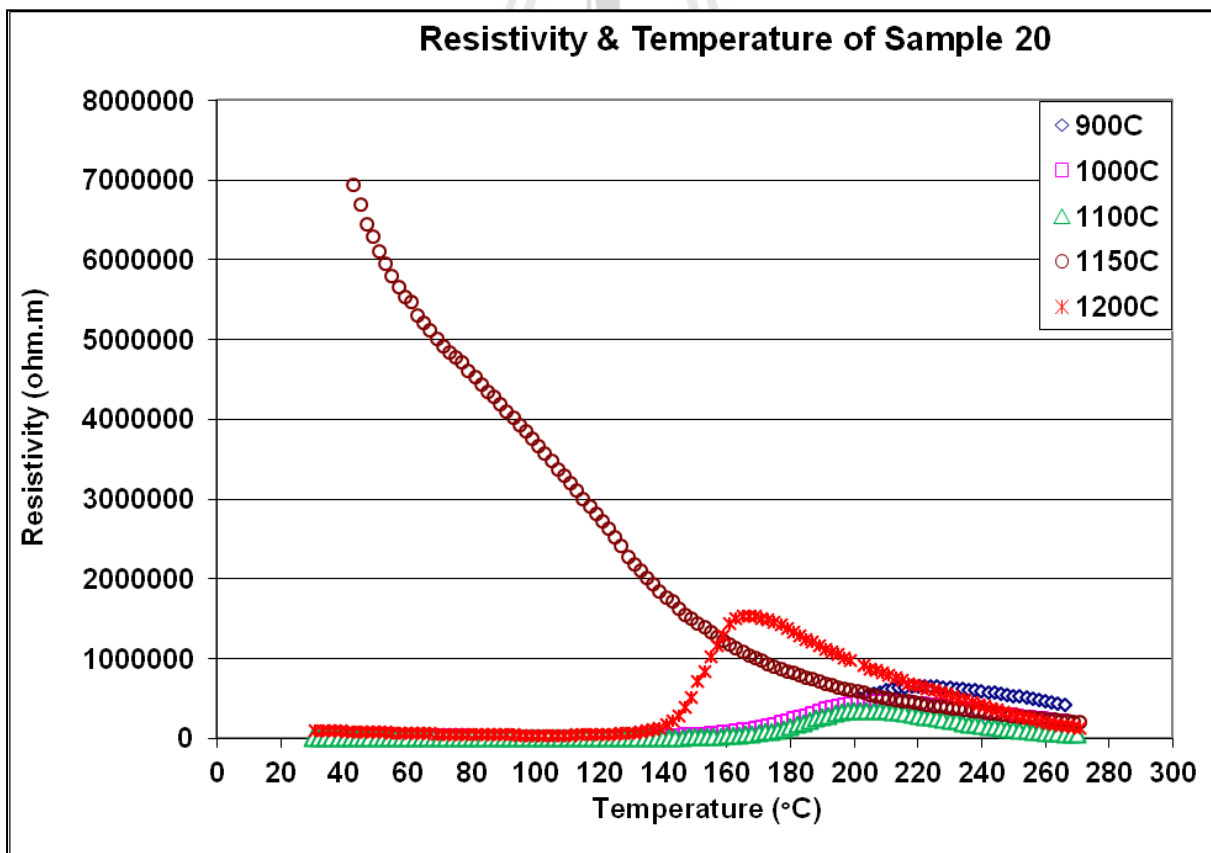
รูปที่ 78 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 19 ซึ่งเผาพูนที่ 1000 – 1200 °C

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตร 20 เป็นสูตรที่มีการแทนที่  $Pb^{2+}$  ลงไปใน  $Ba^{2+}$  ของ  $BaTiO_3$  จนกระทั่งมี  $Pb^{2+}$  มากกว่า  $Ba^{2+}$  ในสูตรโครงสร้าง (ดูตารางที่ 5) ดังนั้น PTCR สูตรนี้จึงน่าจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับ  $PbTiO_3$  มากกว่า  $BaTiO_3$  สำหรับ  $PbTiO_3$  บริสุทธิ์เป็นสารประกอบที่มีอุณหภูมิคูรีประมาณ  $490\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิคูรีของ  $BaTiO_3$  มาก<sup>15</sup> ดังนั้น PTCR สูตรที่ 20 จึงควรมีอุณหภูมิคูรีสูง รูปที่ 79 และ 80 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 20 ในการทดลองนี้ จากรูปที่ 79 จะเห็นได้ชัดว่ากราฟ  $K'$  ของ PTCR สูตร 20 ซึ่งเผาผนึกที่ทุกอุณหภูมิยกเว้น  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีลักษณะเหมือนกันคือ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ประมาณ  $100\text{-}120\text{ }^{\circ}\text{C}$  แล้วจึงค่อยๆ ลดลงมาแล้วคงที่จากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปใหม่ เนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลองยังไม่สูงพอจึงไม่เห็น peak แสดงการเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเลยทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าอุณหภูมิคูรีของ PTCR สูตร 20 อยู่สูงกว่า  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$  ทำนองเดียวกันกับสูตรที่ 19 ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าเหตุใดกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  จึงมีลักษณะแตกต่างจากของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า

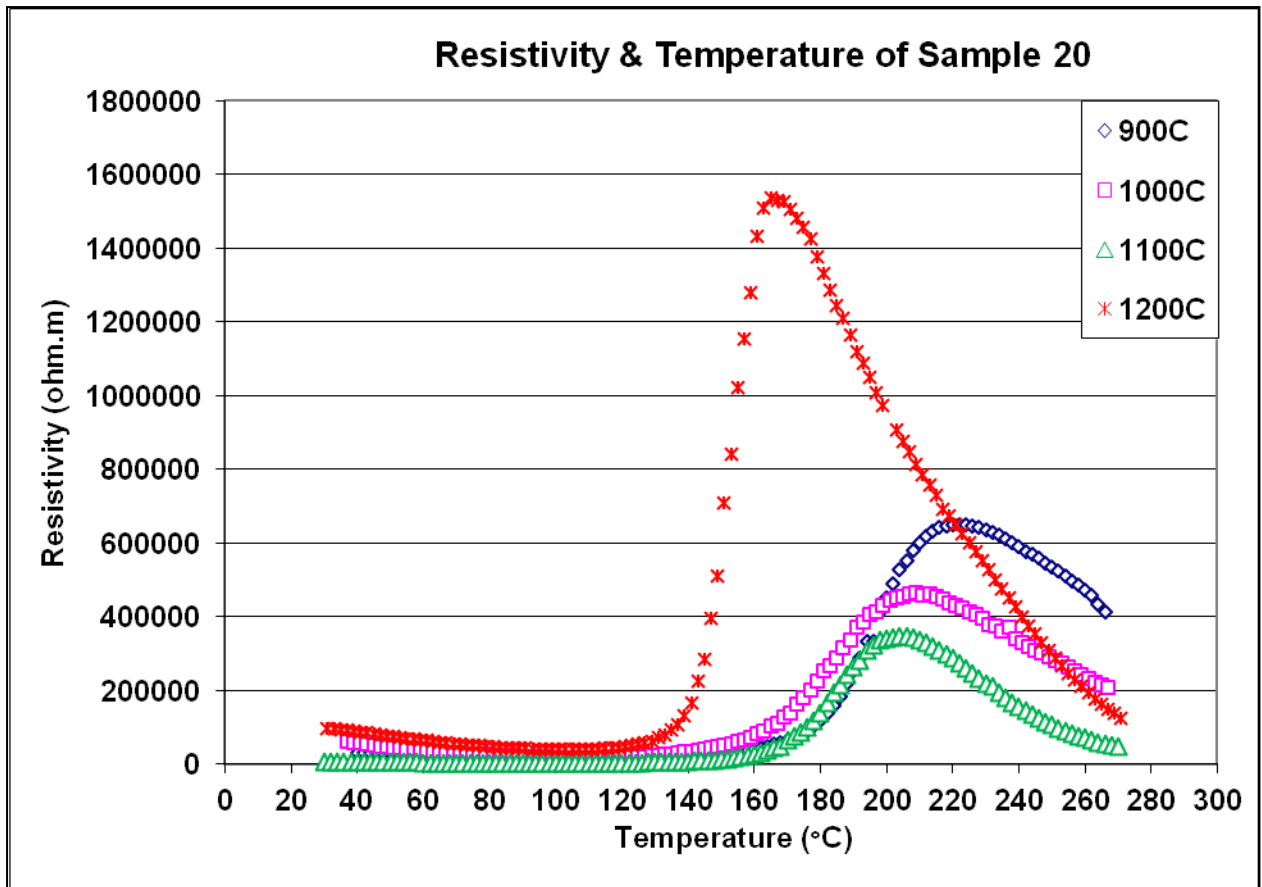
จากรูปที่ 80 จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างสูตร 20 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีกราฟ  $\rho$  ต่ออุณหภูมิที่แตกต่างจากสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจาก  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีค่าสูงกว่า  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นการ plot กราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  กับกราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้ไม่เห็นพฤติกรรม PTCR ของชิ้นตัวอย่างอื่น จึงตัด  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่  $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ออกแล้วเหลือแต่กราฟ  $\rho$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้กราฟดังรูปที่ 81 จากรูปที่ 81 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตรที่ 20 ซึ่งเผาผนึกที่  $900, 1000, 1100$  และ  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  แสดงพฤติกรรม PTCR โดยที่ชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  มีสภาพความต้านทานสูงสุด สูงกว่าชิ้นตัวอย่างอื่นทั้งหมด ซึ่งก็เรื่องแปลกเพราะที่ผ่านชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะแสดงพฤติกรรม PTCR ไม่มากเท่าชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า อนึ่ง อุณหภูมิที่ชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 20 ในการทดลองนี้แสดงสมบัติ PTCR ไม่น่าจะเป็นอุณหภูมิคูรีของวัสดุ เพราะสูตร 20 มีการแทนที่  $Pb^{2+}$  เข้าไปใน  $Ba^{2+}$  มากกว่าสูตรที่ 19 เสียอีก ดังนั้นชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 20 น่าจะมีอุณหภูมิคูรีสูงกว่าชิ้นตัวอย่างสูตรที่ 19



รูปที่ 79 ค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ของ PTCR สูตร 20 เผาพูนที่ 900 – 1200 °C



รูปที่ 80 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาพูนที่ 900 – 1200 °C



รูปที่ 81 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 900, 1000, 1100 และ 1200 °C



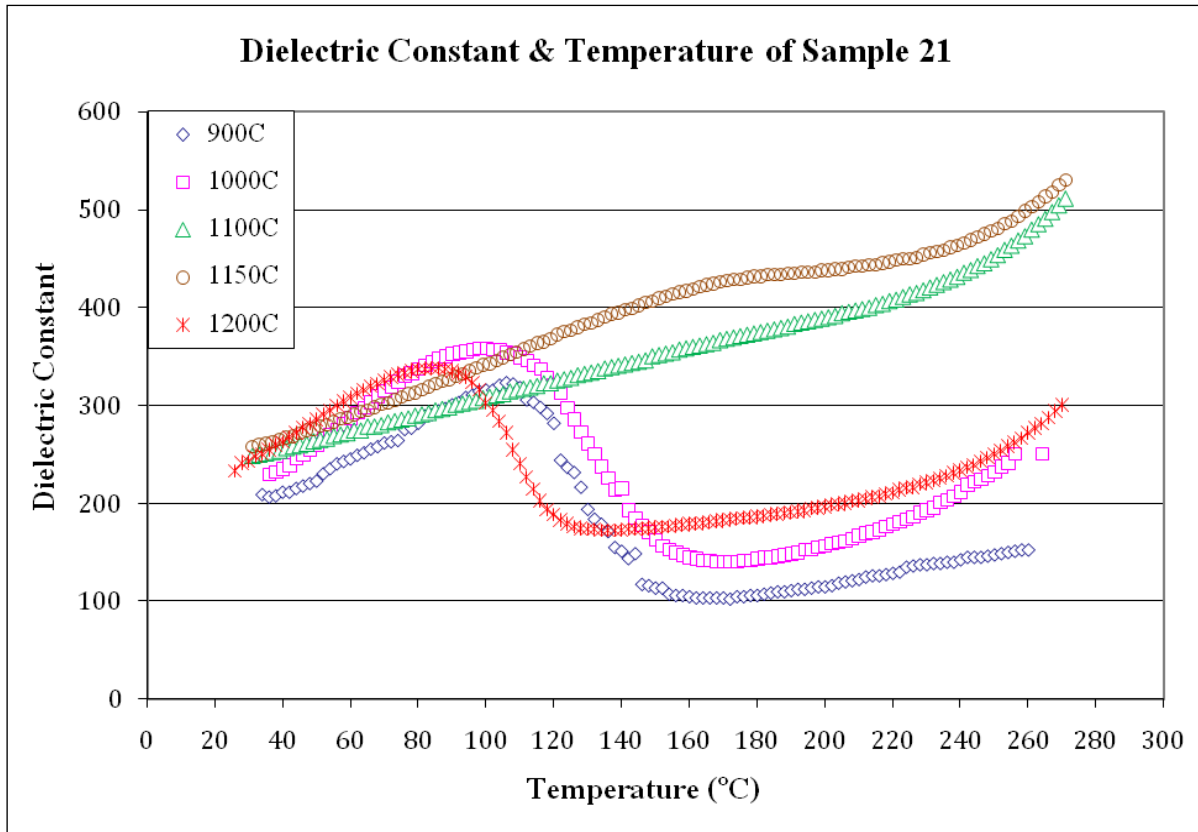


รูปที่ 82 และ 83 แสดง  $K'$  และ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 21 ซึ่งเผาผนึกที่ 900, 1000, 1100, 1150 และ 1200 °C เป็นสารประกอบที่เกิดจากการเติม  $Pb^{2+}$  เข้าไปแทนที่  $Ba^{2+}$  ใน  $BaTiO_3$  ถึง 0.80 mole ฉะนั้น PTCR สูตรนี้จะแสดงพฤติกรรมเหมือน  $PbTiO_3$  มากกว่า  $BaTiO_3$  จากรูปที่ 82 จะเห็นได้ว่า  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรซึ่งเผาที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 °C มีลักษณะแตกต่างจาก  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิอื่น กล่าวคือ  $K'$  ของ PTCR สูตร 21 ซึ่งเผาผนึกที่ 1100 และ 1150 °C จะค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากอุณหภูมิห้องไปถึงประมาณ 260 °C แต่  $K'$  ของ PTCR สูตรเดียวกันซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิอื่นมีค่าเพิ่มขึ้นตอนแรกต่อมามีค่าลดลงแล้วจึงเพิ่มขึ้นอีกอย่างช้าๆ คล้ายๆ กับ  $K'$  ของ PTCR สูตร 20 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิ 900, 1000, 1100 และ 1200 °C

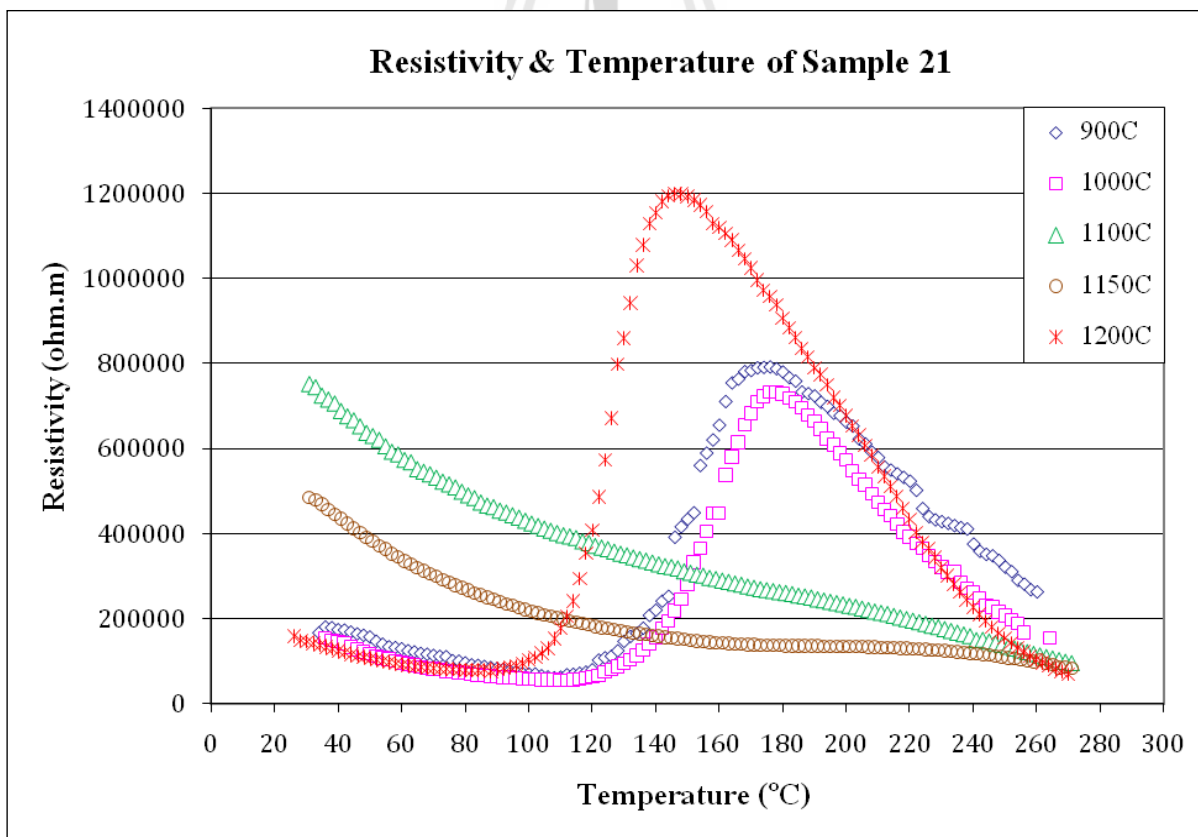
จากรูปที่ 83 จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างสูตร 21 ซึ่งเผาผนึกที่ 900, 1000 และ 1200 °C แสดงพฤติกรรม PTCR เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 130, 130 และ 100 °C ตามลำดับ ขณะที่ชิ้นตัวอย่างสูตรเดียวกัน ซึ่งเผาผนึกที่ 1100 และ 1150 °C กลับไม่แสดงพฤติกรรม PTCR เลยในเมื่อได้รับความร้อนจากอุณหภูมิห้องถึง 260 °C เพราะความต้านทานของชิ้นตัวอย่างดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อได้รับความร้อนขึ้นไปจนอุณหภูมิดังกล่าว

โดยสรุปแล้วการทดลองนี้พบว่า การแทนที่  $Pb^{2+}$  เข้าไปใน  $Ba^{2+}$  ของ La-doped  $BaTiO_3$  มากขึ้นสามารถทำให้อุณหภูมิคูรีของชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่ปรากฏว่าการกระทำดังกล่าวไม่ได้ช่วยทำให้ชิ้นตัวอย่างที่ผลิตได้แสดงสมบัติ PTCR ที่อุณหภูมิสูงขึ้นทั้งนี้ก็เป็นเพราะว่าชิ้นตัวอย่างซึ่งแสดงสมบัติ PTCR เป็นชิ้นตัวอย่างซึ่งแสดงสมบัติ PTCR ไม่ได้แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนจากเฟอโรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริก





รูปที่ 82 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 900 – 1200 °C



รูปที่ 83 สภาพความต้านทานไฟฟ้า PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 900 – 1200 °C

## บทที่ 6

### การทดลองที่ 6

#### วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงสมบัติ PTCR โดยการทำให้มีความพรุนตัวสูงขึ้น

#### ความเป็นมา

จากที่มีผู้รายงานว่า การเติมแป้งหรือคาร์บอนเข้าไปในส่วนผสมของ PTCR ทำให้ PTCR มีความพรุนตัวสูงขึ้นจะสามารถทำให้ PTCR มีสมบัติที่เด่นชัดขึ้นได้ งานวิจัยนี้จึงทดลองใส่แป้งเข้าไปในส่วนผสมของ PTCR

#### วิธีการทดลอง

1) นำผง PTCR สูตร 20 ที่ผ่านการใส่ PVA แล้วจากการทดลองที่ 5 มาเติมแป้งข้าวโพดลงไปเป็นปริมาณต่างๆ กันตามส่วนผสมในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ส่วนผสมของ PTCR ในการทดลองที่ 6

สูตร	ผง PTCR ที่เติม PVA แล้ว	แป้งข้าวโพด	% แป้งโดยน้ำหนัก
20 P0	5 g	0 g	0 %
20 P1	5 g	0.25 g	5 %
20 P2	5 g	0.5 g	10 %

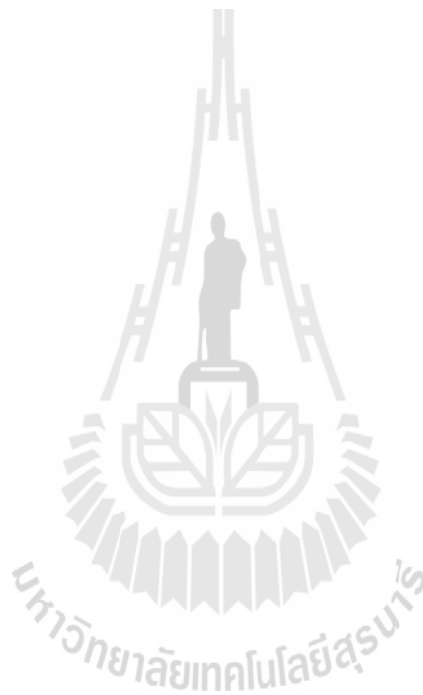
- 2) ผสมส่วนผสมในตารางที่ 6 ในโถรงจนเข้ากัน
- 3) อัดส่วนผสมเป็นเม็ด ตามวิธีที่กล่าวแล้วในการทดลองที่ 1 แต่ใช้แรงอัด 8000 ปอนด์
- 4) เผาผนึกชิ้นงานตาม heating profile ที่กล่าวในการทดลองที่ 4 แต่การทดลองนี้ใช้อุณหภูมิสูงสุดในการเผาผนึกอุณหภูมิเดียวคือ 1000 °C
- 5) นำ pellet ตัวอย่างที่ได้ไปฉาบผิวด้วยโลหะตัวนำเพื่อทำขั้วไฟฟ้า แล้ววัด  $C_p$ ,  $R$  และคำนวณ  $K'$  กับ  $\rho$  ตามที่กล่าวไว้ใน การทดลอง 1

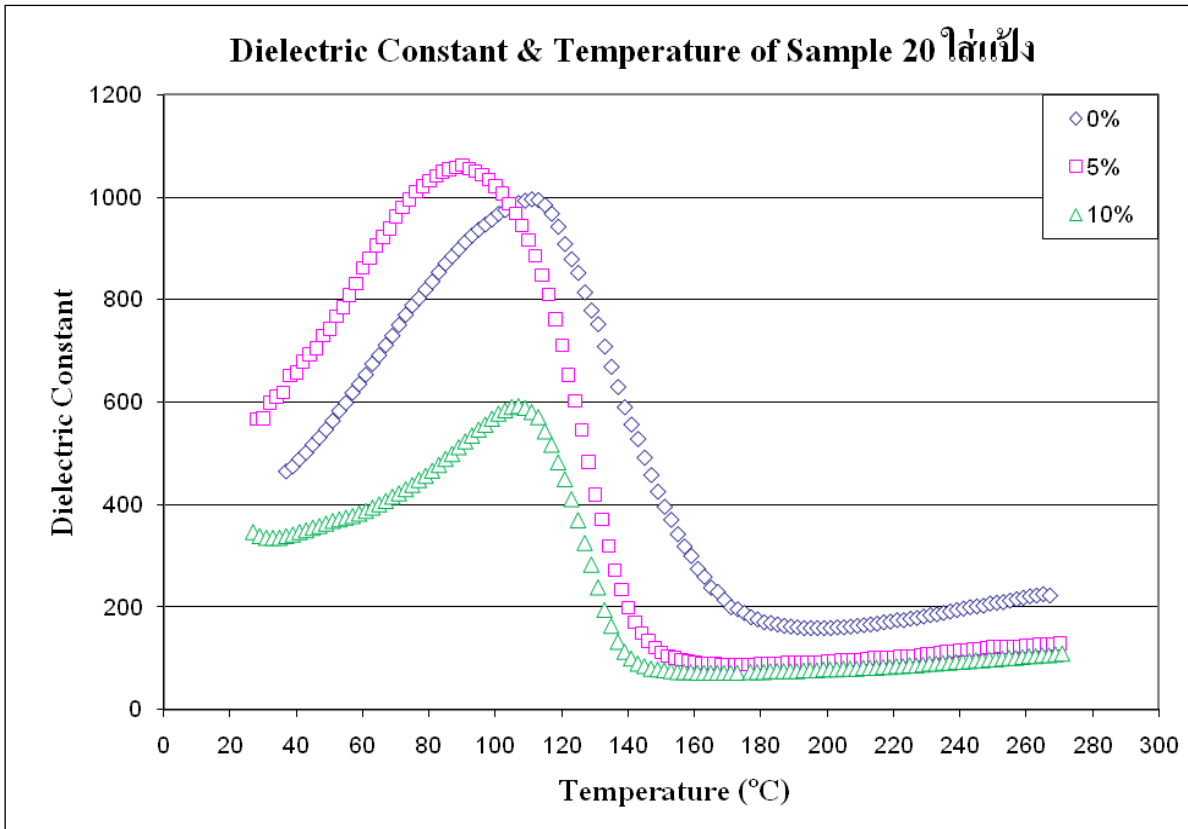
#### ผลการทดลอง

รูปที่ 84 และ 85 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 20 ที่ใส่แป้งปริมาณต่างๆ กัน จากรูป 84 จะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นไม่ได้แสดงพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงจากเฟร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิลเล็กทริกเมื่อได้รับความร้อนให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึง 260 °C นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ใส่แป้งมีกับชิ้นตัวอย่างที่ใส่แป้ง 5% มี  $K'$  ที่ต่างกันไม่มากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อใส่แป้ง 10% จะพบว่าชิ้นตัวอย่างจะมี  $K'$  ต่ำลงไปมากทั้งนี้เพราะว่าการเติมแป้งลงไปมากจะทำให้ชิ้นตัวอย่างมีความ

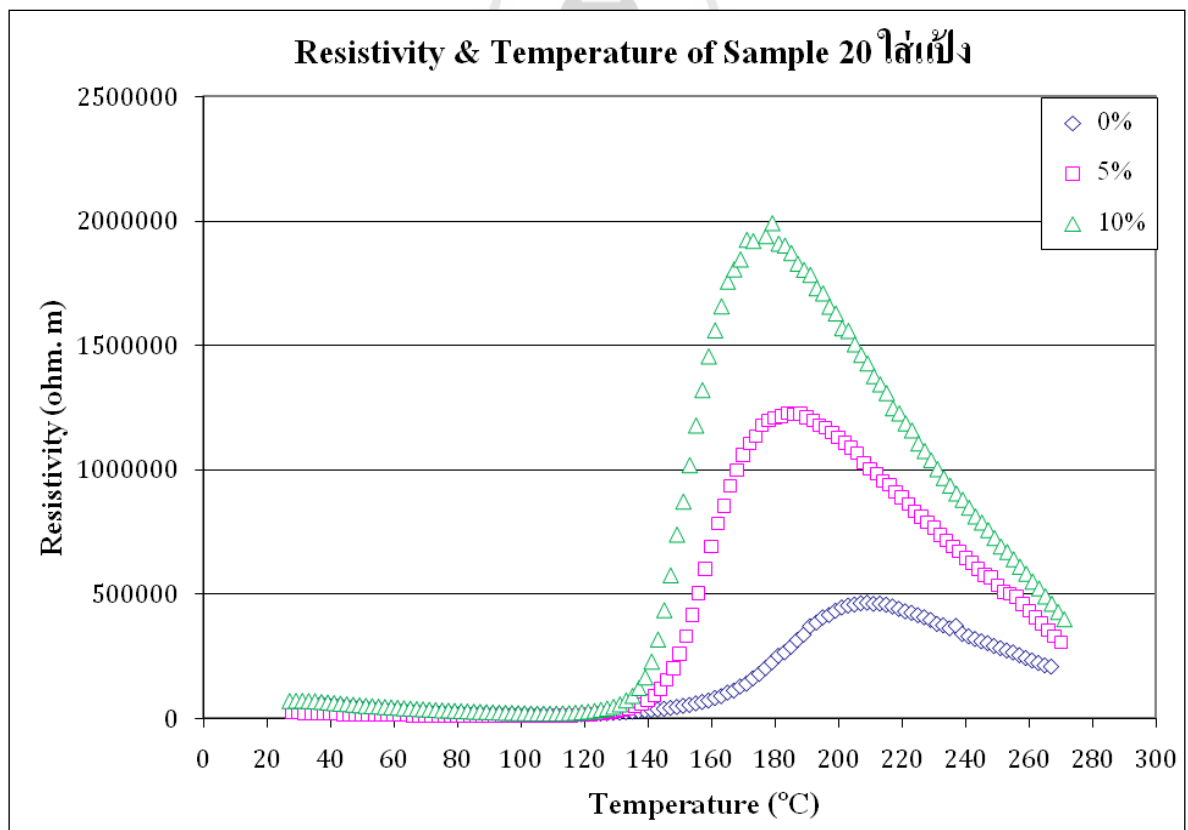
หนาแน่นต่ำและมีรูพรุนในตัวมาก รูพรุนเหล่านี้มีสมบัติทางไดอิเล็กทริกต่ำจึงทำให้ชั้นตัวอย่างมี  $K'$  ต่ำลงนั่นเอง

จากรูปที่ 85 จะเห็นว่า PTCR ในการทดลองนี้แสดงสมบัติ PTCR โดยที่ชั้นงานที่เติมแป้งมากขึ้นจะแสดงพฤติกรรม PTCR มากขึ้น เพราะ  $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}$  ของชั้นงานที่ใส่แป้งมากขึ้นมีค่ามากขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามทฤษฎี เพราะการใส่แป้งลงไปจะทำให้วัสดุมีรูพรุนในตัวมากขึ้น เมื่อวัสดุมีรูพรุนมากทำให้ต้องนำไฟฟ้าไปตาม grain boundary มากขึ้นทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของชั้นตัวอย่างมากขึ้นไปด้วย





รูปที่ 84 ค่าคงที่ได้อิเล็กทรอนิกส์ของ PTCR สูตร 20 ที่ใส่แป้งในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 85 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 20 ที่ใส่แป้งปริมาณต่างๆกัน

## บทที่ 7

### การทดลองที่ 7

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ PTCR ของ Nb-dope  $Ba_{0.75}Pb_{0.25}TiO_3$

#### ความเป็นมา

จากการทดลองที่ 1 ที่ผ่านมามองเห็นว่า PTCR สูตร 13 ซึ่งเกิดจากการแทนที่  $Nb^{5+}$  เข้าไปใน  $BaTiO_3$  มีพฤติกรรม PTCR ที่ดี อย่างไรก็ตาม PTCR สูตรที่ 13 ในการทดลองที่ 1 นั้นแสดงพฤติกรรม PTCR ที่อุณหภูมิต่ำกว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า การทดลองนี้จึงทดลองเติม Pb เข้าไปใน Nb-doped  $BaTiO_3$  เพิ่มจะได้กระตุ้นให้แสดงพฤติกรรมตาม PTCR ที่อุณหภูมิสูงขึ้น

#### วิธีการทดลอง

- 1) ผสม PTCR สองสูตร คือสูตรที่ 22 และ 23 ซึ่งมีสูตรเคมีตามที่แสดงในตารางที่ 7 ตามส่วนผสมที่แสดงในภาคผนวก ก12) และ ก13)
- 2) บดผสมส่วนผสม เเผา calcine เติมตัวช่วยในการเผาผนึก ตัวช่วยกระตุ้นสมบัติ PTCR และเผาผนึกด้วยวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 5 ทั้งหมด ยกเว้นแต่ใช้อุณหภูมิ calcine  $800\text{ }^{\circ}C$
- 3) เเผาผนึกขึ้นตัวอย่างตั้งแต่  $1000-1200\text{ }^{\circ}C$  ตาม profile การเผาในการทดลองที่ 4 เสร็จแล้วขัดผิวแล้วนำขึ้นตัวอย่างสูตรที่ 22 ไปหาความหนาแน่นและความพรุนตัวโดยใช้วิธี Archimedes จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปฉาบโลหะตัวนำและวัดสมบัติของขึ้นตัวอย่างเหมือนการทดลองที่ผ่านมา

ตารางที่ 7 สูตรเคมีของ PTCR สูตรที่ 22 และ 23

สูตร	สูตรเคมี
22	$(Ba_{0.75}Pb_{0.25})(Ti_{0.996}Nb_{0.004})O_3 + 0.0167Al_2O_3 + 0.0375SiO_2 + 0.0127TiO_2 + 0.0127MnSO_4 \cdot H_2O$
23	$(Ba_{0.75}Pb_{0.25})(Ti_{0.99}Nb_{0.01})O_3 + 0.0167Al_2O_3 + 0.0375SiO_2 + 0.0127TiO_2 + 0.0127MnSO_4 \cdot H_2O$

#### ผลการทดลอง

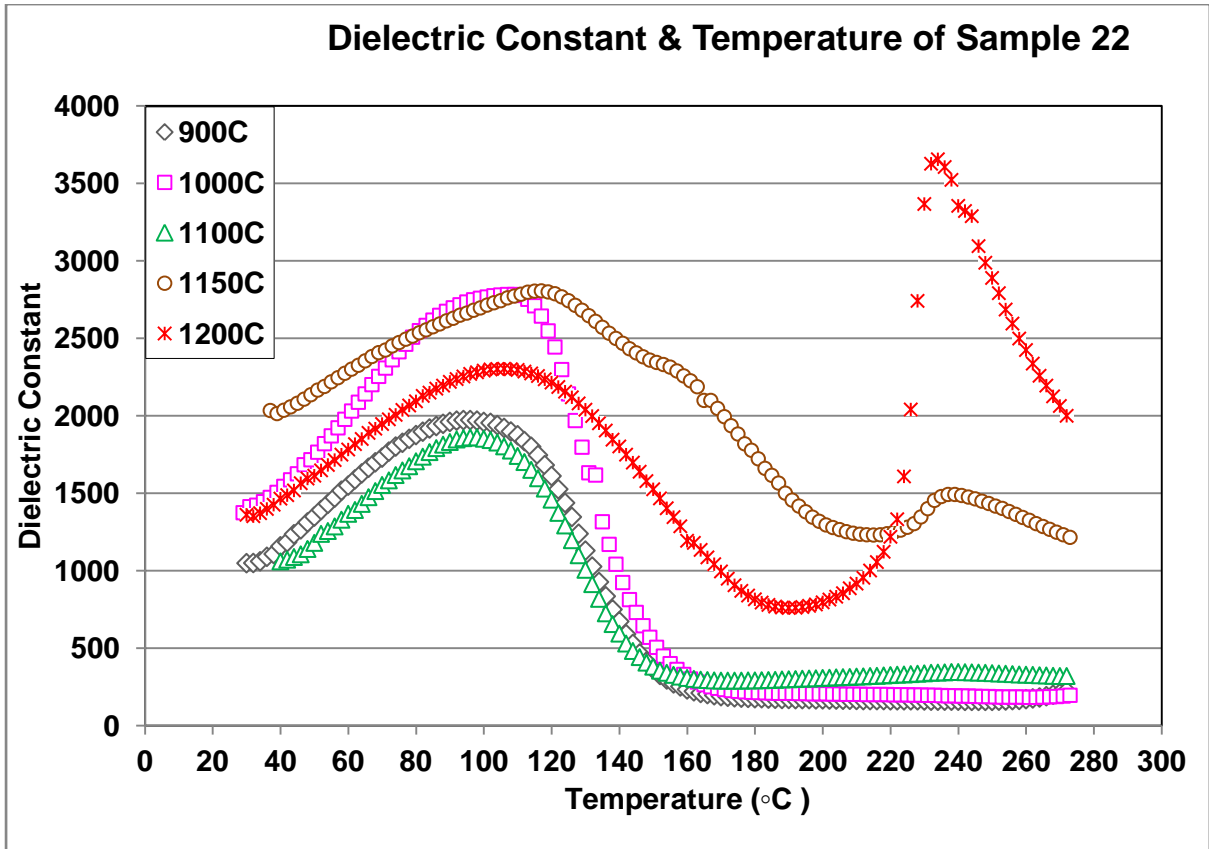
ตารางที่ 8 แสดงความหนาแน่นและความพรุนตัวของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างๆ กัน จากตารางจะเห็นได้ว่า PTCR ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ มีความหนาแน่นต่ำๆ และมีความพรุนตัวสูงมาก คาดว่า PTCR สูตร 11-21 ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นในการทดลองก่อนๆ และ PTCR สูตร 23 ในการทดลองนี้คงมีความหนาแน่นและความพรุนตัวในทำนองเดียวกัน นี้เองจึงเป็นสาเหตุให้ PTCR ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ มีพฤติกรรมแตกต่างไปจาก PTCR ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิสูงๆ มาก และนี่เองคงเป็นเหตุให้ PTCR ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่ำๆ มีพฤติกรรมแตกต่างไปจากทฤษฎีของ Heywang, Daniels และ Jonker มาก

ตารางที่ 8 ความหนาแน่นและความพรุนตัวของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่อุณหภูมิต่างๆ

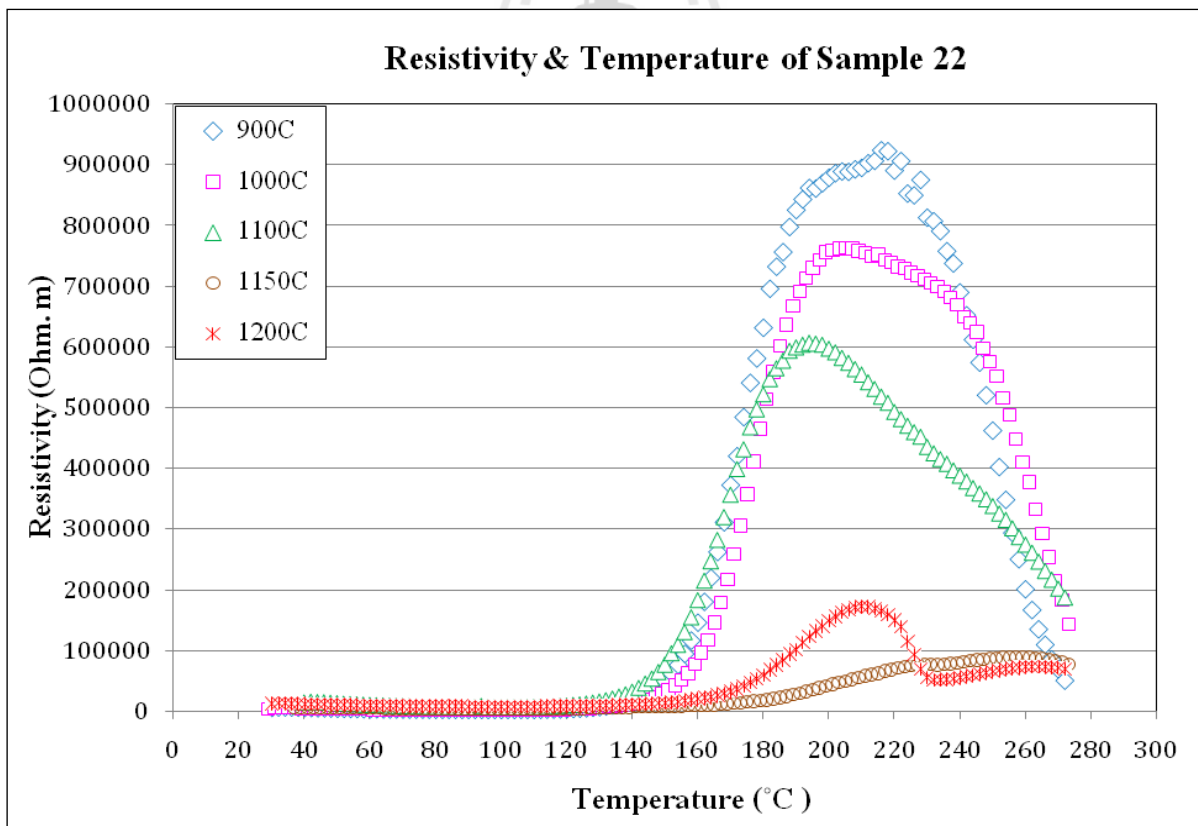
อุณหภูมิเผาผนึก (°C)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ความพรุนตัว (%)
900	3.02	50.59
1000	2.98	49.89
1100	3.43	43.01
1150	5.25	12.98
1200	5.46	4.20

รูปที่ 86 และ 87 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ที่อุณหภูมิต่างๆ ของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1200 °C จากรูปที่ 86 จะเห็นว่าชิ้นงานซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C มีกราฟ  $K'$  ที่มี peak ซึ่งแสดงการเปลี่ยนจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิ 234 °C ขณะที่ชิ้นงานซึ่งเผาผนึกที่ 900-1100 °C มีกราฟ  $K'$  ซึ่งไม่มี peak ที่แสดงการเปลี่ยนสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริก ส่วนชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 °C มีกราฟ  $K'$  ที่มีรอยนูนเล็กๆ ที่คล้ายกับจะโตเป็น peak ที่แสดงการเปลี่ยนจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิ 225°C แสดงว่าอุณหภูมิคูรีของ PTCR สูตร 22 มีค่าประมาณ 225-234 °C ซึ่งก็ใกล้เคียงกับอุณหภูมิคูรีของ PTCR สูตร 18 เพราะ PTCR ทั้งสองสูตรมีการแทนที่ Ba<sup>2+</sup> ใน BaTiO<sub>3</sub> ด้วย Pb<sup>2+</sup> ปริมาณใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 87 จะเห็นว่า PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1100 °C มีพฤติกรรม PTCR อย่างเห็นได้ชัด เพราะชิ้นตัวอย่างดังกล่าวมี  $\rho$  เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 150 °C ส่วนชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 °C มี  $\rho$  เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงอุณหภูมิที่ทดลอง

สำหรับชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C เมื่อให้ความร้อนขึ้นตัวอย่างในช่วงแรกๆ (จากอุณหภูมิห้องถึง 210 °C) ชิ้นตัวอย่างจะมี  $\rho$  เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่มากนัก แต่เมื่อให้ความร้อนต่อไป (จาก 210-234 °C) ชิ้นตัวอย่างจะมี  $\rho$  ลดลง และที่อุณหภูมิ 234 °C จะมีกราฟของ  $\rho$  มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันคือ  $\rho$  จะหยุดลดลงและมีค่าคงที่เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนถึง 270 °C การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันที่ 234 °C น่าจะเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติของชิ้นตัวอย่างจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกเพราะจากรูปที่ 86 อุณหภูมิคูรีของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C เท่ากับ 234 °C ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของ  $\rho$  ชิ้นตัวอย่างนี้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึง 210 °C ไม่น่าจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริก



รูปที่ 86 ค่าคงที่ได้ไอเล็กทริกของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1200 °C



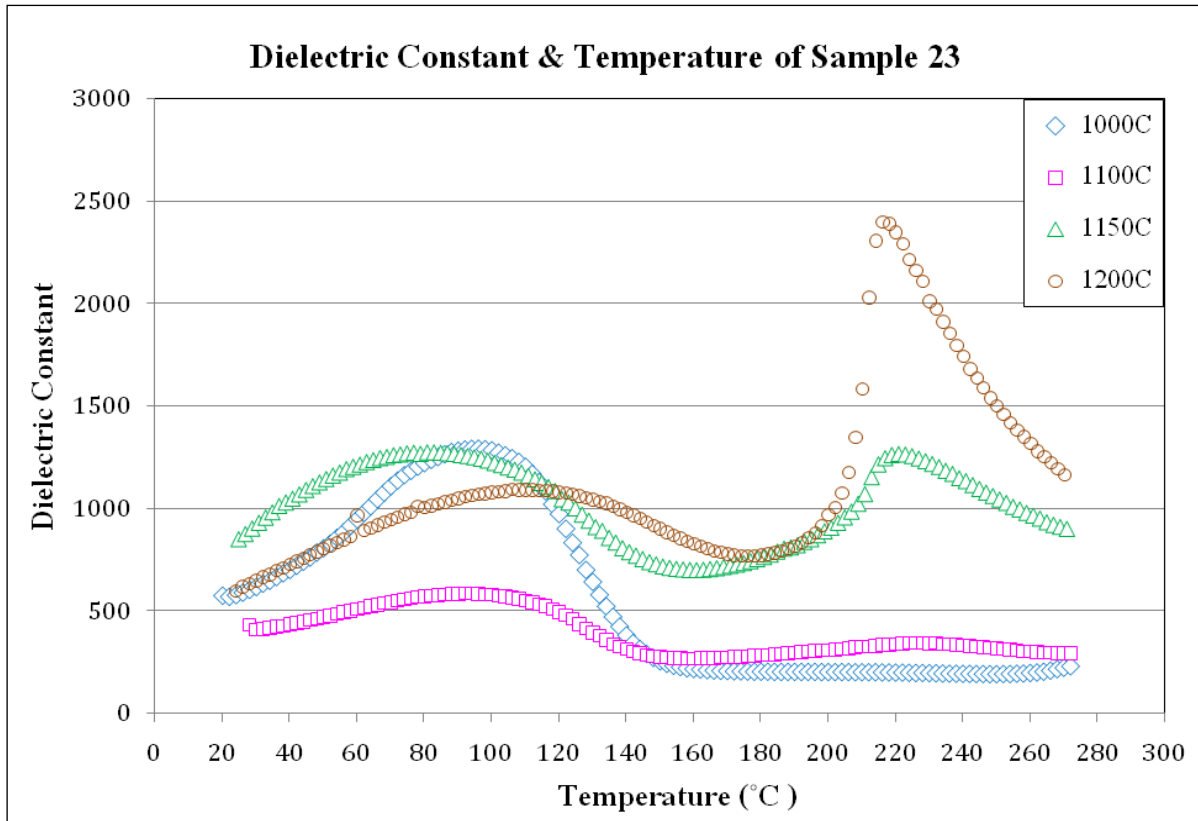
รูปที่ 87 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 900-1200 °C



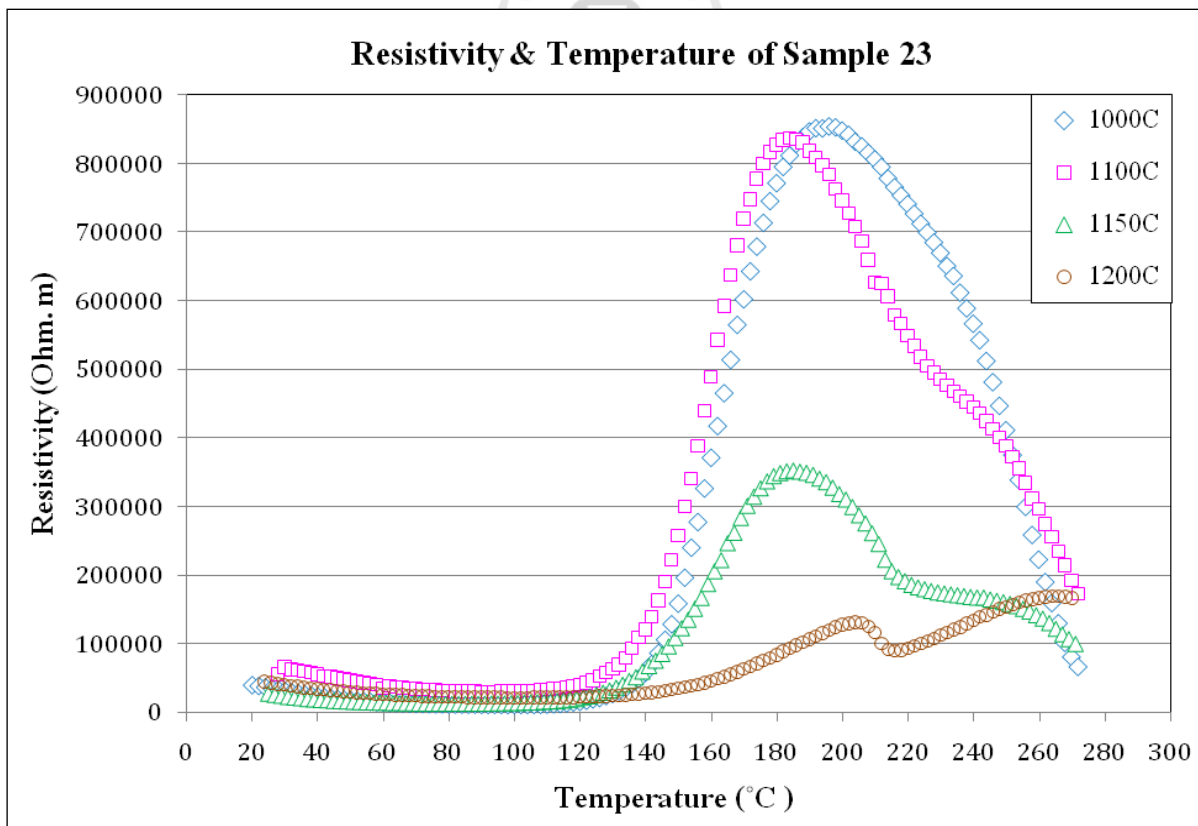
รูปที่ 88 และ 89 แสดง  $K'$  กับ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000-1200 °C จากรูปที่ 88 จะเห็นได้ว่า PTCR สูตรที่ 23 มีพฤติกรรมเหมือนกับ PTCR สูตร 22 กล่าวคือกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างนี้ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 และ 1100 °C ไม่มี peak แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกในช่วงอุณหภูมิห้องจนถึงประมาณ 260 °C แต่กราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C จะมี peak ของการเปลี่ยนแปลงจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริกชัดเจน และกราฟ  $K'$  ของชิ้นตัวอย่างซึ่งเผาผนึกที่ 1150 °C จะมีรอยนูนเล็กๆ ซึ่งน่าจะโตเป็น peak แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกเป็นพาราอิเล็กทริก อย่างไรก็ตาม peak แสดงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1150 และ 1200 °C เกิดที่อุณหภูมิ 221 และ 216 °C ตามลำดับซึ่งต่ำกว่า อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของ PTCR สูตร 22 แสดงว่า PTCR สูตรที่ 23 มีอุณหภูมิคูรีต่ำกว่า PTCR สูตร 22 ทั้งๆ ที่ทั้งสองสูตรมีการแทนที่  $Ba^{2+}$  ด้วย  $Pb^{2+}$  ในปริมาณเท่ากัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจจะเป็นเพราะ PTCR สูตร 23 มีการแทนที่  $Ti^{4+}$  ด้วย  $Nb^{5+}$  ในปริมาณมากกว่า PTCR สูตร 22

จากรูปที่ 89 จะเห็นว่า PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาที่ 1000-1100 °C แสดงพฤติกรรม PTCR โดยความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อได้รับความร้อนถึง 130 °C แต่ชิ้นตัวอย่างที่เผาผนึกที่ 1150-1200 °C มีกราฟ  $\rho$  คล้ายๆ กับกราฟ  $\rho$  ของ PTCR สูตรที่ 22 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200 °C กล่าวคือช่วงแรกชิ้นตัวอย่างจะมี  $\rho$  เพิ่มขึ้นต่อมา  $\rho$  จะมีค่าลดลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันที่อุณหภูมิคูรีแสดงให้เห็นชัดว่าการเพิ่มขึ้นของ  $\rho$  ในช่วงแรกไม่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติจากเฟอร์โรอิเล็กทริกไปเป็นพาราอิเล็กทริกของชิ้นตัวอย่าง

โดยสรุปจะเห็นได้ว่า Nb-doped  $(Ba_{0.75}Pb_{0.25})TiO_3$  ในการทดลองนี้สามารถแสดงสมบัติ PTCR ได้ แต่อุณหภูมิที่เริ่มแสดงสมบัติ PTCR ยังต่ำกว่าอุณหภูมิที่ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าเริ่มแสดงสมบัติ PTCR



รูปที่ 88 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 – 1200 °C



รูปที่ 89 สภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR สูตร 23 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000 – 1200 °C

## สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทดลองเพื่อผลิตแท่งทำความร้อนเซรามิกที่มีส่วนผสมต่างๆ กัน 13 สูตร ด้วยกระบวนการผลิตต่างๆ กัน โดย vary แรงดันที่ใช้ในการอัดเม็ด, อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึก, ลำดับการใส่ส่วนผสมของวัตถุดิบ รวมทั้งทดลองเติมแป้งเข้าไปเพื่อเพิ่มความพรุนตัว จากการทดลองพบว่าสามารถเตรียมเซรามิกที่มีสมบัติ PTCR แต่เมื่อเทียบกับ PTCR ที่ผลิตได้กับ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าซึ่งถอดออกมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในท้องตลาดแล้วพบว่า PTCR ที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้ยังมีความแตกต่างจาก PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าอยู่ 2 ประการคือ 1) สภาพความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิใกล้เคียงๆ อุณหภูมิห้องของ PTCR ที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า 2) อุณหภูมิที่ PTCR ที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้เริ่มแสดงสมบัติ PTCR ยังคงต่ำกว่าอุณหภูมิที่ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าเริ่มแสดงสมบัติ PTCR

หากจะนำ PTCR ที่ผลิตขึ้นจากงานวิจัยนี้ไปใช้แทน PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าอาจจะต้องปรับวงจรไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ใช้งานที่สภาพความต้านทานไฟฟ้าที่สูงขึ้น นอกจากนี้การที่ PTCR ที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้เริ่มแสดงสมบัติ PTCR ที่อุณหภูมิต่ำกว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าทำให้ PTCR ที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้จะตัดไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้า ดังนั้นหากนำ PTCR ไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าจะตัดไฟที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งอาจจะเหมาะสมสำหรับการใช้งานบางประเภท อย่างไรก็ตามหากยังคงต้องการให้ผลิต PTCR ให้มีสมบัติเท่าๆ กับ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้าก็อาจจะต้องปรับปรุงสูตรของส่วนผสมหรือปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งก็อาจจะทำให้ได้ PTCR ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับ PTCR ที่ใช้ในเชิงการค้ายิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

- 1) Heywang, W. (1961). Barium titanate as a Semiconductor with Blocking Layers. *Solid State Electron* 3 (1): 51-58.
- 2) Heywang, W. (1964). Resistivity Anomaly in Doped Barium Titanate. *J. Am. Ceram. Soc.* 47 (10): 484-490.
- 3) Jonker, G. H. (1964). Some Aspects of Semiconducting Barium Titanate. *Solid State Electron.* 7: 895-903.
- 4) Ueoka, H. and Yodogawa, M. (1974). Ceramic Manufacturing Technology for the High Performance PTC Thermistor. *IEEE Trans. Manuf. Technol.* 32: 77-82.
- 5) Daniels, J. and Hardtl, K. H. (1976). Part I Electrical Conductivity at High Temperature of Donor Doped Barium Titanate Ceramics. *Philips Res. Repts.* 31: 489-504.
- 6) Jonker, G. H. and Havinga, E. E. (1982). The Influence of Foreign Atoms on the Crystal Lattice of Barium Titanate. *Mater. Res. Bull.* 17: 345-350.
- 7) Daniels J., Hardtl, K. H. and Wernicke, R. (1978/1979). The PTC Effect of Barium Titanate. *Philips Tech Rev.* 38 (3): 73-82.
- 8) Cho, S. H. (2006). Theoretical Aspects of PTC Thermistors. *J. Korea. Ceram. Soc.* 43 (11): 673-679.
- 9) สุธรรม ศรีหล่มสัก, (2554). ตัวทำความร้อน PTCR-BaTiO<sub>3</sub>. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 39 ฉบับที่ 1. หน้า 71-79.
- 10) Park K., Kim J., Kim J. and Cho, W. (2002). Microstructure and Electrical Properties of Porous (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> Ceramics. *Materials Science and Engineering*, 88:9-13.
- 11) Kim J. (2002). Synthesis of Porous (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> Ceramics and PTCR Characteristic. *Material Chemistry and Physics.* 78: 154-159.
- 12) Park K. (2004). Characteristics of Porous BaTiO<sub>3</sub>-based PTC Thermistors Fabricated by Adding Graphite Powders. *Materials Science and Engineering*, 107:19-26.
- 13) Bomlai P., Sirikilrat A., Brown A and Milne S., (2005). Effects of TiO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> additions on phase formation, microstructures and PTCR characteristics of Sb-doped barium strontium titanate ceramics. *J. Euro. Ceram. Soc.* 25:1905-1918.

- 14) Lee J., Park J. and Hong K. (2002). Role of liquid phase in PTCR characteristics of  $(\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})\text{TiO}_3$  ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 85(5): 1173-1179.
- 15) Jaffe, B., Cook, W. R., & Jaffe, H. 1971. Piezoelectric Ceramics, New York: Academic Press Limited.



ภาคผนวก กก1) การคำนวณสูตร 11สูตร 11  $Ba_{0.9971}Sb_{0.0029}TiO_3+0.0007MnO_2+0.015TiO_2$ วัตถุดิบ  $BaCO_3$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ Molecular Weight ของ  $BaCO_3 = 137.33+12.0111+(3 \times 15.9994) = 197.3393$  g/mole

$$Sb_2O_3 = (121.75 \times 2) + (15.9994 \times 3) = 291.4982 \text{ g/mole}$$

$$TiO_2 = 47.88 + (15.9994 \times 2) = 79.8788 \text{ g/mole}$$

$$MnO_2 = 54.9380 + (15.9994 \times 2) = 86.9368 \text{ g/mole}$$

การเตรียมวัตถุดิบ 1 mole ใช้วัตถุดิบดังนี้

$$BaCO_3 = (1 - 0.0029) \text{ mole} \times 197.3393 \text{ g/mole} = 196.7670 \text{ g}$$

$$Sb_2O_3 = \left( \frac{0.0029}{2} \right) \text{ mole} \times 291.4982 \text{ g/mole} = 0.4227 \text{ g}$$

$$TiO_2 \text{ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างหลัก} = 1 \text{ mole} \times 79.8788 = 79.8788 \text{ g}$$

$$MnO_2 = 0.0007 \text{ mole} \times 86.9368 = 0.0609 \text{ g}$$

$$TiO_2 \text{ ที่ใช้ช่วยในการเผาผนึก} = 0.015 \text{ mole} \times 79.8788 = 1.1982 \text{ g}$$

$$\text{รวม} = \underline{278.3276} \text{ g}$$

ทำให้เป็น batch ละ 50 g

$$BaCO_3 = 196.7670 \times \left( \frac{50}{278.3276} \right) = 35.3481 \text{ g}$$

$$Sb_2O_3 = 0.4227 \times \left( \frac{50}{278.3276} \right) = 0.0759 \text{ g}$$

$$TiO_2 = 79.8788 \times \left( \frac{50}{278.3276} \right) = 14.3498 \text{ g}$$

$$MnO_2 = 0.0609 \times \left( \frac{50}{278.3276} \right) = 0.0109 \text{ g}$$

$$TiO_2 = 1.1982 \times \left( \frac{50}{278.3276} \right) = 0.2152 \text{ g}$$

$$\text{รวม} = \underline{49.9999} \text{ g}$$

**ก2) การคำนวณสูตร 12**สูตร 12  $\text{Ba}_{0.9975}\text{La}_{0.0025}\text{TiO}_3 + 0.0007\text{MnO}_2 + 0.015\text{TiO}_2$ วัตถุดิบ  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ Molecular Weight ของ  $\text{BaCO}_3$  = 197.3393 g/mol

$$\text{La}_2\text{O}_3 = (2 \times 138.906) + (3 \times 15.9994) = 325.8102 \text{ g/mol}$$

$$\text{TiO}_2 = 79.8788 \text{ g/mol}$$

$$\text{MnO}_2 = 86.9368 \text{ g/mol}$$

การเตรียมวัตถุดิบ 1 mole ใช้วัตถุดิบดังนี้

$$\text{BaCO}_3 = (0.9975) \text{ mole} \times 197.3393 \text{ g/mol} = 196.8460 \text{ g}$$

$$\text{La}_2\text{O}_3 = \frac{0.0025}{2} \text{ mole} \times 325.8102 \text{ g/mol} = 0.4073 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 1 \text{ mole} \times 79.8788 \text{ g/mol} = 79.8788 \text{ g}$$

$$\text{MnO}_2 = 0.0007 \text{ mole} \times 86.9368 \text{ g/mol} = 0.0609 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 0.015 \text{ mole} \times 79.8788 \text{ g/mol} = 1.1982 \text{ g}$$

$$\underline{\underline{278.3912 \text{ g}}}$$

ทำให้เป็น batch ละ 50 g

$$\text{BaCO}_3 = 196.8460 \times \left( \frac{50}{278.3912} \right) = 35.3542 \text{ g}$$

$$\text{La}_2\text{O}_3 = 0.4073 \times \left( \frac{50}{278.3912} \right) = 0.0732 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 79.8788 \times \left( \frac{50}{278.3912} \right) = 14.3465 \text{ g}$$

$$\text{MnO}_2 = 0.0609 \times \left( \frac{50}{278.3912} \right) = 0.0109 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 1.1982 \times \left( \frac{50}{278.3912} \right) = 0.2152 \text{ g}$$

$$\text{รวม} = \underline{\underline{50.000 \text{ g}}}$$

**ก3) การคำนวณสูตร 13**สูตร 13  $\text{BaTi}_{1-0.002}\text{Nb}_{0.002}\text{O}_3 + 0.0007\text{MnO}_2 + 0.015\text{TiO}_2$ วัตถุดิบ  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ Molecular Weight ของ  $\text{BaCO}_3 = 197.3393 \text{ g/mol}$ 

$$\text{Nb}_2\text{O}_5 = (2 \times 92.9064) + (5 \times 15.9994) = 265.8098 \text{ g/mol}$$

$$\text{TiO}_2 = 79.8788 \text{ g/mol}$$

$$\text{MnO}_2 = 86.9368 \text{ g/mol}$$

การเตรียมวัตถุดิบ 1 mole ใช้วัตถุดิบดังนี้

$$\text{BaCO}_3 = 1 \text{ mole} \times 197.3393 \text{ g/mol} = 197.3393 \text{ g}$$

$$\text{Nb}_2\text{O}_5 = (0.002 \div 2) \text{ mole} \times 265.8098 \text{ g/mol} = 0.2658 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = (1 - 0.002) \text{ mole} \times 79.8788 \text{ g/mol} = 79.7190 \text{ g}$$

$$\text{MnO}_2 = 0.0007 \text{ mole} \times 86.9368 \text{ g/mol} = 0.0609 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 0.015 \text{ mole} \times 79.8788 \text{ g/mol} = 1.1982 \text{ g}$$

$$\underline{278.5832 \text{ g}}$$

ทำให้เป็น 50 g

$$\text{BaCO}_3 = 197.3393 \times \left( \frac{50}{278.5832} \right) = 35.4184 \text{ g}$$

$$\text{Nb}_2\text{O}_5 = 0.2658 \times \left( \frac{50}{278.5832} \right) = 0.0477 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 79.7190 \times \left( \frac{50}{278.5832} \right) = 14.3079 \text{ g}$$

$$\text{MnO}_2 = 0.0609 \times \left( \frac{50}{278.5832} \right) = 0.0109 \text{ g}$$

$$\text{TiO}_2 = 1.1982 \times \left( \frac{50}{278.5832} \right) = 0.2152 \text{ g}$$

$$\text{รวม} = \underline{50.000 \text{ g}}$$



#### ก4) การคำนวณสูตร 14

สูตร 14  $(\text{Ba}_{0.797}\text{Pb}_{0.2})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnO}_2$

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	100g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	157.2794	54.7040
PbO	44.6399	15.5264
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1700
TiO <sub>2</sub>	79.8878	27.7830
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	100g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2961
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.7837
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.3528
MnO <sub>2</sub>	1.1041	0.3840
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>287.5099</b>	<b>100.0000</b>

#### ก5) การคำนวณสูตร 15

สูตร 15  $(\text{Ba}_{0.797}\text{Pb}_{0.2})\text{La}_{0.003}\text{Ca}_{0.005}\text{Ti}_{0.995}\text{O}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2$

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	157.2794	43.9164
PbO	44.6399	12.4646
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1365
CaCO <sub>3</sub>	0.5004	0.1397
TiO <sub>2</sub>	79.4794	22.1927
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2377
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6291
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2833
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>286.5069</b>	<b>80.0000</b>

## ก6) การคำนวณสูตร 16

สูตร  $(\text{Ba}_{0.797}\text{Pb}_{0.2})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	157.2794	43.6051
PbO	44.6399	12.3762
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1355
TiO <sub>2</sub>	79.8788	22.1461
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2360
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6247
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2813
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5951
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>288.5523</b>	<b>80.0000</b>

## ก7) การคำนวณสูตร 17

สูตร 17  $(\text{Ba}_{0.797}\text{Pb}_{0.2})\text{La}_{0.003}\text{Mn}_{0.005}\text{Ti}_{0.995}\text{O}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2$

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	157.2794	43.8636
PbO	44.6399	12.4496
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1363
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.8451	0.2357
TiO <sub>2</sub>	79.4794	22.1660
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2374
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6284
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2829
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>286.8515</b>	<b>80.0000</b>

**ก8) การคำนวณสูตร 18**สูตร  $(\text{Ba}_{0.697}\text{Pb}_{0.3})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	137.5455	37.7952
PbO	66.9598	18.3995
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1343
TiO <sub>2</sub>	79.8788	21.9494
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2339
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6191
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2788
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5898
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>291.1383</b>	<b>80.0000</b>

**ก9) การคำนวณสูตร 19**สูตร  $(\text{Ba}_{0.597}\text{Pb}_{0.4})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 

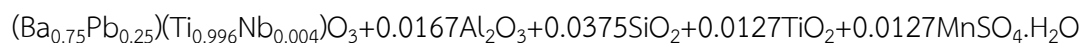
วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	117.8116	32.0877
PbO	89.2798	24.3166
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1331
TiO <sub>2</sub>	79.8788	21.7561
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2319
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6137
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2763
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5846
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>293.7243</b>	<b>80.0000</b>

**ก10) การคำนวณสูตร 20**สูตร  $(\text{Ba}_{0.397}\text{Pb}_{0.6})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 

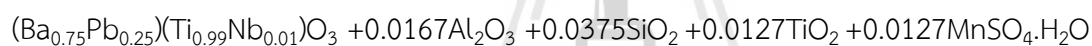
วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	78.3437	20.9688
PbO	133.9196	35.8438
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1308
TiO <sub>2</sub>	79.8788	21.3797
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2279
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6031
TiO <sub>2</sub>	1.01464	0.2715
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5745
ส่วนแรก + ส่วนหลัง	298.8963	80.0000

**ก11) การคำนวณสูตร 21**สูตร  $(\text{Ba}_{0.197}\text{Pb}_{0.8})\text{La}_{0.003}\text{TiO}_3 + 0.0167\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.0375\text{SiO}_2 + 0.0127\text{TiO}_2 + 0.0127\text{MnSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	38.8758	10.2282
PbO	178.5595	46.9788
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4887	0.1286
TiO <sub>2</sub>	79.8788	21.0160
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2240
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.5928
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2669
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5647
ส่วนแรก + ส่วนหลัง	304.0683	80.0000

**ก12) การคำนวณสูตร 22**

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	148.0045	40.8062
PbO	55.7999	15.3845
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5316	0.1466
TiO <sub>2</sub>	79.5593	21.9352
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2347
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6212
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2797
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5918
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>290.1607</b>	<b>80.0000</b>

**ก13) การคำนวณสูตร 23**

วัตถุดิบส่วนแรก	Wt (g)	80g batch (g)
BaCO <sub>3</sub>	148.0045	40.7615
PbO	55.7999	15.3677
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.3290	0.3660
TiO <sub>2</sub>	79.0800	21.7792
วัตถุดิบส่วนหลัง	Wt (g)	80g batch (g)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8514	0.2345
SiO <sub>2</sub>	2.2532	0.6205
TiO <sub>2</sub>	1.0145	0.2794
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	2.1464	0.5911
<b>ส่วนแรก + ส่วนหลัง</b>	<b>290.4788</b>	<b>80.0000</b>

ภาคผนวก ข

รูปที่ ข1 กาต้มน้ำร้อน และเครื่องอุ่นน้ำชาขายเป็น set พร้อมกาใส่ และถ้วยน้ำชา



รูปที่ ข2 กาต้มน้ำร้อน และเครื่องอุ่นน้ำชาก่อนถอดเป็นชิ้นๆ



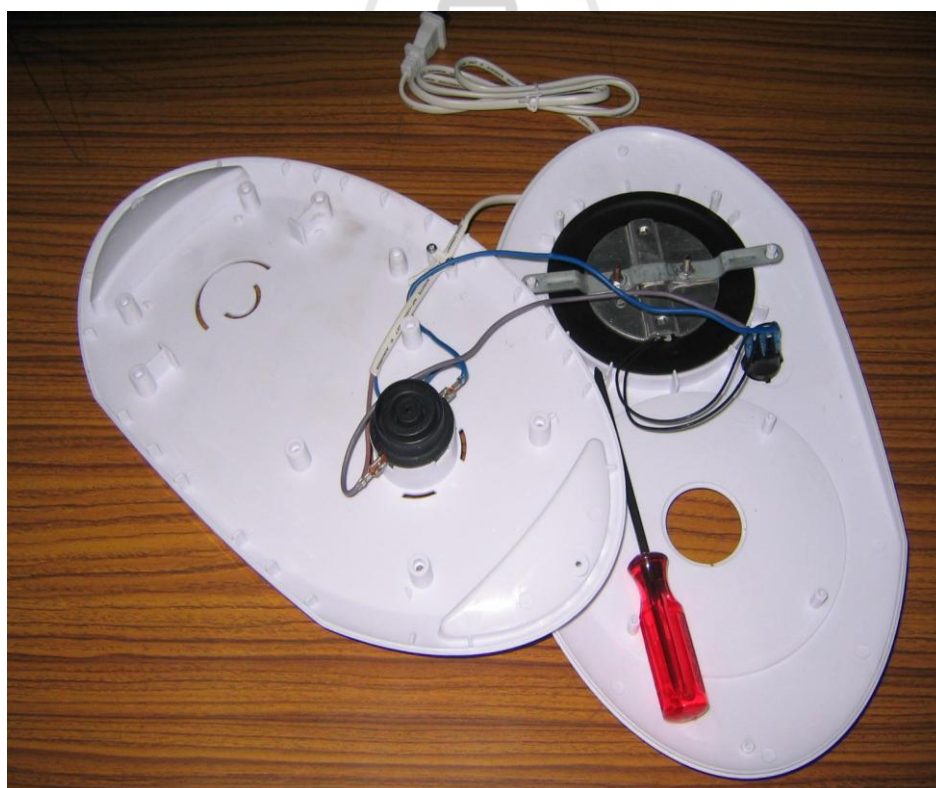
รูปที่ ข3 แสดงส่วนที่ใช้อุ่นน้ำชา (ฝากลมๆ สีดำ)



รูปที่ ข4 ส่วนที่ใช้อุ่นน้ำชา มีตัวทำความร้อนเป็น heater อยู่ข้างล่าง



รูปที่ ข5 เมื่อพลิกด้านหลังขึ้นมาดู พบว่ามีชุดทำความร้อนแยกกัน 2 ชุด ชุดที่ 1 อยู่ที่ตัวกาท้มน้ำ อีกชุดหนึ่งเป็นส่วนที่ใช้อุ่นน้ำชาอยู่ที่ส่วนที่เป็นแผ่นวงรี

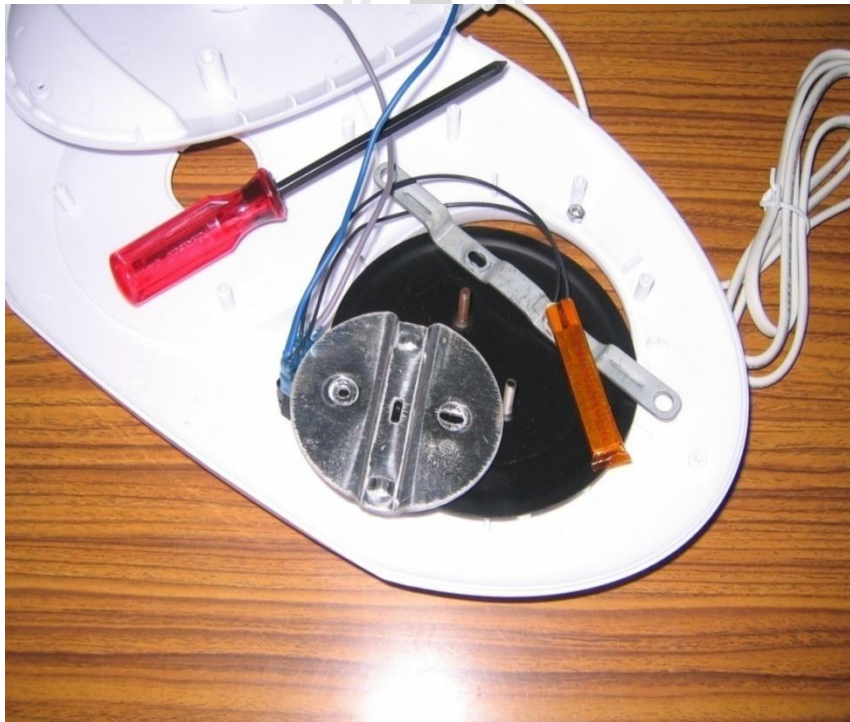


รูปที่ ข6 เปิดแผ่นวงรีออกมาดู ส่วนที่ใช้ทำความร้อนที่ใช้อุ่นชา

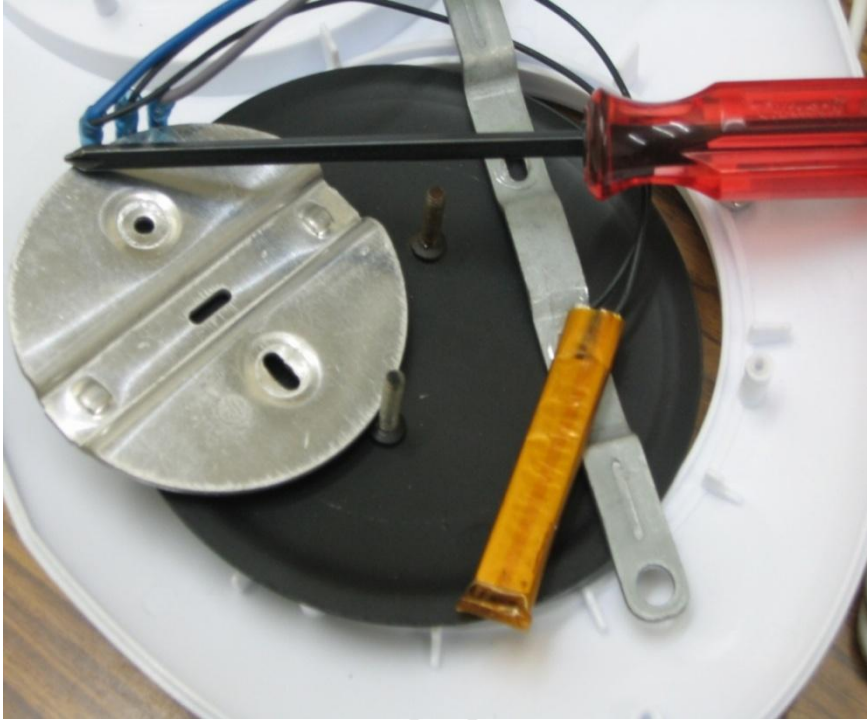




รูปที่ ข7 ขยายส่วนที่ใช้ทำความร้อนของเครื่องอุ่นน้ำชา



รูปที่ ข8 เปิดฝาเหล็กออกมา



รูปที่ ข9 ซองสี่เหลี่ยมใสชิ้น PTCR ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เครื่องอุ่นน้ำชา



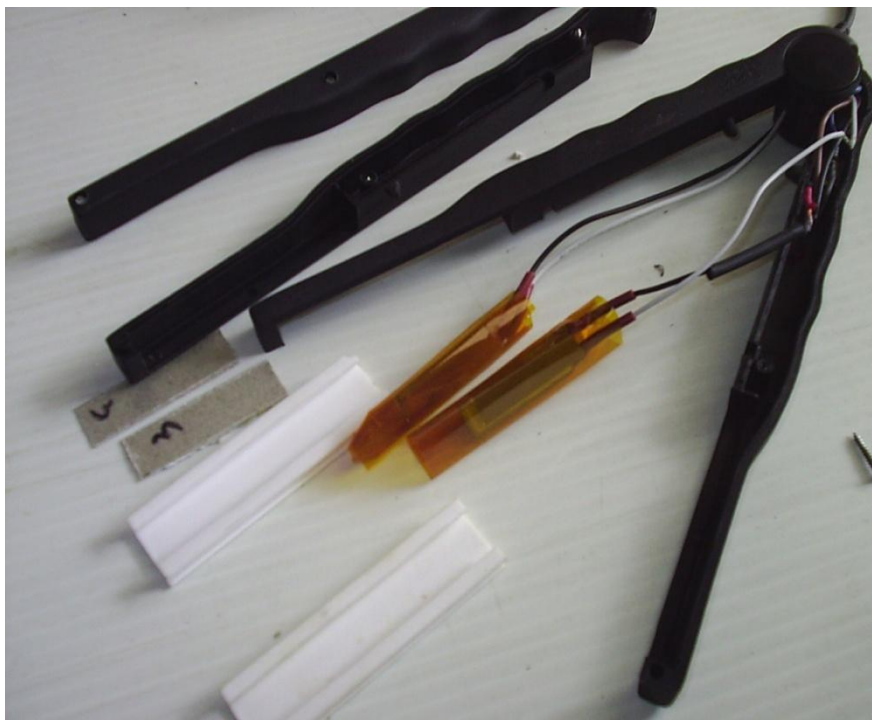
รูปที่ ข10 เครื่องรีดผมก่อนถอดเป็นชิ้นๆ



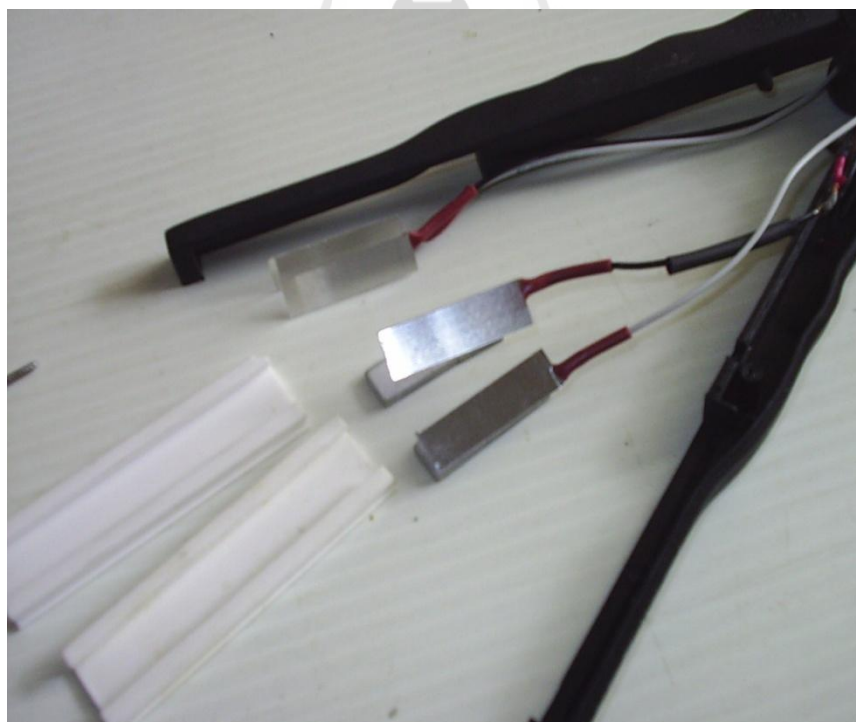
รูปที่ ข11 เมื่อเปิดฝาด้านหนึ่งออกมา



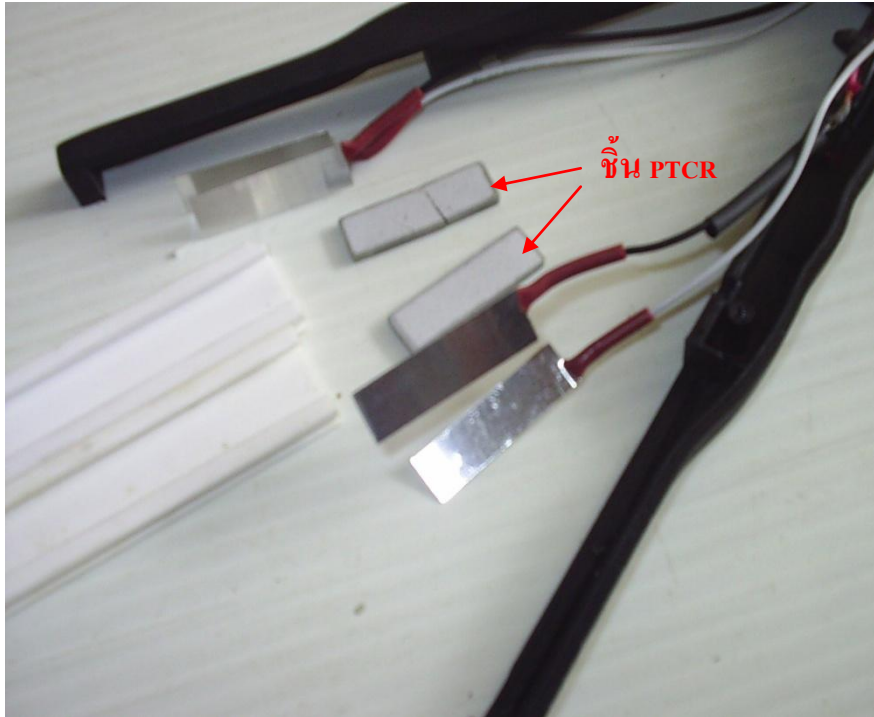
รูปที่ ข12 เมื่อเปิดฝา 2 ข้างออกมา



รูปที่ ข13 เอาแผ่นฉนวนที่ (ที่เขียนหมายเลข 3 ) ออก และ  
เอาชิ้นเซรามิกสีขาวออกจะเห็นช่องใส่ PTCR- heater



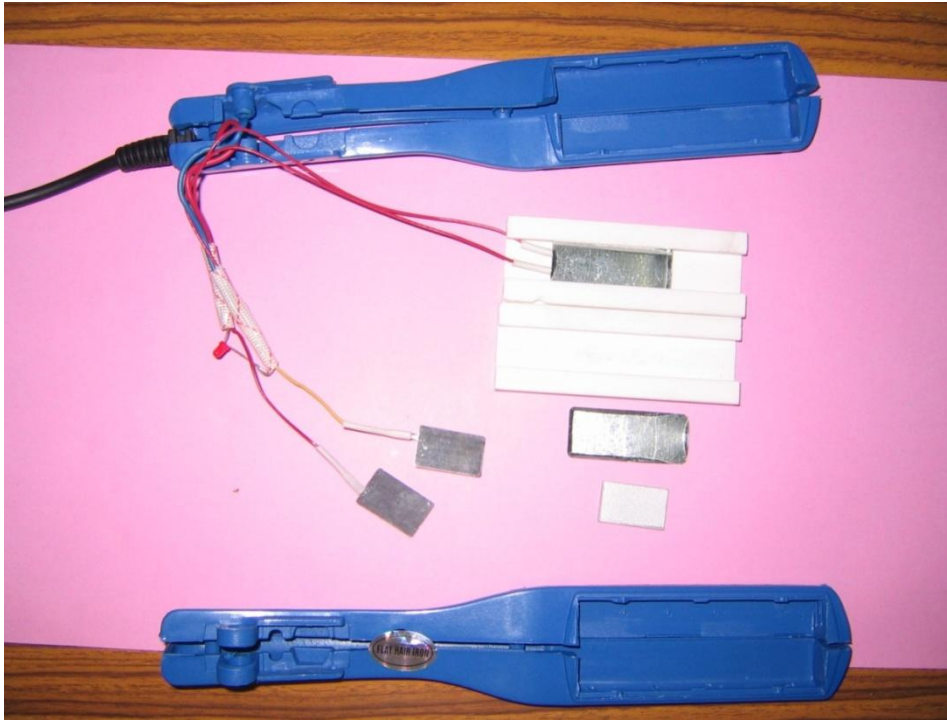
รูปที่ ข14 เมื่อเอาช่องสี่เหลี่ยมออกจะเห็นแผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า



รูปที่ ข15 เอาแผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าออก จะพบขั้ว PTCR-heater ข้างละ 1 ขั้ว



รูปที่ ข16 เครื่องรีดผมที่ขายทั่วไป



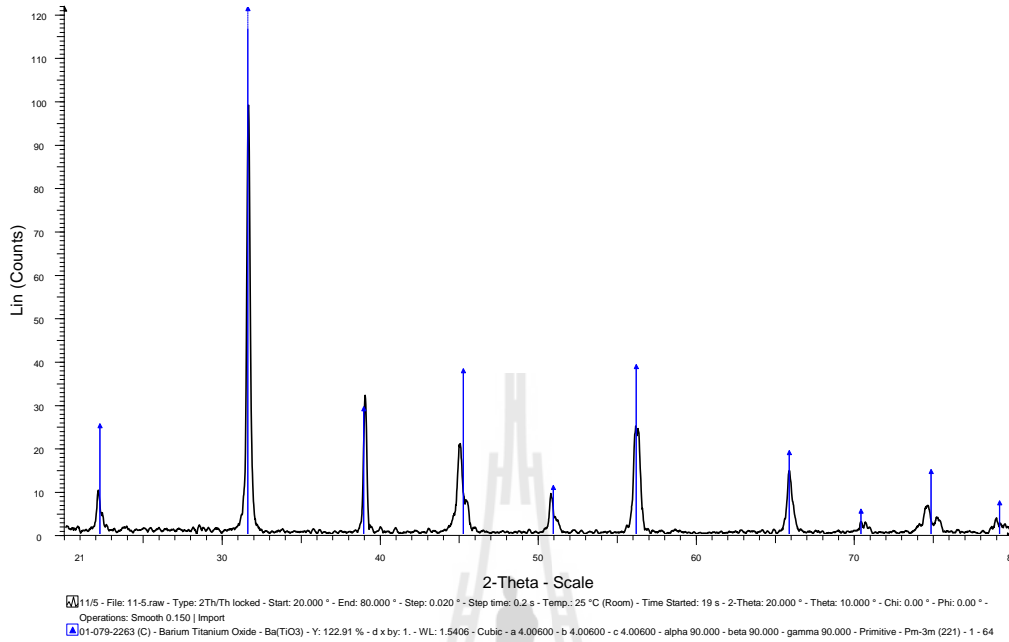
รูปที่ ข17 เครื่องรีดผมเมื่อถอดออกเป็นชิ้นๆ จะเห็นชิ้น PTCR ข้างใน



## ภาคผนวก ค

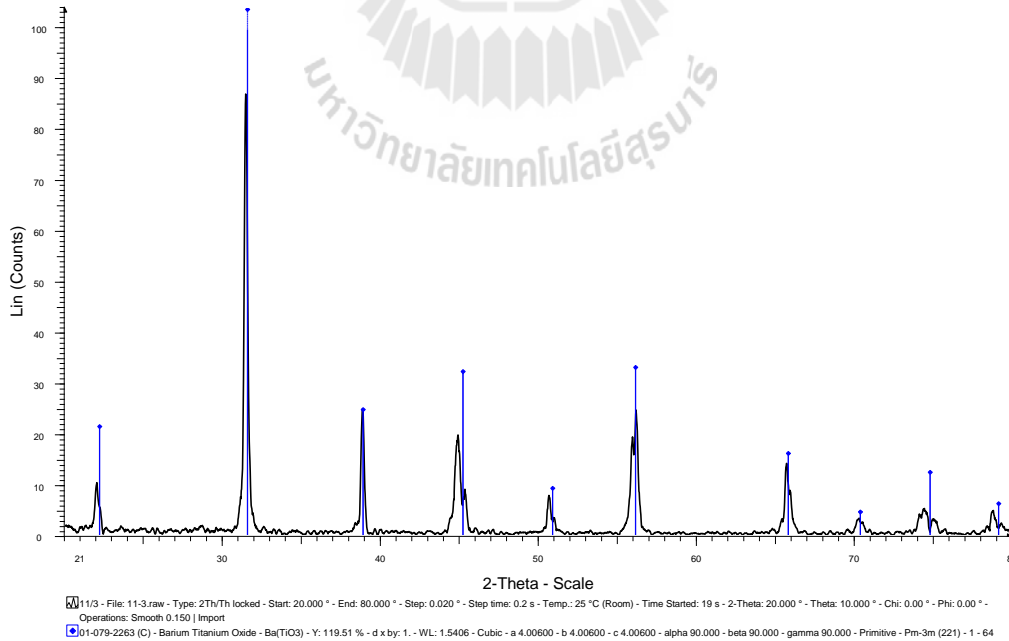
### ค1) กราฟ XRD ของ PTCR สูตร 11-13 ในการทดลองที่ 1

11/5



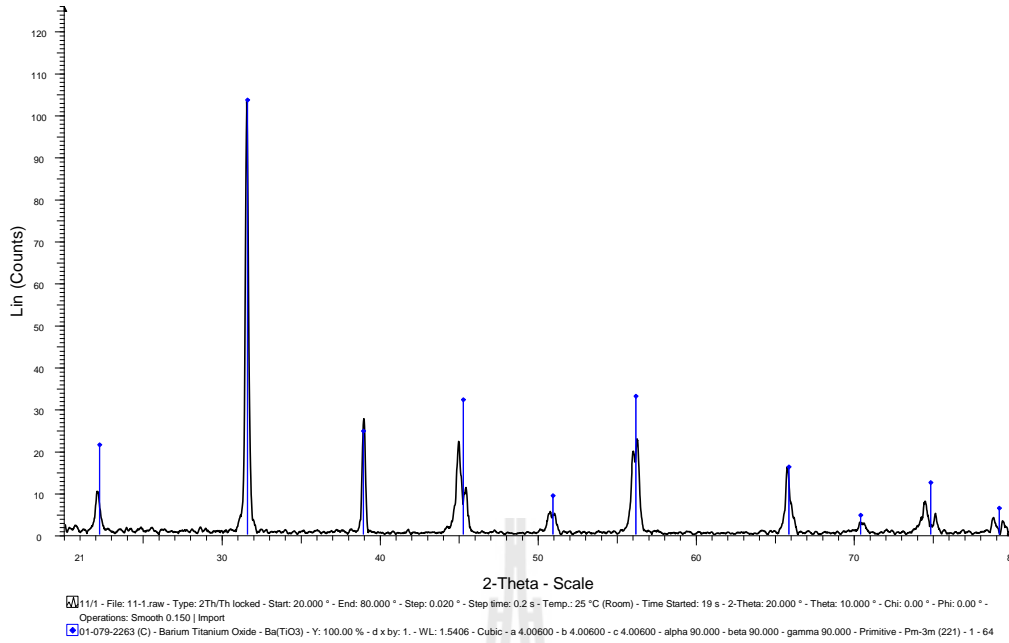
รูปที่ ค1 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เผาผนังที่ 1300 °C

11/3

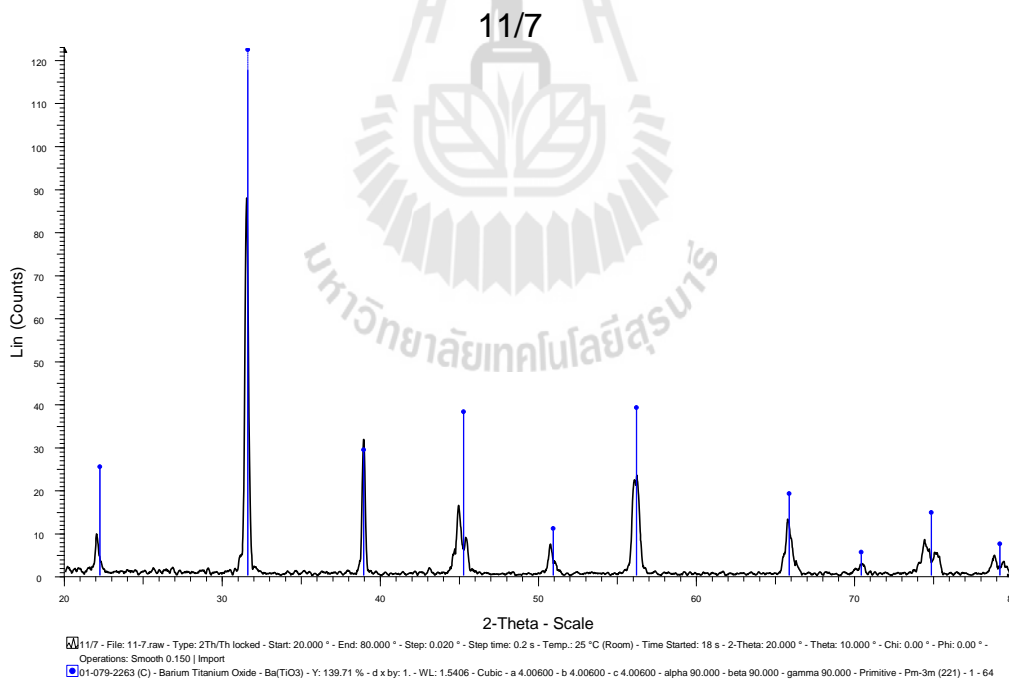


รูปที่ ค2 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เผาผนังที่ 1350 °C

11/1



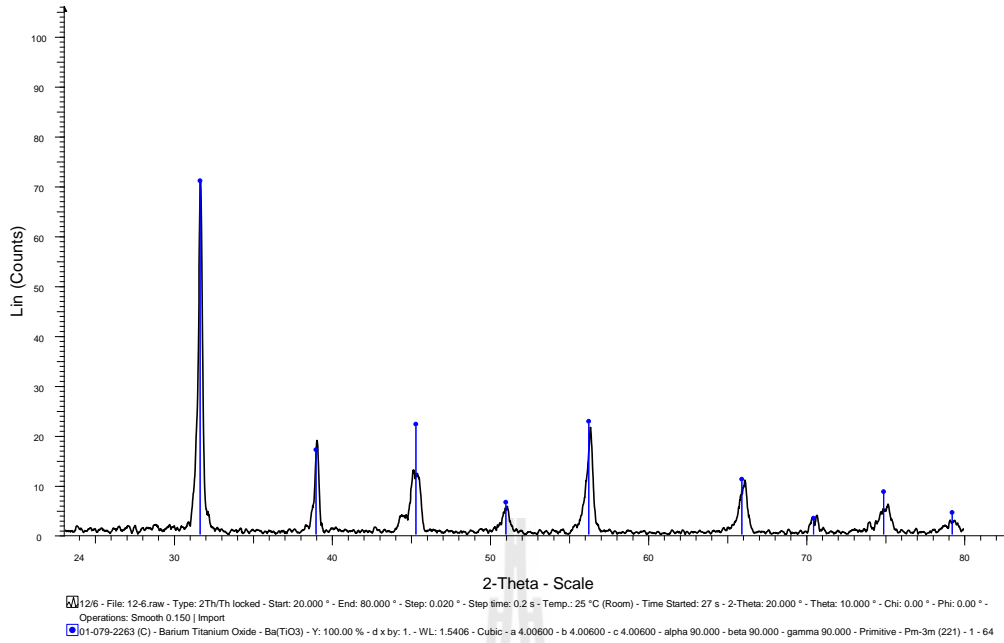
รูปที่ ค3 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เพาผนึกที่ 1400 °C



รูปที่ ค4 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 เพาผนึกที่ 1450 °C

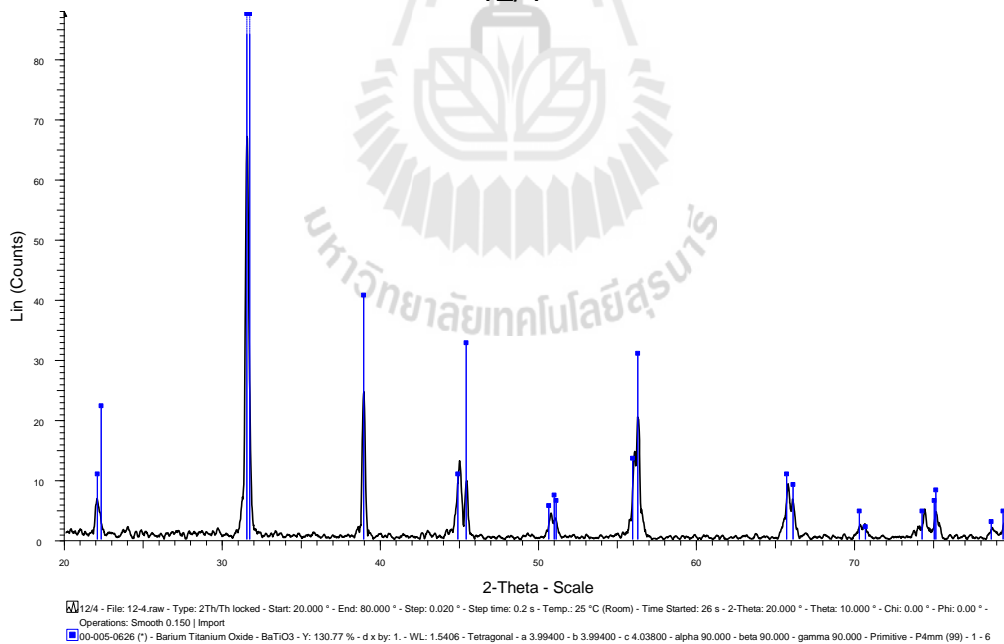


12/6

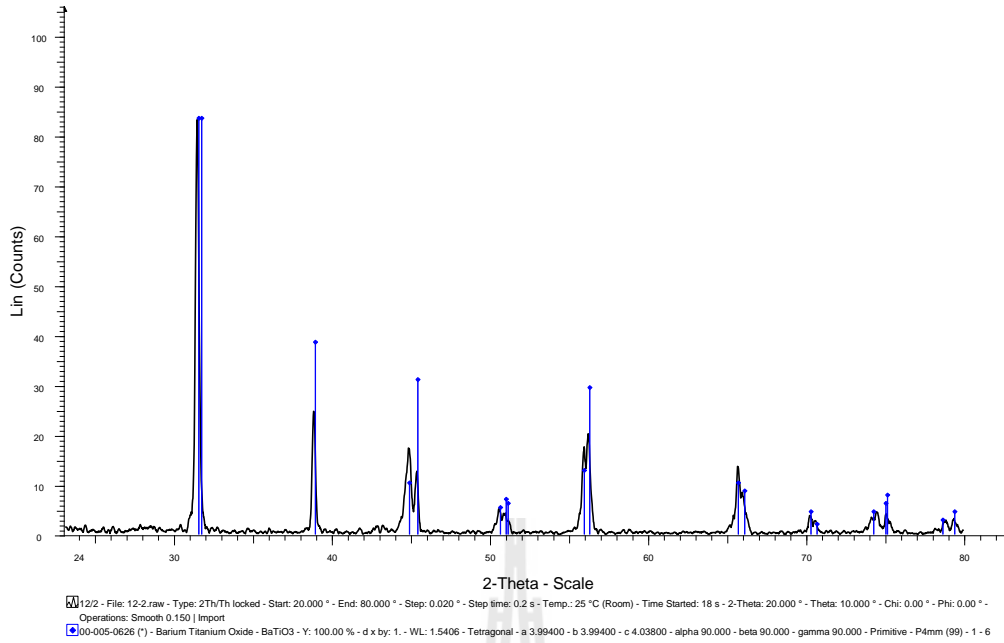


รูปที่ ค5 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เพาพนักที่ 1300 °C

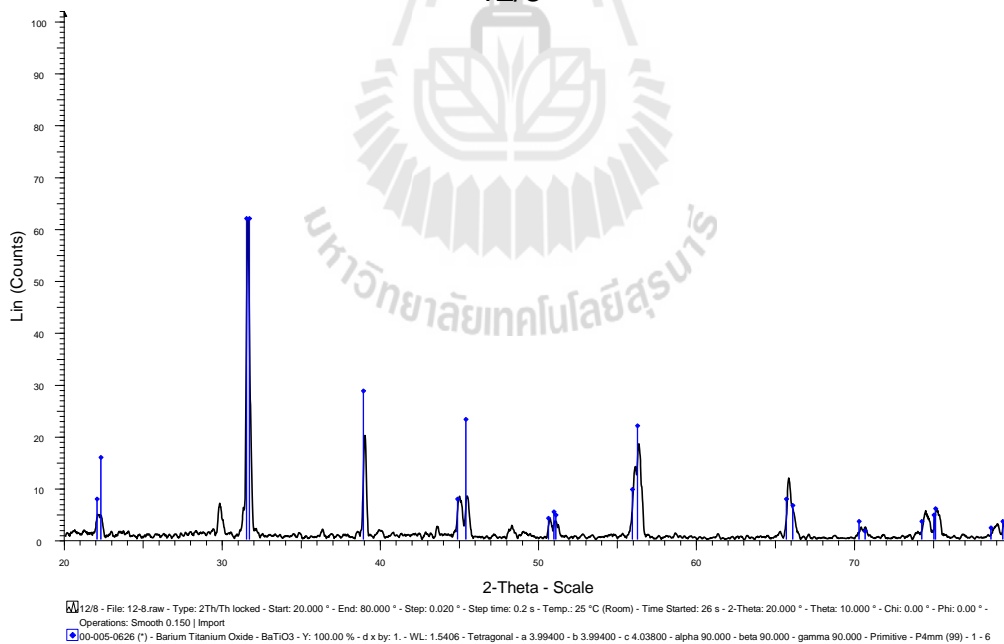
12/4



รูปที่ ค6 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เพาพนักที่ 1350 °C

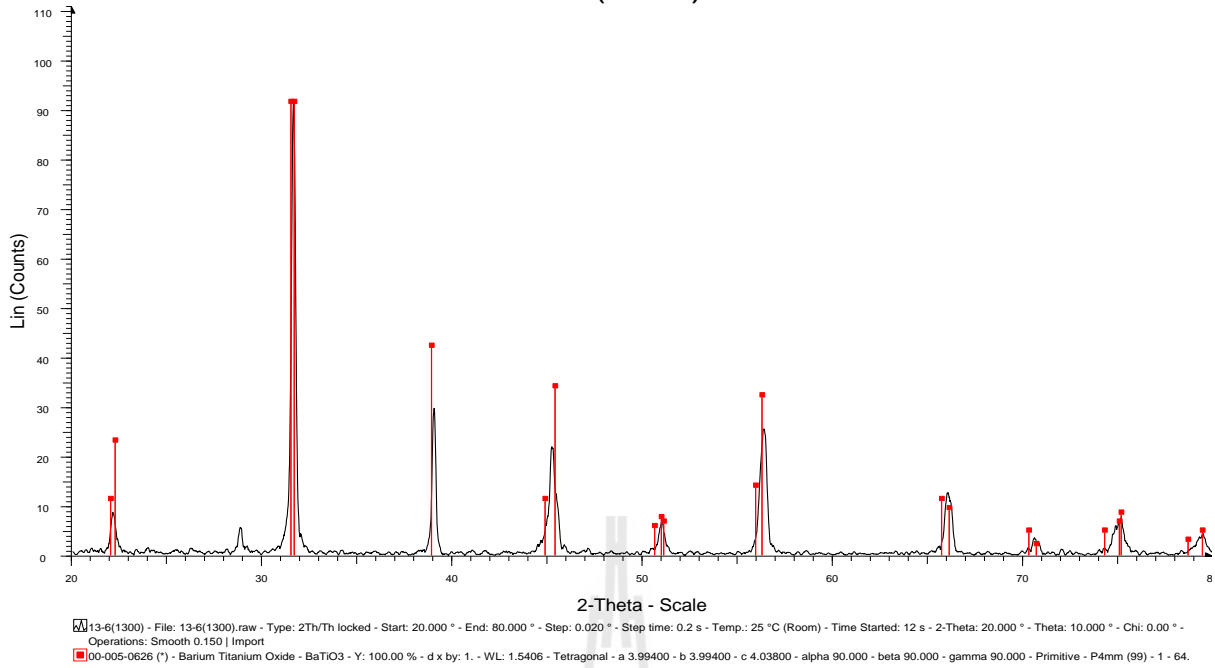


รูปที่ ค7 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เพาผนึกที่ 1400 °C



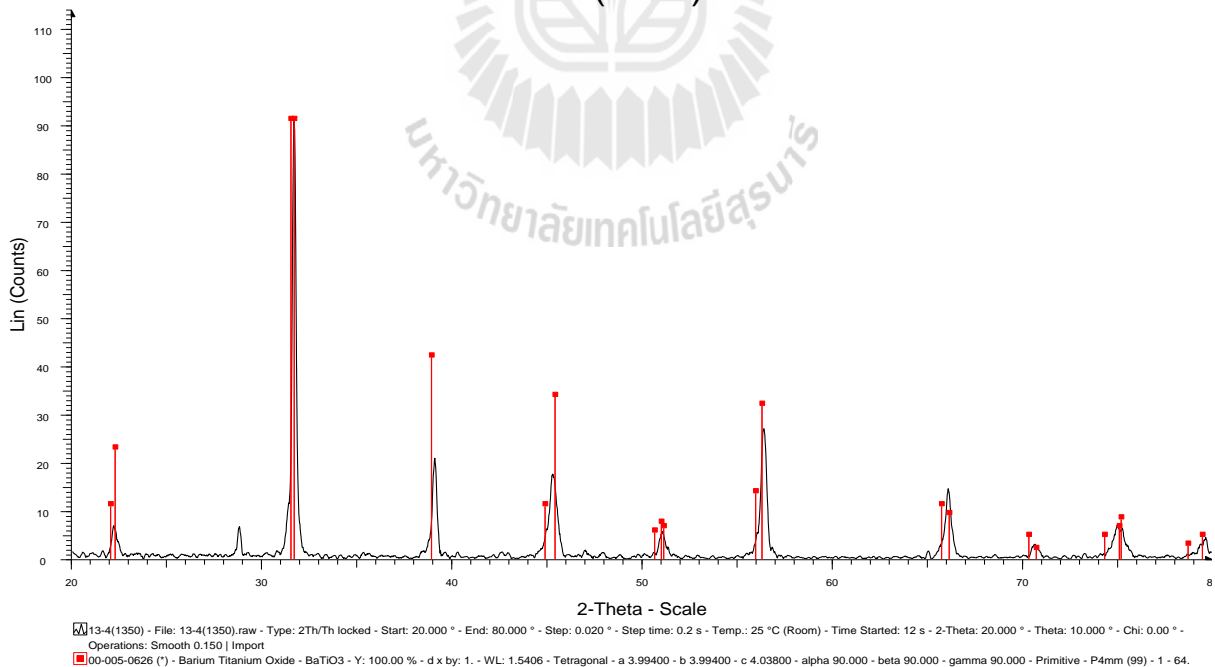
รูปที่ ค8 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 เพาผนึกที่ 1450 °C

## 13-6(1300)



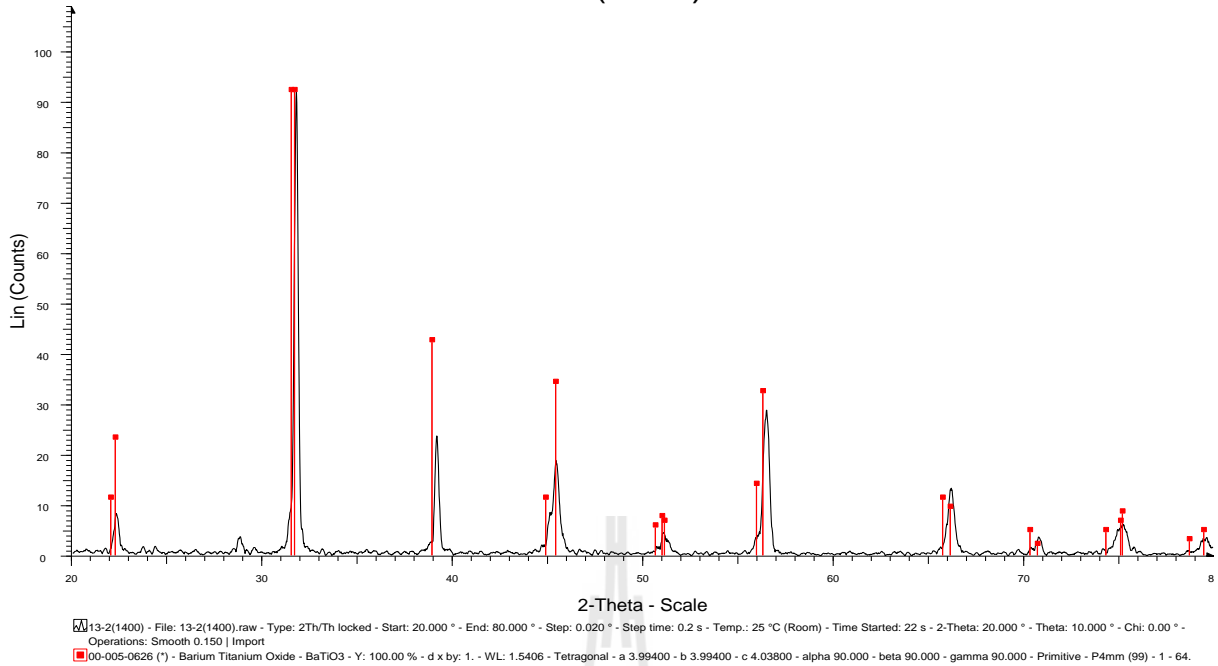
รูปที่ ค9 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 เผาพนักที่ 1300 °C

## 13-4(1350)



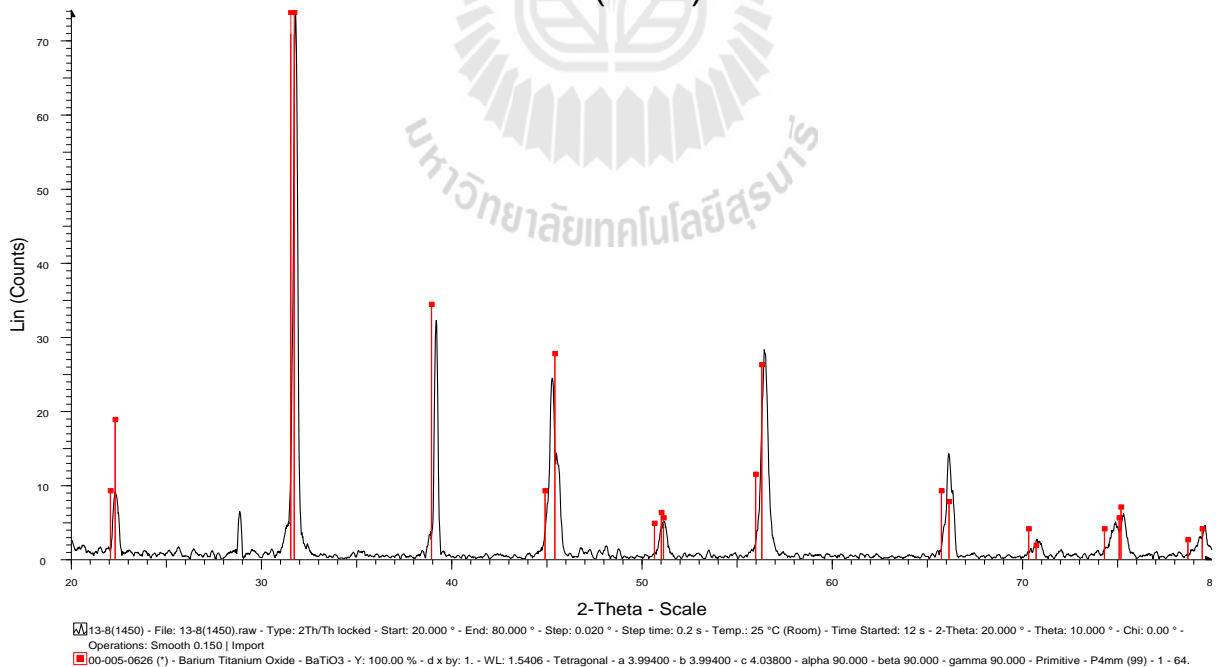
รูปที่ ค10 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 เผาพนักที่ 1350 °C

## 13-2(1400)



รูปที่ ค11 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 เผาผนึกที่ 1400 °C

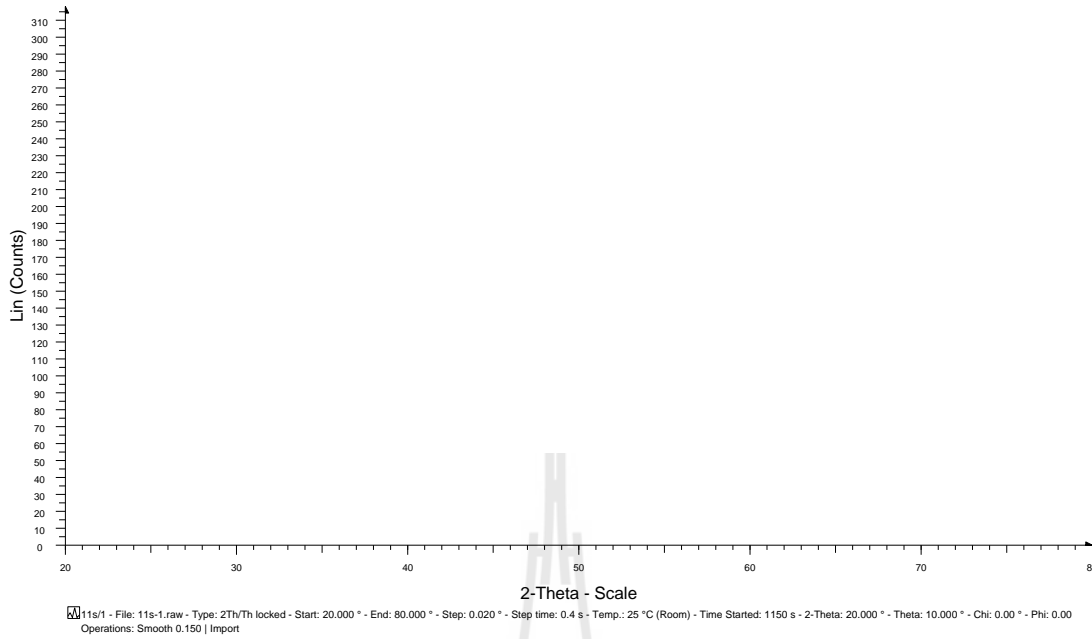
## 13-8(1450)



รูปที่ ค12 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 เผาผนึกที่ 1450 °C

ค2) กราฟ XRD ของ PTCR สูตร 11-13 ในการทดลองที่ 2

11s/1

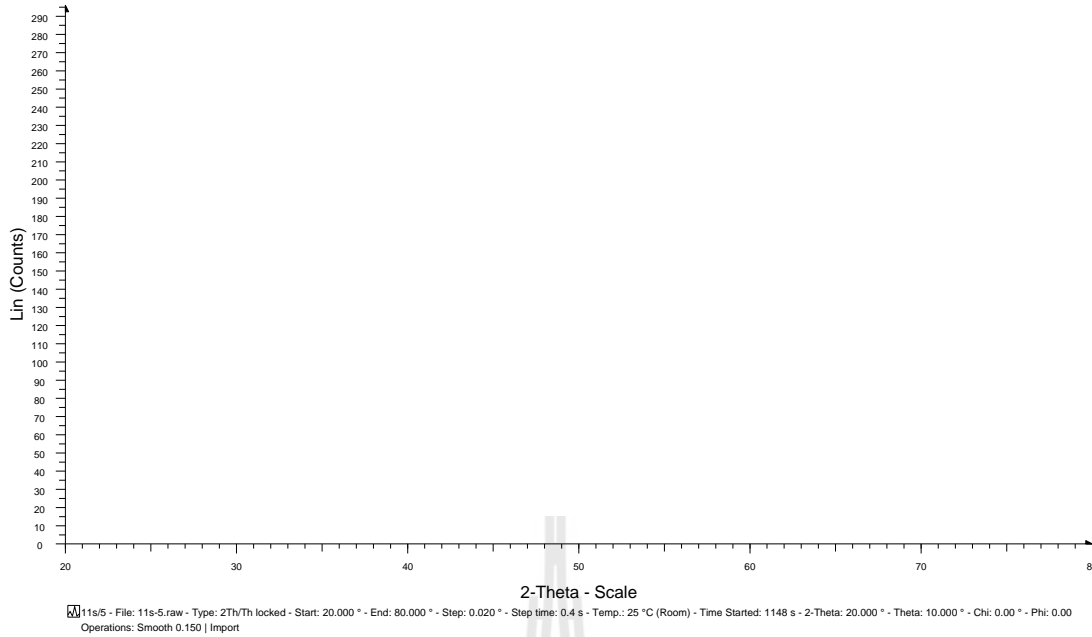


รูปที่ ค13 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000 ปอนด์



รูปที่ ค14 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 6000 ปอนด์

## 11s/5

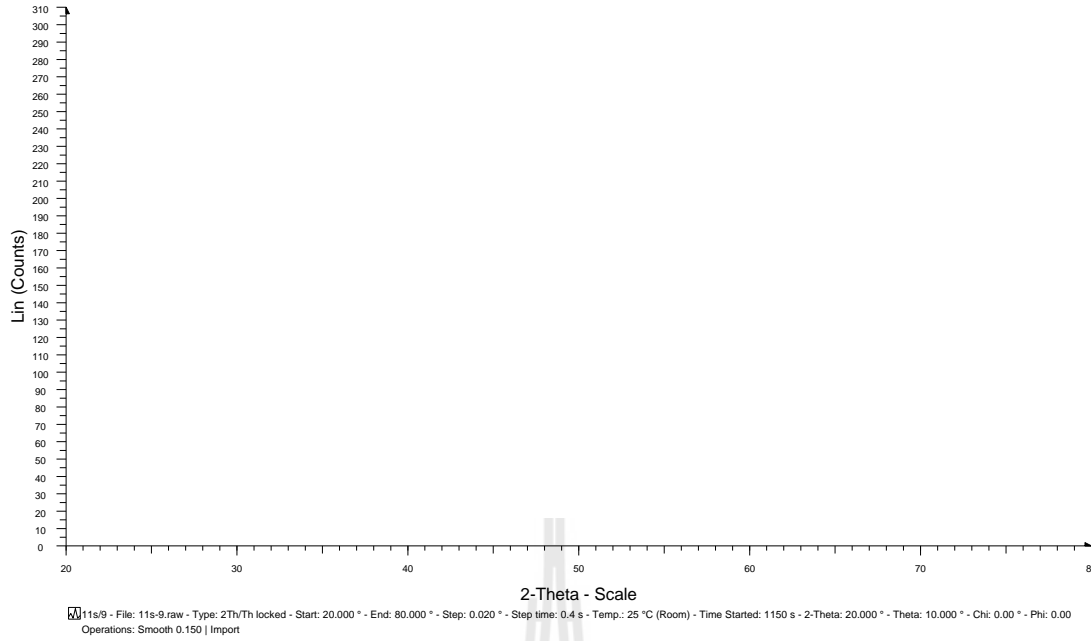


รูปที่ ค15 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 7000 ปอนด์

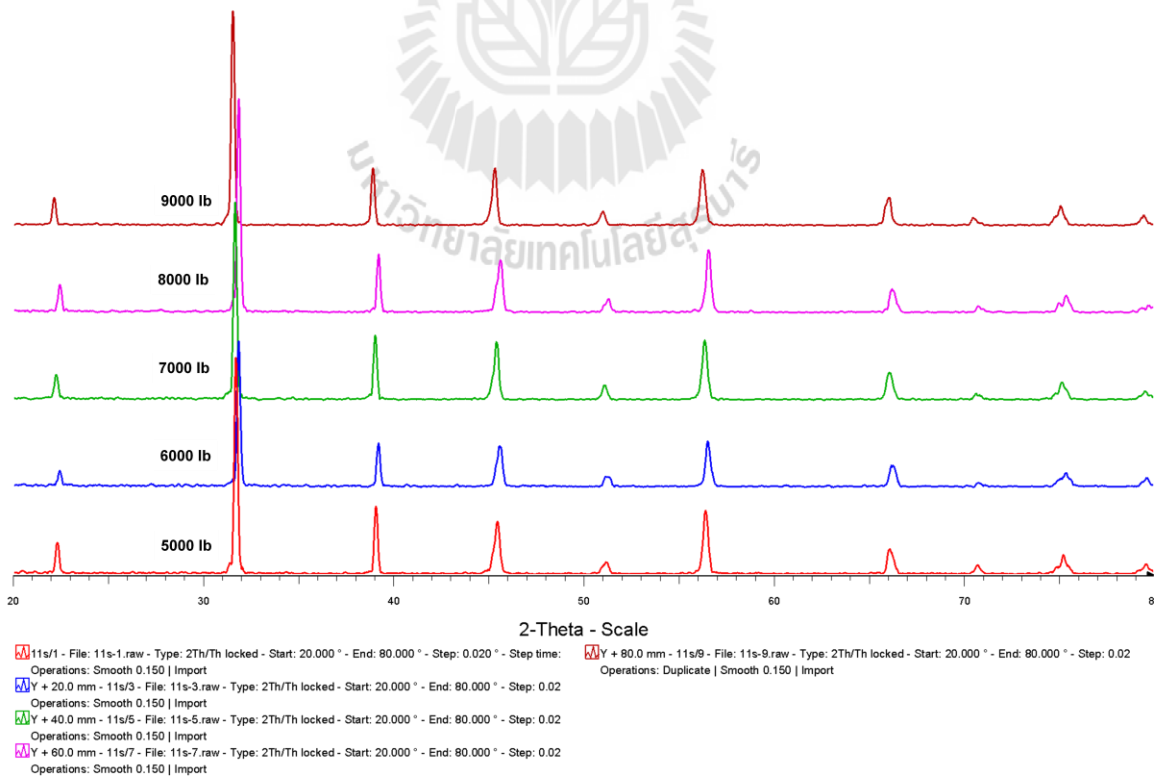


รูปที่ ค16 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 8000 ปอนด์

## 11s/9

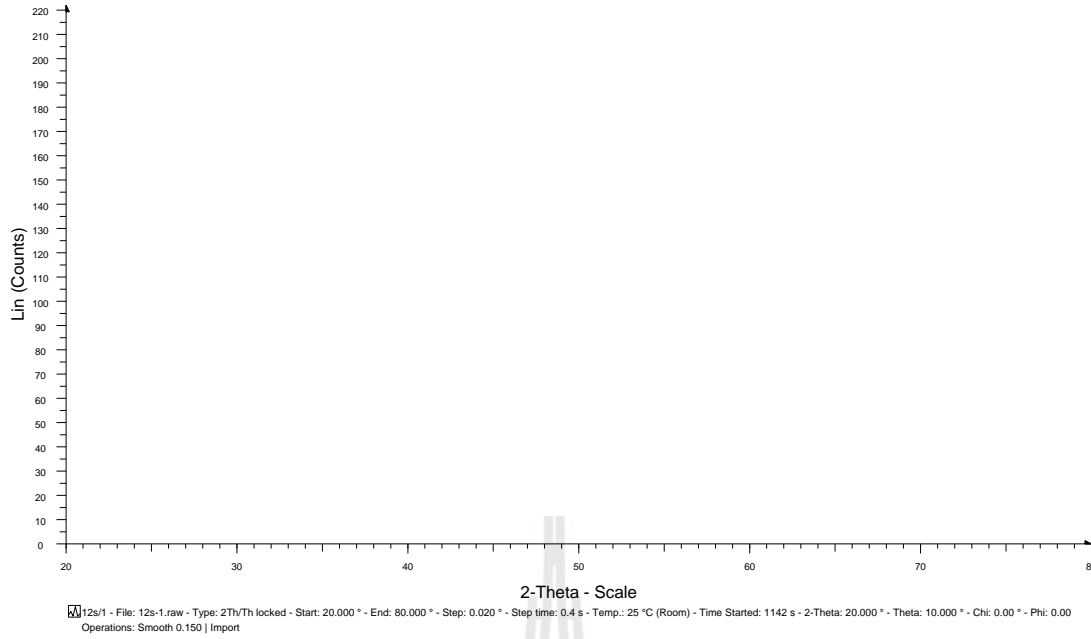


รูปที่ ค17 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 9000 ปอนด์



รูปที่ ค18 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 11 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000-9000 ปอนด์

## 12s/1



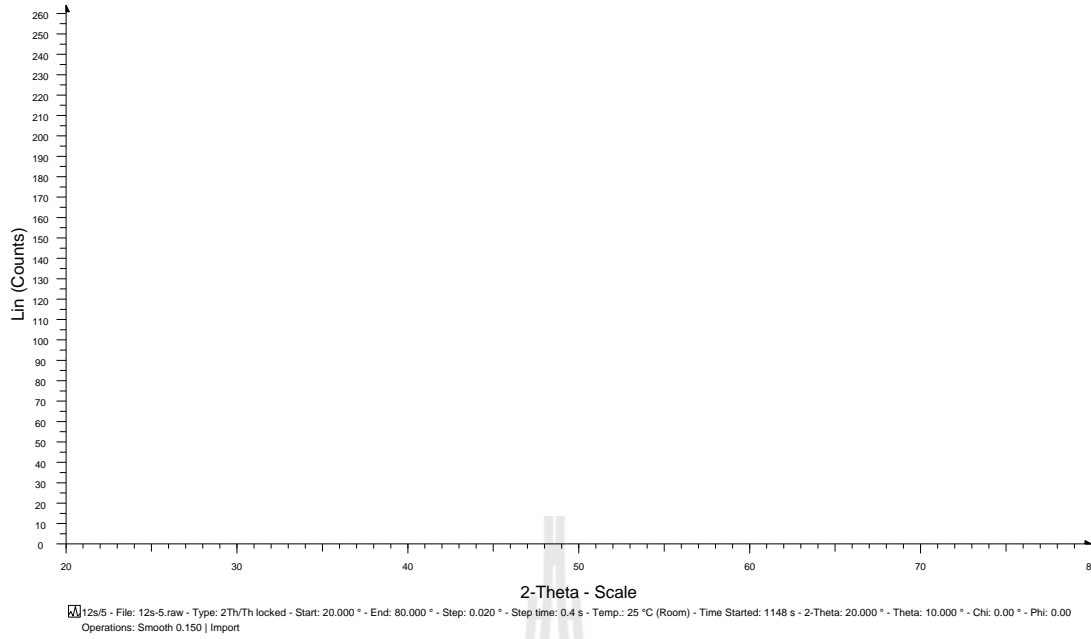
รูปที่ ค19 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000 ปอนด์



รูปที่ ค20 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 6000 ปอนด์



## 12s/5

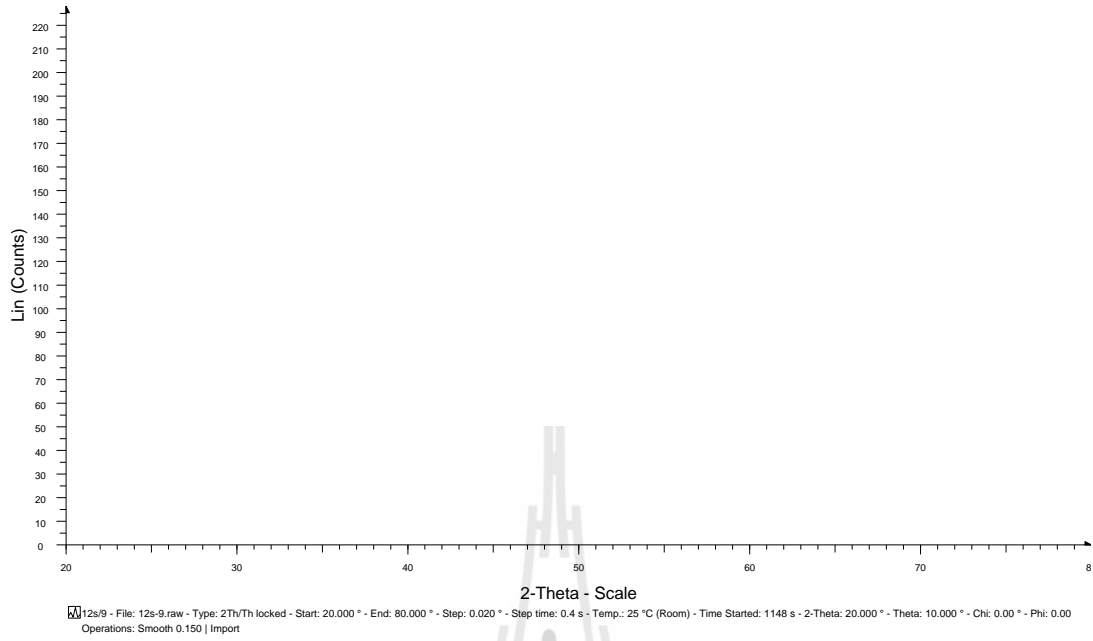


รูปที่ ค21 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 7000 ปอนด์

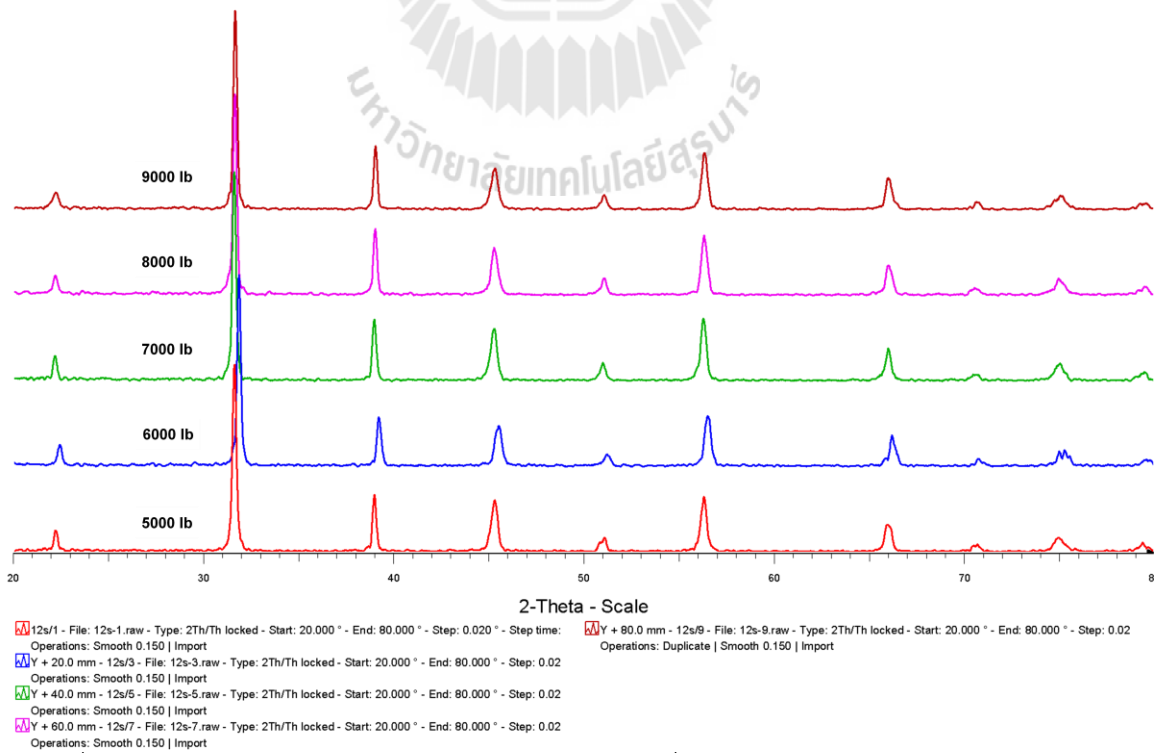


รูปที่ ค22 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 8000 ปอนด์

12s/9

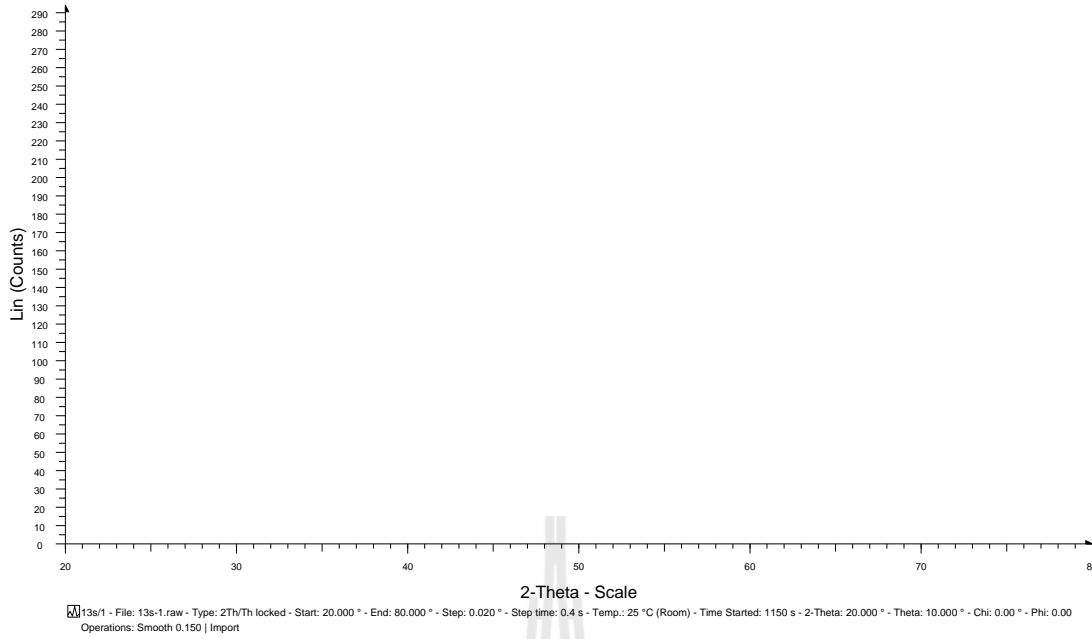


รูปที่ ค23 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 9000 ปอนด์



รูปที่ ค24 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 12 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000-9000 ปอนด์

## 13s/1

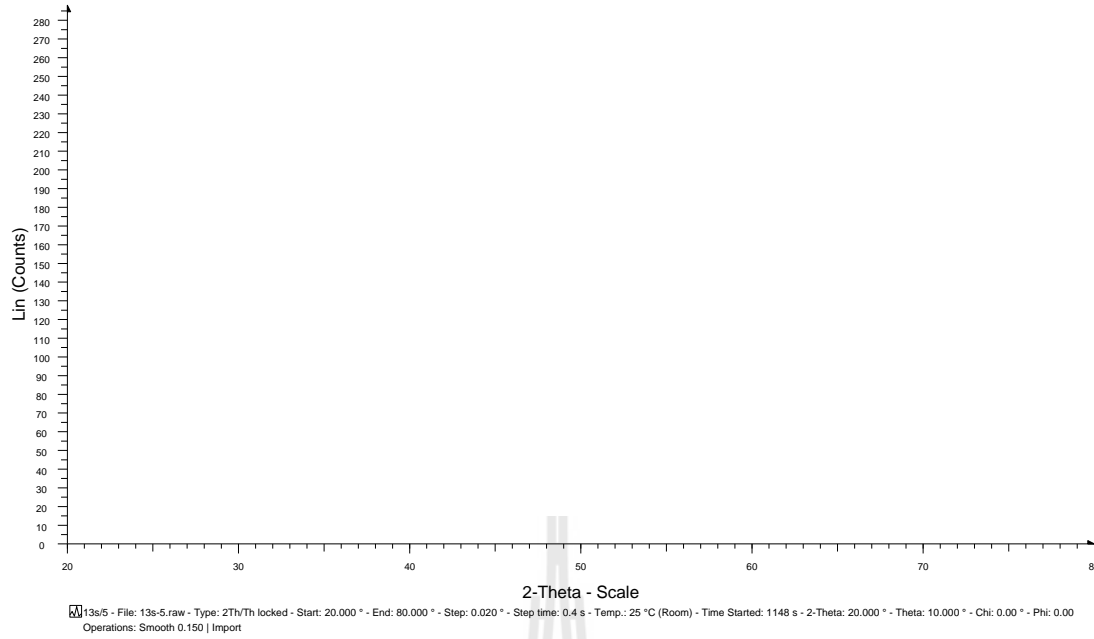


รูปที่ ค25 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000 ปอนด์



รูปที่ ค26 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 6000 ปอนด์

## 13s/5

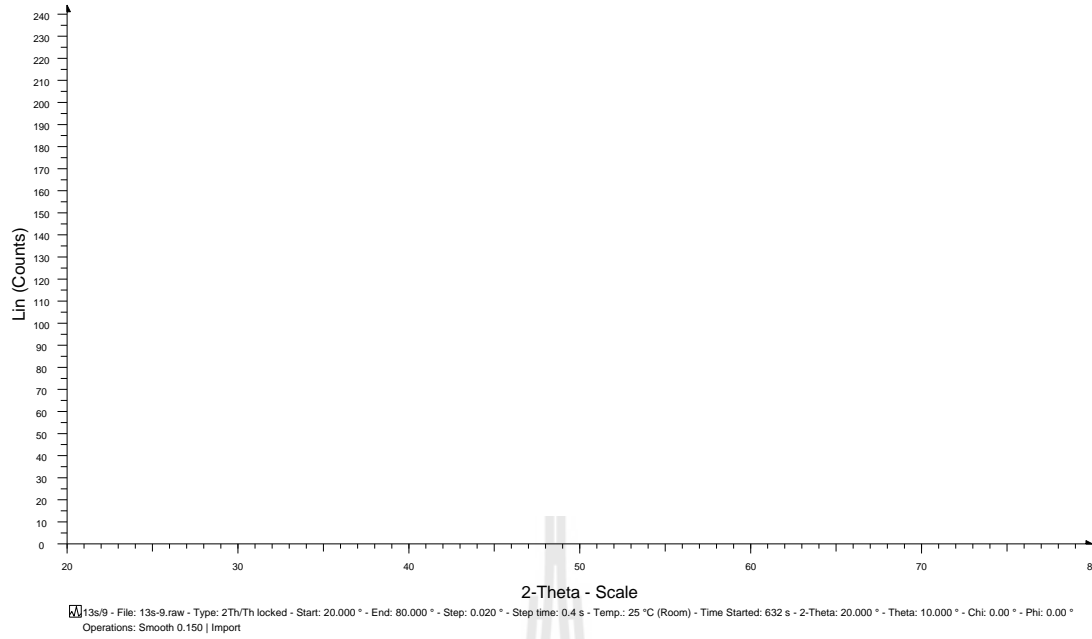


รูปที่ ค27 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 7000 ปอนด์

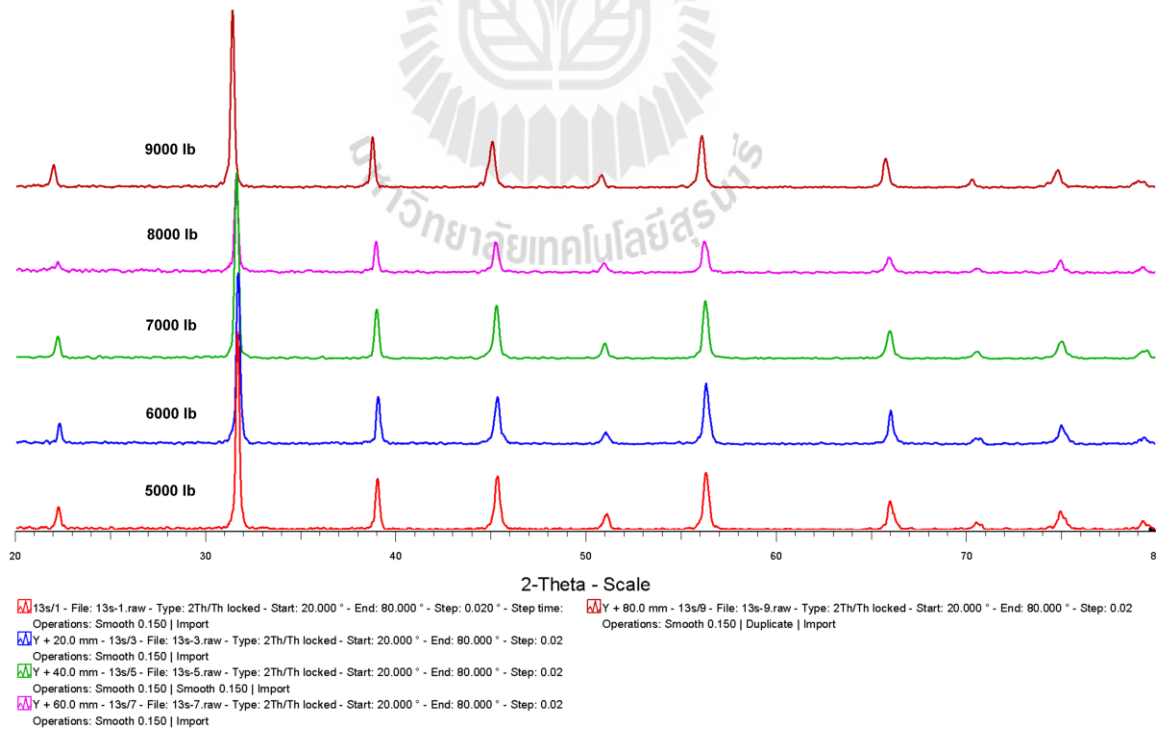


รูปที่ ค28 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 8000 ปอนด์

## 13s/9



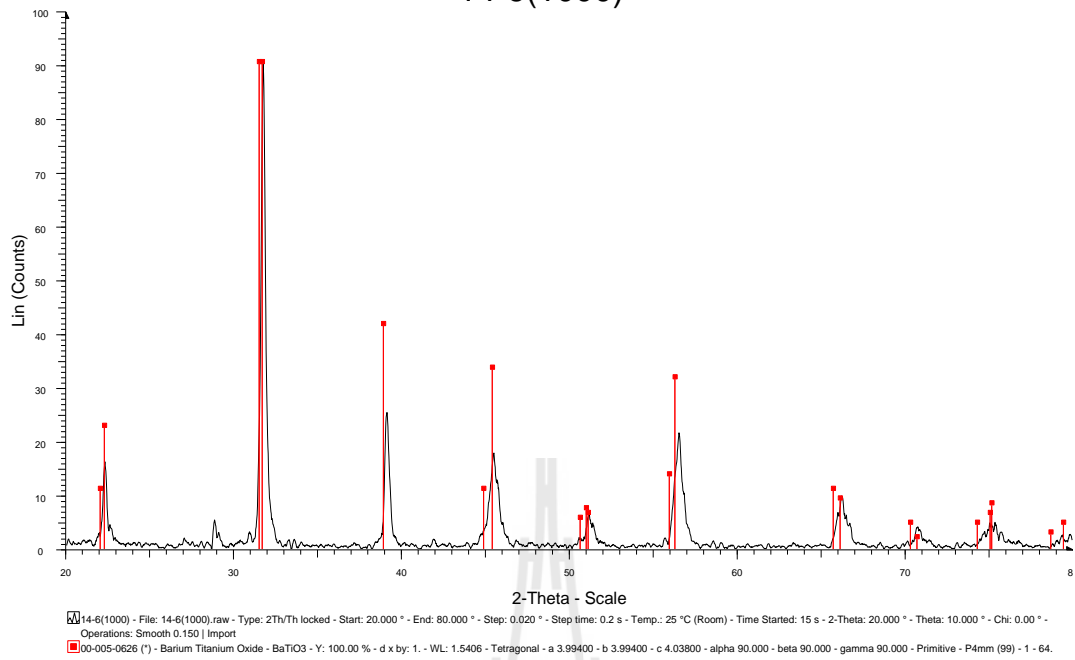
รูปที่ ค29 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 9000 ปอนด์



รูปที่ ค30 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 13 ซึ่งอัดด้วยแรงอัด 5000-9000 ปอนด์

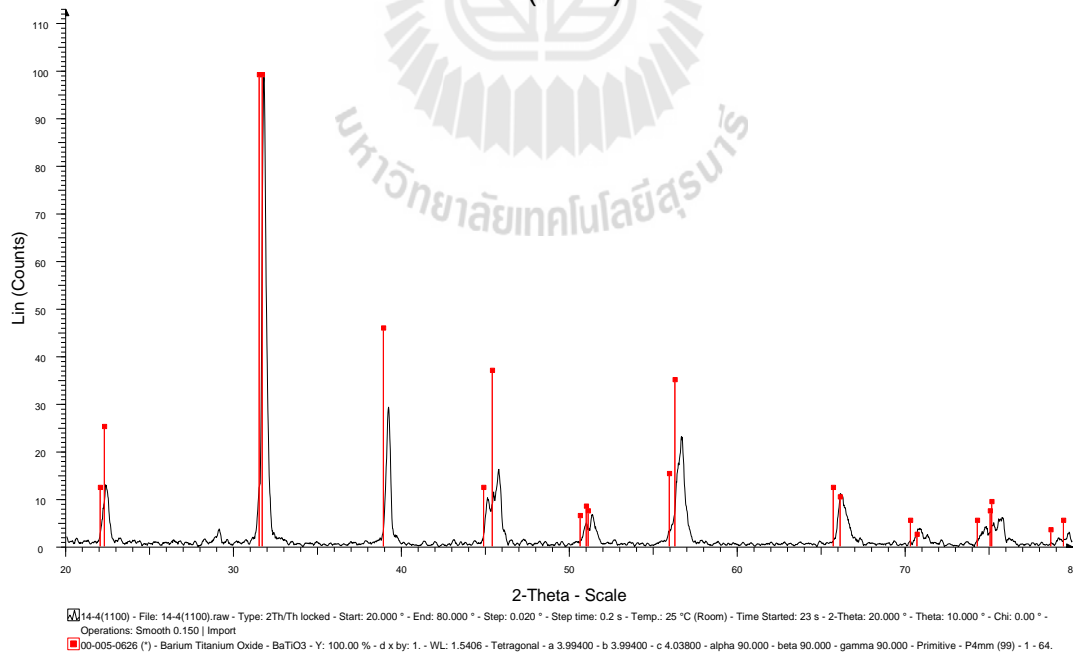
ค3) กราฟ XRD ของ PTCR สูตร 14-17 ในการทดลองที่ 4

14-6(1000)



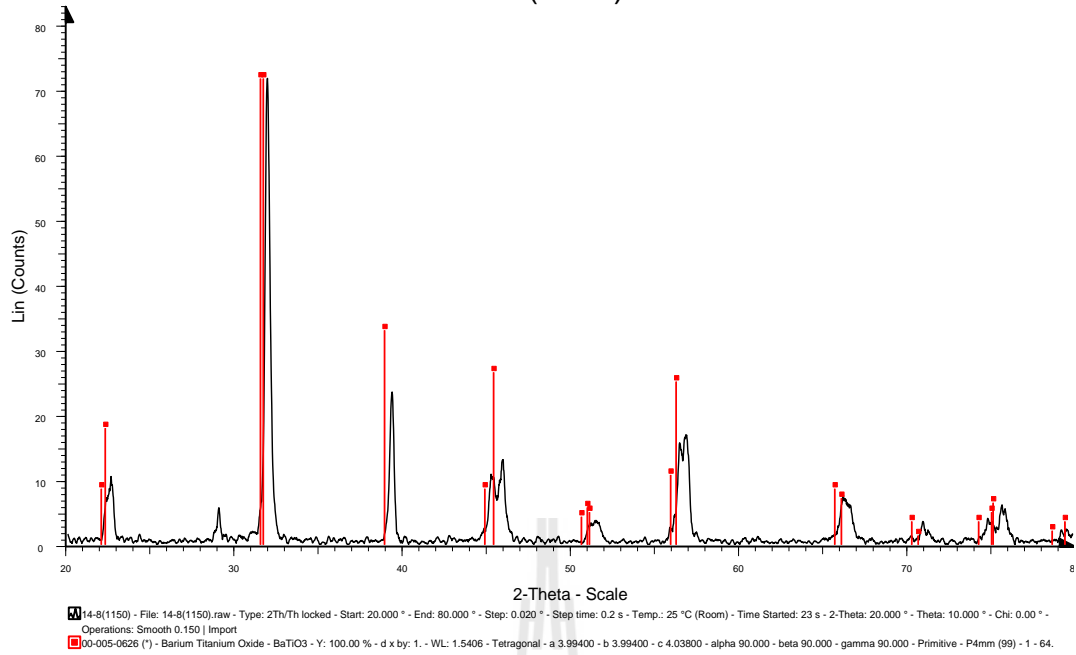
รูปที่ ค31 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เผาผนึกที่ 1000 °C

14-4(1100)



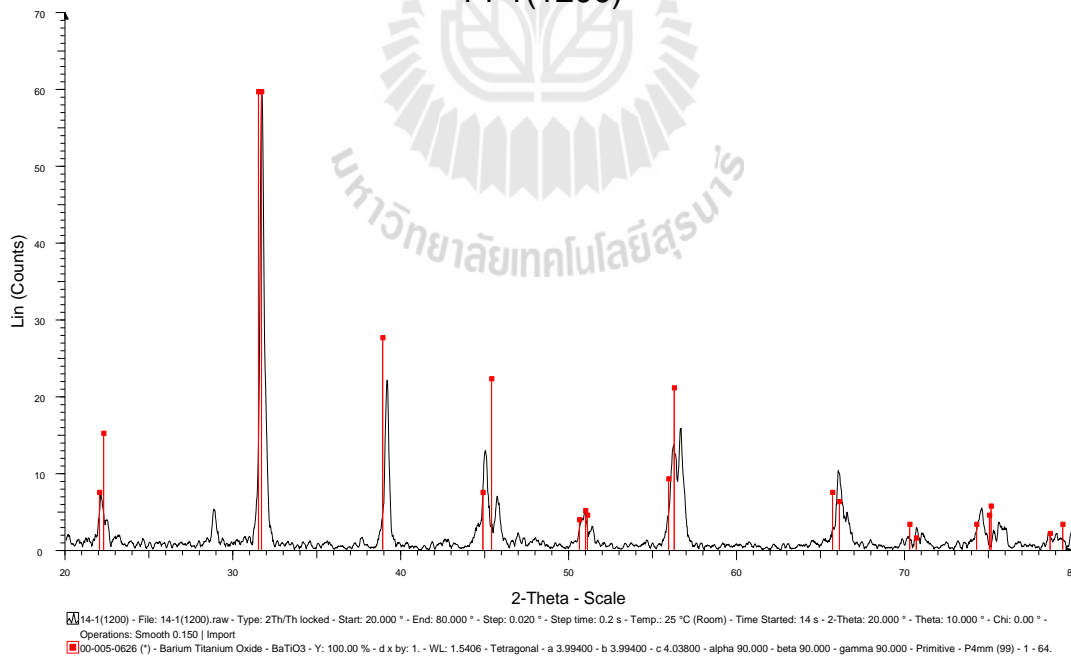
รูปที่ ค32 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เผาผนึกที่ 1100 °C

## 14-8(1150)



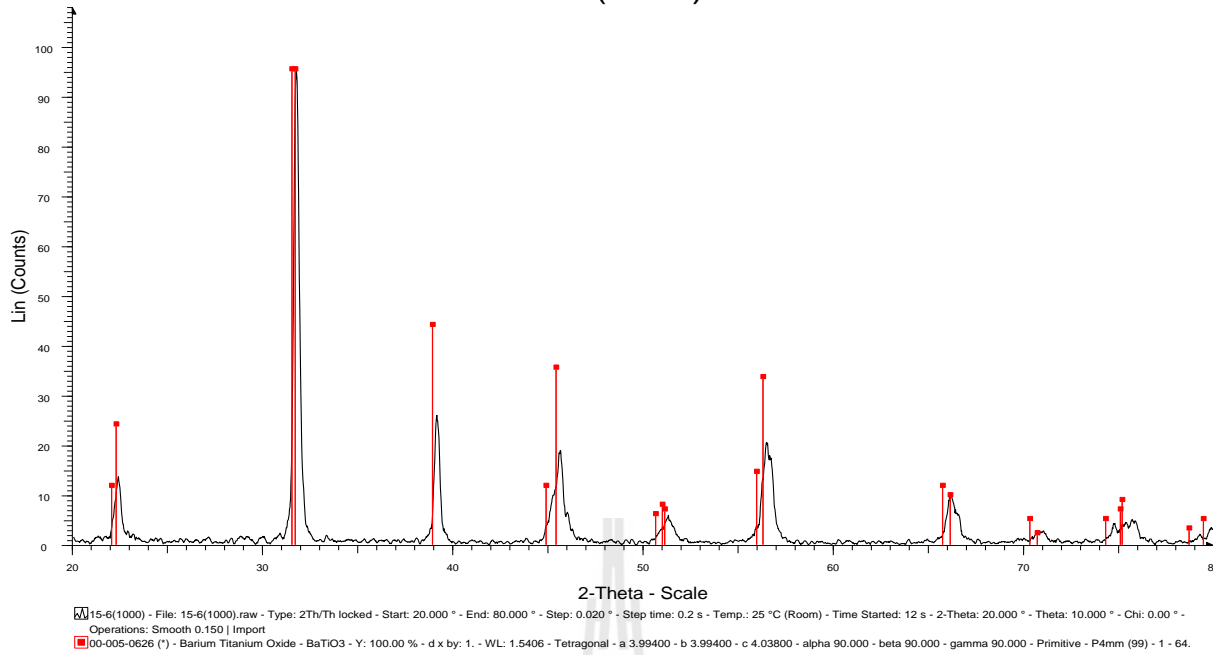
รูปที่ ค33 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เผาพูนที่ 1150 °C

## 14-1(1200)



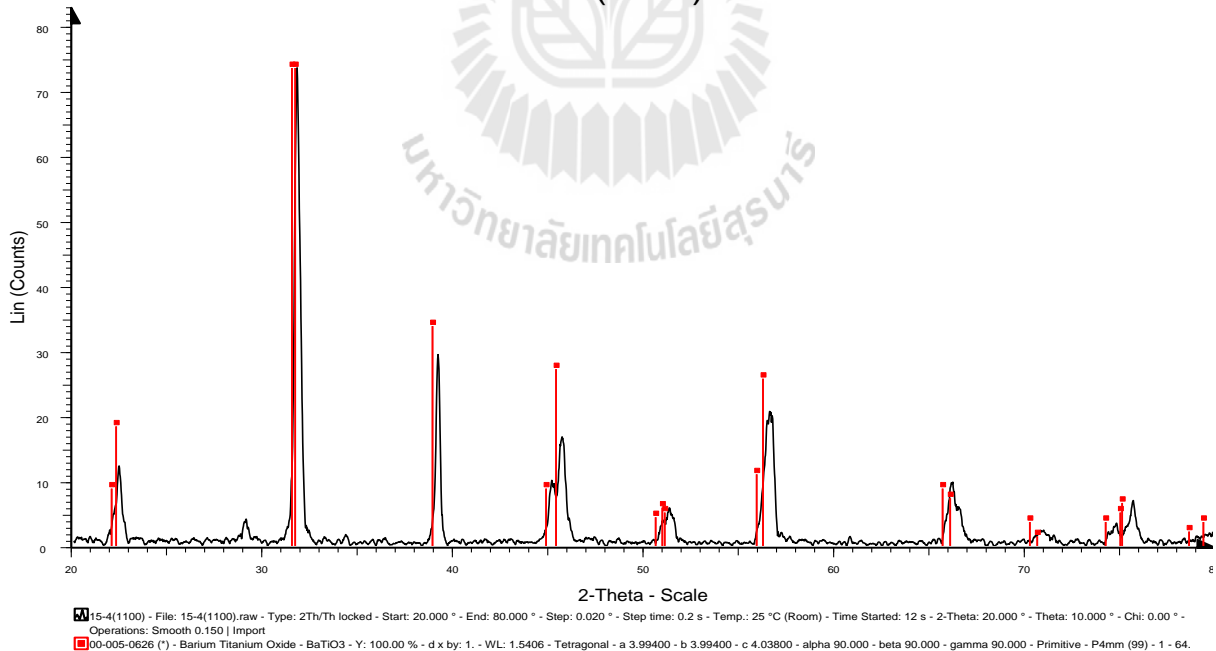
รูปที่ ค34 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 14 เผาพูนที่ 1200 °C

## 15-6(1000)



รูปที่ ค35 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เผาผนึกที่ 1000 °C

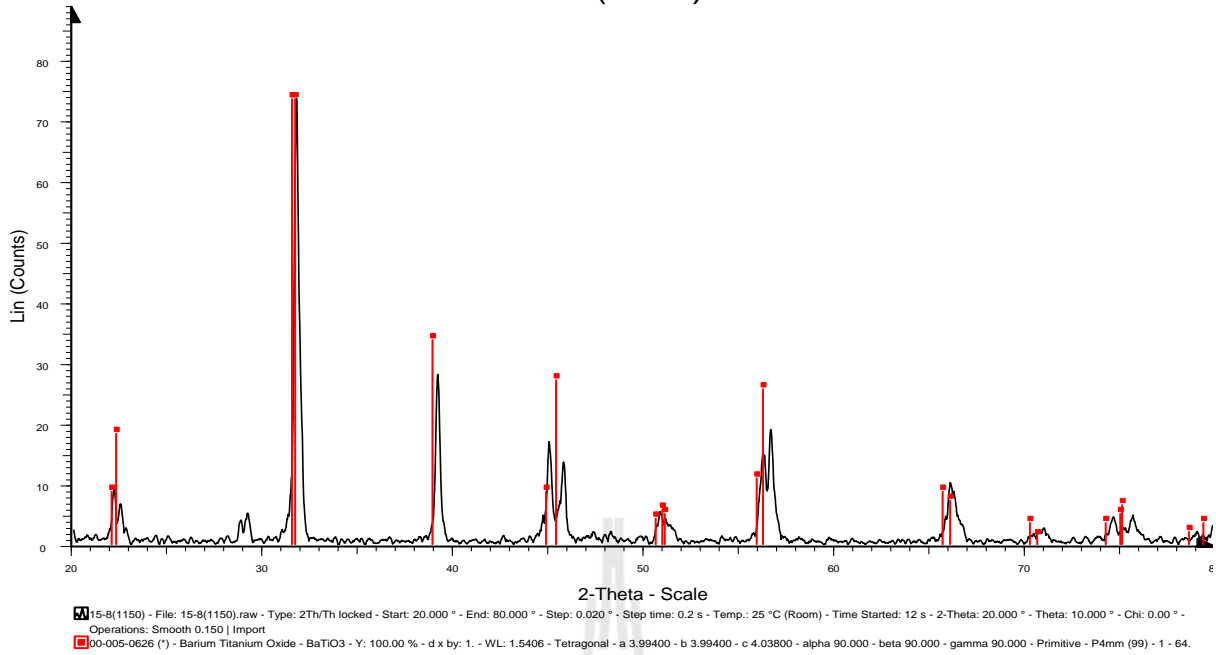
## 15-4(1100)



รูปที่ ค36 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เผาผนึกที่ 1100 °C

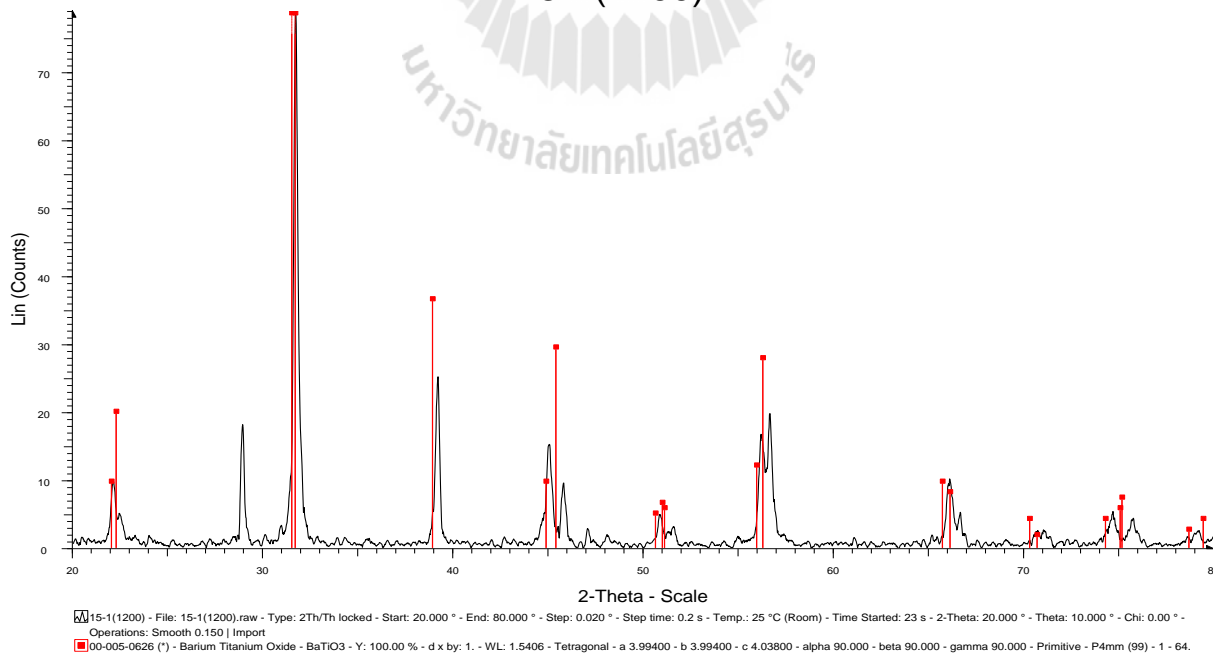


## 15-8(1150)



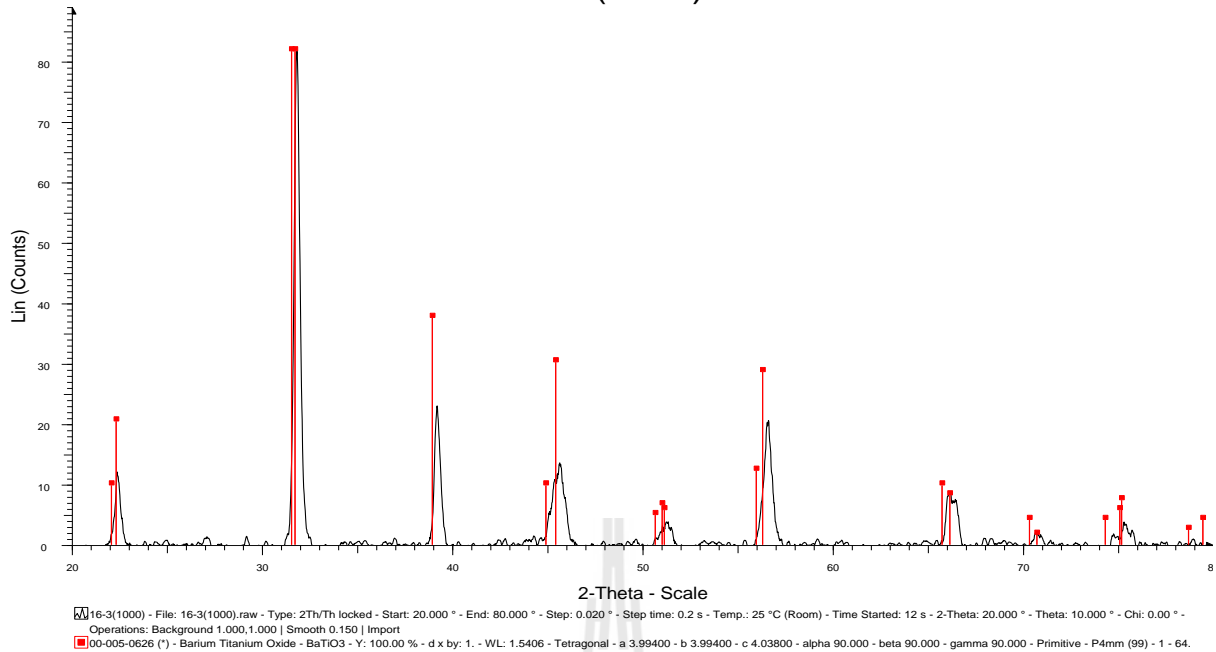
รูปที่ ค37 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เผาผนึกที่ 1150 °C

## 15-1(1200)



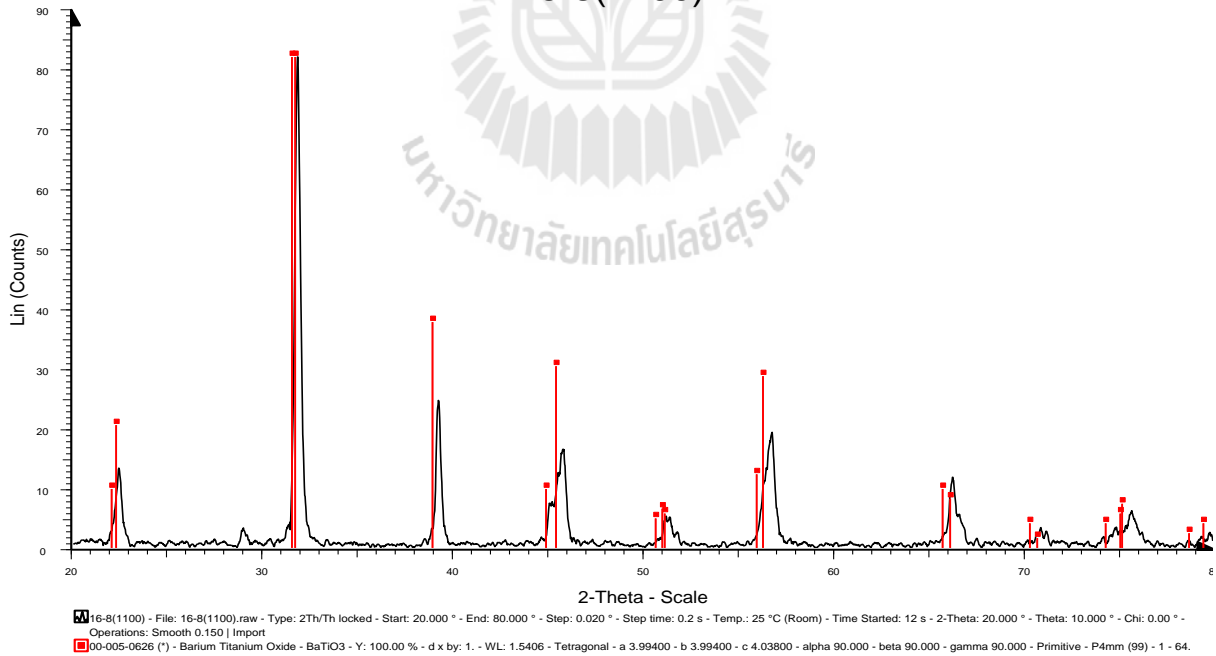
รูปที่ ค38 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 15 เผาผนึกที่ 1200 °C

## 16-3(1000)



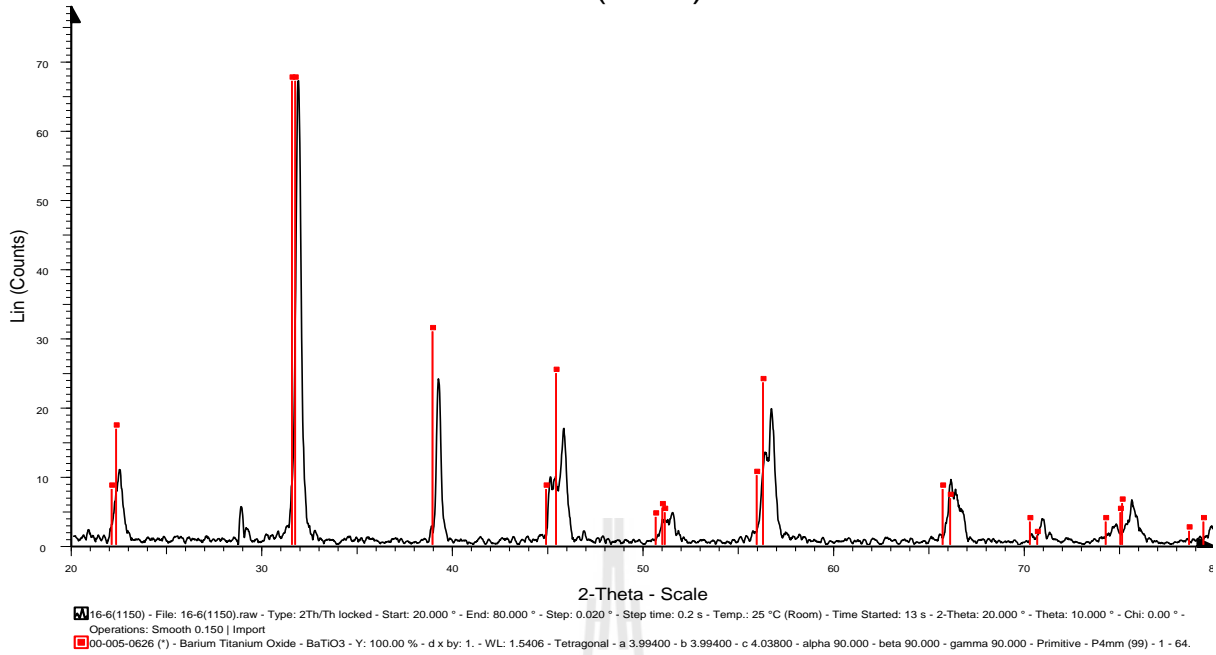
รูปที่ ค39 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เผาผนึกที่ 1000 °C

## 16-8(1100)



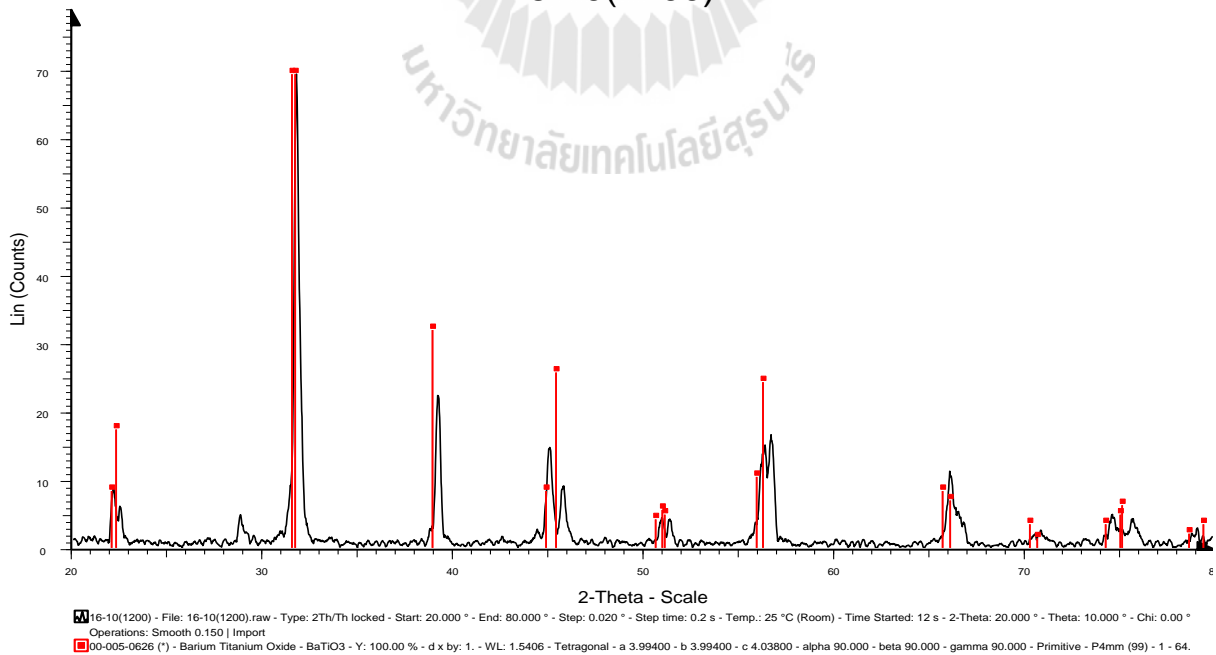
รูปที่ ค40 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เผาผนึกที่ 1100 °C

## 16-6(1150)



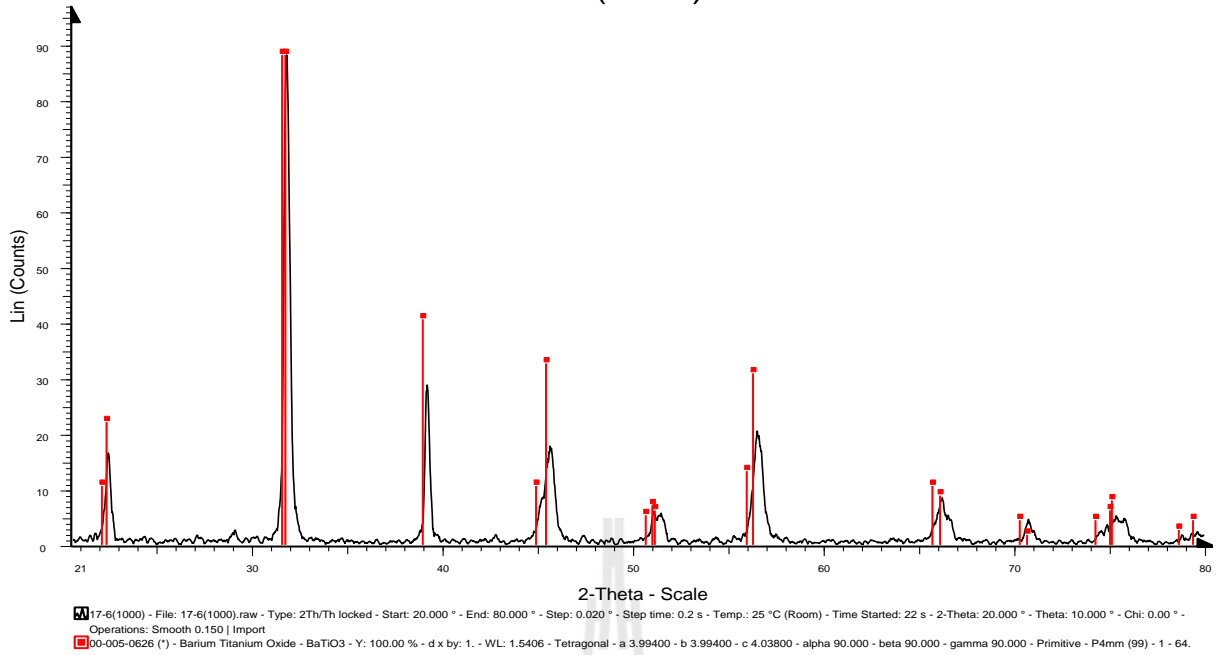
รูปที่ ค41 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เผาผนึกที่ 1150 °C

## 16-10(1200)



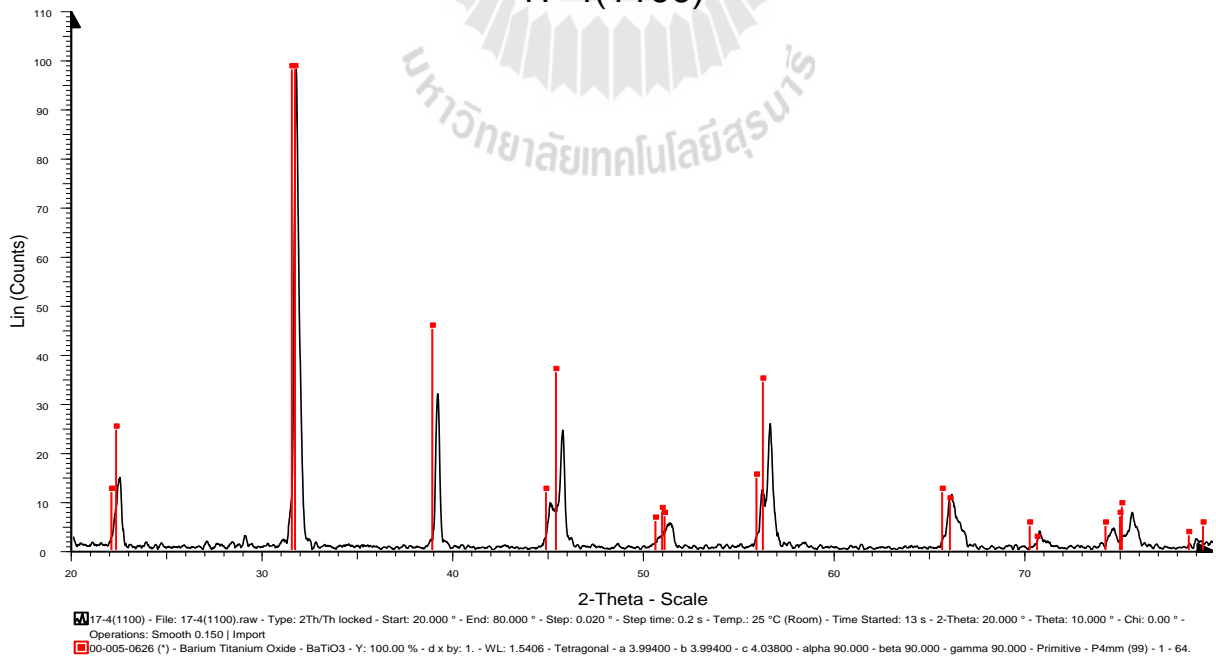
รูปที่ ค42 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 16 เผาผนึกที่ 1200 °C

## 17-6(1000)



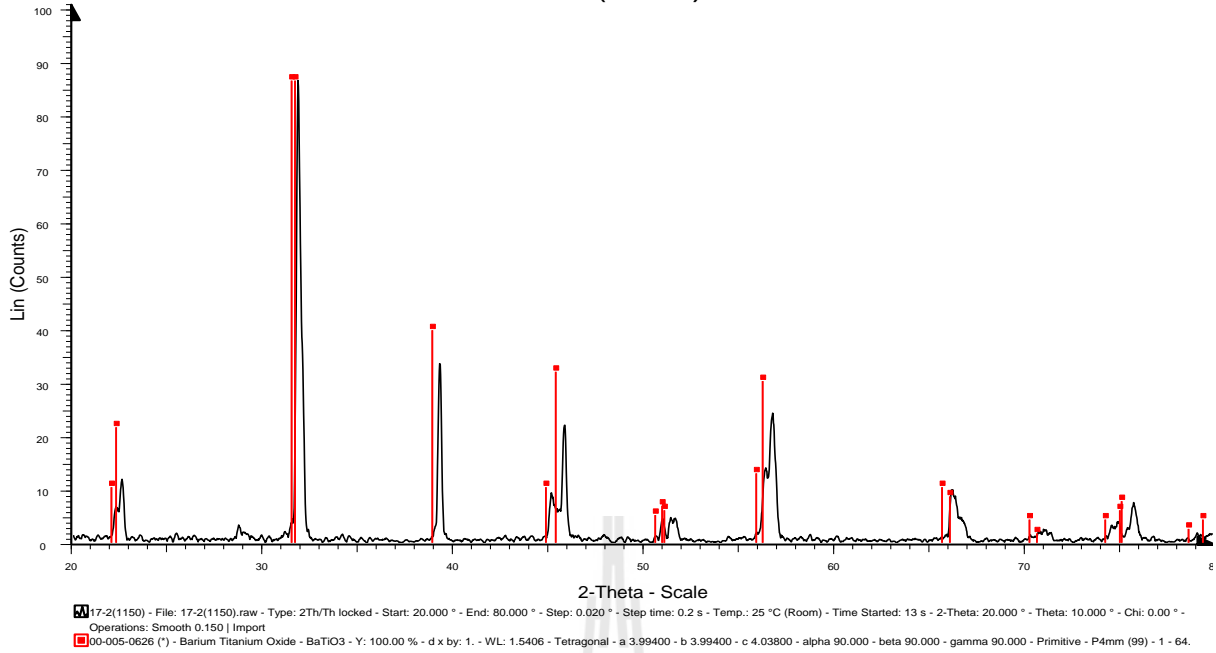
รูปที่ ค43 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1000 °C

## 17-4(1100)



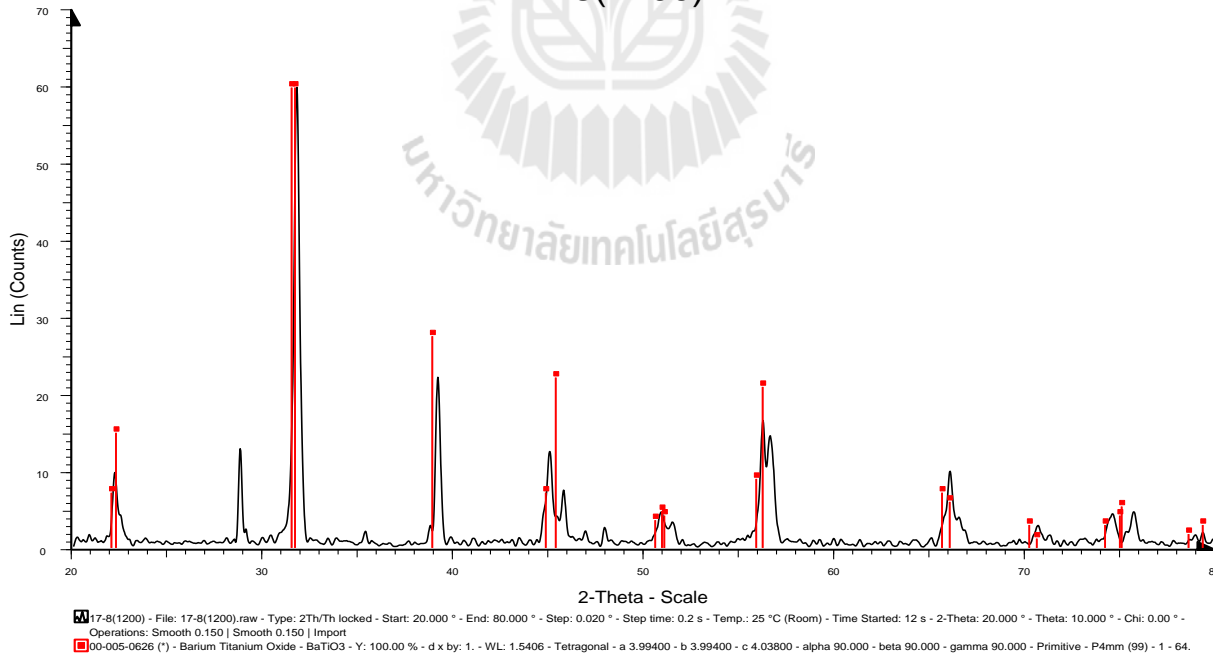
รูปที่ ค44 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1100 °C

## 17-2(1150)



รูปที่ ค45 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1150 °C

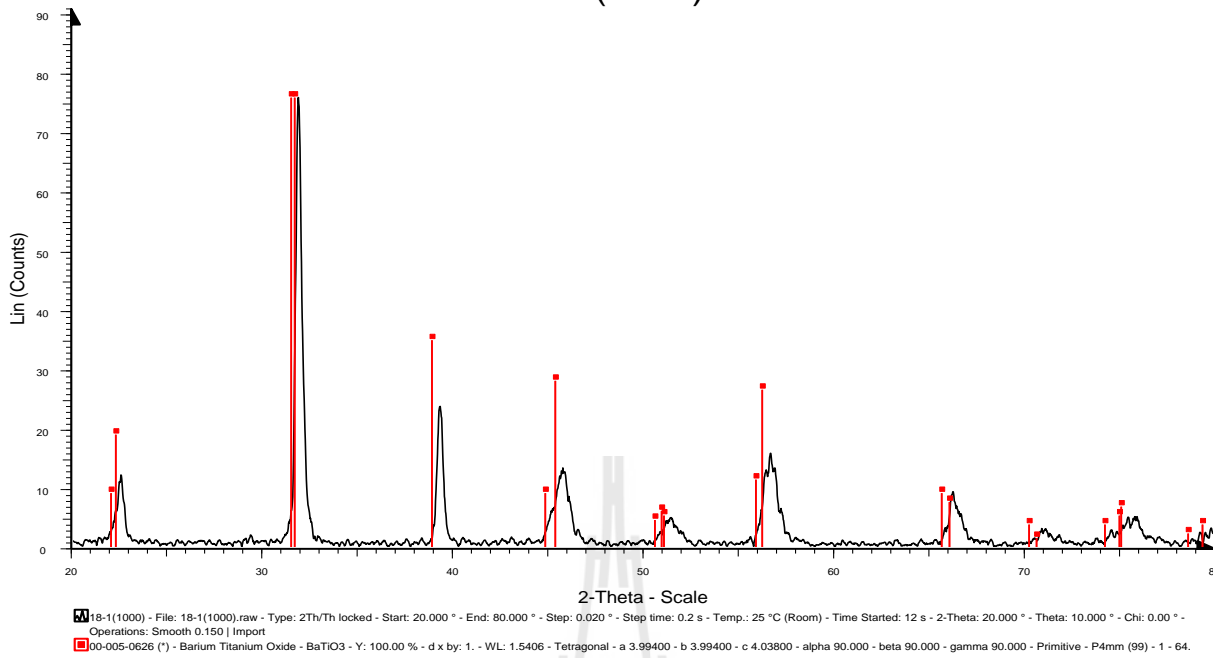
## 17-8(1200)



รูปที่ ค46 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 17 เผาผนึกที่ 1200 °C

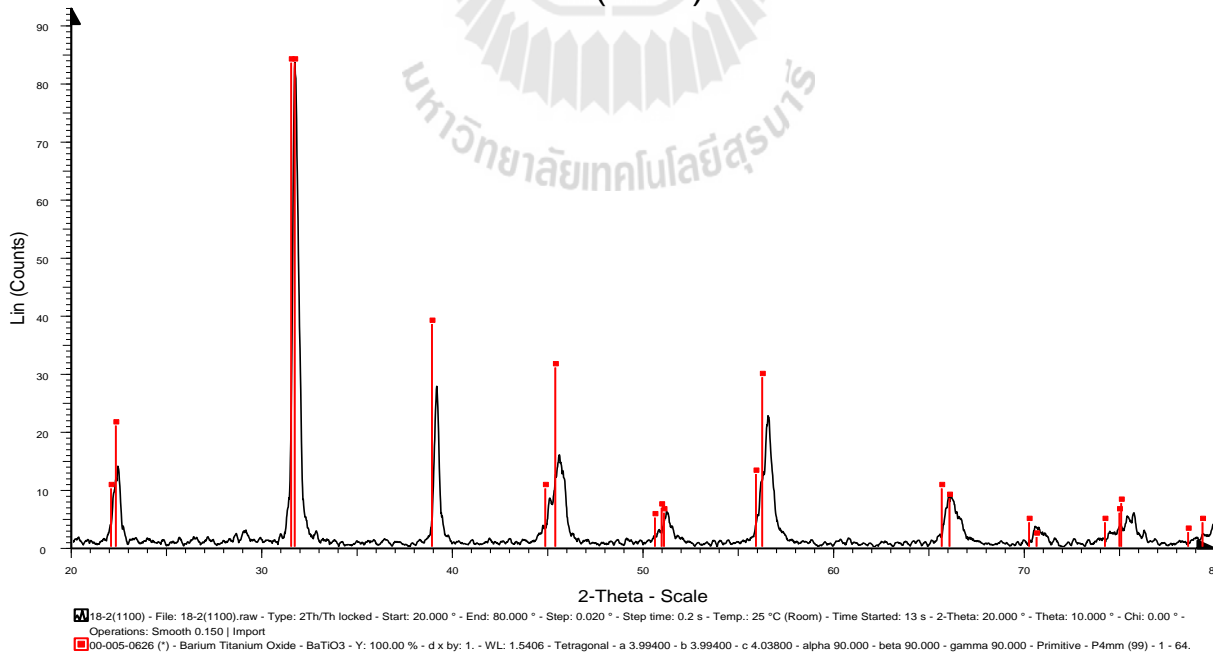
ค3) กราฟ XRD ของ PTCR สูตร 18-19 ในการทดลองที่ 5

18-1(1000)



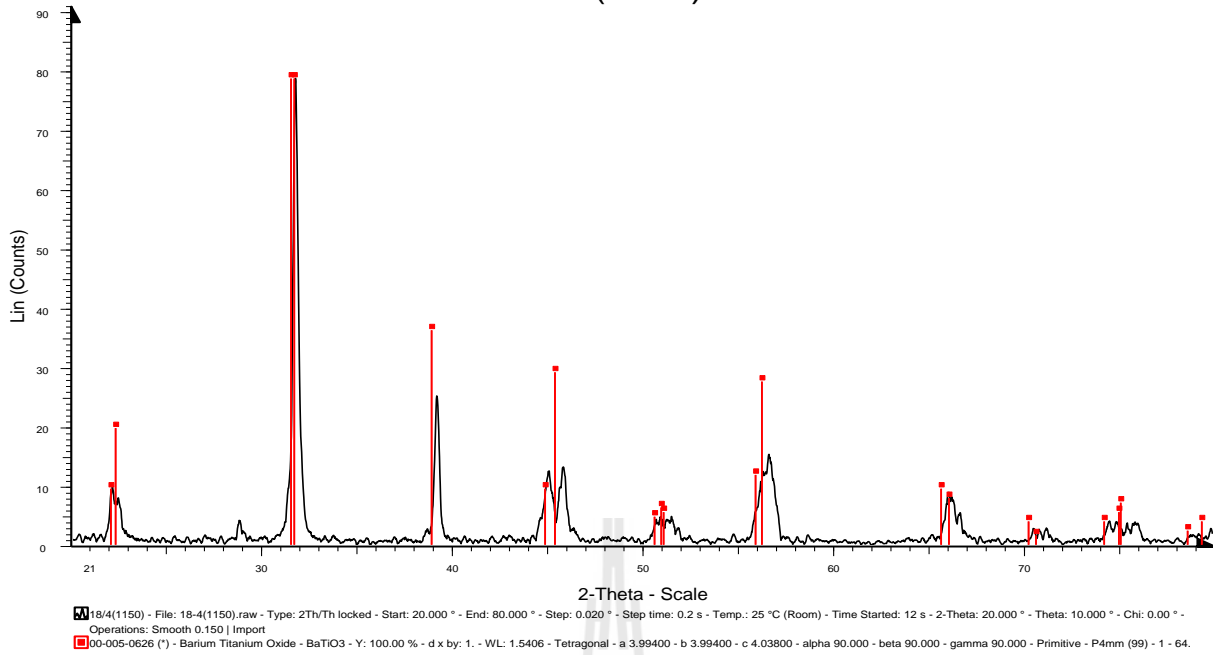
รูปที่ ค47 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เฝานึกที่ 1000 °C

18-2(1100)



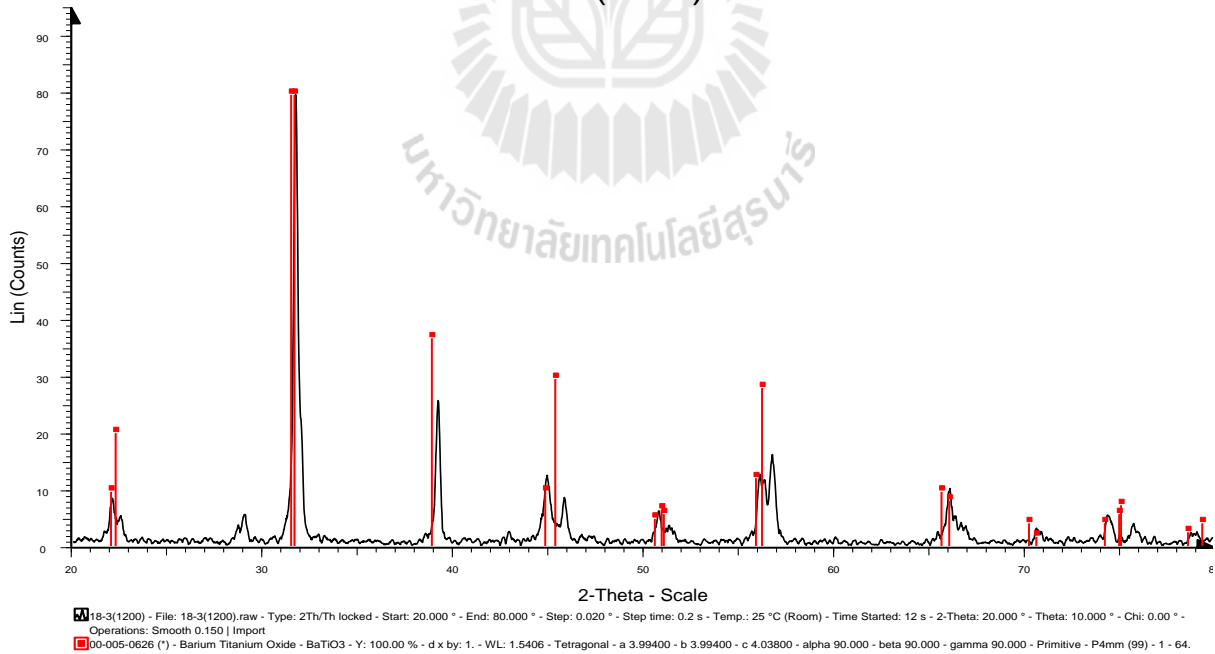
รูปที่ ค48 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เฝานึกที่ 1100 °C

## 18/4(1150)



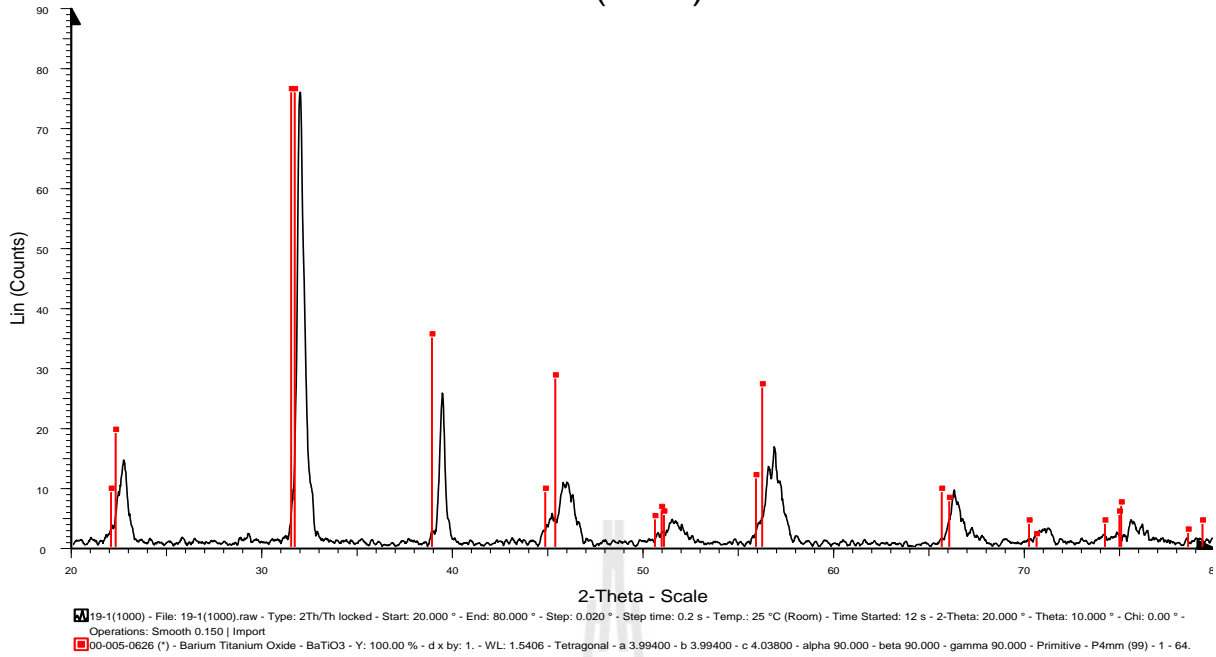
รูปที่ ค49 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เผาผนึกที่ 1150 °C

## 18-3(1200)



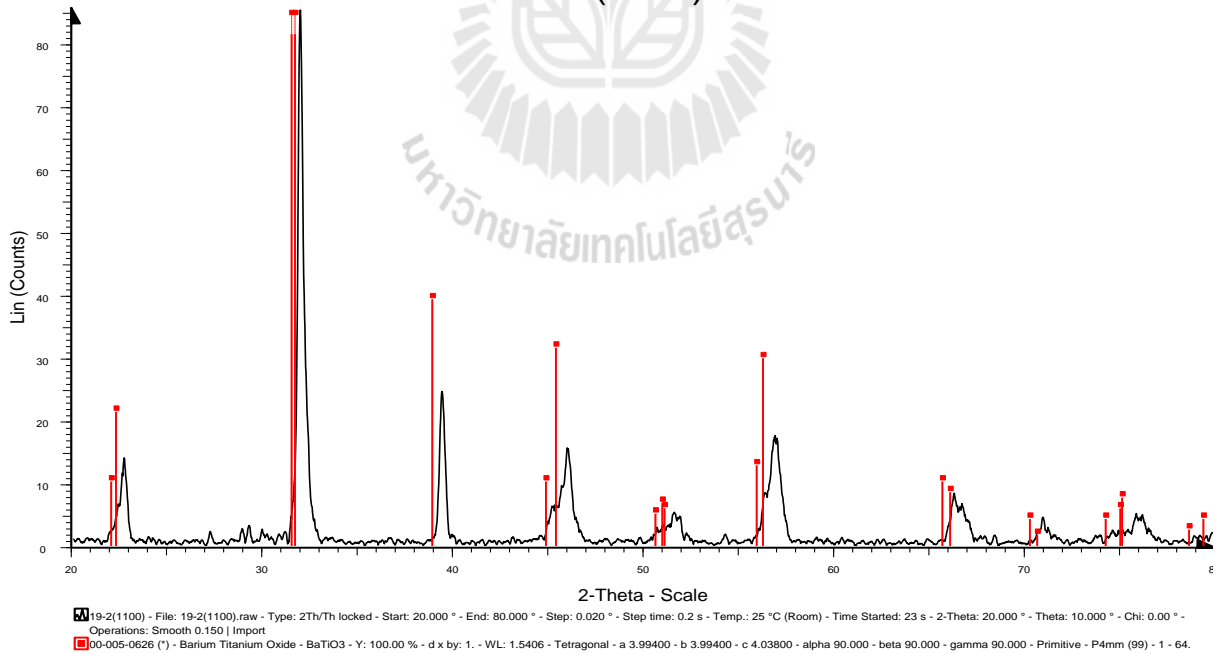
รูปที่ ค50 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 18 เผาผนึกที่ 1200 °C

## 19-1(1000)



รูปที่ ค51 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เผาผนึกที่ 1000 °C

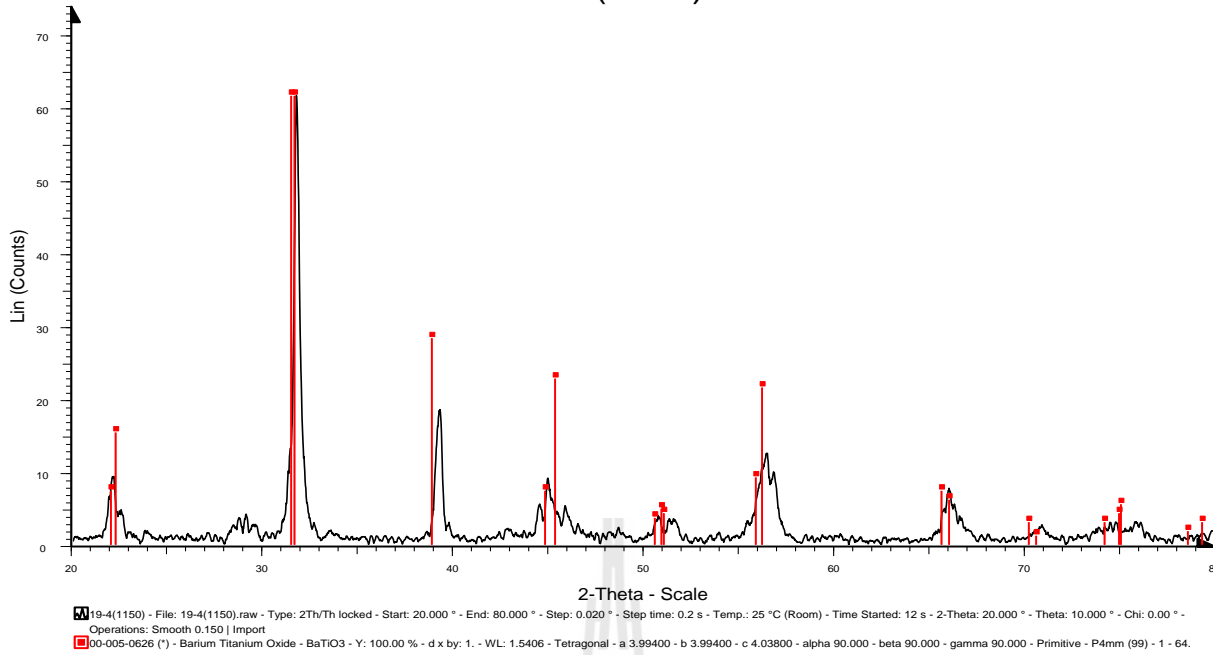
## 19-2(1100)



รูปที่ ค52 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เผาผนึกที่ 1100 °C

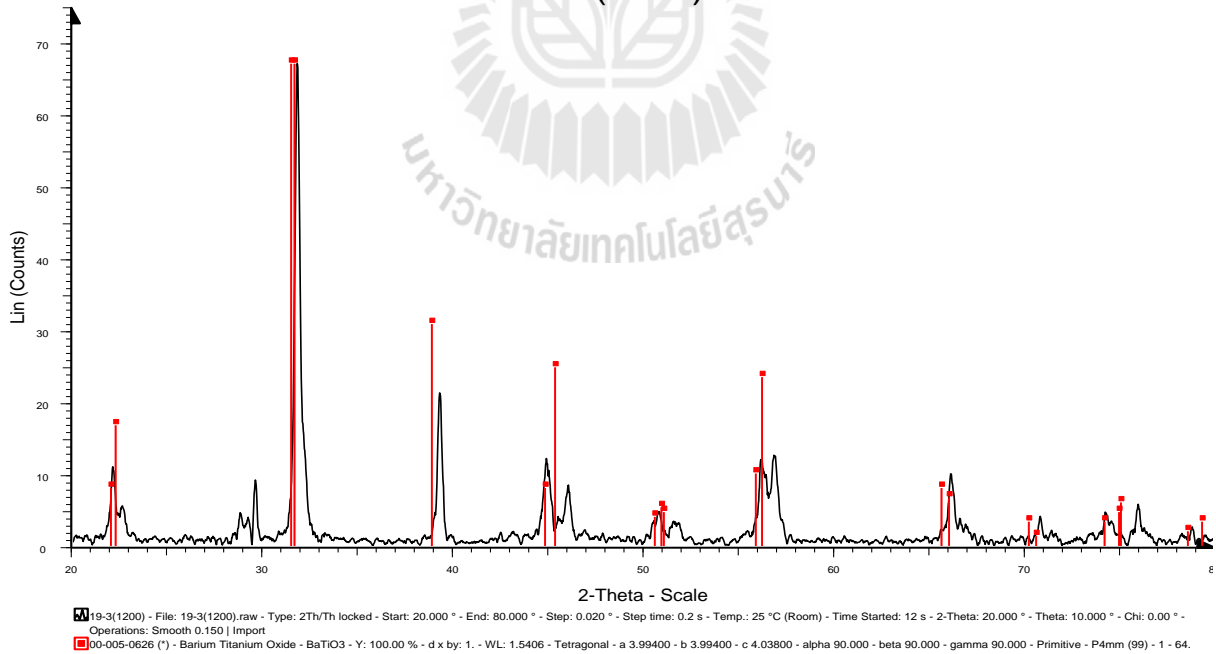


## 19-4(1150)



รูปที่ ค53 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เผาผนึกที่ 1150 °C

## 19-3(1200)



รูปที่ ค54 กราฟ X-ray diffraction ของ PTCR สูตร 19 เผาผนึกที่ 1200 °C

## ประวัตินักวิจัย

ผศ. ดร. สุธรรม ศรีหล่มสีก เกิดที่ อ. เมือง จังหวัดขอนแก่น จบการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิตวัสดุศาสตร์ (เซรามิก) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2526 จบปริญญาโท M.S. (Ceramic Engineering) จาก University of Missouri-Rolla ใน 3 ปีต่อมา และได้รับปริญญาเอก Ph.D. (Ceramic) จาก New York State College of Ceramic at Alfred เคยเป็นอาจารย์พิเศษสอนที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ 3 ปี แล้วเข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี 2540 จนถึงปัจจุบัน มีความเชี่ยวชาญด้านวัสดุอิเล็กทรอนิกส์เซรามิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุอิเล็กทรอนิกส์เซรามิกจำพวกไพโอโซอิเล็กทริกและเพโรอิเล็กทริก นอกจากนี้ยังมีประสบการณ์การสอนและทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเซรามิกพื้นฐาน (conventional ceramics) ด้วย โดยมีผลงานทางวิชาการตีพิมพ์ทั้งในและนอกประเทศรวมกัน 45 เรื่อง เคยได้รับรางวัล Dr. Richard Martin, Outstanding Teaching Assistant Award และ รางวัล Korean Alumni Association of Alfred University Award ขณะอยู่ที่ Alfred University ในปี ค.ศ. 2003 นอกจากนี้ยังเคยได้รับรางวัล รางวัลชมเชยอันดับหนึ่งประเภท Popular Vote จากหัวข้อวิจัยเรื่องเซรามิกพูนโครงสร้างแบบไม่ในงานแสดงผลงานโครงการที่ได้รับทุนโครงการ IRPUS ประจำปี 2551 และได้รับรางวัลรางวัลที่ 3 จากการประกวดสิ่งประดิษฐ์ ประจำปี 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ชื่อผลงาน “เนื้อดินปั้นที่เกิดเคลือบในตัวสำหรับเครื่องปั้นดินเผาต้านเกลือ”



### ข้อมูล Cp, Rp และ K', ρ

1) Cp, R, K' และ ρ ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 1

a) Cp, R, K' และ ρ ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300°C

Temp (°C)	Cp (nF)	R (MΩ)	K'	ρ (Ω.m)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (MΩ)	K'	ρ (Ω.m)
30	0.799	3.053	1579.20	174415.81	98	3.691	0.723	7297.02	41290.44
32	0.804	2.874	1588.55	164189.66	100	3.409	0.744	6739.51	42516.84
34	0.810	2.765	1600.58	157962.57	102	3.248	0.769	6421.22	43919.65
36	0.818	2.610	1617.14	149107.52	104	3.057	0.782	6043.62	44655.82
38	0.826	2.466	1632.84	140880.90	106	2.877	0.815	5687.76	46548.45
40	0.833	2.417	1646.91	138081.56	108	2.691	0.833	5320.04	47600.95
42	0.835	2.367	1650.42	135225.10	110	2.552	0.861	5045.24	49195.14
44	0.865	2.174	1709.38	124199.14	112	2.393	0.888	4730.90	50708.55
46	0.879	2.085	1738.03	119114.63	114	2.297	0.908	4541.11	51874.91
48	0.893	2.015	1765.92	115115.58	116	2.190	0.924	4329.58	52771.78
50	0.909	1.940	1797.32	110830.88	118	2.054	0.965	4060.71	55118.37
52	0.924	1.878	1826.12	107288.86	120	1.952	0.977	3859.06	55829.11
54	0.943	1.820	1864.81	103975.36	122	1.826	1.013	3609.96	57872.00
56	0.962	1.752	1902.74	100090.57	124	1.772	1.022	3503.20	58380.45
58	0.982	1.697	1942.02	96948.45	126	1.712	1.047	3384.58	59814.40
60	1.017	1.627	2010.58	92949.40	128	1.616	1.069	3194.79	61071.24
62	1.045	1.597	2065.94	91235.52	130	1.560	1.086	3084.08	62042.44
64	1.067	1.530	2109.43	87407.86	132	1.486	1.096	2937.79	62613.73
66	1.098	1.486	2170.72	84894.17	134	1.436	1.132	2838.94	64670.39
68	1.033	1.439	2042.22	82209.09	136	1.392	1.152	2751.95	65812.97
70	1.212	1.345	2396.10	76838.93	138	1.342	1.159	2653.10	66212.88
72	1.258	1.298	2487.04	74153.86	140	1.292	1.177	2554.25	67241.21
74	1.360	1.188	2688.69	67869.63	142	1.253	1.190	2477.15	67983.89
76	1.431	1.106	2829.05	63185.03	144	1.205	1.198	2382.26	68440.92
78	1.608	1.061	3178.98	60614.21	146	1.165	1.203	2303.18	68726.57
80	1.974	0.846	3902.55	48354.54	148	1.136	1.211	2245.84	69183.60
82	2.428	0.751	4800.10	42926.40	150	1.105	1.219	2184.56	69640.64
84	2.821	0.703	5577.05	40155.40	152	1.063	1.223	2101.53	69869.16
86	3.127	0.698	6182.00	39883.52	154	1.043	1.228	2061.99	70154.80
88	3.452	0.687	6824.52	39262.35	156	1.001	1.224	1978.95	69926.29
90	3.667	0.679	7249.57	38777.78	158	0.964	1.217	1905.39	69526.38
92	3.778	0.685	7469.02	39113.30	160	0.925	1.200	1827.88	68555.18
94	3.727	0.702	7368.19	40115.41	162	0.909	1.191	1797.14	68041.02

b) Cp, R, K' และ ρ ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1350°C

Temp (°C)	Cp (nF)	R (MΩ)	K'	ρ (Ω.m)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (MΩ)	K'	ρ (Ω.m)
28	0.784	17.196	1440.44	1057286.92	100	3.781	8.575	7498.39	527229.32
30	0.772	20.214	1418.64	1242847.04	102	3.533	9.800	6945.47	602547.79
32	0.770	21.947	1414.81	1349399.63	104	3.321	10.103	6489.91	621177.58
34	0.770	22.079	1415.01	1357515.58	106	3.175	10.456	6100.48	642881.60
36	0.773	23.392	1420.26	1438244.68	108	3.095	10.796	5832.29	663786.32
38	0.778	23.456	1428.87	1442179.69	110	2.772	12.621	5685.33	775995.47
40	0.795	24.720	1461.21	1519896.06	112	2.585	12.999	5092.00	799236.60
42	0.810	24.520	1488.44	1507599.16	114	2.393	12.781	4748.49	785832.99
44	0.819	24.201	1504.88	1487985.62	116	2.256	12.015	4395.80	738735.89

46	0.824	24.016	1514.54	1476610.99	118	2.185	12.528	4144.14	770277.42
48	0.832	23.856	1528.36	1466773.48	120	2.070	11.455	4013.71	704304.58
50	0.845	23.721	1552.44	1458473.07	122	1.988	11.407	3802.47	701353.33
54	0.892	18.120	1639.22	1114098.57	124	1.919	11.683	3651.84	718323.04
56	0.913	18.104	1677.96	1113114.81	126	1.774	11.513	3525.09	707870.68
58	0.945	17.239	1736.03	1059930.75	128	1.713	10.523	3258.73	647001.06
60	0.973	16.012	1787.82	984489.31	130	1.641	10.511	3146.68	646263.25
62	0.983	16.283	1805.18	1001151.60	132	1.571	9.875	3014.42	607159.12
64	0.995	16.254	1828.36	999368.55	134	1.506	9.182	2885.83	564550.39
66	1.022	16.234	1878.09	998138.86	136	1.446	8.446	2766.43	519297.82
68	1.069	13.451	1963.69	827027.58	138	1.400	8.617	2656.22	529811.66
70	1.124	13.418	2064.72	824998.60	140	1.357	7.851	2571.72	482714.56
72	1.175	11.582	2158.40	712113.11	142	1.319	7.502	2492.73	461256.48
74	1.243	11.023	2283.32	677743.29	146	1.192	5.171	2422.92	317936.19
76	1.382	9.271	2538.65	570022.51	148	1.170	5.212	2189.63	320457.05
78	1.807	7.717	3319.35	474475.64	150	1.159	5.342	2149.22	328450.03
80	1.897	7.125	3484.68	438076.84	152	1.127	5.139	2129.01	315968.68
82	1.942	6.285	3567.34	386429.88	154	1.037	4.110	2070.23	252701.16
84	2.211	5.237	4061.48	321994.16	156	1.007	3.795	1904.91	233333.56
86	2.647	4.474	4862.38	275081.51	158	0.991	3.741	1849.80	230013.40
88	3.214	4.352	5903.93	267580.41	160	0.960	3.184	1820.71	195766.55
90	3.541	4.243	6504.61	260878.60	162	0.941	3.177	1763.96	195336.16
92	3.754	5.164	6895.87	317505.79	164	0.917	2.818	1727.67	173263.23
94	4.198	5.473	7711.48	336504.49	166	0.866	2.677	1683.74	164593.92
96	4.271	6.493	7845.57	399218.65	168	0.843	2.253	1590.71	138524.51
98	4.082	7.012	7845.57	431129.09	170	0.795	1.815	1548.20	111594.31

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่  $1400^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	0.713	23.012	1440.15	1285881.04	102	3.327	9.570	6724.61	534759.32
32	0.713	24.512	1441.60	1369699.12	104	2.984	11.712	6031.33	654451.54
34	0.714	25.134	1442.85	1404455.68	106	2.775	12.864	5608.89	718823.82
36	0.718	25.429	1451.40	1420939.90	108	2.592	12.554	5239.01	701501.42
38	0.719	27.578	1453.30	1541023.26	114	2.063	13.859	4169.78	774423.14
44	0.743	25.998	1502.77	1452734.89	116	1.966	12.034	3973.72	672444.48
46	0.755	26.145	1525.71	1460949.06	118	1.880	12.190	3799.90	681161.56
48	0.762	24.097	1540.70	1346509.45	120	1.815	12.379	3668.52	691722.64
50	0.773	25.152	1563.41	1405461.50	122	1.761	11.255	3559.37	628914.96
52	0.782	24.172	1581.03	1350700.35	124	1.685	11.075	3405.76	618856.79
54	0.795	23.522	1606.89	1314379.19	126	1.602	10.340	3238.00	577785.94
58	0.825	22.311	1666.63	1246710.06	128	1.554	10.117	3140.98	565324.98
60	0.841	21.593	1700.70	1206589.14	130	1.511	10.241	3054.07	572253.94
62	0.862	18.543	1742.54	1036159.05	132	1.426	9.713	2882.26	542749.98
64	0.885	17.612	1789.20	984135.97	134	1.370	8.646	2769.07	483127.39
66	0.928	16.127	1875.03	901156.07	136	1.343	8.796	2714.50	491509.20
68	0.959	15.786	1938.11	882101.43	138	1.257	7.778	2540.68	434624.66
70	0.997	14.946	2015.36	835163.31	140	1.204	7.562	2433.55	422554.86
72	1.042	14.112	2106.11	788560.46	142	1.183	6.681	2391.11	373325.71
74	1.085	12.245	2193.03	684234.89	144	1.157	5.946	2338.55	332254.85
76	1.145	11.285	2314.30	630591.32	146	1.080	5.306	2182.92	296492.47
78	1.218	10.933	2461.85	610922.02	148	1.037	4.780	2096.01	267100.27
80	1.298	9.525	2623.55	532244.78	150	1.013	4.544	2047.50	253912.89

82	1.430	8.856	2890.35	494861.92	152	0.989	4.327	1999.24	241787.21
84	1.817	6.164	3672.56	344436.41	154	0.960	3.904	1940.64	218150.51
86	2.134	5.347	4313.29	298783.50	156	0.930	3.574	1880.24	199710.54
88	2.567	4.688	5188.48	261959.43	158	0.901	3.231	1821.27	180544.14
90	3.081	4.664	6227.39	260618.34	160	0.876	2.843	1769.63	158863.19
92	3.402	4.723	6876.20	263915.18	162	0.842	2.664	1701.32	148860.90
94	3.670	5.277	7417.89	294871.99	164	0.820	2.466	1656.46	137796.92
96	3.800	6.534	7680.64	365111.54	166	0.801	2.313	1619.85	129247.47
98	3.724	7.879	7527.03	440268.41	168	0.790	2.241	1597.22	125224.21
100	3.561	9.336	7197.57	521683.70	170	0.772	2.032	1560.10	113545.55

2)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 1

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
32	1.107	10.145	1941.31	653378.86	118	1.259	16.393	2207.87	1055775.22
34	1.115	10.342	1955.34	666066.45	120	1.238	16.778	2171.04	1080570.77
36	1.118	10.399	1960.60	669737.48	122	1.184	17.056	2076.34	1098475.09
38	1.123	10.540	1969.37	678818.45	124	1.159	18.540	2032.50	1194050.66
40	1.129	10.684	1979.89	688092.63	126	1.133	19.099	1986.91	1230052.52
42	1.134	10.827	1988.66	697302.40	128	1.104	19.584	1936.05	1261288.47
44	1.140	10.945	1999.18	704902.08	130	1.081	20.069	1895.72	1292524.42
46	1.144	11.054	2006.20	711922.12	132	1.056	20.806	1851.87	1339990.19
48	1.150	11.129	2016.72	716752.42	134	1.011	21.556	1772.96	1388293.21
50	1.157	11.288	2028.99	726992.66	136	0.955	22.416	1674.81	1443680.67
52	1.162	11.354	2037.76	731243.32	140	0.939	23.070	1646.84	1485807.35
54	1.168	11.449	2048.28	737361.71	144	0.871	24.794	1526.81	1596833.45
56	1.174	11.547	2058.81	743673.30	146	0.858	25.166	1503.99	1620791.75
58	1.180	11.664	2069.33	751208.57	148	0.830	25.943	1456.29	1670833.68
60	1.188	11.774	2083.36	758293.02	150	0.791	26.799	1387.22	1725963.53
62	1.195	11.820	2095.63	761255.60	152	0.782	27.102	1372.24	1745477.95
64	1.203	11.912	2109.66	767180.77	154	0.768	27.384	1346.75	1763639.88
66	1.211	11.988	2123.69	772075.48	156	0.755	27.737	1323.32	1786374.50
68	1.219	12.054	2137.72	776326.14	158	0.724	28.484	1270.02	1834484.31
70	1.228	12.168	2153.50	783668.20	160	0.713	28.748	1250.75	1851486.97
72	1.243	12.321	2179.81	793522.02	162	0.703	29.022	1232.60	1869133.68
74	1.254	12.387	2199.10	797772.69	164	0.676	29.556	1185.83	1903525.43
76	1.259	12.449	2207.87	801765.73	166	0.660	29.715	1157.97	1913765.67
78	1.269	12.544	2225.41	807884.12	168	0.642	30.022	1125.09	1933537.70
80	1.278	12.688	2241.19	817158.30	170	0.634	30.188	1111.32	1944228.77
82	1.284	12.793	2251.71	823920.72	172	0.624	30.213	1094.27	1945838.87
84	1.299	12.940	2278.02	833388.11	174	0.610	30.304	1069.35	1951699.64
86	1.312	13.175	2300.81	848523.06	176	0.601	30.344	1053.49	1954275.80
88	1.318	13.290	2311.33	855929.52	178	0.589	30.268	1033.65	1949381.10
90	1.323	13.506	2320.10	869840.79	180	0.573	30.194	1005.67	1944615.20
92	1.326	13.868	2325.36	893155.05	182	0.560	30.077	982.55	1937079.93
94	1.329	13.912	2330.63	895988.83	184	0.554	29.918	971.65	1926839.69
96	1.332	14.026	2335.89	903330.89	186	0.540	29.568	946.68	1904298.28
98	1.330	14.120	2332.38	909384.86	188	0.532	29.369	933.27	1891481.88
100	1.338	14.214	2346.41	915438.84	190	0.525	29.114	921.54	1875058.85
102	1.341	14.308	2351.67	921492.82	192	0.511	28.563	896.29	1839572.23

104	1.344	14.402	2356.93	927546.80	194	0.517	28.482	907.26	1834355.50
106	1.347	14.496	2362.19	933600.78	196	0.502	28.189	880.72	1815485.12
108	1.330	14.590	2332.38	939654.76	198	0.495	27.893	868.19	1796421.53
110	1.323	14.625	2320.10	941908.90	200	0.480	27.163	841.48	1749419.47
112	1.318	14.670	2311.33	944807.08	202	0.474	26.925	830.91	1734078.43
114	1.289	15.759	2260.48	1014943.06	204	0.469	26.582	821.96	1711987.85
116	1.270	16.038	2227.16	1032911.79					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1350°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
27	0.58257	11.380	541.96	1381618.55	105	2.401	5.247	2233.61	637025.71
29	0.57228	13.581	532.38	1648836.69	107	2.334	5.339	2171.28	648195.21
31	0.57381	14.567	533.81	1768544.59	109	2.172	5.506	2020.57	668470.28
33	0.57541	14.732	535.30	1788576.84	111	2.040	5.572	1897.78	676483.18
35	0.57743	14.927	537.18	1812251.33	113	1.960	5.587	1823.35	678304.29
37	0.58031	15.046	539.85	1826698.83	115	1.843	5.587	1714.51	678304.29
39	0.58406	15.203	543.34	1845759.82	117	1.751	5.552	1628.92	674055.03
41	0.59077	15.451	549.58	1875868.91	119	1.680	5.397	1562.87	655236.85
43	0.5963	14.879	554.73	1806423.76	121	1.630	5.313	1516.36	645038.61
45	0.60077	15.275	558.89	1854501.17	123	1.546	5.514	1438.22	669441.54
47	0.60793	14.707	565.55	1785541.65	125	1.466	4.948	1363.79	600724.83
49	0.61531	14.557	572.41	1767330.51	127	1.437	4.857	1336.82	589676.74
51	0.62131	14.272	577.99	1732729.34	129	1.363	4.783	1267.97	580692.58
53	0.62768	14.376	583.92	1745355.74	131	1.304	4.462	1213.09	541720.74
55	0.63014	14.229	586.21	1727508.82	133	1.277	4.338	1187.97	526666.19
57	0.64451	13.696	599.57	1662798.56	135	1.234	4.100	1147.97	497771.18
59	0.65302	13.479	607.49	1636453.11	137	1.204	3.961	1120.06	480895.52
61	0.66481	13.093	618.46	1589589.78	139	1.162	3.721	1080.99	451757.70
63	0.67617	12.678	629.03	1539205.62	141	1.129	3.511	1050.29	426262.10
65	0.69592	12.078	647.40	1466361.06	143	1.099	3.340	1022.38	405501.40
67	0.71073	11.707	661.18	1421318.84	145	1.059	3.134	985.17	380491.44
69	0.72966	11.216	678.79	1361707.70	147	1.050	3.045	976.80	369686.16
71	0.74865	10.730	696.46	1302703.61	149	1.013	2.847	942.38	345647.45
73	0.75832	10.609	705.45	1288013.29	151	0.97058	2.582	902.92	313474.44
75	0.76603	10.437	712.63	1267131.18	153	0.94412	2.420	878.30	293806.41
77	0.81091	9.647	754.37	1171219.17	155	0.92328	2.307	858.91	280087.35
79	0.85317	8.931	793.69	1084291.32	157	0.89439	2.138	832.04	259569.46
81	0.89378	8.487	831.46	1030386.35	159	0.86849	1.970	807.94	239172.98
83	0.90483	8.332	841.75	1011568.17	161	0.84107	1.815	782.43	220354.80
85	0.99079	7.443	921.71	903636.81	163	0.82037	1.696	763.18	205907.30
87	1.168	6.119	1086.57	742893.14	165	0.78375	1.493	729.11	181261.55
89	1.681	4.747	1563.80	576321.90	167	0.77064	1.421	716.91	172520.21
91	2.189	3.804	2036.39	461834.53	169	0.75481	1.330	702.19	161472.12
93	2.443	3.697	2272.68	448843.92	171	0.73981	1.254	688.23	152245.14
95	2.730	3.725	2539.67	452243.33	173	0.72673	1.187	676.06	144110.83
97	2.907	4.094	2704.33	497042.74	175	0.71406	1.120	664.28	135976.52
99	2.812	4.497	2615.95	545970.00	177	0.69288	1.004	644.57	121893.24

101	2.700	4.770	2511.76	579114.28	179	0.68354	0.965	635.89	117102.98
103	2.576	4.968	2396.41	603152.98	181	0.67791	0.931	630.65	113070.67
105	2.401	5.247	2233.61	637025.71	183	0.67683	0.941	629.64	114230.47

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่  $1400^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
28	0.210	83.487	440.70	4493940.33	96	0.361	24.703	757.27	1329713.70
30	0.212	85.680	444.53	4611985.19	98	0.402	21.140	843.78	1137924.45
32	0.212	88.769	444.63	4778259.96	100	0.449	19.937	941.77	1073169.34
34	0.213	89.530	446.52	4819223.08	102	0.539	16.083	1131.80	865716.13
36	0.212	88.790	445.73	4779390.34	104	0.686	12.728	1438.38	685123.10
40	0.213	91.921	447.32	4947925.89	106	0.803	12.810	1684.58	689537.00
42	0.217	90.135	455.27	4851789.04	108	0.979	13.109	2053.64	705631.58
44	0.218	92.780	456.41	4994164.16	110	1.009	13.493	2116.48	726301.54
46	0.216	83.753	453.21	4508258.58	112	1.064	17.833	2232.51	959915.17
48	0.218	84.122	456.99	4528121.12	114	1.047	18.821	2196.84	1013097.26
54	0.223	74.100	467.61	3988656.66	116	1.001	20.151	2100.32	1084688.53
56	0.224	71.089	469.86	3826580.47	118	0.926	19.969	1943.59	1074891.83
58	0.226	69.123	473.74	3720754.58	120	0.911	20.374	1911.25	1096692.18
60	0.228	69.283	477.39	3729367.06	122	0.857	20.200	1797.53	1087326.11
62	0.229	66.491	480.33	3579079.21	124	0.781	20.138	1638.06	1083988.77
64	0.231	64.720	484.17	3483749.78	126	0.754	19.554	1582.88	1052553.20
66	0.233	61.521	488.99	3311553.93	128	0.683	18.933	1432.06	1019126.00
68	0.238	59.530	499.06	3204382.33	130	0.662	18.753	1389.21	1009436.95
70	0.240	56.710	504.58	3052587.30	132	0.630	19.578	1321.15	1053845.07
72	0.243	56.274	510.73	3029118.28	136	0.581	15.716	1219.45	845961.24
74	0.247	51.282	518.47	2760408.78	138	0.542	16.478	1138.20	886978.20
76	0.251	50.078	526.21	2695599.84	140	0.531	14.693	1114.54	790895.17
78	0.257	47.934	538.73	2580192.55	142	0.506	14.392	1061.71	774692.94
80	0.263	45.472	551.20	2447667.96	144	0.483	13.548	1013.45	729262.08
82	0.267	42.772	559.66	2302332.29	146	0.471	12.443	987.61	669782.12
84	0.279	40.120	584.96	2159580.37	148	0.458	11.906	960.42	640876.47
86	0.286	35.399	600.66	1905458.26	150	0.423	10.345	886.81	556850.92
88	0.297	33.810	622.25	1819925.53	152	0.405	9.783	849.38	526599.57
90	0.305	30.246	639.73	1628082.45	153	0.501	13.048	1051.04	702348.07
92	0.319	30.332	669.00	1632711.66					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่  $1450^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	1.017	3.179	994.99	366879.76	94	1.612	4.155	1577.58	479517.27
32	1.013	3.375	991.37	389499.59	96	1.764	3.530	1726.34	407387.72
34	1.013	3.572	991.37	412234.82	98	2.115	2.830	2069.84	326602.62
36	1.015	3.814	993.33	440163.39	100	2.612	2.265	2556.23	261397.50
40	1.021	4.193	999.20	483902.75	102	3.265	1.914	3195.29	220889.54
42	1.025	4.404	1003.12	508253.69	104	3.607	1.801	3529.99	207848.52
44	1.030	4.609	1008.01	531912.18	106	4.490	1.651	4394.14	190537.43
46	1.036	4.795	1013.88	553377.94	108	4.958	1.726	4852.15	199192.98
48	1.042	4.993	1019.75	576228.58	110	5.011	1.918	4904.01	221351.17
50	1.054	5.212	1031.50	601502.77	112	4.920	2.027	4814.96	233930.57
52	1.062	5.370	1039.33	619737.12	114	4.639	2.247	4539.96	259320.17

54	1.071	5.547	1048.13	640164.21	116	4.497	2.376	4400.99	274207.71
56	1.082	5.651	1058.90	652166.57	118	4.365	2.418	4271.81	279054.82
58	1.091	5.746	1067.71	663130.26	120	3.908	2.746	3824.56	316908.41
60	1.110	5.870	1086.30	677440.77	122	3.694	2.852	3615.13	329141.58
62	1.122	5.923	1098.04	683557.35	124	3.571	2.911	3494.76	335950.61
66	1.144	5.945	1119.58	686096.31	126	3.360	3.008	3288.26	347145.12
70	1.165	5.917	1140.13	682864.91	128	3.270	3.037	3200.18	350491.93
72	1.173	5.904	1147.96	681364.61	130	3.111	3.079	3044.58	355339.03
74	1.191	5.868	1165.57	677209.95	132	3.004	3.095	2939.86	357185.55
76	1.203	5.836	1177.32	673516.92	134	2.786	3.090	2726.52	356608.51
78	1.232	5.712	1205.70	659206.42	136	2.650	3.048	2593.42	351761.41
80	1.259	5.588	1232.12	644895.91	138	2.570	3.017	2515.13	348183.78
82	1.288	5.443	1260.50	628161.86	140	2.492	2.972	2438.79	342990.45
84	1.317	5.318	1288.88	613735.95	142	2.332	2.856	2282.21	329603.21
86	1.354	5.118	1325.09	590654.49	144	2.363	2.791	2312.55	322101.73
88	1.442	4.742	1411.21	547261.35	146	2.227	2.749	2179.45	317254.63
90	1.473	4.622	1441.55	533412.47	148	2.128	2.636	2082.57	304213.61
92	1.577	4.279	1543.33	493827.78	150	2.031	2.492	1987.64	287594.96

3)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 1

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1300°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
30	1.309	0.413	2712.52	22502.05	108	1.308	0.192	2710.44	10464.70
32	1.426	0.348	2954.96	18970.74	110	1.298	0.192	2689.72	10482.09
34	1.442	0.342	2988.12	18617.83	112	1.275	0.193	2642.06	10529.01
36	1.471	0.328	3048.21	17892.00	114	1.264	0.194	2619.27	10564.11
38	1.557	0.298	3226.42	16215.13	116	1.253	0.194	2596.47	10597.85
40	1.578	0.288	3269.94	15694.68	118	1.221	0.197	2530.16	10716.40
44	1.649	0.269	3417.07	14675.45	120	1.207	0.198	2501.15	10791.72
46	1.685	0.260	3491.67	14195.00	122	1.198	0.198	2482.50	10793.25
48	1.707	0.254	3537.25	13870.38	124	1.176	0.202	2436.91	10983.14
50	1.715	0.252	3553.83	13741.09	126	1.155	0.204	2393.40	11128.61
52	1.748	0.246	3622.21	13387.04	128	1.120	0.209	2320.87	11398.57
54	1.790	0.233	3709.25	12716.91	130	1.103	0.212	2285.64	11573.25
56	1.805	0.230	3740.33	12546.69	132	1.077	0.217	2231.76	11841.09
58	1.815	0.226	3761.05	12343.29	134	1.060	0.221	2196.54	12055.56
60	1.821	0.225	3773.49	12236.78	136	1.052	0.225	2179.96	12246.76
64	1.826	0.221	3783.85	12046.08	138	1.039	0.228	2153.02	12410.05
66	1.825	0.216	3781.77	11757.59	140	1.010	0.235	2092.93	12798.12
68	1.821	0.213	3773.49	11626.40	142	0.993	0.242	2057.74	13178.88
70	1.805	0.210	3740.33	11430.45	144	0.975	0.245	2020.50	13362.34
72	1.800	0.209	3729.97	11370.66	146	0.969	0.248	2008.63	13537.41
74	1.762	0.205	3651.23	11162.35	148	0.908	0.275	1881.03	14988.36
76	1.742	0.203	3609.78	11070.07	150	0.897	0.279	1858.29	15232.65
78	1.734	0.203	3593.20	11037.32	152	0.886	0.284	1836.57	15505.49
80	1.695	0.200	3512.39	10911.09	154	0.880	0.288	1823.11	15700.56
82	1.679	0.199	3479.23	10865.41	156	0.849	0.304	1759.65	16588.27
84	1.649	0.199	3417.07	10843.61	158	0.764	0.365	1582.24	19887.77



86	1.593	0.196	3301.02	10665.98	160	0.738	0.388	1529.26	21136.35
88	1.581	0.195	3276.16	10641.40	162	0.720	0.403	1491.89	21979.96
90	1.511	0.193	3131.10	10516.59	164	0.707	0.417	1464.57	22718.05
92	1.476	0.192	3058.57	10470.86	166	0.670	0.455	1389.19	24806.75
94	1.441	0.191	2986.05	10435.32	168	0.652	0.476	1352.04	25917.11
96	1.421	0.191	2944.60	10414.12	170	0.633	0.501	1312.37	27293.00
98	1.419	0.191	2940.46	10415.70	172	0.615	0.526	1273.40	28675.39
100	1.385	0.191	2870.00	10401.42	174	0.594	0.553	1231.12	30139.03
102	1.370	0.191	2838.92	10407.69	176	0.579	0.573	1199.84	31203.50
104	1.345	0.191	2787.12	10416.79	178	0.563	0.594	1167.30	32361.21
106	1.333	0.191	2762.25	10423.77	180	0.553	0.607	1145.73	33110.10

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1350°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
45	1.265	4.429	2581.63	245111.09	117	0.67988	6.648	1387.50	367915.68
47	1.394	3.673	2844.89	203272.31	119	0.6693	6.722	1365.92	372011.01
49	1.476	3.406	3012.24	188495.91	121	0.64769	6.852	1321.81	379205.51
51	1.529	3.268	3120.40	180858.67	123	0.63487	6.934	1295.64	383743.58
53	1.565	3.205	3193.87	177372.11	125	0.62216	7.040	1269.71	389609.87
55	1.598	3.129	3261.22	173166.09	127	0.61365	7.333	1252.34	405825.16
57	1.608	3.125	3281.63	172944.72	129	0.60482	7.178	1234.32	397247.11
59	1.594	3.171	3253.06	175490.47	131	0.58599	7.293	1195.90	403611.47
61	1.578	3.218	3220.40	178091.56	133	0.57171	7.424	1166.75	410861.31
63	1.551	3.280	3165.30	181522.78	135	0.56971	7.435	1162.67	411470.08
65	1.522	3.346	3106.12	185175.37	137	0.5604	7.488	1143.67	414403.22
67	1.450	3.539	2959.18	195856.44	139	0.54696	7.560	1116.25	418387.87
69	1.360	3.779	2775.51	209138.59	141	0.5412	7.587	1104.50	419882.11
73	1.292	3.993	2636.73	220981.85	143	0.53573	7.612	1093.32	421265.67
75	1.240	4.148	2530.61	229559.90	145	0.51615	7.643	1053.36	422981.28
77	1.202	4.246	2453.06	234983.45	147	0.50705	7.635	1034.79	422538.54
79	1.136	4.467	2318.36	247214.10	149	0.49896	7.631	1018.27	422317.17
81	1.120	4.556	2285.71	252139.57	151	0.48886	7.584	997.67	419716.08
83	1.076	4.690	2195.91	259555.44	153	0.47981	7.565	979.21	418664.58
85	1.065	4.731	2173.47	261824.47	155	0.48152	7.549	982.70	417779.10
87	1.056	4.767	2155.10	263816.79	157	0.47206	7.419	963.38	410584.60
89	0.97708	5.050	1994.04	279478.67	159	0.45703	7.237	932.71	400512.30
91	0.96537	5.124	1970.15	283574.00	161	0.45458	7.192	927.71	398021.90
93	0.9223	5.310	1882.25	293867.67	163	0.45468	7.171	927.92	396859.71
95	0.89171	5.444	1819.81	301283.54	165	0.4509	7.118	920.20	393926.57
97	0.884	5.487	1804.08	303663.26	167	0.43065	6.904	878.87	382083.31
99	0.85447	5.612	1743.82	310581.05	169	0.43463	6.813	886.99	377047.16
101	0.83878	5.672	1711.79	313901.59	171	0.42427	6.558	865.85	362934.87
103	0.822	5.777	1677.55	319712.53	173	0.41624	6.758	849.47	374003.33
105	0.77504	5.998	1581.71	331943.18	175	0.41411	6.268	845.12	346885.60
107	0.7558	6.130	1542.45	339248.36	177	0.40675	5.980	830.11	330947.02
109	0.74082	6.254	1511.88	346110.81	179	0.4038	5.743	824.08	317830.89

111	0.71754	6.380	1464.37	353083.94	181	0.40224	5.690	820.90	314897.75
113	0.70515	6.441	1439.07	356459.82	183	0.39319	5.323	802.43	294587.12
115	0.68772	6.586	1403.50	364484.46	185	0.39338	5.266	802.81	291432.61

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาขึ้นที่  $1400^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
31	1.17	12.389	2451.49	667809.71	137	0.7294	21.429	1528.30	1155096.80
33	1.178	11.769	2468.25	634389.58	139	0.7009	21.779	1468.59	1173963.01
35	1.194	11.667	2501.78	628891.43	141	0.6793	22.8	1423.33	1228998.42
37	1.207	10.755	2529.01	579731.49	143	0.6611	23.257	1385.20	1253632.29
39	1.225	10.231	2566.73	551486.09	145	0.6484	23.851	1358.59	1285650.93
41	1.245	9.964	2608.64	537093.87	147	0.6337	24.139	1327.78	1301175.13
43	1.268	9.87	2656.83	532026.95	149	0.6216	24.792	1302.43	1336374.07
45	1.284	9.758	2690.35	525989.76	151	0.6088	25.147	1275.61	1355509.79
47	1.297	9.287	2717.59	500601.24	153	0.5915	25.432	1239.36	1370872.27
49	1.324	9.034	2774.16	486963.67	155	0.5979	25.869	1252.77	1394428.08
51	1.348	8.584	2824.45	462707.12	159	0.5581	26.175	1169.38	1410922.53
55	1.394	8.915	2920.83	480549.16	163	0.5398	26.661	1131.04	1437119.60
57	1.427	8.77	2989.98	472733.16	169	0.5033	26.225	1054.56	1413617.70
59	1.462	8.624	3063.31	464863.26	175	0.4773	25.168	1000.08	1356641.76
61	1.5	8.418	3142.93	453759.15	179	0.4594	24.963	962.58	1345591.56
63	1.553	7.983	3253.98	430311.16	181	0.4521	22.369	947.28	1205766.04
65	1.611	7.803	3375.51	420608.54	183	0.4452	22.1	932.82	1191266.01
67	1.661	6.671	3480.28	359589.84	185	0.4375	21.996	916.69	1185660.05
69	1.713	6.598	3589.23	355654.89	187	0.4316	20.535	904.33	1106907.13
71	1.761	6.478	3689.80	349186.48	189	0.4267	20.176	894.06	1087555.79
73	1.806	6.431	3784.09	346653.02	191	0.4199	19.765	879.81	1065401.48
75	1.831	6.397	3836.47	344820.30	193	0.4134	18.834	866.19	1015217.38
77	1.856	6.563	3888.86	353768.27	195	0.4061	17.296	850.90	932313.89
79	1.857	6.618	3890.95	356732.96	197	0.4019	17.178	842.10	925953.28
81	1.851	6.645	3878.38	358188.36	199	0.3952	16.712	828.06	900834.28
83	1.833	6.834	3840.67	368376.11	201	0.3908	15.311	818.84	825315.56
85	1.804	7.02	3779.90	378402.15	203	0.3851	14.978	806.90	807365.72
87	1.769	7.133	3706.57	384493.23	205	0.3805	14.39	797.26	775670.49
89	1.719	7.534	3601.80	406108.51	207	0.375	12.91	785.73	695893.40
91	1.659	7.844	3476.09	422818.58	209	0.3704	12.451	776.10	671151.72
93	1.603	8.162	3358.75	439959.87	211	0.3678	11.386	770.65	613744.56
95	1.542	8.408	3230.94	453220.12	213	0.3622	10.926	758.91	588948.98
97	1.476	8.951	3092.65	482489.69	215	0.3572	9.972	748.44	537525.10
99	1.441	10.013	3019.31	539735.14	217	0.3548	9.441	743.41	508902.37
101	1.376	10.301	2883.12	555259.33	219	0.3507	8.642	734.82	465833.52
103	1.334	10.602	2795.12	571484.27	221	0.3461	8.211	725.18	442601.14
105	1.275	11.029	2671.49	594501.03	223	0.3424	7.509	717.43	404760.93
107	1.208	12.134	2531.11	654064.33	225	0.3399	7.012	712.19	377970.92
109	1.168	12.105	2447.30	652501.13	227	0.3351	6.429	702.13	346545.21

111	1.113	13.394	2332.06	721982.67	231	0.3295	5.591	690.40	301374.13
113	1.087	13.717	2277.58	739393.48	233	0.3261	5.131	683.27	276578.55
115	1.039	14.418	2177.01	777179.79	235	0.3235	4.79	677.83	258197.48
117	1.001	14.792	2097.38	797339.68	237	0.321	4.424	672.59	238468.82
119	0.9625	14.98	2016.72	807473.52	239	0.3185	4.121	667.35	222136.07
121	0.9334	15.412	1955.74	830759.81	241	0.3167	3.855	663.58	207797.76
123	0.8951	15.908	1875.49	857495.92	243	0.3145	3.581	658.97	193028.22
125	0.8704	16.377	1823.74	882776.63	245	0.3127	3.327	655.20	179336.74
127	0.8422	18.159	1764.65	978832.56	247	0.3113	3.121	652.26	168232.63
129	0.814	18.685	1705.57	1007185.77	249	0.3109	2.918	651.43	157290.24
131	0.7825	18.834	1639.56	1015217.38	251	0.3099	2.733	649.33	147318.10
133	0.7578	18.987	1587.81	1023464.61	253	0.3078	2.534	644.93	136591.32
135	0.7397	19.203	1549.89	1035107.75	255	0.3071	2.327	643.46	125433.30
137	0.7294	21.429	1528.30	1155096.80	257	0.3065	2.144	642.21	115568.97

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 1 ซึ่งเผาผนึกที่ 1450°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
37	1.719	12.641	2473.53	992204.39	120	1.271	5.667	1828.88	444808.35
38	2.049	8.900	2948.38	698569.66	122	1.236	5.217	1778.52	409487.41
40	2.453	7.063	3529.70	554381.74	124	1.200	4.776	1726.72	374872.89
44	4.363	3.427	6278.07	268988.57	126	1.175	4.472	1690.75	351011.63
46	6.955	2.055	10007.78	161298.95	128	1.143	4.124	1644.70	323696.77
48	8.397	1.951	12082.73	153135.89	130	1.112	3.775	1600.09	296303.42
50	8.758	2.197	12602.18	172444.67	132	1.090	3.526	1568.44	276759.17
54	7.859	3.382	11308.58	265456.47	134	1.060	3.220	1525.27	252740.93
58	6.342	3.739	9125.72	293477.75	136	1.035	2.978	1489.30	233746.12
60	5.901	4.232	8491.15	332173.80	138	1.008	2.721	1450.45	213573.94
62	5.382	6.222	7744.34	488370.84	140	0.991	2.532	1425.72	198739.14
64	5.033	6.787	7242.15	532718.24	142	0.970	2.370	1396.37	186023.61
66	4.641	7.387	6678.09	579812.82	144	0.950	2.190	1366.87	171895.23
68	4.211	12.137	6059.35	952644.94	146	0.926	2.006	1331.74	157452.89
70	3.942	12.787	5672.28	1003664.08	148	0.910	1.873	1308.94	147013.59
78	3.003	13.904	4321.12	1091338.49	150	0.889	1.722	1279.38	135161.46
80	2.837	14.012	4082.25	1099815.52	152	0.874	1.601	1257.51	125664.05
82	2.702	14.024	3888.00	1100757.41	154	0.857	1.485	1232.87	116559.10
84	2.550	14.042	3669.28	1102170.25	156	0.837	1.360	1204.57	106747.72
86	2.430	13.863	3496.61	1088120.36	158	0.823	1.268	1183.86	99526.55
88	2.301	13.626	3310.99	1069518.00	160	0.808	1.181	1162.74	92697.84
90	2.178	13.056	3134.00	1024778.15	162	0.794	1.095	1142.55	85947.62
92	2.104	12.772	3027.52	1002486.71	164	0.780	1.014	1122.54	79589.85
94	2.012	12.180	2895.13	956020.05	166	0.769	0.954	1106.27	74907.31
96	1.934	11.707	2782.90	918893.82	168	0.754	0.881	1085.13	69124.57
98	1.850	11.225	2662.03	881061.17	170	0.743	0.822	1068.41	64555.14
100	1.776	10.624	2555.55	833888.10	172	0.730	0.754	1050.33	59195.69
102	1.710	10.033	2460.58	787499.93	174	0.718	0.703	1032.64	55196.19
104	1.648	9.451	2371.36	741818.19	176	0.709	0.662	1020.13	51954.75

106	1.592	8.901	2290.78	698648.15	178	0.697	0.608	1002.51	47700.06
108	1.532	8.252	2204.45	647707.51	180	0.687	0.570	987.85	44760.18
110	1.481	7.731	2131.06	606813.71	182	0.676	0.527	972.86	41398.18
112	1.435	7.519	2064.87	590173.63	184	0.669	0.497	962.49	39019.59
114	1.390	7.216	2000.12	566390.86	186	0.659	0.464	947.92	36436.37
116	1.350	6.682	1942.56	524476.68	188	0.650	0.433	935.39	33949.70
118	1.311	6.154	1886.44	483033.45	190	0.641	0.401	921.75	31442.54

#### 4) Cp, R, K' และ $\rho$ ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 2

a) Cp, R, K' และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์

Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	K'	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	K'	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
33	1.112	0.190	809.72	29410.16	103	1.303	0.172	948.80	26650.35
35	1.105	0.190	804.62	29428.62	105	1.238	0.197	901.47	30494.04
41	1.111	0.184	808.99	28565.61	107	1.182	0.218	860.69	33759.49
43	1.120	0.180	815.55	27844.36	109	1.131	0.238	823.56	36919.01
45	1.126	0.177	819.92	27378.89	111	1.045	0.228	760.93	35342.82
47	1.130	0.170	822.83	26403.89	117	0.848	0.476	617.13	73768.53
49	1.147	0.167	835.21	25884.28	119	0.786	0.567	572.63	87991.77
51	1.152	0.165	838.85	25639.84	121	0.732	0.663	533.02	102835.44
53	1.164	0.160	847.59	24835.61	123	0.684	0.793	498.07	122999.25
55	1.171	0.158	852.68	24434.51	125	0.644	0.987	468.94	153089.86
57	1.185	0.153	862.88	23689.38	127	0.593	1.270	431.80	196984.92
59	1.202	0.147	875.26	22813.34	129	0.555	1.570	404.13	243516.80
61	1.209	0.145	880.35	22419.21	131	0.540	1.840	393.21	285395.48
63	1.226	0.140	892.73	21727.59	133	0.500	2.500	364.08	387765.60
65	1.235	0.137	899.29	21285.23	135	0.480	3.200	349.52	496339.97
67	1.247	0.134	908.02	20814.79	137	0.450	4.400	327.68	682467.45
69	1.266	0.130	921.86	20202.28	139	0.440	5.300	320.39	822063.07
71	1.277	0.128	929.87	19881.21	141	0.430	6.500	313.11	1008190.56
73	1.295	0.126	942.98	19541.21	143	0.410	8.500	298.55	1318403.04
75	1.307	0.123	951.71	19115.29	145	0.400	10.100	291.27	1566573.02
77	1.314	0.122	956.81	18974.77	147	0.390	12.500	283.99	1938827.99
79	1.338	0.120	974.29	18617.25	149	0.390	14.600	283.99	2264551.10
81	1.347	0.119	980.84	18520.15	151	0.370	15.900	269.42	2466189.21
83	1.367	0.119	995.40	18386.29	153	0.370	16.400	269.42	2543742.33
85	1.387	0.118	1009.97	18344.26	155	0.360	16.700	262.14	2590274.20
87	1.399	0.119	1018.71	18419.95	157	0.350	16.700	254.86	2590274.20
89	1.409	0.119	1025.99	18460.90	159	0.350	16.400	254.86	2543742.33
91	1.413	0.122	1028.90	18936.92	163	0.330	15.300	240.30	2373125.46
93	1.411	0.126	1027.44	19575.80	165	0.330	14.700	240.30	2280061.72
95	1.403	0.133	1021.62	20572.36	167	0.330	14.000	240.30	2171487.35
97	1.388	0.139	1010.70	21566.28	169	0.320	13.300	233.01	2062912.99
99	1.363	0.151	992.49	23359.31	169	0.304	9.480	221.14	1470407.15
101	1.332	0.161	969.92	25038.18					

b) Cp, R, K' และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์

Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	K'	$\rho$ ( $\Omega$ .meter)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	K'	$\rho$ ( $\Omega$ .meter)
30	0.417	1.435	451.59	149650.90	166	0.226	8.519	244.45	888415.31
32	0.417	1.431	451.70	149233.75	168	0.221	9.473	239.02	987904.48
34	0.418	1.422	452.90	148295.17	170	0.215	10.582	232.55	1103558.03

36	0.421	1.384	455.44	144332.29	172	0.212	11.257	229.46	1173951.31
38	0.422	1.373	456.92	143185.14	174	0.207	11.720	224.55	1222235.88
40	0.424	1.324	459.31	138075.11	176	0.204	11.997	221.15	1251123.20
42	0.429	1.272	464.90	132652.22	178	0.197	11.521	213.54	1201482.90
44	0.432	1.247	467.84	130045.06	180	0.196	11.356	212.05	1184275.66
46	0.434	1.222	469.92	127437.91	182	0.193	10.751	209.20	1121182.42
48	0.438	1.189	474.16	123996.46	184	0.192	10.251	207.85	1069039.25
50	0.442	1.142	478.40	119095.00	186	0.190	9.741	206.08	1015853.22
52	0.447	1.102	483.90	114923.54	188	0.188	8.875	203.27	925541.25
54	0.463	0.9753	500.89	101714.74	190	0.186	8.291	201.73	864638.03
56	0.465	0.9623	503.76	100353.80	192	0.186	7.956	201.00	829702.11
58	0.469	0.9463	508.07	98688.77	194	0.184	7.209	199.25	751800.21
60	0.472	0.9369	510.69	97709.42	196	0.183	6.613	197.99	689645.55
62	0.474	0.9158	513.00	95506.47	198	0.182	5.972	196.73	622798.01
64	0.477	0.8973	516.73	93577.38	200	0.181	5.532	195.84	576912.02
66	0.482	0.8801	522.01	91786.37	202	0.180	5.077	195.35	529461.74
68	0.488	0.8552	528.29	89182.76	204	0.180	4.571	194.84	476692.85
70	0.492	0.8369	532.97	87279.01	206	0.180	4.101	194.81	427678.27
72	0.500	0.8024	541.75	83679.67	208	0.180	3.776	195.17	393785.21
74	0.506	0.791	547.66	82491.54	210	0.181	3.571	195.72	372406.51
76	0.511	0.7732	553.45	80635.55	212	0.182	3.175	196.64	331109.12
78	0.522	0.7467	565.25	77868.21	214	0.183	3.047	197.95	317760.47
80	0.526	0.7332	569.86	76460.24	216	0.183	2.873	198.42	299614.65
82	0.534	0.7184	578.46	74914.30	218	0.186	2.674	201.15	278861.67
84	0.545	0.6983	589.99	72820.44	220	0.189	2.443	204.46	254771.52
86	0.556	0.6823	601.79	71158.84	222	0.193	2.243	208.74	233914.26
88	0.563	0.6702	609.58	69891.14	224	0.198	2.067	213.95	215559.86
90	0.571	0.6599	618.15	68821.16	226	0.201	1.975	217.57	205965.52
92	0.576	0.6502	623.85	67802.39	228	0.203	1.927	219.99	200959.77
94	0.585	0.6386	633.98	66597.05	230	0.206	1.845	222.70	192408.29
96	0.584	0.6416	632.81	66913.45	232	0.210	1.762	227.87	183752.53
98	0.585	0.6402	633.78	66763.80	234	0.217	1.682	234.53	175409.62
100	0.584	0.6407	632.49	66817.30	236	0.223	1.593	241.53	166128.14
102	0.577	0.6496	624.87	67744.82	238	0.228	1.553	246.64	161956.68
104	0.567	0.6568	613.82	68494.33	240	0.234	1.499	253.07	156325.22
106	0.559	0.6643	605.51	69280.02	242	0.238	1.459	257.25	152153.77
108	0.548	0.6758	593.77	70474.00	244	0.249	1.397	269.84	145688.01
110	0.535	0.69	579.52	71962.68	246	0.254	1.354	274.79	141203.70
112	0.523	0.7051	566.12	73536.36	248	0.260	1.324	281.21	138075.11
114	0.508	0.7232	550.08	75417.38	250	0.268	1.287	290.21	134216.52
116	0.496	0.7412	537.49	77296.41	252	0.273	1.257	295.35	131087.93
118	0.483	0.7524	523.53	78469.32	254	0.277	1.239	299.75	129210.77
120	0.467	0.7842	505.96	81776.65	256	0.282	1.209	305.49	126082.18
122	0.457	0.8015	495.37	83586.86	258	0.290	1.173	314.26	122327.87
124	0.442	0.834	479.20	86971.89	260	0.296	1.146	321.10	119512.14
126	0.430	0.8678	466.20	90497.49	262	0.308	1.091	333.28	113776.39

128	0.418	0.9042	452.54	94290.60	264	0.316	1.047	342.40	109187.80
130	0.403	0.9548	436.74	99575.41	266	0.318	1.031	344.79	107519.21
132	0.383	1.065	414.49	111064.95	268	0.324	1.006	351.35	104912.06
134	0.373	1.118	403.68	116592.13	270	0.330	0.9715	357.34	101316.58
136	0.367	1.172	397.18	122223.59	272	0.339	0.9221	367.03	96167.23
138	0.356	1.249	385.28	130253.64	274	0.344	0.8931	372.16	93133.33
140	0.343	1.387	371.16	144645.15	276	0.349	0.847	378.16	88331.99
142	0.331	1.520	357.95	158515.23	278	0.358	0.802	387.92	83638.79
144	0.320	1.697	346.54	176973.92	280	0.360	0.7721	390.06	80517.81
146	0.309	1.913	334.28	199499.76	282	0.368	0.7401	398.45	77182.53
148	0.297	2.259	321.26	235582.84	284	0.370	0.7151	400.73	74577.45
150	0.286	2.579	309.78	268954.47	286	0.374	0.6879	405.49	71743.06
152	0.273	3.245	296.14	338409.17	288	0.379	0.663	410.19	69146.22
154	0.265	3.575	287.46	372823.66	290	0.381	0.6372	413.16	66450.94
156	0.259	3.946	280.81	411513.89	292	0.396	0.5798	428.69	60464.91
158	0.253	4.456	274.43	464699.92	294	0.393	0.5562	426.11	58004.06
160	0.243	5.584	262.66	582334.91	296	0.400	0.5241	432.74	54655.74
162	0.238	6.289	257.52	655856.78	299	0.427	0.3652	462.91	38084.74
164	0.230	7.379	249.12	769528.89					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 11 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 7000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
37	0.52492	1.029	483.41	126198.77	165	0.20822	3.975	191.75	487502.52
39	0.52381	1.042	482.39	127793.11	167	0.20919	3.069	192.64	376388.74
41	0.52889	1.019	487.07	124972.34	169	0.21053	2.764	193.88	338982.88
43	0.53596	0.98362	493.57	120632.77	171	0.21129	2.697	194.58	330765.86
45	0.54171	0.95864	498.87	117569.30	173	0.21499	2.342	197.99	287227.90
47	0.54943	0.92876	505.98	113905.61	175	0.21547	2.281	198.43	279746.73
49	0.55423	0.90972	510.40	111569.76	179	0.21668	2.233	199.54	273859.91
51	0.5611	0.88212	516.73	108184.84	181	0.21778	2.161	200.56	265029.67
53	0.56942	0.85944	524.39	105403.20	183	0.21854	2.113	201.25	259142.85
55	0.57877	0.8322	533.00	102062.18	185	0.21954	2.078	202.18	254850.37
57	0.58598	0.81369	539.64	99793.05	187	0.22114	2.019	203.65	247614.49
59	0.59033	0.80163	543.64	98313.74	189	0.22313	1.937	205.48	237557.83
61	0.59922	0.78326	551.83	96060.81	191	0.22544	1.87	207.61	229340.81
63	0.60724	0.76277	559.22	93547.99	193	0.2275	1.813	209.51	222350.21
65	0.61771	0.74825	568.86	91766.98	195	0.23391	1.683	215.41	206406.73
67	0.62611	0.73384	576.60	89999.96	197	0.23585	1.645	217.20	201746.33
69	0.63763	0.72014	587.20	88318.90	199	0.25317	1.421	233.15	174274.49
71	0.64972	0.70627	598.34	86618.71	201	0.25597	1.399	235.73	171576.36
73	0.66398	0.69215	611.47	84886.64	203	0.25798	1.377	237.58	168878.23
75	0.67153	0.68712	618.42	84269.50	205	0.26097	1.358	240.33	166548.03
77	0.68142	0.67906	627.53	83281.13	207	0.2671	1.304	245.97	159925.35
79	0.69237	0.67445	637.62	82716.24	209	0.27359	1.265	251.96	155142.31
81	0.69435	0.67827	639.44	83184.49	211	0.2783	1.239	256.29	151953.62
83	0.68641	0.68851	632.13	84440.83	213	0.28108	1.223	258.86	149991.34

85	0.67719	0.70083	623.64	85951.42	215	0.28424	1.216	261.76	149132.85
87	0.64875	0.73825	597.45	90541.05	217	0.28673	1.201	264.06	147293.21
89	0.62512	0.77258	575.68	94750.25	219	0.2882	1.19	265.40	145944.15
91	0.59724	0.8125	550.01	99646.86	221	0.29131	1.181	268.27	144840.37
93	0.5678	0.86976	522.90	106668.98	223	0.29388	1.171	270.64	143613.95
95	0.55075	0.90716	507.19	111255.68	225	0.29588	1.162	272.48	142510.17
97	0.52911	0.95661	487.27	117320.82	227	0.29721	1.15	273.70	141038.46
99	0.49309	1.066	454.10	130736.52	229	0.30041	1.143	276.66	140179.97
101	0.46542	1.156	428.62	141774.32	231	0.30465	1.124	280.56	137849.77
103	0.44367	1.281	408.58	157104.59	233	0.30649	1.117	282.25	136991.27
105	0.42116	1.398	387.86	171453.72	235	0.30816	1.111	283.79	136255.42
107	0.4122	1.47	379.60	180283.95	237	0.31477	1.088	289.88	133434.65
109	0.38873	1.708	357.99	209472.78	239	0.31697	1.081	291.91	132576.16
111	0.38014	1.813	350.08	222350.21	241	0.31991	1.072	294.61	131472.38
113	0.36159	2.078	333.00	254850.37	243	0.32169	1.066	296.25	130736.52
115	0.34497	2.454	317.69	300963.82	245	0.32341	1.057	297.84	129632.75
117	0.3302	2.871	304.08	352105.59	247	0.3264	1.047	300.59	128406.32
119	0.31671	3.389	291.67	415634.22	249	0.32825	1.04	302.29	127547.83
121	0.28303	5.715	260.65	700899.85	251	0.3374	1.014	310.72	124359.13
123	0.2746	6.724	252.88	824645.77	253	0.34267	0.99619	315.57	122174.39
125	0.2701	7.383	248.74	905466.94	255	0.35215	0.96521	324.30	118375.18
127	0.26216	8.522	241.42	1045156.34	257	0.36293	0.93023	334.23	114085.03
129	0.25917	8.882	238.68	1089307.51	259	0.36902	0.90239	339.84	110671.04
131	0.25528	9.591	235.09	1176260.79	261	0.37736	0.87755	347.52	107624.74
133	0.24833	10.757	228.69	1319261.53	263	0.38675	0.8349	356.16	102394.29
135	0.23945	11.351	220.51	1392110.96	265	0.39349	0.81123	362.38	99490.86
137	0.23656	11.591	217.85	1421545.08	267	0.40054	0.7841	368.86	96164.07
139	0.22931	10.941	211.18	1341827.69	269	0.40531	0.7574	373.25	92889.40
141	0.2281	10.761	210.06	1319752.10	271	0.41239	0.72846	379.78	89339.40
143	0.22482	10.064	207.04	1234270.53	273	0.43599	0.62052	401.51	76101.66
145	0.22187	9.232	204.32	1132232.26	275	0.44194	0.59323	406.99	72754.75
147	0.21914	8.521	201.81	1045033.70	277	0.44792	0.56108	412.50	68812.18
149	0.21717	7.86	200.00	963967.24	281	0.45812	0.50574	421.89	62025.28
151	0.21673	7.424	199.59	910495.27	283	0.46379	0.48182	427.11	59090.82
153	0.21449	6.894	197.53	845494.93	285	0.47105	0.44414	433.80	54470.28
155	0.21315	6.479	196.30	794598.44	287	0.47584	0.4324	438.20	53030.71
157	0.21094	5.147	194.26	631239.11	289	0.48254	0.3934	444.38	48246.81
159	0.2093	4.921	192.75	603521.99	291	0.48938	0.36427	450.68	44675.22
161	0.20864	4.452	192.14	546002.82	293	0.49138	0.3536	452.52	43365.89
163	0.20833	4.195	191.86	514483.79					

5) Cp, R,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2a) Cp, R,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งวัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์

Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
37	1.463	0.525181	1463.01	59315.38	159	0.751	1.093	751.16	123446.42
39	1.466	0.53118	1466.01	59992.93	161	0.739	1.123	739.46	126834.70
41	1.472	0.53279	1472.01	60174.76	163	0.716	1.184	715.56	133724.21
43	1.488	0.507236	1488.01	57288.62	165	0.704	1.213	704.45	136999.55
45	1.511	0.485403	1511.01	54822.75	167	0.679	1.275	678.91	144002.00
47	1.530	0.467146	1530.01	52760.75	169	0.665	1.315	665.47	148519.71
49	1.539	0.459875	1539.01	51939.54	171	0.648	1.363	648.30	153940.96
51	1.558	0.442778	1558.01	50008.56	173	0.641	1.378	641.07	155635.10
53	1.575	0.428576	1575.01	48404.55	175	0.631	1.394	631.32	157442.18
55	1.581	0.42263	1581.01	47732.99	179	0.613	1.372	612.80	154957.44
57	1.595	0.411795	1595.01	46509.26	181	0.605	1.327	605.13	149875.02
59	1.611	0.399526	1611.01	45123.56	183	0.603	1.311	602.88	148067.93
61	1.626	0.387471	1626.01	43762.04	185	0.598	1.263	597.99	142646.68
63	1.639	0.379167	1639.01	42824.16	187	0.593	1.208	593.27	136434.83
65	1.649	0.371182	1649.01	41922.31	189	0.592	1.178	592.31	133046.55
67	1.661	0.363764	1661.01	41084.50	191	0.590	1.134	590.26	128077.07
69	1.668	0.357475	1668.01	40374.21	193	0.590	1.091	589.60	123220.53
71	1.672	0.353176	1672.01	39888.67	195	0.589	1.049	589.29	118476.94
73	1.680	0.345411	1680.01	39011.67	197	0.590	1.002	589.91	113168.63
75	1.682	0.341353	1682.01	38553.34	199	0.589	0.972667	589.07	109855.68
77	1.682	0.337011	1682.01	38062.95	201	0.592	0.926911	591.76	104687.87
79	1.678	0.332276	1678.01	37528.16	203	0.593	0.878149	593.03	99180.56
81	1.672	0.33099	1672.01	37382.92	205	0.597	0.840717	596.57	94952.88
83	1.666	0.328675	1666.01	37121.46	207	0.599	0.79566	599.19	89864.02
85	1.651	0.32642	1651.01	36866.77	209	0.603	0.762038	603.21	86066.66
87	1.641	0.32615	1641.01	36836.28	211	0.609	0.725512	609.28	81941.31
89	1.627	0.325776	1627.01	36794.03	213	0.615	0.691734	614.70	78126.33
91	1.606	0.326097	1606.01	36830.29	215	0.622	0.654148	622.00	73881.27
93	1.588	0.327184	1588.01	36953.06	217	0.628	0.622277	628.03	70281.67
95	1.554	0.330398	1554.01	37316.06	219	0.640	0.585766	640.23	66158.02
97	1.532	0.33217	1532.01	37516.19	221	0.647	0.560275	647.30	63278.99
99	1.521	0.334607	1521.01	37791.43	223	0.659	0.535703	659.37	60503.77
101	1.490	0.339558	1490.01	38350.61	225	0.670	0.510149	670.13	57617.63
103	1.472	0.342634	1472.01	38698.02	227	0.684	0.484731	684.20	54746.85
105	1.460	0.344972	1460.01	38962.08	229	0.699	0.46414	699.15	52421.24
107	1.449	0.346196	1449.01	39100.33	231	0.718	0.438825	717.82	49562.10
109	1.396	0.359775	1396.01	40633.97	233	0.729	0.426725	728.91	48195.49
111	1.379	0.364495	1379.01	41167.06	235	0.745	0.408503	745.20	46137.45
113	1.356	0.371921	1356.01	42005.78	237	0.763	0.393275	762.94	44417.56
115	1.335	0.37892	1335.01	42796.26	239	0.780	0.378417	780.22	42739.45
117	1.310	0.388821	1310.01	43914.51	241	0.831	0.361132	830.78	40787.24
119	1.269	0.406227	1269.01	45880.39	243	0.833	0.342499	833.24	38682.78



121	1.243	0.420453	1243.01	47487.11	245	0.848	0.33467	847.77	37798.55
123	1.212	0.43599	1212.01	49241.91	247	0.873	0.320117	873.45	36154.89
125	1.176	0.458274	1176.01	51758.72	249	0.901	0.30742	900.96	34720.86
127	1.154	0.47263	1154.01	53380.13	251	0.933	0.292133	933.06	32994.30
129	1.143	0.48018	1143.01	54232.85	253	0.949	0.287917	948.68	32518.14
131	1.107	0.511886	1107.01	57813.81	255	0.978	0.27547	977.97	31112.34
133	1.076	0.535862	1076.01	60521.72	257	1.001	0.265123	1001.00	29943.72
135	1.044	0.566041	1044.01	63930.22	259	1.026	0.285685	1026.01	32266.05
137	1.023	0.584222	1023.01	65983.63	261	1.058	0.246432	1058.01	27832.71
139	1.011	0.603476	1011.01	68158.23	263	1.087	0.23519	1087.01	26563.00
141	0.972	0.65999	972.12	74541.08	265	1.109	0.228005	1109.01	25751.51
143	0.955	0.679145	954.73	76704.50	267	1.139	0.218409	1139.01	24667.71
145	0.921	0.73222	920.88	82698.93	269	1.155	0.213153	1155.01	24074.08
147	0.896	0.772986	896.26	87303.16	271	1.184	0.202072	1184.01	22822.57
149	0.872	0.812464	872.05	91761.91	273	1.211	0.193614	1211.01	21867.30
151	0.842	0.879965	841.82	99385.66	275	1.245	0.182175	1245.01	20575.34
153	0.811	0.940258	811.22	106195.32	277	1.276	0.172909	1276.01	19528.82
155	0.792	0.992198	792.27	112061.56	279	1.341	0.159222	1341.01	17982.97
157	0.772	1.046	771.79	118138.11	280	1.417	0.136248	1417.01	15388.22

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
31.4	2.641	0.2416	2645.46	27244.53	146	1.496	0.549	1498.52	61900.32
34	2.644	0.2409	2648.46	27163.35	150	1.361	0.7565	1363.30	85301.10
36	2.656	0.2378	2660.48	26814.94	154	1.193	1.616	1195.01	182209.00
42	2.788	0.2147	2792.70	24211.47	158	1.118	2.602	1119.89	293383.55
44	2.823	0.2094	2827.76	23607.12	160	1.084	3.118	1085.83	351564.15
48	2.882	0.2011	2886.86	22673.52	162	1.06	3.558	1061.79	401175.51
50	2.913	0.1965	2917.91	22153.73	164	1.045	3.704	1046.76	417637.46
52	2.95	0.1917	2954.98	21615.90	166	1.02	3.802	1021.72	428687.26
54	2.984	0.1879	2989.03	21188.56	168	1.002	3.673	1003.69	414142.11
56	3.022	0.183	3027.10	20637.20	170	0.9834	3.538	985.08	398920.44
58	3.045	0.1808	3050.14	20382.38	172	0.9692	3.389	970.86	382120.23
60	3.082	0.1767	3087.20	19917.83	174	0.936	3.184	937.57	359005.85
62	3.113	0.1736	3118.25	19571.68	176	0.9388	3.022	940.40	340739.85
64	3.148	0.1703	3153.31	19198.47	178	0.9264	2.79	927.99	314581.13
66	3.187	0.1668	3192.38	18801.58	180	0.9134	2.625	914.98	295976.87
68	3.221	0.1641	3226.43	18499.40	182	0.9017	2.411	903.19	271847.71
70	3.264	0.161	3269.51	18148.74	184	0.8892	2.222	890.67	250537.37
72	3.308	0.1576	3313.58	17773.27	188	0.8699	1.877	871.36	211637.56
74	3.345	0.1552	3350.64	17493.64	190	0.8586	1.731	860.06	195175.60
76	3.382	0.1528	3387.71	17223.04	192	0.8502	1.591	851.60	179390.17
78	3.412	0.1508	3417.76	17005.42	194	0.8431	1.478	844.47	166649.07
80	3.437	0.1493	3442.80	16831.78	196	0.8354	1.356	836.85	152893.19
82	3.455	0.1484	3460.83	16731.43	198	0.8302	1.261	831.57	142181.65

84	3.463	0.1481	3468.84	16696.48	200	0.8223	1.135	823.69	127974.76
86	3.462	0.1476	3467.84	16642.36	202	0.8186	1.063	820.01	119856.54
88	3.449	0.1477	3454.82	16650.25	204	0.8149	0.9936	816.26	112025.84
90	3.426	0.1482	3431.78	16708.88	206	0.8107	0.8893	812.11	100265.69
92	3.394	0.1488	3399.73	16772.02	208	0.8087	0.8286	810.05	93422.70
94	3.35	0.1499	3355.65	16898.31	210	0.808	0.7695	809.39	86757.87
96	3.307	0.1513	3312.58	17056.16	212	0.8073	0.7257	808.63	81819.28
98	3.254	0.1531	3259.49	17256.86	214	0.8081	0.6611	809.48	74545.58
100	3.204	0.1548	3209.40	17456.43	216	0.8106	0.6197	811.94	69877.60
102	3.141	0.1573	3146.30	17730.42	218	0.8135	0.5776	814.87	65120.55
104	3.082	0.1597	3087.20	18006.67	220	0.8172	0.5504	818.60	62054.79
106	3.011	0.163	3016.08	18376.50	222	0.8228	0.5137	824.20	57921.26
108	2.963	0.1652	2968.00	18630.19	224	0.8281	0.4838	829.49	54546.56
110	2.865	0.1704	2869.83	19208.62	226	0.8393	0.4465	840.67	50340.87
112	2.792	0.1745	2796.71	19674.29	228	0.8497	0.4191	851.16	47253.69
114	2.727	0.179	2731.60	20180.55	230	0.8596	0.3972	861.03	44787.78
116	2.652	0.1844	2656.47	20793.93	232	0.8744	0.3724	875.91	41992.63
118	2.579	0.1902	2583.35	21440.00	236	0.9035	0.3362	905.04	37904.21
120	2.512	0.1957	2516.24	22064.65	238	0.9218	0.3191	923.32	35982.89
122	2.441	0.2027	2445.12	22858.43	240	0.9386	0.3047	940.17	34357.00
124	2.401	0.2069	2405.05	23322.98	242	0.963	0.2881	964.63	32478.53
126	2.291	0.2202	2294.86	24827.10	244	0.9879	0.2738	989.61	30866.16
128	2.216	0.2309	2219.74	26032.43	246	1.017	0.2607	1018.72	29396.99
130	2.149	0.2426	2152.63	27357.28	248	1.04	0.2512	1041.75	28324.70
132	2.07	0.2582	2073.49	29109.47	250	1.063	0.2423	1064.79	27314.44
136	1.952	0.2884	1955.29	32515.74	252	1.092	0.233	1093.84	26272.60
138	1.838	0.3288	1841.10	37069.83	254	1.129	0.2227	1130.90	25111.24
140	1.736	0.3736	1738.93	42129.07	256	1.19	0.2086	1192.01	23521.42
142	1.654	0.42	1656.79	47352.92	255	1.229	0.2019	1231.07	22768.23
144	1.584	0.4664	1586.67	52590.30					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 7000 ปอนด์

Tem (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Tem (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
32.5	2.471	0.19517	2458.11	22158.77	142	1.525	0.40148	1517.04	45582.32
34	2.473	0.19649	2460.10	22308.63	144	1.476	0.42881	1468.30	48685.25
36	2.495	0.19398	2481.98	22023.66	146	1.42	0.46688	1412.59	53007.55
38	2.52	0.18921	2506.85	21482.09	148	1.377	0.50013	1369.82	56782.62
40	2.548	0.18516	2534.70	21022.27	150	1.32	0.55515	1313.11	63029.35
42	2.591	0.17947	2577.48	20376.25	152	1.272	0.62244	1265.36	70669.17
44	2.61	0.17713	2596.38	20110.58	154	1.219	0.72361	1212.64	82155.58
46	2.648	0.17241	2634.18	19574.69	156	1.144	0.93207	1138.03	105823.23
48	2.671	0.16972	2657.06	19269.28	158	1.11	1.048	1104.21	118985.43
50	2.701	0.16613	2686.91	18861.69	160	1.06	1.291	1054.47	146574.61
52	2.732	0.16283	2717.74	18487.02	162	1.032	1.458	1026.62	165535.07
54	2.762	0.15983	2747.59	18146.41	164	0.99622	1.698	991.02	192783.64

56	2.785	0.15745	2770.47	17876.20	166	0.97482	1.844	969.73	209359.86
58	2.817	0.15444	2802.30	17534.46	168	0.95215	1.997	947.18	226730.82
60	2.853	0.15127	2838.11	17174.55	170	0.93235	2.102	927.49	238652.07
62	2.879	0.14907	2863.98	16924.77	172	0.9117	2.179	906.94	247394.32
64	2.915	0.14636	2899.79	16617.09	174	0.89442	2.211	889.75	251027.46
66	2.951	0.14375	2935.60	16320.76	176	0.87965	2.198	875.06	249551.50
68	2.983	0.14161	2967.44	16077.79	178	0.86481	2.158	860.30	245010.07
70	3.021	0.13933	3005.24	15818.93	180	0.85124	2.089	846.80	237176.11
72	3.053	0.13752	3037.07	15613.43	182	0.84032	2.012	835.94	228433.86
74	3.083	0.13573	3066.91	15410.20	184	0.83101	1.927	826.67	218783.32
76	3.119	0.13428	3102.73	15245.58	186	0.81964	1.815	815.36	206067.32
78	3.151	0.13291	3134.56	15090.03	188	0.80998	1.699	805.75	192897.18
80	3.177	0.13187	3160.42	14971.95	190	0.80145	1.594	797.27	180975.93
82	3.201	0.13104	3184.30	14877.72	192	0.79463	1.5	790.48	170303.57
84	3.216	0.13053	3199.22	14819.82	194	0.78732	1.393	783.21	158155.25
86	3.218	0.13043	3201.21	14808.46	196	0.78228	1.313	778.20	149072.39
88	3.209	0.13073	3192.26	14842.52	198	0.7772	1.228	773.14	139421.86
90	3.188	0.13141	3171.37	14919.73	200	0.77264	1.139	768.61	129317.18
92	3.16	0.13239	3143.51	15030.99	202	0.76924	1.064	765.23	120802.00
94	3.12	0.13387	3103.72	15199.03	204	0.76694	1.002	762.94	113762.79
96	3.071	0.13586	3054.98	15424.96	206	0.76501	0.93324	761.02	105956.07
98	3.013	0.13836	2997.28	15708.80	208	0.76404	0.87813	760.05	99699.12
100	2.955	0.14095	2939.58	16002.86	210	0.76379	0.82315	759.80	93456.92
102	2.875	0.14509	2860.00	16472.90	212	0.7646	0.7654	760.61	86900.24
104	2.822	0.14837	2807.28	16845.29	214	0.76625	0.71649	762.25	81347.20
106	2.745	0.15341	2730.68	17417.51	216	0.76892	0.67143	764.91	76231.28
108	2.687	0.15742	2672.98	17872.79	218	0.77167	0.63197	767.64	71751.17
110	2.603	0.16424	2589.42	18647.11	220	0.77668	0.59526	772.63	67583.27
112	2.524	0.1713	2510.83	19448.67	222	0.78261	0.55716	778.53	63257.56
114	2.444	0.17967	2431.25	20398.96	224	0.79051	0.52099	786.39	59150.97
116	2.363	0.18896	2350.67	21453.71	226	0.79816	0.49218	794.00	55880.01
118	2.292	0.19701	2280.04	22367.67	228	0.80769	0.46479	803.48	52770.26
120	2.228	0.20721	2216.37	23525.74	230	0.82024	0.43227	815.96	49078.08
122	2.144	0.22037	2132.81	25019.87	232	0.83339	0.40838	829.04	46365.72
124	2.061	0.23458	2050.25	26633.21	234	0.85002	0.38178	845.58	43345.67
126	2.004	0.24575	1993.54	27901.40	236	0.8667	0.36272	862.18	41181.67
128	1.927	0.26224	1916.95	29773.61	238	0.87793	0.35018	873.35	39757.94
130	1.869	0.27736	1859.25	31490.27	240	0.90461	0.32692	899.89	37117.10
132	1.81	0.29247	1800.56	33205.79	242	0.9322	0.30535	927.34	34668.13
134	1.74	0.31249	1730.92	35478.78	244	0.95745	0.28923	952.45	32837.93
136	1.687	0.33098	1678.20	37578.05	246	0.9851	0.2754	979.96	31267.74
138	1.624	0.35548	1615.53	40359.68	248	1.015	0.26146	1009.70	29685.05
140	1.562	0.38175	1553.85	43342.26	250	1.048	0.2486	1042.53	28224.98

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 8000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
27.8	2.006	0.70432	1921.72	83036.77	142	1.266	2.71	1212.81	319499.15
30	2.008	0.69856	1923.64	82357.68	144	1.232	2.847	1180.24	335650.95
32	2.018	0.68695	1933.22	80988.91	146	1.201	3.141	1150.54	370312.48
34	2.031	0.67211	1945.67	79239.33	148	1.169	3.261	1119.89	384460.04
36	2.043	0.66387	1957.17	78267.86	150	1.141	3.543	1093.06	417706.82
38	2.06	0.64804	1973.46	76401.56	152	1.114	3.606	1067.20	425134.29
40	2.074	0.63843	1986.87	75268.58	154	1.088	3.871	1042.29	456376.83
42	2.094	0.62755	2006.03	73985.86	156	1.064	3.867	1019.30	455905.24
44	2.11	0.61872	2021.35	72944.84	158	1.042	4.051	998.22	477598.17
46	2.13	0.60627	2040.51	71477.03	160	1.02	3.98	977.15	469227.53
48	2.151	0.59175	2060.63	69765.17	162	0.99902	3.952	957.05	465926.43
50	2.169	0.58233	2077.88	68654.59	164	0.98036	4.038	939.17	476065.52
52	2.188	0.57209	2096.08	67447.33	166	0.96352	3.866	923.04	455787.34
54	2.213	0.56032	2120.03	66059.69	168	0.94514	3.858	905.43	454844.17
56	2.237	0.55152	2143.02	65022.20	170	0.9287	3.753	889.68	442465.05
58	2.26	0.54119	2165.05	63804.33	172	0.91148	3.498	873.19	412401.48
60	2.286	0.53136	2189.96	62645.41	174	0.8963	3.331	858.64	392712.79
62	2.311	0.52267	2213.91	61620.89	176	0.88271	3.243	845.63	382337.91
64	2.339	0.51279	2240.73	60456.08	178	0.86834	3.003	831.86	354042.78
66	2.368	0.50206	2268.52	59191.05	180	0.85565	2.821	819.70	332585.64
68	2.397	0.49309	2296.30	58133.52	182	0.84224	2.628	806.86	309831.65
70	2.431	0.48324	2328.87	56972.24	184	0.82997	2.491	795.10	293679.84
72	2.469	0.47623	2365.27	56145.79	186	0.81833	2.315	783.95	272930.08
74	2.504	0.46757	2398.80	55124.80	188	0.80762	2.111	773.69	248879.22
76	2.54	0.46032	2433.29	54270.05	190	0.79764	1.953	764.13	230251.60
78	2.587	0.45109	2478.31	53181.87	192	0.7887	1.812	755.57	213628.21
80	2.63	0.44413	2519.51	52361.31	194	0.77982	1.689	747.06	199126.96
82	2.669	0.43552	2556.87	51346.22	196	0.77247	1.563	740.02	184272.02
84	2.703	0.43011	2589.44	50708.41	198	0.76507	1.44	732.93	169770.76
86	2.731	0.42567	2616.27	50184.95	200	0.75891	1.342	727.03	158216.92
88	2.746	0.42444	2630.64	50039.93	202	0.75288	1.232	721.25	145248.32
90	2.742	0.42679	2626.80	50316.99	204	0.74795	1.142	716.53	134637.65
92	2.717	0.43128	2602.85	50846.34	206	0.74387	1.059	712.62	124852.25
94	2.692	0.43762	2578.90	51593.81	208	0.74036	0.97786	709.26	115286.14
96	2.644	0.44511	2532.92	52476.85	210	0.73748	0.90187	706.50	106327.19
98	2.593	0.46046	2484.06	54286.56	212	0.73565	0.8345	704.74	98384.52
100	2.53	0.48188	2423.71	56811.90	214	0.73493	0.77812	704.05	91737.52
102	2.461	0.51371	2357.61	60564.54	216	0.73547	0.72269	704.57	85202.52
104	2.387	0.55505	2286.72	65438.38	218	0.7368	0.66891	705.85	78862.06
106	2.316	0.59562	2218.70	70221.43	220	0.73876	0.62611	707.72	73816.09
108	2.25	0.63451	2155.47	74806.42	222	0.74156	0.58842	710.41	69372.58
110	2.175	0.6788	2083.62	80028.05	224	0.74717	0.54586	715.78	64354.91
112	2.101	0.72163	2012.73	85077.55	226	0.75329	0.50723	721.64	59800.57

114	2.031	0.76871	1945.67	90628.11	228	0.76033	0.47638	728.39	56163.47
116	1.959	0.83271	1876.70	98173.48	230	0.76901	0.44723	736.70	52726.79
118	1.891	0.88949	1811.56	104867.64	232	0.77815	0.42317	745.46	49890.20
120	1.821	0.95871	1744.50	113028.42	234	0.79021	0.39996	757.01	47153.83
122	1.758	1.037	1684.14	122258.53	236	0.80339	0.37526	769.64	44241.79
124	1.699	1.129	1627.62	133105.00	238	0.82285	0.34987	788.28	41248.40
126	1.64	1.233	1571.10	145366.22	240	0.83928	0.33226	804.02	39172.25
128	1.584	1.348	1517.45	158924.30	242	0.85647	0.31628	820.49	37288.26
130	1.534	1.477	1469.55	174132.93	244	0.87862	0.29959	841.71	35320.57
132	1.483	1.638	1420.70	193114.24	246	0.89995	0.28574	862.14	33687.71
134	1.423	1.891	1363.22	222942.02	248	0.92477	0.27187	885.92	32052.48
136	1.381	2.074	1322.98	244517.06	250	0.95382	0.25824	913.75	30445.56
138	1.336	2.248	1279.87	265031.03	252	0.98177	0.24713	940.52	29135.73
140	1.302	2.493	1247.30	293915.64					

e)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 12 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งวัดด้วยแรงดัน 9000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
34	1.481		1452.76		144	1.025		1005.45	
36	1.483		1454.72		146	1.005		985.83	
38	1.485		1456.68		148	0.98463		965.85	
40	1.492		1463.55		150	0.96045		942.13	
42	1.499		1470.41		152	0.9489		930.80	
44	1.507		1478.26		154	0.9356		917.76	
46	1.518		1489.05		156	0.91928		901.75	
50	1.54		1510.63		158	0.90325		886.02	
52	1.55		1520.44		160	0.89004		873.07	
54	1.561		1531.23		162	0.87807		861.32	
56	1.572		1542.02		164	0.86835		851.79	
58	1.589		1558.70		166	0.85643		840.10	
60	1.602		1571.45		168	0.8477		831.53	
62	1.618		1587.14		170	0.83762		821.65	
64	1.63		1598.91		172	0.82943		813.61	
66	1.65		1618.53		174	0.82284		807.15	
68	1.667		1635.21		176	0.81767		802.08	
70	1.687		1654.83		178	0.81137		795.90	
72	1.712		1679.35		180	0.80689		791.50	
74	1.74		1706.82		182	0.80229		786.99	
76	1.772		1738.21		184	0.79977		784.52	
78	1.8		1765.67		186	0.7969		781.70	
80	1.834		1799.02		188	0.7957		780.53	
82	1.867		1831.40		190	0.7947		779.54	
84	1.896		1859.84		192	0.79407		778.93	
86	1.919		1882.40		194	0.79535		780.18	
88	1.928		1891.23		196	0.7969		781.70	
90	1.926		1889.27		198	0.79967		784.42	
92	1.913		1876.52		200	0.8028		787.49	

94	1.891		1854.94		202	0.8066		791.22	
96	1.86		1824.53		204	0.81081		795.35	
98	1.825		1790.20		206	0.81637		800.80	
100	1.787		1752.92		208	0.82207		806.39	
102	1.739		1705.84		210	0.82822		812.43	
104	1.697		1664.64		212	0.8388		822.80	
106	1.625		1594.01		214	0.84955		833.35	
108	1.612		1581.26		216	0.8592		842.81	
110	1.567		1537.12		218	0.8698		853.21	
112	1.522		1492.97		220	0.88056		863.77	
114	1.473		1444.91		222	0.8929		875.87	
116	1.431		1403.71		224	0.90523		887.97	
118	1.409		1382.13		226	0.9187		901.18	
120	1.369		1342.89		228	0.93052		912.77	
122	1.338		1312.48		230	0.94586		927.82	
124	1.284		1259.51		232	0.96071		942.39	
126	1.266		1241.86		234	0.97256		954.01	
128	1.234		1210.47		236	0.99205		973.13	
130	1.199		1176.13		238	1.016		996.62	
132	1.172		1149.65		240	1.033		1013.30	
134	1.142		1120.22		242	1.05		1029.98	
136	1.117		1095.70		244	1.064		1043.71	
138	1.093		1072.16		246	1.08		1059.40	
140	1.07		1049.59		248	1.102		1080.98	
142	1.046		1026.05		250	1.114		1092.76	

6)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 2

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 5000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
26.4	1.746	0.40052	1844.51	42820.21	150	0.70789	1.636	747.83	174907.28
28	1.748	0.39783	1846.62	42532.62	152	0.695	1.654	734.21	176831.68
30	1.749	0.39648	1847.68	42388.29	154	0.68319	1.607	721.73	171806.84
32	1.752	0.39133	1850.84	41837.69	156	0.67297	1.572	710.94	168064.94
34	1.753	0.38716	1851.90	41391.87	158	0.66412	1.495	701.59	159832.75
36	1.757	0.38265	1856.13	40909.70	160	0.65662	1.415	693.67	151279.83
38	1.76	0.37691	1859.30	40296.03	162	0.64983	1.345	686.49	143796.02
40	1.765	0.37184	1864.58	39753.99	164	0.64446	1.275	680.82	136312.21
42	1.77	0.36657	1869.86	39190.56	166	0.63824	1.189	674.25	127117.82
44	1.775	0.36127	1875.14	38623.93	168	0.63513	1.123	670.96	120061.66
46	1.782	0.35491	1882.54	37943.97	170	0.63126	1.042	666.87	111401.82
48	1.787	0.35034	1887.82	37455.39	172	0.62807	0.96407	663.50	103070.21
50	1.795	0.34244	1896.27	36610.79	174	0.62674	0.89101	662.10	95259.25
52	1.8	0.33758	1901.55	36091.20	176	0.62571	0.83927	661.01	89727.65
54	1.807	0.33116	1908.95	35404.83	178	0.62629	0.77438	661.62	82790.16
56	1.813	0.32592	1915.29	34844.61	180	0.62805	0.72139	663.48	77124.91

58	1.818	0.31909	1920.57	34114.40	182	0.6312	0.67745	666.81	72427.22
60	1.821	0.31457	1923.74	33631.16	184	0.63503	0.63122	670.86	67484.70
62	1.822	0.30984	1924.79	33125.47	186	0.64136	0.58641	677.54	62694.00
64	1.82	0.30362	1922.68	32460.48	188	0.64813	0.55051	684.70	58855.87
66	1.818	0.30048	1920.57	32124.78	190	0.65535	0.51747	692.32	55323.51
68	1.814	0.29654	1916.34	31703.55	192	0.66532	0.48602	702.86	51961.15
70	1.808	0.29279	1910.00	31302.63	194	0.67539	0.46011	713.49	49191.07
72	1.8	0.28951	1901.55	30951.96	196	0.68817	0.43544	727.00	46553.56
74	1.788	0.28641	1888.88	30620.53	198	0.70147	0.41329	741.05	44185.47
76	1.776	0.28365	1876.20	30325.46	200	0.71585	0.39372	756.24	42093.21
78	1.762	0.28163	1861.41	30109.50	202	0.73097	0.37589	772.21	40186.98
80	1.747	0.27969	1845.56	29902.09	204	0.74835	0.35807	790.57	38281.81
82	1.73	0.27752	1827.60	29670.09	206	0.76568	0.34377	808.88	36752.98
84	1.712	0.27638	1808.59	29548.21	208	0.78391	0.33018	828.14	35300.05
86	1.694	0.27597	1789.57	29504.38	210	0.80141	0.31836	846.62	34036.36
88	1.673	0.27572	1767.39	29477.65	212	0.82512	0.3042	871.67	32522.49
90	1.653	0.27557	1746.26	29461.61	214	0.84147	0.29576	888.94	31620.16
92	1.631	0.27516	1723.02	29417.78	216	0.86451	0.28491	913.28	30460.17
94	1.611	0.27483	1701.89	29382.50	218	0.88461	0.27571	934.52	29476.58
96	1.589	0.27426	1678.65	29321.56	220	0.90733	0.26681	958.52	28525.07
98	1.568	0.27391	1656.46	29284.14	222	0.92517	0.25967	977.37	27761.72
100	1.543	0.27344	1630.05	29233.89	224	0.95428	0.24935	1008.12	26658.39
102	1.526	0.27226	1612.09	29107.74	226	0.97844	0.24131	1033.64	25798.82
104	1.504	0.27226	1588.85	29107.74	228	1.001	0.2341	1057.47	25027.99
106	1.474	0.27896	1557.16	29824.04	230	1.026	0.22671	1083.89	24237.91
108	1.434	0.29024	1514.90	31030.00	232	1.051	0.21907	1110.30	23421.11
110	1.397	0.3023	1475.82	32319.36	234	1.074	0.21261	1134.59	22730.46
112	1.356	0.31732	1432.50	33925.17	236	1.101	0.20535	1163.12	21954.28
114	1.313	0.33547	1387.08	35865.61	238	1.125	0.19913	1188.47	21289.29
116	1.274	0.35338	1345.88	37780.40	240	1.149	0.19282	1213.82	20614.68
118	1.233	0.37191	1302.56	39761.47	242	1.176	0.18604	1242.35	19889.82
120	1.2	0.39048	1267.70	41746.82	244	1.208	0.17831	1276.15	19063.40
122	1.161	0.41702	1226.50	44584.25	246	1.234	0.17222	1303.62	18412.31
124	1.124	0.44898	1187.41	48001.14	248	1.264	0.16531	1335.31	17673.55
126	1.079	0.49637	1139.88	53067.68	250	1.288	0.15987	1360.67	17091.95
128	1.037	0.54927	1095.51	58723.30	252	1.317	0.15382	1391.30	16445.13
130	0.99557	0.61823	1051.74	66095.92	254	1.341	0.14838	1416.66	15863.53
132	0.95339	0.69024	1007.18	73794.62	256	1.381	0.14041	1458.91	15011.45
134	0.91725	0.77769	969.00	83144.03	258	1.409	0.13477	1488.49	14408.47
136	0.8842	0.86665	934.09	92654.88	260	1.438	0.12945	1519.13	13839.70
138	0.84415	1.041	891.78	111294.91	262	1.472	0.12301	1555.05	13151.19
140	0.81354	1.156	859.44	123589.74	264	1.506	0.11702	1590.97	12510.79
142	0.78357	1.293	827.78	138236.62	266	1.538	0.11154	1624.77	11924.91
144	0.75947	1.437	802.32	153631.88	268	1.569	0.10632	1657.52	11366.83
146	0.73852	1.528	780.19	163360.83	270	1.603	0.10092	1693.44	10789.51
148	0.72222	1.618	762.97	172982.87	272	1.642	0.09541	1734.64	10200.43

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งอัดด้วยแรงดัน 6000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
31.2	2.1	0.39779	2157.54	43729.56	144	0.93542	1.123	961.05	123452.81
32	2.107	0.38987	2164.73	42858.90	146	0.91103	1.186	935.99	130378.48
36	2.111	0.3842	2168.84	42235.59	148	0.89537	1.221	919.90	134226.08
38	2.117	0.37861	2175.00	41621.08	150	0.87671	1.228	900.73	134995.59
40	2.122	0.3742	2180.14	41136.28	152	0.86112	1.249	884.71	137304.15
42	2.127	0.36814	2185.28	40470.10	154	0.84674	1.233	869.94	135545.25
44	2.134	0.36302	2192.47	39907.25	156	0.83362	1.223	856.46	134445.94
46	2.142	0.3572	2200.69	39267.45	158	0.82111	1.183	843.61	130048.69
48	2.15	0.34985	2208.91	38459.45	160	0.81052	1.151	832.73	126530.89
50	2.157	0.34424	2216.10	37842.74	162	0.79987	1.094	821.79	120264.80
52	2.166	0.33811	2225.35	37168.86	164	0.79187	1.039	813.57	114218.58
54	2.174	0.3313	2233.57	36420.23	166	0.78377	0.98634	805.24	108429.60
56	2.181	0.32484	2240.76	35710.07	168	0.77633	0.92889	797.60	102114.05
58	2.187	0.31764	2246.92	34918.57	170	0.77174	0.88397	792.89	97175.94
60	2.191	0.31168	2251.03	34263.38	172	0.76623	0.82568	787.22	90768.05
62	2.194	0.30546	2254.11	33579.60	174	0.76236	0.76806	783.25	84433.81
64	2.194	0.30022	2254.11	33003.56	176	0.76053	0.72605	781.37	79815.60
66	2.192	0.29455	2252.06	32380.25	178	0.75913	0.67631	779.93	74347.61
68	2.188	0.2886	2247.95	31726.16	180	0.75908	0.63322	779.88	69610.68
70	2.18	0.28321	2239.73	31133.63	182	0.75555	0.59021	776.25	64882.53
72	2.157	0.27155	2216.10	29851.84	184	0.7627	0.55578	783.60	61097.60
74	2.127	0.26137	2185.28	28732.73	186	0.7662	0.52275	787.19	57466.57
76	2.112	0.25673	2169.87	28222.65	188	0.77239	0.48519	793.55	53337.55
78	2.096	0.25274	2153.43	27784.03	190	0.77852	0.45658	799.85	50192.42
80	2.078	0.24764	2134.94	27223.38	192	0.78616	0.43128	807.70	47411.16
82	2.061	0.2426	2117.47	26669.33	194	0.79655	0.40547	818.37	44573.83
84	2.043	0.2378	2098.98	26141.65	196	0.80827	0.38263	830.42	42063.00
86	2.027	0.23247	2082.54	25555.72	198	0.82148	0.36215	843.99	39811.61
88	2.013	0.22121	2068.15	24317.90	200	0.83857	0.34099	861.55	37485.46
90	1.997	0.22032	2051.72	24220.06	202	0.85266	0.32488	876.02	35714.47
92	1.985	0.21502	2039.39	23637.42	204	0.87368	0.30711	897.62	33760.99
94	1.971	0.20914	2025.00	22991.02	206	0.89298	0.29314	917.45	32225.25
96	1.955	0.20462	2008.57	22494.14	208	0.91294	0.28133	937.95	30926.96
98	1.931	0.20347	1983.91	22367.71	210	0.93498	0.26967	960.60	29645.16
100	1.893	0.20728	1944.87	22786.55	212	0.96096	0.25771	987.29	28330.39
102	1.853	0.21472	1903.77	23604.44	214	0.98161	0.24919	1008.51	27393.77
104	1.806	0.22452	1855.48	24681.77	216	1.006	0.24018	1033.56	26403.29
106	1.757	0.23591	1805.14	25933.88	218	1.034	0.23197	1062.33	25500.76
108	1.692	0.25431	1738.36	27956.62	220	1.057	0.22368	1085.96	24589.43
110	1.652	0.26754	1697.26	29411.01	222	1.085	0.21579	1114.73	23722.07
112	1.59	0.29089	1633.56	31977.91	224	1.115	0.20845	1145.55	22915.17
114	1.54	0.31106	1582.19	34195.22	226	1.142	0.20188	1173.29	22192.92
116	1.49	0.33774	1530.82	37128.19	228	1.175	0.19477	1207.19	21411.31



118	1.433	0.37242	1472.26	40940.60	230	1.203	0.18879	1235.96	20753.92
120	1.383	0.40727	1420.89	44771.71	232	1.234	0.18261	1267.81	20074.55
122	1.341	0.43509	1377.74	47829.99	234	1.262	0.17712	1296.58	19471.03
124	1.287	0.48077	1322.26	52851.65	236	1.294	0.17131	1329.45	18832.33
126	1.242	0.5287	1276.03	58120.66	238	1.326	0.1654	1362.33	18182.63
128	1.205	0.5735	1238.02	63045.58	240	1.356	0.16041	1393.15	17634.07
130	1.156	0.63692	1187.67	70017.42	242	1.391	0.15475	1429.11	17011.86
132	1.123	0.69085	1153.77	75946.01	244	1.423	0.14951	1461.99	16435.82
134	1.087	0.75837	1116.78	83368.57	246	1.456	0.14428	1495.89	15860.88
136	1.05	0.8266	1078.77	90869.18	248	1.489	0.13934	1529.80	15317.82
138	1.015	0.91418	1042.81	100496.96	250	1.523	0.13429	1564.73	14762.67
140	0.98577	0.9927	1012.78	109128.77	252	1.566	0.12791	1608.91	14061.31
142	0.95816	1.068	984.41	117406.59					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 13 ในการทดลองที่ 2 ซึ่งวัดด้วยแรงดัน 7000 ปอนด์

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
28	2.03	0.25904	2108.36	28169.40	146	1.35	0.17988	1402.11	19561.12
30	2.05	0.24956	2129.14	27138.50	148	1.27	0.19477	1319.03	21180.34
32	2.07	0.24017	2149.91	26117.38	150	1.25	0.19918	1298.25	21659.90
34	2.09	0.23024	2170.68	25037.53	152	1.22	0.20613	1267.10	22415.68
36	2.12	0.22056	2201.84	23984.88	154	1.17	0.22391	1215.17	24349.18
38	2.14	0.21355	2222.61	23222.57	156	1.14	0.22655	1184.01	24636.26
40	2.16	0.20675	2243.38	22483.11	158	1.12	0.22909	1163.24	24912.48
42	2.18	0.19957	2264.16	21702.31	160	1.06	0.24756	1100.92	26921.00
44	2.19	0.19312	2274.54	21000.91	162	1.04	0.25363	1080.15	27581.09
46	2.2	0.18831	2284.93	20477.84	164	1.02	0.25755	1059.38	28007.37
48	2.22	0.18117	2305.70	19701.40	166	1.01	0.26177	1048.99	28466.28
50	2.22	0.17703	2305.70	19251.19	168	0.97703	0.27243	1014.75	29625.50
52	2.22	0.17315	2305.70	18829.26	170	0.95585	0.27901	992.75	30341.05
54	2.22	0.16854	2305.70	18327.95	172	0.92333	0.28851	958.97	31374.13
56	2.22	0.16571	2305.70	18020.20	174	0.91053	0.29177	945.68	31728.64
58	2.21	0.16201	2295.31	17617.84	176	0.88024	0.29806	914.22	32412.65
60	2.21	0.15834	2295.31	17218.74	178	0.86717	0.3005	900.65	32677.98
62	2.19	0.15484	2274.54	16838.13	180	0.86062	0.30072	893.84	32701.91
64	2.19	0.15371	2274.54	16715.25	182	0.84994	0.30058	882.75	32686.68
66	2.17	0.14976	2253.77	16285.71	184	0.84036	0.29755	872.80	32357.19
68	2.16	0.14791	2243.38	16084.53	186	0.83757	0.29385	869.90	31954.83
70	2.14	0.14555	2222.61	15827.89	188	0.83692	0.28955	869.23	31487.22
72	2.13	0.14394	2212.22	15652.81	190	0.83871	0.28433	871.09	30919.57
74	2.12	0.14246	2201.84	15491.87	192	0.84372	0.27784	876.29	30213.81
76	2.1	0.14122	2181.07	15357.02	194	0.8477	0.27435	880.42	29834.29
78	2.08	0.13935	2160.29	15153.67	196	0.85492	0.26801	887.92	29144.85
80	2.07	0.13794	2149.91	15000.34	198	0.86201	0.26322	895.29	28623.96
82	2.05	0.1364	2129.14	14832.87	200	0.87439	0.25621	908.14	27861.65
84	2.04	0.13515	2118.75	14696.94	202	0.89206	0.24709	926.50	26869.89

86	2.02	0.13416	2097.98	14589.28	204	0.90755	0.24144	942.58	26255.48
88	2	0.13315	2077.21	14479.45	206	0.92245	0.23688	958.06	25759.60
90	1.99	0.13231	2066.82	14388.10	208	0.93947	0.23003	975.74	25014.70
92	1.97	0.13113	2046.05	14259.78	210	0.95806	0.22432	995.04	24393.76
94	1.96	0.13069	2035.66	14211.93	212	0.97264	0.22045	1010.19	23972.92
96	1.95	0.13018	2025.28	14156.47	214	1	0.21271	1038.60	23131.23
98	1.92	0.12947	1994.12	14079.26	216	1.03	0.20632	1069.76	22436.35
100	1.91	0.12902	1983.73	14030.33	218	1.05	0.20052	1090.53	21805.62
102	1.89	0.12944	1962.96	14076.00	220	1.09	0.19204	1132.08	20883.46
104	1.87	0.12981	1942.19	14116.24	222	1.11	0.18924	1152.85	20578.97
106	1.85	0.13025	1921.42	14164.08	224	1.14	0.18182	1184.01	19772.08
108	1.83	0.13092	1900.64	14236.94	226	1.17	0.1765	1215.17	19193.56
110	1.81	0.13184	1879.87	14336.99	228	1.2	0.17152	1246.32	18652.01
112	1.78	0.13272	1848.71	14432.69	230	1.22	0.16832	1267.10	18304.02
114	1.76	0.13394	1827.94	14565.36	232	1.27	0.1607	1319.03	17475.38
116	1.74	0.13519	1807.17	14701.29	234	1.3	0.15578	1350.18	16940.35
118	1.72	0.13633	1786.40	14825.26	236	1.32	0.15215	1370.96	16545.61
120	1.69	0.13828	1755.24	15037.31	238	1.36	0.1457	1412.50	15844.20
122	1.65	0.14132	1713.70	15367.90	240	1.38	0.14266	1433.27	15513.62
124	1.63	0.14272	1692.92	15520.14	242	1.43	0.13548	1485.20	14732.82
126	1.6	0.14555	1661.77	15827.89	244	1.45	0.13342	1505.97	14508.81
128	1.57	0.14918	1630.61	16222.63	246	1.48	0.12852	1537.13	13975.96
130	1.54	0.15282	1599.45	16618.47	248	1.53	0.1209	1589.06	13147.32
132	1.51	0.15537	1568.29	16895.77	250	1.57	0.11637	1630.61	12654.70
134	1.5	0.15709	1557.90	17082.81	252	1.59	0.11323	1651.38	12313.24
136	1.46	0.1624	1516.36	17660.25	254	1.62	0.10956	1682.54	11914.14
138	1.43	0.1674	1485.20	18203.98	256	1.65	0.10587	1713.70	11512.87
140	1.41	0.17044	1464.43	18534.56	258	1.69	0.10074	1755.24	10955.01
142	1.39	0.17204	1443.66	18708.55	260	1.73	0.09572	1796.78	10409.11
144	1.36	0.17752	1412.50	19304.48					

7)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR ทางการค้าหมายเลข C17 ในการทดลองที่ 3

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
31	7.2	1100	6908.29	129.48	170	11.64	285	11168.40	33.55
50	7.68	923	7368.84	108.65	175	11.89	272	11408.27	32.02
55	7.83	880	7512.76	103.59	180	12.12	263	11628.95	30.96
60	7.98	833	7656.69	98.05	185	12.32	255	11820.85	30.02
65	8.13	788	7800.61	92.76	190	12.55	249	12041.53	29.31
70	8.28	750	7944.53	88.28	200	13.08	238	12550.06	28.02
75	8.45	708	8107.64	83.34	205	13.37	233	12828.31	27.43
80	8.62	670	8270.76	78.87	210	13.65	230	13096.96	27.07
85	8.79	633	8433.87	74.51	215	14.08	228	13509.54	26.84
90	8.87	619	8510.63	72.86	220	14.4	227	13816.57	26.72
95	9.16	577	8788.88	67.92	225	15.01	227	14401.86	26.72

100	9.31	539	8932.80	63.45	230	15.5	229	14872.01	26.96
105	9.49	510	9105.51	60.03	235	16.1	233	15447.70	27.43
110	9.67	484	9278.21	56.97	240	17	242	16311.23	28.49
115	9.82	465	9422.14	54.74	245	17.5	250	16790.98	29.43
120	9.94	444	9537.27	52.26	250	18.7	269	17942.36	31.66
125	10.12	422	9709.98	49.67	255	19.6	289	18805.89	34.02
130	10.28	401	9863.50	47.20	260	20.7	319	19861.33	37.55
135	10.53	377	10103.37	44.38	265	22.29	384	21386.91	45.20
140	10.62	364	10189.72	42.85	270	23.9	466	22931.68	54.85
145	10.77	349	10333.65	41.08	275	25.48	595	24447.66	70.04
150	10.97	331	10525.54	38.96	280	27.73	737	26606.50	86.75
155	11.14	314	10688.66	36.96	285	23.45	3530	22499.91	415.53
160	11.31	303	10851.77	35.67	290	22.04	4170	21147.04	490.86

8)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR ทางการค้าหมายเลข C12 ในการทดลองที่ 3

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
30	6.191	2289	6566.02	243.76	150	9.144	472.816	9697.90	50.35
32	6.495	1935	6888.44	206.06	152	9.163	465.27	9718.06	49.55
34	6.546	1893	6942.53	201.59	154	9.178	460.54	9733.96	49.04
36	6.578	1865	6976.47	198.61	156	9.211	452.87	9768.96	48.23
38	6.943	1578	7363.58	168.05	158	9.237	445.78	9796.54	47.47
40	7.097	1481	7526.91	157.72	160	9.262	438.711	9823.05	46.72
42	7.138	1456	7570.39	155.05	162	9.293	432.107	9855.93	46.02
44	7.181	1428	7615.99	152.07	164	9.333	424.505	9898.35	45.21
46	7.257	1381	7696.60	147.07	166	9.357	420.8	9923.81	44.81
48	7.318	1337	7761.29	142.38	168	9.382	416.53	9950.32	44.36
50	7.384	1297	7831.29	138.12	170	9.409	412.83	9978.96	43.96
52	7.456	1254	7907.65	133.54	172	9.457	405.43	10029.86	43.18
54	7.521	1223	7976.59	130.24	174	9.492	402.22	10066.98	42.83
56	7.556	1204	8013.71	128.22	176	9.541	399.907	10118.95	42.59
58	7.61	1173	8070.98	124.92	178	9.588	393.79	10168.80	41.94
60	7.654	1152	8117.65	122.68	180	9.619	392.79	10201.68	41.83
62	7.727	1114	8195.07	118.63	182	9.672	388.608	10257.89	41.38
64	7.773	1091	8243.85	116.18	184	9.739	385.72	10328.95	41.08
66	7.834	1064	8308.55	113.31	186	9.783	384.9	10375.61	40.99
68	7.899	1032	8377.49	109.90	188	9.851	381.93	10447.73	40.67
70	7.957	1005	8439.00	107.02	190	9.897	381.02	10496.52	40.58
72	8.022	995.021	8507.94	105.96	192	9.986	379.71	10590.91	40.44
74	8.031	971.382	8517.48	103.44	194	10.077	379.31	10687.42	40.39
76	8.091	943.34	8581.12	100.46	196	10.147	379.396	10761.66	40.40
78	8.147	921.382	8640.51	98.12	198	10.272	380.282	10894.23	40.50
80	8.188	905.93	8683.99	96.47	200	10.264	380.512	10885.75	40.52
82	8.218	891.73	8715.81	94.96	202	10.473	383.832	11107.41	40.88
84	8.259	871.19	8759.29	92.78	204	10.623	387.92	11266.50	41.31
86	8.295	853.24	8797.48	90.86	206	10.732	390.973	11382.10	41.64
88	8.332	837.52	8836.72	89.19	208	10.936	398.707	11598.46	42.46
90	8.365	822.5	8871.72	87.59	210	11.014	401.053	11681.18	42.71
92	8.406	806.14	8915.20	85.85	212	11.154	407.65	11829.66	43.41
94	8.425	788.09	8935.35	83.93	214	11.444	421.103	12137.23	44.84

96	8.469	774.88	8982.02	82.52	216	11.505	425.88	12201.92	45.35
98	8.497	760.21	9011.71	80.96	218	11.756	440.58	12468.13	46.92
100	8.517	749.61	9032.92	79.83	220	12.023	459.78	12751.30	48.96
102	8.542	736.83	9059.44	78.47	222	12.236	480.75	12977.20	51.20
104	8.574	719.17	9093.38	76.59	224	12.505	495.78	13262.50	52.80
106	8.601	705.93	9122.01	75.18	226	12.878	531.54	13658.09	56.60
108	8.641	687.1	9164.43	73.17	228	13.067	550.72	13858.54	58.65
110	8.664	674.92	9188.83	71.87	230	13.442	589.67	14256.26	62.80
112	8.683	667.47	9208.98	71.08	232	13.776	628.91	14610.49	66.97
114	8.717	651.73	9245.04	69.40	234	14.245	693.06	15107.90	73.81
116	8.741	641.35	9270.49	68.30	236	14.931	799.15	15835.46	85.10
118	8.767	628.14	9298.07	66.89	238	14.421	876.84	15294.56	93.38
120	8.793	616.92	9325.64	65.70	240	16.239	1075	17222.69	114.48
122	8.823	603.68	9357.46	64.29	242	17.178	1275	18218.57	135.78
124	8.832	987.81	9367.00	105.19	244	18.067	1628	19161.42	173.37
126	8.882	578.24	9420.03	61.58	246	18.565	2267	19689.59	241.42
128	8.901	569.61	9440.18	60.66	248	18.35	2959	19461.56	315.11
130	8.921	560.42	9461.40	59.68	250	18.25	3510	19355.51	373.79
132	8.945	549.78	9486.85	58.55	252	16.88	5190	17902.52	552.70
134	8.963	538.5	9505.94	57.35	254	15.912	6498	16875.88	691.99
136	8.992	530.22	9536.70	56.46	256	15.261	7757	16185.45	826.06
138	9.021	517.42	9567.45	55.10	258	14.633	9056	15519.40	964.40
140	9.038	211.48	9585.48	22.52	260	14.202	10191	15062.30	1085.26
142	9.065	502.28	9614.12	53.49	262	13.054	13345	13844.76	1421.14
144	9.076	495.38	9625.79	52.75	264	12.3	15078	13045.08	1605.69
146	9.102	485.32	9653.36	51.68	266	11.765	18231	12477.67	1941.46
148	9.112	480.53	9663.97	51.17					

9)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR ทางการค้าหมายเลข C15 ในการทดลองที่ 3

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (k $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (k $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
65	9.1	359	6485.76	56.89	190	13	118	9265.37	18.70
70	9.3	340	6628.31	53.88	195	13.2	116	9407.92	18.38
75	9.5	325	6770.85	51.50	200	13.3	115	9479.19	18.22
80	9.6	310	6842.12	49.13	205	13.5	114	9621.73	18.07
85	9.8	294	6984.67	46.59	210	13.7	115	9764.28	18.22
90	10	279	7127.21	44.21	215	14	118	9978.10	18.70
95	10.2	265	7269.76	41.99	220	14.1	120	10049.37	19.02
100	10.4	251	7412.30	39.78	225	14.5	127	10334.46	20.13
105	10.6	240	7554.84	38.03	230	15	137	10690.82	21.71
110	10.8	228	7697.39	36.13	235	15.7	155	11189.72	24.56
115	10.9	217	7768.66	34.39	240	16.6	180	11831.17	28.52
120	11.1	205	7911.20	32.49	245	18	224	12828.98	35.50
125	11.3	196	8053.75	31.06	250	20.6	328	14682.05	51.98
130	11.4	188	8125.02	29.79	255	26.7	748	19029.65	118.53
135	11.6	180	8267.56	28.52	260	26.7	2500	19029.65	396.17
140	11.8	170	8410.11	26.94	265	23.1	4600	16463.86	728.95
145	11.9	164	8481.38	25.99	270	19.9	7800	14183.15	1236.05
150	12	157	8552.65	24.88	275	17.1	12600	12187.53	1996.69
155	12.1	150	8623.93	23.77	280	15.6	16900	11118.45	2678.10
160	12.2	145	8695.20	22.98	285	14.5	21300	10334.46	3375.36

165	12.3	139	8766.47	22.03	290	13.9	23700	9906.82	3755.69
170	12.4	134	8837.74	21.23	295	13.3	26800	9479.19	4246.94
175	12.6	129	8980.29	20.44	300	13	27800	9265.37	4405.40
180	12.7	125	9051.56	19.81	305	12.9	26800	9194.10	4246.94
185	12.9	122	9194.10	19.33	310	13	24400	9265.37	3866.61

10)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 14 ในการทดลองที่ 4

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 14 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
44	0.3824	0.1379	355.64	16745.68	148	0.2427	0.9363	225.75	113691.13
46	0.3790	0.1341	352.54	16283.05	150	0.2294	1.2700	213.40	154209.33
48	0.3776	0.1317	351.23	15995.27	152	0.2187	1.6630	203.40	201929.22
50	0.3766	0.1262	350.29	15328.65	154	0.2107	2.0390	195.99	247584.90
52	0.3765	0.1223	350.19	14849.02	156	0.2038	2.5360	189.54	307932.96
54	0.3785	0.1157	352.02	14053.69	158	0.1978	3.1690	184.02	384794.78
56	0.3805	0.1130	353.89	13719.77	160	0.1914	3.8700	178.05	469913.47
58	0.3824	0.1083	355.64	13144.22	162	0.1880	4.7040	174.83	571181.64
60	0.3850	0.1044	358.08	12670.66	164	0.1820	5.8030	169.25	704627.35
62	0.3885	0.1004	361.37	12187.39	166	0.1785	6.8190	166.00	827994.82
64	0.3902	0.0995	362.92	12084.18	168	0.1747	8.1200	162.53	985968.31
66	0.3931	0.0949	365.64	11521.99	170	0.1724	9.4170	160.36	1143456.11
68	0.3968	0.0922	369.07	11192.93	172	0.1697	10.8110	157.81	1312722.10
70	0.3996	0.0892	371.64	10829.87	174	0.1673	12.2500	155.61	1487452.20
72	0.4024	0.0861	374.26	10451.02	176	0.1651	13.5960	153.52	1650889.80
74	0.4054	0.0834	377.09	10126.82	178	0.1640	14.4300	152.50	1752157.97
76	0.4072	0.0830	378.77	10072.18	180	0.1633	14.6800	151.88	1782514.14
78	0.4098	0.0801	381.19	9727.33	182	0.1625	15.1620	151.11	1841040.83
80	0.4119	0.0785	383.14	9535.48	184	0.1608	16.2370	149.52	1971572.35
82	0.4138	0.0769	384.85	9332.70	186	0.1592	17.1520	148.09	2082675.92
84	0.4149	0.0754	385.96	9157.85	188	0.1581	17.7420	147.04	2154316.48
86	0.4161	0.0742	387.07	9003.64	190	0.1560	18.5140	145.10	2248056.32
88	0.4177	0.0731	388.48	8872.50	192	0.1541	18.4730	143.31	2243077.91
90	0.4187	0.0723	389.45	8772.93	194	0.1535	19.1430	142.76	2324432.44
92	0.4191	0.0716	389.86	8698.86	196	0.1530	19.5800	142.30	2377495.02
94	0.4195	0.0713	390.17	8656.36	200	0.1502	19.1400	139.67	2324068.16
96	0.4195	0.0712	390.15	8644.22	204	0.1475	19.0500	137.18	2313139.94
98	0.4195	0.0715	390.20	8680.65	206	0.1462	18.9700	136.00	2303425.97
100	0.4188	0.0721	389.50	8758.36	208	0.1455	18.7570	135.31	2277562.52
102	0.4175	0.0730	388.30	8865.22	210	0.1442	18.3900	134.11	2232999.66
104	0.4162	0.0741	387.15	8991.50	212	0.1434	18.0040	133.42	2186129.74
106	0.4146	0.0760	385.64	9227.06	214	0.1426	17.3050	132.65	2101253.90
110	0.4108	0.0806	382.10	9786.83	216	0.1417	16.9750	131.84	2061183.76
112	0.4068	0.0847	378.39	10283.46	218	0.1409	16.1750	131.09	1964044.02
114	0.4021	0.0893	374.00	10837.15	220	0.1400	15.6550	130.25	1900903.19
116	0.3976	0.0945	369.83	11475.85	222	0.1393	15.0270	129.55	1824648.50
118	0.3920	0.1014	364.65	12313.68	224	0.1388	14.2570	129.06	1731151.51
120	0.3863	0.1098	359.31	13326.36	226	0.1381	13.6720	128.46	1660118.07
122	0.3771	0.1219	350.80	14796.81	228	0.1372	12.7750	127.64	1551200.15
124	0.3692	0.1337	343.37	16238.12	230	0.1367	11.8240	127.15	1435725.29
126	0.3583	0.1550	333.25	18823.25	232	0.1358	10.7790	126.32	1308836.51

128	0.3493	0.1758	324.91	21350.10	234	0.1355	10.2570	126.04	1245452.83
130	0.3409	0.1989	317.06	24147.72	236	0.1353	9.6780	125.80	1175147.95
132	0.3301	0.2271	307.02	27576.76	238	0.1351	9.3010	125.64	1129370.85
134	0.3224	0.2521	299.83	30605.09	240	0.1348	8.7160	125.42	1058337.41
136	0.3141	0.2864	292.18	34777.24	242	0.1349	8.2910	125.47	1006731.93
138	0.3047	0.3330	283.41	40433.20	244	0.1349	7.8140	125.47	948812.36
140	0.2944	0.3824	273.84	46437.65	246	0.1350	7.3740	125.57	895385.51
142	0.2823	0.4371	262.55	53068.65	248	0.1352	6.9210	125.76	840380.13
144	0.2727	0.5210	253.68	63267.11	250	0.1357	6.5340	126.24	793388.79
146	0.2615	0.6330	243.27	76860.60					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 14 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
34.4	1.128	0.011932	990.07	1535.38	170	0.29301	10.86	257.18	1397435.43
36	1.116	0.012102	979.54	1557.25	172	0.29299	10.967	257.16	1411203.90
38	1.114	0.012009	977.79	1545.29	174	0.2929	10.885	257.09	1400652.36
40	1.113	0.011937	976.91	1536.02	176	0.29279	10.824	256.99	1392803.05
42	1.111	0.01185	975.15	1524.83	178	0.29225	10.68	256.52	1374273.52
44	1.11	0.011775	974.27	1515.18	180	0.29199	10.762	256.29	1384825.05
46	1.107	0.011688	971.64	1503.98	182	0.291906	10.5553	256.21	1358227.46
48	1.106	0.011598	970.76	1492.40	184	0.290897	10.478	255.33	1348280.70
50	1.105	0.011519	969.89	1482.23	186	0.28828	10.382	253.03	1335927.68
54	1.11	0.011361	974.27	1461.90	188	0.28702	10.371	251.92	1334512.23
56	1.113	0.011294	976.91	1453.28	190	0.28549	10.335	250.58	1329879.85
58	1.118	0.011233	981.30	1445.43	192	0.28324	10.183	248.61	1310320.90
60	1.124	0.011162	986.56	1436.30	194	0.2814	10.021	246.99	1289475.18
62	1.129	0.011109	990.95	1429.48	196	0.27941	9.967	245.25	1282526.60
64	1.137	0.011053	997.97	1422.27	198	0.27724	9.812	243.34	1262581.62
66	1.147	0.011009	1006.75	1416.61	200	0.27513	9.694	241.49	1247397.70
68	1.16	0.010977	1018.16	1412.49	202	0.27307	9.526	239.68	1225779.92
70	1.174	0.010961	1030.45	1410.43	204	0.27091	9.363	237.78	1204805.52
72	1.189	0.010953	1043.62	1409.40	206	0.26879	9.168	235.92	1179713.45
74	1.201	0.010968	1054.15	1411.33	208	0.26679	8.953	234.17	1152047.83
76	1.209	0.011008	1061.17	1416.48	210	0.26495	8.671	232.55	1115760.83
78	1.215	0.011058	1066.44	1422.91	212	0.26295	8.433	230.80	1085135.63
80	1.224	0.011143	1074.34	1433.85	214	0.26117	8.151	229.24	1048848.64
82	1.237	0.011273	1085.75	1450.58	216	0.25918	7.831	227.49	1007671.90
84	1.264	0.011478	1109.44	1476.96	218	0.25743	7.498	225.95	964822.36
86	1.326	0.011874	1163.86	1527.91	220	0.2557	7.153	224.43	920428.70
88	1.394	0.012387	1223.55	1593.93	222	0.25399	6.78	222.93	872432.06
90	1.493	0.013441	1310.44	1729.55	224	0.2522	6.425	221.36	826751.62
92	1.529	0.014557	1342.04	1873.16	226	0.25079	6.062	220.12	780041.77
94	1.487	0.016143	1305.18	2077.24	228	0.24925	5.701	218.77	733589.26
96	1.41	0.018455	1237.59	2374.74	230	0.24779	5.326	217.49	685335.28
98	1.298	0.022345	1139.29	2875.29	232	0.24649	4.976	216.35	640298.22
100	1.175	0.02823	1031.33	3632.56	234	0.24548	4.634	215.46	596290.59
102	0.96213	0.039135	844.49	5035.79	236	0.24442	4.293	214.53	552411.63
104	0.73557	0.057777	645.63	7434.59	238	0.24367	3.964	213.88	510076.80
106	0.54317	0.15767	476.75	20288.55	240	0.24318	3.71	213.45	477392.77
108	0.34198	0.63752	300.16	82034.35	242	0.24299	3.426	213.28	440848.41

110	0.30012	1.257	263.42	161747.36	244	0.24399	3.183	214.16	409579.83
112	0.28877	1.735	253.46	223255.11	246	0.24334	2.982	213.59	383715.70
114	0.28492	2.039	250.08	262373.01	248	0.24381	2.84	214.00	365443.52
116	0.28267	2.321	248.11	298660.00	250	0.24523	2.554	215.24	328641.81
118	0.28122	2.607	246.83	335461.71	252	0.24651	2.4	216.37	308825.51
120	0.28024	2.908	245.97	374193.58	254	0.24887	2.211	218.44	284505.50
122	0.28013	3.175	245.88	408550.41	256	0.25087	2.09	220.19	268935.55
124	0.28009	3.487	245.84	448697.73	258	0.25357	1.955	222.56	251564.11
126	0.28013	3.779	245.88	486271.50	260	0.25608	1.85	224.77	238053.00
128	0.28068	4.063	246.36	522815.85	262	0.25903	1.753	227.36	225571.30
130	0.28109	4.337	246.72	558073.43	264	0.26259	1.651	230.48	212446.21
132	0.28165	4.598	247.21	591658.21	266	0.26617	1.557	233.62	200350.55
134	0.28231	4.905	247.79	631162.13	268	0.26977	1.48	236.78	190442.40
136	0.28309	5.251	248.48	675684.48	270	0.27352	1.4	240.08	180148.21
138	0.28397	5.619	249.25	723037.72	272	0.27767	1.318	243.72	169596.68
140	0.28487	6.021	250.04	774766.00	274	0.28187	1.231	247.40	158401.75
142	0.28566	6.346	250.73	816586.12	276	0.28589	1.171	250.93	150681.11
144	0.28649	6.679	251.46	859435.66	278	0.28989	1.097	254.44	141158.99
146	0.28718	7.161	252.07	921458.11	280	0.29436	1.023	258.37	131636.87
148	0.28815	7.673	252.92	987340.89	282	0.29852	0.95378	262.02	122729.83
150	0.28893	8.079	253.60	1039583.87	284	0.30244	0.88705	265.46	114143.20
152	0.28947	8.492	254.08	1092727.59	286	0.30127	0.81311	264.43	104628.80
154	0.29027	8.874	254.78	1141882.32	288	0.31145	0.75406	273.37	97030.40
156	0.29067	9.334	255.13	1201073.88	290	0.31639	0.68422	277.70	88043.58
158	0.2912	9.694	255.59	1247397.70	292	0.32148	0.62346	282.17	80225.15
160	0.291717	9.902	256.05	1274162.58	294	0.32643	0.5662	286.52	72857.08
162	0.29223	10.297	256.50	1324990.11	296	0.33097	0.52404	290.50	67432.05
164	0.29234	10.394	256.59	1337471.81	298	0.3351	0.47945	294.13	61694.33
166	0.29256	10.543	256.79	1356644.73	300	0.34221	0.43456	300.37	55918.01
168	0.2929	10.844	257.09	1395376.59					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 14 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
32	0.508	0.544	609.34	51199.69	182	0.705	4.667	846.10	439018.44
34	0.560	0.563	672.34	52978.15	184	0.712	4.585	854.85	431304.81
36	0.601	0.560	721.06	52686.16	186	0.721	4.455	865.15	419075.88
38	0.605	0.545	726.63	51247.57	188	0.725	4.257	870.33	400450.29
40	0.608	0.540	730.24	50841.76	190	0.727	4.308	873.24	405247.79
42	0.613	0.531	735.45	49922.33	192	0.731	4.175	877.14	392736.66
44	0.615	0.523	738.55	49158.12	194	0.730	4.058	876.69	381730.63
46	0.619	0.516	743.38	48558.62	196	0.729	4.061	875.75	382012.83
48	0.622	0.509	747.20	47918.67	198	0.729	3.914	875.04	368184.74
50	0.627	0.502	752.56	47190.95	200	0.725	3.854	870.86	362540.62
52	0.630	0.493	756.89	46348.66	202	0.722	3.791	866.47	356614.29
54	0.633	0.487	760.33	45764.97	204	0.717	3.806	861.38	358025.32
56	0.637	0.479	764.85	45062.84	206	0.714	3.717	856.68	349653.21
58	0.640	0.470	768.61	44220.36	208	0.710	3.541	852.19	333097.13
60	0.644	0.468	773.43	44014.44	210	0.703	3.431	843.75	322749.57
62	0.647	0.460	777.03	43302.91	212	0.697	3.323	836.31	312590.16
64	0.651	0.456	782.00	42898.23	214	0.690	3.198	828.93	300831.58

66	0.654	0.452	785.50	42514.05	216	0.684	3.121	821.41	293588.29
68	0.658	0.448	790.40	42110.78	218	0.678	2.912	814.53	273927.94
70	0.662	0.438	794.82	41243.18	220	0.672	2.835	807.08	266684.65
72	0.665	0.434	798.10	40833.79	222	0.665	2.665	798.31	250692.98
74	0.666	0.429	799.84	40397.03	224	0.657	2.502	789.16	235359.79
76	0.670	0.427	803.89	40156.41	226	0.651	2.344	781.18	220496.94
78	0.672	0.423	806.69	39751.16	228	0.644	2.170	773.50	204128.99
80	0.675	0.419	809.93	39453.34	230	0.637	2.012	765.33	189266.15
82	0.677	0.416	812.74	39112.43	232	0.631	1.876	757.99	176472.81
84	0.680	0.412	815.92	38766.92	234	0.625	1.733	750.94	163020.99
86	0.682	0.409	819.32	38482.17	236	0.619	1.580	743.63	148628.48
88	0.687	0.405	824.30	38141.64	238	0.615	1.456	737.87	136963.97
90	0.688	0.403	826.06	37900.17	240	0.610	1.345	732.44	126522.35
92	0.692	0.399	831.01	37565.76	242	0.606	1.202	727.00	113070.53
94	0.696	0.395	835.12	37126.36	244	0.603	1.124	724.19	105733.17
96	0.699	0.389	839.30	36634.76	246	0.601	1.032	721.67	97078.86
98	0.704	0.385	845.02	36234.21	248	0.601	0.945	721.48	88892.25
100	0.708	0.381	849.97	35848.53	250	0.600	0.875	720.71	82311.68
102	0.712	0.374	855.03	35202.75	252	0.600	0.806	720.48	75797.14
104	0.719	0.367	863.16	34495.82	254	0.602	0.743	723.03	69913.62
106	0.727	0.359	872.33	33744.22	256	0.607	0.681	729.29	64094.15
108	0.728	0.557	874.34	52369.25	258	0.612	0.634	734.65	59654.11
110	0.711	0.409	853.83	38438.15	260	0.617	0.595	741.06	55983.93
112	0.668	0.515	802.05	48445.36	262	0.628	0.549	753.66	51682.55
114	0.625	0.697	750.38	65545.16	264	0.635	0.517	762.43	48652.12
116	0.584	1.051	700.84	98866.16	266	0.646	0.483	775.75	45466.96
118	0.561	1.447	674.09	136117.35	268	0.657	0.456	789.05	42867.09
120	0.548	1.953	658.19	183716.09	270	0.671	0.429	805.78	40308.52
122	0.550	2.305	659.98	216828.26	272	0.687	0.404	825.24	38033.75
124	0.542	2.684	650.68	252480.29	274	0.703	0.382	844.58	35943.92
126	0.544	3.145	653.04	295845.94	276	0.720	0.364	864.63	34264.79
128	0.545	3.441	654.84	323690.26	278	0.738	0.374	886.07	35214.70
130	0.546	3.639	655.97	342315.86	280	0.763	0.326	916.23	30657.26
132	0.552	4.087	662.40	384458.62	282	0.772	0.319	927.43	30014.68
134	0.555	4.278	665.87	402425.73	284	0.790	0.307	948.53	28856.31
136	0.559	4.524	671.48	425566.62	286	0.816	0.291	980.00	27389.69
138	0.563	4.903	676.47	461218.64	288	0.844	0.274	1013.11	25789.11
140	0.568	5.001	681.49	470437.37	290	0.860	0.264	1032.89	24875.61
142	0.574	5.086	688.84	478433.21	292	0.893	0.247	1071.81	23208.06
144	0.577	5.331	693.14	501480.03	294	0.914	0.233	1097.41	21925.15
146	0.581	5.460	697.85	513614.89	296	0.934	0.221	1121.07	20769.89
148	0.588	5.517	706.16	518976.80	298	0.955	0.206	1146.86	19387.83
150	0.593	5.577	711.63	524620.92	300	0.975	0.191	1170.42	17925.44
152	0.597	5.440	716.81	511733.51	302	0.986	0.180	1183.96	16961.61
154	0.603	5.601	724.53	526878.57	304	0.998	0.168	1198.76	15812.85
156	0.607	5.671	728.86	533463.37	306	1.003	0.162	1204.25	15222.10
158	0.613	5.499	736.00	517283.57	308	1.014	0.147	1217.46	13842.58
160	0.619	5.632	743.36	529794.70	310	1.021	0.139	1225.86	13032.74
162	0.626	5.431	751.73	510886.90	312	1.027	0.129	1233.06	12093.66
164	0.631	5.552	757.88	522269.20	314	1.033	0.120	1240.27	11332.55
166	0.639	5.322	767.21	500633.41	316	1.038	0.111	1246.27	10455.36



168	0.645	5.379	774.38	505995.33	318	1.044	0.104	1253.48	9744.29
170	0.651	5.179	781.71	487181.59	320	1.048	0.098	1258.28	9190.60
172	0.659	5.207	791.74	489815.52	322	1.055	0.091	1266.68	8535.98
174	0.666	5.177	799.76	486993.46	324	1.065	0.082	1278.69	7722.66
176	0.676	5.044	811.91	474482.32	326	1.082	0.073	1299.10	6910.28
178	0.685	4.787	822.94	450306.68	328	1.101	0.067	1321.91	6272.50
180	0.696	4.781	835.18	449742.27					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 14 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (k $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (k $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
29.9	261.62	4510	458.35	290744.97	168	511.409	3218	895.97	207453.95
32	262.39	4310	459.70	277851.63	170	527.781	3216	924.65	207325.02
34	263.41	4310	461.48	277851.63	172	544.577	3152	954.08	203199.15
36	264.22	4230	462.90	272694.29	174	571.998	3112	1002.12	200620.48
38	266.01	4140	466.04	266892.28	176	590.727	3055	1034.93	196945.87
40	267.59	4030	468.81	259800.94	178	619.997	3011	1086.21	194109.34
42	269.34	3970	471.87	255932.94	180	655.864	2924	1149.05	188500.73
44	271.09	3870	474.94	249486.26	182	701.084	2779	1228.27	179153.06
46	273.54	3780	479.23	243684.26	184	762.723	2632	1336.26	169676.45
48	274.46	3750	480.84	241750.26	186	842.291	2447	1475.66	157750.10
50	276.27	3640	484.01	234658.91	188	982.241	2112	1720.85	136153.74
52	277.04	3600	485.36	232080.24	190	1247	1718	2184.70	110753.85
54	279.76	3540	490.13	228212.24	192	1656	1397	2901.25	90060.03
56	281.81	3440	493.72	221765.57	194	1884	1321	3300.70	85160.56
58	284.25	3390	498.00	218542.23	196	1943	1346	3404.06	86772.22
60	285.46	3340	500.12	215318.89	198	1929	1377	3379.54	88770.69
62	287.06	3300	502.92	212740.22	200	1877	1445	3288.43	93154.43
64	289.52	3210	507.23	206938.22	202	1811	1519	3172.80	97924.97
66	291.98	3170	511.54	204359.55	204	1732	1567	3034.40	101019.37
68	294.06	3120	515.18	201136.21	206	1684	1622	2950.30	104565.04
70	296.22	3050	518.97	196623.54	208	1622	1599	2841.68	103082.31
72	298.98	3016	523.80	194431.67	210	1552	1722	2719.05	111011.72
74	301.98	2990	529.06	192755.54	212	1487	1760	2605.17	113461.45
76	303.08	2919	530.98	188178.40	214	1424	1818	2494.79	117200.52
78	305.47	2917	535.17	188049.47	216	1381	1829	2419.46	117909.66
80	308.54	2883	540.55	185857.60	218	1319	1849	2310.84	119198.99
82	310.56	2845	544.09	183407.86	220	1280	1857	2242.51	119714.73
84	312.64	2796	547.73	180248.99	222	1241	1885	2174.19	121519.79
86	315.462	2792	552.68	179991.12	224	1172	1856	2053.30	119650.26
88	317.2	2755	555.72	177605.85	226	1141	1869	1998.99	120488.33
90	319.23	2752	559.28	177412.45	228	1111	1840	1946.43	118618.79
92	322.645	2713	565.26	174898.25	230	1061	1811	1858.83	116749.26
94	324.572	2690	568.64	173415.52	232	1036	1810	1815.03	116684.79
96	326.77	2684	572.49	173028.72	234	1004	1780	1758.97	114750.79
98	329.754	2663	577.72	171674.91	236	974.021	1723	1706.45	111076.18
100	321.877	2654	563.92	171094.71	238	932.246	1699	1633.26	109528.98
102	334.008	2644	585.17	170450.05	240	909.318	1663	1593.09	107208.18
104	337.505	2643	591.30	170385.58	242	886.771	1626	1553.59	104822.91
106	340.985	2620	597.39	168902.84	244	865.112	1591	1515.64	102566.57
108	343.221	2631	601.31	169611.98	246	842.756	1545	1476.48	99601.11

110	346.667	2605	607.35	167935.84	248	820.921	1498	1438.22	96571.17
112	349.806	2597	612.85	167420.11	250	799.517	1453	1400.72	93670.17
114	352.151	2593	616.96	167162.24	252	777.262	1403	1361.73	90446.83
116	355.401	2608	622.65	168129.24	254	763.902	1366	1338.33	88061.56
118	358.264	2602	627.67	167742.44	256	744.181	1311	1303.78	84515.89
120	362.308	2610	634.75	168258.18	258	726.924	1271	1273.54	81937.22
122	364.913	2614	639.31	168516.04	260	711.373	1299	1246.30	83742.29
124	368.447	2630	645.51	169547.51	262	696.25	1179	1219.80	76006.28
126	371.69	2641	651.19	170256.65	264	681.747	1135	1194.40	73169.74
128	375.121	2664	657.20	171739.38	266	668.414	1093	1171.04	70462.14
130	378.337	2693	662.83	173608.92	268	657.105	1056	1151.22	68076.87
132	381.991	2708	669.23	174575.92	270	641.52	1007	1123.92	64918.00
134	385.462	2754	675.31	177541.39	272	629.022	962.997	1102.02	62081.27
136	389.981	2763	683.23	178121.59	274	619.992	931.403	1086.20	60044.51
138	392.958	2799	688.45	180442.39	276	611.01	905.516	1070.47	58375.66
140	396.751	2823	695.09	181989.59	278	600.183	863.764	1051.50	55684.04
142	402.779	2851	705.65	183794.66	280	591.453	833.776	1036.20	53750.82
144	406.194	2912	711.64	187727.13	282	580.647	796.144	1017.27	51324.80
146	412.803	2955	723.22	190499.20	284	572.52	760.046	1003.03	48997.68
148	418.037	2989	732.39	192691.07	286	564.817	734.223	989.54	47332.96
150	424.311	3049	743.38	196559.07	288	553.93	694.408	970.46	44766.22
152	431.343	3071	755.70	197977.34	290	541.235	666.83	948.22	42988.35
154	440.327	3120	771.44	201136.21	292	539.717	637.433	945.56	41093.22
156	448.52	3148	785.79	202941.28	294	533.597	666.41	934.84	42961.28
158	456.701	3169	800.12	204295.08	296	527.64	590.189	924.41	38047.56
160	465.227	3194	815.06	205906.75	298	519.544	560.723	910.22	36147.98
162	475.607	3201	833.25	206358.02	300	515.432	544.472	903.02	35100.33
164	486.481	3221	852.30	207647.35	302	509.182	516.424	892.07	33292.17
166	497.268	3219	871.19	207518.42	304	501.664	481.526	878.90	31042.41

11)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 15 ในการทดลองที่ 4

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 15 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
32	0.3137	0.1450	320.10	16047.99	142	0.1984	1.0900	202.46	120653.27
34	0.3193	0.1394	325.76	15432.55	144	0.1888	1.4800	192.59	163822.79
36	0.3274	0.1322	334.04	14630.04	146	0.1805	1.9500	184.14	215847.60
38	0.3351	0.1276	341.87	14125.29	148	0.1780	2.1200	181.64	234665.08
40	0.3464	0.1222	353.49	13526.45	150	0.1737	2.5900	177.20	286689.89
42	0.3552	0.1188	362.42	13148.99	152	0.1647	3.8700	168.06	428374.47
44	0.3669	0.1151	374.31	12738.33	154	0.1633	4.2000	166.58	464902.53
46	0.3790	0.1107	386.71	12247.97	156	0.1622	4.5000	165.48	498109.85
48	0.3825	0.1088	390.32	12042.08	158	0.1613	4.7800	164.62	529103.35
50	0.3905	0.1057	398.49	11701.15	160	0.1610	5.2300	164.27	578914.33
52	0.3925	0.1034	400.48	11441.03	162	0.1560	7.0800	159.18	783692.83
54	0.4030	0.1015	411.22	11230.72	164	0.1543	8.2600	157.48	914308.30
56	0.4091	0.0991	417.38	10972.81	166	0.1528	9.8900	155.94	1094734.76
58	0.4133	0.0978	421.67	10828.91	168	0.1514	11.8000	154.52	1306154.71
60	0.4165	0.0961	425.01	10637.41	170	0.1500	13.9200	153.05	1540819.80
62	0.4190	0.0935	427.56	10350.72	172	0.1497	15.9700	152.75	1767736.51

64	0.4205	0.0916	429.07	10140.41	174	0.1493	17.7600	152.31	1965873.53
66	0.4212	0.0904	429.75	10003.15	176	0.1500	19.2600	153.04	2131910.15
68	0.4220	0.0893	430.57	9881.39	178	0.1488	20.8900	151.79	2312336.61
70	0.4224	0.0882	430.95	9759.63	180	0.1485	22.4100	151.52	2480587.04
72	0.4229	0.0874	431.54	9669.97	182	0.1483	24.0500	151.33	2662120.41
74	0.4228	0.0866	431.35	9588.06	184	0.1482	24.7200	151.18	2736283.43
76	0.4228	0.0863	431.39	9547.11	186	0.1481	25.1900	151.07	2788308.24
78	0.4227	0.0855	431.31	9461.87	188	0.1480	25.3700	150.97	2808232.63
80	0.4227	0.0852	431.27	9435.31	190	0.1478	25.0700	150.84	2775025.31
82	0.4224	0.0849	430.95	9395.46	192	0.1478	24.1700	150.76	2675403.34
84	0.4214	0.0847	430.00	9373.32	194	0.1476	23.5200	150.60	2603454.14
86	0.4209	0.0849	429.46	9400.99	196	0.1474	22.2600	150.43	2463983.38
88	0.4204	0.0851	428.99	9415.38	198	0.1473	20.6300	150.30	2283556.93
90	0.4199	0.0863	428.39	9551.53	200	0.1472	18.8400	150.17	2085419.90
92	0.4189	0.0877	427.41	9708.71	202	0.1471	16.8800	150.07	1868465.39
94	0.4171	0.0891	425.61	9862.57	204	0.1471	15.2100	150.05	1683611.29
96	0.4149	0.0909	423.37	10056.28	206	0.1469	13.0700	149.91	1446732.38
98	0.4119	0.0922	420.25	10202.40	208	0.1471	11.3200	150.11	1253023.00
100	0.4080	0.0937	416.33	10375.07	210	0.1473	10.8500	150.33	1200998.19
102	0.4046	0.0962	412.86	10650.70	212	0.1478	8.3800	150.82	927591.23
104	0.3958	0.1000	403.87	11072.43	214	0.1482	7.0700	151.24	782585.92
106	0.3891	0.1045	397.03	11569.43	216	0.1489	6.0400	151.94	668574.11
108	0.3822	0.1089	389.94	12054.26	218	0.1496	5.0500	152.65	558989.94
110	0.3732	0.1155	380.81	12782.61	220	0.1508	4.1990	153.82	464791.83
112	0.3632	0.1237	370.60	13692.49	222	0.1519	3.4900	155.00	386311.86
114	0.3567	0.1303	363.96	14424.15	224	0.1536	2.8300	156.74	313255.75
116	0.3463	0.1402	353.35	15522.21	226	0.1551	2.4100	158.26	266765.50
118	0.3397	0.1523	346.62	16854.93	228	0.1567	2.0600	159.89	228023.62
120	0.3337	0.1641	340.49	18158.87	230	0.1591	1.7400	162.35	192602.47
122	0.3327	0.1715	339.49	18979.09	232	0.1613	1.4300	164.61	158288.24
124	0.3264	0.1857	333.00	20558.65	236	0.1673	1.0300	170.71	114011.81
126	0.3204	0.1991	326.87	22033.06	238	0.1712	0.8521	174.71	94320.97
128	0.3193	0.2765	325.82	30610.51	240	0.1745	0.7370	178.03	81579.32
130	0.2625	0.3064	267.88	33920.17	242	0.1785	0.6281	182.10	69525.07
132	0.2481	0.3878	253.18	42926.00	244	0.1829	0.5262	186.62	58240.11
134	0.2385	0.4521	243.38	50041.22	246	0.1879	0.4396	191.71	48662.01
136	0.2205	0.6441	225.03	71292.80	248	0.1923	0.3773	196.22	41759.32
138	0.2165	0.7068	220.93	78232.03	250	0.1972	0.3205	201.18	35472.06
140	0.2115	0.7711	215.76	85351.68					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 15 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
38.7	5.061	0.008253	7158.88	658.97	172	0.2431	14.368	343.87	1147223.04
40	5.082	0.008702	7188.59	694.82	174	0.24677	14.608	349.06	1166386.01
42	4.931	0.00849	6975.00	677.89	176	0.24967	14.706	353.16	1174210.89
44	4.984	0.0084	7049.97	670.70	178	0.25264	14.732	357.36	1176286.87
46	5.034	0.00831	7120.69	663.52	180	0.25514	14.69	360.90	1172933.35
48	5.096	0.00816	7208.39	651.54	182	0.25781	14.809	364.68	1182434.99
50	5.157	0.00801	7294.68	639.56	184	0.26049	14.684	368.47	1172454.28
52	5.214	0.00782	7375.30	624.39	186	0.26272	14.682	371.62	1172294.59

54	5.272	0.007662	7457.35	611.78	188	0.26463	14.39	374.32	1148979.64
56	5.308	0.007535	7508.27	601.64	190	0.26681	14.402	377.41	1149937.79
58	5.362	0.007325	7584.65	584.87	192	0.26767	14.205	378.62	1134208.19
60	5.414	0.007175	7658.21	572.89	194	0.26818	14.114	379.35	1126942.23
62	5.465	0.006993	7730.35	558.36	196	0.2683	14.075	379.52	1123828.25
64	5.501	0.006863	7781.27	547.98	198	0.26812	14.13	379.26	1128219.76
66	5.54	0.006638	7836.44	530.02	200	0.26703	14.012	377.72	1118797.97
68	5.564	0.006422	7870.39	512.77	202	0.26599	14.022	376.25	1119596.43
70	5.586	0.006301	7901.51	503.11	204	0.26455	14.097	374.21	1125584.85
72	5.603	0.006153	7925.55	491.29	206	0.26257	14.187	371.41	1132770.97
74	5.614	0.00597	7941.11	476.68	208	0.26031	14.23	368.21	1136204.33
76	5.624	0.005822	7955.26	464.86	210	0.25806	14.298	365.03	1141633.84
78	5.636	0.005667	7972.23	452.49	212	0.25514	14.081	360.90	1124307.32
80	5.647	0.00555	7987.79	443.14	214	0.25246	13.988	357.11	1116881.67
82	5.659	0.005458	8004.77	435.80	216	0.2497	13.789	353.21	1100992.38
84	5.676	0.005371	8028.81	428.85	218	0.24634	13.532	348.45	1080472.03
86	5.767	0.005318	8157.53	424.62	220	0.24382	12.946	344.89	1033682.45
88	5.904	0.005349	8351.32	427.09	222	0.24102	12.704	340.93	1014359.79
90	6.41	0.005528	9067.07	441.39	224	0.23668	11.987	334.79	957110.42
92	7.065	0.005763	9993.58	460.15	226	0.23594	10.984	333.74	877025.18
94	7.657	0.006029	10830.98	481.39	228	0.23202	10.236	328.20	817300.60
96	8.007	0.006259	11326.06	499.75	230	0.23112	9.652	326.92	770670.71
98	8.267	0.006545	11693.83	522.59	232	0.22741	8.749	321.68	698570.04
100	8.435	0.006843	11931.47	546.38	234	0.22529	8.134	318.68	649464.94
102	8.499	0.00719	12022.00	574.09	236	0.22382	7.504	316.60	599162.14
104	8.458	0.00753	11964.01	601.24	238	0.0223	6.728	31.54	537201.88
106	8.305	0.007901	11747.58	630.86	240	0.21851	6.03	309.09	481469.58
108	8.038	0.008212	11369.91	655.69	242	0.21698	5.436	306.92	434041.23
110	7.76	0.008358	10976.67	667.35	244	0.21521	4.77	304.42	380864.00
112	7.045	0.008417	9965.29	672.06	246	0.21437	4.296	303.23	343017.13
114	7.007	0.008337	9911.54	665.67	248	0.2138	3.747	302.42	299181.84
116	6.725	0.0082	9512.64	654.73	250	0.21372	3.002	302.31	239696.80
118	6.484	0.008006	9171.74	639.24	252	0.21453	2.39	303.46	190831.23
122	0.34578	0.35191	489.11	28098.50	254	0.21669	1.892	306.51	151068.07
124	0.26648	0.87917	376.94	70197.95	256	0.22077	1.415	312.28	112981.67
126	0.24244	1.417	342.94	113141.36	258	0.22644	1.116	320.30	89107.80
128	0.23351	1.86	330.30	148513.00	260	0.2332	0.87466	329.87	69837.84
130	0.22977	2.263	325.01	180690.82	262	0.24838	0.6106	351.34	48753.79
132	0.22528	2.717	318.66	216940.77	264	0.25309	0.44042	358.00	35165.64
134	0.22282	3.268	315.18	260935.75	266	0.27897	0.31596	394.61	25228.05
136	0.22081	4.096	312.34	327047.99	268	0.2996	0.19888	423.79	15879.71
138	0.22098	4.652	312.58	371442.20	270	0.31989	0.13695	452.49	10934.87
140	0.21982	5.102	310.94	407372.77	272	0.35117	0.09656	496.74	7709.90
142	0.21957	5.746	310.59	458793.40	274	0.376	0.07981	531.86	6372.49
144	0.21997	6.496	311.15	518677.68	276	0.40887	0.0615	578.35	4910.51
146	0.22088	7.278	312.44	581117.01	278	0.42578	0.06132	602.27	4896.14
148	0.22129	7.855	313.02	627187.98	280	0.43278	0.04532	612.18	3618.61
150	0.22235	8.607	314.52	687231.95	282	0.43284	0.3811	612.26	30429.20
152	0.2232	9.368	315.72	747994.53	284	0.42218	0.03325	597.18	2654.87
154	0.22524	10.186	318.61	813308.31	286	0.40847	0.02932	577.79	2341.08
156	0.22677	10.899	320.77	870238.30	288	0.39577	0.02663	559.82	2126.29

158	0.22832	11.458	322.96	914872.05	290	0.37714	0.0235	533.47	1876.37
160	0.23029	12.01	325.75	958946.87	292	0.35587	0.02075	503.39	1656.80
162	0.23211	12.426	328.32	992162.69	294	0.34317	0.01916	485.42	1529.84
164	0.23428	13.071	331.39	1043663.16	296	0.33335	0.01775	471.53	1417.26
166	0.23656	13.501	334.62	1077996.81	298	0.32101	0.01623	454.07	1295.90
168	0.23918	13.992	338.32	1117201.05	300	0.3146	0.01466	445.01	1170.54
170	0.24141	14.45	341.48	1153770.39	302	0.30638	0.01342	433.38	1071.53

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 15 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
29	0.640	0.959	790.31	87661.71	142	0.829	1.216	1024.37	111140.51
32	0.642	0.979	792.72	89480.17	144	0.831	1.261	1027.09	115253.44
34	0.646	0.955	798.49	87289.63	146	0.834	1.334	1030.69	121925.52
36	0.653	0.937	806.96	85634.86	148	0.840	1.374	1037.74	125581.46
38	0.662	0.917	817.75	83769.14	150	0.846	1.424	1044.96	130151.38
40	0.670	0.901	828.11	82349.54	152	0.850	1.457	1050.11	133167.53
42	0.680	0.873	840.15	79779.69	154	0.855	1.509	1056.56	137920.25
44	0.687	0.858	848.95	78421.51	156	0.867	1.589	1071.93	145232.12
46	0.696	0.840	859.67	76772.41	158	0.878	1.644	1084.96	150259.04
48	0.703	0.823	868.43	75221.92	160	0.898	1.722	1109.79	157388.12
50	0.710	0.812	877.49	74224.95	162	0.919	1.794	1135.63	163968.81
52	0.716	0.803	884.91	73355.48	164	0.942	1.859	1164.07	169909.70
54	0.726	0.785	897.66	71761.94	166	0.967	1.934	1195.49	176764.59
56	0.736	0.788	909.11	72016.76	168	0.992	1.988	1226.21	181700.10
58	0.745	0.787	920.58	71937.06	170	1.011	2.084	1249.32	190474.35
60	0.753	0.743	930.40	67927.32	172	1.064	2.040	1314.81	186452.82
62	0.755	0.743	933.43	67868.92	174	1.084	2.266	1339.53	207108.87
64	0.764	0.732	944.67	66873.50	176	1.119	2.290	1382.78	209302.43
66	0.770	0.725	952.04	66219.18	178	1.187	2.256	1466.81	206194.89
68	0.777	0.720	960.58	65793.63	180	1.227	2.251	1516.23	205737.89
70	0.785	0.707	970.24	64577.57	182	1.334	2.201	1648.46	201167.97
72	0.793	0.704	979.93	64344.50	184	1.391	2.194	1718.89	200528.18
74	0.797	0.697	984.55	63724.46	186	1.502	2.087	1856.06	190748.55
76	0.803	0.696	992.05	63587.18	188	1.741	1.941	2151.40	177404.38
78	0.809	0.683	999.82	62379.62	190	1.924	1.733	2377.53	158393.50
80	0.812	0.688	1002.80	62907.72	192	2.136	1.637	2639.51	149619.25
82	0.817	0.688	1009.23	62910.28	194	2.201	1.597	2719.83	145963.31
84	0.821	0.686	1014.53	62716.61	196	2.241	1.605	2769.26	146694.50
86	0.826	0.686	1020.17	62712.86	198	2.231	1.650	2756.90	150807.43
88	0.832	0.683	1028.25	62419.01	200	2.211	1.672	2732.19	152818.20
90	0.835	0.684	1031.94	62499.26	202	2.167	1.733	2677.82	158393.50
92	0.837	0.656	1034.21	59957.47	204	2.132	1.756	2634.56	160495.66
94	0.841	0.693	1039.64	63336.38	206	2.071	1.827	2559.19	166984.95
96	0.843	0.694	1041.46	63431.80	208	2.013	1.871	2487.51	171006.49
98	0.845	0.695	1044.13	63526.40	210	1.965	1.890	2428.20	172743.06
100	0.845	0.703	1043.91	64233.55	212	1.910	1.937	2360.23	177038.78
102	0.847	0.709	1046.30	64801.68	214	1.865	1.939	2304.63	177221.58
104	0.847	0.716	1046.80	65437.08	216	1.805	1.948	2230.48	178044.17
106	0.847	0.724	1046.72	66202.45	218	1.765	1.961	2181.05	179232.34
108	0.847	0.728	1046.37	66554.06	220	1.704	1.947	2105.67	177952.77

110	0.845	0.746	1043.77	68189.64	222	1.650	1.921	2038.95	175576.41
112	0.843	0.760	1041.72	69484.75	224	1.610	1.868	1989.52	170732.29
114	0.842	0.777	1040.18	71051.05	226	1.563	1.815	1931.44	165888.17
116	0.840	0.791	1037.39	72265.46	228	1.523	1.766	1882.01	161409.65
118	0.838	0.811	1035.19	74142.51	230	1.483	1.720	1832.58	157205.32
120	0.835	0.833	1031.94	76161.68	232	1.453	1.647	1795.51	150533.23
122	0.832	0.861	1028.35	78709.87	234	1.410	1.519	1742.37	138843.37
124	0.831	0.883	1027.25	80660.22	236	1.368	1.492	1690.47	136366.48
126	0.830	0.903	1025.06	82489.56	238	1.347	1.422	1664.52	129968.58
128	0.828	0.931	1022.72	85130.06	240	1.317	1.336	1627.45	122108.32
130	0.826	0.955	1020.42	87258.09	242	1.285	1.235	1587.91	112877.08
132	0.826	0.984	1020.36	89952.61	244	1.262	1.203	1559.48	109952.33
134	0.823	1.026	1017.01	93774.80	246	1.237	1.125	1528.59	102823.25
136	0.825	1.084	1019.26	99075.91	248	1.210	1.047	1495.23	95694.17
138	0.826	1.130	1021.22	103280.24	250	1.198	0.984	1480.40	89936.07
140	0.827	1.165	1021.75	106515.74	252	1.152	0.833	1423.55	76097.43

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 15 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
32.7	0.35195	4.065	634.01	254862.55	169	0.67749	3.894	1220.44	244141.40
35	0.35315	4.047	636.17	253734.01	171	0.70061	3.977	1262.09	249345.23
37	0.35459	3.958	638.77	248153.99	173	0.72045	3.98	1297.83	249533.32
39	0.35565	3.937	640.68	246837.36	175	0.75031	4.062	1351.62	254674.46
41	0.35774	3.882	644.44	243389.03	177	0.78045	4.097	1405.92	256868.85
43	0.35991	3.741	648.35	234548.78	179	0.82083	4.033	1478.66	252856.25
45	0.36105	3.69	650.40	231351.25	181	0.87331	3.978	1573.20	249407.93
47	0.36462	3.594	656.83	225332.35	183	0.9364	3.873	1686.85	242824.76
49	0.36637	3.516	659.99	220442.00	185	1.022	3.781	1841.05	237056.66
51	0.36877	3.456	664.31	216680.19	187	1.142	3.542	2057.22	222072.12
53	0.37159	3.384	669.39	212166.02	189	1.352	3.151	2435.52	197557.66
55	0.37399	3.302	673.71	207024.88	191	1.692	2.735	3048.00	171475.79
57	0.37655	3.28	678.32	205645.55	193	2.081	2.38	3748.76	149218.42
59	0.37899	3.18	682.72	199375.87	195	2.304	2.302	4150.47	144328.07
61	0.38187	3.117	687.91	195425.97	197	2.403	2.33	4328.81	146083.58
63	0.38447	3.081	692.59	193168.89	199	2.448	2.365	4409.88	148277.97
65	0.38687	3.017	696.92	189156.29	201	2.42	2.486	4359.44	155864.28
67	0.38971	2.969	702.03	186146.84	203	2.352	2.646	4236.94	165895.77
69	0.39303	2.898	708.01	181695.37	205	2.26	2.783	4071.21	174485.24
71	0.39542	2.845	712.32	178372.44	207	2.163	2.904	3896.47	182071.55
73	0.39798	2.818	716.93	176679.62	209	2.078	3.093	3743.35	193921.25
75	0.40185	2.73	723.90	171162.30	211	2.001	3.212	3604.64	201382.17
77	0.40482	2.714	729.25	170159.16	213	1.912	3.306	3444.32	207275.67
79	0.40733	2.663	733.77	166961.62	215	1.838	3.447	3311.01	216115.92
81	0.41017	2.628	738.89	164767.23	217	1.764	3.562	3177.71	223326.05
83	0.41353	2.573	744.94	161318.90	219	1.694	3.652	3051.61	228968.77
85	0.41769	2.551	752.44	159939.57	221	1.635	3.71	2945.32	232605.18
87	0.42047	2.483	757.44	155676.19	223	1.564	3.721	2817.42	233294.85
89	0.424	2.471	763.80	154923.83	225	1.515	3.786	2729.15	237370.14
91	0.42797	2.431	770.95	152415.96	227	1.461	3.791	2631.87	237683.62

93	0.43181	2.391	777.87	149908.08	229	1.411	3.851	2541.80	241445.43
95	0.43519	2.345	783.96	147024.03	231	1.361	3.735	2451.73	234172.60
97	0.43971	2.336	792.10	146459.76	233	1.317	3.668	2372.47	229971.92
99	0.44246	2.307	797.06	144641.55	235	1.278	3.635	2302.21	227902.92
101	0.44661	2.291	804.53	143638.40	237	1.231	3.49	2217.55	218811.88
103	0.44926	2.263	809.31	141882.89	239	1.197	3.451	2156.30	216366.71
105	0.45435	2.24	818.48	140440.86	241	1.16	3.337	2089.65	209219.27
107	0.45785	2.238	824.78	140315.47	243	1.128	3.174	2032.00	198999.69
109	0.46208	2.225	832.40	139500.41	245	1.093	3.087	1968.95	193545.07
111	0.46607	2.218	839.59	139061.53	247	1.064	2.992	1916.71	187588.87
113	0.47013	2.206	846.90	138309.17	249	1.036	2.847	1866.27	178497.83
115	0.47419	2.212	854.22	138685.35	251	1.009	2.712	1817.63	170033.76
117	0.47833	2.209	861.67	138497.26	253	0.983726	2.585	1772.10	162071.27
119	0.48205	2.223	868.37	139375.02	255	0.957758	2.433	1725.32	152541.35
121	0.48645	2.222	876.30	139312.32	257	0.936028	2.357	1686.18	147776.39
123	0.49081	2.244	884.16	140691.65	259	0.915007	2.175	1648.31	136365.57
125	0.49597	2.258	893.45	141569.41	261	0.888824	2.084	1601.15	130660.16
127	0.50024	2.273	901.14	142509.86	263	0.871172	1.99	1569.35	124766.66
129	0.50382	2.298	907.59	144077.28	265	0.851169	1.892	1533.31	118622.37
131	0.50884	2.327	916.63	145895.49	267	0.834213	1.815	1502.77	113794.72
133	0.51397	2.356	925.88	147713.70	269	0.816055	1.714	1470.06	107462.34
135	0.518	2.417	933.14	151538.20	271	0.799782	1.611	1440.74	101004.57
137	0.52308	2.472	942.29	154986.53	273	0.784816	1.531	1413.78	95988.82
139	0.52831	2.505	951.71	157055.52	275	0.768047	1.444	1383.58	90534.20
141	0.53375	2.569	961.51	161068.12	277	0.753208	1.361	1356.84	85330.36
143	0.53895	2.634	970.88	165143.41	279	0.740035	1.29	1333.11	80878.89
145	0.54494	2.728	981.67	171036.91	281	0.728615	1.226	1312.54	76866.29
147	0.55166	2.791	993.77	174986.81	283	0.716087	1.157	1289.97	72540.21
149	0.55807	2.895	1005.32	181507.28	285	0.705101	1.094	1270.18	68590.32
151	0.56582	2.995	1019.28	187776.96	287	0.694057	1.037	1250.29	65016.60
153	0.57384	3.07	1033.73	192479.22	289	0.683379	0.98377	1231.05	61679.25
155	0.58326	3.176	1050.70	199125.08	291	0.673541	0.92782	1213.33	58171.36
157	0.59183	3.292	1066.13	206397.91	293	0.664562	0.87956	1197.16	55145.61
159	0.60275	3.412	1085.81	213921.53	295	0.65672	0.82478	1183.03	51711.08
161	0.6142	3.482	1106.43	218310.31	297	0.648848	0.78519	1168.85	49228.91
163	0.62753	3.592	1130.45	225206.96	299	0.641326	0.73748	1155.30	46237.65
165	0.64325	3.699	1158.76	231915.52	301	0.634116	0.6965	1142.31	43668.33
167	0.65782	3.779	1185.01	236931.26					

12)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 16 ในการทดลองที่ 4

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 16 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
32	0.2728	0.2089	225.17	28589.65	144	0.3078	0.2351	254.02	32163.70
34	0.2733	0.2054	225.58	28102.53	146	0.2962	0.2776	244.51	37980.42
36	0.2742	0.2010	226.30	27508.68	148	0.2824	0.3376	233.06	46191.70
38	0.2734	0.1942	225.64	26574.12	150	0.2748	0.3850	226.83	52677.54
40	0.2779	0.1897	229.38	25952.90	152	0.2607	0.4984	215.19	68199.74
42	0.2800	0.1828	231.12	25016.97	154	0.2488	0.6125	205.39	83804.05
44	0.2843	0.1744	234.64	23862.11	156	0.2380	0.7696	196.42	105303.07

46	0.2884	0.1676	238.06	22938.50	158	0.2278	0.9430	188.05	129037.93
48	0.2927	0.1593	241.58	21802.79	160	0.2153	1.2580	177.73	172134.50
50	0.2960	0.1513	244.33	20708.14	162	0.2058	1.6700	169.84	228509.23
52	0.3024	0.1443	249.58	19746.21	164	0.1972	2.0950	162.81	286662.78
54	0.3069	0.1383	253.32	18925.22	166	0.1903	2.6510	157.08	362741.30
56	0.3115	0.1333	257.08	18241.06	168	0.1849	3.3920	152.63	464133.72
58	0.3165	0.1274	261.24	17431.01	170	0.1788	4.3900	147.57	600691.93
60	0.3208	0.1227	264.79	16787.90	172	0.1724	5.7760	142.33	790340.91
62	0.3253	0.1174	268.48	16058.59	174	0.1684	7.1580	139.02	979442.57
64	0.3309	0.1126	273.13	15410.01	176	0.1655	8.5920	136.57	1175659.48
66	0.3370	0.1070	278.12	14643.75	178	0.1625	10.3150	134.12	1411420.80
68	0.3392	0.1043	279.96	14268.83	180	0.1608	11.5660	132.74	1582597.47
70	0.3446	0.1005	284.46	13757.08	182	0.1586	13.3020	130.88	1820137.61
72	0.3485	0.0971	287.65	13286.38	184	0.1569	14.8520	129.50	2032227.02
74	0.3534	0.0926	291.68	12667.90	186	0.1556	15.6790	128.43	2145386.98
76	0.3575	0.0896	295.12	12262.87	188	0.1541	17.9370	127.16	2454353.35
78	0.3613	0.0871	298.24	11923.53	190	0.1527	17.9020	126.02	2449564.24
80	0.3641	0.0846	300.49	11578.71	192	0.1515	18.9000	125.07	2586122.45
82	0.3690	0.0829	304.58	11344.73	194	0.1506	19.0090	124.28	2601037.12
84	0.3730	0.0800	307.85	10950.66	196	0.1500	19.5240	123.79	2671505.54
86	0.3767	0.0779	310.97	10655.10	198	0.1489	20.2100	122.89	2765372.21
88	0.3802	0.0759	313.84	10381.43	200	0.1471	20.0360	121.38	2741563.46
90	0.3836	0.0738	316.63	10099.56	202	0.1458	19.9600	120.38	2731164.24
92	0.3860	0.0725	318.61	9921.68	204	0.1457	19.7900	120.23	2707902.82
94	0.3895	0.0706	321.46	9661.70	206	0.1441	19.5900	118.98	2680536.44
96	0.3916	0.0696	323.21	9522.13	208	0.1440	19.3550	118.85	2648380.95
98	0.3946	0.0683	325.68	9346.99	210	0.1421	19.3520	117.32	2647970.46
100	0.3964	0.0674	327.16	9215.63	212	0.1412	19.0220	116.51	2602815.94
102	0.3982	0.0665	328.68	9104.79	214	0.1403	18.6350	115.81	2549862.00
104	0.4052	0.0662	334.47	9063.74	216	0.1395	18.0770	115.15	2473509.82
106	0.4065	0.0661	335.56	9050.06	218	0.1385	17.5640	114.34	2403315.06
108	0.4068	0.0667	335.77	9129.42	220	0.1378	17.4080	113.72	2381969.29
110	0.4064	0.0675	335.46	9236.15	222	0.1360	16.7450	112.27	2291249.76
112	0.4058	0.0695	334.96	9511.18	224	0.1361	16.5900	112.37	2270040.82
114	0.4025	0.0720	332.26	9849.16	226	0.1354	15.5780	111.79	2131566.96
116	0.3993	0.0754	329.56	10315.76	228	0.1345	15.0710	111.04	2062193.20
118	0.3953	0.0795	326.30	10883.61	230	0.1339	14.6130	110.49	1999524.20
120	0.3873	0.0834	319.70	11409.04	232	0.1334	13.8300	110.13	1892384.84
122	0.3843	0.0876	317.20	11983.74	234	0.1328	13.5610	109.62	1855577.07
124	0.3803	0.0905	313.94	12388.76	236	0.1319	12.8950	108.84	1764447.04
126	0.3763	0.0957	310.59	13092.07	238	0.1311	12.4150	108.25	1698767.74
128	0.3721	0.1008	307.13	13788.55	240	0.1305	12.1760	107.72	1666064.92
130	0.3663	0.1075	302.31	14710.79	242	0.1297	11.7970	107.03	1614205.64
132	0.3609	0.1169	297.91	15997.01	244	0.1290	11.3660	106.50	1555231.10
134	0.3538	0.1276	292.03	17463.85	246	0.1285	10.8730	106.02	1487772.98
136	0.3451	0.1426	284.81	19516.33	248	0.1278	10.4470	105.45	1429482.60
138	0.3373	0.1580	278.42	21624.91	250	0.1267	10.2160	104.58	1397874.44
140	0.3289	0.1788	271.45	24469.64	252	0.1254	9.3550	103.51	1280062.20
142	0.3172	0.2045	261.83	27978.01					



b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 16 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
28	0.1916	0.3129	165.56	40895.58	142	0.1813	1.7860	156.72	233397.80
30	0.1918	0.3120	165.75	40771.04	144	0.1813	2.0060	156.68	262147.81
32	0.1923	0.3098	166.20	40485.24	146	0.1812	2.2460	156.60	293511.46
34	0.1934	0.3052	167.11	39877.57	148	0.1811	2.5340	156.51	331147.84
36	0.1947	0.3002	168.28	39226.77	150	0.1811	2.7400	156.49	358068.30
38	0.1964	0.2942	169.70	38440.07	152	0.1809	2.9900	156.36	390738.76
40	0.1976	0.2900	170.74	37891.21	154	0.1808	3.0810	156.24	402630.81
42	0.1993	0.2835	172.28	37049.61	156	0.1805	3.2340	156.03	422625.14
44	0.2009	0.2779	173.66	36317.80	158	0.1802	3.3560	155.71	438568.33
46	0.2029	0.2701	175.33	35302.40	160	0.1797	3.4430	155.33	449937.65
48	0.2041	0.2637	176.37	34464.73	162	0.1793	3.5790	154.93	467710.38
50	0.2060	0.2594	178.01	33898.87	164	0.1788	3.5050	154.50	458039.92
52	0.2077	0.2537	179.49	33148.76	166	0.1780	3.5510	153.80	464051.29
54	0.2095	0.2482	181.03	32439.16	168	0.1772	3.5570	153.16	464835.38
56	0.2109	0.2433	182.24	31796.20	170	0.1763	3.5670	152.33	466142.20
58	0.2126	0.2380	183.74	31103.59	172	0.1753	3.5410	151.51	462744.47
60	0.2137	0.2356	184.65	30792.57	174	0.1742	3.5060	150.51	458170.60
62	0.2151	0.2301	185.91	30075.12	176	0.1730	3.4910	149.51	456210.38
64	0.2157	0.2284	186.46	29851.66	178	0.1716	3.4570	148.34	451767.19
68	0.2171	0.2236	187.64	29215.24	180	0.1703	3.4570	147.14	451767.19
70	0.2178	0.2213	188.27	28925.12	182	0.1700	3.4040	146.91	444841.05
72	0.2183	0.2192	188.63	28649.38	184	0.1672	3.3600	144.53	439091.05
74	0.2185	0.2182	188.82	28514.78	186	0.1664	3.3070	143.85	432164.91
76	0.2186	0.2177	188.93	28449.44	188	0.1645	3.2410	142.15	423539.91
78	0.2185	0.2171	188.84	28369.73	190	0.1631	3.2040	140.94	418704.68
80	0.2182	0.2162	188.61	28252.11	192	0.1617	3.1770	139.73	415176.27
82	0.2179	0.2174	188.28	28405.01	194	0.1602	3.0910	138.46	403937.63
84	0.2173	0.2181	187.78	28504.33	196	0.1588	3.0810	137.26	402630.81
86	0.2166	0.2194	187.20	28675.52	198	0.1571	3.0830	135.80	402892.18
88	0.2158	0.2209	186.48	28868.93	200	0.1559	2.9920	134.73	391000.13
90	0.2146	0.2235	185.50	29200.86	202	0.1545	2.9500	133.50	385511.49
92	0.2135	0.2270	184.53	29662.17	204	0.1533	2.9110	132.52	380414.90
94	0.2122	0.2307	183.38	30145.69	206	0.1519	2.8670	131.29	374664.90
96	0.2118	0.2338	183.05	30549.50	208	0.1507	2.8350	130.25	370483.08
98	0.2095	0.2381	181.09	31111.43	210	0.1499	2.7890	129.54	364471.71
100	0.2088	0.2447	180.48	31975.24	212	0.1486	2.7450	128.46	358721.71
102	0.2089	0.2552	180.54	33347.40	214	0.1474	2.7070	127.35	353755.80
106	0.2027	0.2707	175.18	35372.97	216	0.1465	2.6550	126.62	346960.34
108	0.2017	0.2760	174.34	36070.81	218	0.1456	2.6310	125.79	343823.98
110	0.1995	0.2948	172.40	38525.01	220	0.1460	2.6080	126.15	340818.29
112	0.1972	0.3183	170.39	41593.42	222	0.1435	2.6700	123.99	348920.57
114	0.1957	0.3345	169.12	43706.55	224	0.1426	2.6220	123.26	342647.84
116	0.1933	0.3665	167.04	47888.37	226	0.1419	2.5970	122.60	339380.79
118	0.1926	0.3844	166.44	50238.03	228	0.1407	2.5230	121.62	329710.34
120	0.1907	0.4259	164.84	55656.10	230	0.1398	2.4670	120.86	322392.15
122	0.1891	0.4690	163.44	61289.79	232	0.1390	2.4430	120.14	319255.79
124	0.1879	0.5172	162.43	67584.74	234	0.1381	2.3750	119.35	310369.42
126	0.1863	0.5810	161.05	75928.77	236	0.1372	2.3210	118.59	303312.60

128	0.1854	0.6555	160.21	85663.27	238	0.1363	2.2700	117.80	296647.82
130	0.1841	0.7541	159.15	98548.50	240	0.1357	2.2500	117.26	294034.19
132	0.1832	0.8789	158.33	114853.67	242	0.1346	2.1650	116.34	282926.23
134	0.1826	1.0130	157.81	132380.73	244	0.1350	2.1100	116.65	275738.73
136	0.1822	1.1630	157.46	151983.00	246	0.1333	2.0450	115.17	267244.41
138	0.1817	1.3780	157.07	180079.60	248	0.1324	1.9830	114.45	259142.13
140	0.1815	1.5570	156.89	203471.66	250	0.1318	1.9210	113.89	251039.85

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 16 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
36	0.4262	0.3486	582.56	28806.11	144	0.3640	3.0990	497.58	256059.81
38	0.4296	0.3450	587.28	28505.35	146	0.3619	3.7670	494.70	311254.37
40	0.4337	0.3419	592.87	28250.86	148	0.3608	4.3750	493.15	361491.34
42	0.4468	0.3206	610.76	26485.95	150	0.3607	5.0130	493.06	414207.11
44	0.4508	0.3151	616.19	26035.64	152	0.3611	5.6700	493.61	468492.78
46	0.4571	0.3049	624.80	25192.85	154	0.3627	6.3990	495.83	528727.56
48	0.4637	0.2973	633.81	24564.89	156	0.3637	6.8010	497.15	561943.45
50	0.4748	0.2837	648.96	23437.86	158	0.3657	7.2190	499.85	596481.37
52	0.4790	0.2767	654.78	22862.78	160	0.3680	7.7770	502.98	642587.01
54	0.4896	0.2701	669.24	22314.96	162	0.3698	8.0170	505.47	662417.39
56	0.4987	0.2595	681.72	21439.12	164	0.3710	8.0590	507.17	665887.71
58	0.5059	0.2533	691.45	20930.14	166	0.3732	8.1220	510.12	671093.18
60	0.5123	0.2465	700.27	20367.45	168	0.3761	8.4980	514.12	702160.78
62	0.5213	0.2392	712.57	19765.11	170	0.3779	8.5920	516.54	709927.68
64	0.5297	0.2326	724.07	19219.77	172	0.3796	8.8170	518.88	728518.66
66	0.5376	0.2269	734.91	18747.97	174	0.3811	8.5910	520.86	709845.05
68	0.5468	0.2197	747.43	18154.71	176	0.3837	8.2680	524.54	683156.66
70	0.5559	0.2146	759.89	17727.54	178	0.3851	8.3040	526.40	686131.22
72	0.5630	0.2097	769.60	17327.62	180	0.3872	8.2310	529.32	680099.48
74	0.5691	0.2051	777.90	16944.24	182	0.3903	8.1010	533.49	669358.02
76	0.5770	0.2010	788.72	16606.29	184	0.3938	7.9700	538.29	658533.94
78	0.5876	0.1965	803.22	16236.13	186	0.3968	7.8500	542.39	648618.75
80	0.5944	0.1934	812.55	15980.81	188	0.3995	7.6700	546.10	633745.96
82	0.6012	0.1891	821.76	15626.34	190	0.4009	7.6800	547.95	634572.23
84	0.6163	0.1854	842.44	15322.28	192	0.4002	7.7100	547.09	637051.03
86	0.6190	0.1829	846.16	15110.75	194	0.3972	7.4300	542.87	613915.58
88	0.6247	0.1795	853.92	14828.99	196	0.3932	7.3300	537.50	605652.92
90	0.6210	0.1780	848.78	14705.88	198	0.3908	7.3200	534.24	604826.65
92	0.6371	0.1742	870.90	14396.03	200	0.3882	7.2700	530.58	600695.33
94	0.6438	0.1720	879.99	14212.60	202	0.3856	7.2600	527.01	599869.06
96	0.6497	0.1700	888.12	14046.52	204	0.3817	7.1500	521.71	590780.13
98	0.6576	0.1682	898.81	13897.79	206	0.3785	7.1200	517.36	588301.34
100	0.6627	0.1667	905.88	13776.33	208	0.3745	6.9300	511.88	572602.28
102	0.6678	0.1659	912.84	13706.10	210	0.3710	6.8300	507.12	564339.62
104	0.6736	0.1652	920.74	13649.91	212	0.3678	6.7000	502.70	553598.17
106	0.6790	0.1652	928.07	13646.61	214	0.3650	6.6880	498.85	552606.65
108	0.6809	0.1670	930.74	13797.81	216	0.3619	6.3770	494.66	526909.78
110	0.6758	0.1706	923.72	14095.27	218	0.3575	6.3770	488.67	526909.78
112	0.6585	0.1849	900.11	15278.48	220	0.3547	6.0720	484.87	501708.67

114	0.6330	0.2091	865.26	17278.05	222	0.3507	5.8000	479.31	479234.23
116	0.6056	0.2371	827.73	19591.59	224	0.3470	5.5600	474.25	459403.85
118	0.5780	0.2721	790.01	22485.17	228	0.3416	5.0720	466.94	419082.08
120	0.5502	0.3092	752.02	25549.79	230	0.3390	4.8700	463.38	402391.50
122	0.5241	0.3629	716.40	29985.19	232	0.3362	4.6500	459.58	384213.65
124	0.4919	0.4509	672.38	37256.33	234	0.3341	4.3500	456.62	359425.68
126	0.4711	0.5310	643.88	43870.59	236	0.3314	4.0400	452.95	333811.43
128	0.4497	0.6450	614.71	53294.15	238	0.3287	3.7400	449.24	309023.45
130	0.4291	0.7990	586.51	66018.65	240	0.3260	3.4400	445.61	284235.48
132	0.4094	1.0450	559.65	86344.79	242	0.3242	3.2700	443.15	270188.96
134	0.4002	1.2210	547.08	100887.07	244	0.3230	2.9900	441.49	247053.51
136	0.3908	1.4670	534.23	121213.21	246	0.3212	2.7800	439.01	229701.93
138	0.3816	1.7900	521.67	147901.60	248	0.3200	2.5500	437.44	210697.81
140	0.3747	2.1750	512.20	179712.84	250	0.3194	2.2660	436.59	187231.86
142	0.3681	2.6000	503.12	214829.14					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 16 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1200^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
28	0.816	0.386	848.33	41934.42	152	1.030	0.519	1070.81	56383.32
30	0.838	0.368	871.21	39978.93	154	1.027	0.552	1067.70	59968.39
32	0.848	0.360	881.60	39109.82	156	1.027	0.585	1067.70	63553.46
34	0.861	0.350	895.12	38023.44	158	1.031	0.619	1071.85	67247.16
36	0.875	0.340	909.67	36937.05	160	1.036	0.652	1077.05	70832.23
38	0.890	0.329	925.27	35742.03	162	1.045	0.683	1086.41	74200.02
40	0.903	0.320	938.78	34764.28	164	1.063	0.723	1105.12	78545.55
42	0.917	0.311	953.34	33786.54	166	1.076	0.747	1118.64	81152.87
44	0.932	0.301	968.93	32700.15	168	1.099	0.775	1142.55	84194.75
46	0.949	0.291	986.61	31613.77	170	1.127	0.799	1171.66	86802.07
48	0.965	0.280	1003.24	30418.75	172	1.162	0.821	1208.05	89192.12
50	0.979	0.273	1017.79	29658.28	174	1.203	0.836	1250.67	90821.69
52	0.997	0.264	1036.51	28680.53	176	1.256	0.844	1305.77	91690.80
54	1.014	0.256	1054.18	27811.43	178	1.313	0.845	1365.03	91799.44
56	1.032	0.247	1072.89	26833.68	180	1.394	0.836	1449.24	90821.69
58	1.048	0.240	1089.53	26073.21	182	1.482	0.819	1540.73	88974.84
60	1.066	0.232	1108.24	25204.11	184	1.614	0.786	1677.96	85389.77
62	1.084	0.225	1126.95	24443.64	186	1.809	0.732	1880.68	79523.30
64	1.104	0.218	1147.75	23683.17	188	2.111	0.657	2194.65	71375.42
66	1.121	0.211	1165.42	22922.70	190	2.751	0.541	2860.01	58773.37
68	1.141	0.205	1186.21	22270.87	192	3.583	0.439	3724.98	47692.25
70	1.159	0.199	1204.93	21619.04	194	4.016	0.402	4175.14	43672.63
72	1.178	0.192	1224.68	20858.57	196	4.212	0.394	4378.91	42803.52
74	1.199	0.186	1246.51	20206.74	198	4.199	0.399	4365.39	43346.72
76	1.224	0.179	1272.50	19446.27	200	4.102	0.412	4264.55	44759.02
78	1.243	0.174	1292.26	18903.08	202	3.953	0.428	4109.64	46497.23
80	1.262	0.170	1312.01	18468.53	204	3.809	0.443	3959.94	48126.81
82	1.281	0.165	1331.76	17925.33	206	3.678	0.457	3823.74	49647.74
84	1.299	0.161	1350.47	17490.78	208	3.234	0.472	3362.15	51277.32

86	1.320	0.157	1372.31	17056.23	210	3.425	0.483	3560.72	52472.34
88	1.342	0.153	1395.18	16621.67	212	3.261	0.499	3390.22	54210.55
90	1.368	0.149	1422.21	16187.12	214	3.171	0.508	3296.65	55188.30
92	1.390	0.146	1445.08	15861.20	216	3.038	0.520	3158.38	56491.96
94	1.410	0.143	1465.87	15535.29	218	2.891	0.531	3005.56	57686.98
96	1.433	0.139	1489.78	15100.74	220	2.795	0.539	2905.75	58556.09
98	1.460	0.136	1517.85	14774.82	222	2.708	0.545	2815.31	59207.92
100	1.483	0.133	1541.77	14448.91	224	2.614	0.550	2717.58	59751.11
102	1.508	0.131	1567.76	14231.63	226	2.507	0.553	2606.34	60077.03
104	1.534	0.128	1594.79	13905.71	228	2.425	0.554	2521.09	60185.67
106	1.558	0.126	1619.74	13688.44	230	2.349	0.553	2442.08	60077.03
108	1.579	0.124	1641.57	13471.16	232	2.267	0.550	2356.83	59751.11
110	1.595	0.123	1658.20	13362.52	234	2.200	0.546	2287.18	59316.56
112	1.602	0.123	1665.48	13362.52	236	2.132	0.540	2216.48	58664.73
114	1.597	0.125	1660.28	13579.80	238	2.067	0.532	2148.91	57795.62
116	1.581	0.129	1643.65	14014.35	240	2.011	0.523	2090.69	56817.88
118	1.550	0.135	1611.42	14666.18	242	1.951	0.512	2028.31	55622.85
120	1.514	0.144	1573.99	15643.93	244	1.901	0.500	1976.33	54319.19
122	1.466	0.155	1524.09	16838.95	246	1.842	0.484	1914.99	52580.98
124	1.408	0.171	1463.79	18577.16	248	1.799	0.470	1870.29	51060.04
126	1.350	0.189	1403.50	20532.66	250	1.758	0.456	1827.66	49539.10
128	1.291	0.211	1342.16	22922.70	252	1.712	0.438	1779.84	47583.61
130	1.247	0.231	1296.41	25095.47	254	1.675	0.423	1741.37	45954.04
132	1.210	0.252	1257.95	27376.87	256	1.635	0.405	1699.79	43998.55
134	1.172	0.279	1218.44	30310.11	258	1.597	0.387	1660.28	42043.06
136	1.152	0.295	1197.65	32048.32	260	1.562	0.369	1623.90	40087.56
138	1.127	0.319	1171.66	34655.65	262	1.529	0.352	1589.59	38240.71
140	1.050	0.345	1091.61	37480.24	264	1.497	0.334	1556.32	36285.22
142	1.086	0.371	1129.03	40304.84	266	1.466	0.316	1524.09	34329.73
144	1.071	0.397	1113.44	43129.44	268	1.439	0.300	1496.02	32591.52
146	1.058	0.424	1099.92	46062.68	270	1.413	0.284	1468.99	30853.30
148	1.046	0.455	1087.45	49430.47	272	1.387	0.267	1441.96	29006.45
150	1.037	0.485	1078.09	52689.62	274	1.361	0.250	1414.93	27159.60

13)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 17 ในการทดลองที่ 4

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 17 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
32	0.297	0.871	450.27	64887.20	150	0.178	1.435	269.86	106903.70
34	0.301	0.818	456.34	60938.84	152	0.168	1.694	254.70	126198.52
36	0.307	0.781	465.43	58182.43	154	0.160	1.923	242.57	143258.41
38	0.312	0.750	473.01	55873.02	156	0.153	2.256	231.96	168066.03
40	0.318	0.720	482.11	53638.10	158	0.147	2.628	222.86	195779.05
42	0.325	0.687	492.72	51179.68	160	0.143	2.958	216.80	220363.17
44	0.331	0.660	501.82	49168.25	162	0.138	3.452	209.22	257164.87
46	0.337	0.632	510.92	47082.33	164	0.135	3.985	204.67	296871.96

48	0.343	0.605	520.01	45070.90	166	0.132	4.577	200.12	340974.39
50	0.350	0.582	530.62	43357.46	168	0.129	5.263	195.57	392079.58
52	0.356	0.561	539.72	41793.02	170	0.127	5.975	192.54	445121.69
54	0.362	0.537	548.82	40005.08	172	0.125	6.610	189.51	492427.51
56	0.368	0.517	557.91	38515.13	174	0.123	7.414	186.48	552323.39
58	0.375	0.497	568.53	37025.19	176	0.122	8.264	184.96	615646.14
60	0.380	0.481	576.11	35833.23	178	0.120	9.095	181.93	677553.44
62	0.387	0.462	586.72	34417.78	180	0.119	9.823	180.41	731787.51
64	0.393	0.445	595.82	33151.32	182	0.118	10.562	178.90	786841.06
66	0.398	0.432	603.40	32182.86	184	0.117	11.358	177.38	846140.95
68	0.405	0.417	614.01	31065.40	186	0.116	11.974	175.86	892031.32
70	0.412	0.401	624.62	29873.44	188	0.115	12.679	174.35	944551.96
72	0.416	0.391	630.69	29128.47	190	0.114	13.377	172.83	996551.11
74	0.421	0.381	638.27	28383.49	192	0.112	13.895	169.80	1035140.74
76	0.425	0.370	644.33	27564.02	194	0.112	14.398	169.80	1072612.91
78	0.429	0.361	650.39	26893.54	196	0.110	14.906	166.77	1110457.57
80	0.434	0.352	657.97	26223.07	198	0.109	15.245	165.25	1135712.17
82	0.438	0.344	664.04	25627.09	200	0.108	15.583	163.74	1160892.28
84	0.442	0.336	670.10	25031.11	202	0.107	15.835	162.22	1179665.61
86	0.445	0.330	674.65	24584.13	204	0.106	16.105	160.70	1199779.89
88	0.448	0.323	679.20	24062.65	206	0.105	16.247	159.19	1210358.52
90	0.451	0.318	683.75	23690.16	208	0.104	16.458	157.67	1226077.46
92	0.453	0.313	686.78	23317.67	210	0.103	16.595	156.16	1236283.60
94	0.455	0.308	689.81	22945.19	212	0.102	16.639	154.64	1239561.48
96	0.455	0.304	689.81	22647.20	214	0.101	16.669	153.12	1241796.40
98	0.456	0.300	691.33	22349.21	216	0.100	16.629	151.61	1238816.51
100	0.456	0.297	691.33	22125.71	218	0.100	16.599	151.61	1236581.59
102	0.455	0.295	689.81	21976.72	220	0.099	16.519	150.09	1230621.80
104	0.454	0.293	688.30	21827.72	222	0.098	16.347	148.57	1217808.25
106	0.452	0.292	685.26	21753.23	224	0.097	16.251	147.06	1210656.51
108	0.447	0.292	677.68	21753.23	226	0.096	16.125	145.54	1201269.84
110	0.445	0.292	674.65	21753.23	228	0.095	15.938	144.03	1187338.84
112	0.440	0.294	667.07	21902.22	230	0.094	15.622	142.51	1163797.67
114	0.435	0.296	659.49	22051.22	232	0.093	15.253	140.99	1136308.15
116	0.427	0.301	647.36	22423.70	234	0.093	14.923	140.99	1111724.02
118	0.419	0.310	635.23	23094.18	236	0.092	14.518	139.48	1081552.59
120	0.411	0.320	623.11	23839.15	238	0.091	14.135	137.96	1053020.11
122	0.397	0.338	601.88	25180.11	240	0.091	13.663	137.96	1017857.35
124	0.383	0.360	580.66	26819.05	242	0.090	13.097	136.45	975691.85
126	0.368	0.385	557.91	28681.48	244	0.090	12.557	136.45	935463.28
128	0.350	0.415	530.62	30916.40	246	0.089	11.971	134.93	891807.83
130	0.332	0.453	503.34	33747.30	248	0.088	11.051	133.41	823270.26
132	0.312	0.498	473.01	37099.68	250	0.088	10.282	133.41	765981.80
134	0.297	0.538	450.27	40079.58	252	0.088	9.643	133.41	718377.99
136	0.280	0.594	424.50	44251.43	254	0.088	9.042	133.41	673605.08
138	0.262	0.661	397.21	49242.75	256	0.088	8.167	133.41	608419.89
140	0.246	0.737	372.95	54904.55	258	0.088	6.761	133.41	503676.61
142	0.230	0.839	348.70	62503.28	260	0.089	6.296	134.93	469035.34
144	0.216	0.948	327.47	70623.49	262	0.090	5.068	136.45	377552.59
146	0.201	1.095	304.73	81574.60	264	0.092	3.813	139.48	284058.41
148	0.187	1.269	283.51	94537.14					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 17 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	0.3487	0.3989	359.35	43717.35	144	0.3044	16.4620	313.67	1804329.91
32	0.3511	0.3841	361.77	42098.47	146	0.3068	18.1050	316.17	1984412.16
34	0.3554	0.3690	366.24	40447.81	148	0.3103	18.7520	319.71	2055327.08
36	0.3586	0.3521	369.47	38595.47	150	0.3134	19.9750	322.96	2189374.92
38	0.3605	0.3422	371.43	37501.61	152	0.3177	20.0570	327.34	2198362.59
42	0.3694	0.3101	380.61	33990.94	154	0.3221	20.5370	331.88	2250973.35
44	0.3730	0.2960	384.36	32443.30	156	0.3272	20.3650	337.13	2232121.16
46	0.3770	0.2850	388.48	31237.64	166	0.3572	19.4110	368.10	2127557.27
48	0.3796	0.2720	391.12	29808.38	168	0.3622	18.9740	373.18	2079659.56
50	0.3837	0.2595	395.37	28441.60	170	0.3695	17.8530	380.72	1956791.51
52	0.3877	0.2492	399.49	27318.14	172	0.3752	17.3210	386.65	1898481.25
56	0.3924	0.2325	404.38	25482.24	174	0.3875	16.2930	399.30	1785806.54
58	0.3942	0.2262	406.21	24789.53	176	0.4027	15.3080	414.92	1677844.87
60	0.3905	0.2181	402.35	23905.01	178	0.4105	14.7840	422.95	1620411.45
62	0.4012	0.2082	413.41	22819.92	180	0.4230	14.0550	435.89	1540508.86
64	0.4101	0.1920	422.56	21041.02	182	0.4452	13.1270	458.76	1438794.72
70	0.4176	0.1740	430.31	19071.40	184	0.4645	12.5370	478.62	1374127.33
72	0.4201	0.1670	432.84	18304.16	186	0.4879	11.7890	502.74	1292142.22
74	0.4268	0.1584	439.77	17362.65	188	0.5069	11.3550	522.31	1244573.33
76	0.4290	0.1492	442.08	16347.70	190	0.5227	10.9680	538.56	1202155.90
78	0.4365	0.1451	449.78	15907.08	192	0.5350	10.4350	551.24	1143736.03
80	0.4403	0.1343	453.73	14721.15	194	0.5407	10.2550	557.12	1124007.00
86	0.4522	0.1081	465.99	11852.77	196	0.5452	9.7500	561.83	1068656.09
88	0.4667	0.1071	480.95	11739.87	198	0.5451	9.2820	561.71	1017360.60
90	0.4700	0.1084	484.31	11881.26	200	0.5432	8.9230	559.73	978012.14
92	0.4705	0.1107	484.80	12134.45	202	0.5406	8.7110	557.02	954775.72
94	0.4748	0.1149	489.25	12598.09	204	0.5365	8.2550	552.79	904795.49
96	0.4730	0.1195	487.40	13096.79	206	0.5338	8.0650	550.04	883970.40
98	0.4712	0.1289	485.52	14132.57	208	0.5284	7.6460	544.48	838045.59
100	0.4669	0.1420	481.16	15567.31	210	0.5234	7.3750	539.37	808342.43
102	0.4594	0.1632	473.42	17889.85	212	0.5168	6.9730	532.49	764280.92
104	0.4494	0.1892	463.07	20731.93	214	0.5120	6.6340	527.60	727124.57
106	0.4321	0.2340	445.26	25647.75	216	0.5052	6.2050	520.62	680103.70
108	0.4167	0.3092	429.42	33887.91	218	0.4987	5.7470	513.85	629904.26
110	0.3986	0.3852	410.69	42216.85	220	0.4918	5.4370	506.72	595926.48
112	0.3722	0.5496	383.48	60236.03	222	0.4851	4.8710	499.90	533889.62
114	0.3519	0.7636	362.65	83698.24	224	0.4795	4.5610	494.13	499911.84
116	0.3351	1.0410	345.28	114099.59	226	0.4723	4.1650	486.72	456507.96
118	0.3210	1.4360	330.77	157393.86	228	0.4673	4.0980	481.57	449164.38
120	0.3114	1.9210	320.91	210552.65	230	0.4617	3.6150	475.79	396224.80
122	0.3033	2.6450	312.57	289907.22	232	0.4541	3.2520	467.95	356437.91
124	0.2975	3.6370	306.51	398636.12	234	0.4481	2.9010	461.77	317966.29
126	0.2938	4.7110	302.72	516352.70	236	0.4417	2.6220	455.15	287386.28
128	0.2914	6.0200	300.29	659826.63	238	0.4378	2.4610	451.14	269739.76
130	0.2907	7.5010	299.51	822152.75	240	0.4333	2.2560	446.49	247270.58
132	0.2919	8.9030	300.82	975820.02	242	0.4287	2.0350	441.70	223047.71
134	0.2925	10.7110	301.41	1173987.22	244	0.4242	1.8350	437.11	201126.56
136	0.2935	12.4020	302.39	1359330.55	246	0.4216	1.7030	434.42	186658.60

138	0.2958	13.5930	304.80	1489871.00	248	0.4189	1.5650	431.67	171533.00
140	0.2979	14.5540	306.99	1595202.13	250	0.4175	1.4700	430.22	161120.46
142	0.3020	16.2110	311.17	1776818.86					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 17 ในการทดลองที่ 4 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
32	0.4799	0.9802	737.10	72074.32	150	0.8483	0.5183	1302.99	38107.81
34	0.4812	0.9712	739.13	71412.53	152	0.8577	0.5280	1317.35	38827.69
36	0.4848	0.9594	744.57	70547.07	154	0.8677	0.5383	1332.72	39578.45
38	0.4882	0.9455	749.84	69522.03	156	0.8771	0.5485	1347.27	40332.88
40	0.4935	0.9244	758.01	67971.25	158	0.8896	0.5596	1366.35	41147.61
42	0.4981	0.8988	765.10	66088.84	160	0.9018	0.5690	1385.13	41838.81
44	0.5053	0.8736	776.18	64233.63	162	0.9142	0.5798	1404.12	42631.48
46	0.5098	0.8565	783.07	62976.24	164	0.9265	0.5885	1423.09	43275.62
48	0.5156	0.8331	791.87	61260.74	166	0.9446	0.5995	1450.89	44081.53
50	0.5288	0.8024	812.27	58998.91	168	0.9631	0.6123	1479.35	45024.94
52	0.5299	0.7900	813.89	58086.38	170	0.9853	0.6226	1513.37	45780.11
54	0.5326	0.7710	818.05	56692.22	172	1.0070	0.6323	1546.73	46494.84
56	0.5381	0.7544	826.54	55470.86	174	1.0380	0.6433	1594.35	47302.22
58	0.5445	0.7352	836.36	54063.46	176	1.0660	0.6542	1637.36	48105.19
60	0.5507	0.7185	845.91	52831.07	178	1.0990	0.6644	1688.04	48855.21
62	0.5581	0.6990	857.25	51397.94	180	1.1420	0.6745	1754.09	49597.88
64	0.5632	0.6812	865.13	50092.75	182	1.2190	0.6833	1872.36	50242.02
66	0.5725	0.6022	879.30	44281.54	184	1.2550	0.6876	1927.66	50561.14
68	0.5806	0.6441	891.79	47361.78	186	1.3360	0.6903	2052.07	50756.74
70	0.5861	0.6313	900.21	46416.90	188	1.4800	0.6848	2273.25	50355.26
72	0.5953	0.6151	914.32	45225.68	190	1.6700	0.6656	2565.09	48943.45
74	0.6039	0.6024	927.62	44298.45	192	2.0500	0.6126	3148.76	45041.85
76	0.6112	0.5885	938.85	43275.62	194	2.3760	0.5510	3649.49	40517.45
78	0.6199	0.5763	952.12	42377.80	196	2.6350	0.5061	4047.31	37212.20
80	0.6253	0.5693	960.40	41861.61	198	2.7200	0.4958	4177.87	36459.23
82	0.6332	0.5593	972.52	41128.50	200	2.7220	0.5035	4180.94	37026.16
84	0.6402	0.5508	983.37	40500.53	202	2.6870	0.5191	4127.18	38168.84
86	0.6470	0.5406	993.83	39750.51	204	2.6400	0.5395	4054.99	39671.10
88	0.6543	0.5323	1004.95	39143.14	206	2.5650	0.5713	3939.79	42006.46
90	0.6619	0.5244	1016.70	38562.97	208	2.4810	0.6020	3810.77	44266.83
92	0.6686	0.5194	1026.96	38193.84	210	2.3810	0.6506	3657.17	47836.06
94	0.6760	0.5121	1038.29	37655.59	212	2.3130	0.6818	3552.72	50134.66
96	0.6821	0.5065	1047.69	37246.76	214	2.2390	0.7186	3439.06	52841.36
98	0.6892	0.4994	1058.55	36721.74	216	2.1500	0.7622	3302.36	56043.23
100	0.6957	0.4931	1068.51	36258.49	218	2.0710	0.8121	3181.02	59711.43
102	0.7021	0.4896	1078.35	36003.34	220	1.9950	0.8679	3064.28	63818.91
104	0.7089	0.4838	1088.87	35571.70	222	1.9200	0.9101	2949.08	66924.16
106	0.7153	0.4798	1098.67	35281.99	224	1.8560	0.9620	2850.78	70740.45
108	0.7221	0.4748	1109.19	34911.39	226	1.7840	1.0100	2740.19	74267.04
110	0.7287	0.4701	1119.30	34568.00	228	1.7420	1.0590	2675.68	77870.09
112	0.7347	0.4663	1128.47	34287.10	230	1.6710	1.1160	2566.62	82061.40
114	0.7415	0.4628	1138.96	34031.95	232	1.6160	1.1560	2482.14	85002.67
116	0.7483	0.4616	1149.33	33942.98	234	1.5640	1.2060	2402.27	88679.25
118	0.7548	0.4582	1159.42	33693.70	236	1.5130	1.2370	2323.94	90958.74

120	0.7535	0.4735	1157.42	34817.27	238	1.4880	1.2690	2285.54	93311.75
122	0.7605	0.4726	1168.17	34747.41	240	1.4220	1.3100	2184.16	96326.55
124	0.7685	0.4701	1180.42	34569.39	242	1.3840	1.3460	2125.80	98973.69
126	0.7749	0.4699	1190.23	34550.35	244	1.3360	1.3650	2052.07	100370.79
128	0.7799	0.4688	1197.88	34474.61	246	1.3070	1.3740	2007.53	101032.58
130	0.7861	0.4708	1207.47	34615.06	248	1.2720	1.3810	1953.77	101547.30
132	0.7939	0.4725	1219.42	34743.00	250	1.2410	1.3810	1906.15	101547.30
134	0.7976	0.4723	1225.07	34726.09	252	1.2110	1.3710	1860.07	100811.99
136	0.8016	0.4757	1231.20	34976.83	254	1.1810	1.3610	1813.99	100076.67
138	0.8068	0.4782	1239.29	35159.93	256	1.1520	1.3450	1769.45	98900.16
140	0.8136	0.4847	1249.63	35637.15	258	1.1240	1.3240	1726.44	97355.99
142	0.8199	0.4895	1259.29	35991.57	260	1.1020	1.2810	1692.65	94194.13
144	0.8274	0.4958	1270.82	36457.76	262	1.0720	1.2580	1646.57	92502.90
146	0.8337	0.5023	1280.61	36931.31	264	1.0460	1.2240	1606.64	90002.82
148	0.8412	0.5101	1292.01	37508.53	265	1.0210	1.1960	1568.24	87943.93

14)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 18 ในการทดลองที่ 5

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 18 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
31	0.378	0.530	500.91	45171.91	151	0.182	1.070	241.18	91196.13
33	0.361	0.569	478.38	48495.88	153	0.170	1.170	225.28	99719.13
35	0.367	0.541	486.33	46109.44	155	0.159	1.490	210.70	126992.74
37	0.374	0.517	495.61	44063.92	157	0.150	1.760	198.77	150004.84
39	0.381	0.494	504.89	42103.63	159	0.143	2.080	189.50	177278.45
41	0.387	0.473	512.84	40313.80	161	0.137	2.480	181.55	211370.46
43	0.395	0.453	523.44	38609.20	163	0.132	2.900	174.92	247167.07
45	0.403	0.433	534.04	36904.60	165	0.138	3.470	182.87	295748.18
47	0.410	0.416	543.32	35455.69	167	0.124	4.050	164.32	345181.60
49	0.418	0.398	553.92	33921.55	169	0.121	4.744	160.34	404331.23
51	0.425	0.382	563.19	32557.87	171	0.119	5.467	157.69	465952.54
53	0.433	0.367	573.79	31279.42	173	0.117	6.159	155.04	524931.72
55	0.440	0.352	583.07	30000.97	175	0.115	6.801	152.39	579649.39
57	0.448	0.339	593.67	28892.98	177	0.114	7.578	151.07	645873.12
59	0.455	0.328	602.95	27955.45	179	0.113	8.178	149.74	697011.14
61	0.463	0.317	613.55	27017.92	181	0.112	8.853	148.42	754541.40
63	0.470	0.306	622.82	26080.39	183	0.111	9.482	147.09	808151.09
65	0.477	0.296	632.10	25228.09	185	0.111	9.992	147.09	851618.40
67	0.484	0.285	641.38	24290.56	187	0.110	10.562	145.77	900199.52
69	0.490	0.276	649.33	23523.49	189	0.110	10.952	145.77	933439.23
71	0.498	0.267	659.93	22756.42	191	0.109	11.344	144.44	966849.39
73	0.503	0.259	666.55	22074.58	193	0.108	11.852	143.12	1010146.25
75	0.511	0.251	677.16	21392.74	195	0.108	11.872	143.12	1011850.85
77	0.516	0.243	683.78	20710.90	197	0.108	12.145	143.12	1035118.64
79	0.523	0.237	693.06	20199.52	199	0.107	12.268	141.79	1045601.94
81	0.528	0.230	699.68	19602.91	201	0.107	12.495	141.79	1064949.15
83	0.534	0.222	707.63	18921.07	203	0.107	12.605	141.79	1074324.46
85	0.539	0.218	714.26	18580.15	205	0.107	12.651	141.79	1078245.04
87	0.544	0.212	720.89	18068.77	207	0.106	12.698	140.47	1082250.85
89	0.549	0.208	727.51	17727.85	209	0.106	12.732	140.47	1085148.67
91	0.553	0.203	732.81	17301.69	211	0.105	12.851	139.14	1095291.04



93	0.556	0.199	736.79	16960.77	213	0.105	12.785	139.14	1089665.86
95	0.560	0.195	742.09	16619.85	215	0.105	12.730	139.14	1084978.21
97	0.561	0.191	743.41	16278.93	217	0.105	12.650	139.14	1078159.81
99	0.563	0.189	746.06	16108.47	219	0.104	12.612	137.82	1074921.07
101	0.563	0.186	746.06	15852.78	221	0.107	12.533	141.79	1068187.89
103	0.563	0.184	746.06	15682.32	223	0.104	12.385	137.82	1055573.85
105	0.562	0.182	744.74	15511.86	225	0.104	12.322	137.82	1050204.36
107	0.559	0.181	740.76	15426.63	227	0.103	12.031	136.49	1025402.42
109	0.555	0.181	735.46	15426.63	229	0.103	11.888	136.49	1013214.53
111	0.551	0.180	730.16	15341.40	231	0.103	11.756	136.49	1001964.16
113	0.554	0.182	734.14	15511.86	233	0.102	11.568	135.17	985940.92
115	0.536	0.186	710.29	15852.78	235	0.102	11.368	135.17	968894.92
117	0.525	0.191	695.71	16278.93	237	0.102	11.160	135.17	951167.07
119	0.511	0.200	677.16	17046.00	239	0.102	10.880	135.17	927302.66
121	0.495	0.212	655.95	18068.77	241	0.101	10.560	133.84	900029.06
123	0.480	0.224	636.08	19091.53	243	0.101	10.267	133.84	875056.66
125	0.460	0.240	609.57	20455.21	245	0.101	9.932	133.84	846504.60
127	0.439	0.259	581.74	22074.58	247	0.101	9.678	133.84	824856.17
129	0.415	0.281	549.94	23949.64	249	0.100	9.362	132.52	797923.49
131	0.391	0.306	518.14	26080.39	251	0.100	9.017	132.52	768519.13
133	0.366	0.334	485.01	28466.83	253	0.100	8.678	132.52	739626.15
135	0.340	0.381	450.55	32472.64	255	0.100	8.245	132.52	702721.55
137	0.316	0.407	418.75	34688.62	257	0.100	7.889	132.52	672379.66
139	0.292	0.458	386.95	39035.35	259	0.100	7.442	132.52	634281.84
141	0.271	0.512	359.12	43637.77	261	0.100	6.485	132.52	552716.71
143	0.249	0.583	329.96	49689.10	263	0.100	6.485	132.52	552716.71
145	0.231	0.666	306.11	56763.20	265	0.100	5.943	132.52	506522.03
147	0.211	0.787	279.61	67076.03	267	0.100	5.298	132.52	451548.67
149	0.195	0.922	258.41	78582.08					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 18 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 1100°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
30	1.329	0.015	1153.09	1965.62	148	0.649	0.399	563.10	51939.11
32	1.308	0.152	1134.87	19786.33	150	0.597	0.472	517.98	61441.76
34	1.323	0.149	1147.89	19395.81	152	0.550	0.573	477.20	74589.25
36	1.351	0.145	1172.18	18875.12	154	0.522	0.662	452.91	86174.67
38	1.382	0.140	1199.08	18224.25	156	0.494	0.788	428.61	102576.49
40	1.413	0.136	1225.97	17703.56	158	0.470	0.972	407.79	126528.36
42	1.450	0.132	1258.08	17182.86	160	0.456	1.138	395.64	148137.12
44	1.487	0.127	1290.18	16532.00	162	0.445	1.338	386.10	174171.76
46	1.518	0.124	1317.08	16141.48	164	0.436	1.619	378.29	210750.43
48	1.556	0.120	1350.05	15620.79	166	0.432	1.846	374.82	240299.75
50	1.594	0.117	1383.02	15230.27	168	0.430	2.098	373.08	273103.40
52	1.628	0.114	1412.52	14839.75	170	0.429	2.389	372.22	310983.81
54	1.668	0.111	1447.22	14449.23	172	0.426	2.636	369.61	343136.59
56	1.705	0.108	1479.32	14058.71	174	0.431	2.896	373.95	376981.63
58	1.745	0.105	1514.03	13668.19	176	0.433	3.140	375.69	408743.89
60	1.774	0.103	1539.19	13407.84	178	0.436	3.316	378.29	431654.38
62	1.809	0.101	1569.56	13147.49	180	0.439	3.497	380.89	455215.73
64	1.840	0.099	1596.45	12887.15	182	0.443	3.617	384.36	470836.52

66	1.876	0.097	1627.69	12626.80	184	0.447	3.707	387.83	482552.11
68	1.905	0.096	1652.85	12496.63	186	0.450	3.755	390.44	488800.42
70	1.931	0.095	1675.41	12366.46	188	0.455	3.781	394.78	492184.92
72	1.965	0.093	1704.91	12106.11	190	0.459	3.781	398.25	492184.92
74	1.986	0.093	1723.13	12106.11	192	0.464	3.765	402.58	490102.15
76	2.011	0.092	1744.82	11975.94	194	0.468	3.728	406.05	485285.74
78	2.028	0.091	1759.57	11845.76	196	0.473	3.676	410.39	478516.74
80	2.047	0.091	1776.06	11845.76	198	0.478	3.612	414.73	470185.65
82	2.063	0.091	1789.94	11845.76	200	0.484	3.527	419.94	459120.93
84	2.077	0.090	1802.09	11715.59	202	0.488	3.453	423.41	449488.11
86	2.089	0.090	1812.50	11715.59	204	0.495	3.342	429.48	435038.88
88	2.098	0.090	1820.31	11715.59	206	0.501	3.251	434.69	423193.12
90	2.105	0.090	1826.38	11715.59	208	0.505	3.172	438.16	412909.44
92	2.108	0.090	1828.98	11715.59	210	0.513	3.052	445.10	397288.65
94	2.107	0.090	1828.11	11715.59	212	0.519	2.956	450.30	384792.02
96	2.104	0.090	1825.51	11715.59	214	0.526	2.843	456.38	370082.45
98	2.101	0.090	1822.91	11715.59	216	0.532	2.763	461.58	359668.59
100	2.094	0.091	1816.84	11845.76	218	0.540	2.667	468.52	347171.96
102	2.080	0.091	1804.69	11845.76	220	0.550	2.561	477.20	333373.60
104	2.070	0.091	1796.01	11845.76	222	0.560	2.468	485.88	321267.49
106	2.049	0.092	1777.79	11975.94	224	0.570	2.386	494.55	310593.29
108	2.028	0.092	1759.57	11975.94	226	0.581	2.314	504.10	301220.82
110	2.000	0.093	1735.28	12106.11	228	0.593	2.235	514.51	290937.13
112	1.975	0.094	1713.59	12236.28	230	0.604	2.162	524.05	281434.49
114	1.941	0.096	1684.09	12496.63	232	0.611	2.098	530.13	273103.40
116	1.912	0.097	1658.92	12626.80	234	0.613	2.023	531.86	263340.41
118	1.869	0.099	1621.62	12887.15	236	0.614	1.952	532.73	254098.11
120	1.828	0.101	1586.04	13147.49	238	0.612	1.850	530.99	240820.45
122	1.782	0.104	1546.13	13538.01	240	0.611	1.813	530.13	236004.04
124	1.088	0.111	943.99	14449.23	242	0.609	1.742	528.39	226761.74
126	1.630	0.116	1414.25	15100.09	244	0.607	1.659	526.66	215957.36
128	1.546	0.124	1341.37	16141.48	246	0.604	1.584	524.05	206194.37
130	1.453	0.134	1260.68	17443.21	248	0.601	1.500	521.45	195259.82
132	1.356	0.146	1176.52	19005.29	250	0.599	1.420	519.72	184845.96
134	1.241	0.163	1076.74	21218.23	252	0.596	1.342	517.11	174692.45
136	1.159	0.175	1005.59	22780.31	254	0.594	1.260	515.38	164018.25
138	1.047	0.197	908.42	25644.12	256	0.592	1.187	513.64	154515.61
140	0.955	0.228	828.59	29679.49	258	0.591	1.115	512.77	145143.13
142	0.864	0.252	749.64	32803.65	260	0.589	1.040	511.04	135380.14
144	0.783	0.291	679.36	37880.41	262	0.589	0.927	511.04	120670.57
146	0.701	0.346	608.21	45039.93					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 18 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
34	0.720	0.329	805.69	33206.52	148	0.756	0.573	845.97	57833.86
36	0.688	0.388	769.88	39161.49	150	0.742	0.608	830.30	61366.46
38	0.690	0.380	772.12	38354.04	152	0.723	0.654	809.04	66009.32
40	0.696	0.375	778.83	37849.38	154	0.708	0.700	792.26	70652.18
42	0.703	0.369	786.66	37243.79	156	0.692	0.756	774.35	76304.35
44	0.712	0.363	796.73	36638.20	158	0.677	0.816	757.57	82360.25

46	0.722	0.356	807.92	35931.68	160	0.662	0.887	740.78	89526.40
48	0.732	0.349	819.11	35225.16	162	0.648	0.975	725.12	98408.39
50	0.743	0.342	831.42	34518.64	164	0.638	1.065	713.93	107492.24
52	0.758	0.335	848.21	33812.11	166	0.624	1.178	698.26	118897.52
54	0.763	0.329	853.80	33206.52	168	0.615	1.302	688.19	131413.05
56	0.765	0.322	856.04	32500.00	170	0.606	1.466	678.12	147965.85
58	0.786	0.316	879.54	31894.41	172	0.601	1.609	672.52	162399.08
60	0.797	0.310	891.85	31288.82	174	0.596	1.815	666.93	183191.01
62	0.807	0.305	903.04	30784.16	176	0.595	1.978	665.81	199642.87
64	0.813	0.302	909.75	30481.37	178	0.595	2.185	665.81	220535.73
66	0.819	0.299	916.47	30178.57	180	0.596	2.385	666.93	240722.07
68	0.841	0.291	941.09	29371.12	182	0.598	2.565	669.17	258889.77
70	0.852	0.287	953.39	28967.39	184	0.603	2.776	674.76	280186.36
72	0.862	0.282	964.58	28462.74	186	0.608	2.938	680.36	296537.29
74	0.872	0.281	975.77	28361.80	188	0.614	3.092	687.07	312080.77
76	0.882	0.278	986.96	28059.01	190	0.621	3.201	694.90	323082.32
78	0.891	0.276	997.04	27857.14	192	0.627	3.289	701.62	331964.31
80	0.900	0.274	1007.11	27655.28	194	0.635	3.344	710.57	337515.55
82	0.909	0.273	1017.18	27554.35	196	0.644	3.374	720.64	340543.50
84	0.915	0.272	1023.89	27453.42	198	0.652	3.373	729.59	340442.57
86	0.922	0.272	1031.72	27453.42	200	0.663	3.344	741.90	337515.55
88	0.928	0.272	1038.44	27453.42	202	0.673	3.296	753.09	332670.83
90	0.933	0.273	1044.03	27554.35	204	0.684	3.233	765.40	326312.14
92	0.937	0.274	1048.51	27655.28	206	0.695	3.155	777.71	318439.46
94	0.941	0.276	1052.99	27857.14	208	0.708	3.052	792.26	308043.50
96	0.943	0.278	1055.22	28059.01	210	0.720	2.905	805.69	293206.54
98	0.945	0.280	1057.46	28260.87	212	0.736	2.840	823.59	286645.98
100	0.946	0.283	1058.58	28563.67	214	0.754	2.716	843.73	274130.45
102	0.947	0.287	1059.70	28967.39	216	0.771	2.602	862.75	262624.24
104	0.948	0.291	1060.82	29371.12	218	0.789	2.498	882.90	252127.35
106	0.947	0.295	1059.70	29774.85	220	0.821	2.329	918.71	235069.89
108	0.945	0.299	1057.46	30178.57	222	0.850	2.203	951.16	222352.50
110	0.943	0.304	1055.22	30683.23	224	0.883	2.080	988.08	209937.90
112	0.940	0.310	1051.87	31288.82	226	0.939	1.932	1050.75	195000.01
114	0.937	0.315	1048.51	31793.48	228	0.999	1.775	1117.89	179153.74
116	0.932	0.316	1042.91	31894.41	230	1.065	1.644	1191.74	165931.69
118	0.927	0.327	1037.32	33004.66	232	1.102	1.564	1233.15	157857.15
120	0.921	0.334	1030.61	33711.18	234	1.115	1.518	1247.69	153214.30
122	0.914	0.341	1022.77	34417.70	236	1.118	1.473	1251.05	148672.37
124	0.937	0.350	1048.51	35326.09	238	1.116	1.440	1248.81	145341.63
126	0.898	0.359	1004.87	36234.47	240	1.108	1.395	1239.86	140799.70
128	0.889	0.376	994.80	37950.31	242	1.098	1.355	1228.67	136762.43
130	0.880	0.380	984.73	38354.04	244	1.087	1.311	1216.36	132321.44
132	0.870	0.390	973.54	39363.36	246	1.074	1.062	1201.81	107189.45
134	0.858	0.404	960.11	40776.40	248	1.064	1.225	1190.62	123641.31
136	0.846	0.423	946.68	42694.10	250	1.050	1.173	1174.96	118392.87
138	0.832	0.442	931.01	44611.80	252	1.037	1.123	1160.41	113346.28
140	0.817	0.463	914.23	46731.37	254	1.023	1.067	1144.74	107694.11
142	0.803	0.486	898.56	49052.80	256	1.009	1.008	1129.08	101739.14
144	0.788	0.511	881.78	51576.09	258	1.001	0.947	1120.13	95582.31
146	0.782	0.541	875.06	54604.04	260	0.955	0.950	1068.65	95885.10

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 18 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1200^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	0.494	1.106	512.96	120297.72	148	0.600	1.200	623.03	130521.94
32	0.497	1.100	516.08	119645.11	150	0.597	1.232	619.92	134002.53
34	0.502	1.083	521.27	117796.05	152	0.595	1.272	617.84	138353.26
36	0.507	1.065	526.46	115838.22	154	0.593	1.315	615.76	143030.30
38	0.514	1.039	533.73	113010.25	156	0.591	1.352	613.69	147054.72
40	0.520	1.017	539.96	110617.35	158	0.590	1.395	612.65	151731.76
42	0.525	1.001	545.15	108877.05	160	0.599	1.443	621.99	156952.64
44	0.531	0.982	551.38	106810.46	162	0.589	1.495	611.61	162608.59
46	0.536	0.967	556.57	105178.93	164	0.589	1.552	611.61	168808.38
48	0.543	0.945	563.84	102786.03	166	0.590	1.601	612.65	174138.03
50	0.547	0.933	568.00	101480.81	168	0.563	1.668	584.61	181425.50
52	0.551	0.921	572.15	100175.59	170	0.595	1.715	617.84	186537.61
54	0.557	0.907	578.38	98652.84	172	0.598	1.771	620.95	192628.63
56	0.562	0.893	583.57	97130.08	174	0.602	1.842	625.11	200351.18
58	0.568	0.878	589.80	95498.55	176	0.607	1.901	630.30	206768.51
60	0.572	0.867	593.96	94302.10	178	0.613	1.961	636.53	213294.61
62	0.577	0.855	599.15	92996.88	180	0.621	2.019	644.84	219603.17
64	0.583	0.843	605.38	91691.66	182	0.628	2.065	652.11	224606.51
66	0.587	0.833	609.53	90603.98	184	0.637	2.111	661.45	229609.85
68	0.592	0.824	614.72	89625.07	186	0.646	2.146	670.80	233416.74
70	0.596	0.816	618.88	88754.92	188	0.657	2.177	682.22	236788.56
72	0.601	0.806	624.07	87667.24	190	0.669	2.198	694.68	239072.69
74	0.605	0.799	628.22	86905.86	192	0.681	2.208	707.14	240160.37
76	0.609	0.792	632.38	86144.48	194	0.696	2.211	722.72	240486.68
78	0.613	0.786	636.53	85491.87	196	0.713	2.205	740.37	239834.07
80	0.617	0.780	640.68	84839.26	198	0.729	2.188	756.98	237985.01
82	0.620	0.776	643.80	84404.19	200	0.749	2.162	777.75	235157.03
84	0.624	0.772	647.95	83969.12	202	0.769	2.162	798.52	235157.03
86	0.627	0.770	651.07	83751.58	204	0.799	2.068	829.67	224932.81
88	0.630	0.767	654.18	83425.28	206	0.819	2.027	850.44	220473.32
90	0.632	0.766	656.26	83316.51	208	0.818	1.963	849.40	213512.14
92	0.635	0.765	659.37	83207.74	210	0.873	1.914	906.51	208182.50
94	0.636	0.766	660.41	83316.51	212	0.918	1.824	953.24	198393.35
96	0.638	0.767	662.49	83425.28	214	0.957	1.748	993.73	190126.96
98	0.639	0.769	663.53	83642.81	216	1.010	1.656	1048.77	180120.28
100	0.640	0.771	664.57	83860.35	218	1.073	1.560	1114.19	169678.53
102	0.641	0.775	665.60	84295.42	220	1.156	1.446	1200.37	157278.94
104	0.642	0.780	666.64	84839.26	222	1.243	1.353	1290.71	147163.49
106	0.642	0.785	666.64	85383.10	224	1.388	1.216	1441.28	132262.24
108	0.642	0.792	666.64	86144.48	226	1.603	1.061	1664.53	115403.15
110	0.642	0.801	666.64	87123.40	228	2.090	0.793	2170.22	86253.25
112	0.641	0.807	665.60	87776.01	230	2.649	0.631	2750.68	68632.79
114	0.641	0.817	665.60	88863.69	232	3.771	0.450	3915.75	48945.73
116	0.642	0.825	666.64	89733.84	234	4.390	0.388	4558.51	42202.09
118	0.641	0.835	665.60	90821.52	236	4.493	0.382	4665.46	41549.49
120	0.640	0.847	664.57	92126.74	238	4.402	0.392	4570.97	42637.17
122	0.638	0.862	662.49	93758.26	240	4.280	0.404	4444.29	43942.39
124	0.635	0.882	659.37	95933.63	242	4.124	0.419	4282.30	45573.91

126	0.632	0.899	656.26	97782.69	244	3.905	0.439	4054.89	47749.28
128	0.630	0.921	654.18	100175.59	246	3.752	0.453	3896.02	49272.03
130	0.627	0.940	651.07	102242.19	248	3.604	0.465	3742.34	50577.25
132	0.624	0.964	647.95	104852.63	250	3.457	0.477	3589.70	51882.47
134	0.622	0.988	645.88	107463.07	252	3.290	0.487	3416.29	52970.16
136	0.618	1.013	641.72	110182.27	254	3.145	0.495	3265.72	53840.30
138	0.618	1.057	641.72	114968.08	256	3.027	0.499	3143.19	54275.37
140	0.611	1.079	634.45	117360.98	258	2.900	0.501	3011.32	54492.91
142	0.609	1.097	632.38	119318.81	260	2.785	0.500	2891.90	54384.14
144	0.605	1.132	628.22	123125.70	262	2.671	0.496	2773.53	53949.07
146	0.603	1.159	626.15	126062.44	264	2.561	0.490	2659.30	53296.46

15) Cp, R,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 19 ในการทดลองที่ 5a) Cp, R,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 19 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 1000°C

Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	Cp (nF)	R (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
33	0.224	1.390	194.67	180644.40	151	0.167	4.780	145.13	621208.80
35	0.220	1.350	191.19	175446.00	153	0.165	5.670	143.40	736873.20
37	0.223	1.310	193.80	170247.60	155	0.163	6.610	141.66	859035.60
39	0.226	1.260	196.41	163749.60	157	0.162	7.610	140.79	988995.60
41	0.229	1.220	199.02	158551.20	159	0.161	8.360	139.92	1086465.60
43	0.232	1.180	201.62	153352.80	161	0.160	9.530	139.05	1238518.80
45	0.236	1.140	205.10	148154.40	163	0.160	10.370	139.05	1347685.20
47	0.240	1.090	208.57	141656.40	165	0.160	11.280	139.05	1465948.80
49	0.243	1.060	211.18	137757.60	167	0.160	12.100	139.05	1572516.00
51	0.246	1.030	213.79	133858.80	169	0.160	12.490	139.05	1623200.40
53	0.250	0.991	217.27	128790.36	171	0.161	13.160	139.92	1710273.60
55	0.253	0.967	219.87	125671.32	173	0.161	13.380	139.92	1738864.80
57	0.255	0.942	221.61	122422.32	175	0.162	13.570	140.79	1763557.20
59	0.258	0.920	224.22	119563.20	177	0.163	13.650	141.66	1773954.00
61	0.261	0.820	226.83	106567.20	179	0.163	13.590	141.66	1766156.40
63	0.263	0.873	228.56	113455.08	181	0.164	13.530	142.53	1758358.80
65	0.265	0.851	230.30	110595.96	183	0.165	13.420	143.40	1744063.20
67	0.267	0.828	232.04	107606.88	185	0.166	13.110	144.26	1703775.60
69	0.269	0.812	233.78	105527.52	187	0.167	12.810	145.13	1664787.60
71	0.270	0.796	234.65	103448.16	189	0.167	12.500	145.13	1624500.00
73	0.271	0.783	235.52	101758.68	191	0.168	12.150	146.00	1579014.00
75	0.272	0.766	236.38	99549.36	193	0.169	11.850	146.87	1540026.00
77	0.272	0.756	236.38	98249.76	195	0.170	11.490	147.74	1493240.40
79	0.272	0.746	236.38	96950.16	197	0.171	11.210	148.61	1456851.60
81	0.272	0.734	236.38	95390.64	199	0.172	10.830	149.48	1407466.80
83	0.272	0.729	236.38	94740.84	201	0.172	10.490	149.48	1363280.40
85	0.271	0.722	235.52	93831.12	203	0.173	10.200	150.35	1325592.00
87	0.270	0.719	234.65	93441.24	205	0.174	9.880	151.22	1284004.80
89	0.269	0.716	233.78	93051.36	207	0.175	9.550	152.09	1241118.00
91	0.268	0.714	232.91	92791.44	209	0.175	9.290	152.09	1207328.40
93	0.266	0.714	231.17	92791.44	211	0.176	9.040	152.95	1174838.40
95	0.264	0.715	229.43	92921.40	213	0.176	8.780	152.95	1141048.80
97	0.261	0.718	226.83	93311.28	215	0.177	8.520	153.82	1107259.20
99	0.259	0.722	225.09	93831.12	217	0.178	8.300	154.69	1078668.00
101	0.257	0.727	223.35	94480.92	219	0.179	8.070	155.56	1048777.20

103	0.254	0.735	220.74	95520.60	221	0.179	7.890	155.56	1025384.40
105	0.251	0.746	218.13	96950.16	223	0.180	7.710	156.43	1001991.60
107	0.247	0.760	214.66	98769.60	225	0.180	7.460	156.43	969501.60
109	0.244	0.771	212.05	100199.16	227	0.181	7.260	157.30	943509.60
111	0.241	0.784	209.44	101888.64	229	0.181	7.090	157.30	921416.40
113	0.238	0.804	206.84	104487.84	231	0.182	6.930	158.17	900622.80
115	0.235	0.822	204.23	106827.12	233	0.183	6.730	159.04	874630.80
117	0.231	0.848	200.75	110206.08	235	0.183	6.470	159.04	840841.20
119	0.227	0.882	197.28	114624.72	237	0.183	6.390	159.04	830444.40
121	0.223	0.923	193.80	119953.08	239	0.184	6.200	159.91	805752.00
123	0.219	0.967	190.32	125671.32	241	0.184	6.000	159.91	779760.00
125	0.215	1.030	186.85	133858.80	243	0.184	5.880	159.91	764164.80
127	0.211	1.100	183.37	142956.00	245	0.184	5.650	159.91	734274.00
129	0.208	1.160	180.76	150753.60	247	0.185	5.510	160.78	716079.60
131	0.203	1.270	176.42	165049.20	249	0.185	5.320	160.78	691387.20
133	0.198	1.460	172.07	189741.60	251	0.185	5.190	160.78	674492.40
135	0.194	1.630	168.60	211834.80	253	0.185	5.080	160.78	660196.80
137	0.190	1.860	165.12	241725.60	255	0.185	4.820	160.78	626407.20
139	0.187	2.050	162.51	266418.00	257	0.185	4.620	160.78	600415.20
141	0.183	2.360	159.04	306705.60	259	0.185	4.460	160.78	579621.60
143	0.179	2.690	155.56	349592.40	261	0.186	4.240	161.65	551030.40
145	0.175	3.130	152.09	406774.80	263	0.186	4.010	161.65	521139.60
147	0.172	3.510	149.48	456159.60	265	0.187	3.670	162.51	476953.20
149	0.170	4.090	147.74	531536.40	267	0.188	3.320	163.38	431467.20

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 19 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
31	0.229	0.958	206.98	119712.12	143	0.181	2.090	163.59	261167.36
33	0.231	0.941	208.79	117587.79	145	0.179	2.270	161.79	283660.24
35	0.236	0.903	213.30	112839.29	147	0.177	2.460	159.98	307402.73
37	0.242	0.859	218.73	107341.03	149	0.176	2.900	159.07	362385.33
39	0.246	0.829	222.34	103592.22	151	0.175	2.890	158.17	361135.73
41	0.251	0.799	226.86	99843.41	153	0.175	3.110	158.17	388627.03
43	0.255	0.780	230.48	97469.16	155	0.174	3.280	157.27	409870.31
45	0.259	0.758	234.09	94720.03	157	0.175	3.680	158.17	459854.49
47	0.263	0.737	237.71	92095.86	159	0.175	3.770	158.17	471100.93
49	0.267	0.717	241.32	89596.65	161	0.176	3.980	159.07	497342.63
51	0.272	0.699	245.84	87347.36	163	0.177	4.080	159.98	509838.67
53	0.275	0.683	248.55	85347.99	165	0.178	4.160	160.88	519835.51
55	0.279	0.669	252.17	83598.55	167	0.180	4.210	162.69	526083.53
57	0.283	0.655	255.78	81849.10	169	0.180	4.330	162.69	541078.79
59	0.286	0.644	258.50	80474.54	171	0.181	4.350	163.59	543578.00
61	0.288	0.635	260.30	79349.89	173	0.182	4.520	164.50	564821.28
63	0.290	0.627	262.11	78350.21	175	0.184	4.610	166.31	576067.72
65	0.293	0.620	264.82	77475.48	177	0.185	4.670	167.21	583565.34
67	0.294	0.614	265.73	76725.72	179	0.186	4.710	168.11	588563.76
69	0.295	0.609	266.63	76100.92	181	0.187	4.770	169.02	596061.39
71	0.296	0.605	267.53	75601.08	183	0.191	4.990	172.63	623552.69
73	0.296	0.602	267.53	75226.20	185	0.192	5.050	173.54	631050.32
75	0.296	0.601	267.53	75101.24	187	0.193	5.130	174.44	641047.16

77	0.295	0.600	266.63	74976.28	189	0.195	5.170	176.25	646045.57
79	0.294	0.600	265.73	74976.28	191	0.197	5.310	178.05	663540.04
81	0.292	0.601	263.92	75101.24	193	0.198	5.360	178.96	669788.06
83	0.291	0.602	263.02	75226.20	195	0.202	5.440	182.57	679784.90
85	0.289	0.604	261.21	75476.12	197	0.203	5.450	183.48	681034.50
87	0.285	0.608	257.59	75975.96	199	0.205	5.370	185.29	671037.67
89	0.283	0.610	255.78	76225.88	201	0.207	5.330	187.09	666039.25
91	0.281	0.614	253.98	76725.72	203	0.210	5.240	189.80	654792.81
93	0.277	0.619	250.36	77350.52	205	0.211	5.200	190.71	649794.39
95	0.274	0.625	247.65	78100.29	207	0.212	5.050	191.61	631050.32
97	0.270	0.631	244.03	78850.05	209	0.214	4.920	193.42	614805.46
99	0.267	0.639	241.32	79849.73	211	0.218	4.700	197.04	587314.16
101	0.265	0.642	239.52	80224.61	213	0.219	4.640	197.94	579816.53
103	0.260	0.655	235.00	81849.10	215	0.221	4.510	199.75	563571.67
105	0.256	0.664	231.38	82973.74	217	0.223	4.390	201.55	548576.42
107	0.254	0.669	229.57	83598.55	219	0.225	4.260	203.36	532331.56
109	0.251	0.678	226.86	84723.19	221	0.231	3.910	208.79	488595.40
111	0.247	0.696	223.25	86972.48	223	0.233	3.800	210.59	474849.74
113	0.244	0.708	220.54	88472.01	225	0.235	3.700	212.40	462353.70
115	0.242	0.722	218.73	90221.45	227	0.244	3.290	220.54	411119.91
117	0.240	0.733	216.92	91596.02	229	0.247	3.160	223.25	394875.05
119	0.238	0.752	215.11	93970.27	231	0.250	3.060	225.96	382379.01
121	0.234	0.783	211.50	97844.04	233	0.255	2.900	230.48	362385.33
123	0.227	0.840	205.17	104966.79	235	0.258	2.810	233.19	351138.89
125	0.223	0.883	201.55	110340.09	237	0.263	2.680	237.71	334894.03
127	0.220	0.911	198.84	113838.98	239	0.267	2.590	241.32	323647.59
129	0.215	0.983	194.32	122836.13	241	0.270	2.500	244.03	312401.15
131	0.207	1.110	187.09	138706.11	243	0.274	2.420	247.65	302404.31
133	0.202	1.250	182.57	156200.57	245	0.282	2.270	254.88	283660.24
135	0.197	1.330	178.05	166197.41	247	0.284	2.220	256.69	277412.22
137	0.192	1.470	173.54	183691.88	249	0.286	2.200	258.50	274913.01
139	0.188	1.610	169.92	201186.34	251	0.293	2.090	264.82	261167.36
141	0.184	1.870	166.31	233676.06	259	0.308	1.830	278.38	228677.64

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 19 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
31	0.371	8.469	489.92	724340.80	151	0.589	2.201	777.79	188248.21
33	0.374	8.216	493.88	702702.09	153	0.595	2.155	785.72	184313.90
35	0.376	7.990	496.52	683372.65	155	0.601	2.105	793.64	180037.48
37	0.378	7.861	499.16	672339.48	157	0.607	2.056	801.56	175846.58
39	0.380	7.710	501.80	659424.67	159	0.614	2.008	810.81	171741.21
41	0.382	7.476	504.44	639411.01	161	0.620	1.969	818.73	168405.60
43	0.345	7.295	455.58	623930.35	163	0.626	1.924	826.65	164556.82
45	0.387	7.102	511.05	607423.35	165	0.633	1.881	835.90	160879.09
47	0.390	6.920	515.01	591857.17	167	0.640	1.838	845.14	157201.37
49	0.392	6.780	517.65	579883.18	169	0.647	1.796	854.39	153609.17
51	0.395	6.629	521.61	566968.37	171	0.654	1.753	863.63	149931.45
53	0.397	6.454	524.25	552000.89	173	0.661	1.715	872.87	146681.36
55	0.400	6.300	528.21	538829.50	175	0.671	1.668	886.08	142661.52
57	0.403	6.160	532.18	526855.51	177	0.677	1.635	894.00	139839.08

59	0.406	6.001	536.14	513256.48	179	0.683	1.602	901.92	137016.64
61	0.408	5.830	538.78	498631.11	181	0.693	1.559	915.13	133338.92
63	0.411	5.654	542.74	483578.09	183	0.700	1.525	924.37	130430.95
65	0.414	5.535	546.70	473400.20	185	0.708	1.488	934.94	127266.40
67	0.418	5.378	551.98	459972.23	187	0.717	1.453	946.82	124272.90
69	0.421	5.254	555.94	449366.70	189	0.723	1.432	954.75	122476.80
71	0.424	5.131	559.91	438846.69	191	0.735	1.387	970.59	118628.02
73	0.428	5.018	565.19	429181.97	193	0.745	1.352	983.80	115634.52
75	0.431	4.914	569.15	420287.01	195	0.755	1.319	997.00	112812.08
77	0.434	4.815	573.11	411819.69	197	0.766	1.283	1011.53	109733.06
79	0.437	4.705	577.07	402411.56	199	0.775	1.253	1023.41	107167.20
81	0.441	4.580	582.36	391720.49	201	0.786	1.223	1037.94	104601.35
83	0.444	4.516	586.32	386246.67	203	0.799	1.887	1055.11	161392.26
85	0.447	4.431	590.28	378976.75	205	0.810	1.156	1069.63	98870.94
87	0.451	4.320	595.56	369483.09	207	0.822	1.129	1085.48	96561.67
89	0.454	4.238	599.52	362469.75	209	0.834	1.099	1101.33	93995.81
91	0.457	4.162	603.48	355969.58	211	0.846	1.071	1117.17	91601.02
93	0.460	4.073	607.45	348357.55	213	0.861	1.038	1136.98	88778.57
95	0.464	3.978	612.73	340232.34	215	0.876	1.009	1156.79	86298.25
97	0.468	3.895	618.01	333133.48	217	0.891	0.978	1176.60	83646.87
99	0.471	3.895	621.97	333133.48	219	0.907	0.953	1197.72	81508.65
101	0.474	3.740	625.93	319876.56	221	0.923	0.924	1218.85	79028.33
103	0.478	3.669	631.22	313804.04	223	0.940	0.898	1241.30	76804.59
105	0.482	3.590	636.50	307047.29	225	0.960	0.868	1267.71	74238.73
107	0.486	3.521	641.78	301145.82	227	0.980	0.841	1294.12	71929.46
109	0.489	3.541	645.74	302856.39	229	1.001	0.814	1321.85	69620.19
111	0.494	3.364	652.34	287717.85	231	1.020	0.791	1346.94	67653.04
113	0.497	3.315	656.31	283526.95	233	1.042	0.768	1376.00	65685.88
115	0.501	3.235	661.59	276684.67	235	1.069	0.740	1411.65	63291.08
117	0.506	3.169	668.19	271039.79	237	1.093	0.718	1443.34	61409.46
119	0.510	3.105	673.47	265565.97	239	1.121	0.694	1480.32	59356.77
121	0.514	3.033	678.75	259407.92	241	1.154	0.668	1523.90	57133.03
123	0.518	2.970	684.04	254019.62	243	1.195	0.639	1578.04	54652.71
125	0.522	2.915	689.32	249315.55	245	1.232	0.614	1626.90	52514.49
127	0.528	2.851	697.24	243841.73	247	1.266	0.595	1671.80	50889.45
129	0.532	2.798	702.52	239308.72	249	1.306	0.574	1724.62	49093.35
131	0.536	2.733	707.81	233749.37	251	1.371	0.543	1810.45	46441.97
133	0.541	2.678	714.41	229045.30	253	1.416	0.524	1869.88	44816.93
135	0.548	2.591	723.65	221604.32	255	1.483	0.500	1958.35	42764.25
137	0.551	2.560	727.61	218952.94	257	1.551	0.477	2048.15	40797.09
139	0.556	2.506	734.22	214334.40	259	1.643	0.451	2169.64	38573.35
141	0.561	2.449	740.82	209459.28	261	1.734	0.428	2289.81	36606.19
143	0.566	2.403	747.42	205524.97	263	1.869	0.400	2468.08	34211.40
145	0.572	2.350	755.35	200991.96	265	2.019	0.372	2666.16	31816.60
147	0.577	2.306	761.95	197228.70	267	2.204	0.342	2910.46	29250.74
149	0.583	2.567	769.87	219551.64	269	2.380	0.315	3142.87	26941.48



d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 19 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1200^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
28	0.244	1.701	317.12	147817.27	146	0.269	2.229	349.62	193700.59
30	0.240	1.760	311.93	152944.38	148	0.266	2.362	345.72	205258.32
32	0.244	1.704	317.12	148077.97	150	0.263	2.554	341.82	221943.16
34	0.249	1.652	323.62	143559.16	152	0.261	2.685	339.22	233327.09
36	0.252	1.597	327.52	138779.65	154	0.260	2.835	337.92	246362.12
38	0.256	1.552	332.72	134869.14	156	0.258	3.035	335.32	263742.16
40	0.259	1.512	336.62	131393.13	158	0.256	3.243	332.72	281817.41
42	0.262	1.469	340.52	127656.42	160	0.255	3.461	331.42	300761.66
44	0.265	1.433	344.42	124528.01	162	0.253	3.758	328.82	326571.02
46	0.269	1.396	349.62	121312.70	164	0.253	3.962	328.82	344298.66
48	0.272	1.361	353.52	118271.20	166	0.252	4.212	327.52	366023.72
50	0.275	1.333	357.41	115837.99	168	0.252	4.473	327.52	388704.68
52	0.277	1.305	360.01	113404.78	170	0.252	4.770	327.52	414514.04
54	0.280	1.278	363.91	111058.48	172	0.252	5.030	327.52	437108.10
56	0.283	1.256	367.81	109146.67	174	0.253	5.344	328.82	464394.77
58	0.286	1.235	371.71	107321.77	176	0.254	5.577	330.12	484642.52
60	0.288	1.214	374.31	105496.86	178	0.255	5.772	331.42	501588.06
62	0.291	1.195	378.21	103845.76	180	0.256	5.952	332.72	517230.10
64	0.293	1.177	380.81	102281.56	182	0.258	6.112	335.32	531134.13
66	0.296	1.159	384.71	100717.35	184	0.260	6.223	337.92	540780.06
68	0.298	1.146	387.31	99587.65	186	0.262	6.324	340.52	549556.98
70	0.300	1.132	389.91	98371.05	188	0.265	6.364	344.42	553032.99
72	0.302	1.121	392.51	97415.14	190	0.267	6.376	347.02	554075.79
74	0.304	1.111	395.11	96546.14	192	0.269	6.374	349.62	553901.99
76	0.306	1.100	397.70	95590.24	194	0.272	6.334	353.52	550425.98
78	0.307	1.094	399.00	95068.84	196	0.275	6.284	357.41	546080.97
80	0.309	1.088	401.60	94547.44	198	0.278	6.194	361.31	538259.95
82	0.310	1.082	402.90	94026.04	200	0.282	6.059	366.51	526528.42
84	0.312	1.078	405.50	93678.44	202	0.285	5.946	370.41	516708.70
86	0.313	1.075	406.80	93417.73	204	0.288	5.819	374.31	505672.37
88	0.314	1.074	408.10	93330.83	206	0.292	5.687	379.51	494201.54
90	0.314	1.074	408.10	93330.83	208	0.295	5.543	383.41	481687.91
92	0.315	1.076	409.40	93504.63	210	0.300	5.325	389.91	462743.66
94	0.316	1.078	410.70	93678.44	212	0.305	5.082	396.41	441626.91
96	0.316	1.082	410.70	94026.04	214	0.309	4.952	401.60	430329.88
98	0.326	1.086	423.70	94373.64	216	0.314	4.734	408.10	411385.63
100	0.316	1.093	410.70	94981.94	218	0.319	4.509	414.60	391833.08
102	0.316	1.103	410.70	95850.94	220	0.324	4.376	421.10	380275.36
104	0.315	1.112	409.40	96633.04	222	0.330	4.126	428.90	358550.30
106	0.315	1.123	409.40	97588.95	224	0.336	3.940	436.70	342386.86
108	0.314	1.132	408.10	98371.05	226	0.341	3.752	443.19	326049.62
110	0.313	1.147	406.80	99674.55	228	0.350	3.511	454.89	305106.67
112	0.311	1.174	404.20	102020.86	230	0.357	3.314	463.99	287987.32
114	0.310	1.194	402.90	103758.86	232	0.366	3.127	475.69	271736.98
116	0.308	1.221	400.30	106105.17	234	0.374	2.950	486.08	256355.64
118	0.307	1.249	399.00	108538.37	236	0.385	2.768	500.38	240539.80
120	0.305	1.276	396.41	110884.68	238	0.393	2.602	510.78	226114.37
122	0.302	1.318	392.51	114534.49	240	0.404	2.431	525.07	211254.43

124	0.300	1.355	389.91	117749.80	242	0.417	2.270	541.97	197263.50
126	0.297	1.410	386.01	122529.31	244	0.433	2.080	562.77	180752.45
128	0.294	1.477	382.11	128351.62	246	0.447	1.960	580.96	170324.43
130	0.292	1.519	379.51	132001.43	248	0.466	1.801	605.66	156507.29
132	0.289	1.579	375.61	137215.44	250	0.485	1.681	630.35	146079.27
134	0.285	1.659	370.41	144167.46	252	0.507	1.541	658.94	133913.24
136	0.282	1.740	366.51	151206.38	254	0.535	1.417	695.33	123137.61
138	0.280	1.806	363.91	156941.79	256	0.568	1.301	738.22	113057.18
140	0.277	1.908	360.01	165805.62	258	0.601	1.207	781.11	104888.56
142	0.274	2.027	356.11	176146.74	260	0.682	1.062	886.39	92288.03
144	0.271	2.114	352.22	183707.06					

16)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 900°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
40	0.426	0.381	615.24	29795.46	154	0.408	0.410	589.24	32063.36
42	0.416	0.393	600.80	30733.90	156	0.385	0.444	556.03	34722.27
44	0.410	0.400	592.13	31281.33	158	0.360	0.487	519.92	38085.02
46	0.407	0.401	587.80	31359.53	160	0.338	0.529	488.15	41369.56
48	0.407	0.396	587.80	30968.51	162	0.315	0.579	454.93	45279.72
50	0.410	0.388	592.13	30342.89	164	0.296	0.628	427.49	49111.68
52	0.414	0.373	597.91	29169.84	166	0.273	0.695	394.27	54351.31
54	0.419	0.360	605.13	28153.19	168	0.256	0.755	369.72	59043.51
56	0.425	0.345	613.80	26980.14	170	0.235	0.827	339.39	64674.14
58	0.431	0.332	622.46	25963.50	172	0.216	0.920	311.95	71947.05
60	0.438	0.316	632.57	24712.25	174	0.198	1.026	285.96	80236.60
62	0.446	0.300	644.13	23461.00	176	0.183	1.145	264.29	89542.80
64	0.454	0.285	655.68	22287.95	178	0.165	1.317	238.30	102993.77
66	0.454	0.270	655.68	21114.90	180	0.150	1.514	216.63	118399.82
68	0.475	0.254	686.01	19863.64	182	0.136	1.778	196.41	139045.50
70	0.486	0.238	701.89	18612.39	184	0.127	2.034	183.42	159065.55
72	0.498	0.224	719.22	17517.54	186	0.118	2.357	170.42	184325.22
74	0.509	0.213	735.11	16657.31	188	0.109	2.788	157.42	218030.85
76	0.522	0.200	753.89	15640.66	190	0.103	3.255	148.76	254551.80
78	0.536	0.189	774.11	14780.43	192	0.099	3.707	142.98	289899.70
80	0.551	0.178	795.77	13920.19	194	0.095	4.276	137.20	334397.39
82	0.567	0.169	818.88	13216.36	196	0.093	4.276	134.31	334397.39
84	0.585	0.160	844.87	12512.53	198	0.090	5.285	129.98	413304.54
86	0.604	0.154	872.31	12043.31	200	0.089	5.790	128.54	452797.21
88	0.622	0.148	898.31	11574.09	202	0.088	6.282	127.09	491273.25
90	0.644	0.143	930.08	11183.07	204	0.087	6.758	125.65	528498.03
92	0.659	0.140	951.75	10948.46	206	0.086	7.068	124.20	552741.05
94	0.677	0.137	977.74	10713.85	208	0.086	7.430	124.20	581050.66
96	0.677	0.135	977.74	10557.45	210	0.086	7.668	124.20	599663.04
98	0.714	0.134	1031.18	10479.24	212	0.086	7.904	124.20	618119.03
100	0.724	0.133	1045.62	10401.04	214	0.086	8.077	124.20	631648.20
102	0.734	0.132	1060.06	10322.84	216	0.086	8.212	124.20	642205.65
104	0.744	0.130	1074.50	10166.43	218	0.086	8.273	124.20	646976.05
106	0.751	0.129	1084.61	10088.23	220	0.087	8.307	125.65	649634.97

108	0.756	0.128	1091.84	10010.02	222	0.087	8.314	125.65	650182.39
110	0.759	0.127	1096.17	9931.82	224	0.087	8.309	125.65	649791.37
112	0.763	0.126	1101.94	9853.62	226	0.088	8.268	127.09	646585.04
114	0.765	0.125	1104.83	9775.41	228	0.088	8.207	127.09	641814.63
116	0.765	0.124	1104.83	9697.21	230	0.089	8.122	128.54	635167.35
118	0.766	0.123	1106.28	9619.01	232	0.090	8.026	129.98	627659.83
120	0.766	0.123	1106.28	9619.01	234	0.090	7.951	129.98	621794.58
122	0.762	0.124	1100.50	9697.21	236	0.091	7.810	131.42	610767.92
124	0.762	0.124	1100.50	9697.21	238	0.091	7.706	131.42	602634.77
126	0.758	0.127	1094.72	9931.82	240	0.092	7.559	132.87	591138.88
128	0.751	0.132	1084.61	10322.84	242	0.093	7.382	134.31	577296.90
130	0.740	0.139	1068.73	10870.26	244	0.094	7.266	135.76	568225.31
132	0.721	0.149	1041.29	11652.29	246	0.094	7.142	135.76	558528.10
134	0.699	0.160	1009.51	12512.53	248	0.095	6.991	137.20	546719.40
136	0.662	0.120	956.08	9384.40	250	0.096	6.834	138.65	534441.48
138	0.633	0.198	914.20	15484.26	252	0.096	6.707	138.65	524509.66
140	0.599	0.222	865.09	17361.14	254	0.097	6.541	140.09	511527.91
142	0.570	0.244	823.21	19081.61	256	0.098	6.367	141.53	497920.53
144	0.536	0.270	774.11	21114.90	258	0.099	6.201	142.98	484938.78
146	0.511	0.293	738.00	22913.57	260	0.099	6.035	142.98	471957.03
148	0.481	0.323	694.67	25259.67	262	0.100	5.862	144.42	458427.85
150	0.460	0.347	664.34	27136.55	264	0.101	5.558	145.87	434654.04
152	0.434	0.378	626.79	29560.85	266	0.102	5.283	147.31	413148.13

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
37	0.329	0.772	463.93	61833.60	153	0.262	0.687	369.45	55025.49
39	0.336	0.745	473.80	59671.02	155	0.242	0.764	341.25	61192.84
41	0.346	0.712	487.90	57027.88	157	0.225	0.836	317.27	66959.70
43	0.355	0.681	500.59	54544.92	159	0.212	0.907	298.94	72646.47
45	0.366	0.651	516.10	52142.06	161	0.194	1.036	273.56	82978.77
47	0.376	0.622	530.20	49819.30	163	0.183	1.126	258.05	90187.35
49	0.387	0.594	545.71	47576.63	165	0.168	1.304	236.90	104444.32
51	0.399	0.568	562.63	45494.15	167	0.162	1.403	228.44	112373.75
53	0.413	0.541	582.38	43331.58	169	0.151	1.608	212.93	128793.30
55	0.424	0.519	597.89	41569.48	171	0.141	1.748	198.83	140006.64
57	0.438	0.495	617.63	39647.19	173	0.138	2.015	194.60	161392.10
59	0.450	0.475	634.55	38045.28	175	0.133	2.236	187.54	179093.17
61	0.463	0.455	652.88	36443.38	177	0.127	2.528	179.08	202481.00
63	0.478	0.435	674.03	34841.47	179	0.124	2.817	174.85	225628.56
65	0.490	0.418	690.95	33479.85	181	0.120	3.143	169.21	251739.64
67	0.504	0.401	710.70	32118.23	183	0.119	3.317	167.80	265676.22
69	0.517	0.387	729.03	30996.89	185	0.117	3.600	164.98	288343.20
71	0.532	0.370	750.18	29635.27	187	0.115	3.925	162.16	314374.19
73	0.546	0.356	769.92	28513.94	189	0.114	4.196	160.75	336080.02
75	0.559	0.343	788.25	27472.70	191	0.113	4.620	159.34	370040.44
77	0.569	0.333	802.35	26671.75	193	0.112	4.799	157.93	384377.51
79	0.581	0.322	819.27	25790.70	195	0.112	5.063	157.93	405522.68
81	0.592	0.312	834.79	24989.74	197	0.112	5.178	157.93	414733.64
83	0.605	0.300	853.12	24028.60	199	0.112	5.390	157.93	431713.85

85	0.617	0.289	870.04	23147.55	201	0.112	5.555	157.93	444929.58
87	0.627	0.280	884.14	22426.69	203	0.113	5.649	159.34	452458.54
89	0.637	0.270	898.24	21625.74	205	0.113	5.702	159.34	456703.60
91	0.647	0.261	912.34	20904.88	207	0.114	5.764	160.75	461669.51
93	0.656	0.252	925.03	20184.02	209	0.115	5.794	162.16	464072.37
95	0.664	0.244	936.31	19543.26	211	0.116	5.738	163.57	459587.03
97	0.671	0.238	946.18	19062.69	213	0.117	5.749	164.98	460468.08
99	0.678	0.231	956.06	18502.02	215	0.118	5.695	166.39	456142.93
101	0.686	0.222	967.34	17781.16	217	0.120	5.603	169.21	448774.16
103	0.691	0.216	974.39	17300.59	219	0.121	5.487	170.62	439483.10
105	0.697	0.210	982.85	16820.02	221	0.123	5.361	173.44	429391.09
107	0.701	0.204	988.49	16339.45	223	0.123	5.289	173.44	423624.22
109	0.704	0.199	992.72	15938.97	225	0.125	5.172	176.26	414253.07
111	0.706	0.196	995.54	15698.69	227	0.126	5.067	177.67	405843.06
113	0.705	0.197	994.13	15778.78	229	0.128	4.933	180.49	395110.28
115	0.698	0.201	984.26	16099.16	231	0.130	4.734	183.31	379171.31
117	0.686	0.210	967.34	16820.02	233	0.131	4.665	184.72	373644.73
119	0.668	0.221	941.95	17701.07	235	0.133	4.514	187.54	361550.34
121	0.644	0.235	908.11	18822.40	237	0.135	4.637	190.36	371402.06
123	0.623	0.249	878.50	19943.74	239	0.137	4.235	193.19	339203.74
125	0.604	0.259	851.71	20744.69	241	0.139	4.116	196.01	329672.40
127	0.577	0.275	813.63	22026.22	243	0.141	3.982	198.83	318939.62
129	0.552	0.292	778.38	23387.84	245	0.142	3.864	200.24	309488.37
131	0.533	0.305	751.59	24429.08	247	0.143	3.773	201.65	302199.70
133	0.502	0.329	707.88	26351.36	249	0.146	3.632	205.88	290906.25
135	0.474	0.353	668.39	28273.65	251	0.147	3.523	207.29	282175.86
137	0.446	0.377	628.91	30195.94	253	0.148	3.407	208.70	272884.80
139	0.418	0.406	589.43	32518.71	255	0.150	3.308	211.52	264955.37
141	0.394	0.435	555.58	34841.47	257	0.152	3.171	214.34	253982.30
143	0.374	0.460	527.38	36843.85	259	0.154	3.029	217.16	242608.77
145	0.348	0.497	490.72	39807.38	261	0.156	2.909	219.98	232997.33
147	0.324	0.537	456.88	43011.19	263	0.157	2.783	221.39	222905.31
149	0.301	0.587	424.44	47015.96	265	0.159	2.665	224.21	213454.07
151	0.280	0.642	394.83	51421.20	267	0.157	2.600	221.39	208247.87

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	0.800	0.098	1133.71	7810.39	152	0.665	0.188	942.40	14983.20
32	0.794	0.099	1125.21	7890.09	154	0.621	0.211	880.05	16816.25
34	0.808	0.096	1145.05	7651.00	156	0.563	0.251	797.85	20004.17
36	0.824	0.093	1167.73	7411.90	158	0.525	0.286	744.00	22793.60
38	0.843	0.089	1194.65	7093.11	160	0.481	0.343	681.65	27336.38
40	0.860	0.086	1218.74	6854.02	162	0.449	0.398	636.30	31719.76
42	0.879	0.082	1245.67	6535.23	164	0.412	0.482	583.86	38414.38
44	0.899	0.078	1274.01	6216.44	166	0.386	0.563	547.02	44869.91
46	0.921	0.075	1305.19	5977.34	168	0.372	0.619	527.18	49332.99
48	0.943	0.072	1336.37	5738.25	170	0.336	0.802	476.16	63917.70
50	0.964	0.069	1366.13	5499.15	172	0.316	0.951	447.82	75792.69
52	0.987	0.066	1398.72	5260.06	174	0.302	1.089	427.98	86791.00
54	1.011	0.063	1432.73	5020.97	176	0.287	1.274	406.72	101535.11

56	1.029	0.061	1458.24	4861.57	178	0.275	1.492	389.71	118909.25
58	1.049	0.059	1486.58	4702.18	180	0.266	1.719	376.96	137000.67
60	1.073	0.056	1520.59	4463.08	182	0.256	2.091	362.79	166648.28
62	1.093	0.054	1548.94	4303.69	184	0.250	2.430	354.29	193665.86
64	1.115	0.053	1580.11	4223.99	186	0.247	2.716	350.03	216459.46
66	1.136	0.051	1609.87	4064.59	188	0.245	3.047	347.20	242839.46
68	1.158	0.049	1641.05	3905.20	190	0.244	3.303	345.78	263242.12
70	1.184	0.048	1677.90	3825.50	192	0.244	3.536	345.78	281811.73
72	1.201	0.046	1701.99	3666.10	194	0.224	3.867	317.44	308191.73
74	1.223	0.045	1733.17	3586.40	196	0.245	4.069	347.20	324290.70
76	1.245	0.044	1764.34	3506.71	198	0.247	4.211	350.03	335607.80
78	1.264	0.042	1791.27	3347.31	200	0.248	4.274	351.45	340628.77
80	1.285	0.042	1821.03	3347.31	202	0.249	4.319	352.87	344215.17
82	1.305	0.041	1849.37	3267.61	204	0.251	4.364	355.70	347801.58
84	1.325	0.041	1877.71	3267.61	206	0.253	4.346	358.54	346367.01
86	1.346	0.040	1907.47	3187.92	208	0.254	4.308	359.95	343338.49
88	1.367	0.039	1937.23	3108.22	210	0.257	4.238	364.21	337759.64
90	1.387	0.039	1965.58	3108.22	212	0.260	4.125	368.46	328753.78
92	1.408	0.039	1995.34	3108.22	214	0.262	4.020	371.29	320385.50
94	1.429	0.038	2025.10	3028.52	216	0.265	3.891	375.54	310104.48
96	1.447	0.038	2050.61	3028.52	218	0.268	3.757	379.79	299424.96
98	1.468	0.038	2080.37	3028.52	220	0.272	3.598	385.46	286752.99
100	1.487	0.038	2107.29	3028.52	222	0.275	3.424	389.71	272885.56
102	1.506	0.038	2134.22	3028.52	224	0.278	3.269	393.97	260532.39
104	1.522	0.038	2156.89	3028.52	226	0.283	3.088	401.05	246107.07
106	1.541	0.038	2183.82	3028.52	228	0.286	2.934	405.30	233833.60
108	1.556	0.039	2205.07	3108.22	230	0.291	2.758	412.39	219806.77
110	1.565	0.039	2217.83	3108.22	232	0.294	2.667	416.64	212554.26
112	1.573	0.040	2229.17	3187.92	234	0.299	2.428	423.73	193506.47
114	1.574	0.041	2230.58	3267.61	236	0.304	2.268	430.81	180754.81
116	1.566	0.043	2219.25	3427.01	238	0.310	2.106	439.31	167843.75
118	1.551	0.045	2197.99	3586.40	240	0.316	1.957	447.82	155968.76
120	1.524	0.048	2159.73	3825.50	242	0.321	1.826	454.90	145528.34
122	1.499	0.050	2124.30	3984.89	244	0.327	1.696	463.41	135167.62
124	1.465	0.053	2076.11	4223.99	246	0.335	1.553	474.74	123770.82
126	1.425	0.057	2019.43	4542.78	248	0.343	1.432	486.08	114127.37
128	1.384	0.060	1961.33	4781.87	250	0.350	1.340	496.00	106795.17
130	1.334	0.065	1890.47	5180.36	252	0.360	1.216	510.17	96912.63
132	1.285	0.069	1821.03	5499.15	254	0.372	1.107	527.18	88225.56
134	1.231	0.075	1744.50	5977.34	256	0.380	1.039	538.51	82806.10
136	1.166	0.081	1652.39	6455.53	258	0.392	0.956	555.52	76191.18
138	1.110	0.088	1573.03	7013.41	260	0.402	0.891	569.69	71010.82
140	1.046	0.095	1482.33	7571.30	262	0.415	0.820	588.11	65352.27
142	0.986	0.104	1397.30	8288.58	264	0.429	0.757	607.95	60331.30
144	0.921	0.115	1305.19	9165.26	266	0.446	0.695	632.05	55390.03
146	0.865	0.126	1225.83	10041.93	268	0.459	0.651	650.47	51883.32
148	0.797	0.142	1129.46	11317.10	270	0.478	0.598	677.39	47659.34
150	0.731	0.166	1035.93	13229.85					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
43	0.193	96.147	302.08	6937983.59	159	0.260	17.005	406.95	1227083.64
45	0.194	92.832	303.64	6698772.64	161	0.262	16.391	410.08	1182777.30
47	0.195	89.405	305.21	6451479.75	163	0.264	15.685	413.21	1131832.22
49	0.196	87.224	306.77	6294098.42	165	0.266	15.108	416.34	1090195.81
51	0.197	84.575	308.34	6102946.14	167	0.267	14.480	417.90	1044879.22
53	0.198	82.405	309.90	5946358.58	169	0.269	13.926	421.03	1004902.49
55	0.199	80.313	311.47	5795399.51	171	0.271	13.452	424.16	970698.57
57	0.200	78.373	313.04	5655408.78	173	0.273	12.913	427.29	931804.24
59	0.201	76.701	314.60	5534756.98	175	0.275	12.441	430.42	897744.64
61	0.202	75.765	316.17	5467215.07	177	0.277	12.095	433.55	872777.22
63	0.203	73.395	317.73	5296195.47	179	0.280	11.707	438.25	844779.08
65	0.204	72.297	319.30	5216963.61	181	0.282	11.355	441.38	819378.70
67	0.205	70.955	320.86	5120124.66	183	0.284	11.018	444.51	795060.72
69	0.206	69.320	322.43	5002142.79	185	0.286	10.635	447.64	767423.38
71	0.207	68.195	323.99	4920962.60	187	0.289	10.244	452.34	739208.75
73	0.208	67.156	325.56	4845988.19	189	0.291	9.853	455.47	710994.13
75	0.209	66.161	327.12	4774188.82	191	0.293	9.565	458.60	690212.00
77	0.210	65.331	328.69	4714295.88	193	0.296	9.197	463.29	663657.06
79	0.211	63.905	330.25	4611395.48	195	0.299	8.916	467.99	643380.05
81	0.212	62.792	331.82	4531081.22	197	0.301	8.652	471.12	624329.77
83	0.213	61.401	333.38	4430706.42	199	0.303	8.445	474.25	609392.61
85	0.214	60.199	334.95	4343969.90	201	0.307	8.093	480.51	583992.23
87	0.215	59.400	336.51	4286313.93	203	0.309	7.863	483.64	567395.39
89	0.216	58.178	338.08	4198134.21	205	0.312	7.625	488.33	550221.27
91	0.217	56.773	339.64	4096749.17	207	0.315	7.391	493.03	533335.80
93	0.218	55.699	341.21	4019249.15	209	0.317	7.216	496.16	520707.77
95	0.219	54.474	342.77	3930852.95	211	0.321	6.974	502.42	503245.01
97	0.220	53.323	344.34	3847796.59	213	0.324	6.771	507.12	488596.49
99	0.221	52.166	345.90	3764307.28	215	0.327	6.571	511.81	474164.46
101	0.222	50.872	347.47	3670932.02	217	0.331	6.391	518.07	461175.63
103	0.223	49.583	349.03	3577917.57	219	0.334	6.198	522.77	447248.72
105	0.224	48.327	350.60	3487284.40	221	0.337	6.024	527.46	434692.85
107	0.225	46.800	352.16	3377095.82	223	0.341	5.866	533.72	423291.54
109	0.226	45.617	353.73	3291730.35	225	0.344	5.707	538.42	411818.07
111	0.227	44.310	355.29	3197417.01	227	0.348	5.524	544.68	398612.76
113	0.228	43.163	356.86	3114649.30	229	0.352	5.369	550.94	387427.94
115	0.229	41.656	358.43	3005903.92	231	0.356	5.230	557.20	377397.67
117	0.230	40.381	359.99	2913899.71	233	0.360	5.077	563.46	366357.17
119	0.231	39.087	361.56	2820524.45	235	0.364	4.925	569.72	355388.82
121	0.232	37.763	363.12	2724984.39	237	0.369	4.766	577.55	343915.36
123	0.234	36.441	366.25	2629588.65	239	0.373	4.658	583.81	336122.06
125	0.235	35.002	367.82	2525750.17	241	0.377	4.526	590.07	326596.92
127	0.236	33.468	369.38	2415056.47	243	0.382	4.374	597.90	315628.57
129	0.239	31.546	374.08	2276364.63	245	0.387	4.252	605.72	306825.03
131	0.240	30.340	375.64	2189339.47	247	0.392	4.126	613.55	297732.85
133	0.241	29.138	377.21	2102602.95	249	0.398	3.977	622.94	286980.98
135	0.242	27.916	378.77	2014423.23	251	0.402	3.892	629.20	280847.37
137	0.244	26.744	381.90	1929851.51	253	0.407	3.780	637.03	272765.43

139	0.245	25.577	383.47	1845640.60	255	0.412	3.661	644.85	264178.37
141	0.247	24.507	386.60	1768429.22	257	0.417	3.557	652.68	256673.71
143	0.248	23.705	388.16	1710556.76	259	0.423	3.455	662.07	249313.38
145	0.249	22.631	389.73	1633056.74	261	0.429	3.346	671.46	241447.92
147	0.251	21.542	392.86	1554474.32	263	0.436	3.224	682.42	232644.38
149	0.252	20.794	394.42	1500498.52	265	0.442	3.127	691.81	225644.84
151	0.254	20.015	397.55	1444285.75	267	0.448	3.035	701.20	219006.11
153	0.255	19.224	399.12	1387207.05	269	0.455	2.933	712.15	211645.77
155	0.257	18.353	402.25	1324355.55	271	0.462	2.835	723.11	204574.07
157	0.259	17.685	405.38	1276152.56					

e)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1200^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $M\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
31	0.287	1.022	342.81	96635.54	151	0.198	7.486	236.50	707841.17
33	0.290	1.021	346.40	96540.99	153	0.196	8.891	234.12	840691.41
35	0.293	1.003	349.98	94838.99	155	0.194	10.817	231.73	1022804.97
37	0.297	0.980	354.76	92664.22	157	0.193	12.211	230.53	1154615.09
39	0.301	0.956	359.53	90394.89	159	0.193	13.523	230.53	1278671.68
41	0.306	0.930	365.51	87936.45	161	0.194	15.169	231.73	1434309.75
43	0.311	0.903	371.48	85383.46	163	0.194	15.951	231.73	1508252.01
45	0.316	0.876	377.45	82830.47	165	0.195	16.272	232.92	1538604.27
47	0.323	0.845	385.81	79899.25	167	0.196	16.164	234.12	1528392.30
49	0.328	0.822	391.79	77724.48	169	0.197	16.145	235.31	1526595.75
51	0.334	0.797	398.95	75360.60	171	0.198	15.929	236.50	1506171.80
53	0.340	0.772	406.12	72996.71	173	0.199	15.666	237.70	1481303.75
55	0.347	0.746	414.48	70538.27	175	0.200	15.411	238.89	1457192.14
57	0.353	0.723	421.65	68363.50	177	0.201	15.083	240.09	1426177.99
59	0.361	0.697	431.20	65905.06	179	0.203	14.547	242.48	1375496.34
61	0.367	0.677	438.37	64013.96	181	0.204	14.084	243.67	1331717.22
63	0.375	0.654	447.93	61839.18	183	0.206	13.603	246.06	1286236.11
65	0.381	0.635	455.09	60042.63	185	0.207	13.183	247.25	1246522.87
67	0.388	0.616	463.45	58246.08	187	0.208	12.792	248.45	1209551.74
69	0.396	0.569	473.01	53801.98	189	0.209	12.311	249.64	1164070.62
71	0.403	0.581	481.37	54936.64	191	0.211	11.856	252.03	1121047.95
73	0.411	0.562	490.93	53140.09	193	0.212	11.502	253.23	1087575.37
75	0.418	0.548	499.29	51816.32	195	0.214	11.121	255.62	1051549.79
77	0.425	0.534	507.65	50492.54	197	0.216	10.659	258.01	1007865.23
79	0.433	0.518	517.20	48979.66	199	0.217	10.312	259.20	975054.53
81	0.441	0.505	526.76	47750.44	203	0.220	9.612	262.78	908865.80
83	0.447	0.455	533.93	43022.67	205	0.222	9.265	265.17	876055.10
85	0.455	0.483	543.48	45670.22	207	0.223	8.963	266.37	847499.39
87	0.463	0.472	553.04	44630.11	209	0.225	8.613	268.76	814405.03
89	0.468	0.467	559.01	44157.34	211	0.227	8.299	271.14	784714.65
91	0.476	0.455	568.57	43022.67	213	0.229	8.015	273.53	757860.94
93	0.483	0.447	576.93	42266.23	215	0.230	7.718	274.73	729778.01
95	0.489	0.441	584.09	41698.90	217	0.233	7.299	278.31	690159.33
97	0.495	0.437	591.26	41320.68	219	0.234	7.139	279.51	675030.48
99	0.500	0.433	597.23	40942.46	221	0.236	6.875	281.89	650067.87
101	0.505	0.430	603.21	40658.79	223	0.238	6.623	284.28	626239.93
103	0.510	0.428	609.18	40469.68	225	0.240	6.364	286.67	601750.10

105	0.513	0.427	612.76	40375.12	227	0.242	6.095	289.06	576314.72
107	0.515	0.429	615.15	40564.24	229	0.243	5.841	290.26	552297.66
109	0.517	0.433	617.54	40942.46	231	0.245	5.584	292.64	527996.94
111	0.516	0.437	616.35	41320.68	233	0.248	5.294	296.23	500575.90
113	0.515	0.446	615.15	42133.85	235	0.250	5.017	298.62	474384.07
115	0.512	0.455	611.57	43022.67	237	0.252	4.766	301.01	450650.69
117	0.508	0.468	606.79	44251.89	239	0.255	4.508	304.59	426255.41
119	0.503	0.484	600.82	45764.78	241	0.257	4.240	306.98	400914.58
121	0.494	0.505	590.07	47750.44	243	0.260	3.981	310.56	376424.75
123	0.482	0.533	575.73	50397.99	245	0.262	3.743	312.95	353920.59
125	0.470	0.567	561.40	53612.87	247	0.265	3.500	316.53	330943.64
127	0.453	0.613	541.09	57962.42	249	0.268	3.270	320.12	309195.92
129	0.433	0.674	517.20	63730.29	251	0.271	3.030	323.70	286502.64
131	0.410	0.749	489.73	70821.94	253	0.275	2.822	328.48	266835.13
133	0.386	0.847	461.06	80088.36	255	0.278	2.621	332.06	247829.51
135	0.359	0.977	428.81	92380.55	257	0.281	2.418	335.65	228634.78
137	0.331	1.150	395.37	108738.63	259	0.285	2.235	340.42	211331.15
139	0.308	1.407	367.90	133039.34	261	0.289	2.051	345.20	193932.97
141	0.273	1.778	326.09	168119.37	263	0.293	1.885	349.98	178236.79
143	0.246	2.381	293.84	225136.23	265	0.298	1.734	355.95	163958.94
145	0.230	3.022	274.73	285746.20	267	0.302	1.588	360.73	150153.86
147	0.214	4.194	255.62	396565.04	269	0.307	1.455	366.70	137578.00
149	0.205	5.406	244.87	511166.10	271	0.312	1.336	372.67	126325.92

17)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผืนที่  $900^\circ\text{C}$ 

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
34	0.166	1.861	209.10	166861.67	148	0.092	4.643	115.89	416302.37
36	0.164	2.014	206.58	180580.01	150	0.090	4.844	113.37	434324.51
38	0.165	1.995	207.84	178876.42	152	0.090	5.011	113.37	449298.12
40	0.168	1.942	211.62	174124.32	154	0.085	6.251	107.07	560479.46
42	0.168	1.932	211.62	173227.69	156	0.084	6.577	105.81	589709.39
44	0.171	1.881	215.40	168654.91	158	0.084	6.922	105.81	620642.91
46	0.173	1.831	217.92	164171.80	160	0.083	7.310	104.55	655431.91
48	0.175	1.795	220.44	160943.95	162	0.082	7.930	103.29	711022.58
50	0.177	1.751	222.96	156998.81	164	0.082	8.421	103.29	755046.80
52	0.183	1.639	230.52	146956.62	166	0.082	8.522	103.29	764102.70
54	0.187	1.561	235.55	139962.96	168	0.082	8.715	103.29	781407.53
56	0.191	1.492	240.59	133776.25	170	0.082	8.745	103.29	784097.41
58	0.193	1.472	243.11	131983.01	172	0.081	8.816	102.03	790463.43
60	0.195	1.440	245.63	129113.81	174	0.083	8.827	104.55	791449.72
62	0.198	1.391	249.41	124720.35	176	0.083	8.839	104.55	792525.67
64	0.200	1.361	251.93	122030.48	178	0.084	8.791	105.81	788221.87
66	0.203	1.319	255.71	118264.66	180	0.084	8.706	105.81	780600.57
68	0.205	1.297	258.23	116292.09	182	0.085	8.556	107.07	767151.22
70	0.208	1.267	262.01	113602.22	184	0.086	8.467	108.33	759171.27
72	0.209	1.243	263.27	111450.32	186	0.087	8.181	109.59	733527.83
74	0.210	1.234	264.53	110643.36	188	0.087	8.139	109.59	729762.01
76	0.219	1.127	275.86	101049.49	190	0.088	8.079	110.85	724382.27
78	0.220	1.116	277.12	100063.20	192	0.089	7.910	112.11	709229.33



80	0.224	1.072	282.16	96118.06	194	0.089	7.802	112.11	699545.79
82	0.230	1.018	289.72	91276.29	196	0.090	7.625	113.37	683675.55
84	0.231	1.005	290.98	90110.68	198	0.091	7.559	114.63	677757.84
86	0.234	0.977	294.76	87600.13	200	0.091	7.389	114.63	662515.24
88	0.236	0.948	297.28	84999.92	202	0.092	7.285	115.89	653190.35
90	0.239	0.920	301.06	82489.38	204	0.094	6.945	118.41	622705.14
92	0.241	0.898	303.58	80516.81	206	0.095	6.817	119.67	611228.36
94	0.245	0.859	308.61	77019.97	208	0.096	6.604	120.93	592130.28
96	0.247	0.836	311.13	74957.74	210	0.097	6.459	122.19	579129.23
98	0.250	0.797	314.91	71460.91	212	0.099	6.213	124.71	557072.29
100	0.251	0.784	316.17	70295.30	214	0.100	6.132	125.97	549809.64
102	0.251	0.781	316.17	70026.31	216	0.100	6.034	125.97	541022.73
104	0.255	0.734	321.21	65812.18	218	0.101	5.940	127.22	532594.46
106	0.257	0.701	323.73	62853.32	220	0.102	5.839	128.48	523538.57
108	0.256	0.680	322.47	60970.41	222	0.103	5.601	129.74	502198.92
110	0.253	0.695	318.69	62315.35	224	0.107	5.122	134.78	459250.65
112	0.243	0.758	306.10	67964.07	226	0.108	4.909	136.04	440152.56
114	0.241	0.772	303.58	69219.35	228	0.109	4.825	137.30	432620.92
116	0.237	0.798	298.54	71550.57	230	0.109	4.778	137.30	428406.79
118	0.232	0.829	292.24	74330.10	232	0.110	4.732	138.56	424282.32
120	0.224	0.893	282.16	80068.49	234	0.110	4.674	138.56	419081.91
122	0.194	1.143	244.37	102484.09	236	0.111	4.622	139.82	414419.46
124	0.188	1.204	236.81	107953.49	238	0.111	4.586	139.82	411191.62
126	0.184	1.245	231.78	111629.65	240	0.113	4.191	142.34	375774.98
128	0.172	1.389	216.66	124541.03	242	0.115	3.999	144.86	358559.81
130	0.154	1.636	193.99	146687.63	244	0.115	3.920	144.86	351476.48
132	0.146	1.766	183.91	158343.74	246	0.115	3.882	144.86	348069.31
134	0.142	1.847	178.87	165606.39	248	0.116	3.761	146.12	337220.17
136	0.136	1.982	171.31	177710.81	250	0.117	3.584	147.38	321349.93
138	0.123	2.317	154.94	207747.71	252	0.118	3.466	148.64	310769.77
140	0.120	2.455	151.16	220121.11	254	0.119	3.237	149.90	290237.08
142	0.114	2.693	143.60	241460.76	256	0.120	3.137	151.16	281270.85
144	0.118	2.819	148.64	252758.21	258	0.121	2.991	152.42	268180.14
146	0.093	4.368	117.15	391645.22	260	0.121	2.935	152.42	263159.05

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
36	0.176	1.798	229.89	155471.52	148	0.131	2.845	171.11	246004.71
38	0.178	1.732	232.50	149764.56	150	0.125	3.234	163.27	279641.21
40	0.180	1.694	235.11	146478.73	152	0.120	3.851	156.74	332992.67
42	0.183	1.635	239.03	141377.05	154	0.117	4.218	152.82	364726.84
44	0.188	1.542	245.56	133335.42	156	0.115	4.687	150.21	405280.87
46	0.191	1.478	249.48	127801.39	158	0.113	5.169	147.60	446959.00
48	0.195	1.417	254.70	122526.78	160	0.111	5.169	144.98	446959.00
50	0.199	1.362	259.93	117770.97	162	0.110	6.214	143.68	537319.25
52	0.204	1.305	266.46	112842.23	164	0.109	6.707	142.37	579983.13
54	0.207	1.252	270.38	108259.37	166	0.109	7.102	142.37	614103.85
56	0.211	1.209	275.60	104541.19	168	0.108	7.570	141.07	654571.41
58	0.215	1.163	280.83	100563.61	170	0.108	7.889	141.07	682155.07
60	0.220	1.118	287.36	96672.50	172	0.108	8.206	141.07	709565.79

62	0.224	1.080	292.58	93386.67	174	0.108	8.351	141.07	722103.81
64	0.228	1.043	297.81	90187.32	176	0.109	8.457	142.37	731269.54
66	0.232	1.009	303.03	87247.37	178	0.109	8.457	142.37	731269.54
68	0.237	0.973	309.56	84134.48	180	0.110	8.413	143.68	727464.90
70	0.241	0.945	314.79	81713.34	182	0.111	8.307	144.98	718299.17
72	0.244	0.928	318.71	80243.36	184	0.111	8.196	144.98	708701.09
74	0.248	0.891	323.93	77044.01	186	0.112	8.042	146.29	695384.85
76	0.253	0.864	330.46	74709.34	188	0.113	7.846	147.60	678436.89
78	0.255	0.848	333.07	73325.83	190	0.114	7.684	148.90	664428.89
80	0.258	0.829	336.99	71682.92	192	0.115	7.456	150.21	644713.93
82	0.261	0.808	340.91	69867.07	194	0.117	7.204	152.82	622923.71
84	0.264	0.791	344.83	68397.09	196	0.117	7.032	152.82	608051.01
86	0.266	0.775	347.44	67013.59	198	0.119	6.810	155.43	588854.86
88	0.268	0.756	350.05	65370.67	200	0.120	6.623	156.74	572685.13
90	0.270	0.741	352.67	64073.63	202	0.122	6.324	159.35	546830.86
92	0.271	0.728	353.97	62949.54	204	0.123	6.091	160.66	526683.55
94	0.272	0.716	355.28	61911.91	206	0.124	5.948	161.96	514318.46
96	0.273	0.703	356.58	60787.81	208	0.126	5.707	164.58	493479.40
98	0.274	0.689	357.89	59577.24	210	0.128	5.467	167.19	472726.80
100	0.274	0.679	357.89	58712.55	212	0.130	5.275	169.80	456124.73
102	0.273	0.668	356.58	57761.39	214	0.131	5.119	171.11	442635.54
104	0.273	0.660	356.58	57069.63	216	0.133	4.885	173.72	422401.76
106	0.271	0.653	353.97	56464.35	218	0.135	4.673	176.33	404070.30
108	0.270	0.649	352.67	56118.47	220	0.137	4.536	178.95	392224.03
110	0.267	0.646	348.75	55859.07	222	0.139	4.349	181.56	376054.30
112	0.265	0.647	346.13	55945.54	224	0.141	4.216	184.17	364553.91
114	0.261	0.654	340.91	56550.82	226	0.143	4.030	186.78	348470.65
116	0.258	0.665	336.99	57501.98	228	0.146	3.854	190.70	333252.08
118	0.251	0.699	327.85	60441.93	230	0.148	3.712	193.31	320973.46
120	0.246	0.733	321.32	63381.88	232	0.150	3.585	195.93	309991.88
122	0.239	0.778	312.17	67272.99	234	0.154	3.585	201.15	309991.88
124	0.228	0.861	297.81	74449.93	236	0.156	3.298	203.76	285175.23
126	0.219	0.928	286.05	80243.36	238	0.159	3.131	207.68	270734.89
128	0.209	1.019	272.99	88112.06	240	0.162	3.023	211.60	261396.22
130	0.200	1.107	261.23	95721.34	242	0.168	2.877	219.44	248771.72
132	0.192	1.196	250.78	103417.09	244	0.170	2.676	222.05	231391.43
134	0.182	1.319	237.72	114052.80	246	0.172	2.622	224.66	226722.09
136	0.173	1.464	225.97	126590.83	248	0.175	2.497	228.58	215913.45
138	0.164	1.623	214.21	140339.42	250	0.178	2.394	232.50	207007.13
140	0.165	1.813	215.52	156768.56	252	0.182	2.284	237.72	197495.52
142	0.148	2.044	193.31	176742.93	254	0.185	2.175	241.64	188070.39
144	0.142	2.252	185.48	194728.51	256	0.192	1.940	250.78	167750.14
146	0.136	2.527	177.64	218507.52	264	0.192	1.793	250.78	155039.17

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 1100°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
31	0.181	9.151	248.79	751915.30	153	0.257	3.696	353.26	303691.29
33	0.182	9.062	250.17	744602.39	155	0.258	3.668	354.63	301390.59
35	0.183	8.819	251.54	724635.67	157	0.260	3.603	357.38	296049.70
37	0.184	8.708	252.92	715515.07	159	0.261	3.572	358.76	293502.51

39	0.185	8.594	254.29	706147.97	161	0.262	3.526	360.13	289722.80
41	0.187	8.379	257.04	688481.95	163	0.263	3.489	361.51	286682.60
43	0.188	8.227	258.42	675992.48	165	0.264	3.444	362.88	282985.06
45	0.189	8.112	259.79	666543.21	167	0.265	3.409	364.26	280109.20
47	0.190	7.940	261.16	652410.39	169	0.267	3.357	367.00	275836.48
49	0.192	7.751	263.91	636880.72	171	0.268	3.320	368.38	272796.28
51	0.193	7.661	265.29	629485.64	173	0.269	3.279	369.75	269427.41
53	0.194	7.553	266.66	620611.55	175	0.270	3.252	371.13	267208.89
55	0.196	7.367	269.41	605328.38	177	0.271	3.228	372.50	265236.87
57	0.197	7.212	270.79	592592.41	179	0.272	3.195	373.88	262525.34
59	0.198	7.137	272.16	586429.84	181	0.273	3.172	375.25	260635.49
61	0.200	6.977	274.91	573283.04	183	0.274	3.140	376.63	258006.12
63	0.200	6.912	274.91	567942.14	185	0.275	3.096	378.00	254390.75
65	0.203	6.715	279.03	551755.14	187	0.276	3.071	379.38	252336.56
67	0.203	6.642	279.03	545756.90	189	0.277	3.042	380.75	249953.70
69	0.204	6.568	280.41	539676.50	191	0.279	2.990	383.50	245680.99
71	0.206	6.470	283.16	531624.08	193	0.280	2.956	384.87	242887.29
73	0.207	6.357	284.53	522339.15	195	0.281	2.920	386.25	239929.26
75	0.208	6.281	285.91	516094.42	197	0.282	2.882	387.62	236806.90
77	0.209	6.190	287.28	508617.17	199	0.283	2.847	389.00	233931.03
79	0.211	6.068	290.03	498592.73	201	0.284	2.803	390.37	230315.66
81	0.212	5.965	291.40	490129.47	203	0.285	2.774	391.75	227932.80
83	0.213	5.886	292.78	483638.23	205	0.287	2.723	394.50	223742.25
85	0.215	5.761	295.53	473367.29	207	0.288	2.686	395.87	220702.05
87	0.216	5.674	296.90	466218.71	209	0.289	2.643	397.24	217168.85
89	0.217	5.631	298.28	462685.51	211	0.290	2.602	398.62	213799.98
91	0.219	5.528	301.03	454222.25	213	0.291	2.571	399.99	211252.79
93	0.220	5.471	302.40	449538.70	215	0.293	2.516	402.74	206733.57
95	0.221	5.395	303.78	443293.96	217	0.294	2.470	404.12	202953.86
97	0.222	5.329	305.15	437870.90	219	0.296	2.424	406.87	199174.15
99	0.224	5.237	307.90	430311.49	221	0.297	2.377	408.24	195312.28
101	0.225	5.158	309.27	423820.25	223	0.299	2.334	410.99	191779.07
103	0.226	5.089	310.65	418150.69	225	0.301	2.286	413.74	187835.03
105	0.227	5.014	312.02	411988.12	227	0.302	2.236	415.11	183726.65
107	0.229	4.952	314.77	406893.74	229	0.304	2.194	417.86	180275.62
109	0.230	4.886	316.15	401470.68	231	0.306	2.138	420.61	175674.23
111	0.231	4.826	317.52	396540.62	233	0.308	2.084	423.36	171237.19
113	0.232	4.792	318.90	393746.93	235	0.310	2.037	426.11	167375.31
115	0.233	4.741	320.27	389556.38	237	0.312	1.987	428.86	163266.93
117	0.235	4.649	323.02	381996.97	239	0.314	1.934	431.61	158912.05
119	0.235	4.601	323.02	378052.92	241	0.317	1.823	435.73	149791.45
121	0.237	4.518	325.77	371233.02	243	0.319	1.831	438.48	150448.79
123	0.238	4.472	327.14	367453.31	245	0.322	1.783	442.60	146504.75
125	0.239	4.426	328.52	363673.60	247	0.324	1.730	445.35	142149.87
127	0.241	4.353	331.27	357675.37	249	0.327	1.688	449.48	138698.83
129	0.242	4.295	332.64	352909.65	251	0.330	1.632	453.60	134097.45
131	0.243	4.250	334.02	349212.11	253	0.334	1.580	459.10	129824.74
133	0.244	4.190	335.39	344282.06	255	0.337	1.532	463.22	125880.70
135	0.246	4.142	338.14	340338.02	257	0.341	1.480	468.72	121607.98
137	0.247	4.099	339.51	336804.81	259	0.344	1.430	472.84	117499.60
139	0.248	4.039	340.89	331874.76	261	0.349	1.384	479.72	113719.90

141	0.249	3.992	342.26	328012.88	263	0.353	1.338	485.22	109940.19
143	0.250	3.940	343.64	323740.17	265	0.357	1.297	490.71	106571.32
145	0.251	3.914	345.01	321603.81	267	0.362	1.251	497.59	102791.61
147	0.252	3.874	346.39	318317.11	269	0.367	1.204	504.46	98929.74
149	0.255	3.791	350.51	311497.20	271	0.372	1.162	511.33	95478.70
151	0.256	3.749	351.88	308046.17					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่ 1150°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
31	0.174	6.366	258.39	484179.77	153	0.277	1.940	411.34	147550.86
33	0.175	6.296	259.87	478855.77	155	0.279	1.923	414.31	146257.89
35	0.176	6.163	261.36	468740.17	157	0.280	1.904	415.79	144812.80
37	0.177	6.008	262.84	456951.31	159	0.281	1.889	417.28	143671.94
39	0.179	5.857	265.81	445466.69	161	0.282	1.877	418.76	142759.26
41	0.180	5.719	267.30	434970.80	163	0.284	1.864	421.73	141770.51
43	0.181	5.572	268.78	423790.40	165	0.285	1.850	423.22	140705.71
45	0.183	5.421	271.75	412305.77	167	0.286	1.840	424.70	139945.14
47	0.185	5.286	274.72	402038.06	169	0.287	1.829	426.19	139108.51
49	0.186	5.141	276.21	391009.77	171	0.288	1.820	427.67	138424.00
51	0.188	5.019	279.18	381730.80	173	0.289	1.811	429.16	137739.49
53	0.189	4.882	280.66	371310.97	175	0.289	1.808	429.16	137511.31
55	0.191	4.778	283.63	363401.03	177	0.290	1.800	430.64	136902.86
57	0.193	4.641	286.60	352981.20	179	0.291	1.797	432.13	136674.69
59	0.194	4.548	288.09	345907.89	181	0.291	1.792	432.13	136294.40
61	0.196	4.416	291.06	335868.34	183	0.292	1.791	433.61	136218.34
63	0.198	4.322	294.03	328718.97	185	0.292	1.787	433.61	135914.11
65	0.199	4.210	295.51	320200.57	187	0.292	1.786	433.61	135838.06
67	0.201	4.115	298.48	312975.14	189	0.293	1.782	435.10	135533.83
69	0.203	4.020	301.45	305749.71	191	0.293	1.781	435.10	135457.77
71	0.204	3.933	302.94	299132.74	193	0.294	1.779	436.58	135305.66
73	0.206	3.836	305.91	291755.20	195	0.294	1.776	436.58	135077.49
75	0.208	3.755	308.88	285594.57	197	0.294	1.773	436.58	134849.31
77	0.210	3.661	311.85	278445.20	199	0.295	1.773	438.07	134849.31
79	0.211	3.588	313.33	272893.03	201	0.295	1.764	438.07	134164.80
81	0.213	3.507	316.30	266732.40	203	0.296	1.764	439.55	134164.80
83	0.215	3.427	319.27	260647.83	205	0.296	1.760	439.55	133860.57
85	0.217	3.360	322.24	255552.00	207	0.297	1.750	441.04	133100.00
87	0.219	3.292	325.21	250380.11	209	0.298	1.749	442.52	133023.94
89	0.220	3.225	326.70	245284.29	211	0.298	1.740	442.52	132339.43
91	0.222	3.163	329.67	240568.74	213	0.299	1.731	444.01	131654.91
93	0.224	3.088	332.64	234864.46	215	0.299	1.730	444.01	131578.86
95	0.226	3.032	335.61	230605.26	217	0.300	1.715	445.49	130438.00
97	0.228	2.966	338.58	225585.49	219	0.301	1.706	446.98	129753.49
99	0.230	2.912	341.55	221478.40	221	0.302	1.702	448.46	129449.26
101	0.231	2.855	343.03	217143.14	223	0.303	1.690	449.95	128536.57
103	0.233	2.802	346.00	213112.11	225	0.303	1.678	449.95	127623.89
105	0.235	2.747	348.97	208928.97	227	0.304	1.667	451.43	126787.26
107	0.237	2.695	351.94	204974.00	229	0.306	1.652	454.40	125646.40
109	0.239	2.646	354.91	201247.20	231	0.307	1.637	455.89	124505.54
111	0.241	2.604	357.88	198052.80	233	0.308	1.622	457.37	123364.69

113	0.243	2.557	360.85	194478.11	235	0.309	1.602	458.86	121843.54
115	0.245	2.517	363.82	191435.83	237	0.311	1.586	461.83	120626.63
117	0.246	2.476	365.30	188317.49	239	0.312	1.564	463.31	118953.37
119	0.248	2.434	368.27	185123.09	241	0.314	1.544	466.28	117432.23
121	0.251	2.393	372.73	182004.74	243	0.316	1.521	469.25	115682.91
123	0.253	2.356	375.70	179190.63	245	0.318	1.498	472.22	113933.60
125	0.254	2.322	377.18	176604.69	247	0.320	1.473	475.19	112032.17
127	0.256	2.289	380.15	174094.80	249	0.322	1.446	478.16	109978.63
129	0.258	2.256	383.12	171584.91	251	0.324	1.419	481.13	107925.09
131	0.259	2.225	384.61	169227.14	253	0.327	1.391	485.59	105795.49
133	0.261	2.191	387.58	166641.20	255	0.329	1.361	488.56	103513.77
135	0.263	2.163	390.55	164511.60	257	0.332	1.329	493.01	101079.94
137	0.265	2.133	393.52	162229.89	259	0.336	1.298	498.95	98722.17
139	0.266	2.106	395.00	160176.34	261	0.339	1.367	503.41	103970.11
141	0.268	2.082	397.97	158350.97	263	0.342	1.236	507.86	94006.63
143	0.269	2.056	399.46	156373.49	265	0.346	1.202	513.80	91420.69
145	0.271	2.031	402.43	154472.06	267	0.349	1.109	518.26	84347.37
147	0.273	2.007	405.40	152646.69	269	0.354	1.134	525.68	86248.80
149	0.274	1.984	406.88	150897.37	271	0.357	1.103	530.14	83891.03
151	0.276	1.963	409.85	149300.17					

e)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 21 ในการทดลองที่ 5 ซึ่งเผาผนึกที่  $1200^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
26	0.256	1.281	233.02	158,946.85	150	0.193	9.618	175.68	1,193,404.19
28	0.265	1.200	241.21	148,896.34	152	0.194	9.554	176.59	1,185,463.05
30	0.267	1.177	243.04	146,042.50	154	0.194	9.454	176.59	1,173,055.02
32	0.272	1.140	247.59	141,451.53	156	0.195	9.327	177.50	1,157,296.82
34	0.275	1.111	250.32	137,853.20	158	0.196	9.102	178.41	1,129,378.76
36	0.280	1.073	254.87	133,138.15	160	0.197	9.040	179.32	1,121,685.78
38	0.285	1.034	259.42	128,299.02	162	0.197	8.920	179.32	1,106,796.15
40	0.289	1.004	263.06	124,576.61	164	0.198	8.793	180.23	1,091,037.95
42	0.294	0.971	267.61	120,481.96	166	0.199	8.595	181.14	1,066,470.06
44	0.299	0.936	272.16	116,139.15	168	0.200	8.440	182.05	1,047,237.61
46	0.305	0.904	277.62	112,168.58	170	0.201	8.263	182.96	1,025,275.40
48	0.309	0.879	281.27	109,066.57	172	0.202	8.032	183.87	996,612.85
50	0.314	0.850	285.82	105,468.24	174	0.203	7.835	184.78	972,169.04
52	0.319	0.827	290.37	102,614.40	176	0.203	7.724	184.78	958,396.13
54	0.324	0.802	294.92	99,512.39	178	0.204	7.567	185.69	938,915.52
56	0.329	0.780	299.47	96,782.62	180	0.205	7.304	186.60	906,282.41
58	0.334	0.759	304.02	94,176.94	182	0.206	7.127	187.51	884,320.20
60	0.338	0.741	307.66	91,943.49	184	0.207	6.945	188.42	861,737.58
62	0.343	0.723	312.21	89,710.05	186	0.208	6.742	189.33	836,549.29
64	0.347	0.708	315.85	87,848.84	188	0.209	6.572	190.24	815,455.64
66	0.351	0.694	319.50	86,124.13	190	0.210	6.370	191.15	790,391.42
68	0.354	0.683	322.23	84,746.84	192	0.211	6.243	192.06	774,633.22
70	0.358	0.672	325.87	83,381.95	194	0.212	6.043	192.97	749,817.17
72	0.361	0.662	328.60	82,141.15	196	0.214	5.804	194.79	720,161.98
74	0.364	0.655	331.33	81,272.59	198	0.215	5.654	195.70	701,549.94
76	0.366	0.648	333.15	80,404.03	200	0.216	5.464	196.61	677,974.68
78	0.368	0.642	334.97	79,659.54	202	0.218	5.272	198.43	654,151.27

80	0.370	0.640	336.79	79,411.38	204	0.219	5.092	199.34	631,816.81
82	0.370	0.638	336.79	79,163.22	206	0.220	4.899	200.25	607,869.32
84	0.371	0.638	337.70	79,163.22	208	0.222	4.714	202.07	584,914.47
86	0.371	0.641	337.70	79,535.46	210	0.223	4.486	202.98	556,624.16
88	0.370	0.617	336.79	76,557.54	212	0.225	4.309	204.80	534,661.95
90	0.368	0.658	334.97	81,644.83	214	0.227	4.114	206.63	510,466.30
92	0.365	0.671	332.24	83,257.87	216	0.228	3.935	207.54	488,255.92
94	0.361	0.688	328.60	85,367.24	218	0.230	3.699	209.36	458,972.98
96	0.355	0.716	323.14	88,841.48	220	0.232	3.502	211.18	434,529.16
98	0.347	0.756	315.85	93,804.70	222	0.235	3.248	213.91	403,012.77
100	0.332	0.830	302.20	102,986.64	224	0.237	3.053	215.73	378,817.11
102	0.324	0.874	294.92	108,446.17	226	0.238	2.946	216.64	365,540.52
104	0.312	0.953	284.00	118,248.51	228	0.241	2.769	219.37	343,578.31
106	0.299	1.052	272.16	130,532.46	230	0.243	2.575	221.19	319,506.74
108	0.280	1.229	254.87	152,494.67	232	0.245	2.428	223.01	301,266.93
110	0.264	1.422	240.30	176,442.17	234	0.248	2.266	225.74	281,165.93
112	0.249	1.663	226.65	206,345.52	236	0.251	2.112	228.47	262,057.56
114	0.236	1.946	214.82	241,460.24	238	0.254	1.964	231.20	243,693.68
116	0.223	2.365	202.98	293,449.88	240	0.257	1.828	233.93	226,818.76
118	0.213	2.855	193.88	354,249.22	242	0.260	1.689	236.66	209,571.60
120	0.207	3.293	188.42	408,596.38	244	0.263	1.571	239.39	194,930.13
122	0.201	3.922	182.96	486,642.88	246	0.267	1.451	243.04	180,040.49
124	0.197	4.617	179.32	572,878.68	248	0.271	1.341	246.68	166,391.66
126	0.194	5.418	176.59	672,266.99	250	0.275	1.243	250.32	154,231.80
128	0.192	6.436	174.77	798,580.72	252	0.279	1.155	253.96	143,312.73
130	0.191	6.931	173.86	860,000.46	254	0.284	1.058	258.51	131,276.94
132	0.191	7.597	173.86	942,637.93	256	0.288	0.976	262.15	121,102.36
134	0.190	8.308	172.95	1,030,859.01	258	0.293	0.904	266.70	112,168.58
136	0.190	8.704	172.95	1,079,994.81	260	0.299	0.832	272.16	103,234.80
138	0.190	9.099	172.95	1,129,006.52	262	0.304	0.772	276.71	95,789.98
140	0.190	9.314	172.95	1,155,683.78	264	0.309	0.716	281.27	88,841.48
142	0.191	9.531	173.86	1,182,609.20	266	0.316	0.661	287.64	82,017.07
144	0.191	9.628	173.86	1,194,644.99	268	0.323	0.608	294.01	75,440.81
146	0.192	9.672	174.77	1,200,104.52	270	0.330	0.560	300.38	69,484.96
148	0.192	9.669	174.77	1,199,732.28					

18)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 20 ใส่แบ่งในการทดลองที่ 6

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 20 ในการทดลองที่ 6 ใส่แบ่ง 0 % แล้วเผาผนึกที่ 1000°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
37	0.329	0.772	463.93	61833.60	153	0.262	0.687	369.45	55025.49
39	0.336	0.745	473.80	59671.02	155	0.242	0.764	341.25	61192.84
41	0.346	0.712	487.90	57027.88	157	0.225	0.836	317.27	66959.70
43	0.355	0.681	500.59	54544.92	159	0.212	0.907	298.94	72646.47
45	0.366	0.651	516.10	52142.06	161	0.194	1.036	273.56	82978.77
47	0.376	0.622	530.20	49819.30	163	0.183	1.126	258.05	90187.35
49	0.387	0.594	545.71	47576.63	165	0.168	1.304	236.90	104444.32
51	0.399	0.568	562.63	45494.15	167	0.162	1.403	228.44	112373.75
53	0.413	0.541	582.38	43331.58	169	0.151	1.608	212.93	128793.30
55	0.424	0.519	597.89	41569.48	171	0.141	1.748	198.83	140006.64
57	0.438	0.495	617.63	39647.19	173	0.138	2.015	194.60	161392.10

59	0.450	0.475	634.55	38045.28	175	0.133	2.236	187.54	179093.17
61	0.463	0.455	652.88	36443.38	177	0.127	2.528	179.08	202481.00
63	0.478	0.435	674.03	34841.47	179	0.124	2.817	174.85	225628.56
65	0.490	0.418	690.95	33479.85	181	0.120	3.143	169.21	251739.64
67	0.504	0.401	710.70	32118.23	183	0.119	3.317	167.80	265676.22
69	0.517	0.387	729.03	30996.89	185	0.117	3.600	164.98	288343.20
71	0.532	0.370	750.18	29635.27	187	0.115	3.925	162.16	314374.19
73	0.546	0.356	769.92	28513.94	189	0.114	4.196	160.75	336080.02
75	0.559	0.343	788.25	27472.70	191	0.113	4.620	159.34	370040.44
77	0.569	0.333	802.35	26671.75	193	0.112	4.799	157.93	384377.51
79	0.581	0.322	819.27	25790.70	195	0.112	5.063	157.93	405522.68
81	0.592	0.312	834.79	24989.74	197	0.112	5.178	157.93	414733.64
83	0.605	0.300	853.12	24028.60	199	0.112	5.390	157.93	431713.85
85	0.617	0.289	870.04	23147.55	201	0.112	5.555	157.93	444929.58
87	0.627	0.280	884.14	22426.69	203	0.113	5.649	159.34	452458.54
89	0.637	0.270	898.24	21625.74	205	0.113	5.702	159.34	456703.60
91	0.647	0.261	912.34	20904.88	207	0.114	5.764	160.75	461669.51
93	0.656	0.252	925.03	20184.02	209	0.115	5.794	162.16	464072.37
95	0.664	0.244	936.31	19543.26	211	0.116	5.738	163.57	459587.03
97	0.671	0.238	946.18	19062.69	213	0.117	5.749	164.98	460468.08
99	0.678	0.231	956.06	18502.02	215	0.118	5.695	166.39	456142.93
101	0.686	0.222	967.34	17781.16	217	0.120	5.603	169.21	448774.16
103	0.691	0.216	974.39	17300.59	219	0.121	5.487	170.62	439483.10
105	0.697	0.210	982.85	16820.02	221	0.123	5.361	173.44	429391.09
107	0.701	0.204	988.49	16339.45	223	0.123	5.289	173.44	423624.22
109	0.704	0.199	992.72	15938.97	225	0.125	5.172	176.26	414253.07
111	0.706	0.196	995.54	15698.69	227	0.126	5.067	177.67	405843.06
113	0.705	0.197	994.13	15778.78	229	0.128	4.933	180.49	395110.28
115	0.698	0.201	984.26	16099.16	231	0.130	4.734	183.31	379171.31
117	0.686	0.210	967.34	16820.02	233	0.131	4.665	184.72	373644.73
119	0.668	0.221	941.95	17701.07	235	0.133	4.514	187.54	361550.34
121	0.644	0.235	908.11	18822.40	237	0.135	4.637	190.36	371402.06
123	0.623	0.249	878.50	19943.74	239	0.137	4.235	193.19	339203.74
125	0.604	0.259	851.71	20744.69	241	0.139	4.116	196.01	329672.40
127	0.577	0.275	813.63	22026.22	243	0.141	3.982	198.83	318939.62
129	0.552	0.292	778.38	23387.84	245	0.142	3.864	200.24	309488.37
131	0.533	0.305	751.59	24429.08	247	0.143	3.773	201.65	302199.70
133	0.502	0.329	707.88	26351.36	249	0.146	3.632	205.88	290906.25
135	0.474	0.353	668.39	28273.65	251	0.147	3.523	207.29	282175.86
137	0.446	0.377	628.91	30195.94	253	0.148	3.407	208.70	272884.80
139	0.418	0.406	589.43	32518.71	255	0.150	3.308	211.52	264955.37
141	0.394	0.435	555.58	34841.47	257	0.152	3.171	214.34	253982.30
143	0.374	0.460	527.38	36843.85	259	0.154	3.029	217.16	242608.77
145	0.348	0.497	490.72	39807.38	261	0.156	2.909	219.98	232997.33
147	0.324	0.537	456.88	43011.19	263	0.157	2.783	221.39	222905.31
149	0.301	0.587	424.44	47015.96	265	0.159	2.665	224.21	213454.07
151	0.280	0.642	394.83	51421.20	267	0.157	2.600	221.39	208247.87

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 20 ในการทดลองที่ 6 ใส่แป่ง 5 % แล้วเผาผนึกที่  $1000^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
28	0.373	0.317	567.00	23553.13	150	0.073	3.509	110.97	260719.04
30	0.374	0.314	568.52	23330.23	152	0.069	4.442	104.89	330041.03
32	0.394	0.285	598.92	21175.53	154	0.066	5.604	100.33	416377.74
34	0.402	0.276	611.08	20506.83	156	0.064	6.774	97.29	503308.85
36	0.407	0.269	618.68	19986.73	158	0.062	8.091	94.25	601162.08
38	0.429	0.245	652.12	18203.52	160	0.061	9.310	92.73	691733.90
40	0.433	0.240	658.20	17832.02	162	0.059	10.557	89.69	784386.12
42	0.447	0.227	679.48	16866.12	164	0.059	11.531	89.69	856754.41
44	0.456	0.220	693.16	16346.02	166	0.059	12.587	89.69	935215.32
46	0.464	0.214	705.32	15900.22	168	0.058	13.461	88.17	1000153.60
48	0.480	0.203	729.65	15082.92	170	0.058	14.272	88.17	1060410.98
50	0.489	0.197	743.33	14637.12	172	0.058	14.888	88.17	1106179.84
52	0.505	0.188	767.65	13968.42	174	0.058	15.316	88.17	1137980.28
54	0.517	0.182	785.89	13522.62	176	0.058	15.888	88.17	1180479.94
56	0.532	0.176	808.69	13076.82	178	0.058	16.141	88.17	1199277.86
58	0.547	0.171	831.49	12705.32	180	0.059	16.282	89.69	1209754.17
60	0.567	0.165	861.89	12259.52	182	0.059	16.390	89.69	1217778.58
62	0.580	0.161	881.66	11962.32	184	0.059	16.535	89.69	1228552.10
64	0.596	0.158	905.98	11739.42	186	0.059	16.487	89.69	1224985.69
66	0.607	0.156	922.70	11590.82	188	0.060	16.504	91.21	1226248.80
68	0.618	0.154	939.42	11442.21	190	0.060	16.322	91.21	1212726.18
70	0.633	0.152	962.22	11293.61	192	0.060	16.151	91.21	1200020.86
72	0.645	0.149	980.46	11070.71	194	0.061	15.909	92.73	1182040.24
74	0.655	0.147	995.66	10922.11	196	0.061	15.762	92.73	1171118.12
76	0.665	0.145	1010.86	10773.51	198	0.061	15.508	92.73	1152245.90
78	0.672	0.143	1021.50	10624.91	200	0.062	15.247	94.25	1132853.57
80	0.679	0.141	1032.15	10476.31	202	0.062	14.929	94.25	1109226.14
82	0.685	0.139	1041.27	10327.71	204	0.063	14.673	95.77	1090205.32
84	0.691	0.137	1050.39	10179.11	206	0.063	14.384	95.77	1068732.59
86	0.694	0.135	1054.95	10030.51	208	0.064	13.836	97.29	1028016.14
88	0.696	0.134	1057.99	9956.21	210	0.064	13.534	97.29	1005577.51
90	0.699	0.132	1062.55	9807.61	212	0.065	13.251	98.81	984550.58
92	0.695	0.131	1056.47	9733.31	214	0.066	12.878	100.33	956836.64
94	0.692	0.129	1051.91	9584.71	216	0.066	12.656	100.33	940342.02
96	0.687	0.128	1044.31	9510.41	218	0.067	12.273	101.85	911885.09
98	0.681	0.126	1035.19	9361.81	220	0.067	11.981	101.85	890189.46
100	0.672	0.125	1021.50	9287.51	222	0.068	11.627	103.37	863887.22
102	0.663	0.124	1007.82	9213.21	224	0.069	11.236	104.89	834835.89
104	0.650	0.124	988.06	9213.21	226	0.069	10.917	104.89	811134.16
106	0.637	0.124	968.30	9213.21	228	0.070	10.626	106.41	789512.83
108	0.622	0.125	945.50	9287.51	230	0.071	10.322	107.93	766925.60
110	0.603	0.129	916.62	9584.71	232	0.072	9.948	109.45	739137.36
112	0.583	0.135	886.22	10030.51	234	0.073	9.638	110.97	716104.33
114	0.558	0.143	848.21	10624.91	236	0.074	9.312	112.49	691882.50
116	0.533	0.154	810.21	11442.21	238	0.075	9.040	114.01	671672.87
118	0.501	0.170	761.57	12631.02	240	0.076	8.684	115.53	645222.04
120	0.468	0.188	711.41	13968.42	242	0.076	8.416	115.53	625309.61
122	0.430	0.213	653.64	15825.92	244	0.077	8.110	117.05	602573.78



124	0.396	0.237	601.96	17609.12	246	0.078	7.774	118.57	577608.95
126	0.359	0.270	545.71	20061.03	248	0.079	7.630	120.09	566909.74
128	0.318	0.313	483.39	23255.93	250	0.080	7.223	121.61	536669.60
130	0.276	0.366	419.55	27193.84	252	0.081	6.840	123.13	508212.66
132	0.244	0.431	370.90	32023.34	254	0.080	6.749	121.61	501451.35
134	0.210	0.515	319.22	38264.55	256	0.080	6.583	121.61	489117.54
136	0.179	0.627	272.10	46586.16	258	0.081	6.201	123.13	460734.90
138	0.154	0.758	234.09	56319.47	260	0.082	5.812	124.65	431832.16
140	0.131	0.959	199.13	71253.79	262	0.082	5.481	124.65	407238.83
142	0.112	1.242	170.25	92280.72	264	0.083	5.142	126.17	382051.10
144	0.098	1.589	148.97	118062.85	266	0.083	4.798	126.17	356491.86
146	0.088	2.070	133.77	153801.20	268	0.084	4.458	127.69	331229.83
148	0.079	2.705	120.09	200981.76	270	0.085	4.122	129.21	306265.00

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 20 ในการทดลองที่ 6 ใส่แป้ 10 % แล้วเผาผนึกที่ 1000°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
27	0.212	1.001	346.93	69086.19	149	0.048	10.713	78.55	739380.95
29	0.207	1.017	338.75	70190.46	151	0.047	12.635	76.91	872031.95
31	0.205	1.015	335.47	70052.43	153	0.046	14.768	75.28	1019245.57
33	0.205	1.001	335.47	69086.19	155	0.045	17.081	73.64	1178882.29
35	0.205	0.987	335.47	68119.95	157	0.045	19.143	73.64	1321195.69
37	0.207	0.949	338.75	65497.29	159	0.045	21.111	73.64	1457021.48
39	0.209	0.919	342.02	63426.78	161	0.044	22.636	72.00	1562272.67
41	0.212	0.886	346.93	61149.21	163	0.044	24.034	72.00	1658758.67
43	0.214	0.852	350.20	58802.63	165	0.044	25.468	72.00	1757729.29
45	0.217	0.818	355.11	56456.05	167	0.044	26.191	72.00	1807628.71
47	0.219	0.786	358.38	54247.50	169	0.044	26.769	72.00	1847520.63
49	0.222	0.757	363.29	52246.00	171	0.044	27.911	72.00	1926338.24
51	0.225	0.726	368.20	50106.47	173	0.044	27.841	72.00	1921507.04
53	0.227	0.700	371.47	48312.02	177	0.045	28.125	73.64	1941107.92
55	0.229	0.680	374.75	46931.68	179	0.045	28.881	73.64	1993284.90
57	0.231	0.657	378.02	45344.28	181	0.045	27.691	73.64	1911154.46
59	0.234	0.634	382.93	43756.89	183	0.046	27.574	75.28	1903079.45
61	0.237	0.611	387.84	42169.49	185	0.046	27.144	75.28	1873402.07
63	0.241	0.586	394.38	40444.06	187	0.046	26.520	75.28	1830335.36
65	0.245	0.564	400.93	38925.68	189	0.046	26.157	75.28	1805282.12
67	0.249	0.543	407.48	37476.32	191	0.046	25.871	75.28	1785543.21
69	0.254	0.521	415.66	35957.95	193	0.047	25.094	76.91	1731916.87
71	0.258	0.502	422.20	34646.62	195	0.047	24.794	76.91	1711211.72
73	0.263	0.482	430.39	33266.28	197	0.047	24.012	76.91	1657240.29
75	0.268	0.463	438.57	31954.95	199	0.048	23.619	78.55	1630116.55
77	0.274	0.447	448.39	30850.68	201	0.048	22.761	78.55	1570899.81
79	0.279	0.431	456.57	29746.40	203	0.048	22.597	78.55	1559581.00
81	0.285	0.415	466.39	28642.13	205	0.049	21.811	80.19	1505333.50
83	0.292	0.400	477.84	27606.87	207	0.049	21.197	80.19	1462956.96
85	0.299	0.385	489.30	26571.61	209	0.049	20.699	80.19	1428586.41
87	0.305	0.372	499.12	25674.39	211	0.050	19.950	81.82	1376892.55
89	0.313	0.358	512.21	24708.15	213	0.050	19.474	81.82	1344040.38
91	0.320	0.345	523.66	23810.92	215	0.050	18.977	81.82	1309738.84

93	0.327	0.332	535.12	22913.70	217	0.051	18.084	83.46	1248106.51
95	0.334	0.320	546.58	22085.49	219	0.051	17.789	83.46	1227746.44
97	0.340	0.310	556.39	21395.32	221	0.052	17.198	85.10	1186957.30
99	0.347	0.298	567.85	20567.12	223	0.052	16.791	85.10	1158867.31
101	0.353	0.288	577.67	19876.95	225	0.053	16.030	86.73	1106345.24
103	0.357	0.279	584.21	19255.79	227	0.053	15.592	86.73	1076115.72
105	0.361	0.272	590.76	18772.67	229	0.054	15.052	88.37	1038846.45
107	0.362	0.269	592.40	18565.62	231	0.055	14.536	90.00	1003233.59
109	0.360	0.269	589.12	18565.62	233	0.055	14.011	90.00	966999.57
111	0.355	0.274	580.94	18910.70	235	0.056	13.573	91.64	936770.05
113	0.349	0.284	571.12	19600.88	237	0.056	13.110	91.64	904815.10
115	0.332	0.300	543.30	20705.15	239	0.057	12.748	93.28	879830.89
117	0.316	0.321	517.12	22154.51	241	0.057	12.278	93.28	847392.82
119	0.295	0.349	482.75	24086.99	243	0.058	11.773	94.91	812539.15
121	0.275	0.384	450.02	26502.59	245	0.059	11.415	96.55	787831.00
123	0.251	0.429	410.75	29608.37	247	0.059	10.974	96.55	757394.43
125	0.226	0.489	369.84	33749.40	249	0.060	10.513	98.19	725577.51
127	0.199	0.568	325.65	39201.75	251	0.060	10.017	98.19	691345.00
129	0.173	0.667	283.11	46034.45	253	0.061	9.697	99.82	669259.50
131	0.146	0.812	238.92	56041.94	255	0.062	9.277	101.46	640272.29
133	0.119	1.040	194.74	71777.86	257	0.062	8.838	101.46	609973.75
135	0.100	1.303	163.65	89929.37	259	0.063	8.432	103.10	581952.78
137	0.081	1.758	132.55	121332.19	261	0.064	7.976	104.73	550480.95
139	0.069	2.387	112.92	164743.99	263	0.064	7.573	104.73	522667.03
141	0.061	3.301	99.82	227825.68	265	0.065	7.112	106.37	490850.12
143	0.055	4.593	90.00	316995.86	267	0.065	6.687	106.37	461517.82
145	0.052	6.301	85.10	434877.19	269	0.066	6.201	108.01	427975.47
147	0.049	8.342	80.19	575741.23	271	0.067	5.770	109.64	398229.07

19)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7 ซึ่งเผาผนึกที่  $900^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
30	0.865	0.065	1048.56	6056.14	152	0.270	0.670	327.30	62424.81
32	0.866	0.073	1049.77	6801.51	154	0.246	0.823	298.20	76680.03
34	0.875	0.074	1060.68	6894.68	156	0.225	1.018	272.75	94848.44
36	0.899	0.072	1089.78	6708.34	158	0.209	1.253	253.35	116743.71
38	0.914	0.070	1107.96	6522.00	160	0.193	1.570	233.96	146279.03
40	0.955	0.064	1157.66	5962.97	162	0.183	1.937	221.83	180472.92
42	0.977	0.062	1184.33	5776.62	164	0.174	2.358	210.92	219698.06
44	1.019	0.058	1235.24	5403.94	166	0.168	2.817	203.65	262463.72
46	1.045	0.056	1266.76	5217.60	168	0.162	3.341	196.38	311285.51
48	1.082	0.053	1311.61	4938.08	170	0.157	3.997	190.32	372405.92
50	1.113	0.050	1349.19	4658.57	172	0.154	4.509	186.68	420109.66
52	1.148	0.048	1391.62	4472.23	174	0.151	5.198	183.04	484304.72
54	1.181	0.046	1431.62	4285.88	176	0.149	5.802	180.62	540580.22
56	1.214	0.044	1471.62	4099.54	178	0.148	6.234	179.41	580830.25
58	1.251	0.042	1516.48	3913.20	180	0.146	6.775	176.98	631235.95
60	1.278	0.041	1549.21	3820.03	182	0.146	7.463	176.98	695337.85

62	1.311	0.040	1589.21	3726.85	184	0.144	7.853	174.56	731674.68
64	1.343	0.038	1628.00	3540.51	186	0.143	8.111	173.35	755712.89
66	1.373	0.037	1664.37	3447.34	188	0.142	8.554	172.13	796987.80
68	1.402	0.036	1699.52	3354.17	190	0.142	8.853	172.13	824846.04
70	1.427	0.035	1729.82	3261.00	192	0.141	9.042	170.92	842455.42
72	1.459	0.034	1768.62	3167.83	194	0.141	9.243	170.92	861182.87
74	1.486	0.034	1801.34	3167.83	196	0.141	9.232	170.92	860157.98
76	1.506	0.033	1825.59	3074.65	198	0.140	9.326	169.71	868916.09
78	1.527	0.032	1851.05	2981.48	200	0.140	9.424	169.71	878046.88
80	1.547	0.032	1875.29	2981.48	202	0.139	9.503	168.50	885407.42
82	1.565	0.031	1897.11	2888.31	204	0.139	9.534	168.50	888295.73
84	1.582	0.031	1917.72	2888.31	206	0.138	9.527	167.29	887643.53
86	1.595	0.031	1933.48	2888.31	208	0.138	9.572	167.29	891836.24
88	1.607	0.030	1948.02	2795.14	210	0.137	9.597	166.07	894165.53
90	1.617	0.030	1960.14	2795.14	212	0.136	9.680	164.86	901898.75
92	1.624	0.030	1968.63	2795.14	214	0.136	9.721	164.86	905718.78
94	1.627	0.029	1972.27	2701.97	216	0.136	9.908	164.86	923141.82
96	1.627	0.029	1972.27	2701.97	218	0.136	9.891	164.86	921557.91
98	1.624	0.029	1968.63	2701.97	220	0.135	9.550	163.65	889786.47
100	1.617	0.029	1960.14	2701.97	222	0.135	9.717	163.65	905346.09
102	1.612	0.029	1954.08	2701.97	224	0.135	9.144	163.65	851958.90
104	1.600	0.029	1939.54	2701.97	226	0.135	9.113	163.65	849070.59
106	1.585	0.029	1921.35	2701.97	228	0.135	9.385	163.65	874413.20
108	1.566	0.030	1898.32	2795.14	230	0.134	8.719	162.44	812361.07
110	1.546	0.030	1874.08	2795.14	232	0.133	8.655	161.22	806398.11
112	1.515	0.031	1836.50	2888.31	234	0.133	8.481	161.22	790186.29
114	1.485	0.033	1800.13	3074.65	236	0.133	8.127	161.22	757203.63
116	1.440	0.035	1745.58	3261.00	238	0.133	7.911	161.22	737078.62
118	1.387	0.038	1681.34	3540.51	240	0.133	7.399	161.22	689374.88
120	1.329	0.041	1611.03	3820.03	242	0.132	6.997	160.01	651920.00
122	1.259	0.046	1526.17	4285.88	244	0.132	6.564	160.01	611576.80
124	1.186	0.051	1437.68	4751.74	246	0.132	6.160	160.01	573935.57
126	1.111	0.058	1346.77	5403.94	248	0.132	5.584	160.01	520268.87
128	1.022	0.067	1238.88	6242.48	250	0.132	4.960	160.01	462129.94
130	0.932	0.078	1129.78	7267.37	252	0.133	4.316	161.22	402127.58
132	0.847	0.092	1026.74	8571.76	254	0.134	3.738	162.44	348274.54
134	0.765	0.109	927.34	10155.68	256	0.136	3.154	164.86	293862.46
136	0.689	0.130	835.21	12112.28	258	0.137	2.688	166.07	250444.61
138	0.619	0.156	750.36	14534.73	260	0.141	2.158	170.92	201063.79
140	0.555	0.188	672.78	17516.22	262	0.145	1.792	175.77	166963.07
142	0.487	0.234	590.35	21802.10	264	0.150	1.452	181.83	135284.81
144	0.435	0.282	527.31	26274.32	266	0.157	1.180	190.32	109942.20
146	0.384	0.348	465.49	32423.63	268	0.165	0.921	200.01	85810.82
148	0.341	0.432	413.36	40250.03	270	0.172	0.746	208.50	69505.83
150	0.302	0.536	366.09	49939.85	272	0.184	0.547	223.05	50964.73

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7 ซึ่งเผาผนึกที่  $1000^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
29	0.848	0.058	1374.18	4042.43	153	0.277	0.609	448.88	42445.47
31	0.872	0.087	1413.07	6063.64	155	0.247	0.744	400.26	51854.56
33	0.878	0.085	1422.79	5924.24	157	0.224	0.904	362.99	63006.08
35	0.892	0.082	1445.48	5715.15	159	0.204	1.113	330.58	77572.75
37	0.909	0.079	1473.03	5506.06	161	0.186	1.384	301.41	96460.64
39	0.929	0.076	1505.44	5296.97	163	0.174	1.691	281.97	117857.61
41	0.953	0.072	1544.33	5018.18	165	0.163	2.097	264.14	146154.59
43	0.979	0.069	1586.46	4809.09	167	0.155	2.566	251.18	178842.48
45	1.003	0.066	1625.35	4600.00	169	0.149	3.103	241.45	216269.77
47	1.039	0.064	1683.69	4460.61	171	0.144	3.712	233.35	258715.24
49	1.059	0.061	1716.10	4251.52	173	0.140	4.375	226.87	304924.34
51	1.089	0.058	1764.71	4042.43	175	0.137	5.123	222.01	357057.69
53	1.123	0.056	1819.81	3903.03	177	0.135	5.889	218.77	410445.59
55	1.154	0.054	1870.05	3763.64	179	0.133	6.667	215.53	464669.85
57	1.186	0.052	1921.90	3624.24	181	0.132	7.358	213.90	512830.47
59	1.220	0.050	1977.00	3484.85	183	0.131	8.004	212.28	557854.73
61	1.253	0.048	2030.47	3345.46	185	0.130	8.616	210.66	600509.29
63	1.288	0.047	2087.19	3275.76	187	0.129	9.119	209.04	635566.87
65	1.321	0.045	2140.67	3136.36	189	0.129	9.560	209.04	666303.25
67	1.358	0.044	2200.63	3066.67	191	0.129	9.902	209.04	690139.62
69	1.391	0.043	2254.10	2996.97	193	0.128	10.209	207.42	711536.60
71	1.424	0.042	2307.58	2927.27	195	0.128	10.460	207.42	729030.54
73	1.457	0.041	2361.05	2857.58	197	0.127	10.648	205.80	742133.58
75	1.489	0.040	2412.91	2787.88	199	0.127	10.825	205.80	754469.94
77	1.519	0.039	2461.52	2718.18	201	0.127	10.867	205.80	757397.22
79	1.547	0.038	2506.90	2648.49	203	0.126	10.914	204.18	760672.98
81	1.573	0.038	2549.03	2648.49	205	0.126	10.923	204.18	761300.25
83	1.594	0.037	2583.06	2578.79	207	0.125	10.914	202.56	760672.98
85	1.615	0.037	2617.09	2578.79	209	0.125	10.856	202.56	756630.55
87	1.634	0.036	2647.88	2509.09	211	0.125	10.816	202.56	753842.67
89	1.650	0.036	2673.81	2509.09	213	0.124	10.725	200.94	747500.24
91	1.664	0.035	2696.50	2439.39	215	0.124	10.769	200.94	750566.91
93	1.676	0.035	2715.94	2439.39	217	0.124	10.636	200.94	741297.21
95	1.687	0.034	2733.77	2369.70	219	0.124	10.591	200.94	738160.85
97	1.696	0.034	2748.35	2369.70	221	0.123	10.481	199.32	730494.18
99	1.702	0.034	2758.07	2369.70	223	0.123	10.444	199.32	727915.39
101	1.707	0.034	2766.18	2369.70	225	0.123	10.345	199.32	721015.39
103	1.712	0.034	2774.28	2369.70	227	0.122	10.277	197.70	716275.99
105	1.715	0.034	2779.14	2369.70	229	0.122	10.195	197.70	710560.84
107	1.717	0.034	2782.38	2369.70	231	0.121	10.101	196.08	704009.32
109	1.717	0.035	2782.38	2439.39	233	0.121	10.018	196.08	698224.47
111	1.713	0.036	2775.90	2509.09	235	0.120	9.900	194.46	690000.23
113	1.698	0.038	2751.59	2648.49	237	0.119	9.767	192.84	680730.53

115	1.672	0.040	2709.46	2787.88	239	0.119	9.580	192.84	667697.19
117	1.631	0.043	2643.02	2996.97	241	0.118	9.303	191.22	648391.12
119	1.572	0.047	2547.41	3275.76	243	0.118	9.155	191.22	638075.97
121	1.508	0.050	2443.70	3484.85	245	0.117	8.940	189.60	623091.11
123	1.418	0.056	2297.86	3903.03	247	0.116	8.561	187.98	596675.95
125	1.321	0.062	2140.67	4321.21	249	0.116	8.251	187.98	575069.88
127	1.215	0.070	1968.90	4878.79	251	0.115	7.901	186.36	550675.94
129	1.109	0.080	1797.12	5575.76	253	0.114	7.393	184.74	515269.87
131	1.007	0.092	1631.83	6412.12	255	0.114	6.985	184.74	486833.49
133	0.998	0.107	1617.25	7457.58	257	0.114	6.428	184.74	448012.27
135	0.812	0.126	1315.84	8781.82	259	0.114	5.884	184.74	410097.10
137	0.722	0.148	1169.99	10315.15	261	0.113	5.412	183.12	377200.12
139	0.643	0.174	1041.98	12127.28	263	0.113	4.764	183.12	332036.47
141	0.570	0.209	923.68	14566.67	265	0.114	4.195	184.74	292378.88
143	0.502	0.248	813.49	17284.85	267	0.115	3.640	186.36	253697.05
145	0.451	0.289	730.84	20142.43	269	0.116	3.085	187.98	215015.22
147	0.398	0.346	644.96	24115.16	271	0.118	2.620	191.22	182606.12
149	0.352	0.415	570.41	28924.25	273	0.121	2.061	196.08	143645.50
151	0.312	0.500	505.59	34848.50					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7 ซึ่งเผาผนึกที่  $1100^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
40	0.860	0.161	1060.23	14749.74	158	0.257	1.689	316.84	154734.89
42	0.869	0.172	1071.33	15757.49	160	0.250	1.995	308.21	182768.56
44	0.883	0.168	1088.59	15391.04	162	0.245	2.345	302.04	214833.22
46	0.897	0.164	1105.85	15024.58	164	0.241	2.693	297.11	246714.65
48	0.925	0.156	1140.36	14291.68	166	0.239	3.076	294.65	281802.55
50	0.957	0.148	1179.81	13558.77	168	0.237	3.487	292.18	319455.62
52	1.004	0.137	1237.76	12551.02	170	0.236	3.885	290.95	355917.72
54	1.019	0.133	1256.25	12184.57	172	0.236	4.346	290.95	398151.46
56	1.043	0.128	1285.84	11726.50	174	0.236	4.702	290.95	430765.80
58	1.078	0.121	1328.99	11085.21	176	0.236	5.097	290.95	466953.06
60	1.109	0.116	1367.20	10627.14	178	0.237	5.418	292.18	496360.93
62	1.129	0.112	1391.86	10260.69	180	0.237	5.688	292.18	521096.53
64	1.161	0.107	1431.31	9802.62	182	0.238	5.961	293.41	546106.96
66	1.196	0.102	1474.46	9344.56	184	0.239	6.155	294.65	563879.95
68	1.228	0.098	1513.91	8978.10	186	0.240	6.293	295.88	576522.58
70	1.260	0.094	1553.36	8611.65	188	0.242	6.469	298.34	592646.53
72	1.284	0.091	1582.95	8336.81	190	0.243	6.529	299.58	598143.33
74	1.312	0.087	1617.47	7970.36	192	0.244	6.579	300.81	602723.99
76	1.336	0.085	1647.06	7787.13	194	0.246	6.614	303.28	605930.46
78	1.358	0.083	1674.18	7603.91	196	0.247	6.597	304.51	604373.03
80	1.384	0.080	1706.23	7329.07	198	0.248	6.577	305.74	602540.76
82	1.408	0.078	1735.82	7145.84	200	0.250	6.506	308.21	596036.22
84	1.432	0.076	1765.41	6962.61	202	0.251	6.441	309.44	590081.35

86	1.453	0.074	1791.30	6779.39	204	0.253	6.342	311.91	581011.64
88	1.471	0.073	1813.49	6687.77	206	0.254	6.253	313.14	572858.05
90	1.485	0.071	1830.75	6504.55	208	0.255	6.141	314.37	562597.36
92	1.498	0.070	1846.77	6412.93	210	0.257	6.044	316.84	553710.87
94	1.505	0.096	1855.40	8794.88	212	0.258	5.906	318.07	541068.23
96	1.509	0.069	1860.33	6321.32	214	0.260	5.784	320.53	529891.41
98	1.509	0.068	1860.33	6229.71	216	0.261	5.648	321.77	517432.00
100	1.502	0.068	1851.71	6229.71	218	0.263	5.536	324.23	507171.30
102	1.495	0.069	1843.08	6321.32	220	0.265	5.372	326.70	492146.72
104	1.482	0.069	1827.05	6321.32	222	0.267	5.242	329.16	480236.99
106	1.462	0.070	1802.39	6412.93	224	0.268	5.123	330.40	469335.01
108	1.440	0.072	1775.27	6596.16	226	0.270	5.009	332.86	458891.09
110	1.412	0.075	1740.75	6871.00	228	0.272	4.927	335.33	451378.80
112	1.380	0.078	1701.30	7145.84	230	0.274	4.745	337.79	434705.17
114	1.339	0.083	1650.75	7603.91	232	0.277	4.631	341.49	424261.26
116	1.295	0.089	1596.51	8153.58	234	0.278	4.525	342.73	414550.24
118	1.241	0.096	1529.94	8794.88	236	0.279	4.443	343.96	407037.95
120	1.183	0.104	1458.43	9527.78	238	0.281	4.324	346.42	396135.97
122	1.114	0.115	1373.37	10535.53	240	0.281	4.227	346.42	387249.48
124	1.048	0.127	1292.00	11634.89	242	0.280	4.123	345.19	377721.69
126	0.971	0.141	1197.07	12917.48	244	0.279	4.008	343.96	367186.16
128	0.892	0.158	1099.68	14474.90	246	0.278	3.910	342.73	358208.06
130	0.816	0.178	1005.99	16307.17	248	0.277	3.804	341.49	348497.05
132	0.741	0.200	913.52	18322.66	250	0.275	3.685	339.03	337595.06
134	0.664	0.230	818.60	21071.06	252	0.273	3.550	336.56	325227.26
136	0.588	0.268	724.90	24552.37	254	0.272	3.436	335.33	314783.35
138	0.532	0.306	655.86	28033.67	256	0.270	3.285	332.86	300949.74
140	0.482	0.353	594.22	32339.50	258	0.268	3.126	330.40	286383.22
142	0.430	0.421	530.12	38569.21	260	0.267	2.992	329.16	274107.03
144	0.391	0.498	482.04	45623.43	262	0.266	2.846	327.93	260731.49
146	0.359	0.588	442.58	53868.63	264	0.264	2.687	325.47	246164.97
148	0.330	0.708	406.83	64862.23	266	0.263	2.519	324.23	230773.94
150	0.309	0.838	380.94	76771.96	268	0.261	2.364	321.77	216573.87
152	0.288	1.043	355.05	95552.69	270	0.260	2.202	320.53	201732.52
154	0.277	1.193	341.49	109294.68	272	0.260	2.040	320.53	186891.16
156	0.266	1.425	327.93	130548.97					

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7 ซึ่งเผาผนึกที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
37	1.220	0.086	2033.88	5826.31	157	1.373	0.127	2288.95	8603.97
39	1.208	0.088	2013.87	5961.81	159	1.354	0.132	2257.27	8942.71
41	1.221	0.086	2035.55	5826.31	161	1.335	0.138	2225.60	9349.20
43	1.234	0.084	2057.22	5690.82	163	1.312	0.144	2187.25	9755.69
45	1.248	0.082	2080.56	5555.32	165	1.259	0.153	2098.90	10365.42
47	1.264	0.080	2107.23	5419.83	167	1.259	0.161	2098.90	10907.40

49	1.281	0.078	2135.57	5284.33	169	1.228	0.172	2047.22	11652.62
51	1.299	0.076	2165.58	5148.83	171	1.196	0.184	1993.87	12465.60
53	1.313	0.074	2188.92	5013.34	173	1.161	0.197	1935.52	13346.32
55	1.331	0.072	2218.93	4877.84	175	1.129	0.213	1882.17	14430.28
57	1.347	0.070	2245.60	4742.35	177	1.091	0.233	1818.82	15785.24
59	1.364	0.068	2273.94	4606.85	179	1.066	0.247	1777.14	16733.71
61	1.380	0.067	2300.62	4539.10	181	1.033	0.269	1722.13	18224.16
63	1.395	0.065	2325.62	4403.61	183	0.996	0.297	1660.45	20121.10
65	1.412	0.064	2353.96	4335.86	185	0.969	0.320	1615.43	21679.30
67	1.429	0.062	2382.31	4200.36	187	0.939	0.349	1565.42	23643.99
69	1.444	0.064	2407.31	4335.86	189	0.900	0.396	1500.40	26828.13
71	1.454	0.060	2423.98	4064.87	191	0.873	0.434	1455.39	29402.55
73	1.470	0.059	2450.66	3997.12	193	0.850	0.474	1417.05	32112.46
75	1.483	0.058	2472.33	3929.37	195	0.828	0.515	1380.37	34890.12
77	1.496	0.057	2494.00	3861.63	197	0.807	0.563	1345.36	38142.02
79	1.508	0.056	2514.01	3793.88	199	0.791	0.607	1318.69	41122.92
81	1.521	0.055	2535.68	3726.13	201	0.777	0.652	1295.35	44171.57
83	1.532	0.054	2554.02	3658.38	203	0.767	0.690	1278.68	46745.99
85	1.544	0.054	2574.02	3658.38	205	0.759	0.724	1265.34	49049.42
87	1.555	0.053	2592.36	3590.63	207	0.751	0.768	1252.00	52030.32
89	1.567	0.052	2612.37	3522.89	209	0.745	0.811	1242.00	54943.48
91	1.577	0.052	2629.04	3522.89	211	0.741	0.857	1235.33	58059.88
93	1.589	0.051	2649.04	3455.14	213	0.739	0.889	1232.00	60227.81
95	1.597	0.051	2662.38	3455.14	215	0.738	0.915	1230.33	61989.25
97	1.608	0.051	2680.72	3455.14	217	0.739	0.968	1232.00	65579.88
99	1.617	0.050	2695.72	3387.39	219	0.743	1.007	1238.67	68222.05
101	1.628	0.050	2714.06	3387.39	221	0.749	1.042	1248.67	70593.22
103	1.637	0.050	2729.06	3387.39	223	0.757	1.074	1262.01	72761.15
105	1.645	0.050	2742.40	3387.39	225	0.768	1.100	1280.34	74522.59
107	1.656	0.050	2760.74	3387.39	227	0.782	1.119	1303.68	75809.80
109	1.663	0.050	2772.41	3387.39	229	0.808	1.131	1347.03	76622.78
111	1.670	0.050	2784.08	3387.39	231	0.840	1.132	1400.38	76690.52
113	1.678	0.050	2797.42	3387.39	233	0.872	1.121	1453.72	75945.30
115	1.682	0.051	2804.09	3455.14	235	0.887	1.128	1478.73	76419.53
117	1.683	0.052	2805.75	3522.89	237	0.895	1.149	1492.07	77842.24
119	1.679	0.054	2799.08	3658.38	239	0.895	1.171	1492.07	79332.69
121	1.672	0.056	2787.41	3793.88	241	0.891	1.194	1485.40	80890.89
123	1.660	0.058	2767.41	3929.37	243	0.885	1.219	1475.40	82584.58
125	1.645	0.061	2742.40	4132.62	245	0.878	1.237	1463.73	83804.05
127	1.627	0.065	2712.39	4403.61	247	0.869	1.259	1448.72	85294.50
129	1.608	0.068	2680.72	4606.85	249	0.860	1.274	1433.72	86310.71
131	1.587	0.072	2645.71	4877.84	251	0.850	1.287	1417.05	87191.44
133	1.565	0.077	2609.03	5216.58	253	0.841	1.296	1402.04	87801.17
135	1.542	0.082	2570.69	5555.32	255	0.829	1.305	1382.04	88410.90
137	1.519	0.086	2532.35	5826.31	257	0.818	1.307	1363.70	88546.39
139	1.499	0.091	2499.00	6165.05	259	0.806	1.305	1343.69	88410.90

141	1.480	0.095	2467.33	6436.04	261	0.795	1.299	1325.36	88004.41
143	1.459	0.100	2432.32	6774.78	263	0.782	1.284	1303.68	86988.19
145	1.443	0.104	2405.64	7045.77	265	0.771	1.268	1285.34	85904.23
147	1.428	0.108	2380.64	7316.76	267	0.760	1.243	1267.01	84210.53
149	1.415	0.112	2358.97	7587.76	269	0.749	1.212	1248.67	82110.35
151	1.406	0.116	2343.96	7858.75	271	0.739	1.177	1232.00	79739.18
153	1.398	0.119	2330.62	8061.99	273	0.729	1.140	1215.33	77232.51
155	1.388	0.122	2313.95	8265.23					

e)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 22 ในการทดลองที่ 7 ซึ่งเผาผนึกที่ 1200°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
30	0.901	0.170	1360.80	12712.73	152	0.971	0.197	1466.53	14731.81
32	0.895	0.176	1351.74	13161.42	154	0.929	0.212	1403.09	15853.52
34	0.908	0.173	1371.38	12937.07	156	0.891	0.228	1345.70	17050.02
36	0.926	0.168	1398.56	12563.17	158	0.852	0.247	1286.80	18470.85
38	0.944	0.164	1425.75	12264.05	160	0.790	0.277	1193.16	20714.27
40	0.970	0.158	1465.02	11815.36	162	0.781	0.294	1179.56	21985.55
42	0.985	0.155	1487.67	11591.02	164	0.751	0.319	1134.25	23855.07
44	1.005	0.151	1517.88	11291.90	166	0.719	0.352	1085.92	26322.83
46	1.036	0.146	1564.70	10917.99	168	0.690	0.388	1042.12	29014.94
48	1.056	0.143	1594.90	10693.65	170	0.659	0.432	995.30	32305.29
50	1.068	0.141	1613.03	10544.09	172	0.628	0.490	948.48	36642.58
52	1.091	0.137	1647.77	10244.97	174	0.600	0.556	906.20	41578.11
54	1.114	0.134	1682.50	10020.62	176	0.576	0.627	869.95	46887.54
56	1.135	0.132	1714.22	9871.06	178	0.556	0.712	839.74	53243.91
58	1.158	0.129	1748.96	9646.72	180	0.540	0.797	815.58	59600.28
60	1.180	0.127	1782.18	9497.16	182	0.526	0.907	794.43	67826.16
62	1.203	0.124	1816.92	9272.82	184	0.516	1.017	779.33	76052.05
64	1.225	0.122	1850.15	9123.25	186	0.509	1.126	768.76	84203.15
66	1.251	0.120	1889.42	8973.69	188	0.505	1.261	762.71	94298.55
68	1.269	0.119	1916.60	8898.91	190	0.503	1.358	759.69	101552.29
70	1.289	0.117	1946.81	8749.35	192	0.504	1.512	761.20	113068.53
72	1.309	0.116	1977.02	8674.57	194	0.507	1.636	765.73	122341.34
74	1.328	0.114	2005.71	8525.01	196	0.512	1.767	773.29	132137.63
76	1.349	0.113	2037.43	8450.23	198	0.518	1.874	782.35	140139.17
78	1.368	0.112	2066.13	8375.45	200	0.527	1.982	795.94	148215.49
80	1.386	0.110	2093.31	8225.89	202	0.539	2.081	814.07	155618.79
82	1.409	0.109	2128.05	8151.10	204	0.551	2.172	832.19	162423.84
84	1.423	0.108	2149.19	8076.32	206	0.566	2.234	854.84	167060.25
86	1.440	0.108	2174.87	8076.32	208	0.587	2.286	886.56	170948.85
88	1.453	0.107	2194.50	8001.54	210	0.607	2.303	916.77	172220.12
90	1.469	0.106	2218.67	7926.76	212	0.632	2.291	954.53	171322.75
92	1.481	0.106	2236.79	7926.76	214	0.663	2.261	1001.35	169079.33
94	1.492	0.106	2253.41	7926.76	216	0.699	2.195	1055.72	164143.80
96	1.503	0.105	2270.02	7851.98	218	0.743	2.115	1122.17	158161.34



98	1.510	0.105	2280.59	7851.98	220	0.807	1.997	1218.83	149337.20
100	1.517	0.105	2291.16	7851.98	222	0.882	1.855	1332.11	138718.33
102	1.522	0.105	2298.72	7851.98	224	1.065	1.540	1608.50	115162.39
104	1.524	0.105	2301.74	7851.98	226	1.351	1.243	2040.45	92952.50
106	1.525	0.105	2303.25	7851.98	228	1.815	0.921	2741.24	68873.09
108	1.523	0.105	2300.23	7851.98	230	2.229	0.735	3366.52	54963.87
110	1.520	0.106	2295.69	7926.76	232	2.401	0.680	3626.29	50850.93
112	1.513	0.106	2285.12	7926.76	234	2.420	0.678	3654.99	50701.36
114	1.505	0.107	2273.04	8001.54	236	2.387	0.693	3605.15	51823.08
116	1.494	0.108	2256.43	8076.32	238	2.332	0.713	3522.08	53318.69
118	1.480	0.109	2235.28	8151.10	240	2.221	0.735	3354.43	54963.87
120	1.466	0.110	2214.14	8225.89	242	2.199	0.762	3321.21	56982.95
122	1.447	0.112	2185.44	8375.45	244	2.177	0.789	3287.98	59002.03
124	1.427	0.114	2155.23	8525.01	246	2.049	0.821	3094.66	61395.01
126	1.403	0.117	2118.99	8749.35	248	1.978	0.849	2987.42	63488.88
128	1.377	0.120	2079.72	8973.69	250	1.913	0.874	2889.25	65358.40
130	1.350	0.123	2038.94	9198.04	252	1.848	0.898	2791.08	67153.13
132	1.323	0.126	1998.16	9422.38	254	1.778	0.924	2685.36	69097.43
134	1.292	0.131	1951.34	9796.28	256	1.718	0.943	2594.74	70518.27
136	1.261	0.135	1904.52	10095.40	258	1.654	0.960	2498.08	71789.54
138	1.222	0.141	1845.62	10544.09	260	1.605	0.971	2424.07	72612.13
140	1.193	0.146	1801.82	10917.99	262	1.547	0.978	2336.47	73135.60
142	1.158	0.152	1748.96	11366.68	264	1.495	0.979	2257.94	73210.38
144	1.124	0.159	1697.61	11890.14	266	1.453	0.976	2194.50	72986.03
146	1.085	0.167	1638.70	12488.39	268	1.407	0.967	2125.03	72313.01
148	1.045	0.176	1578.29	13161.42	270	1.366	0.950	2063.10	71041.73
150	1.010	0.186	1525.43	13909.22	272	1.324	0.930	1999.67	69546.12

20)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  ของ PTCR สูตร 23 ในการทดลองที่ 7

a)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 23 ในการทดลองที่ 7 เฉพาะที่  $1000^\circ\text{C}$

Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
20	0.654	0.307	573.49	39541.03	148	0.306	0.997	268.33	128411.74
22	0.648	0.298	568.23	38381.85	150	0.287	1.230	251.67	158421.71
24	0.657	0.283	576.12	36449.87	152	0.273	1.524	239.39	196288.36
26	0.671	0.269	588.40	34646.70	154	0.262	1.864	229.75	240079.73
28	0.687	0.255	602.43	32843.53	156	0.255	2.154	223.61	277431.19
30	0.702	0.241	615.58	31040.35	158	0.248	2.534	217.47	326374.48
32	0.721	0.227	632.25	29237.18	160	0.244	2.882	213.96	371196.23
34	0.737	0.216	646.28	27820.40	162	0.241	3.241	211.33	417434.77
36	0.758	0.203	664.69	26146.02	164	0.238	3.613	208.70	465347.67
38	0.779	0.191	683.11	24600.44	166	0.236	3.991	206.95	514033.37
40	0.798	0.181	699.77	23312.46	168	0.234	4.387	205.19	565037.43
42	0.821	0.171	719.94	22024.48	170	0.233	4.676	204.32	602260.09
44	0.844	0.161	740.11	20736.50	172	0.231	4.993	202.56	643089.10
46	0.867	0.153	760.27	19706.12	174	0.231	5.273	202.56	679152.58

48	0.895	0.144	784.83	18546.93	176	0.230	5.542	201.69	713799.28
50	0.919	0.137	805.87	17645.34	178	0.229	5.788	200.81	745483.62
52	0.946	0.131	829.55	16872.56	180	0.229	5.991	200.81	771629.65
54	0.977	0.124	856.73	15970.97	182	0.229	6.176	200.81	795457.30
56	1.008	0.118	883.92	15198.18	184	0.228	6.304	199.93	811943.46
58	1.045	0.113	916.36	14554.19	186	0.228	6.437	199.93	829073.62
60	1.080	0.109	947.05	14039.00	188	0.228	6.512	199.93	838733.48
62	1.117	0.105	979.50	13523.80	190	0.228	6.577	199.93	847105.36
64	1.154	0.102	1011.94	13137.41	192	0.228	6.614	199.93	851870.89
66	1.193	0.099	1046.14	12751.02	194	0.228	6.611	199.93	851484.49
68	1.230	0.097	1078.59	12493.42	196	0.228	6.634	199.93	854446.85
70	1.266	0.095	1110.16	12235.82	198	0.227	6.623	199.06	853030.07
72	1.298	0.094	1138.22	12107.02	200	0.227	6.587	199.06	848393.34
74	1.328	0.092	1164.53	11849.43	202	0.227	6.539	199.06	842211.03
76	1.352	0.091	1185.57	11720.63	204	0.227	6.461	199.06	832164.77
78	1.375	0.090	1205.74	11591.83	206	0.227	6.408	199.06	825338.47
80	1.395	0.089	1223.28	11463.03	208	0.226	6.333	198.18	815678.61
82	1.413	0.088	1239.06	11334.24	210	0.226	6.261	198.18	806405.14
84	1.429	0.087	1253.09	11205.44	212	0.226	6.174	198.18	795199.71
86	1.444	0.086	1266.25	11076.64	214	0.226	6.045	198.18	778584.75
88	1.457	0.086	1277.65	11076.64	216	0.225	5.946	197.30	765833.73
90	1.465	0.085	1284.66	10947.84	218	0.225	5.851	197.30	753597.91
92	1.471	0.084	1289.92	10819.04	220	0.224	5.754	196.43	741104.49
94	1.475	0.084	1293.43	10819.04	222	0.224	5.645	196.43	727065.49
96	1.476	0.083	1294.31	10690.25	224	0.223	5.532	195.55	712511.30
98	1.473	0.083	1291.68	10690.25	226	0.222	5.431	194.67	699502.69
100	1.467	0.083	1286.41	10690.25	228	0.222	5.320	194.67	685206.10
102	1.454	0.083	1275.02	10690.25	230	0.221	5.201	193.80	669879.12
104	1.439	0.083	1261.86	10690.25	232	0.220	5.053	192.92	650816.99
106	1.423	0.084	1247.83	10819.04	234	0.219	4.941	192.04	636391.60
108	1.402	0.085	1229.42	10947.84	236	0.218	4.751	191.16	611919.95
110	1.375	0.087	1205.74	11205.44	238	0.218	4.574	191.16	589122.68
112	1.335	0.091	1170.66	11720.63	240	0.217	4.400	190.29	566711.81
114	1.289	0.095	1130.33	12235.82	242	0.217	4.213	190.29	542626.56
116	1.238	0.101	1085.60	13008.61	244	0.216	3.978	189.41	512358.99
118	1.165	0.111	1021.59	14296.59	246	0.216	3.738	189.41	481447.44
120	1.110	0.118	973.36	15198.18	248	0.215	3.470	188.53	446929.54
122	1.028	0.131	901.45	16872.56	250	0.215	3.194	188.53	411381.25
124	0.950	0.146	833.06	18804.53	252	0.216	2.913	189.41	375188.98
126	0.881	0.161	772.55	20736.50	254	0.216	2.630	189.41	338739.10
128	0.798	0.183	699.77	23570.06	256	0.218	2.326	191.16	299584.47
130	0.731	0.207	641.02	26661.21	258	0.219	2.008	192.04	258626.66
132	0.659	0.238	577.88	30653.96	260	0.222	1.729	194.67	222691.98
134	0.594	0.276	520.88	35548.29	262	0.225	1.474	197.30	189848.46
136	0.536	0.320	470.02	41215.40	264	0.229	1.237	200.81	159323.30
138	0.481	0.379	421.79	48814.49	266	0.235	1.008	206.07	129828.52

140	0.432	0.451	378.82	58087.96	268	0.243	0.787	213.09	101364.13
142	0.389	0.548	341.11	70581.38	270	0.251	0.625	220.10	80498.84
144	0.356	0.670	312.18	86294.75	272	0.259	0.514	227.12	66202.24
146	0.328	0.821	287.62	105743.27					

b)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 23 ในการทดลองที่ 7 เผาผืนที่ 1100°C

Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Temp (°C)	$C_p$ (nF)	$R$ (M $\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega$ .m)
28	0.611	0.346	432.49	55207.83	152	0.386	1.879	273.23	299813.60
30	0.576	0.412	407.72	65738.80	154	0.384	2.134	271.81	340501.45
32	0.583	0.391	412.67	62388.04	156	0.382	2.435	270.40	388529.07
34	0.589	0.385	416.92	61430.67	158	0.381	2.753	269.69	439269.21
36	0.597	0.372	422.58	59356.39	160	0.381	3.063	269.69	488732.87
38	0.605	0.360	428.24	57441.67	162	0.382	3.404	270.40	543142.90
40	0.614	0.346	434.61	55207.83	164	0.383	3.714	271.10	592606.56
42	0.625	0.332	442.40	52973.98	166	0.384	3.997	271.81	637762.09
44	0.633	0.322	448.06	51378.38	168	0.386	4.264	273.23	680364.67
46	0.643	0.311	455.14	49623.22	170	0.388	4.511	274.64	719776.03
48	0.652	0.301	461.51	48027.62	172	0.390	4.689	276.06	748177.75
50	0.664	0.290	470.01	46272.46	174	0.393	4.874	278.18	777696.38
52	0.673	0.281	476.38	44836.41	176	0.396	5.016	280.31	800353.93
54	0.688	0.268	486.99	42762.13	178	0.399	5.120	282.43	816948.19
56	0.697	0.260	493.37	41485.65	180	0.402	5.186	284.55	827479.16
58	0.708	0.252	501.15	40209.17	182	0.405	5.228	286.68	834180.69
60	0.717	0.216	507.52	34465.00	184	0.409	5.244	289.51	836733.66
62	0.727	0.239	514.60	38134.89	186	0.412	5.235	291.63	835297.61
64	0.738	0.232	522.39	37017.96	188	0.415	5.206	293.75	830670.37
66	0.748	0.225	529.47	35901.04	190	0.420	5.128	297.29	818224.67
68	0.759	0.219	537.25	34943.68	192	0.423	5.071	299.42	809129.74
70	0.766	0.215	542.21	34305.44	194	0.427	4.997	302.25	797322.29
72	0.779	0.210	551.41	33507.64	196	0.431	4.911	305.08	783600.11
74	0.785	0.205	555.66	32709.84	198	0.435	4.784	307.91	763335.97
76	0.794	0.202	562.03	32231.16	200	0.439	4.675	310.74	745943.91
78	0.800	0.199	566.27	31752.48	202	0.443	4.561	313.57	727754.04
80	0.807	0.196	571.23	31273.80	204	0.447	4.441	316.41	708606.82
82	0.812	0.193	574.77	30795.12	206	0.451	4.305	319.24	686906.63
84	0.816	0.192	577.60	30635.56	208	0.457	4.134	323.48	659621.84
86	0.820	0.190	580.43	30316.44	210	0.464	3.931	328.44	627231.12
88	0.823	0.189	582.55	30156.88	212	0.464	3.917	328.44	624997.28
90	0.824	0.188	583.26	29997.32	214	0.468	3.801	331.27	606488.30
92	0.825	0.188	583.97	29997.32	216	0.474	3.631	335.52	579363.06
94	0.825	0.188	583.97	29997.32	218	0.474	3.553	335.52	566917.37
96	0.824	0.189	583.26	30156.88	220	0.480	3.440	339.76	548887.07
98	0.820	0.190	580.43	30316.44	222	0.483	3.345	341.89	533728.85
100	0.817	0.191	578.31	30476.00	224	0.485	3.248	343.30	518251.51
102	0.812	0.193	574.77	30795.12	226	0.486	3.166	344.01	505167.57

104	0.805	0.195	569.81	31114.24	228	0.486	3.103	344.01	495115.28
106	0.797	0.199	564.15	31752.48	230	0.484	3.042	342.60	485382.11
108	0.789	0.202	558.49	32231.16	232	0.487	2.987	344.72	476606.30
110	0.779	0.206	551.41	32869.40	234	0.480	2.935	339.76	468309.17
112	0.766	0.213	542.21	33986.32	236	0.477	2.890	337.64	461128.96
114	0.754	0.219	533.71	34943.68	238	0.473	2.837	334.81	452672.27
116	0.738	0.228	522.39	36379.72	240	0.469	2.785	331.98	444375.14
118	0.719	0.240	508.94	38294.45	242	0.466	2.734	329.85	436237.57
120	0.699	0.254	494.78	40528.29	244	0.461	2.661	326.31	424589.68
122	0.677	0.270	479.21	43081.25	246	0.456	2.586	322.78	412622.66
124	0.652	0.291	461.51	46432.02	248	0.452	2.514	319.94	401134.33
126	0.614	0.327	434.61	52176.18	250	0.448	2.436	317.11	388688.63
128	0.585	0.361	414.09	57601.23	252	0.444	2.336	314.28	372732.61
130	0.558	0.397	394.98	63345.40	254	0.440	2.229	311.45	355659.67
132	0.536	0.437	379.40	69727.80	256	0.435	2.098	307.91	334757.29
134	0.507	0.499	358.88	79620.54	258	0.430	1.950	304.37	311142.38
136	0.479	0.583	339.06	93023.59	260	0.428	1.857	302.96	296303.28
138	0.463	0.681	327.73	108660.49	262	0.424	1.721	300.12	274603.09
140	0.444	0.757	314.28	120787.07	264	0.422	1.602	298.71	255615.43
142	0.429	0.872	303.66	139136.49	266	0.420	1.470	297.29	234553.48
144	0.416	1.020	294.46	162751.40	268	0.418	1.345	295.88	214608.46
146	0.405	1.191	286.68	190036.19	270	0.417	1.204	295.17	192110.47
148	0.397	1.395	281.01	222586.47	272	0.417	1.081	295.17	172484.57
150	0.391	1.611	276.77	257051.47					

c)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตรที่ 23 ในการทดลองที่ 7 เผาผนังที่  $1150^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
25	0.848	0.240	851.11	27007.26	149	0.726	0.960	728.66	108029.06
27	0.872	0.223	875.20	25094.25	151	0.716	1.087	718.63	122320.40
29	0.899	0.210	902.30	23631.36	153	0.709	1.198	711.60	134811.26
31	0.927	0.197	930.40	22168.46	155	0.704	1.340	706.58	150790.56
33	0.952	0.187	955.49	21043.16	157	0.701	1.481	703.57	166657.32
35	0.977	0.178	980.59	20030.39	159	0.699	1.660	701.57	186800.24
37	1.008	0.168	1011.70	18905.08	161	0.698	1.824	700.56	205255.21
39	1.025	0.162	1028.76	18229.90	163	0.700	1.969	702.57	221572.09
41	1.043	0.157	1046.83	17667.25	165	0.703	2.189	705.58	246328.75
43	1.064	0.151	1067.91	16992.07	167	0.707	2.322	709.60	261295.28
45	1.085	0.146	1088.98	16429.42	169	0.713	2.518	715.62	283351.21
47	1.104	0.141	1108.05	15866.77	171	0.719	2.674	721.64	300905.93
49	1.122	0.137	1126.12	15416.65	173	0.725	2.793	727.66	314297.03
51	1.138	0.133	1142.18	14966.53	175	0.732	2.900	734.69	326337.77
53	1.155	0.129	1159.24	14516.40	177	0.741	2.991	743.72	336578.03
55	1.169	0.126	1173.29	14178.81	179	0.752	3.059	754.76	344230.08
57	1.186	0.123	1190.35	13841.22	181	0.762	3.098	764.80	348618.77
59	1.197	0.121	1201.39	13616.16	183	0.773	3.121	775.84	351206.96

61	1.208	0.119	1212.43	13391.10	185	0.788	3.131	790.89	352332.26
63	1.220	0.116	1224.48	13053.51	187	0.802	3.116	804.94	350644.31
65	1.230	0.115	1234.51	12940.98	189	0.808	3.102	810.97	349068.89
67	1.239	0.113	1243.55	12715.92	191	0.819	3.075	822.01	346030.57
69	1.245	0.112	1249.57	12603.39	193	0.835	3.025	838.06	340404.06
71	1.253	0.110	1257.60	12378.33	195	0.848	2.981	851.11	335452.72
73	1.257	0.109	1261.61	12265.80	197	0.867	2.909	870.18	327350.54
75	1.262	0.108	1266.63	12153.27	199	0.886	2.826	889.25	318010.53
77	1.265	0.108	1269.64	12153.27	201	0.903	2.755	906.31	310020.88
79	1.260	0.107	1264.62	12040.74	203	0.927	2.658	930.40	299105.45
81	1.267	0.107	1271.65	12040.74	205	0.953	2.550	956.50	286952.18
83	1.267	0.107	1271.65	12040.74	207	0.981	2.446	984.60	275249.03
85	1.265	0.107	1269.64	12040.74	209	1.019	2.318	1022.74	260845.16
87	1.263	0.107	1267.64	12040.74	211	1.065	2.178	1068.91	245090.92
89	1.259	0.108	1263.62	12153.27	213	1.147	1.973	1151.21	222022.22
91	1.254	0.109	1258.60	12265.80	215	1.209	1.826	1213.44	205480.27
93	1.249	0.110	1253.58	12378.33	217	1.239	1.750	1243.55	196927.97
95	1.243	0.111	1247.56	12490.86	219	1.254	1.697	1258.60	190963.86
97	1.236	0.113	1240.54	12715.92	221	1.259	1.649	1263.62	185562.41
99	1.227	0.115	1231.50	12940.98	223	1.256	1.615	1260.61	181736.38
101	1.216	0.117	1220.46	13166.04	225	1.249	1.593	1253.58	179260.71
103	1.206	0.120	1210.43	13503.63	227	1.237	1.569	1241.54	176559.99
105	1.194	0.123	1198.38	13841.22	229	1.224	1.552	1228.49	174646.97
107	1.183	0.126	1187.34	14178.81	231	1.211	1.538	1215.44	173071.55
109	1.169	0.131	1173.29	14741.46	233	1.196	1.526	1200.39	171721.19
111	1.153	0.136	1157.23	15304.12	235	1.178	1.514	1182.32	170370.82
113	1.137	0.142	1141.17	15979.30	237	1.163	1.505	1167.27	169358.05
115	1.120	0.149	1124.11	16767.01	239	1.142	1.493	1146.19	168007.69
117	1.100	0.159	1104.04	17892.31	241	1.128	1.485	1132.14	167107.45
119	1.080	0.168	1083.96	18905.08	243	1.109	1.485	1113.07	167107.45
121	1.041	0.191	1044.82	21493.28	245	1.090	1.459	1094.00	164181.66
123	1.025	0.202	1028.76	22731.11	247	1.073	1.444	1076.94	162493.70
125	0.996	0.225	999.66	25319.31	249	1.056	1.425	1059.88	160355.63
127	0.966	0.251	969.55	28245.10	251	1.039	1.402	1042.81	157767.43
129	0.937	0.280	940.44	31508.47	253	1.023	1.375	1026.75	154729.12
131	0.906	0.317	909.33	35672.09	255	1.004	1.338	1007.69	150565.50
133	0.888	0.355	891.26	39948.24	257	0.991	1.304	994.64	146739.47
135	0.854	0.404	857.13	45462.23	259	0.974	1.256	977.58	141338.01
137	0.831	0.452	834.05	50863.68	261	0.961	1.211	964.53	136274.15
139	0.804	0.525	806.95	59078.39	263	0.947	1.154	950.48	129859.93
141	0.785	0.595	787.88	66955.51	265	0.930	1.079	933.41	121420.16
143	0.768	0.666	770.82	74945.16	267	0.917	1.007	920.37	113317.98
145	0.752	0.754	754.76	84847.82	269	0.907	0.946	910.33	106453.63
147	0.737	0.851	739.71	95763.26	271	0.897	0.884	900.29	99476.76

d)  $C_p$ ,  $R$ ,  $K'$  และ  $\rho$  สูตร 23 ในการทดลองที่ 7 เผาผนังที่  $1200^{\circ}\text{C}$

Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_p$ (nF)	$R$ ( $\text{M}\Omega$ )	$K'$	$\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )
24	0.610	0.391	596.67	45147.14	148	0.936	0.287	915.55	33138.70
26	0.629	0.375	615.26	43299.69	150	0.919	0.301	898.92	34755.22
28	0.645	0.361	630.91	41683.17	152	0.901	0.318	881.32	36718.14
30	0.659	0.350	644.60	40413.04	154	0.886	0.336	866.64	38796.52
32	0.679	0.338	664.17	39027.45	156	0.872	0.354	852.95	40874.91
34	0.691	0.327	675.90	37757.33	158	0.857	0.375	838.28	43299.69
36	0.710	0.315	694.49	36371.74	160	0.843	0.399	824.58	46070.87
38	0.725	0.306	709.16	35332.55	162	0.831	0.424	812.85	48957.52
40	0.741	0.297	724.81	34293.35	164	0.819	0.452	801.11	52190.56
42	0.757	0.288	740.46	33254.16	166	0.809	0.482	791.33	55654.53
44	0.773	0.280	756.11	32330.43	168	0.801	0.511	783.50	59003.04
46	0.789	0.272	771.76	31406.71	170	0.793	0.546	775.68	63044.35
48	0.804	0.265	786.44	30598.45	172	0.788	0.580	770.78	66970.19
50	0.820	0.258	802.09	29790.19	174	0.785	0.618	767.85	71357.89
52	0.836	0.252	817.74	29097.39	176	0.784	0.654	766.87	75514.66
54	0.852	0.246	833.39	28404.60	178	0.784	0.688	766.87	79440.50
56	0.866	0.241	847.08	27827.27	180	0.787	0.726	769.81	83828.20
58	0.881	0.236	861.75	27249.94	182	0.792	0.767	774.70	88562.30
60	0.985	0.231	963.48	26672.61	184	0.798	0.804	780.57	92834.53
62	0.909	0.227	889.14	26210.75	186	0.807	0.846	789.37	97684.10
64	0.924	0.222	903.81	25633.42	188	0.819	0.886	801.11	102302.73
66	0.939	0.218	918.49	25171.55	190	0.833	0.921	814.80	106344.04
68	0.952	0.215	931.20	24825.16	192	0.850	0.959	831.43	110731.74
70	0.964	0.211	942.94	24363.29	194	0.874	0.999	854.91	115350.37
72	0.978	0.208	956.63	24016.89	196	0.899	1.035	879.36	119507.14
74	0.991	0.205	969.35	23670.50	198	0.936	1.073	915.55	123894.84
76	1.001	0.202	979.13	23324.10	200	0.988	1.105	966.42	127589.75
78	1.031	0.200	1008.48	23093.17	202	1.027	1.124	1004.56	129783.60
80	1.024	0.198	1001.63	22862.24	204	1.098	1.136	1074.01	131169.19
82	1.034	0.196	1011.41	22631.30	206	1.200	1.128	1173.78	130245.47
84	1.044	0.194	1021.19	22400.37	208	1.374	1.084	1344.08	125164.97
86	1.053	0.192	1030.00	22169.44	210	1.616	1.004	1580.70	115927.70
88	1.062	0.191	1038.80	22053.98	212	2.074	0.867	2028.69	100108.88
90	1.070	0.189	1046.62	21823.04	214	2.357	0.793	2305.51	91564.41
92	1.078	0.188	1054.45	21707.58	216	2.449	0.775	2395.50	89486.02
94	1.085	0.187	1061.30	21592.11	218	2.442	0.788	2388.65	90987.08
96	1.091	0.187	1067.17	21592.11	220	2.400	0.808	2347.57	93296.40
98	1.096	0.186	1072.06	21476.65	222	2.340	0.835	2288.88	96413.98
100	1.101	0.186	1076.95	21476.65	224	2.264	0.871	2214.54	100570.75
102	1.105	0.186	1080.86	21476.65	226	2.209	0.898	2160.74	103688.32
104	1.108	0.186	1083.79	21476.65	228	2.154	0.930	2106.94	107383.23
106	1.115	0.187	1090.64	21592.11	230	2.054	0.980	2009.13	113156.52
108	1.112	0.187	1087.71	21592.11	232	2.014	1.005	1970.00	116043.17

110	1.112	0.188	1087.71	21707.58	234	1.951	1.042	1908.38	120315.40
112	1.112	0.189	1087.71	21823.04	236	1.896	1.077	1854.58	124356.71
114	1.111	0.190	1086.73	21938.51	238	1.834	1.119	1793.93	129206.27
116	1.109	0.191	1084.77	22053.98	240	1.779	1.158	1740.13	133709.44
118	1.106	0.193	1081.84	22284.91	242	1.716	1.201	1678.51	138674.47
120	1.102	0.195	1077.93	22515.84	244	1.673	1.231	1636.45	142138.45
122	1.097	0.197	1073.03	22746.77	246	1.622	1.266	1586.56	146179.75
124	1.091	0.200	1067.17	23093.17	248	1.573	1.301	1538.64	150221.06
126	1.083	0.203	1059.34	23439.57	250	1.531	1.331	1497.55	153685.03
128	1.075	0.206	1051.51	23785.96	252	1.491	1.359	1458.43	156918.07
130	1.064	0.210	1040.76	24247.83	254	1.449	1.387	1417.34	160151.12
132	1.057	0.215	1033.91	24825.16	256	1.412	1.409	1381.15	162691.37
134	1.047	0.219	1024.13	25287.02	258	1.378	1.426	1347.90	164654.29
136	1.031	0.227	1008.48	26210.75	260	1.344	1.442	1314.64	166501.74
138	1.017	0.234	994.78	27019.01	262	1.306	1.454	1277.47	167887.33
140	1.002	0.242	980.11	27942.73	264	1.280	1.461	1252.04	168695.59
142	0.986	0.251	964.46	28981.93	266	1.249	1.461	1221.71	168695.59
144	0.970	0.261	948.81	30136.58	268	1.220	1.456	1193.35	168118.26
146	0.954	0.272	933.16	31406.71	270	1.188	1.441	1162.05	166386.27

