



การทดสอบตัวโคอิเล็กทริกเซรามิกส์ที่ทำงาน

การทดสอบตัวโคอิเล็กทริก โดยทั่วไปจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และคุณสมบัติทางไฟฟ้า ในการศึกษาทำตัวโคอิเล็กทริกชนิดเซรามิกส์ในที่นี้จะทำการทดสอบเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพ และทางไฟฟ้าเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยนี้ยังได้ทำการตรวจสอบวิเคราะห์ส่วนผสม ของสารประกอบในขั้นต้นเป็นอันดับแรก ก่อนการทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ

4.1 การตรวจสอบส่วนผสมของเนื้อโคอิเล็กทริก

การทำตัวโคอิเล็กทริกเซรามิกส์ของงานวิจัยนี้ ได้ใช้ชนิดสารประกอบตามที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างของต่างประเทศ โดยการเอกซเรย์ ดั่งได้กล่าวแล้วในบทที่ 3 เพื่อให้แน่ใจว่าการเตรียมเนื้อสาร เพื่อทำตัวโคอิเล็กทริกนั้นถูกต้องตรงตามที่วิเคราะห์ได้ จึงต้องนำเอาเนื้อโคอิเล็กทริก ที่ทำขึ้นหลังจากการทำแคลไซน์แล้ว ไปตรวจวิเคราะห์ โดยการเอกซเรย์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ ทำนองเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาเนื้อสารประกอบของตัวอย่างจากต่างประเทศ เพื่อนำผลที่วิเคราะห์ได้ในรูปของเฟสไดอะแกรมมาเปรียบเทียบกัน รายละเอียดของผลตรวจสอบจะกล่าวในบทที่ 5 ต่อไป

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวโคอิเล็กทริก ที่ทำงานประกอบด้วย การหดตัว ความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ

4.2.1 การทดสอบลักษณะหาคัดตัวของสเปคซิเมน

การหดตัวของชิ้นงานอาจเกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป และหลังจากการเผาแล้ว

1) การหดตัวหลังจากการขึ้นรูป ของสเปคซิเมนหรือผลิตภัณฑ์ เป็นการหดตัวเนื่องจากปริมาณน้ำหรือสารละลายอื่น ๆ ที่ผสมเข้าไปเพื่อประโยชน์แก่การขึ้นรูป เกิดการ



ระเหยตัวเองออกไป ในขณะที่หรือหลังจากการอบหรือตากแห้ง

การหดตัวหลังจากการขึ้นรูป อาจหาได้ 2 ลักษณะ คือ การหดตัวเชิงเส้น และการหดตัวเชิงปริมาตร

การหดตัวในเชิงเส้นคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta L = \frac{\text{ความยาวหรือความหนาหลังการขึ้นรูป} - \text{ความยาวหรือความหนาเมื่อแห้งแล้ว}}{\text{ความยาวหรือความหนาหลังการขึ้นรูป}} \times 100$$

เมื่อ ΔL คือการหดตัวคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

การหดตัวในเชิงปริมาตรคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta V = \frac{\text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากการขึ้นรูป} - \text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากแห้งแล้ว}}{\text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากการขึ้นรูป}} \times 100$$

2) การหดตัวหลังจากการเผา สเปกซิเมน หรือผลิตภัณฑ์จะเกิดการหดตัว เนื่องจากขณะหรือหลังจากการเผาจะมีการเปลี่ยนแปลงในเนื้อสาร ในลักษณะการหลอมตัว หรือผนึกตัวเข้าด้วยกัน และนอกจากนี้จากผลของความร้อน จะทำให้สารละลายที่ใช้เป็น คาร์บอนเคอร์ระเหยไปในช่วงอุณหภูมิ $100^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ อันเป็นผลทำให้ปริมาตรของสเปกซิเมน หรือผลิตภัณฑ์ลดลงไปจากเดิม การหดตัวหลังจากการเผาสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับการหดตัวหลังจากขึ้นรูป คือ

$$= \frac{\text{ความยาวหรือความหนาหลังการตากแห้ง} - \text{ความยาวหรือความหนาหลังการเผา}}{\text{ความยาวหรือความหนาหลังการตากแห้ง}} \times 100$$

$$= \frac{\text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากตากแห้ง} - \text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากการเผา}}{\text{ปริมาตรของวัตถุหลังจากการตากแห้ง}} \times 100$$

4.2.2 การหาความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ

การทดสอบลักษณะสมบัติของชิ้นตัวอย่าง เพื่อหาค่าความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ ปฏิบัติตามคำแนะนำใน IEC - Publ. - 672 - 2 (1980)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- คาซึ่งที่มีขนาดความเที่ยงตรง ซึ่งได้ถูกต้องถึง 0.1 มิลลิกรัม โดยสามารถชั่งวัสดุได้ทั้งในอากาศ และในน้ำ

- เตาอบไฟฟ้า ขนาดความสามารถทำความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า $150 + 5^{\circ}\text{C}$ 1 ช.ม.
- กระจกตาข่ายขนาดเบา ใช้บรรจุขึ้นตัวอย่าง สำหรับการชั่งน้ำหนักวัตถุในน้ำ
- เบเกอร์นความร้อนพร้อมตะแกรงรองขึ้นตัวอย่าง สำหรับการต้ม ขนาดพอเหมาะ
- เบเกอร์ธรรมดา ใช้ใส่น้ำกลั่นสำหรับการชั่งน้ำหนักวัตถุในน้ำ
- เทอร์โมมิเตอร์ $0 - 100^{\circ}\text{C}$
- น้ำกลั่นบริสุทธิ์

กรรมวิธีการทำการทดสอบ

อบสเปคซิเมนในเตาอบ $150^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$ นาน 1 ชั่วโมง ดังรูป 4.1 แล้วปล่อยให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนักขณะแห้งเป็นกรัม ดังรูป 4.3 ต้มสเปคซิเมนในน้ำเดือด นาน 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็น (ใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์) ดังรูป 4.4 ชั่งน้ำหนักสเปคซิเมนในน้ำ m_w โดยบรรจุในกระจกตาข่าย แล้วหย่อนลงในเบเกอร์ซึ่งใส่น้ำกลั่นพอประมาณ ที่จะท่วมขึ้นตัวอย่างวัตถุ ดังรูป 4.8 และ 4.6 ชั่งน้ำหนักสเปคซิเมนในสภาพอิ่มน้ำอย่างสมบูรณ์ m_h ดังรูป 4.7 และ 4.8 นำค่าต่าง ๆ ไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น ความพรุนการหดตัวและการดูดซึมน้ำ

1) การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของขึ้นตัวอย่าง

ความหนาแน่นคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$G = \frac{m_o \times P_w}{m_o - m_w}$$

G = ความหนาแน่นของขึ้นตัวอย่าง

m_o = น้ำหนักของวัสดุที่ต้องการทดสอบก่อนทำการต้ม

m_h = น้ำหนักของวัสดุที่ต้องการทดสอบซึ่งขณะอิ่มน้ำ

- m_w - น้ำหนักของวัสดุที่ต้องการทดสอบซึ่งในน้ำ
 ρ_w - ส.ป.ส. ความหนาแน่นของน้ำ

2) การคำนวณหาค่าความพรุนของชิ้นตัวอย่าง

ความพรุนของตัวโคอีเล็กทริกอาจคำนวณได้จากสมการ

$$p = \frac{m_n - m_o}{m_n - m_w} \times 100$$

p = ความพรุน

m_o = น้ำหนักของวัสดุซึ่งในอากาศก่อนการต้ม

m_h = น้ำหนักของวัสดุซึ่งในอากาศขณะอมน้ำ

m_w = น้ำหนักของวัสดุซึ่งในอากาศซึ่งในน้ำ

3) การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของชิ้นตัวอย่างคำนวณได้จากสมการ

$$a = \frac{m_h - m_o}{m_o} \times 100$$

a = การดูดซึมน้ำ

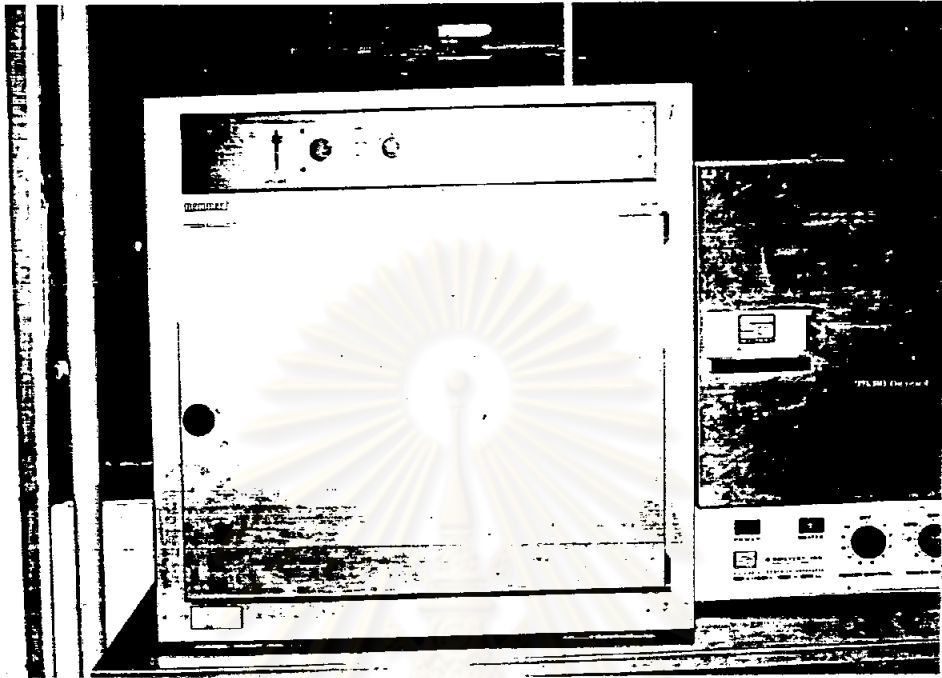
m = น้ำหนักวัสดุซึ่งในอากาศก่อนต้ม

h = น้ำหนักวัสดุซึ่งในอากาศขณะอมน้ำ

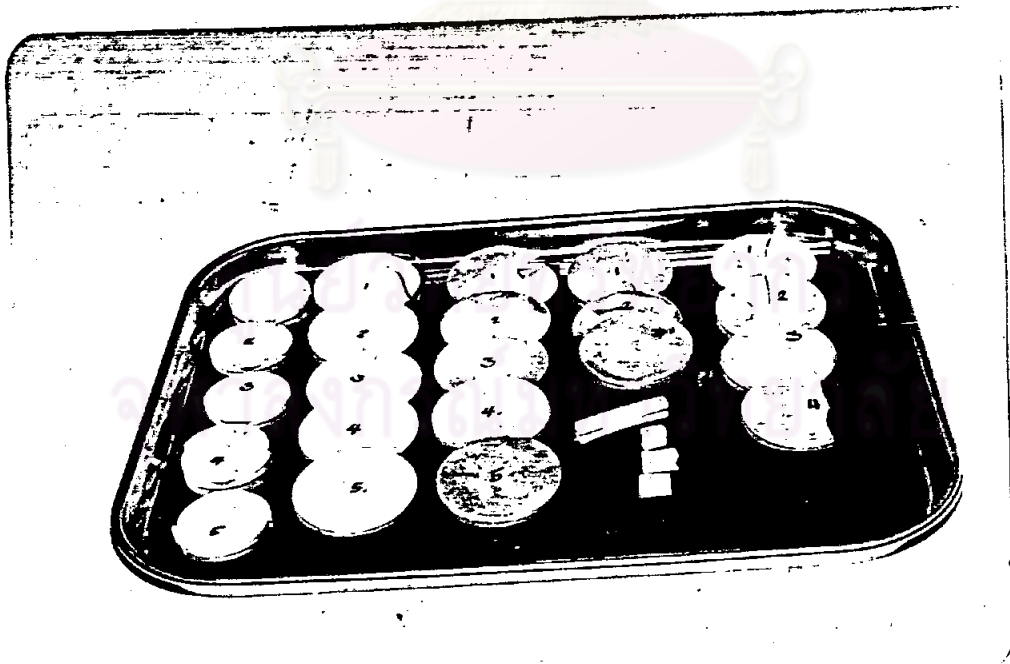
4) ตรวจสอบจุดโครงสร้าง

ตรวจสอบรูปร่างขนาดและช่องว่างของอนุภาคด้วยสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป

โดยการทุบตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำไปติดบนฐานวาง โดยให้ด้านที่ถูกทุบอยู่ด้านบนแล้ว sputtering ด้วย Pd-Au ต่อจากนั้นนำไปเข้าเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป ใช้กำลังขยายขนาดต่าง ๆ สังเกตดูรูปร่าง ขนาด และช่องว่างของอนุภาค ถ่ายภาพด้วยกล้องที่มีกำลังขยาย 3,500 เท่า



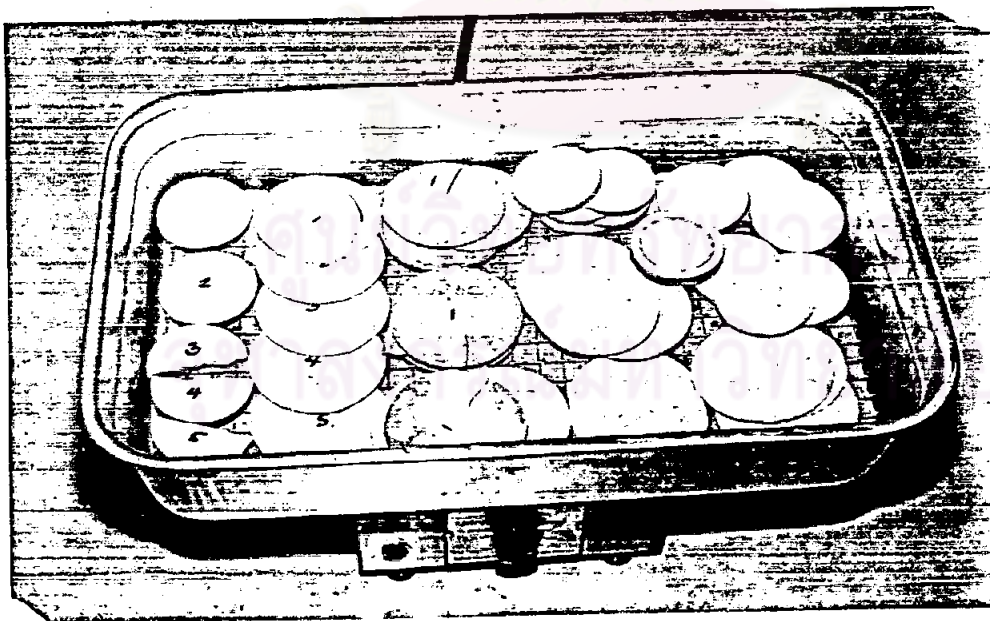
รูปที่ 4.1 แสดงการอบสเปกซิเมนที่จะทำการทดสอบ



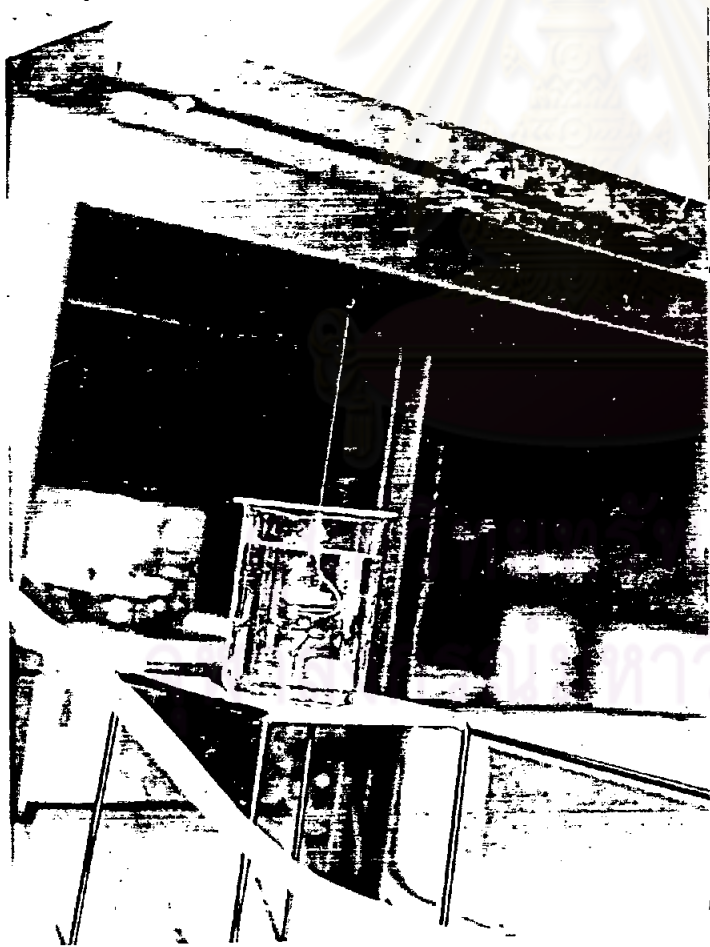
รูปที่ 4.2 การปล่อยให้เย็นตัวของสเปกซิเมน



รูปที่ 4.3 เครื่องชั่งสเปคซิเมน



รูปที่ 4.4 แสดงการต้มสเปคซิเมน

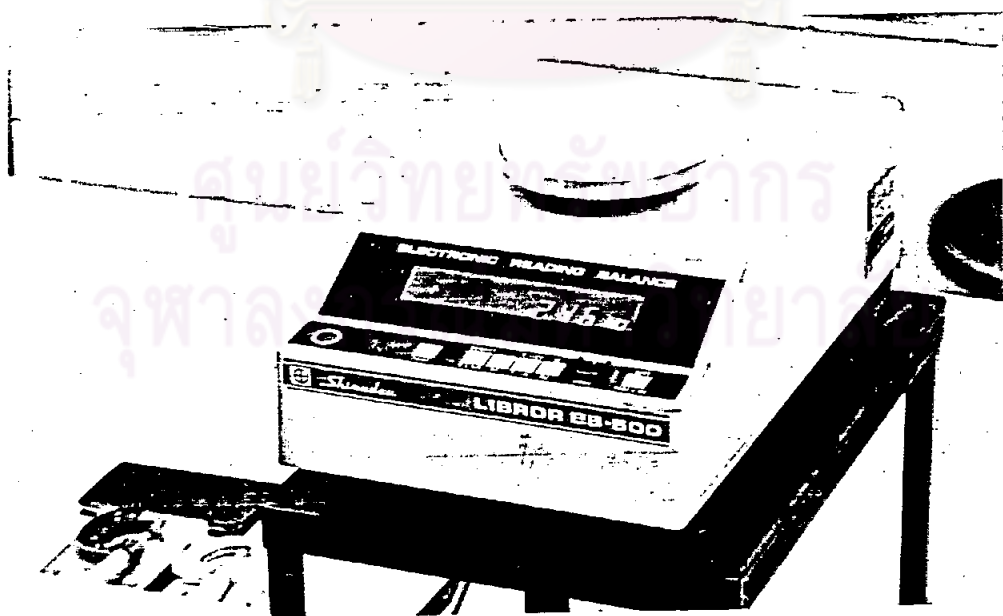


รูปที่ 4.6

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงการชั่งน้ำหนักสเปคซิเมนในน้ำ



รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการชั่งน้ำหนักสเปกโตรเมทรีขณะอิมิตัวด้วยน้ำ

4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวโคอิเล็กทริกเซรามิกส์ตาม IEC ก็คือ

- การทดสอบหาค่าเปอร์มิตติวิตี (IEC Publ. 250)
- การทดสอบหาค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสีย (IEC Publ. 250)
- การทดสอบหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า (IEC Publ. 243)

4.3.1 การทดสอบหาค่าเปอร์มิตติวิตี

ค่าเปอร์มิตติวิตีของตัวโคอิเล็กทริกชนิดเซรามิกซ์ สามารถหาได้จาก การวัดค่าความจุไฟฟ้าของตัวอย่างสเปคซิเมน โดยการติดตั้งประกอบตัวอย่างที่ต้องการวัด ซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นแผ่นกลมแบน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร หนา 3 และ 4 มิลลิเมตร ระหว่างอิเล็กโทรดแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ บรรจุอยู่ในครอบแก้วสุญญากาศ เรียกว่า Guard ring capacitor ดังรูป 4.9 และต่ออยู่ในวงจร Schering bridge เป็น C_x ในวงจร ประกอบด้วยตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_n และตัวเครื่องวัด Schering bridge ดังแสดงในรูป 4.10

จากค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ C_x จะสามารถหาค่าเปอร์มิตติวิตีได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{C_x \cdot d}{A}$$

เมื่อ d = ความหนาของตัวอย่างสเปคซิเมนโคอิเล็กทริกเซรามิกส์

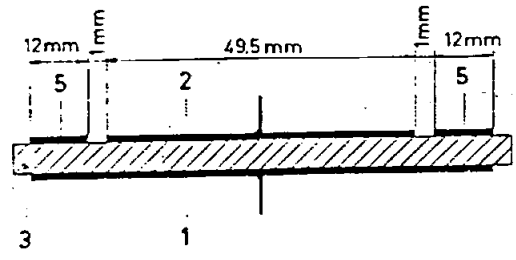
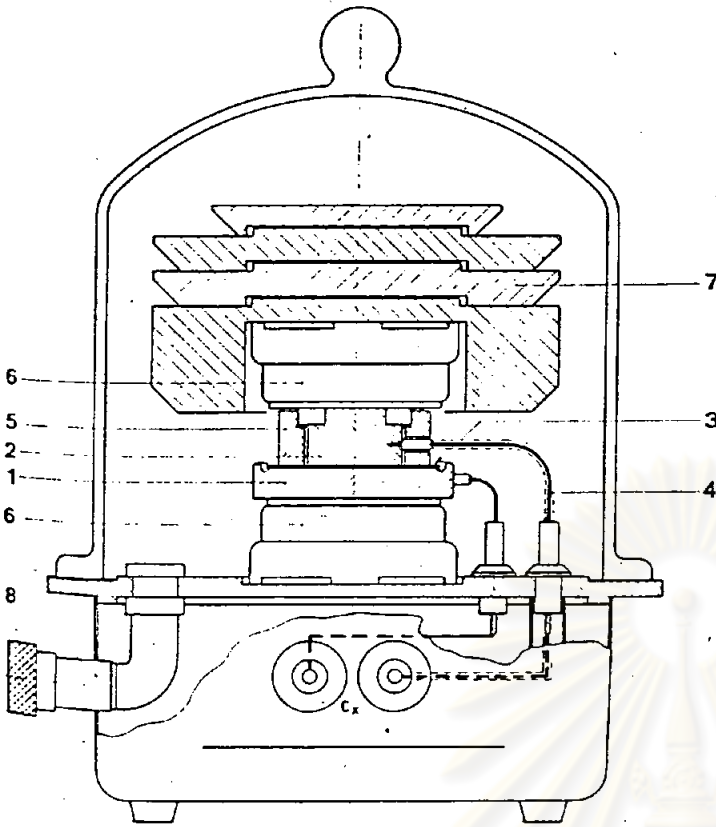
A = พื้นที่หน้าอิเล็กโทรดของ Guard ring capacitor ในที่มีค่าเท่ากับ 20 ตารางเซนติเมตร

ดังนั้น จึงหาค่าเปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์ ϵ_r ได้จากสมการ

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

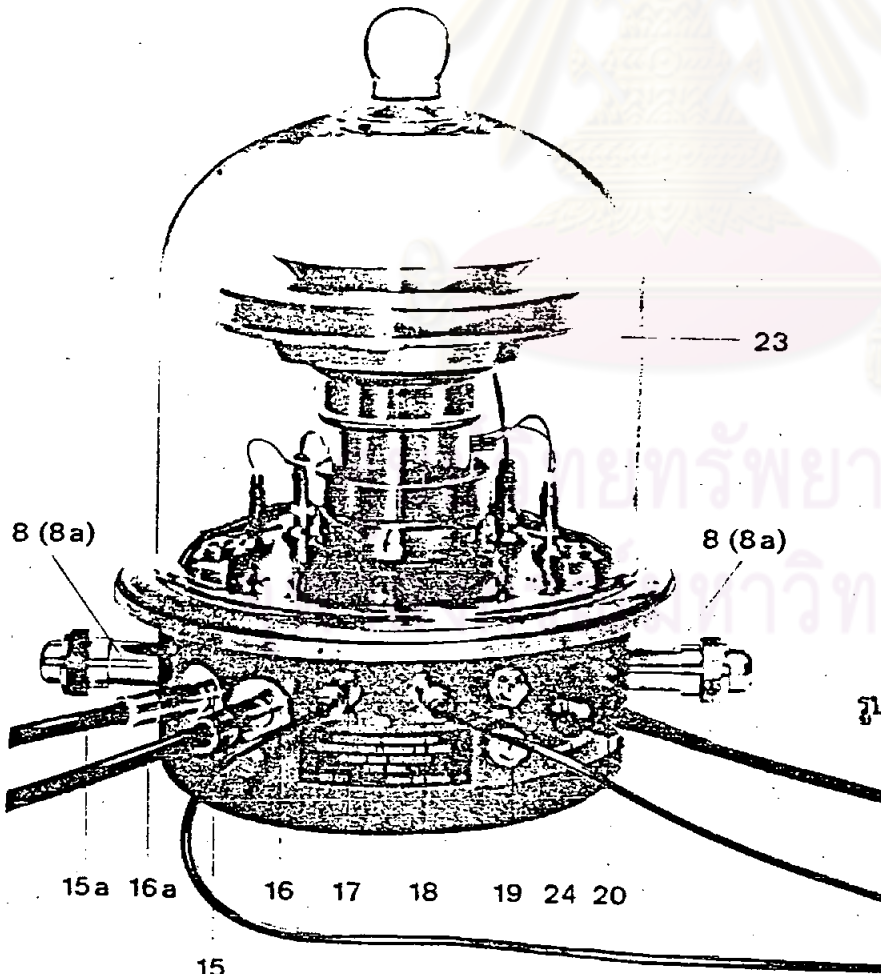
เมื่อ ϵ_0 เป็นค่าเปอร์มิตติวิตีของสุญญากาศมีค่า = 8.854×10^{-12} F/m

Basic circuit diagram

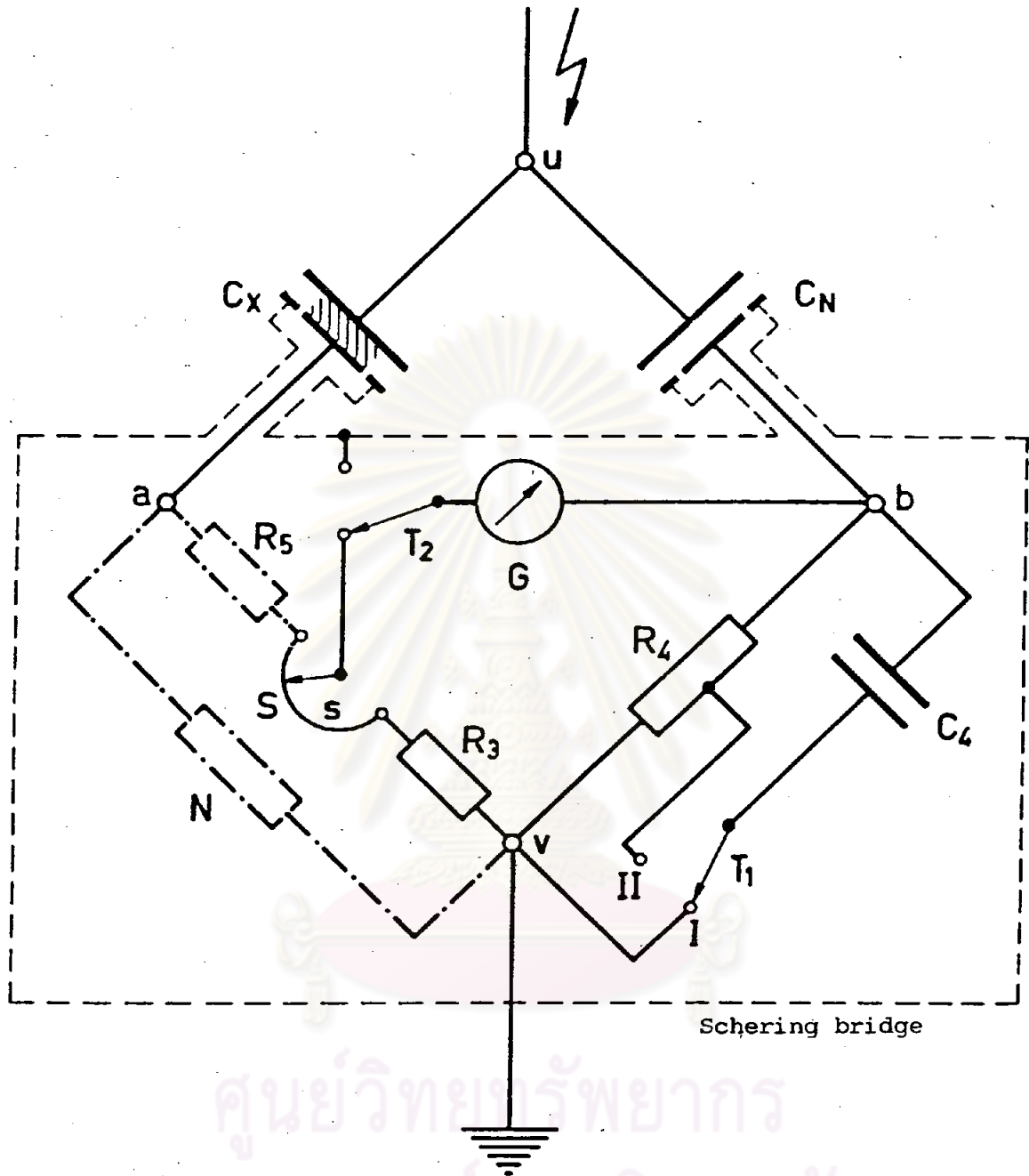


Key

- 1. High-tension electrode with platinum temperature sensor
- 2. Measuring electrode with platinum temperature sensor
- 3. Testpiece
- 4. Measuring electrode connection
- 5. Guard-ring
- 6. Heater
- 7. Weights
- 8. Vacuum connection



รูปที่ 4.9 แสดงอุปกรณ์ Guard ring capacitor



Schering bridge

ศูนย์วิทยุวิทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Legend**
- C_x = Standard condenser
 - C_N = Test sample
 - R_1 = 1. Resistance decade
 - 2. Step by step adjustable resistances
 - R_2 = 1. Step by step adjustable resistances
 - 2. Resistance decade
 - R_3 = Auxiliary resistance
 - N = Step by step adjustable resistances
 - C_4 = Capacity decade
 - G = Galvanometer
 - S = Slide-wire with tap s
 - T_1 = $\tan \delta$ - Switch for large and small $\tan \delta$
 - T_2 = Galvanometer switch
 - Sch = Screen

รูปที่ 4.10 วงจร Schering bridge

4.3.2 การทดสอบหาค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสีย

การวัดค่าแฟกเตอร์พลังงานสูญเสียในไดโอดีเล็กทรอนิกส์ t_{gd} โดยทั่วไปอาจวัดหาได้

2 วิธี คือ

- วิธีวัดคิมิเตอร์
- วิธีบริคส์

วิธีวัด t_{gd} ที่นิยมกันคือวิธีวัดด้วยบริคส์ เช่น ในที่นี้จะทำการวัดด้วย
ซึ่งมีวงจรการวัดดังกล่าวไว้ในข้อ 4.3.1

4.3.3 การทดสอบความทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดโอดีเล็กทรอนิกส์

การทดสอบค่าความทนของไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตขึ้นต่อแรงดันไฟฟ้า เป็นการทดสอบ
คุณสมบัติการฉนวนของตัวไดโอดีเล็กทรอนิกส์ ทำได้โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าความถี่ 50 Hz
ทดสอบตาม IEC-Pub-243 จนกระทั่งเกิดเบรกดาวน์ ค่าความทนแรงดันไฟฟ้าของ
ไดโอดีเล็กทรอนิกส์ จึงหาได้จากสมการ

$$E_b = \frac{U_b}{d}$$

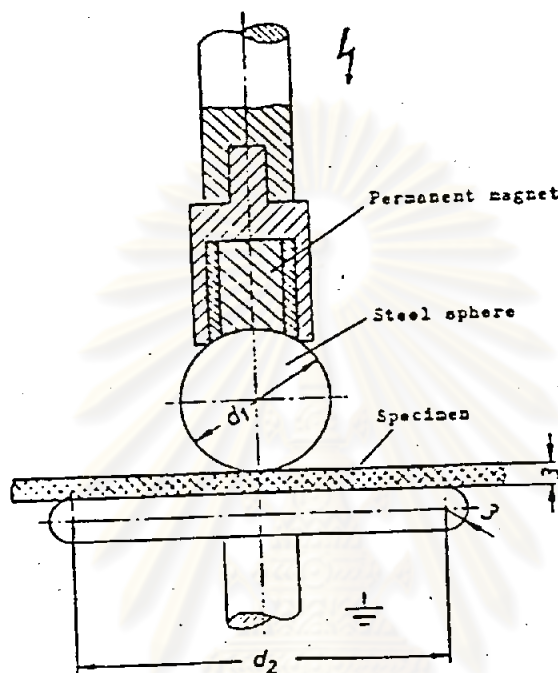
เมื่อ E_b = ความทนต่อแรงดันไฟฟ้า
 U_b = แรงดันเบรกดาวน์
 d = ความหนาของสเปคซิเมน

เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย

- 1) หม้อแปลงทดสอบแรงดันสูงกระแสสลับขนาด 100 kv 5 kVA
- 2) ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบที่ป้อนให้กับหม้อแปลงทดสอบ
- 3) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าสูง คือ โวลต์จิกอิโวลต์เคอร์แบบตัวเก็บประจุ 100 kv
- 4) ตัวถังบรรจุน้ำมันฉนวนไฟฟ้า
- 5) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบทรงกลม 20 mm ϕ กักระบาย 50 mm ϕ

ตาม Din 53481 Sheet 1 ดังรูป 4.11

ลักษณะของสเปคซิเมนที่ใช้ทำการทดสอบ มีลักษณะเป็นแผ่นโคอิเล็กทริกทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ม.ม. ทหนา 2.5 ม.ม. ± 0.5 ม.ม. จำนวน 5 ชิ้น



รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบของการทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของหัวโคอิเล็กทริก

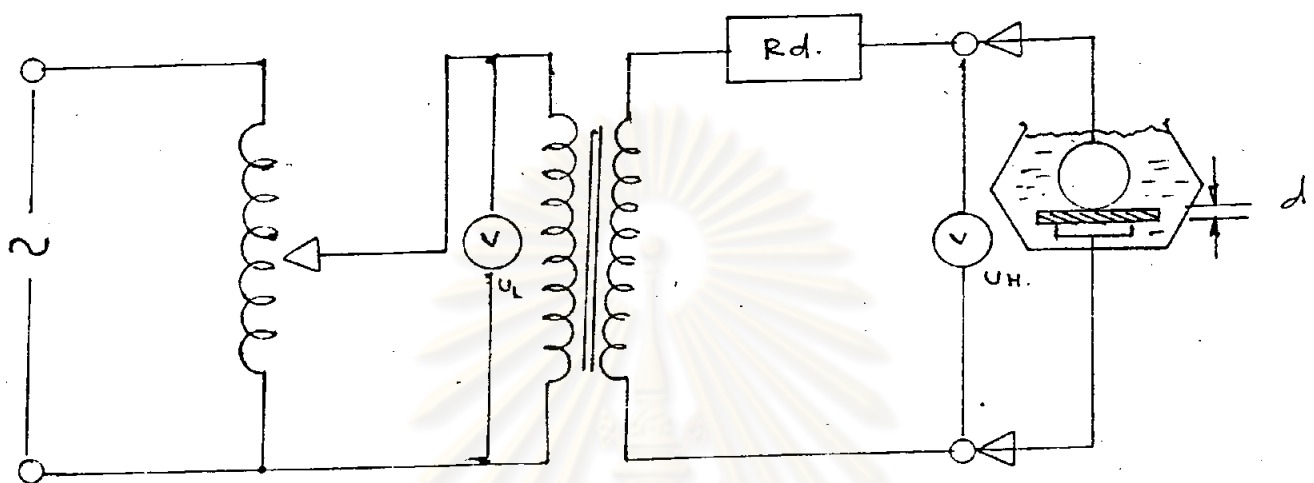
วิธีการทดสอบ

เตรียมสเปคซิเมนก่อนการทดสอบ โดยนำสเปคซิเมนที่จะทำการทดสอบ ไปอบแห้งไล่ความชื้น โดยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $120^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ อบนาน 2 ชั่วโมง (ดังรูป 4.12) จากนั้นปล่อยให้เย็นในภาชนะความคุมความชื้น (desiccator) ประกอบแผ่นโคอิเล็กทริกเข้ากับชุดอิเล็กโทรดดังกล่าวข้างต้น



รูปที่ 4.12 แสดงการอบไล่ความชื้นสเปคซิเมน $120^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ นาน
2 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรการทดสอบความทนของโคอิเล็กตริกต่อแรงดันไฟฟ้า

ต่อวงจรป้อนแรงดันทดสอบดังรูปวงจร 4.13 ป้อนแรงดันทดสอบอย่างรวดเร็วในช่วงแรกประมาณครึ่งหนึ่งของค่าแรงดันเจาะทะลุ ต่อจากนั้นเพิ่มค่าแรงดันทดสอบจนกระทั่งเกิดเบรคควาน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย