บทที่ 2

วัสดุไฟฟ้า

ELECTRICAL INSULATION

วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติที่สำคัญ [illegible] ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง หรือในเครื่องจักรกลไฟฟ้า ดังนั้น คุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการเลือกใช้งานฉนวนไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับการใช้งานของ การนำไปใช้ [illegible] ในการใช้งานในที่ต่างๆ ซึ่งมีมากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของฉนวนไฟฟ้าแต่ละชนิดไว้ [illegible] ความสามารถ [illegible] ในการนำไฟฟ้า ของฉนวนไฟฟ้าจึงแบ่งออกได้เป็น คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties) คุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) และคุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ดังนี้ [illegible] ในการพิจารณาฉนวนไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า ต่างๆ ที่ใช้งานในปัจจุบัน มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ
2. มีค่า Dielectric strength สูง ๆ ใช้เป็นฉนวนได้ดี
3. มีความต้านทานต่อการดูดซึมสูง
4. มีความยืดหยุ่นได้ (Flexibility)
5. มีความแข็งแรงทางกลสูง
6. มีความต้านทานต่อการเกิดโคโรนา (Corona)
7. มีความต้านทานต่อความร้อนสูง
8. คุณสมบัติทางเคมีที่ดี

แม้วัสดุใดมีคุณสมบัติตามความต้องการ เช่น Impreg-nated paper มี Dielectric strength [illegible] การใช้งานไม่ได้ เพราะมีคุณสมบัติในการ [illegible] ได้ และ มีความต้านทานต่อความชื้น มีความทนทาน [illegible] อุณหภูมิได้ไม่สูงเป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาในการเลือก เพื่อให้มีคุณสมบัติทั่วไป (Over all characteristics) ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานต่าง ๆ กัน

2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

การเลือกวัสดุฉนวนไฟฟ้า จำเป็นต้องทราบถึงความสำคัญของคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ ความต้านทานของฉนวน (Insulation resistance) การนำกระแสผิวหน้า (Surface conductivity) การสูญเสียกำลังไฟฟ้า (Power loss) Power factor, Dielectric constant, Dielectric strength, Ionization resistance และ Arc resistance [illegible] คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

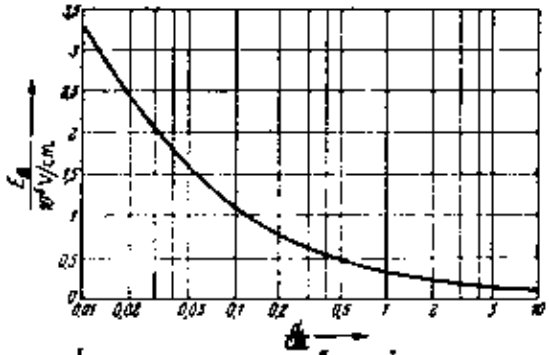
2.1.1 ความต้านทานของฉนวน [illegible] ที่สำคัญที่สุดในการใช้งาน [illegible] Bank [illegible] (Surface resistivity) [illegible] (Volume resistivity) [illegible]

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (2.1)$$

$$\frac{R_1}{L} \qquad (2.2)$$

$$\sigma = \frac{R}{} \qquad (2.3)$$

2.1.2 Dielectric strength ค่า Dielectric strength(E_B) ของฉนวน คือ ค่า Electric intensity หรือ Potential gradient สูงสุดที่ฉนวนจะทนได้ ถ้า Electric field intensity มีค่าสูงกว่า Dielectric strength ของฉนวน ฉนวนจะเกิด Break down สำหรับใน Uniform field ระหว่าง Electrodes ที่เป็น Plates 2 แผ่น วางขนานกัน หรือ Spheres ขนาดใหญ่ ที่วางใกล้กัน ค่า Dielectric strength คำนวนหาได้จาก Break down voltageหารด้วยระยะห่างของ Electrode, Dielectric strength ของฉนวนชนิดหนึ่ง ๆ มีค่าไม่คงที่แต่ขึ้นอยู่กับความหนาอัตราการเพิ่ม voltageความเป็นเนื้อเดียวกันของฉนวน และลักษณะผิวหน้าของ Electrode



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_B กับความหนา

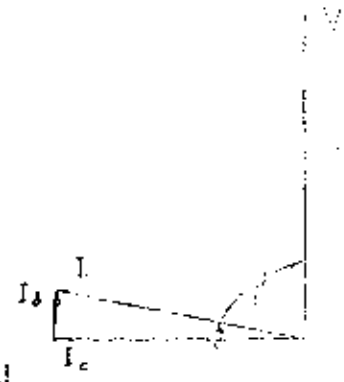
2.1.3 Dissipation factor หรือ Power factor "เมื่อมีกระแสสลับผ่านเนื้อวัสดุที่ใช้เป็นฉนวน จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ (Phenomenon) ของ Dielectric absorbtion ขึ้น ปรากฏการณ์นี้คล้ายกับความหนืด (Viscosity) บางครั้งจึงได้ชื่อว่า Dielectric viscosity จากปรากฏการณ์นี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้วัสดุร้อนและมีการสูญเสียกำลังงาน (Power loss) อาเหตุอื่นที่จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้อีกก็คือ การที่วัสดุมี Volume resistivity น้อย ๆ มาก แต่วัสดุดังกล่าวก็ไม่ค่อยถูกใช้เป็นฉนวน ถ้าวัสดุถูกใช้เป็นฉนวนที่ความถี่สูง ๆ การสูญเสียกำลังงานในตัวฉนวนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด"

เมื่อมีกระแสสลับไหลผ่านเข้าไปใน Condenser ที่มี Solid insulating material ระหว่าง Plates ทั้งสอง กระแสไฟฟ้าและแรงดันที่คร่อม Plates

ซึ่งกล่าวว่า ว่า Out of phase กันไปอีก 90 องศา เมื่อเทียบกับ Power Loss ก็ Cosine ของมุมนี้ (φ) เรียกว่า "Power Factor" ส่วนมุม ที่ขาดไปจาก 90° กับ φ นี้ เรียกว่า "Phase difference" ก็ Tangent ของ Phase difference(δ) นี้ มีชื่อว่า "Dissipation factor"

Equivalent circuit ของฉนวนไฟฟ้าเมื่อมองในแง่ความสูญเสียกำลังจะประกอบด้วย Resistor และ Capacitor ดังรูปที่ 2.2 และมี Vector diagram แสดงไว้ในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.2 Equivalent circuit



รูปที่ 2.3 Vector diagram

Power loss ในฉนวนมีค่าเป็น

$$P = VI\cos\varphi \quad (2.4)$$

$$= VI_\delta \quad (2.5)$$

$$= V^2G \quad (2.6)$$

$$\tan\delta = \frac{I_\delta}{I_c} \quad (2.7)$$

$$= \frac{G}{\omega C} \quad (2.8)$$

$$G = w C \tan\delta \quad (2.9)$$

$$\text{Power Loss} = V^2 w C \tan\delta \quad (2.10)$$

$$C = \varepsilon_r C_o \quad (2.11)$$

$$P = V^2 w \varepsilon_r C_o \tan\delta \quad (2.12)$$

ที่ P แทน Power loss ในฉนวน มีหน่วยเป็น วัตต์

V แทน ความต่างศักย์ในหน่วยเอซี มีหน่วยเป็น โวลต์

I แทน กระแสในวงจรเอซี มีหน่วยเป็น แอมแปร์

I_c แทน กระแสใน Branch ที่เป็น Capacitor

I_R แทน กระแสใน Branch ที่เป็น Resistor

G แทน Conductance มีหน่วยเป็น Mho

C แทน Capacitance มีหน่วยเป็น Farad

W แทน ความถี่เชิงมุมมีค่าเท่ากับ $2\pi f$ เมื่อ f เป็นความถี่ มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

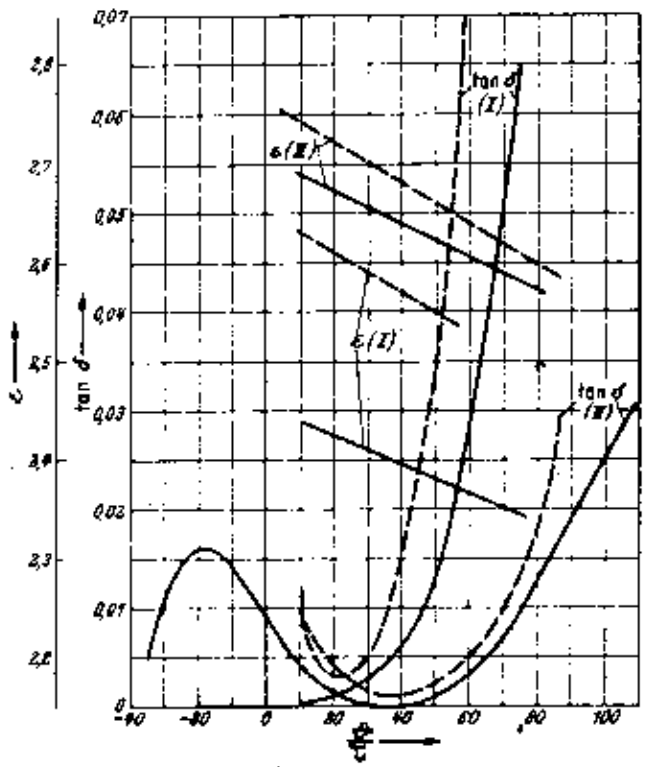
ε_r แทน Relative Dielectric constant ของฉนวน

C_o แทน Capacitance ในสุญญากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของ Electrode ที่ใช้ และระยะห่างระหว่าง Electrode ทั้งสองที่เป็นคู่ขนานกัน

$\cos\varphi$ แทน Power factor

$\tan\delta$ แทน Dissipation factor

จากรูป δ เป็นมุม ระหว่างเวกเตอร์ $\tan\delta$ กับ δ เมื่อ δ มีค่าน้อยมากๆ ค่าของ Power Factor กับ $\tan\delta$ จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น $\tan\delta$ จึงมีค่าเท่ากับ $\sin\delta$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\cos\varphi$ ด้วย ค่า Power factor นี้ขึ้นอยู่กับ Nature ของวัสดุ คุณภาพ Moisture exposure, Voltage และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความถี่ที่ใช้ (Frequency)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power factor และ Dielectric Constant กับอุณหภูมิ

(I) แทน Natural Oil และ Resin

(II)แทน Synthetic Compounds

——— สภาพไม่

- - - - - สภาพเกา 20 KV/cm และ 50 C/S

2.1.4 Dielectric constant คือ Dielectric constant มีความสัมพันธ์กับ Moisture exposure และองค์ประกอบอื่น ๆ อีก เป็นคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์มากในการทำ Condenser เพราะเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อน และการออกแบบรูปร่างของตัวไดอิเล็กตริก ของ Condenser ซึ่งใช้ค่า Dissipation factor และ Dielectric constant มีความสำคัญมากในการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุไดอิเล็กตริก Dielectric constant สามารถหาได้โดยการวัดค่า Capacity ของ Condenser ซึ่งได้จากสมการ

$$C = 0.0885\varepsilon_r \frac{A}{d} \qquad (2.13)$$

ซึ่ง C แทน Capacity ของ Flat-plate condenser มีหน่วยเป็น pico-farad

A แทน พื้นที่ผิวของ Plate condenser มีหน่วยเป็น mm^2

d แทน ความหนาของฉนวน มีหน่วยเป็น mm

ε_r แทน Relative Dielectric constant

2.2 คุณสมบัติทางความร้อน

ของแข็งทั่วไปจะมีค่า Break down ขึ้นเนื่องจากผลทางความร้อนจำนวนหนึ่ง ความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ เช่น เกิดความชื้นในเนื้อฉนวน ด้วยเหตุนี้ คุณสมบัติทางความร้อน จึงมีความสำคัญมากในการนำไปใช้ Heat resistance, การนำความร้อน, สัมประสิทธิ์การขยายตัวของความร้อน Thermoplasticity และ Inflammability เป็นต้น เป็นคุณสมบัติทางความร้อนที่นิยมใช้ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุเป็นฉนวนและทาง ๆ

2.2.1 Heat aging การใช้ไปนาน ๆ หรือใช้วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนเสื่อมคุณภาพ ในการทดสอบ Mechanical injury และความชื้นในอากาศเร่งให้เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมของวัสดุ ๆ 10-16 % ซึ่งมีความสำคัญต่อการเสื่อมของวัสดุนี้ ทำให้เกิด Cellulose material ทุกชนิดเสื่อม เกิด Oxidation เพิ่มขึ้น และจากอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเสื่อมของฉนวนเร็วขึ้น ๆ อีก เช่นเป็นสาเหตุทำให้สารจำพวก Cellulose และ Varnish substances เสื่อมสภาพ, กรอบ, ฯลฯ และสาเหตุอื่น ๆ Aging ทำให้ฉนวนที่เสื่อมสภาพนั้นหลุดออกจากกันง่าย เมื่อมีแรงกระทำให้เปลี่ยนรูปเล็กน้อย กระแสกระโดดข้าม ซึ่งเสียงจะดังหรือทำให้เกิด Electrical breakdown ขึ้นได้

2.2.2 การนำความร้อน (Thermal conductivity) เมื่อจากแรงดันไฟฟ้าในขดลวดมีค่าสูงมาก การระบายความร้อนออกจากตัวนำ จะไม่สามารถเปลี่ยนไปได้เร็วเหมือนกับการนำความร้อนของฉนวน ฉนวนที่ดีจะต้องนำความร้อนได้ดีกว่าฉนวนที่ด้อยคุณภาพ เพื่อการกระจายไปได้ดีกว่า

00461

2.3 คุณสมบัติทางกล

วัสดุที่จะใช้เป็นฉนวน ถึงแม้ว่าจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีเยี่ยมเพียงใด ก็ไม่สามารถใช้งานได้ ถ้าวัสดุนั้นขาดคุณสมบัติทางกลที่ดีพอ ดังนั้น จึงต้องทราบคุณสมบัติทางกลของฉนวนไว้ในการออกแบบ และการแบ่งชั้น (Grade) ของฉนวนไฟฟ้าด้วย คุณสมบัติทางกล ความแข็งแรง (Tensile strength) ความอัด (Compressive strength), ความเฉือน (Shearing strength), ความกระแทก (Impact strength) ความล้า (Fatigue strength),

ความพรุน (Porosity), การดูดความชื้น (Moisture absorption), การดูดอากาศ (Occluded gases) ความแข็ง (Hardness) ความเปราะ (Brittleness), ความสามารถในการทำงาน (Workability) และความคงทนต่อการขัดสี ของตัว

2.4 คุณสมบัติทางเคมี

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพ ที่กล่าวไว้ข้างต้น ยังมีคุณสมบัติทางเคมีอีกหลายประการที่ควรจะได้ทราบไว้ เช่น ความทนต่อ ไขมัน, น้ำมัน, โอโซน, กรด, ด่าง, ตัวทำละลาย และไอสาร เคมีอื่น ๆ