หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติที่จะ Tests

การทดสอบคุณสมบัติทาง Physics

Shrinkage หมายถึงการหดตัวซึ่งมีอยู่ ๒ ขณะ คือ

๑. Drying Shrinkage การหดตัวขณะตาก ปริมาณน้ำที่ใส่ลงไปเพื่อขึ้นรูปจะระเหยออกเมื่อขณะตาก ทำให้มีการหดตัว การหดตัวจะ มากหรือน้อยขึ้นกับคุณสมบัติของ body และชนิดของผลิตภัณฑ์

๒. Firing Shrinkage การหดตัวขณะเผา การเผามีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบและการแยกตัว การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

การหา Shrinkage หาได้ ๒ แบบ คือ

๑. Linear Shrinkage หาเป็นความยาว

$$\text{Drying linear shrinkage} = \frac{\text{Plastic length - Dry length}}{\text{Dry length}}$$

$$\text{Fired linear shrinkage} = \frac{\text{Dry length - Fired length}}{\text{Dry length}}$$

๒. Volume shrinkage หาเป็นปริมาตร

$$\text{Dry volume shrinkage} = \frac{\text{Plastic volume - Dry volume}}{\text{Dry volume}}$$

$$\text{Fired volume shrinkage} = \frac{\text{Dry volume - Fired volume}}{\text{Dry volume}}$$

Absorption and porosity

วิธีหา porosity ของผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้ว (fired body) ใช้หลักที่ว่าผลิตภัณฑ์นั้นสามารถจะดูดของเหลวหรือกาซเข้าไปใน pore ได้มากน้อยเพียงใด

วิธีใช้หั่ว ๆ ไป คือนำเอา piece ที่เผาแล้วมาตากให้แห้ง ซึ่งแช่ในน้ำต้มประมาณ ๒๔ ชั่วโมง เพื่อให้ test piece ดูดน้ำได้เต็มที่ ชั่งใหม่ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดเข้าไปใน pore

$$\text{Percent water absorption} = \frac{W_s - W_f}{W_f}$$

$$\text{Percent Porosity} = \frac{S_f - W_f}{V_f}$$

W_s = น้ำหนักแห่งทดลองเมื่อน้ำถูกดูดเข้าไปจนอิ่มตัว (Fire saturated weight)

W_f = น้ำหนัก test piece ขณะแห้งหลังจากเผา (Fired weight)

V_f = ปริมาตรของแห่งทดลองหลังจากการเผา (Fired volume)

ปริมาตรหาได้โดย Suspension weight method

นำแห่งทดลองมาต้มกับน้ำจนอิ่มตัว ชั่ง นำมาชั่งใหม่โดยแขวน suspended ในน้ำที่มี specific gravity เท่ากับน้ำที่ใช้ต้ม

$$\text{Volume} = \frac{\text{Saturated weight - Suspended weight}}{\text{specific gravity of water}}$$

Absorption นี้วัดดีงาของการเยิ้มตัว (degree of vitrification) และ absorption หรือ porosity นี้เป็นปฏิภาคกลับ (vary inversely) กับอุณหภูมิในการเผา

Thermal shock resistance

การต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างกระทันหันโดยไม่มีการแตกร้าวนี้ขึ้นอยู่กับ

๑. Thermal conductivity ถ้า thermal conductivity มากก็จะต้านทานได้ดี

๒. Thermal expansion ถ้า thermal expansion น้อย จะต้านทานได้ดี

๓. Strength ของ body ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์

๔. Porosity การเพิ่ม porosity ก็ต้านทานได้ดี แต่วิธีนี้ใช้ไม่ได้สำหรับ chemical porcelain เพราะต้องมี porosity ต่ำที่สุด

การทดลองหา thermal shock ที่ง่ายและสะดวกที่สุดคือการเอาแท่งทดลองใส่ในน้ำเดือดประมาณ ๑๐ นาที แล้วนำไปใส่ในน้ำแข็งทันทีประมาณ ๑๐ นาทีเหมือนกัน แล้วกลับไปใส่ในน้ำเดือดใหม่อีก การเปลี่ยนแปลงความร้อนกลับไปกลับมาเช่นนี้ทำให้เกิด thermal shock ได้ porcelain body ที่ดีต้องต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ได้

เป็นที่น่าสังเกตว่าการแตกร้าวนี้จะเกิดในขณะเย็นตอนใส่ในน้ำแข็งเท่านั้น เพราะว่า relative specific heat และ heat conductivity ของ body และตัวกลางที่แช่ (quenching medium) และความร้อนออกจาก body เร็วกว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแท่งทดลองอย่างกระทันหัน

การทดสอบคุณสมบัติทาง Mechanical

คุณสมบัติทาง Mechanical มีอยู่หลายอย่างที่จะต้องตรวจสอบ (test) ในเรื่องของ ceramic material เช่น compressive stress, tensile stress, bending stress, impact resistance, modulus of rupture และ hardness เป็นต้น แต่ในการทดสอบครั้งนี้จะเลือกทดสอบแต่คุณสมบัติที่สำคัญเท่านั้น ดังนี้ เช่น

๑. Tensile Stress

ก. ค่าของ Tensile stress (S_t) เป็นตัวเลขอันหนึ่งที่แสดงให้ทราบว่า วัตถุมีความต้านทานแรงดึง (tensile) ได้มากน้อยเท่าใด ในทางวิศวกรรมเราใช้แรงดึงที่กระทำต่อวัตถุ หารด้วย Area ส่วนที่เล็กที่สุดของแท่งวัตถุที่ถูกดึงปกติ แล้ววัตถุจะขาดตรงนี้

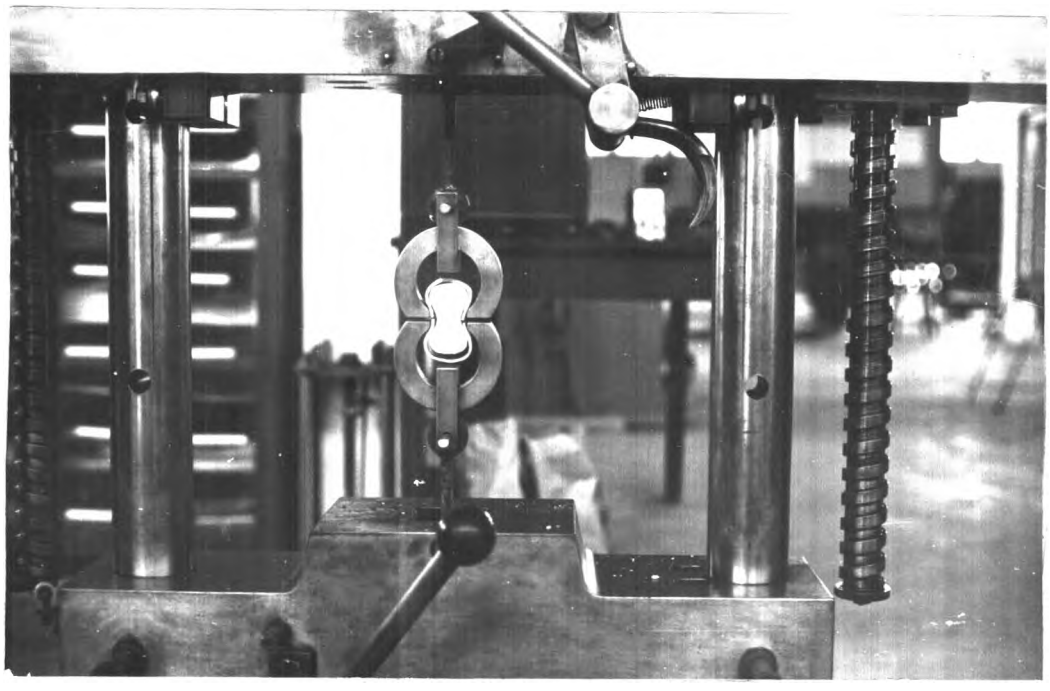


Fig. 12 Tensile stress testing.

ข. ตามมาตรฐานการทดสอบของประเทศเยอรมัน (VDE 0335/7.56) Testing sample จะต้องมีความยาว ๗๖ มม. มี cross section area ส่วนที่เล็กที่สุดประมาณ ๒๕ x ๒๕ มม. เรียกว่า bacKet testing speciment

ค. Testing sampleเมื่อเอาไปวางเข้ากับที่จับเพื่อสำหรับดึงให้ขาดจะต้องรองด้วย crome lead หนาประมาณ ๒ มม. หรือ Aluminium ระหว่างที่จับ (clamp) กับ testing sample การเพิ่ม load ที่ดึงจะต้องอยู่ในระหว่าง ๓๐ – ๔๐ kg/Sec.

ง. เราจะคำนวณหาค่าของ tensile stress ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$S_t = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F = แรงดึงที่ทำให้วัตถุมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

A = เนื้อที่ตรงวัตถุขาด (ตามปกติแล้ววัตถุจะขาดตรงเนื้อที่เล็กที่สุด) มีหน่วยเป็น $cm.^2$

S_t = tensile stress มีหน่วยเป็น $Kg./cm.^2$

จ. จะต้องทำการทดสอบอย่างน้อย ๕ ชิ้น ค่าของ tensile stress ที่ได้ของแต่ละชิ้นจะต้องไม่ต่ำกว่า ๑๐ $Kg./cm.^2$

ฉ. ข้อควรระวังจะต้องดูว่า testing specimen ขาดเพราะแรงดึงจริง ๆ ไม่ได้ขาดเพราะแรงกด หรือแรงบีบของที่จับด้วยเหตุนี้เองเราจึงต้องใช้ crome lead รอง

๒. Compressive Stress

ก. ค่าของ compressive stress (Sc) เป็นตัวเลขอันหนึ่งที่แสดงให้ทราบว่า วัตถุมีความต้านทานต่อแรงกด (compressive stress) ได้มากน้อยเท่าใด ในทางวิศวกรรมเราใช้แรงกดที่มากระทำต่อวัตถุ หารด้วย Area ส่วนที่เล็กที่สุดที่รับแรงกดนั้นปกติแล้ววัตถุจะแตกหักที่บริเวณนี้ก่อน

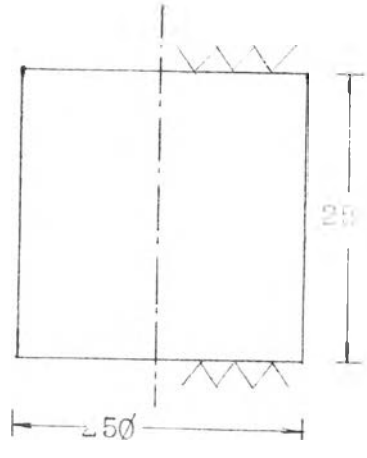


Fig.13 Colum for Compressive testing specimen.

ข. ตามมาตรฐานการทดสอบของเยอรมัน (VDE 0335/7.56) testing sample จะต้องมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (cylinder) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๒๕ มม. สูง ๒๕ มม.

ค. ก่อนเข้าเครื่องทดสอบหาค่า compressive stress จะต้องเจียรนัยให้ผิวด้านบนและล่างที่รับแรงกดเรียบเสียก่อน โดยหินเพชร (corundum) เพื่อป้องกันการแตกบิ่นของที่ผิวหน้าของ testing sample มิฉะนั้นแล้วค่าที่ได้จะไม่ถูกต้อง ด้านบนและด้านล่างของ cylinder test piece นี้จะต้องรองด้วยกระดาษ

เสียก่อน และค่อย ๆ เพิ่ม load แรงกดให้มากขึ้น โดยอัตราการเพิ่มแรงกดจะต้องประมาณ ๓๐๐ – ๔๐๐ Kg./sec.

ง. เราคำนวณหาค่าของ compressive stress ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$Sc = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F = แรงกดทำให้วัตถุแตกหัก มีหน่วยเป็น Kg

A = เนื้อที่ที่รับแรงกด มีหน่วยเป็น cm^2

Sc = compressive stress มีหน่วยเป็น $Kg./cm^2$

จ. จะต้องทำการทดสอบอย่างน้อย ๕ ชิ้น ค่าของ compressive stress ที่ได้ของแต่ละชิ้นจะต้องไม่ต่ำกว่า ๑๐๐ $Kg./cm^2$

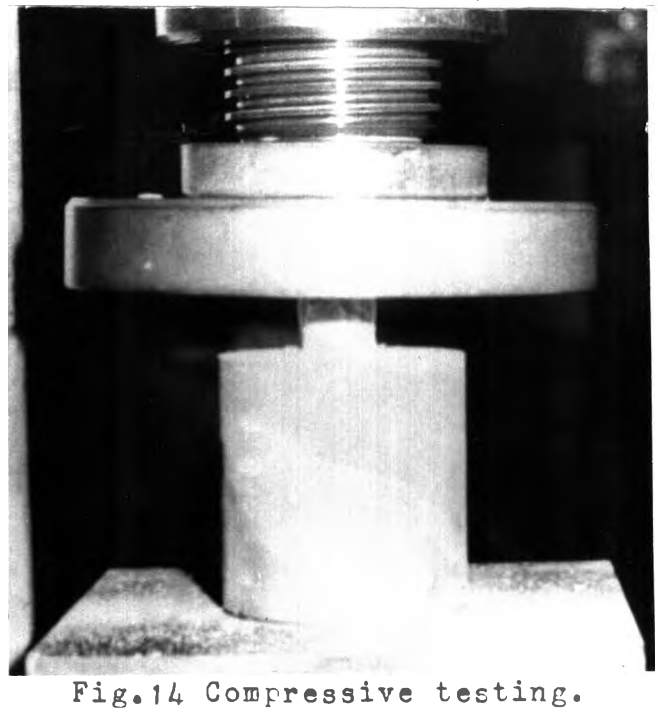


Fig.14 Compressive testing.

๓. Bending Stress

ก. ค่า bending stress เป็นตัวเลขอันหนึ่งที่แสดงให้ทราบว่าวัตถุมีความทนต่อแรงที่จะมาทำให้วัตถุคดงอ (bending) มากน้อยเท่าใดจนกว่าจะหักไป

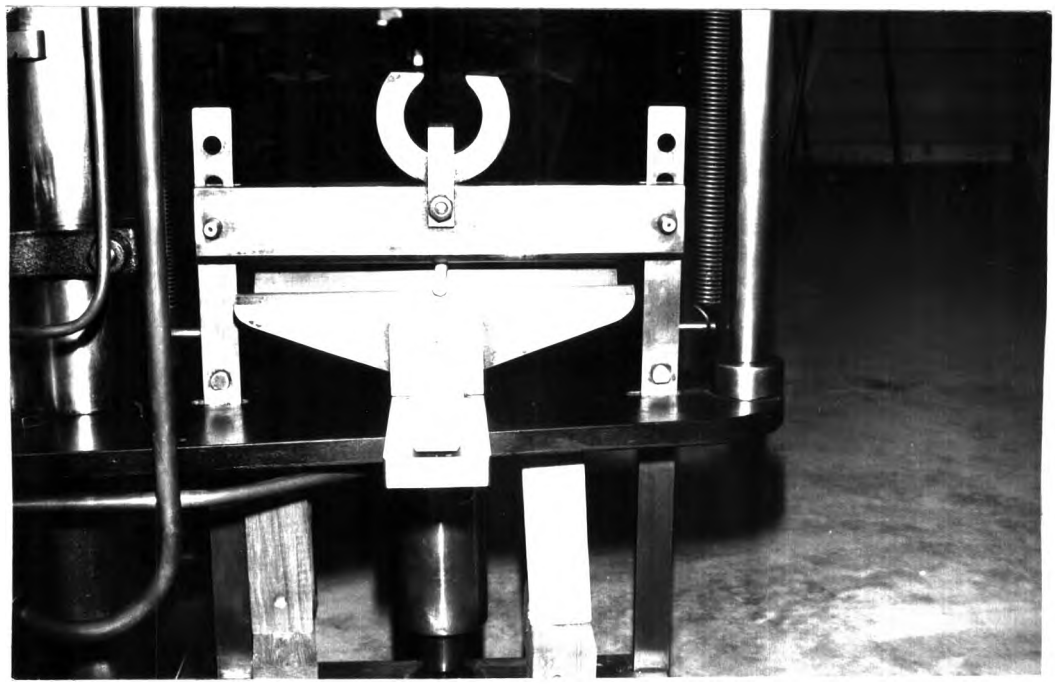


Fig.15 Bending stress testing.

ข. ตามมาตรฐานของเยอรมัน (VDE 0335/7.56) testing specimen จะต้องเป็น rod กลมยาว ๑๒๐ มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐ มม. ดังรูปข้างบน แต่เวลานำ testing speciment เข้าเครื่อง test จะต้องจัดให้ supporter ๒ อันที่รองรับ rod ที่จะทดสอบห่างกัน ๑๐๐ มม.

ค. การกดให้ rod (testing speciment) หักจะต้องกดตามรูปออกแรงตรงลูกศรแสดงการ test แบบนี้เรียกว่า central point load การเพิ่มแรงกดเพื่อให้ rod หักจะต้องมีอัตราการเพิ่มประมาณ ๕ Kg./sec.

ง. เราคำนวณหาค่าของ bending stress ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$S_b = \frac{FL}{4W}$$

เมื่อ F = แรงที่ทำให้ rod (testing speciment) หัก
- มีหน่วยเป็น Kg.

L = ระยะระหว่าง supporter ทั้ง ๒ อันมีหน่วยเป็น cm.

W = Resisting moment ของวัตถุซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง และขนาดของ specimen มีหน่วยเป็น cm^3

S_b = Bending stress ของวัตถุที่หา มีหน่วยเป็น $Kg./cm^2$

จ. เราจะคำนวณหาค่าของ W, resisting moment ของวัตถุได้ดังนี้ สำหรับ testing speciment ตามรูปข้างบน

$$W = \frac{\pi}{32} d^3 \approx 0.1 d^3 \ cm^3$$

เมื่อ d = diameterของ rod มีหน่วยเป็น cm.

ฉ. ต้องทำการทดสอบ (test) อย่างน้อย ๕ อัน และค่า bending stress ของแต่ละอันจะต้องไม่ต่ำกว่า ๑๐ $Kg./cm^3$

การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties) ของสารพวกฉนวนไฟฟ้า (insulator) โดยเฉพาะ electrical porcelain มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญอยู่หลายอย่างที่จะต้องทำการทดสอบ Dielectric Strength, Dielectric Constant, Volume Resistivity, Dissipation Factorสำหรับ electrical porcelain insulator ที่มีส่วนประกอบของเนื้อแตกต่างกัน คุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ดังกล่าวข้างต้นก็แตกต่างกันไปด้วย ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่จะทดสอบในการทดลองครั้งนี้มีดังนี้ คือ:-

๑. การหาค่า Breakdown Voltage และ Dielectric Strength

a) Breakdown voltage ของ dielectric strength (U_d) คือค่า effective ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า รูปsine wave ที่ทำให้สาร dielectric เกิดการ breakdown

b) Dielectric Strength (E_d) คืออัตราส่วนของ breakdown voltage ต่อความหนา (a) ของ specimen ที่วัดได้ โดยที่ความหนา (a) ตรงที่วัดมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ข้อสังเกต Dielectric Strength ขึ้นอยู่กับความหนา, ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและขึ้นอยู่กับเวลาที่ applied voltage เข้าไปเพื่อทำให้เกิดการ breakdown

c) สำหรับการทดสอบด้านไฟฟ้าแรงสูง, A.C. Voltage ต้องเป็นไปตามมาตรฐานของ VDE 0442/1933 การวัดจะต้องทำที่ $20^{\circ}C \pm 5^{\circ}$ เพื่อป้องกันมิให้เกิดการ leak specimen จะต้องอยู่ในน้ำมัน (Insulating Oil) ความถี่ของแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ 50 cycle/sec. ค่า peak factor ($\sqrt{2}$) ควรจะอยู่ระหว่าง 1.34 - 1.48 นั่นคือ ($\sqrt{2} \pm 5\%$) electrode ข้างหนึ่งจะต้องต่อลงดิน (grounded)

d) Specimen จะต้องเป็น porcelain ที่ไม่เคลือบผิว แผ่นแบนมี diameter ๘๐ มม. และหนา ๘ – ๑๐ มม. ซึ่งด้านหนึ่งจะต้องมีรอยบุ่มเป็นรูปครึ่งทรงกลม ดังรูป

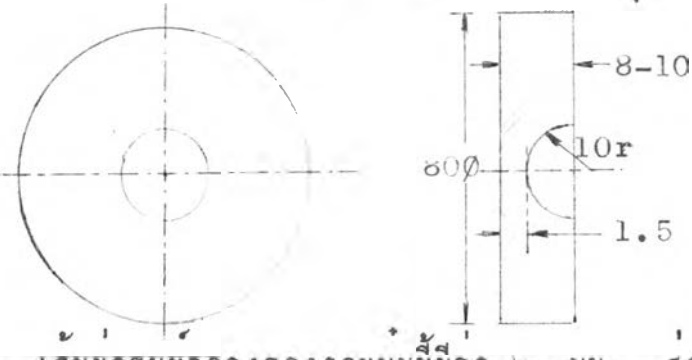


Fig.16 Electrical-testing specimen.

รอยบุ่มนี้จะต้องห่างกันเผา เส้นผ่าศูนย์กลางของรอยบุ่มนี้มีค่า ๒๐ มม. ส่วนที่บางที่สุดตรงรอยบุ่มจะต้องมีความหนาเท่ากับ ๑.๕ มม. ± ๑๐% ขนาดตามที่กล่าวนี้ของ speciment จะต้องได้หลังการเผา ค่า aloundvance ของ speciment จะต้องอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าวแล้วข้างบน specimen อาจจะเป็นรูปทรงกระบอกก็ได้

e) การทดสอบควรป้อนแรงดันขึ้นไปโดยเร็วจนถึงค่าประมาณครึ่งหนึ่งของค่า breakdown voltage แล้วจึงเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 0.5 - 1 KV/sec. จนกระทั่งเกิดการ breakdown

f) Dielectric Strength ที่ได้จากการทดสอบควรจะต้องได้จากการ breakdown ของส่วนที่บางที่สุดของ speciment ซึ่งอยู่ระหว่าง electrode และยอมให้ผิดพลาดได้ ๒% โดยอาศัย curve จากรูป เราก็สามารถที่คำนวณหาค่า dielectric strength ของ speciment ในรูปที่เกิดขึ้นในส่วนที่บางที่สุดได้ โดยคูณด้วย factor β จากสูตร

$$E_d = U_d \times \beta \qquad \text{KV/cm.}$$

g) Dielectric Strength ของ speciment จะต้องได้จากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างอย่างน้อย ๕ อัน

๒. การทดสอบหาค่า Relative dielectric constant (ε_r)

เราอาจหาค่า ของ electrical porcelain test peice ได้จากสูตร

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_o}$$

a) เอา test specimen ที่ต้องการใช้ทดสอบไปวัดหาค่าของ C_x โดยใช้ Impedance bridge โดยใช้ปรอทเป็น electrode จากนั้นก็วัดหาค่าความหนาของแผ่น specimen และนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณหาค่า C_o จากนั้นก็คำนวณหาค่า ε_r ได้ ดังปรากฏใน Data ผลของการทดลอง

b) เอา test specimen มาหาค่า C_o โดยการวัดหาค่า t, thickness แล้วคำนวณจากสูตรดังนี้

สูตรการคำนวณ C_o ดังนี้

$$C_o = \frac{A}{4\pi t \times 9 \times 10^{11}} \quad \text{farad}$$

$$= \frac{20 \times 10^{-11}}{4 \times 9}$$

$$= \frac{1.77}{t} \quad \text{Pf.}$$

t = thickness in cm.

A = Area of electrode in cm^2.

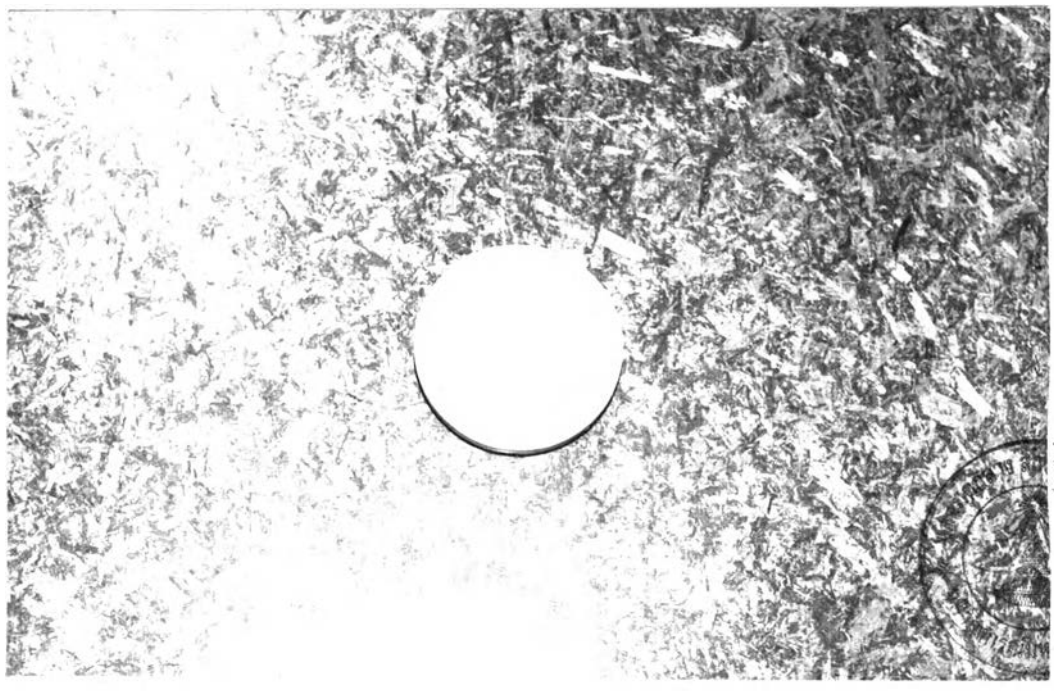
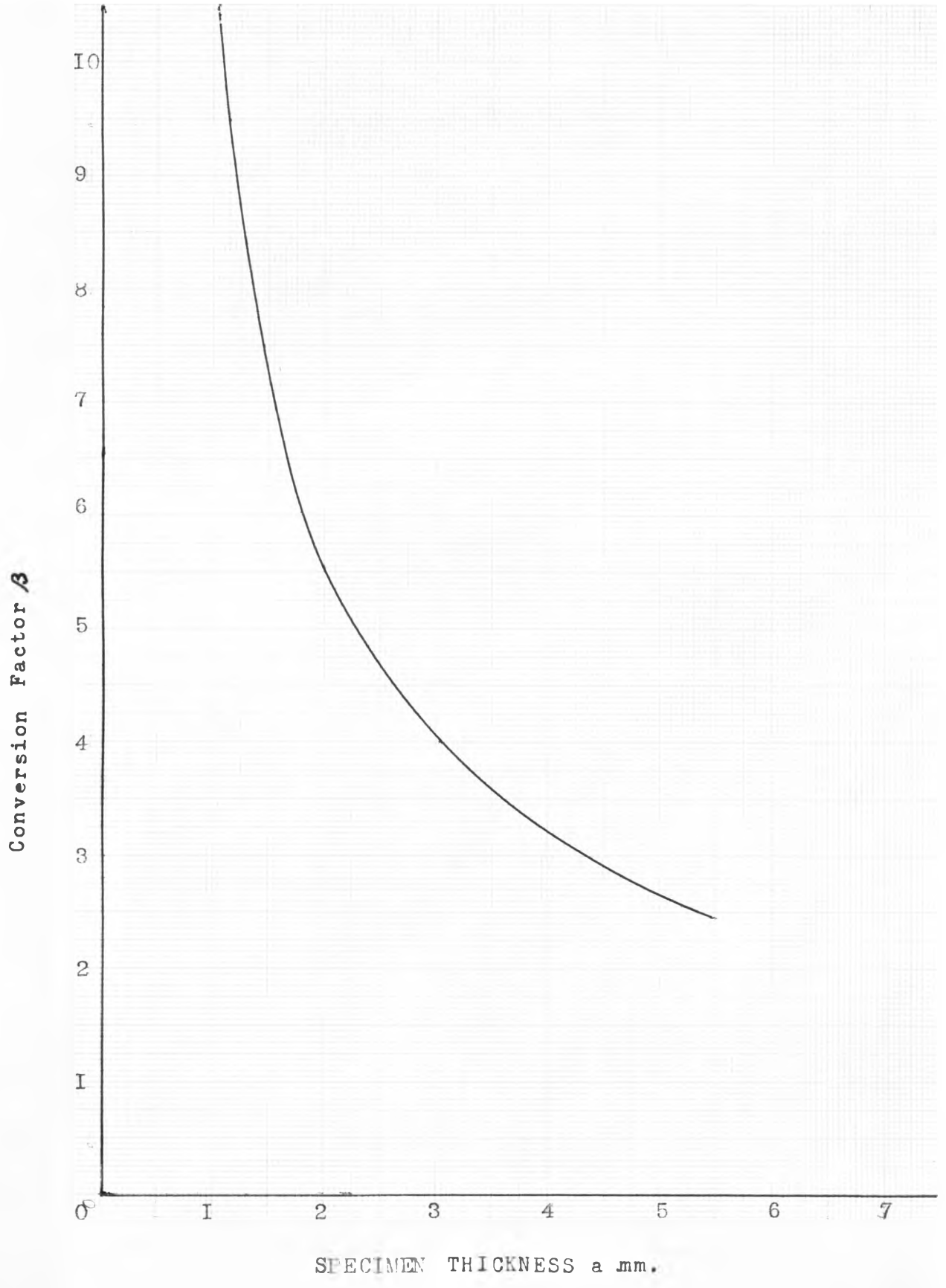


Fig.17 Electrical break down testing specimen.

Fig.18 Break down test in Mineral Insulation oil.


Conversion Factor β
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
1
2
3
4
5
6
7
SPECIMEN THICKNESS a mm.