■總 說■

고무 및 절연재료의 전기적 특성과 시험법

李 聖 一*
郭 斗 丸**
洪 眞 雄*

1. 서 론

최근 高電壓, 通信機器 分野의 각종 전기전자 제품에 절연을 목적으로 고무 및 플라스틱 등과 같은 고분자 재료가 대단히 광범위하게 이용되고 있다.

일반적으로 高分子 材料는 여러가지 배합제를 혼합하여 成形하는 경우가 대부분인데 電氣的 特性은 이 組成과 成形條件에 따라 그 성질은 광범위하게 변화하며 또한 劣化에 따라서도 절연특성이 현저히 저하하는 것으로 알려져 있다. 이들 고분자 재료를 그 사용목적에 적합하도록 개발 연구하는 것은 매우 중요하다. 이를 위하여 고분자 재료의 전기적 특성과 그 시험법을 간단히 소개하고자 한다.

2. 誘電特性, 絶緣抵抗의 測定

2.1 유전체의 분극과 유전손실[1)~4)]

誘電体에 電界를 인가하면 여러종류의 誘電分極이 발생한다. 이들 分極은 각각 어떤 주파수 이상에서는 外部電界의 변화에 따르지 못하고 消失되기 때문에 誘電材料에서는 일반적으로 그림 1과 같이 誘電率(ε)의 주파수 특성이 인정된다.

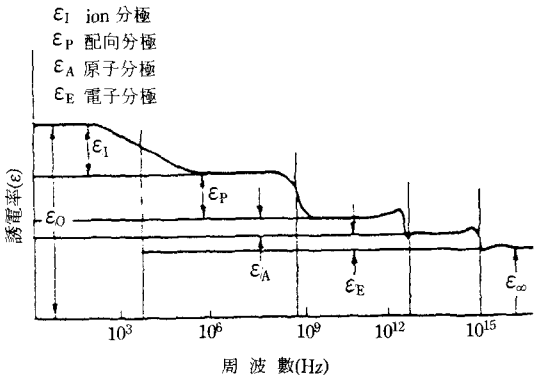


그림 1. 유전분극과 유전율의 주파수 특성

이 분극현상 때문에 誘電材料에 直流電壓을 인가하면 電壓印加 直後에 瞬時充電 電流 $I_{c\infty}$가 흐르고, 인가시간이 증가함에 따라 減少한다. 이것을 誘電体의 吸收現象 I_{dt}라 부르며, 감소하는 전류를 吸收電流라고 한다.

완전한 절연물이라면 전류가 거의 0이 되지만 실제는 충분한 시간이 지난 후에도 일정한 微少

* 광운대학교 전기공학과
**충남전문대학 전기공학과

電流가 완측되는데 이것을 누설전류 I_r이라 한다. (그림 2)

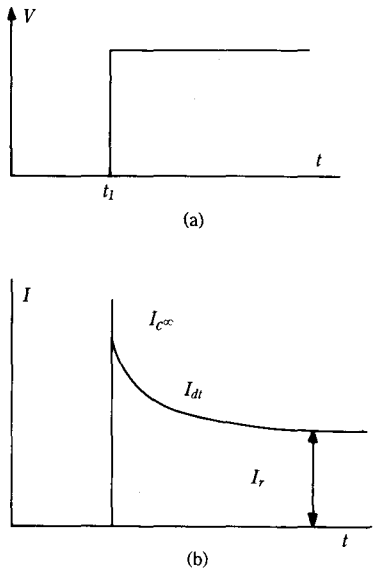


그림 2. 직류인가시의 전류

한편 誘電材料로 채워진 콘덴서에 교류전압을 인가하면 電壓과 位相이 다른 전류가 흐른다.

眞空콘덴서의 경우에는 전류와 전압의 위상차가 90°가 되지만, 誘電体콘덴서의 경우에는 위상차가 90°로 되지 않고, 전압과 同相의 전류성분이 나타나서 損失 P가 생기는데 이것을 誘電体損이라 한다.

전압 V와 전류 I의 위상각을 ϕ라고 하면

$$P=V\cdot I\cdot\cos\phi=V\cdot I\cdot\tan\delta$$
$$=\omega CV^2\tan\delta \quad \cdots\cdots(1)$$

이다. 여기서 δ를 損失角, $\tan\delta$를 誘電正接이라 한다. 유전정접은 재료에 의해 정해지는 양으로 온도, 주파수, 인가전압에 따라 변화하며, 유전정접이 작은 재료일 수록 우수한 절연재료라 할 수 있다.

2.2 複素誘電率과 誘電体의 等価回路

誘電体에서 전계 E와 전속밀도 D 사이에는 $D=\varepsilon E$의 관계가 있지만 손실이 있는 유전체 에서는 交番的 變化때문에 D와 E는 同位相이 되지 않는다. 복소유전율 $\varepsilon^*=\varepsilon'-j\varepsilon''$로 나타내며, ε^*을 사용하면 交番電界내에 있는 절연재료에서 전계 E와 전류 I 사이에는

$$\dot{I}=(\sigma+j\omega\varepsilon^*)\ E=(\sigma+\omega\varepsilon'')\ E+j\omega\varepsilon' E \quad \cdots\cdots(2)$$

가 성립하며, 식 (2)에서 제 1항은 E와 동상의 전류성분, 제 2항은 E보다 90°位相이 앞선 성분을 나타낸다. 따라서 E와 I의 位相關係는 그림 3과 같은 등가회로로 나타나며

$$\tan\delta=\frac{\sigma}{\omega\varepsilon'}+\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad \cdots\cdots(3)$$

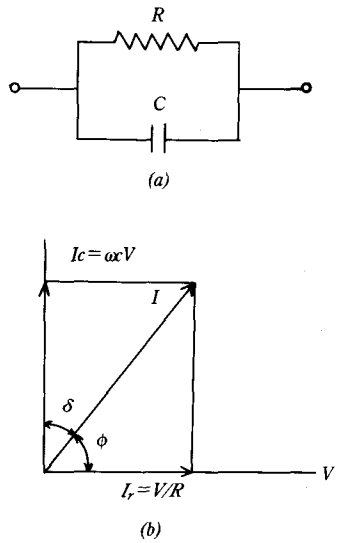


그림 3. 절연체의 등가회로

2.3 절연저항과 흡수전류

2.3.1 絶緣抵抗[4)~6)]

절연체에 직류전압을 인가하고 누설전류를 측정하여 절연재료의 절연저항을 구하는 것은 전기적 시험중에서 대단히 중요하므로 오래전부터 행해져 왔다. 이것에 사용되는 시료나 전극에 대해서는 이미 표준규격이 제정되어 있다.[7)~9)]

일반적으로 널리 사용되고 있는 측정법은 그림 4와 같이 guardring이 있는 平丹板 전극구성과 그림 5의 (a), (b)회로를 이용한다.

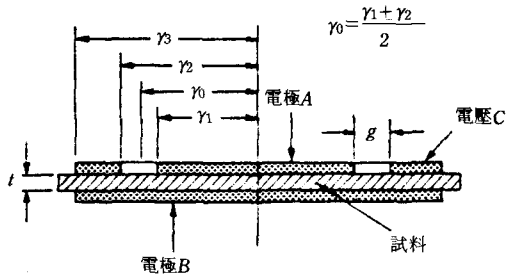
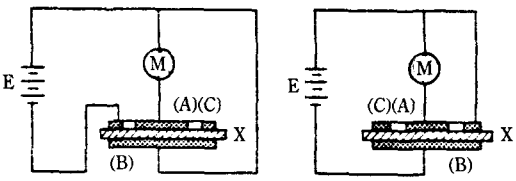


그림 4. 板狀試料의 전극배치



(a) 表面抵抗(σ_S)測定 $\sigma_S=\frac{\text{電極間周圍長}}{\text{電極間距離}}$

(b) 體積抵抗(σ_V)測定 $\sigma_V=\frac{\text{電極間有效面積長}}{\text{使用試料}}$

그림 5. 절연저항의 측정회로

그림 5(a)는 표면저항 R_s 그림(b)는 體積저항 R_v가 측정되며, 표면고유저항율 ρ_s, 체적고유저항율 ρ_v

$$\rho_s=(\ell/g)R_s \quad \cdots\cdots (4)$$

$$\rho_v=(S/d)R_v \quad \cdots\cdots (5)$$

이다. 다만 ℓ : 전극길이, g : 전극간 거리, d : 주전극의 유효면적, S : 시료두께

$l=2\pi r_0$, $S=\pi(r_0-\delta)^2$,

$$\delta=d\left\{\frac{2}{\pi\log\cosh\left(\frac{\pi}{4}-\frac{g}{d}\right)}\right\} \quad \cdots\cdots (6)$$

절연저항은 누설전류로부터 계산되지만 재료에 따라 吸收電流가 긴 시간에 걸쳐서 흐르는 경우도 있다. 그 경우에는 전압인가 후 일정한 시간(예 : 10분, 30분) 후의 전류를 측정하여 絶緣抵抗을 구한다.

최근에는 성능이 우수한 미소전류측정용 계측기가 개발되어 絶緣抵抗의 測定에 이용되고 있다. 다만 polyethylene과 같이 절연저항이 뛰어난 재료를 측정할 경우에는 迷走電流의 영향을 받기 쉬우므로 測定系 전체를 차폐하고, 외부로부터 방해를 없애는 연구가 필요하다.

2.3.2 흡수전류

절연체에 직류전압을 인가했을때 흐르는 흡수전류는 極性基의 配向이나 재료중에 존재하는 挙動에 있어서 또한 實用加硫 고무 등의 경우에는 異種物質의 경계면에 있어서의 界面分極에 기인한다고 생각되고 있다.

흡수전류를 측정하여 절연체 내의 電荷나 極性基의 様相을 살필 수 있으며, 흡수전류 $I_{d(t)}=Kt^{-n}$이며, $0\leqq n\leqq 12$일때는 $I_{d(t)}$의 측정값으로부터 $t=0.1f$(f : 주파수)로 $I_{d(t)}$의 값을 구하고 다음의 Hammon의 공식에 따라서

$$\varepsilon''(f)=I_d(0.1/f)/2\pi fC_0V \quad \cdots\cdots (7)$$

이다.[10]

단 C_0 : 기하학적 형상으로 정해진 靜電容量

V : 인가전압(직류)

이 방법이 흡수전류법이고 초저주파 영역에 이용되고 있다. $I_{d(t)}$의 측정은 後迷의 미소전류 측정용 계측기에 自己記錄計를 접속하는 것보다 용이하며 정확하게 측정할 수 있다.

2.3.3 微少電流 計測器

최근에는 electrometer라는 計測器를 이용하여 누설전류를 측정하고, 振動容量型의 electrometer는 고감도이며, 市販되는 測定器중에는 최고 검출감도가 전압 20[μV], 전류 10^{-17}[A], 전하 10^{-16} coulomb의 것도 있다.

또한 전압 전류 전하 절연저항 등을 광범위하게 측정할 수 있고 표 1은 시판되고 있는 측정기에

표 1. 多用途型 Electrometer의 仕様例

諸 元	測定範圍	入力임피던스	offset 電流
電 壓	$10^{-3}\sim10^{3}$V	$10^{14}\Omega$以上	–
電 流	$10^{-14}\sim0.3$A	–	10^{-14}A
電 荷	$10^{-13}\sim10^{-5}$C	–	–
抵 抗	$10^{3}\sim10^{14}\Omega$	$10^{14}\Omega$以上	–

대한 仕樣의 일부이다.[11]

2.4 誘電率, 誘電正接

그림 1에 나타낸 것 같이 誘電特性에는 주파수 특성이 있기 때문에 ω, tan δ는 측정주파수 영역에 적당한 방법이 필요하다. 측정법에 의한 주파수 영역을 표시하면 그림 6과 같이 된다.[12] 이 중에서 Bridge법과 共振法이 가장 널리 사용되며 일반적으로 変成器브리지, 고전압 차폐브리지, Q-meter가 채용되고 있으며 測定法에 대해 설명한다.

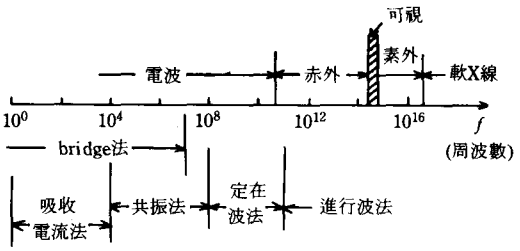


그림 6. 각종 유전특성 측정법

2.4.1 변성기 브릿지법[5,6,9]

변성기 브릿지는 주파수 범위 30~3×10^6[Hz]에서 誘電特性을 정확하게 측정할 수 있는 계측기로 密結合의 변압기를 比例辺에 사용하고 있는 것이 특징이다.

그림 7은 이 브릿지 회로로써 그림 중 C_A, C_B 및 콘덕턴스 Shifterg를 조정하여 평형시킨다.

그림 7의 상태에서 평형이 이루어지면 C_x (정전용량), tan δ는

$$C_x = C_A - C_B \quad \cdots\cdots (8)$$

$$G(x) = G_2 - G_1 \simeq (R \cdot g/100)\ (\text{단 } g \cdot \gamma_0 << 1) \cdots (9)$$

$$\tan\delta = G_x/\omega C_x = \{1/\omega(C_A - C_B)\} \cdot (R \cdot g/100) \cdot (10)$$

단 $2r_0$: 그림 5에서 AB사이의 저항

R : 콘덕턴스 Shifterg의 위치변화량($0 \leqq R \leqq 100$)이다.[4,6,9]

이 부릿지는 ε이나 tan δ의 주파수 특성의 측정에 적용되며 정전용량의 측정범위는 1~200[pF], 측정정도가 0.01[pF], tan δ의 측정범위가 1~4×10^{-5} 정도이다.

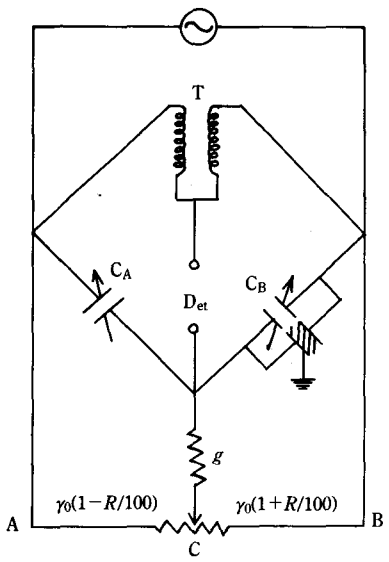


그림 7. 변성기 브리지 회로

2.4.2 고압차폐 브릿지법

고전압 차폐 브릿지는 저주파, 고전압하에서 정전용량과 tan δ를 측정하는데 사용되며, 고전압 課電下에서 측정하기 위해 절연재료 절연 케이블 콘덴서 등의 電力機器의 측정에 널리 사용되고 있다.

그림 8은 Wagner형 평형장치를 포함한 실제의 차폐브릿지 회로이다.

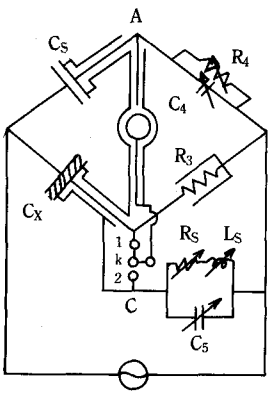


그림 8. 차폐브리지 회로

그림은 Key(k)가 2側에 이르렀을때의 브릿지 회로이고(그림 9), 평형상태가 되면 그림의 A, B, C 세 점이 同電位로 되고 A, B의 Shield판에 대한 전위가 0으로 되어 大地容量에 대한 오차가 없어진다.

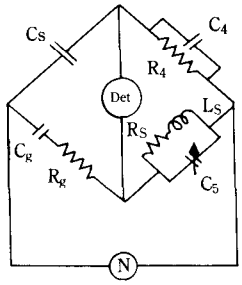


그림 9. Wagner형 평형회로

평형시에 C_x와 $\tan\delta$는 다음식으로 구해진다.

$$C_x = C_s \times R_4/R_3 \quad \cdots\cdots (11)$$

$$\tan\delta = \omega(R_4C_4 - R_3C_3) \quad \cdots\cdots (12)$$

실제 측정에서는 Wagner회로의 평형을 쉽게 얻기 위하여 C_g(고전압 전극과 guardring간의 용량)을 가능한 한 큰 표준 콘덴서를 사용하는 것이 바람직하다.

2.4.3 共振法[4,6]

높은 주파수에서의 정전용량이나 $\tan\delta$의 측정은 브릿지法보다 L, C의 共振回路를 사용하는 방법(共振法)이 이용되고 있다. 이 방법은 높은 정확성보다 장치가 간단해서 취급하기가 용이하다. 그림 10은 대표적인 공진회로이며 이 회로에 고주파 전압 V를 인가했을때 흐르는 전류 I는 $\omega=\omega_0=1/\sqrt{LC}$일때 공진하여 I_0가 된다고 하면

$$\frac{I_0}{I} = 1 + j\frac{\omega_0 L}{R}\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) \quad \cdots\cdots (13)$$

$Q=\omega_0 L/R=1/(\omega_0 RC)$라고 하면 회로의 특성은 Q로써 정한다.

그림 11은 공진법의 측정회로이다. 이 회로에서 시료를 접속하지 않은 경우 $C=C_A$에서 공진

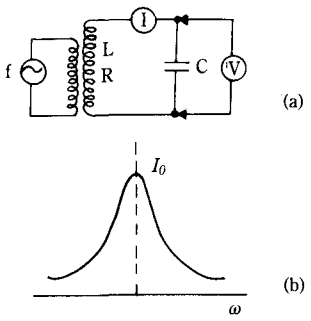


그림 10. 共振回路

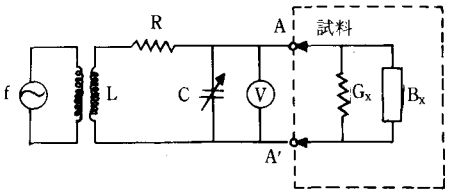


그림 11. 공진법의 측정회로

하고 이때 $Q=Q_A$라고 하면, $\omega_{0A}=1/\sqrt{LC_A}$, $Q_A=1/(\omega_{0A}C_AR_S)$로 된다.

다음에 시료를 접속했을때는 共振이 $C=C_B$에서 일어나며 그때 $Q=Q_B$라고 하면(전원 주파수는 일정)

$$\omega_{0B} = \frac{1}{\sqrt{L(C_B+C_X)}},$$

$$Q_B = \frac{1}{\omega_{0B}(C_B+C_X)\cdot R_{eqB}}$$

$$R_{eqB} = R_S + \frac{1}{\{\omega_{0B}(C_B+C_X)\}^2 R_X}$$

로 된다.

$\omega_{0A}=\omega_{0B}$로부터 $C_B+C_X=C_A$, $(C_B+C_X)Q_B\cdot R_{eqB}=C_AQ_AR_S$로 되며 C_X(정전용량) $\tan\delta$는 다음식으로 구해진다.

$$C_X = C_A - C_B \quad \cdots\cdots (14)$$

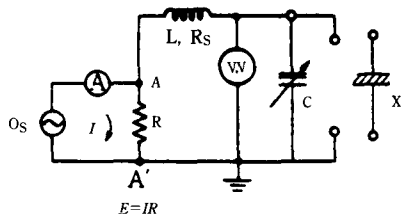
$$\tan\delta = \frac{C_A}{C_A - C_B}\left(\frac{1}{Q_A} - \frac{1}{Q_B}\right) \quad \cdots\cdots (15)$$

共振法 측정에는 보통 Q-meter를 사용하며 그림 12는 Q-meter의 원리도이다.

그림의 A−A′단에는 일정전류 I에 의해 전압 E_0가 발생하지만 표준콘덴서를 가감하여 공진시키면 C端의 전압 V는

$$V=\frac{E_0}{R_S}\left(\frac{1}{\omega C}\right)=E_0Q \quad \cdots\cdots (16)$$

로 되며 Q에 비례하므로 V를 측정함으로써 Q를 구할 수 있다. 이 Q-meter에 의한 방법으로는 주파수 1[kHz]~50[MHz]에서 유전율(ε), tan δ를 측정할 수 있다.



C : 標準 Condensor
L : Inductance
X : 試料
VV : 眞空管電壓計
A : 電流計
O_S : 發振器

그림 12. Q-meter의 원리도

2.4.4 試驗電極[4]

平板狀 시료에서 ε, tan δ를 측정할 경우에는 平丹板 전극이 사용되나 緣端容量 C_e나 漂遊容量 C_g를 제거하기 위해 브리지법에서는 그림 13과 같은 구조의 전극을 사용하고 있다. 공진법에서는 guardring를 사용할 수가 없기 때문에 ε를 빼준다. 예를들면

$$\varepsilon=(C-C_e)/C_o \quad \cdots\cdots (17)$$

이다. (C_o : 기하학적으로 정해진 정전용량)

그림 14는 공진법에 사용된 전극으로 각각의 배치된 C_e는 표 2와 같다.

전극의 재료에는 金屬箔, 導電性 塗料, 金屬蒸着膜등이 이용되지만 가장 바람직한 것은 金蒸着膜電極이다.

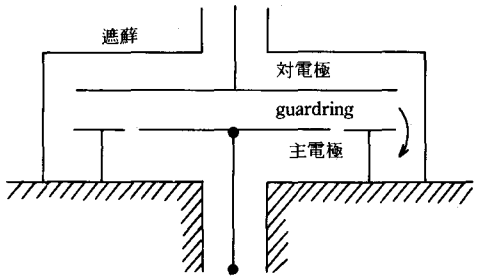


그림 13. 시험전극

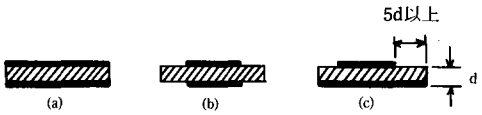


그림 14. 共振法에 사용된 각종 電極

표 2. 전극의 緣端容量

電極配置	C_e(pF)	C_e(pF)
a	$(0.045 \log P/t-0.037)P$	$0.033A/+\sqrt{h}+0.256t$
b	$(0.060 \log P/t-0.0885+0.020_e)P$	−
c	$(0.084 \log P/t-0.090+0.041_e)P$	−

P : 電極周圍長(cm), A : 電極面積(cm^2), t : 試料두께, h : 試料의 大地表面으로부터의 높이

3. 절연파괴 시험방법

절연파괴 시험은 절연물이 어느정도의 높은 전압에 견뎌낼 수 있는지를 조사하는 시험이다.

절연물의 파괴전계 강도는 전극모양, 시료두께, 전원의 종류, 인가전압 방법 등에 따라 다르며 시험을 할 경우에는 이들을 명확하게 정해야 한다. 그림 15는 대표적인 시험회로이다. 절연파괴 시험은 절연재료의 가장 기본적인 전기적 시험이며, 시험결과는 재료를 상호비교하는 기초가 되기 때문에 ASTM D 149-64T(미국), IEC

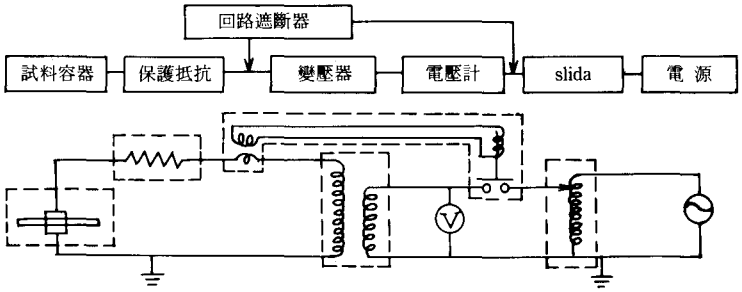
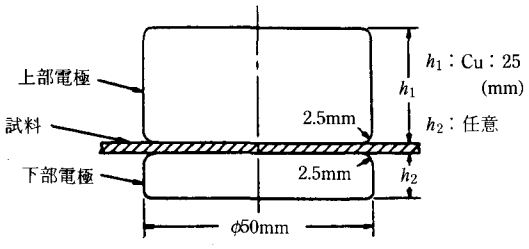


그림 15. 절연파괴 시험회로

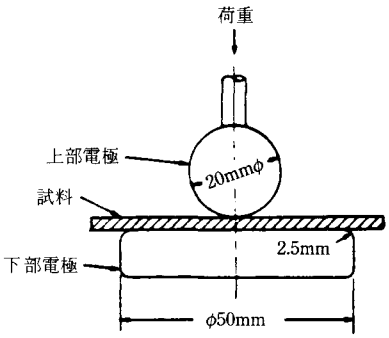
243-1967(유럽)에서는 표준 시험법이 규격으로 정해져 있다.

이들 규격에는 전극, 사용전원의 종류, 전압 인가법, 시료의 형상 및 조제법 등이 상세하게 규정되어 있으므로 시험을 행할 경우의 指針이다.

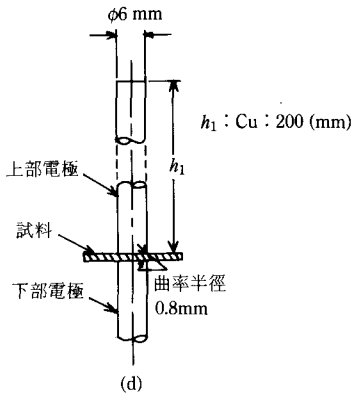
그림 16은 일반적인 전극의 예로 상용주파수 전압의 시험에서는 전압을 연속적으로 상승시키는 단시간 시험법과 계단모양으로 상승시키는 계단적 승압 파괴 시험이 채용되고 있으며, 이들



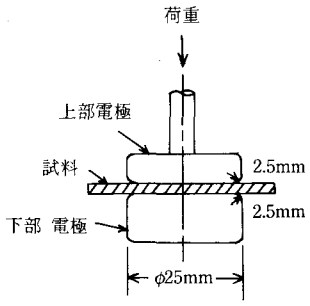
(a)



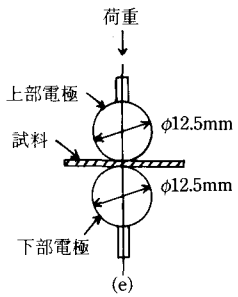
(c)



(d)



(b)



(e)

그림 16. 시험전극

시험을 위해 조립된 장치가 市販되고 있다.

4. 전기적 劣化 시험방법

전기절연물은 과전압하에서 장시간 사용하면 시간이 지남에 따라 점점 재료에 劣化를 일으킨다. 이 劣化는 재료의 수명을 결정하며, 절연재료에 따라서 초기성능을 구하는 시험과 같이 중요하다. 전기적 劣化를 분류하면

1) 부분방전 열화(코로나 열화)
2) Tree 열화
3) Arc 열화
4) Tracking 열화
5) 침수과전 열화

4.1 부분방전 열화시험[14)~17)]

절연체의 표면이나 내부의 空隙部에서 발생하는 전압이 部分放電이며, 이것에 의해 발생하는 劣化가 부분방전 열화이다.

이 시험법을 大別하면

1) 平行平板法 2) 表面放電法 3) Void放電法 등이 있다.

平行平板法은 IEC, ASTM 등으로 검토하는 방법이며 재료의 열화기구의 검토에 적용하고 있다. 열화를 판정하기 위해 시료의 重量減, 殘存破壞電壓, tan δ, 기계적 세기 등을 측정한다.

그림 17은 표준시험 전극이며[15)] 이 방법으로 열화시험을 행할 때 일반적으로 그림 18과 같이 재료의 질량이 변화하며 다음 시험법으로 표시한다.

각종 재료에 따라 P, Q_A를 實測하면 材料相互의 열화특성을 비교할 수 있다.

$$\Delta W_A = -Pt + Q_A(1-\exp(-t/\tau A)) \cdots\cdots\cdots (18)$$

이에 대해 표면 방전법은 전극사이에 재료를 삽입시켜 부분방전을 일으키며 절연파괴 할 때까지의 시간을 구하는 방법이 가장 간단한 시험법이다.

그림 19는 구체적인 전극배치이며,[16)] 이것에 의한 시험의 결과가 그림 20이다.[16)] 이 방법은

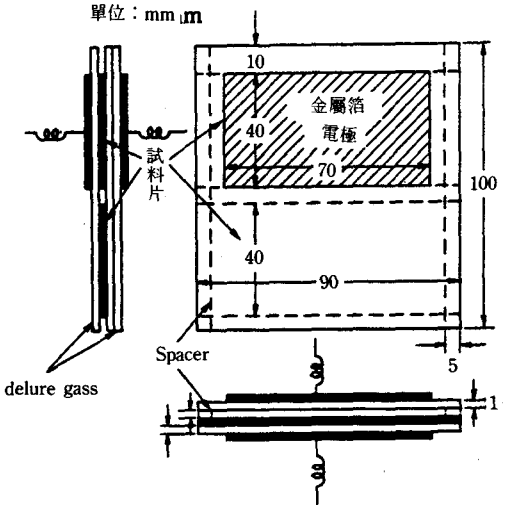


그림 17. 코로나 시험용 평행평판 전극

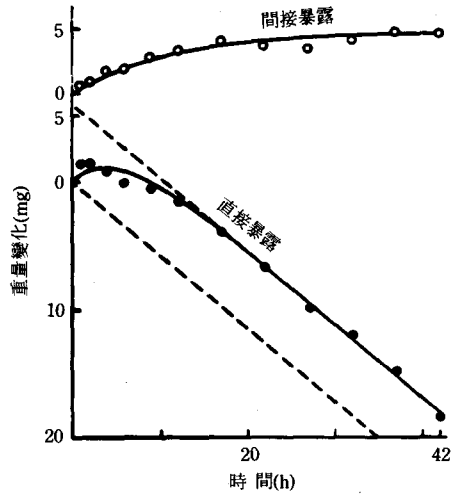


그림 18. 시료의 중량변화

안정한 방전발생하에 시험을 행하는 것이 특징이다.

한편 보이드 放電法은 절연체 내부의 Void 放電을 모의한 시험으로 그림 21과 같은 각종 시료배치를 생각할 수 있다.[17)] 표면방전법(集中法)과 課電寿命으로 열화판정을 행하나 시료의 調整準備에 시간이 걸리고 data의 분포도가 비교적 크며 방전특성이 시간에 따라 변화해 Void 주변부에 집중하기 쉽고 시험법이 반드시 확립되어

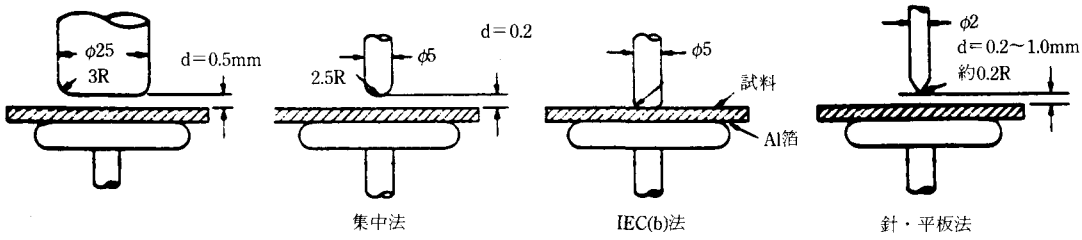


그림 19. 부분방전 열화시험용 전극

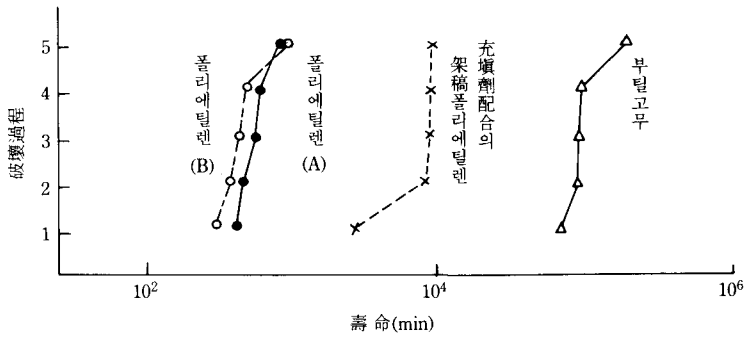


그림 20. 부분방전 시험 결과

있지 않으며 部分放電劣化 試驗이 개발중에 있다.

4.2 部分放電特性의 測定[18)]

부분방전 열화 시험에는 放電電荷의 測定이

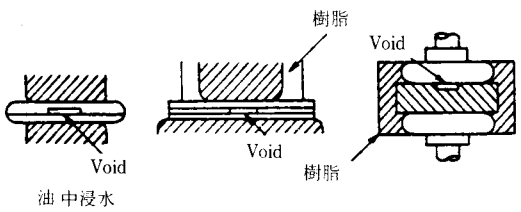


그림 21. 내부 보이드 모델 시료

필요하나 이 측정방법으로 전압과 전하량의 리사주 도형을 브라운管으로 측정하는 방법과 放電펄스전류를 오실로스코프나 計數計로 측정하는 방법이 있다.

前者는 평행평판 전극이고 방전전하와 방전 energy의 總量을 구할 수 있으며 後者는 개개의 방전을 測定할 수 있다.

4.2.1 Lissajous's 圖形에 의한 측정

그림 22(a)의 측정회로에서 콘덴서 Ci의 充電電壓을 그리는 오실로스코프는 Y軸, 인가전압을 X軸으로 하는 圖形을 그리는 리사주 圖形은 그림 22(b)와 같이 평행사변형으로 되고 이 그림에서 방전개시 전압 V_S, 방전유지전압 e_o, 반주기 정도의 총 방전전하 g_r을 구할 수 있다.

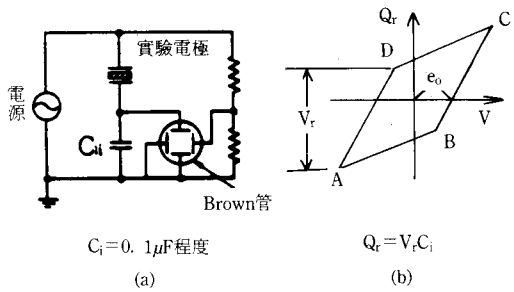


그림 22. Lissajous 圖形과 測定回路

4.2.2 방전펄스의 측정

그림 23은 방전 펄스를 측정하기 위한 회로이며 부분방전을 대별하면 다음과 같다.

1) 広帶域增幅型 測定器
2) 低周波增幅型 測定器
3) 同調型 測定器

등이 있다. 널리 사용되는 방법으로 최근에는 computer를 이용한 보다 정밀한 측정기가 개발중에 있다.[17]

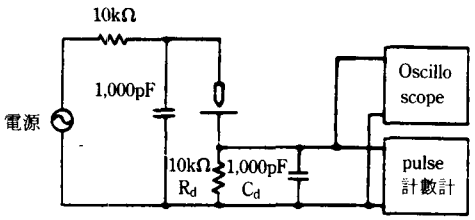


그림 23. 방전펄스 측정회로

4.3 耐 트-링性 試驗[19]

고분자 절연재료의 劣化中에서 tree라 불리는 樹脂狀 部分破壞가 중요시되어 고분자 절연재료의 "耐treeing性 試驗"을 劣化試驗으로 행하고 있다.

"Tree"는 고분자 절연물 속의 高電界部에서 생기므로 絶緣體속에 研磨針을 삽입하여 高電界部를 설치한 "Needle test"를 실시하고 있다.

그림 24에 대표적인 전극배치를 나타내었다.

"Needle test"외에 針狀보이드나 箔電極을 molde하는 방법도 개발되었고 이들의 방법으로 架橋 polyethylene의 耐treeing性이 檢討되고 있다.[20,21] 트리를 발생하는 電壓値로 耐treeing性을 판정하며, 이른바 전압安定劑를 첨가시킨 재료에 電壓値가 현격하게 상승한다.

이 耐treeing性 試驗은 "tree"의 발생을 광학현미경으로 관찰할 수 있는 투명한 재료에 적용하고 있다.

실용고무와 같이 불투명한 재료는 관찰할 수 없지만 放電觀測을 병용하면 試驗이 가능하다.

그림 25에 耐treeing性 試驗에 적용된 방전측정회로를 나타낸다.

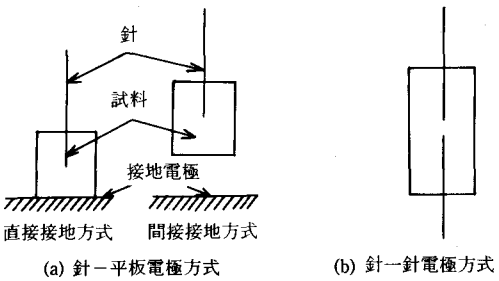


그림 24. 耐treeing性 試驗의 전극배치

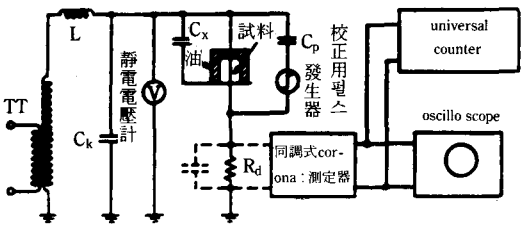


그림 25. 방전측정 회로

4.4 Arc劣化 試驗[22)~25)]

절연물 표면에 arc 방전이 발생하면 이 熱에 의해 재료가 炭化화는 것이 arc劣化이고 耐arc性 시험은 봉전극 사이에 전류를 단계적으로 흘려 arc가 시료표면에 발생할 때까지의 시간을 측정하여, 내arc성을 評價하는 방법이며 시험방법도 규격화되어 있고 시험장치도 市販되고 있다.

4.5 Tracking劣化 시험[22,26,27]

Tracking劣化는 절연물의 표면에 발생하는 누설전류나 방전전류에 의해 절연물에 炭化導電路가 발생하여 표면 절연이 파괴되는 현상이다. 이 劣化의 정도를 판정하는 耐tracking性 시험법으로 여러가지 방법이 개발되고 있다.

4.5.1 電解液滴下法

이 방법은 DIN 및 IEC 규격에[28,29] 정해져 있는 간단한 방법이며, 표준시험법으로 널리 사용되고 있다.

DIN법에 의한 실험은 그림 27과 같이 전극을

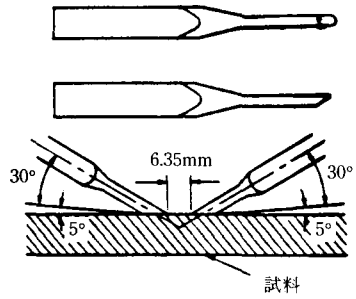


그림 26. 耐arc性 試驗電極

일정길이(15mm×15mm×3mm)로 시료를 배치하고 일정주기(30초후에 1방울)로 汚損液을 떨어뜨려서 tracking을 발생시키는 것으로 일정전압(380[V])를 印加하여, tracking이 발생할 때까지의 滴下數 혹은 시료표면의 침식깊이로부터 耐tracking性을 判定하는 KA법과 인가전압을 변화시켜 tracking이 발생할때까지의 滴下數를 구하고 이것으로 그림 28과 같은 곡선을 그려 CTI(Comparative tracking index)를 구하는 KB법이 있다.

이 電界液滴下法의 결점은 인가전압에 限度가 있기 때문에 耐tracking性이 뛰어난 재료사이에 評價를 할 수 없는 것이다.

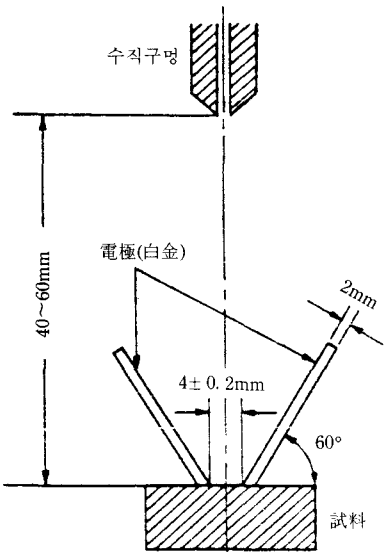


그림 27. DIN법에 의한 試驗電極

4.5.2 Dust and Fog法[30]

이 試驗法은 ASTM에 규격화되어 있는 방법으로 그림 29와 같이 시료 및 전극의 배치에 분무기로 汚損液을 噴霧시키면서 전압을 인가하여 절연파괴될 때까지의 시간을 측정하는 방법이다.

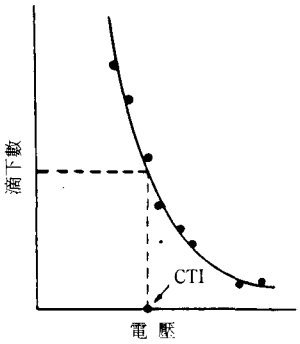


그림 28. 滴下數와 전압과의 관계

이 시험법의 결과는 실제 機能試驗의 결과와 잘 일치하나 規定狀態에서 시료를 調整하는 것이 어렵기 때문에 그다지 이용되고 있지 않다.

또 그림 30은 이 시험법을 高壓引下線에 응용한 예이다.[31]

4.5.3 Dip track法[32]

이 방법은 浸漬法이라고도 하며 그림 31과 같은 장치를 이용하여 시험을 행한다. 그림과 같은 장치에서 시료를 上下로 했을 때 시료에 線電極이 汚染液에 잠겼을 때와 떨어졌을 때의 2회 시료표면에 arc가 발생하고, 이것을 반복하므로써 tracking파괴를 일으킨다. 이 방법으로 인가전압을 수천볼트까지 상승시키면 耐tracking性이 뛰어난 재료에 대해서도 정확한 평가를 내릴 수 있다.

이상의 각종 시험법의 장·단점을 표 3에 나타냈다.

이외에 20種의 다른 시험방법이 제안되고 있으나 불확실한 점이 많다. 제품별 각종 기능시험이나 장기간의 屋外 暴露試驗이 중요한 시험으로 행해지고 있다.

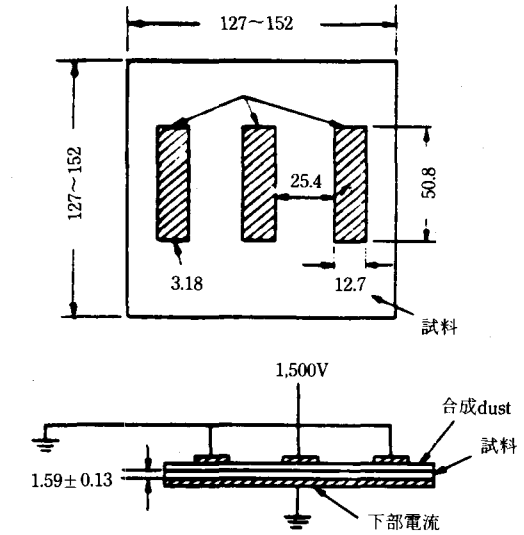


그림 29. Dust and Fog法의 전극

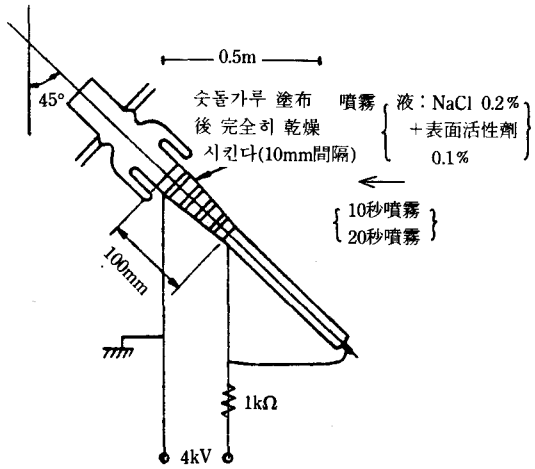


그림 30. 高壓引下線의 耐tracking 試驗法

전압을 인가했을 때 현저하며 이때의 劣化를 浸水課電劣化라 한다.

절연고무의 경우 침수 혹은 課電浸水에 의한 특성의 변화는 중량의 변화나 靜電容量, tan δ 등의 변화로 나타나므로 이들을 측정하여 劣化의 정도를 판단할 수 있다. ASTM 규격[33]이나 IPCEA 규격[34]에는 電線狀 試料를 일정전계(40~80

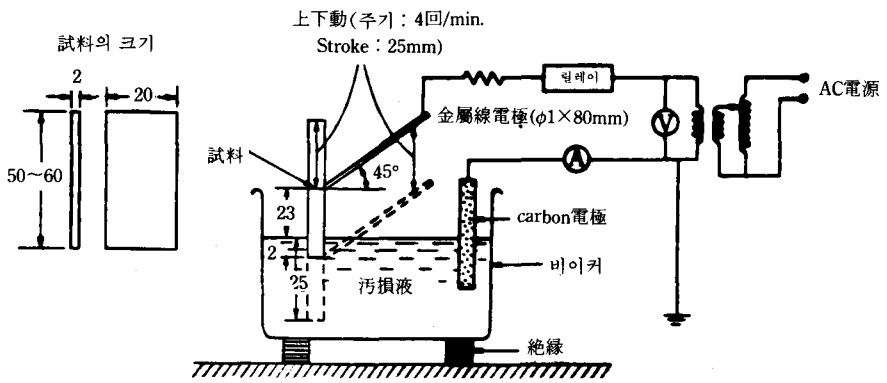


그림 31. Dip track試驗의 試驗裝置

[IV/mil])의 課電下에서 물속에 浸水시켜서 7~14日의 tan δ를 측정하는 방법이 구체적으로 정해져 있다.

그림 34는 金屬箔 電極을 埋辺한 板狀試料에서 얻은 결과이다. 그림에는 課電의 영향을 명료하

4.6 浸水課電劣化 試驗方法

절연고무를 장시간 물속에 침수시키면 吸水에 의해 電氣特性이 변화한다. 이 특성의 변화는

표 3. 각종 시험법의 장점과 단점

試驗方法 \ 条件	實用との関連性	再現性	操作の難易	試驗時間	設備費
DIN法	×	○	○	○	○
IEC法	×	○	○	○	○
耐アキク性試驗方法	−	○	○	○	×
Dust & Fog法	○	○	×	×	○
(Dip Track法)	−	○	○	○	○

注) ○ : 장점, × : 단점, − : 어느것도 곤란

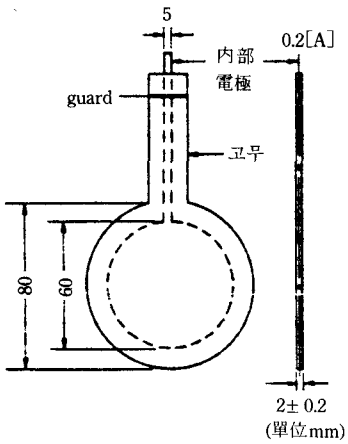


그림 32. 浸水中의 전기특성 측정용 시료

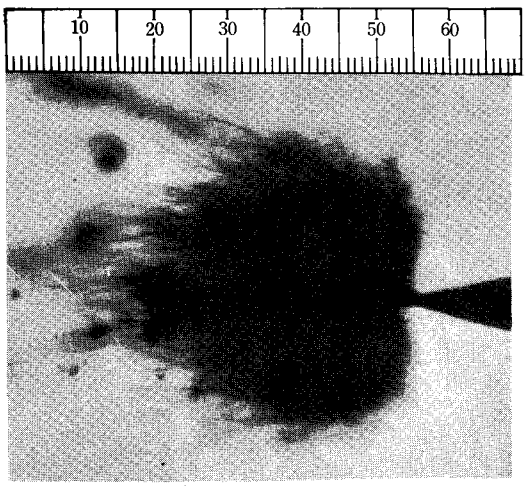


사진 1. 가교폴리에틸렌의 water tree

게 나타내고 있으며[35] 이 浸水課電劣化의 연구[30]가 가교 polyethylene수지 등을 대상으로 그 원인이 규명되고 있으나 그에 따른 시험방법이 여러가지로 제안되고 있다.

사진 1이 그 일례이며[36] 劣化시킨 시료를 광학현미경으로 직접 관찰하여 劣化의 정도를 판정하는 방법이다.

가교폴리에틸렌을 浸水課電劣化시키면 사진 1과 같은 形狀의 "Water tree"가 일어나기 때문에 이 크기나 수의 분포를 조사하여 劣化의 度合을 판정한다. 그러나 이 劣化試驗방법은 현재 檢討段階에 있고 앞으로 연구해야 할 과제이다.

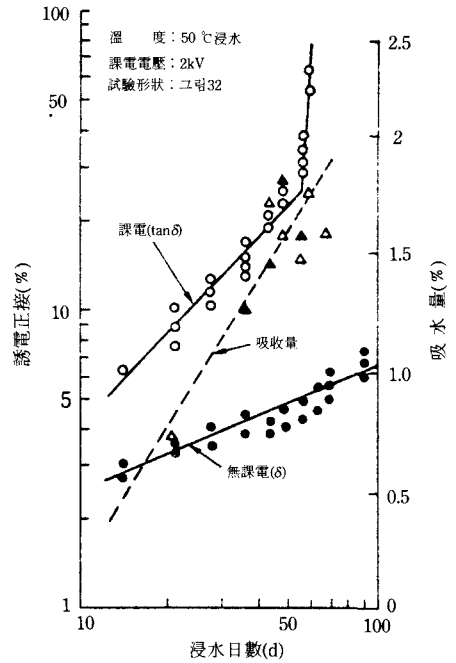


그림 33. 부틸고무 절연 배합의 浸水課電劣和 特性

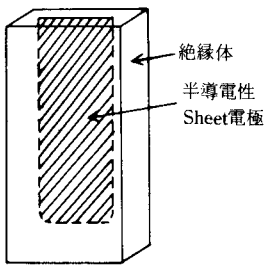


그림 34. 침수과전(課電) 시험전극

참 고 문 헌

1. 岡, 小天, 中田 修：固体誘電体論, 岩波書店(昭35.1).
2. 鳳誠三郎：電氣材料, 共立出版(昭1961).
3. 柳井久義, 酒井善雄：電氣材料, コロナ社(昭1958).
4. 中島達二：高分子の電氣的性質(講習會テキスト) 日刊工業(鯛41.10).
5. 日本ゴム試驗法, p. 78, 日本ゴム協會(昭1963).
6. 電氣學會編：電氣磁氣測定法, 電氣學會(昭1958).
7. JEC 148(1960).
8. ASTM D 257-61.
9. B. S. 903 pt 33.
10. B. V. Hammon：*PIEE,* **99,** 115(1952).
11. タケダ理研編, "*Vibrating Reed Electrometer TR-84M*" 取り扱い説明書.
12. 家田正之：昭和48電氣全大, No. S 4-1(昭48.4).
13. 渡辺茂隆：日ゴム協誌, **41,** 947(昭1968).
14. 堀田憲爾他：電學誌, **88,** 978(昭1968).
15. 電氣學會技術報告, No. 74(昭1966).
16. 電氣學會技術報告, No. 90(昭1969).
17. 電氣學會技術報告, No. 106(昭1973).
18. 電氣學會技術報告, II部, No. 5(昭1969).
19. 電氣學會技術報告, No. 100(昭1971).
20. 安井貞三：住友電氣, **95,** 20(昭1967).
21. 池田忠禧, 高橋憲司：放電研究協會資料, No. ED-71-8(1971.4).
22. 電氣學會技術報告, No. 7(1955.6).
23. ASTM D 495-61T.
24. JIS K-6911.
25. 電氣學會, JEC 149(1960).
26. 能登文敏：電學誌, **88,** 802(昭1968).
27. 電氣學會技術報告, No. 82(昭1967).
28. DIN 5380(July. 1964).
29. IEC, Publication 112(1962.11).
30. ASTM D-2132-61T.
31. 東京電力(株)：電氣材料仕様, 6B-19(臨)(1968-6).
32. G. F. Wallace, C. A. Biley；*IEEE Summer Power Meeting Paper,* No. 31, p. 66-360(1966).
33. ASTM D 470-59T.
34. IPCEA Pub, No. S19-81, pt 6-69.
35. R. B. Mckinley, C, H, Seaberg；*G. E. Review,* **55,** 52(1952).
36. 順貝一義, 渡辺茂隆：日本ゴム協會第34回研究 發表會要旨集, No. 129(1967. 5).

알리는 말씀

會員社 또는 會員 여러분의 職場移動, 住所 및 電話番號變更이 있을 때에는 즉시 本 學會로 알려주시기 바랍니다.