

# 흡습에 인한 절연지의 열화현상

## Deterioration Phenomene of Insulating Papers Caused by Moisture Absorbed

논문  
20~2~4

성영권\* 백영학\*\* 김용주\*\*\* 이덕출\*\*\*\* 라명원\*\*\*\*\*  
(Yung Kwon Sung, Yung Hak Pack, Yong Joo Kim, Duck Chool Lee, Myong Won La)

### [ABSTRACT]

Using insulating paper (cellophan), we measured the influences of moisture absorbed for electrical properties i.e. V-I curves which result in deteriorating due to the moisture absorbed is related to electrical properties Considerably due to the electrolytic effects of moisture involved cellulose Gel structure, We obtained also an evaluation method of deterioration rate Caused by the moisture absorbed in insulating papers.

### 1. 서론

모든 절연재료에 있어서 습기 또는 수분이 가장 나쁜 영향을 미쳐서 원래의 성능을 충분히 발휘못한다는 것은 널리 알려지고있고 따라서 종래 여러가지 방법으로 그 방호책을 강구 해왔으나 아직 완전한 해결책을 모색 못하고 있는 현상이다. 특히 우리나라에서는 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 더욱 6월~9월까지의 장마철을 비롯하여 풍수기에 들어가기 때문에 습기의 영향이 큰 절연물에 대해서 피해문제가 적지않다. 예를들면, 종이, 합성섬유, 유리섬유등 친수성 절연물등은 동일 간격의 공기층과 거의 같은 절연파괴강도를 가짐에 불과하게되고 더욱 고습기나 기름, 먼지, 부식성 가스등에 침식당해서 즉시 그 기능을 현저하게 저하시켜 상실해 버린다. 따라서 그러한 요인의 방호책으로서 유해물질의 침입을 차단하거나 그렇지않으면 그 유해물질이 침입했을때 절연성의 열화과정을 살펴서 그 내습이나 내수성 능력을 향상시키는 대책을 강구해야한다.

일반적으로 유전체의 내습 또는 내수성의 능력은 그 물질의 조성이나 건조처리방법에 따라 현저하게 좌우되므로 옛날부터 습기투과성에 대한 측정으로서 내습성의 우열을 판정하고 있다. (1)(2)(3)

일반적으로 유전체의 흡습성은 그 유전체의 분자내에 존재하고 있는 OH기에 의한것이지만 결정부분에서는 OH기가 서로 포화상태에 있기때문에 흡습성의 기인부분은 주로 비결정부분이다. 따라서 주로 비결정체로서 이루어지는 섬유류는 흡습효과가 크고 그것에 의해 이온 전도의 증가와 더불어 절연파괴강도가 변화한다. 그래서 우리들은 섬유성 종이를 Gel 상태로 부터 시작하여 종이까지를 그 Gel~종이의 건조경화에 따라 수반되는 흡습량의 시간적 변화상태와 파괴강도와 의 관계, 또는 절연파괴전의 전기전도와 흡습 또는 투습과의 관계를 물성론적으로 명백히 하기위하여 여러 가지 실험을 행하여 왔기에 그 결과의 일부를 발표한다.

### 2. 실험

#### (1) 실험방법

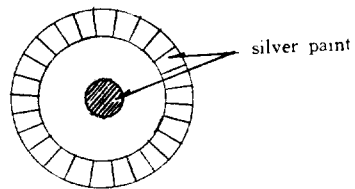


그림 1. 시료

\*정회원 : 고대 이공대학 전기공학과 교수  
\*\* " : 과학기술처 연구조정실 연구조정관  
\*\*\* " : 중수공전 전기과 교수  
\*\*\*\* " : 단국대 공대 전기공학과 교수  
\*\*\*\*\* " : 동양공전 전기과 전임강사

시료는 주로 두께 0.05mm의 세로판 종이와 그 Gel 원재를 사용하였다. Gel의 건조경화과정은 100°C를 표준온도로하여 건조시간을 각 시간마다의 시료를 3조식 만들어 흡습 또는 투습량을 측정하여 그 평균치를 취했다. 또 전기전도 및 절연파괴용 시료의 전극은 그림 1과 같이 silver paint를 토포하여 아울러 guard ring를 부착시켜 매질효과를 억제시켰다.

그림 2-(a), (b), (c)는 실험장치의 개략도로서 (a)는 항습조, (b)는 직류파괴 및 전기전도장치이며 (c)는 펄스방전관(450TH)을 사용한 펄스파괴장치이다.

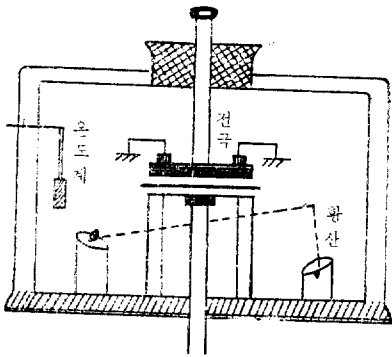


그림 2-(a). 항습조

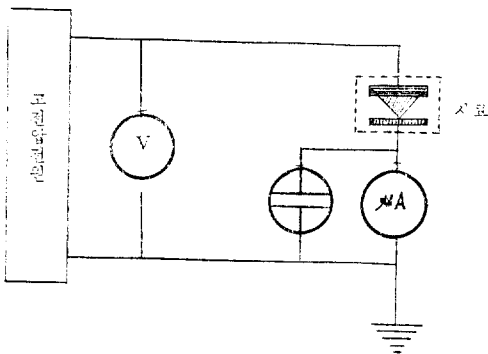


그림 2-(b). 직류파괴 및 전기전도 측정장치

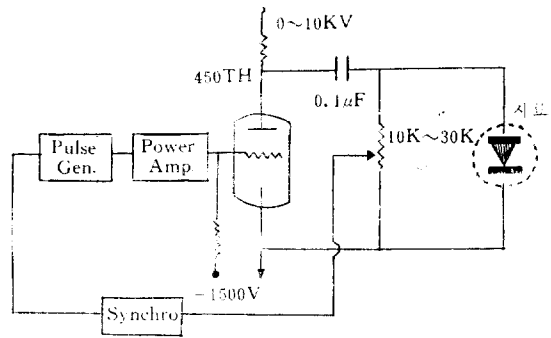


그림 2-(c). Pulse 시험장치

항습조는 유산수용액의 농도를 여러가지로 변화시켜서 습도를 조절했다. 일반적으로 수증기는 온도와 압력에 의하여 정하여지는 함수이기때문에 본실험에서는 시료가 투입되는 항습조내의 온도와 압력을 항상 일정하게 하였으며 건조도 가능한 동일조건으로 건조시켰다.

흡습량의 측정은 건조 염화칼슘을 넣은 투습컵 위에 시료를 부쳐서 주의를 wax 제로서 밀봉고착 시킨다음 컵을 항온 항습조 속에 넣어서 24시간 마다 그 중량변화를 측정하여 그라흐를 내어 정상상태에, 이문후의 직선 그라흐의 구배로부터 단위시간당의 중량증가율 ( $\Delta W$ )을 구하여 아랫식으로 부터 흡습량을 계산했다. 단 온도는  $40 \pm 2^\circ\text{C}$  관계습도는 약 100%로 했다.

(2) 계 산

얇은 막을 통한 투습현상을 나타내는 일반식은 정상상태인 경우 (1) 식에 의한다. (4)(5) 즉 수증기의 투과 또는 흡습량을  $Q$  라고하고,  $\Delta P, A, t, d, P$  등을 각각 막 양면의 수증기압차, 투과면적, 시간, 막 두께 및 투습계수라고하면

$$Q = P \cdot \Delta P \cdot A \cdot t / d \dots\dots\dots(1)$$

(1)식에서 투습계수  $P$ 는 근사적으로 습기확산계수  $D$ 와 습기 용해도 계수  $S$ 와의 곱 즉

$$P = D \cdot S \dots\dots\dots(2)$$

물론 세로판종이 막에서는 그 조성상 비흡습성으로서  $S$ 는 비교적 적다고 생각하기 때문에 흡습성의 대소는 결국  $D$ 에 의해 좌우된다. 본 실험에서 흡습량  $Q$ 의 단위로서 모두 시료의 막 두께 0.05mm로서 [gr/m<sup>2</sup>. 24hr.]를 사용했기 때문에  $Q$ 의 계산은 (3)식에 의해 행했다.

$$Q = \frac{\Delta W \times 24 \times d}{0.05 \times A} [\text{gr/m}^2, 24\text{hr}, 0.05\text{mm}] \dots (3)$$

단 단위로서  $\Delta W$ [gr/hr],  $d$ [mm]를 사용하고 아울러 본 실험에서는  $A=25 \times 10^{-3}[\text{m}^2]$  였기에 (3)식은 아래 (4)식으로 대치 할 수가 있다.

$$Q = 19.4(d) (\Delta W \times 10^3) \dots (4)$$

즉 막두께 및 정상상태시 쥘의 단위시간당의 증량증가율을 알면 용이하게 구할 수가 있다. 그 외에도  $40^\circ\text{C}$ ,  $100\% \text{R.H}$  인 경우의 수증기압  $\Delta P = 5.53 \text{cmHg}$  를 대입해서 단위 환산을 행하면 험사리 구해진다.

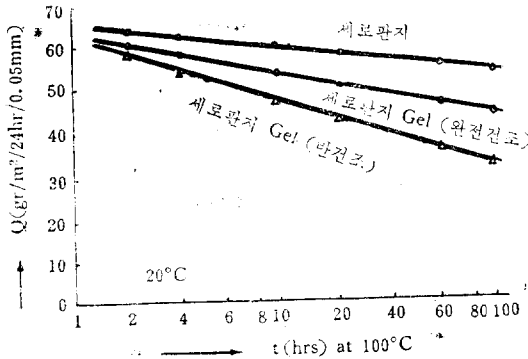


그림 3. 세로판지 및 그 Gel의 건조에 수반되는 흡수량의 변화

### 3. 실험결과와 고찰

#### (1) Gel 및 고화세로판지의 건조에 수반되는 흡수량의 변화

여러가지 세로판지와 그 Gel의 시료를 각각 가열 건조시간  $t$ 를 누차 바꾸어서 흡수량과의 관계를 살펴보면 그림 3과 같이 된다. 그림에서 아는바와같이 대체로 건조하는 초기를 제외하고는  $Q$ 가 시간과 더불어 점점 줄어들며 나중에는 어떤 한계점에 도달한다. 건조에 수반되는 시료의 경화 즉 표면과 내부구조가 치밀화됨에 따라 일어나는 현상인 것 같다. 그리고 어떤 한계점에 이를 때까지  $Q$ 의 변화는 어느 시료나 모두 (6)식에 따르며 그 감소속도는 시간과 더불어 반비례한다. 즉

$$Q = A - B \log t \dots (6)$$

여기서  $A, B$ 는 정수로서 시료에 따라 달라진다.

이상과같이 세로판지 및 그 Gel의 흡수량은 건조경화의 정도에 따라 현저하게 달라지기때문에 경화속도를 달리하는 섬유소 절연물의 흡습성을 비교할적에는 이

점의 고려가 대단히 중요하다.

#### (2) 시료의 흡습성과 Gel 구조와의 관계

일반적으로 막의 흡습성은 pinhole, 구멍의 유무, 결정성부분의 다소 또는 소수성이나 친수성의 대소등에 의해 지배된다. 소수성이 크고 동시에 무정형막인 세로판지를 위시한지류는 가령 pinhole의 존재를 일단 도외시한 경우 결국 그 Gel 구조의 치밀도의 대소에 의한다고 생각된다. 따라서 일정한 고화된 세로판지도 유기용제로서 추출하면 가용분이 많이 남아있어 그 양은 건조가 진행됨에 따라 감소해간다. 이는 명백히 가용 Sol로부터 불용 Sol에의 전화가 일어나 Gel 구조의 성장이 진행되고 있는 증거이다. 즉 각 섬유소의 건조에 수반되는 용제 불용분을 추적하면 그 섬유소계 지류의 Gel 구조의 전화상태나 경화속도를 추측할 수가 있다. 따라서 세로판지의 흡습성과 그 Gel 구조와의 관계를 정량적으로 살펴기위해서는 그림 3에 나타난 시료에 대해서 그 용제 불용분의 시간적 변화를 조사하여 비교하면 될 것이다. 그림 4는 그러한 의도아래 용제로서 4

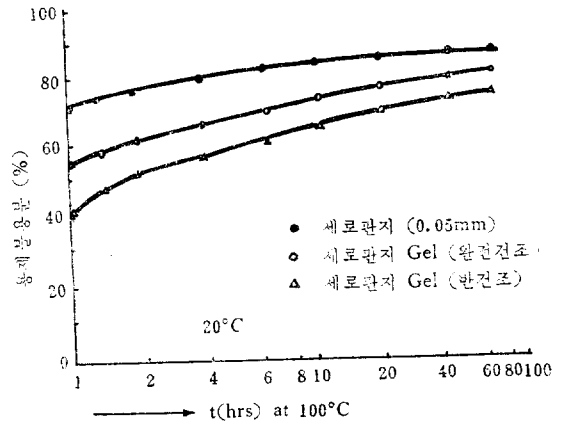


그림 4. 건조에 수반되는 용제 불용분의 변화

염화탄소를 사용해서 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림 3과 그림 4를 비교해 보면 확실히 각 시료의  $Q$ 의 변화상태와 용제 불용분의 변화상태와는 역비례적 상관관계에 있는 것을 알수있다. 시료의 어느것이냐 장시간 가열후에는 거의 비슷한 Gel 구조에 도달하는 결과  $Q$ 의 값도 거의 일정치에 집중적으로 포화하는 것 같다. 이상의 결과로부터 세로판지를 위시한 섬유소 지류는 다른 물질과 같이 그 Gel 구조에 직접 지배되기때문에 용제 불용분의 변화를 측정하면 역으로 그 막의 흡습성의 변화나 대소를 추정할수도 있을 것이다.

#### (3) 전연파괴와 전기전도에 미치는 흡습영향

이상의 시료에 대한 전기적특성에 미치는 흡습영향

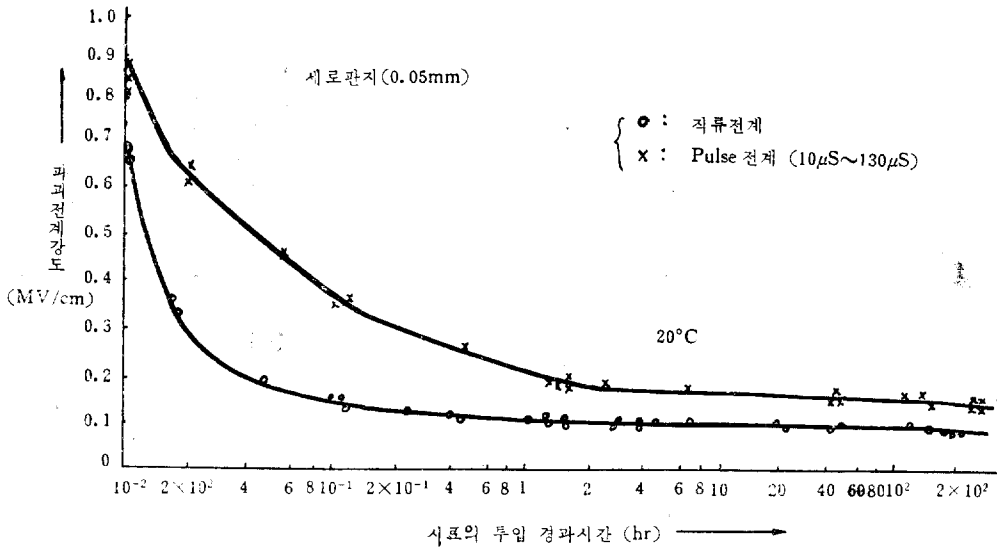


그림 5. 파괴전계강도와 시료의 흡습시간과의 관계

을 살피기 위하여 절연파괴 및 전기전도의 실험을 행했다. 우선 충분히 건조된 세로판지를 습도 90% R.H 인 항습조에 넣어 그 투입후의 시간경과와 더불어 흡습되기 시작하여 그림 5에 나타낸 것 처럼 펄스 및 직류전계에서 절연파괴강도가 다같이 저하되어 흡습효과가 크게 나타남을 여실히 나타내고있다. 특히 직류 파괴강도에 있어서 흡습초기에 현한 급강현상을 보인후 완만한 폭

선을 이루고있다. 이는 친수성 물질이 친전성절연물 (Electric philic insulator)에 속하므로 시료가 투입되는 초기에 수분과의 접촉때문에 생긴 정전기현상에 기인하는 것 같다. 이를 더욱 확인하기위해 절연파괴직전까지의 전압-전류특성을 고찰해보면 그림 6에 나타낸 것 처럼 습도가 적은 경우에는 전류치가 적고 파괴전계 직전에서 전류의 급증현상이 나타나며 습도가 많으면 많을수록 그러한 급증현상이 현저하게 나타난다. 더욱이 습도가 많은 경우에는 저전계에서 부터 전류의 급증현상이 나타난다.

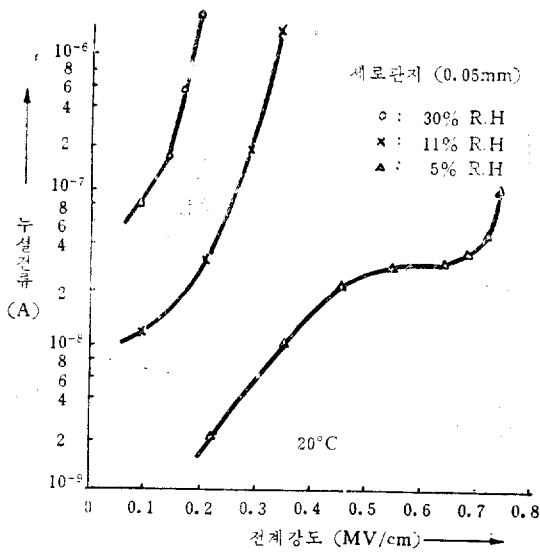


그림 6. 전계강도-누설전류특성

다음에 시료를 습도 20% R.H 인 항습조에 장시간 투입시켜 흡습과정이 충분히 진행된 후 전계강도 0.07 MV/cm의 직류를 인가시킨 후 시간의 경과와 전류와의 관계를 살펴보면 그림 7에 나타낸 것 처럼 인가시간의 경과와 더불어 누설전류가 증가하고 있다.

그림 8은 소정의 습도에 충분히 오랫동안 (약2주일) 투입해두고 그 평형상대습도와 직류 및 펄스파괴강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 아는바와같이 직류인 경우나 펄스인 경우나 모두 다같이 흡습량에 따라 그 파괴강도가 급격히 감소해나가는 현상을 보이나 펄스파괴강도에 있어서는 흡습량의 다소를 막론하고 펄스폭(130μs, 100μs, 50μs, 10μs)의 변화에는 영향을 받지않아 거의 일정하다.

이상의 전기적 특성을 실험결과에의 기구에 대해 물성론적 견지에서 볼때 다음과 같이 해석 할 수가있다.

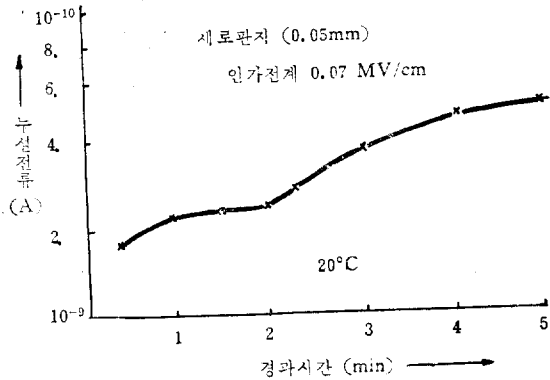


그림 7. 누설전류와 경과시간과의 관계

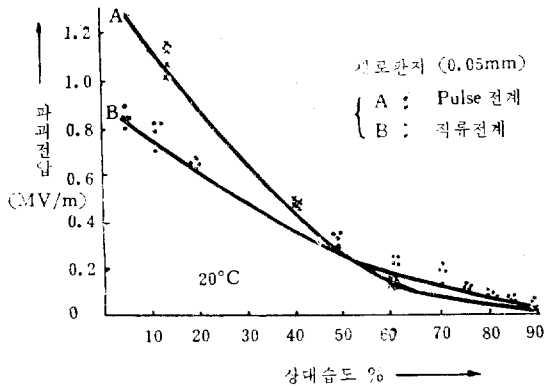


그림 8. 상대습도와 파괴전압과의 관계

상대습도가 적고 흡습량이 적으면, 누설전류가 적고 파괴적전의 전류증배현상이 현저하게 나타나는 것이나 습도가 높을때 저전계로부터 전류의 급증현상이 나타나는것을 미루어보아 수증기의 상호연관에 의한 작용이 크게 영향이 미치는 것 같다. 원래 수증기를 위시한 물의 구조가 Moton bond 또는 Hydrogen bond로 결합되고 나선형 polymer( $H_2O$ )<sub>n</sub>로 분자가 형성되고 있으므로 이상적인 물성을 지니고있어 게다가 수증기 자체가 수산이온(OH)와 옥소토니움이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)로 자기분해를 하기때문에 이로 인한 이온전도가 전류의 급증현상을 촉진시킨다. 즉, 수증기 및 그 재료에 흡착작용의

번복으로 말미아마 시료자체의 표면이 항시 변화하여 드디어 전계의 작용과 아울러 국부적인 침식공이 발생하여 그 진전으로 인해 전류의 급증현상이 일어나며, 그것도 균일성이 없어 여기저기 국부적으로 일어나는 저항치의 저하에 변동작용이 중첩되어 고습도인 경우 그러한 급증현상이 더욱 현저하게 나타나는 것 같다. 물론 시료자체가 전계로 말미아마 산화작용을 받아 중간 생성물의 발생으로 인해 그 작용이 분위기의 조성 또는 수반되는 방전양식 변화의 발생등이 겹쳐<sup>(5)</sup> 대단히 복잡한 양상을 지니는 기구로 볼 수 있으나 더욱 상세한 물성론적 검토는 이들의 온도특성에 대한 실험과 아울러 표면 흡습의 대표적인 소수성재료에 속하는 유리류나 micr 에 대한 실험과 관련시켜서 실험적으로 검토한 후 추후 발표하겠다.

결 론

이상의 실험결과와 고찰에서부터 유전체의 흡습에 의한 열화현상기구를 정성적이나마 어느정도 밝혔으며 실용적으로도 재료의 흡습성 판정법의 기본방침을 제시 할 수가 있었다.

즉 유전체가 흡습하게되면 수증기의 상호연관에 의해 저항치의 변동이 일어나 이것이 전계작용과 상관되어 누설전류의 급증 현상이 일어나 재료의 열화작용이 촉진되어 재료자체의 기능을 상실해 버린다. 또 유전체의 건조경화의 진화에 따라 변화하는 Gel 구조는 그 물성과 전기적 특성과 밀접하게 관련함을 알았고 그 흡습성과 Gel 구조의 상관관계를 고찰하므로써 내습평가상 소용되는 몇가지 지건을 얻었다. 그러나 앞으로 실용문제에 있어 여러가지 문제점에 대해서 실용되는 여러가지 조건을 고려하여 구체적인 검토를 행하여야 할 필요는 있으나 이는 추후 연구실험을 통해 밝히고자한다.

참 고 문 헌

- (1) H. F. Payne & W.M.H Gardner; Ind. Eng. Chem, 29, 393 (1937)
- (2) P.M Doty et al; Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 16, 686 (1944)
- (3) R.M. Barrer; Diffusion in and Through in Solids (Cambridge, 1951)
- (4) W, Jost; Diffusion in Solids, Liquids, Gases (Academic Press. 1952)
- (5) M. Olyphant; Elect. Technology 67, No.6, 123 (1961)