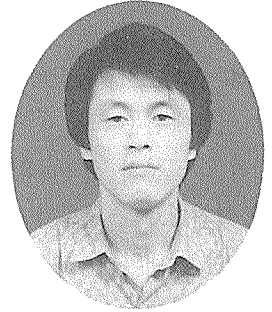


# 屋外用 高分子 絶縁材料의 評價技術과 應用



한국전기연구소 전기재료연구부  
선임연구원 조 한 구

## 1. 屋外用 絶縁材料의 概要

고분자 재료는 절연성, 경량성, 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라 대량생산이 가능하여 전기재료로 용도와 수요는 날로 증가하고 있다. 초기에 고분자 재료는 옥내용 절연물, 붓싱 등에 이용되어 왔으나 최근 옥외용으로 long-rod insulator, 붓싱, 피뢰기 housing 등의 고분자 절연물이 송·배전선로, 변전소 및 전철 선로에 사용되고 있다. 특히 구미에서는 전력계통 절연물의 20% 정도가 고분자 절연물로 적용되기 시작함에 따라 이들의 기계적 특성, 내트랙킹성 및 신뢰성을 예측하기 위한 복합열화에 대한 연구가 진행되고 있으며, 최근 고분자 절연물의 용도확대에 따라 국내에서도 이에 대한 연구가 가속화되고 있는 실정에 있다.

그리고, 고분자 재료를 이용한 절연물은 자기에 비해 발수성이 우수하기 때문에 오손 및 습윤시에도 누설전류가 작으며, 오손내전압도 자기에 비해 크다. 따라서 표면 특성이 발수성(water repellency.

hydrophobicity)이 옥외에서 장기간 유지 및 회복될 뿐 아니라 내트랙킹성이 우수하다면 절연물의 누설거리(leakage distance)가 단축되어 소형화가 가능하며 내오손 성능도 개선할 수 있다.

그러나, 고분자는 탄소를 골격으로 하는 유기물질이므로 내열성, 내후성과 내트랙킹성이 좋지 않다는 단점을 가지고 있는데, 이중 일부 고분자에 있어서는 합성기술과 복합화 기술로 고무를 포함한 경화성 수지들에 여러가지 종류의 기능성 무기물을 첨가하여 물성을 개량하고 있다. 옥외용 고분자 절연물은 태양광 및 각종 오손물질(염분, 매연, 분진 등)에 노출되어 있으며 전기적 스트레스가 항상 가해지고 있다. 전기적 스트레스는 절연물의 형상설계 등에 영향을 받지만 태양광에 의한 광열화로 표면 거칠기(roughness)의 변화, 오손물질의 누적, 강우 및 안개 등의 복합적인 영향에 의해 열화, 습윤됨에 따라 절연성능은 급격하게 저하된다.

이와 같이 고분자 절연재료는 옥외 환경에 직접 노출되므로 평가 기술은 절연물 개발에 있어서 중요하며 큰 관심을 끌고 있는 분야이다. 옥외용 고

분자 절연물의 개발에 대한 평가기술의 연구도 시행되고 있으며, 특히 옥외 절연에 있어서 장기신뢰성 중심으로 활발하게 검토가 진행되고 있다. 본 보고에서는 고분자 절연재료의 적용 현황을 소개하고 고분자 절연물의 기술개발과 관련한 고분자 절연재료의 열화기술과 최근의 평가기술을 소개하여 국내의 기술개발 분야에 대한 이해를 넓히고자 한다.

## 2. 屋外用 高分子 絶縁物の 適用

### 2.1 屋外用 高分子 絶縁材料

옥외용 절연재료에는 에폭시수지와 실리콘고무, EPDM(ethylene propylene diene monomer), 열수축방식에 사용되는 EVA(ethylene vinyl acetate) 등으로 전기적 특성과 더불어 각종 환경인자를 고려하여 사용되고 있다. 옥외용 절연재료중 실리콘고무는 내열, 내한성, 내오존성 등의 내후성, 내코로나성이 우수하다. 또한 옥외용 절연물의 중요한 특성이라고 할 수 있는 발수성이 우수하며  $Al(OH)_3$ 를 첨가할 경우 내트랙킹성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 실리콘고무는 EPDM에 비해 비싸며 낮은 인열강도(tear strength)를 나타내는 등의 단점을 갖고 있다. 에폭시수지는 우수한 전기적, 기계적 특성과 더불어 금형에 의한 형상의 자유도가 크고, 내후성도 우수하며, 내트랙킹성이 우수한 cyclo계 에폭시수지에  $Al(OH)_3$  또는  $SiO_2$ 를 첨가한다.

### 2.2 屋外用 高分子 絶縁材料의 適用

고분자 재료를 이용한 절연물은 1960년대에 유럽에서 옥내용 절연물 및 붓싱으로 실용화되었으

며, 옥외용으로의 고분자 절연물은 1970년대에 미국에서 제조되었다. 이 고분자 절연물의 갓과 하우스(housing)은 에폭시수지로 69kV 및 115kV 급 절연물에 대해 과전실험을 실시하였다. 그러나 재질과 형상설계의 불완전으로 트랙킹, 침식 등 옥외성능에서 문제가 되어 실용화되지 못하였다. 이후 FRP rod 각종의 첨가제를 혼합한 실리콘고무, EPDM, EPR, 에폭시수지, 테프론 등으로 형성된 고분자 절연물이 개발되었으나 갓 하우스의 트랙킹, 침식, 표면 오손으로 섬락이 발생되었으며 FRP rod 금구와의 내하중 설계의 문제점, FRP rod와 절연물사이의 접촉불량이 일어나는 문제점으로 실용화되지 못하였다.

그 후부터 이와 같은 문제점을 개선하기 위한 고분자 절연물의 개발이 활발히 전개되어 내트랙킹성이 우수한 재료와 금구 부착방법이 개발되어 내하중 설계가 이루어졌다. 또한 트랙킹 파괴 기구와 기계적 강도의 경시열화에 대한 평가기술의 진보로 20~30년의 수명을 기대할 수 있는 고분자 절연물의 상품화가 이루어지기 시작하였으며, 최근에는 이와 같은 축적된 기술 및 제조기술과 절연구조 설계에 의한 고분자 절연물이 상품화되고 있는 실정이다.

고분자 절연물의 long-rod insulator는 중심에 FRP rod를 설치하여 기계적하중을 감당하며 FRP는 자기류에 비해서 10배 이상의 인장강도를 갖기 때문에 외경을 작게 할 수 있다. 갓 및 하우스 재료는 내자외선성, 내트랙킹성이 우수한 EPDM, EVA, 실리콘고무 등에 특성 개선을 위한 각종 기능성 filler를 첨가하여 사용한다. 고분자 절연물의 내하중 특성은 FRP rod와 금구의 접속 구조가 좌우하게 되므로 접착기술이 다양하게 개발되어 있으며, 금구 접촉부를 통한 수분의 침투

에 의하여 발생하는 열화 및 파괴를 예방하기 위한 금구부의 실링(sealing) 기술과 FRP rod와 고무외피간의 계면처리 기술이 개발 적용되고 있다. 그리고 고분자 절연재료를 이용하는 피뢰기는 상부 및 하부전극에 대해 기밀구조를 채택하고 피뢰기 소자를 적층하여 필라멘트 와인딩 공법에 의해 일체형 구조로 제조한다. 피뢰기 housing은 갓(shed) 형상의 자유도가 크기 때문에 내오손성이 우수한 형상으로 제조할 수 있을 뿐만 아니라 폭발시 비산하지 않으며, 기존 피뢰기에서의 문제점으로 제기되고 있는 수분의 흡습에 의한 열화는 상부 및 하부전극에 기밀구조를 채용함으로써 막을 수 있다.

### 3. 高分子 絶縁物の 性能 및 劣化

#### 3.1 高分子 絶縁物の 性能

절연물의 절연 성능에 결정적인 영향을 주는 인자로는 절연물의 형상, 오손 정도, 오손물질의 종류, 표면 재료, 표면에서의 물의 유동성 등이 있다. 계통에 적용중인 절연물의 섬락사고(flashover failure)에는 오손 물질과 물이 결정적인 기여를 한다. 절연물의 표면을 통하여 흐르는 누설전류는 건조상태보다는 물에 의해 젖으면 크게 증가하게 된다. 오손 물질의 종류나 오손 정도에 따라 다르지만 오손이 클수록 건조상태에서 보다는 젖어 있는 상태에서의 누설전류가 상당히 크므로 표면의 젖음성(wettability)은 절연물에 있어서 매우 중요한 표면 특성이다. 표면에서의 물은 표면의 재료에 따라서 필름형태로 퍼지기도 하고 방울 형태로 뭉치기도 한다. 물의 표면장력은 72dyn/cm로서 자기나 유리(glass) 재료의 표면장력보다는 작고 유기 고분자의 표면장력보다는 크다. 따라서

자기 표면에 있는 물은 필름 형태로 확산되며 고분자 표면에서의 물은 방울 형태로 뭉치므로 자기 표면은 고분자 표면보다 젖음성이 좋다. 옥외용 절연물로 사용되는 고분자 재료의 표면장력은 EPDM, 에폭시수지, 실리콘고무의 경우 각각 34dyn/cm, 30~40dyn/cm, 22~26dyn/cm이므로 물과의 표면장력의 차이가 큰 실리콘고무의 접촉각이 더 크다. 이와 같이 재료에 따라 발수성이 다르며 실리콘고무의 발수성이 더 좋은 것을 의미한다.

오손물질이 표면에 부착된 후 강우, 안개 등에 의해 습윤되면 오손물질 중에서 수용성인 것은 용해되므로 누설전류가 증가하게 된다. 이런 상태에서 방전과 더불어 건조대와 미소발광방전에 의한 방전열이 발생되고 절연물 표면은 열화되어 절연성은 점점 약해진다. 방전열은 수분을 증발시켜 건조대를 형성하며 건조대는 습윤된 부분보다 저항이 크므로 건조대의 양단에 높은 전압이 걸려 아크방전이 발생한다. 이 때 아크(arc) 방전의 크기는 건조대 형성 상태, 오손정도, 물의 표면 접촉 상태 등에 따라 섬락으로 이어진다.

따라서 오손된 절연물 표면의 습윤으로 누설전류가 증가하여 사고로 진전되는 옥외 절연물에 있어서 고분자 절연물이 자기보다 우수하며, 화학적 열화가 수반되는 상황에서 절연물의 장기적인 신뢰성은 가혹한 오손상태에서도 발수성을 잘 유지하며 방전으로 인한 열화가 일어난다 하더라도 쉽게 발수성을 회복할 수 있는 재료가 가장 우수한 절연재료로 알려지고 있다.

#### 3.2 高分子 絶縁物の 劣화와 作用

고분자 절연물을 옥외에서 사용하는 경우 과전

과 더불어 각종 열화인자(자외선, 강우, 안개 등)에 의한 표면 열화가 일어나며, <표 1>에 열화인자와 그 작용과의 관계를 나타내었다.

태양광의 자외선은 고분자 절연물의 화학적 열화(광열화)를 촉진시키는 기본적인 인자이며, 강우와 안개에 의한 수분은 재료 표면의 절연성을 저하시킬 뿐 아니라 열화된 표면에 습윤층을 형성하여 국부적인 방전을 일으키는 원인이 된다. 흡습은 유전정점과 누설전류를 증가시켜 전기적 특

<표 1> 열화인자와 작용

열화인자	열화작용
태양광의 자외선, 태양열	자외선 열화(분자쇄의 절단), 열에 의한 열화의 가속
강우와 안개에 의한 수분	온도열화(유전율, 유전손실 증가와 절연파괴전압, 저항률의 저하)
염분, 공업분진, 산성비 등의 오손물질	도전율의 증가에 의한 표면저항률의 저하(염해, 오손)
대기오염가스(NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S O <sub>3</sub> )	오염가스와 무기물과의 반응 O <sub>3</sub> 열화(고무)(도전율의 증대)
계절, 밤과 낮의 온도변화	반복적인 열스트레스에 의한 기계적 열화

성에 큰 영향을 미치는 열화인자이며, 염분과 분진은 수분과 결합하여 수막(water film)을 형성하므로 표면저항을 저하시키고 섬락전압을 저하시키는 등 전기적인 특성에 보다 많은 영향을 미치게 된다. 또한 대기중의 오염가스도 수분과 결합하여 염분과 먼지와 같은 작용으로 열화를 가속시키며, 계절 및 밤과 낮의 온도변화는 반복적인 열열화를 주므로 기계적파괴의 원인이 된다. 또한 외부적인 요인으로

국부적인 전계의 집중부분에서 코로나 방전에 의하여 발생된 O<sub>3</sub>에 의하여 열화되어 분해하기 쉬운 형태로 된다. 이러한 각종 열화인자의 복합적인 작용으로 유기 고분자 재료의 열화는 경시적으로 촉진되며, 열화와 더불어 염분과 공업분진 등의 오손 물질이 부착하고 습윤되면 표면저항이 저하하여 누설전류가 증가한다. 이 전류에 의한 표면의 일부분에 건조대(dry band)가 형성되어 미소방전(scintillation)이 일어나 트래킹과 침식(erosion) 발생하기 쉽게 되며 최종적으로 절연파괴에 이른다.

#### 4. 高分子 絶縁材料의 評價實驗

고분자 절연물의 개발을 효율적으로 수행하기 위해서는 고분자 재료와 제품에 대한 가속열화 실험법의 개발이 중요하다. 고분자 절연물의 가속열화실험은 아직 만족할 만큼 확립되어 있다고 할 수는 없지만 널리 이용되고 있는 실험은 다음과 같다. 상용주파전압에 대한 가혹한 환경상태에서의 사용에 대한 절연재료의 내트래킹성과 내침식성을 측정하는 실험으로서 비교실험인 IEC 112법과 경사된 평판재료의 오손액을 흘려주는 오손액 경사평판 실험인 IEC 587법이 있다. 그리고, 옥외용 고분자 재료의 평가방법으로서 가속열화실험으로 검토되어온 오손액 경사평판법(liquid-contaminant inclined plane method), merry-go-round test, 염무실법(salt-fag chamber method), 복합 weather-ometer법 등이 있다.

##### 4.1 比較實驗

100~600V의 교류전압을 인가하면서 <표 2>와 같은 약 20mm<sup>2</sup>의 오손액을 30초마다 재료의 표면

에 일정시간 떨어뜨려 트랙킹과피에 이르지 않는 최대의 전압을 측정한다. 내트랙킹성을 평가하는 방법에는 비교트랙킹지수(comparative tracking index, CTI)와 보장트랙킹지수(proof tracking index, PTI)의 2종류 실험방법이 있으며 실험조건을 <표 3>에 나타내었다.

비교트랙킹지수는 전압단위 부여하지 않고 재료

특성의 비교지표로 25V의 간격으로 전압을 인가하고, 오손액의 방울수가 50 방울에서 트랙킹과피에 이르지 않는 최대의 전압이다. 보장트랙킹지수는 175V, 250V, 300V, 375V 및 500V의 인가전압중 하나의 전압을 선택하여 실험한다. 트랙킹과피의 판정은 과전류 릴레이(relay)에 전류가 0.5A 2초간 흐를 때 트립된다.

<표 2> 비교실험을 위한 오손액의 조성과 성질

Contaminants	Compositions	Resistivity ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	Surface tension (dyn/cm)
A 액	0.1% $\text{NH}_4\text{Cl}$	$395 \pm 5$	72
B 액	0.1% $\text{NH}_4\text{Cl}$ +0.5% anionic surfactant	$170 \pm 5$	58

<표 3> IEC Publ. 112의 실험조건

Test conditions	Contents
Specimen configuration	$40 \times 40 \times 3\text{mm}$
Electrode material	SUS, Brass
Electrode spacing	$4 \pm 0.1\text{mm}$
Applied voltage	100~600V
Droplet volume	$20 \pm 3\text{mm}^3$
Droplet speed	30sec
Height	30~40mm
Electrical stress	25~150kV/mm

오손액으로 0.1%의  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 을 오손액으로 사용하고 있는데 발수성과 내트랙킹성이 우수한 재료는 이 실험으로 내트랙킹성을 평가하기 어렵다. 이것은 0.1%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  수용액의 표면장력은 72dyn/cm로 재료와의 젖음성이 좋지 않기 때문이다. 또한 가혹한 오손조건을 고려하는 경우에는 저항률이 낮게함과 더불어 오손액의 표면장력을 저하

시켜 재료와의 젖음성을 좋게하기 위해 음이온계 계면활성제인 alkylnaphthalene sulfonate(Ekaru BX)를 첨가한 오손액을 사용해도 전극간의 거리가 가깝기 때문에 내트랙킹성을 평가하는 것은 곤란하므로 주로 옥내용 절연재료의 평가에 사용되고 있다. 그리고 음이온계 계면활성제를 첨가한 오손액은 좋게할 뿐만 아니라 저항률을 낮게하므로 더 가혹한 조건이라고 볼 수 있다.

#### 4.2 汚損液 傾斜平板 實驗

오손액 경사평판 실험은 상용주파수로 1.0~6kV까지 각각의 전압에서 일정한 경사각으로 취부한 재료의 상부에 일정시간 간격으로 흘려 내리면서 전압을 인가하여 내트랙킹성을 평가하는 방법이다. 이 실험은 가혹한 환경조건에서 사용되는 고분자 절연물의 트랙킹실험으로 ASTM 2303과 IEC Publ. 587을 기본으로 하고 있다.

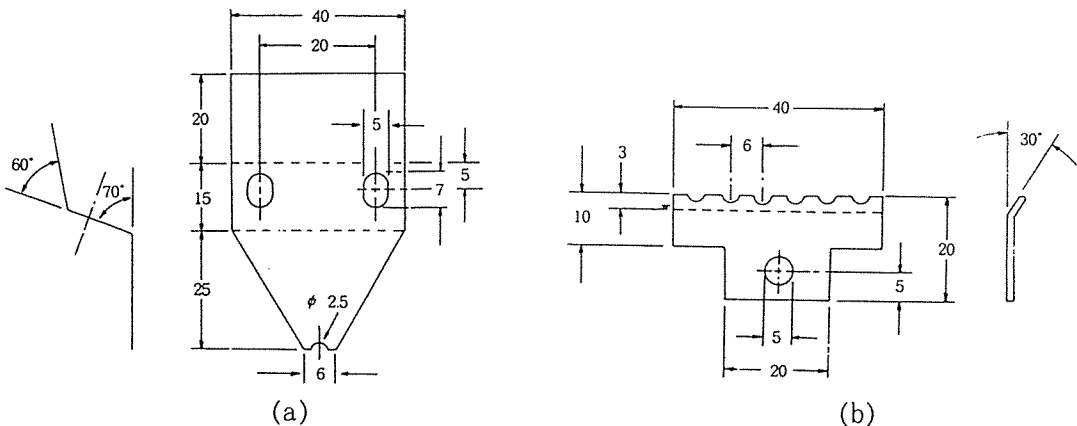
최근에는 상용주파수의 전압으로 실험하는 전압

가속은 재료의 트래킹파괴시간을 판정하기까지 장시간을 요하는 난점이 있기 때문에 시간을 단축시킬 목적으로 인가전압의 주파수를 상승시키는 주파수가속실험이 검토되고 있다. 전압가속은 인가전압을 상승함에 따라 재료에 인가되는 전계, 방전의 수 및 에너지의 증가 등으로 전계의 가속효과를 가져온다. 그러나, 주파수가속은 1 사이클당의 부분방전 발생량이 일정한 주파수 범위에서 일어나며 트래킹파괴시간이 인가전압의 주파수 상승에 따라서 짧게되기 때문에 과전수명이 주파수에 반비례한다. 즉 부분방전에 의해 열화가 진전하는 경우에 열화속도는 인가전압의 주파수에 비례한다. 따라서  $f$ 는 인가주파수,  $f_0$ 는 상용주파수,  $k$ 는 가속지수라면 가속계수  $N$ 은  $N = (f/f_0)^k$ 로 나타낸다.

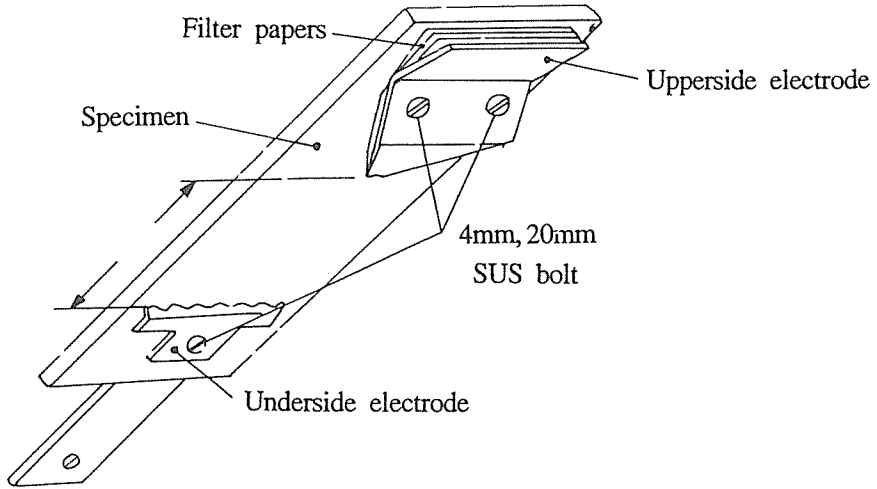
그림 1(a), (b)은 각각 상부 및 하부전극을, (그림 2)는 전극과 재료의 구성도를 나타내었다. 상부 및 하부전극을 재료에 부착하고, 상부전극과 재료 사이에 오손액이 균일하게 흐르도록 8매의

여과지(filter paper)를 겹쳐 상부전극과 재료 사이에 끼워 정량펌프(peristaltic pump)로 오손액을 공급한다. 상부와 하부전극의 거리는  $50 \pm 0.5\text{mm}$ 이며, 수평으로부터  $45^\circ$ 로 유지한다.

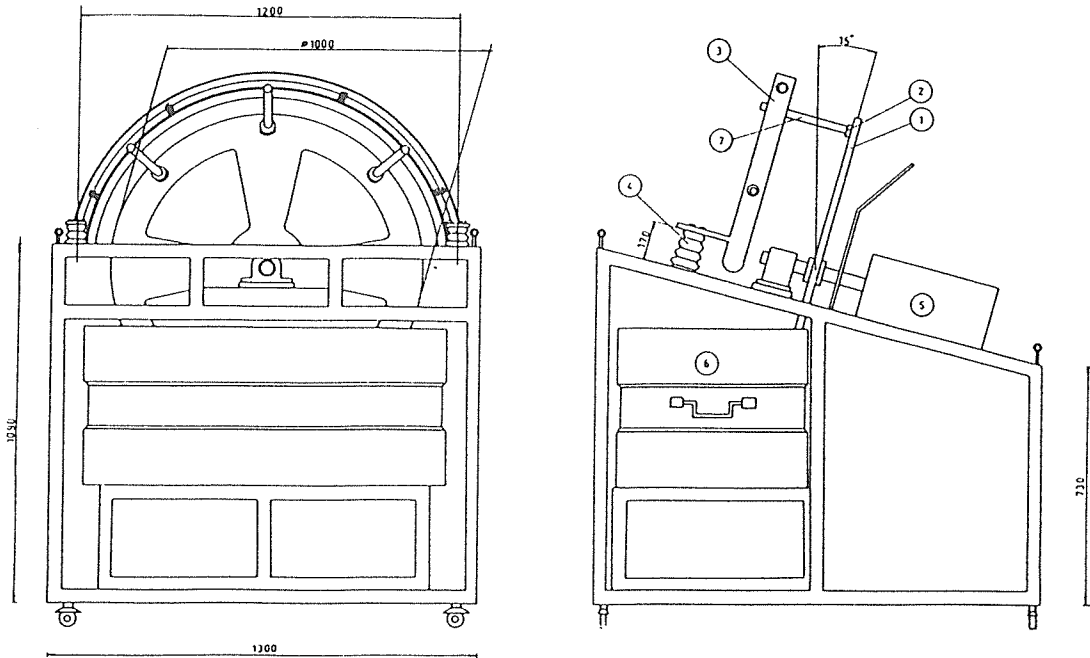
이 실험은 봉(rod) 형상의 재료를 (그림 4)와 같이 전극에 조립하여 오손액에 의한 염수오손과 고전압과전을 반복하므로써 인공적으로 가속한 조건하에서 표면방전 등에 의해 재료 표면의 트래킹에 의한 경시적인 변화를 평가하는 것이다. 직경 약 1m 원판(wheel)의 바깥부분에 여러개의 재료를 설치하고, 수직에 대해  $15^\circ$  기울인 상태에서 원판을 1rpm의 속도로 회전시킨다. 재료를 (그림 5)와 같이 1/3 회전만큼 오손액에 잠기게(dipping)한 후, 1/2 회전하는 동안 10kV 전압이 인가된다. 이 실험에 있어서 오손액의 저항률은 일정하게 되도록 100~200시간마다  $750\Omega \cdot \text{cm}$ 로 보정하고, 전극과 오손액은 500시간마다 교환해야 한다. 이 실험은 재료가 오손액속을 이동함에 따



(그림 1) 상부와 하부전극의 구조



(그림 2) 전극, 재료와 여과지의 구성도



- ① Wheel of rotating : 재료를 부착하고 회전
- ② Specimen fixture : Holder이며 하부전극
- ③ Voltage applying ring : 전압인가(AC 10kV)
- ④ Insulator : 전압을 인가하는 wheel의 절연

- ⑤ DC motor : Wheel을 회전(1 rpm)
- ⑥ Vessel of test contaminant(360 l)
- ⑦ Specimen

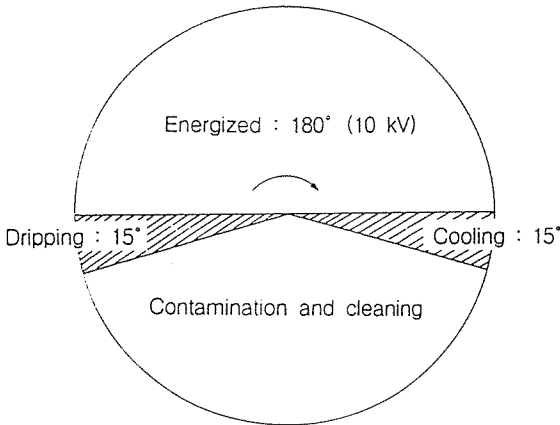
(그림 3) Merry-go-round의 실험장치

큰 세정효과(cleaning effect)와 30초마다 과전과 습윤을 주기적으로 반복함에 따른 옥외의 강우 상황을 모의할 수 있다. 재료 표면이 열화되어감에 따라 절연성능의 저하에 의해서 최종적으로 파괴가 일어나지만, 누설전류가 증가함에 따라 절연 파괴의 한계라고 추측되는 300~500mA를 파괴의 시점으로 설정한다. 또한 100시간마다 각각의 재

료에 대한 중량손실(weight loss), 누설전류(leakage current)를 측정하고, 트랙킹에 의해 파괴된 재료와 초기 재료에 대해 주수, 건조시의 상용주파섬락전압(power frequency flashover voltage)과 재료에 부착된 NaCl의 농도를 측정하여 각각의 재료에 대한 열화정도도 평가할 수 있다.

트랙킹파괴를 판정하는 방법은 고압회로에 전류가 600mA 이상 2초간 연속적으로 흐를 때의 시간(time-to-track method)과 저압측 전극에서 25mm 고압측 전극으로 트랙(track)이 진전하기까지의 시간으로 평가하며, 재료의 특성에 따라 선택하여 사용하여야 한다. <표 4>는 실험조건을 나타내었다.

오손액의 유량과 직렬저항을 <표 5>에 나타내었으며 오손액의 유량은 인가전압의 상승에 따라 증가시킨다. 오손액은 0.1% NH<sub>4</sub>Cl에 비이온계 계면활성제인 isooctylphenoxy polyethoxyethanol (Triton X-100)을 첨가한다. <표 6> 0.1% NH<sub>4</sub>Cl과 비이온계의 계면활성제를 첨가한 오손액의 조성과 표면장력을 나타내었다. 이 실험은 설비가 비교적 소형이며 내트랙킹성이 우수한 옥외용 절연재료의 평가에 적당하지만, 실험의 오차가 크기 때문에 반복적인 실험이 요구된다.



(그림 4) Merry-go-round의 재료 형상

<표 4> 오손액 경사평판실험 조건

Test conditions	Contents
Applied voltage	AC 1~6(kV)
Specimen	50×120×6mm
Setting angle of specimen	45°
Distance between electrode	50±0.5mm
Electrode material	0.1mm stainless steel(SUS 302)
Electrical stresses	90V/mm



〈표 5〉 인가전압에 따른 오손액의 유량과 직렬저항

Applied voltage (kV)	Flow of contaminants(ml/min)	Series resistivity(k $\Omega$ )
1.00~1.75	0.075	1
2.00~2.75	0.15	10
3.00~3.75	0.30	22
4.00~4.75	0.60	33
5.00~6.00	0.90	33

〈표 6〉 오손액 경사평판실험을 위한 오손액의 조성과 성질

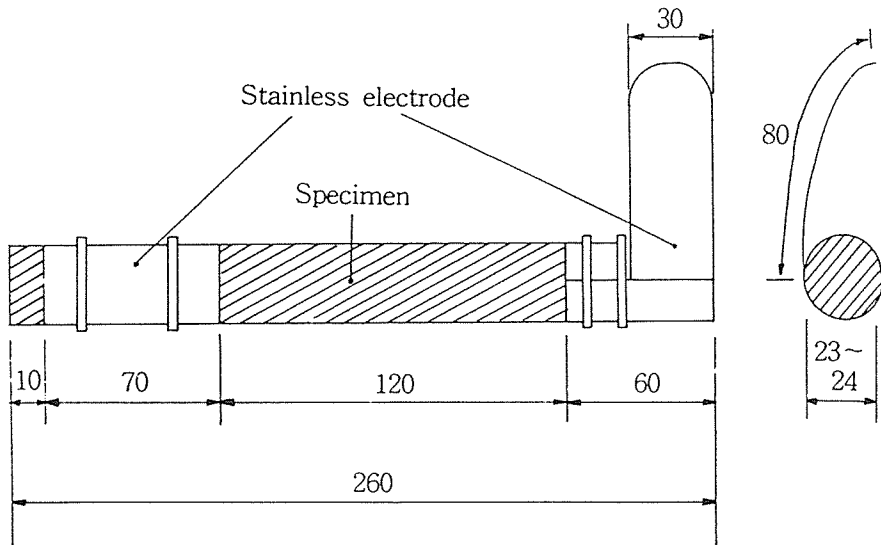
Contaminants	Compositions	Resistivity( $\Omega$ . cm)	Surface tension (dynes/cm)
C액	0.1% NH <sub>4</sub> Cl solution	395 $\pm$ 5	72
D액	0.1% NH <sub>4</sub> Cl+0.5% nonionic surfactant	395 $\pm$ 5	32

4.3 Merry-go-round 實驗  
 (그림 3)은 merry-go-round 실험장치를 나타내었다. 실험조건으로 인가전압, 전극간 거리, 원판

(wheel)의 회전속도 및 오손액의 저항률 등을 고려할 수 있지만, 여기서는 〈표 7〉과 같이 최근 IEC에서 검토되고 있는 실험조건의 표준화에 일치시키기 위한 조건을 나타내었다.

〈표 7〉 Merry-go-round의 실험조건

Test conditions	Contents
Applied voltage	AC 10kV
Specimen	$\phi$ 23~26 $\times$ 260mm
Electrode material	0.2mm SUS 304, 316
Distance between electrode	120mm
Electrical stress	83.3V/mm
Resistivity of contaminant	NaCl solution(750 $\pm$ 30 $\Omega$ · cm, 23 $^{\circ}$ C)
Rotating speed	1.0rpm
Setting angle of specimen	15 $^{\circ}$
Exchange of contaminant	500hr
Breakdown checking	300~500mA



(그림 5) Merry-go-round 원판의 회전조건

#### 4.4 鹽霧實驗

CIGRE SC-15의 실험으로 염수를 분무하며 전압을 인가하여 이때의 열화상태를 평가하는 실험이다. 이는 염무실에 설치한 재료에 전압을 인가하고 규정농도의 염무를 발생시켜 재료 표면을 오

손시키는 방법으로 실험조건을 <표 8>에 나타내었다. 발수성을 가진 고분자 절연물의 내트랙킹성을 평가할 수 있으며, 절연물의 형상에 따른 특성의 우열을 비교, 평가하는데 있어서 매우 좋은 방법이다. 또한 옥외의 과전폭로실험 결과와 비교할 수 있으며, 고분자 절연물의 성능평가에 유력한 실험이다.

<표 8> 염무실험의 실험조건

Test conditions	Contents
Applied voltage	14.9kV
Dimension of fog room	10m <sup>2</sup> (height : 2.5m)
Flow rate of salt water	0.4±0.1 ℓ /m <sup>2</sup> /hour
Drop size of salt fog	5~10μm(60%)
Conductivity of salt water	16±2mS/cm
Resistivity of contaminant	20±5°C
Test time	1000hour

#### 4.5 CIGRE SC-22

고분자 절연물에 대하여 복합적인 열화요소를 주어 실험하고 내후성, 열적·기계적 특성 및 흡습 특성 등을 종합적으로 평가하는 실험이다. 내후성실험은 고분자 절연물에 대하여 복합열화요소를 부여하는 실험으로 절연물에 전압을 인가하고 <표 9> 같은 열화요소를 반복적으로 가해 복합적인 열화를 준다. 태양광에 유사한 파장을 갖는 자외선, 강우, 습도에서의 가열, 실온급냉 염무를

24시간 사이클로 5000시간 실험한다. 열적·기계적실험 및 흡습실험은 고분자 절연물에 대해서 장기적으로 흡습과 열·기계적스트레스를 가해서 실험한다. 90°C에서 -30°C의 냉열 반복실험, 40°C

와 -30°C에서 하중을 반복적으로 가하면서 열적·기계적실험, 100°C와 -30°C에서 반복적으로 침수시켜 흡습실험을 한다.

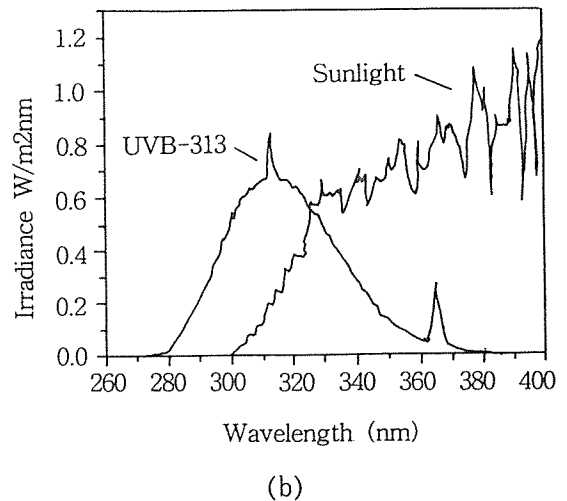
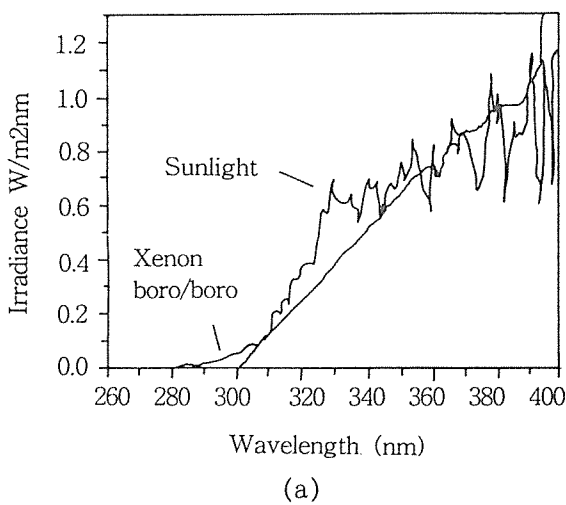
〈표 9〉 CIGRE SC-22에 의한 복합열화 실험조건

Humidication	95 RH			■					■					
Heating	50°C		■	■					■	■			■	
Water spray	1~1.5 mm/min	■												
Salt fog	7kg/m <sup>3</sup>				■	■						■	■	
Solar simulation	5kW xenon lamp	■	■					■	■				■	■
Applied voltage	60Hz Um/ $\sqrt{3}$	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Time	Hours	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	

#### 4.6 耐候性 實驗

옥외용 고분자 절연재료의 태양광, 온도, 습도 및 강우에 의한 열화 특성을 평가하는 것으로 weather-ometer(WOM)와 fluorescent UV con-

densation weathering meter(UVCON)실험이 있다. 열화의 광원으로는 WOM의 경우 xenon arc lamp이며, UVCON은 fluorescent lamp이다. WOM lamp의 내부와 외부필터는 borosilicate glass를 사용하여 275nm이하의 파장을 차단시켜



(그림 6) Weather-ometer(a)와 UV condensation weathering meter(b)의 분광 분포

방사에너지의 분포를 태양광의 분광분포와 유사하게 한다. (그림 6) (a), (b)에 각각의 열화장치의 분광분포를 나타내었으며, <표 10>에 각각의 가속열화를 위한 실험조건을 나타내었다. 방사에너지의 피크는 WOM의 경우 340nm에서 0.35W/m<sup>2</sup>인 반면 UVCON은 313nm에서 0.8W/m<sup>2</sup>을 나타내므로 UVCON의 경우가 태양광에 포함되지 않는 자외선 에너지의 양이 크므로 열화에 의한 영향이 더 큼을 추측할 수 있다.

옥외의 고분자 절연물의 경우 IEEE Std. 1133에서는 WOM에 의한 열화실험에서 가속배율을

22~35배로 추측하고 있으며, Ieee Std. 1109의 복합가속열화실험에서는 자외선 조사 시간만으로 가속배율은 53배로 추측하고 있다. 따라서 WOM의 가속배율은 약 50배 정도라고 추측되며, UVCON의 경우는 이것보다 큰 열화의 가속효과를 가져올 수 있다고 본다. 또한 고분자 절연물의 경우 IEEE Std. 1024에서는 WOM에 의한 1000시간 열화에서 침식깊이가 0.1mm이상의 균열(crazing)이 발생하지 않으면 내후성이 우수하다고 판정하고 있다.

<표 10> WOM과 UVCON에 의한 가속열화 실험조건

Type		WOM	UVCON
Lamp		3.5kW xenon arc lamp×1	40W fluorescent lamp×8
Inner an outer		Borosilicate glass filter	
Rotating speed		1.0rpm	
Condition of spray	Nozzle diameter	1.2mm×2	1.2mm×8
	Pressure	30psi	30psi
	Spray	0.2 l /min.	0.4 l /min.
Cycle of water spray		102min dry/18min spray	240min dry/120min condensation(10min spray)
Temperature		63±2°C(UV)	65±3°C (UV) 60±3°C (condensation)
Humidity	Dry	50±5%	
	Wet	80±5%	
Low cut off		275nm	280nm

## 5. 結論

이상에서 고분자 절연물은 경량화, 소형화를 통

해 보수 및 유지를 현저히 용이하게 할 수 있으며, 형상 설계의 가변성이 좋아 내오손 성능을 대폭 개선할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 산업의 발달과 더불어 전력의 사용은 급격히 증가하고 있

고, 이에 수반하여 대전력, 고전압화한 절연물의 고기능화, 고신뢰성의 요구가 증대해가는 최근의 절연분야에 고분자 절연물의 개발과 평가 및 적용은 중요한 과제라고 할 수 있다.

그러나 옥외용 고분자 재료는 고전압 스트레스와 더불어 각종 환경에 따른 열화요인에 의해 열화되지만 이의 평가방법에는 아직 실험조건에 조차 설정되어 있지 않은 실정이다. 그리고 단시간 실험은 재료 및 제품의 성능을 예측할 수 있는 근거를 제시할 수는 있지만, 실제 적용시의 장기적인 수명을 예측하기에는 어려운 점이 많다. 이는 적용 장소에 따라 열화요인의 강도와 오손도도가

다를뿐만 아니라 복합적으로 열화가 일어나기 때문이다. 따라서 단시간 실험결과와 장시간 실험결과를 비교분석하여 장기 신뢰성을 평가해야 한다. 이분야에 대한 국내의 실적은 아직 미진한 상태일 뿐 아니라 지금까지의 개발 분야도 선진국 제품의 모방 단계에서 제품의 제조에 주안점을 둔 반면 장기 신뢰성과 직결되는 열화, 평가기술에 있어서는 아직 초보적인 단계에 지나지 않는다. 따라서 이 분야의 기초연구와 전력관계인들의 적극적인 관심으로 자체적인 평가기술을 확립하여야만 기술 선진화를 기대할 수 있으리라고 본다.

## ◆ Virtual Corporation ◆

나날이 치열해지는 국제경쟁에서 살아남기 위해 우리 기업들은 앞으로 어떤 형태를 지녀야 할 것인가? 이와 관련하여 최근 미국에서는 차세대 기업형태로서 주목을 끄는 Virtual Corporation(VC)이란 새로운 개념이 도입되고 있어 주목을 끌고 있다.

VC란 동종업체, 협력업체는 물론, 심지어 경쟁업체간에 합작 또는 협력관계를 맺고 이들 기업간에 첨단 정보통신기술을 활용하여 정보를 공유함으로써 신기술 개발과 시장개척을 효율적으로 할 수 있는 새로운 기업형태를 말한다.

미국 리하이 대학 부설 아이아코카 연구소의 Roger N. Nagel 교수가 미국 제조업의 침체를 집중 연구하다가 창안했다는 이 개념은 첨단 정보통신망을 구축하여 부품, 디자인 업체 등 협력업체끼리 정보교환을 쉽게 함으로써 저렴하게 신기술을 개발할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

VC의 특징으로서는 탁월성(excellence), 기술(technology), 기회(opportunism), 신뢰(trust), 무경계(no borders) 등을 들 수 있으며, 현재 VC는 AT & T를 비롯한 대기업은 물론 중소기업과 서비스업체에 이르기까지 광범위하게 활용되어 상당한 효과를 보고 있다.