

Dust & Fog법을 이용한 트래킹가속열화

Accelated Aging Test of Tracking Using the Dust & Fog Method

임장섭*, 이진**, 이정식***, 정우성***, 김태성***

* : 목포해양대학교, 해양전자통신공학부.

** : 목포대학교, 전기전자컴퓨터공학부.

*** : 전남대학교, 전기공학과.

Lim Jang-Seob*, Lee Jin**, Lee Jeong-Sik***, Jung Woo-Sung*** and Kim Tae-Sung***

* : *Faculty of M.E.C. Eng., Mokpo National Maritime University.*

** : *Faculty of E.E.C. Eng., Mokpo National University.*

*** : *Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University.*

<Abstract>

In this paper, It is tested by spraying the spoiled liquids on the materials to prove the process of tracking under the various environments.

Our experiments were examined by setting the materials in the spray chamber, and by spraying the distilled water(DW), the city water(CW), the underground water(UW), the artificial acid rain(AR) and the salt water(SW) in applied voltage 3-6[KV].

As the result, the time of tracking breakdown became shorter in the order of DW < CW < UW < AR < SW. XLPE was eroded and its anti-bracking property was very strong, but that of PVC sheath was week. Especially it was confirmed that spraying by AR and SW on the PVC sheath had a serious effect on the lifetime of cable by the tracking breakdown.

1. 서론

전력용 설비에는 여러 종류의 절연재료가 사용되고 있지만, 산성비와 같은 열악한 환경에 노출되어 있는 경우가 많고 PVC 외피는 오염물질에 거의 접촉되어 절연물의 손상은 물론이고, PVC 외피의 심한 손상이 있을 경우에도 케이블의 수명은 단축된다.

케이블은 시공상의 손상 및 환경열화, 미생물에 의한 열화, 열 열화, 기계적 열화, 전기적 열화 등을 받는다. 그 중 전기적 열화에 의한 표면 절연 파괴의 현상인 트래킹 파괴는 표면에 수분, 이온성 물질 및 먼지 등의 불순물에 오염되어 발생하는 현상으로써, 오염물의 전도성에 따라 누설전류가 흐르고 주울열이 발생하여, 건조점 및 건조대가 형성되어 분단된다. 표면에 건조대가 분단되면 분단점의 전위차에 의한 미소 발광 방전(Scintillation discharge)이 발생하여 재료 표면이 국부적으로 탄화되어 트래킹 급격히 진전되어, 최종적으로 절연파괴에 도달한다.

트래킹 현상을 연구하는 시험법으로 IEC법, ASTM법, DIN법 및 Dust & Fog법 등의 시험법이 제안되어 있으나, 현장에서 사용되는 애자 및 케이블 등의 가속트래킹 시험법으로 널리 이용되는 Dust & Fog법은 국내연구가 미진하다.

본 논문에서는 오손액에 의한 트래킹 가속열화를 고찰하기 위하여 Dust & Fog법을 이용한 CV 케이블의 표면 절연성 실험을 하였고, 오손액의 피해상황을 비교하기 위하여 증류수 등에 대한 트래킹 실험을 수행한 후, 최근 환경 문제로 대두되는 인공 산성비 및 염수 등의 오손액을 분무하여 케이블의 내트래킹성을 조사하였다.

2. 실험방법

2-1. 시료 및 분무액

시료는 가교 폴리에틸렌 절연케이블(6,600 V CV케이블)로 절연물의 두께는 3.6 [mm]이고, 외장 피복으로 사용한 PVC의 두께는 1.5 [mm]이다.

분무액은 증류수, 수돗물, 지하수, 인공 산성비, 염수등의 5종류로 증류수의 성분은 이온 교환수이고 저항은 150 [kΩ/cm]이다. 수돗물 및 지하수의 채수지는 광주광역시 북구 일원으로 저항은 각각 29 [kΩ/cm] 및 22 [kΩ/cm]이다.

인공 산성비의 성분은 표1에 나타내었고 저항은 12 [kΩ/cm]이며, 염수의 성분은 표2에 나타내었다.

Table 1. The Analysis of Acid Rain.

Ingredient	Weight [g / 2 ℓ]
NaCl	0 . 2 8
KNO ₃	1 . 3 0
CuCl ₂ · 2H ₂ O	0 . 0 0 3
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0 . 0 0 9
CaCl ₂	0 . 0 0 2
C ₆ H ₈ O ₇	2 . 1 0
pH	3 . 1

Table 2. The Analysis of Salt Water

NaCl	Silane	Resistance
0.2 [Wt%]	0.1 [Wt%]	15 [kΩ/cm]

2-2. 실험 장치의 제작

그림 1은 실험 구성도이다. 주요 구성은 분무상자, 분무기, 전원장치, 분무기의 전원 공급장치, 계수기, 트래킹 판정회로, 안정 저항, 침전극 압력 조절 장치등이다.

안정 저항으로는 1 [KΩ], 200 [W]와 2 [KΩ], 200 [W] 저항을 필요한 수만큼 직렬로 연결하여 매 시험 전압에서 단락시 고압측 전류가 1 [A]가 되도록 제한하였고, 침전극 압력 조절은 마이크로미터를 사용하여 일정한 거리를 전진시키는 방법으로 침압을 조정하였다.

침전극은 끝 각도를 30° 로 하였으며, 분무각도는 케이블의 축방향에 대해 90° 가 되도록 설정하였다. 전원 전극은 절연물을 직각으로 절단한 후 케이블의 심선을 사용하였다.

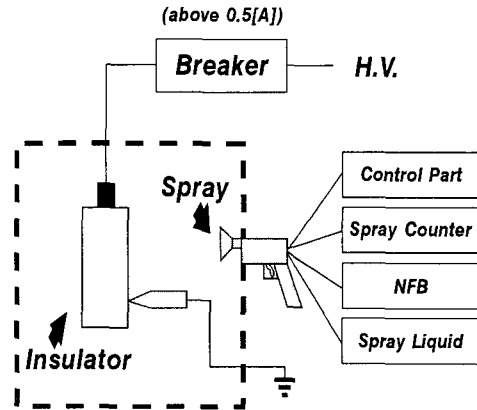


Fig. 1. Block diagram of experimental setup.

분무시간은 10 [sec], 정지 시간은 20 [sec]가 되도록 하여 한 주기를 30 [sec]로 하였으며, 시료와 분무장치의 노출간의 거리는 약 50 [cm], 1회의 분무량은 약 10 [ml/회], 인가전압은 3~6 [kV], 회로의 단락 전류는 각각의 인가 전압에서 1 [A]가 되도록 설정하였다. 트래킹 파괴의 판정은 고압측에 0.5 [A] 이상의 전류가 흐르는 것으로 하여 저압측 회로를 차단하였다. 분무 횟수는 1,000회(8시간 20분)까지로 하였고, 실험은 각각 10회를 실시하여 측정된 값의 최대치와 최소치를 버리고 나머지 8개 값의 평균치를 구하였다.

Table 3. Experimental Conditions.

Item	Experimental conditions
samples	CV cable
spray liquids	5 kinds
applied voltage	3 ~ 6 [KV]
spray mass	10 [ml/time]
power part	cable core
earth part	φ1.2 mm SK
sample length	above 20 [cm]
cycle	30 [sec]
spray time	10 [sec]
pause time	20 [sec]
spray distance	50 [cm]
breakdown level	above 0.5 [A]

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 초기 방전 발생과 트래킹 파괴의 고찰

3 [kV] 전압 인가시, 시료는 증류수, 수돗물 및 지하수에서 방전이 발생하지 않았으며 인공 산성비는 1회 분무후 방전이 발생하여 130회 분무 후 트래킹 파괴가 발생하였고, 염수는 1회 분무 후 방전이 발생하여 26회 분무 후 트래킹 파괴가 발생하였다.

4 [kV]전압 인가시, 인공 산성비는 1회 분무 후 방전이 발생하여 42회 분무 후 트래킹 파괴가 발생하였고, 염수는 1회 분무 후 방전이 발생하여 14회 분무 후 트래킹 파괴가 발생하였다.

5 [kV] 전압 인가시, 증류수와 수돗물은 트래킹 파괴는 발생하지 않았으며, 수돗물에서는 접지 전극상부에 트랙의 흔적이 발견되었다. 지하수는 810회, 인공 산성비는 28회, 염수는 10회 분무 후 트래킹 파괴가 발생하였다.

6 [kV] 전압 인가시 초기방전 발생과 트래킹 파괴 고찰에서 시료는 증류수를 4회 분무시 방전이 발생하였으나 트래킹 파괴는 발생하지 않았고, 수돗물, 지하수, 인공 산성비 및 염수는 각각 1회 분무후 방전이 발생하여 수돗물은 420회, 지하수는 380회, 인공 산성비는 19회, 염수는 7회 분무시 트래킹 파괴가 발생하였다.

표4는 케이블 외피에서 발생한 트래킹 결과이다.

3-2. XLPE와 PVC의 트래킹파괴의 고찰

지중에 매설되는 배전용 케이블은 케이블 외피뿐만 아니라 침수 등에 대한 보고가 널리 되고 있다. 따라서 침수에 따른 케이블의 내부, 즉 XLPE에 대한고찰이 필요하다. 따라서 트래킹 열화를 가속시키는 인공산성우와 염수에 대하여 고찰한 결과는 그림2 및 그림3과 같다.

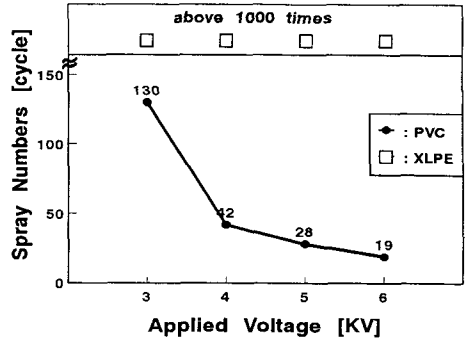


Fig. 2. The first discharge and tracking breakdown by the artificial acid rain.

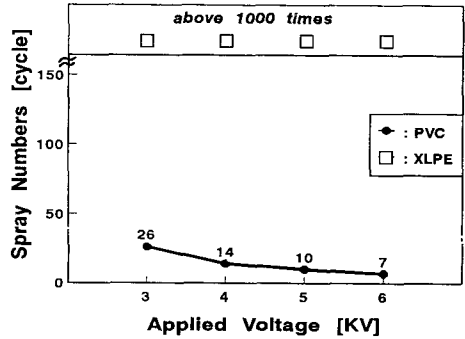


Fig. 3. The first discharge and tracking breakdown by the salt water.

인공산성우 분무에 의한 XLPE의 내트래킹성에서 1,2회 분무 후 방전이 발생하여 계속 반복되나 1000 회 분무하여도 트래킹 파괴가 발생하지 않고, 4 [kV], 5 [kV], 6 [kV]에서는 트랙이 형성되어 가다 전원 전극 부근에서 절연물이 녹아 내려 Track의 흔적이 지워지는 현상이 발생하였다.

Table 4. Tracking Results of PVC Sheath according to Spray Liquid

Applied Voltage [KV]	3		4		5		6	
Liquid types \ Discharge	init.	BD	init.	BD	init.	BD	init.	BD
distilled water	×	×	35	×	15	×	4	×
city water	×	×	5	×	2	×	1	420
underground water	×	×	3	×	2	810	1	380
artificial acid rain	2	130	1	42	1	28	1	19
salt water	1	26	1	14	1	10	1	7

염수에 대한 XLPE의 트래킹 현상에서는 1000회 분무하여도 트래킹 파괴가 발생하지 않았다. 6 [kV]에서 2000회까지 분무하였으나 10개의 시료 중 2개만 1280회(10시간 40분)와 1340회(11시간 10분) 분무 중 트래킹 파괴가 발생하였다.

XLPE는 PVC에 비하여 초기방전 발생에 많은 시간이 소요되었고 트래킹 진전에도 많은 시간이 소요되었다. 즉 활발한 방전에 의해 XLPE가 녹아 내리면서 트래킹 파괴가 발생하지 않았다.

PVC는 방전이 발생한 후 트랙의 형성이 쉽게 발생하고 또한 급속히 진전되어 트래킹 파괴가 발생하였다. 이는 PVC에서는 자기 소화성에 의한 것이다.

전 절에서 고찰한 PVC외피에서의 결과를 비교하여 보면 케이블의 외피인 PVC재질이 내부의 XLPE보다도 심각한 열화요인임을 확인하였다.

3-3. 트래킹 파괴 요인의 고찰

내트래킹성에 미치는 요인은 오손액들의 저항에 의존성이 있지만, 염수와 인공 산성비에 있어서는 저항의 순서와 반대로 트래킹 파괴 소요 시간이 염수에 비하여 인공 산성비가 더 많은 시간이 소요되었다.

이는 저항의 의존성 외에 또 다른 요인으로 트래킹 파괴에 영향을 미치는 요인인 건조대의 형성에 오손액의 비등점이 영향을 미치는 것으로 추론된다.

표5에 각 오손액들의 저항과 비등점을 표시하였다. 각각의 비등점은 100ml 오손액들을 가열하여 잔류량이 50ml일 때의 상대적인 비등점이다.

Table. 5. The Resistance and Boiling Point of Spoiled Liquids

Liquids Properties	DW	CW	UW	AR	SW
	resistance [kΩ/cm]	150	29	22	12
boiling T. [°C]	93	93	93	97	95

트래킹파괴의 원인으로는 오손액의 고유저항이 제 1요인이고, 오손액의 비등점이 제 2요인이었다. 이것은 고유저항과 비등점이 상호 복합적인 작용을 하고 있음을 보여주고 있다. 즉 일차적인 트래킹열화가 오손액의 고유저항으로 인한 주열 및 표면 열화가

가속되지만, 건조대 형성을 좌우하는 비등점이 트래킹열화의 2차 원인으로 추정되어진다.

상기의 결과에서, 옥외용 설비의 경우에는 특히 산성우 및 염해 등 오손액에 대한 대책이 필요하다.

4. 결론

6,600 [V] CV케이블을 Dust & Fog법을 이용하여 트래킹실험한 결과는 다음과 같다.

1. 동일한 조건에서는 전압의 의존성에 의해 전압이 감소할수록 건조대 형성이 어려워 트래킹 파괴 시간이 증가하였다.

2. 동일한 전압에서는 염수<인공산성비<지하수<수돗물<중류수 순으로 트래킹 파괴 시간이 길어졌다. 이는 유기절연재료의 내트래킹성에 미치는 요인은 오손액의 저항에 의존성이 있다. 제 2요인으로 오손액의 비등점이다. 두 요인들은 재료표면의 건조대 형성을 가속하여 내트래킹성을 좌우한다.

3. XLPE는 가연성으로 트래킹 진행 도중 전원 전극 부에서 XLPE가 녹아 내려 트래킹의 흔적을 덮어 버리는 빈도가 높고, PVC는 자기 소화성으로 인하여 탄화물이 생성되어 내트래킹성이 약하였다.

이상의 결과로 케이블의 트래킹 파괴는 PVC 외피에 주로 발생되고 있으며 특히 염수와 산성비가 PVC 외피에 오손액의 상태로 접촉되면 트래킹 현상이 쉽게 발생되어 PVC 외피는 심한 손상을 입게 된다. 결국 PVC 외피의 손상은 케이블의 수명에 심각한 영향을 줄 수 있음을 예측할 수 있다.

참고 문헌

1. 吉村 昇, "有機絶縁材料の耐トラッキング性に及ぼす酸性雨の影響", 日本電気學會誌, Vol. 115-A, No.9 pp.890-895, 1995
2. 日本環境廳 酸性雨對策檢査會, "第2次 酸性雨對策調査", 1994.
3. IEC Publication 112, Third Edition, "Method for determining the comparative and proof tracking indices of solid insulation materials under moist conditions", 1979.
4. ASTM D2132-89, "Standard Test Method for Dust-Fog Tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulating Materials", 1990.