한국화재소방학회 논문지, 제21권 제3호, 2007년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 21, No. 3, 2007

오염된 절연재료의 트래킹 특성에 관한 연구
A Study on the Tracking Characteristics of Contaminated Insulating Materials

옥경재† · 이춘하

Kyung Jae Ok† · Chun Ha Lee

호서대학교 소방방재학과
(2007. 7. 2. 접수/2007. 9. 17. 채택)

요 약

본 실험은 오염된 절연재료의 트래킹 특성을 연구하였다. 오염된 절연재료의 트래킹에 의한 절연파괴 특성 분석은 IEC 60112를 통하여 수행하였다. 연구결과, 오염된 절연재료의 트래킹 특성은 다음과 같다. (a) 오염된 절연재료의 경우 정상시료 보다 비교트래킹지수(comparative tracking index, CTI)가 낮게 나타났다. (b) 오염된 절연재료의 최초 탄화흔 발생시간 및 탄화도전로 형성 시간이 정상시료 보다 빠르게 나타났다.

ABSTRACT

This experimental study showed the tracking characteristics of contaminated insulating materials. To analysis tracking characteristics, IEC 60112 was used. As the results of this study, the tracking characteristics of contaminated insulating materials showed as followings : (a) Comparative tracking index (CTI) of contaminated insulating material was lower than non-contaminated one. (b) First carbonized growth time and track growth time of contaminated insulating materials was faster than non-contaminated.

Keywords : CTI(Comparative tracking index), Tracking, Insulating materials, Track

1. 서 론

산업의 발전과 국민소득의 향상으로 다양한 전기기계기구의 보급이 보편화되면서 전기화재의 발생은 빈번해지고 있다. 전기는 현대생활에 있어서 없어서는 안 될 중요한 부분을 차지하고 있으며, 깨끗하고 이상적인 에너지로 인간의 삶을 편리하고 윤택하게 한다. 그러나 전기로 인한 재해는 많은 인명과 재산의 손실을 초래한다. 우리나라의 전기화재 점유율은 선진외국과 비교할 때 상당히 높아 이에 대한 대책마련이 절실히 요구된다.[1)]

전기화재의 원인으로는 단락, 과부하, 누전, 반단선, 아아크방전, 트래킹, 절연불량, 정전기 및 아산화동 증식 발열현상 등으로 나눌 수 있다. 전기재료는 크게 도전재료와 절연재료로 구분되며, 절연재료 중에서도 고분자 재료는 전기적 절연성, 경량성, 가공성 및 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라 대량생산이 가능하여 절연재료로서 광범위하게 이용되고 있다. 절연재료는 크게 무기질 절연재료와 유기질 절연재료로 구분할 수 있다. 무기질 절연재료는 강도, 비중, 성형성 및 전기절연성 등에서 취약하여 전기적 특성이 우수한 유기질 절연재료들이 전기절연에 널리 사용되고 있다. 그러나 내트래킹성 및 내후성이 불량하고 또한, 절연물 표면이 오염되면 전격이나 방전이 일어나기 쉬워 전기설비 사고 및 화재로 이어지기 쉬우며, 그 중에서 대표적인 것이 트래킹에 의한 절연파괴를 들 수 있다.[2)]

트래킹은 전압이 인가된 이극 도체사이에 절연물이 있을 때, 그 절연물 표면에 수분을 함유한 먼지, 전해질의 미소물질, 전해질을 함유하는 액체의 증기 또는 금속가루 등이 부착되면 그 절연물 표면에 전류가 흘러 양 극 사이에 전류의 통로를 형성함과 동시에 부착물간에 미소방전이 발생하고, 이것이 반복됨에 따라 절연물의 표면에 점차로 도전성의 통로가 형성되어 절연파괴되는 현상을 말한다.

† E-mail: lool1018@hanmail.net

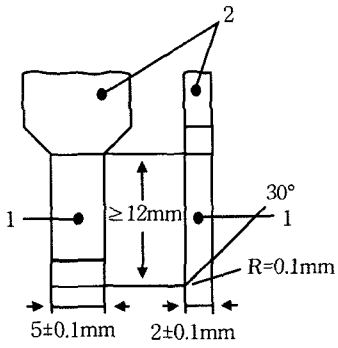
무기질 절연물은 도전성물질의 생성이 작기 때문에 트래킹에 대해서는 문제가 적지만, 유기질 절연물은 탄화하여 도전성물질이 생기기 쉽기 때문에 문제가 된다.[3]

따라서, 본 연구에서는 현재 저압용 옥내배선용으로 사용되고 있는 IV(600V Grade Polyvinyl Chloride Insulated Wires)와 HIV(600V Heat-Resistant PVC Insulated Wires)의 피복재료를 이용하여 오염되지 않은 경우와 기타 오염물질에 오염된 경우의 트래킹에 의한 절연열화 특성을 비교 · 분석하여, 전기화재의 위험성 평가 및 전기화재조사 원인규명의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실 험

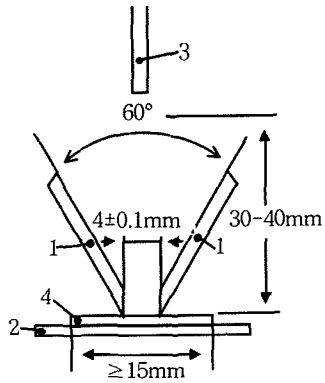
2.1 실험장치

본 연구에서는 오염된 절연재료의 트래킹 특성을 파악하기 위하여 상용주파전압에 대한 가혹한 환경상태



1 = Platinum electrode. 2 = Brass extension.

Figure 1. Dimension of electrode.



1 = Platinum electrode. 3 = Tip of dropping device.
2 = Support. 4 = Specimen.

Figure 2. Electrode arrangement.

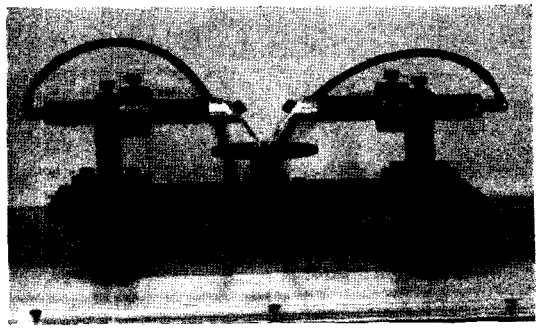
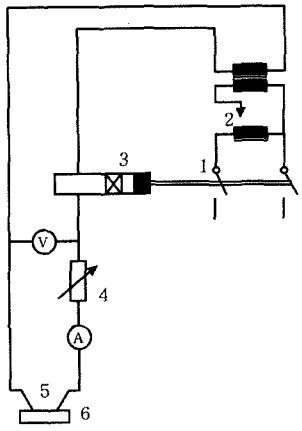


Figure 3. Experimental apparatus.



1 = switch 4 = variable resister
2 = a.c. source 100V to 600V 5 = electrodes
3 = delay overcurrent relay 6 = specimen

Figure 4. The experimental circuit of experimental apparatus.

에서의 사용에 대한 절연재료의 내트래킹성과 내침식성을 측정하는 실험으로서 비교실험인 IEC 60112. CTM (Comparative test method)을 기준으로 하여 실험하였다.[4]

실험에 사용된 전극은 두께 5[mm]의 황동 전극을 Figure 1과 같이 제작하여 사용하였으며, 전극의 배치는 Figure 2와 같이 구성하였다.

Figure 3은 실험장치의 전극부분의 실제 사진이며, Figure 4는 전기적인 실험회로의 개략도이다.

2.2 실험시료

실험에 사용한 시료는 현재 저압용 옥내배선용으로 사용되고 있는 IV(600V Grade polyvinyl chloride insulated wires)와 HIV(600V Heat-resistant PVC insulated wires)를 사용하였다.[5,6]

HIV와 IV의 피복재료를 A_4 크기의 Sheet상으로 제

Table 1. Permeate time and permeate temperature

Type	Permeate temperature	Permeate time
A	70±2 ℃	4 h
B	85±3 ℃	4 h
C	120±2 ℃	18 h

작한 후 가로 5 0mm, 세로 6 0mm, 두께 2 mm의 크기로 절단하여 시료 표면의 오염물을 제거하기 위해 에탄올로 표면을 닦아낸 후 사용하였다.

2.3 실험방법

실험방법은 IEC 60112의 기준에 따라 진행하였다. 오손액은 가혹한 조건에서 열화를 가속시키기 위해 3[%]의 염화나트륨(NaCl)을 용해시킨 수용액을 사용하였고 30 mm의 높이에서 20 mm^3의 양을 30초 간격으로 투여하였다. 이 때 전극간의 거리는 4 mm로 하였다.

시료는 오염물질과의 관계를 알아보기 위한 실험으로 오염상태와 비슷한 조건을 주기 위해서 KS C 3004의 20 절연체의 내유 실험을 기준으로 하여 시료를 오염물질(물, 소금물, 절삭유(수성용절삭유), 윤활유(Lithium grease, Hydrocarbon fluid))에 오염 및 침유시켰다. KS C 3004의 20 절연체의 내유 실험은 절연체를 Table 1의 A, B, C의 세가지 타입 중 어느 한 조건을 선택하여 절연체를 기름중에 담근 후 꺼내어, 표면에 부착된 여분의 기름을 가볍게 닦아내고, 실온에 4시간 이상 방치하여 96시간 이내에 인장강도 및 신장률을 측정하는 것이다. 본 실험에서는 원활한 실험 진행을 위해 가장 저온에서의 가장 짧은 시간인 A타입에 따라 70 ℃의 온도에서 4시간 동안 침유시켰다. 시료표면의 건조를 위해 상온에서 24시간 건조를 시킨 후에 실험을 진행하였다.[7]

2.3.1 비교트래킹지수(Comparative tracking index ; CTI)

CTI는 시료 표면에 오손액이 50방울에서 트래킹 파괴가 일어나지 않는 최대 전압이다. 즉, 시료 표면에 오손액을 떨어뜨려 오염시키면서 표면의 절연이 파괴되어 양전극 사이에 0.5A 이상의 전류가 2초 이상 흐를 때를 절연재료의 절연이 파괴되어 트래킹이 발생한 것으로 판정을 한다.

CTI는 전압을 25 V 간격으로 인가하면서 오손액이 50방울에서의 트래킹 파괴 전압을 구하는 것이다.

본 실험에서는 절연재료의 표면이 오염이 된 경우 절연재료의 비교트래킹지수의 변화에 따른 위험성 정도를 관찰하였다.

실험의 진행은 IEC Publ. 112에 따라 전압을 최초 100 V로 하여 25 V 단위로 인가하였고, 트래킹이 발생한 전압을 기준으로 상하 25 V에서 5회 반복실험을 실시하여 CTI를 결정하였다.

2.3.2 시료별 트래킹 특성

본 실험은 IEC 60112. CTM(Comparative test method)의 기준을 응용하여 진행하였다.

동일한 전압하에 절연재료의 오염여부에 따른 트래킹 특성을 관찰한 것으로, 초기 실험의 진행은 CTI를 결정하는 방법과 동일하게 오손액을 30초 간격으로 50방울을 투여하고 인가전압은 현재 우리나라에서 사용하고 있는 220 V를 인가한다. 오손액은 50방울을 투여한 후에는 더 이상 투여하지 않는다.

이 상태에서 전압을 유지하고 계속 실험을 진행하여 시료의 절연이 완전히 파괴되어 트래킹이 발생할 때까지의 과정을 관찰하였다.

오염되지 않은 IV와 HIV를 기준으로 하여 오염물질에 오염된 시료와의 최초탄화 발생시간과 탄화도전로가 완전히 형성이 되어 트래킹이 발생하는 시간을 비교·분석하여 절연재료의 오염여부에 따른 위험성 정도를 평가하고, 오염되지 않은 시료와 오염된 시료간의 트래킹 진행형태의 특성을 비교 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 CTI의 결정

본 실험에서 동일한 절연재료를 가지고 절연재료의 오염여부에 따라 CTI의 변화를 관찰한 결과를 Table 2과 Table 3에 나타내었다.

시료별 CTI 지수를 보면 HIV 건전시료가 650 V, IV 건전시료가 600 V로 HIV 건전시료가 내트래킹성이 가장 우수하고, 오염된 시료의 경우 윤활유에 오염된 HIV는 650 V, IV는 600 V로 시간과 오손액의 양의 차이는 있으나 건전시료와 동일한 CTI 지수가 나왔다.

Table 2. CTI Index of HIV

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
CTI	650 V	450 V	400 V	600 V	650 V
Growth Time	23 min 12 s	23 min 56 s	23 min 14 s	21 min 39 s	20 min 16 s

Table 3. CTI Index of IV

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
CTI	600 V	400 V	350 V	550 V	600 V
Growth Time	21 min 32 s	23 min 46 s	23 min 54 s	22 min 13 s	20 min 26 s

절삭유에 오염된 HIV는 600 V, IV는 550 V로 윤활유보다 낮은 수치가 나왔다. 그리고 물에 오염된 HIV는 450 V, IV가 400 V, 마지막으로 소금물에 오염된 경우 HIV는 400 V, IV는 350 V로 내트래킹성이 가장 떨어지는 것으로 나타났다.

윤활유와 절삭유에 오염된 시료는 건전시료와의 CTI 지수가 많이 차이가 나지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 윤활유와 절삭유에 미소하지만 어느 정도의 절연성이 있기 때문으로 생각되며, 시료의 표면에 윤활유와 절삭유의 유막이 형성되어 오염된 상태에서도 절연성이 유지가 되는 판단된다.

반면 물과 소금물에 오염된 시료의 경우는 오염되지 않은 시료에 비해 CTI가 상당히 떨어진 것으로 나타났다. 이는 시료의 성분중 절연성이 있는 내열성 가소제 등의 성분이 물에 녹아 시료 표면의 절연성이 떨어진 것으로 사료된다.

시료별 내트래킹 지수를 정리하면 건전시료를 기준으로 했을 때 건전시료>윤활유에 오염된 시료>절삭유에 오염된 시료>물에 오염된 시료>소금물에 오염된 시료순으로 나타났다.

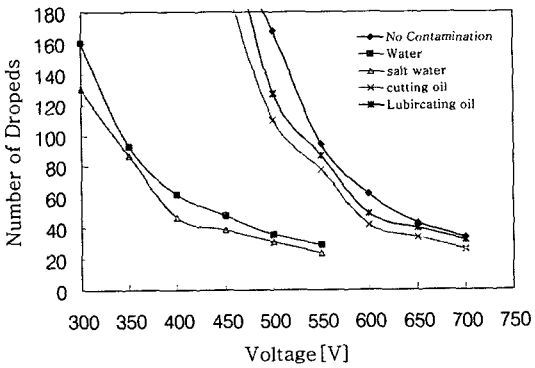


Figure 5. Tracking test curves of HIV.

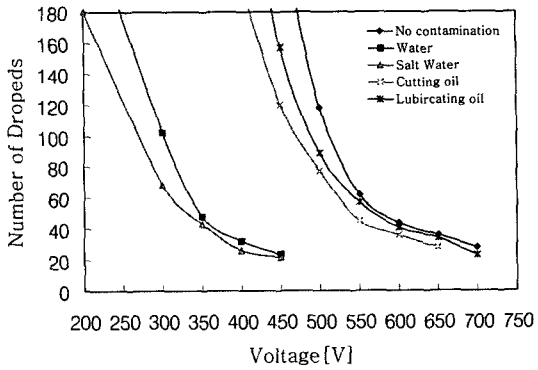


Figure 6. Tracking test curves of IV.

Figure 5과 Figure 6은 HIV와 IV의 오염여부에 따른 트래킹 실험 결과이다.

3.2 시료별 트래킹 특성

3.2.1. 최초 탄화흔 발생 시간

절연재료의 표면에 발생한 건조대에 지속적인 누설전류로 인하여 발생하는 최초 탄화흔 발생시간은, 각 시료별로 최초 탄화흔이 형성되는 시간을 5회 측정하여 그 평균값을 나타내었다.

Table 4는 HIV의 최초탄화흔을 시료별로 나타낸 것으로 소금물에 오염된 시료가 가장 탄화흔의 형성이 빠르며, 물에 오염된 시료, 절삭유에 오염된 시료, 윤활유에 오염된 시료 등의 순서로 최초 탄화흔의 발생

Table 4. First carbonized growth time of HIV (220V)

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
1st	8 min 57 s	7 min 17 s	6 min 38 s	9 min 24 s	8 min 13 s
2nd	9 min 30 s	6 min 55 s	5 min 56 s	9 min 03 s	7 min 56 s
3rd	9 min 16 s	7 min 01 s	6 min 13 s	8 min 56 s	8 min 06 s
4th	8 min 46 s	7 min 13 s	6 min 09 s	9 min 12 s	7 min 46 s
5th	8 min 39 s	6 min 58 s	5 min 39 s	8 min 49 s	7 min 51 s
avg.	8 min 42 s	6 min 36 s	5 min 38 s	8 min 36 s	7 min 39 s

Table 5. First carbonized growth time of IV (220V).

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
1st	8 min 38 s	6 min 46 s	6 min 15 s	8 min 58 s	7 min 50 s
2nd	8 min 10 s	6 min 53 s	6 min 07 s	8 min 56 s	7 min 58 s
3rd	7 min 58 s	7 min 05 s	5 min 52 s	8 min 16 s	7 min 32 s
4th	8 min 26 s	6 min 36 s	5 min 58 s	8 min 32 s	7 min 15 s
5th	8 min 16 s	6 min 33 s	6 min 03 s	8 min 25 s	7 min 29 s
avg.	7 min 39 s	6 min 37 s	5 min 34 s	8 min 33 s	7 min 36 s

시간이 나타났다.

윤활유의 경우 내트래킹성 시험에서도 나타났듯이 일반 건전시료와 시간적으로 크게 차이가 나지 않았고, 나머지 오염된 시료의 경우 건전 시료에 비해 탄화흔의 발생시간이 빨리 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 오염물질의 오염으로 인해 절연재료의 표면저항이 낮아짐으로 인해 탄화의 진행이 더욱 빠른 것으로 판단된다.

Table 5는 IV의 최초탄화 형성 시간을 5회 측정하여 그 평균값을 나타낸 것으로 HIV와 시간적 차이는 있으나 거의 동일한 형태의 결과가 나타났다.

IV가 HIV에 비해 탄화흔 발생시간이 빠른 것은 HIV에는 내열성 가소제 첨가되어 있기 때문이다.

3.2.2 탄화도전로 형성 시간

탄화도전로 형성 시간은 50방울의 오손액을 떨어뜨리고 전압을 계속 인가하여 전극사이의 건조대에서 지속적인 누설전류로 인하여 절연재료의 표면에 탄화가 지속적으로 진행되어 시료의 절연이 파괴되어 0.5A의 전류가 2초 이상 지속되는 시점까지의 시간을 말한다. 이 때 시료는 Figure 7과 같이 전극 사이가 완전히 탄화되어 화염이 발생하게 된다.

실험은 최초 탄화흔 형성 실험을 계속해서 진행을 시킨 것으로 실험방법 및 진행은 동일하다.

실험결과는 Table 6과 Table 7에 나타났듯이 최초탄화흔의 형성시간과 비교적 동일한 결과를 보이고 있다. 탄화도전로 형성 역시 최초탄화흔의 형성 시간 순서와 동일하게 소금물에 오염된 시료가 가장 빨리 발생하고 물에 오염된시료, 절삭유에 오염된 시료, 윤활유에 오염된 시료, 오염되지 않은 시료 순으로 나타났다.

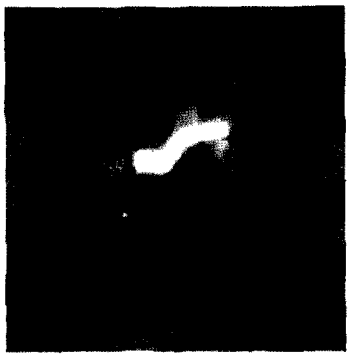


Figure 7. Generation of track.

특이할만한 결과로는 윤활유와 절삭유에 오염된 시료의 경우 최초 탄화흔은 물과 소금물에 오염된 시료의 경우보다 빨리 발생하지만 탄화도전로의 형성은 오히려 이것들 보다 미소하지만 더욱 빠르게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 절삭유와 윤활유에 오염된 시료의 경우 시료표면에 형성된 윤활유나 절삭유의 유막에 의해 절연성이 유지되어 최초 탄화흔의 발생시간이 물과 소금물에 오염된 시료에 비해 늦어지지만,

Table 6. Track growth time of HIV (220V)

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
1st	24 min 19 s	19 min 13 s	15 min 37 s	23 min 16 s	23 min 56 s
2nd	23 min 56 s	19 min 06 s	15 min 13 s	22 min 57 s	23 min 36 s
3rd	23 min 52 s	18 min 52 s	15 min 29 s	23 min 12 s	23 min 47 s
4th	24 min 06 s	19 min 11 s	14 min 58 s	23 min 03 s	23 min 32 s
5th	23 min 53 s	18 min 51 s	15 min 26 s	22 min 49 s	24 min 06 s
avg.	23 min 42 s	18 min 33 s	14 min 42 s	22 min 34 s	23 min 30 s

Table 7. Track growth time of IV (220[V]).

	No Contamination	Water	Salt Water	Cutting oil	Lubricating oil
1st	23 min 23 s	17 min 19 s	13 min 53 s	21 min 32 s	22 min 35 s
2nd	22 min 57 s	16 min 56 s	13 min 46 s	21 min 06 s	22 min 56 s
3rd	23 min 16 s	17 min 06 s	14 min 03 s	20 min 53 s	22 min 13 s
4th	23 min 36 s	17 min 13 s	13 min 48 s	21 min 16 s	22 min 06 s
5th	22 min 51 s	16 min 48 s	13 min 39 s	21 min 24 s	22 min 19 s
avg.	22 min 43 s	16 min 05 s	13 min 40 s	20 min 35 s	22 min 25 s

시료표면의 유막 위에 오손액이 점점 고이면서 오손액에 의해 통전되는 전류의 양이 증가하여 일정 시간이 지난 후에는 오히려 오염되지 않은 시료나 물과 소금물에 오염된 시료보다 트래킹에 의한 절연파괴가 더욱 빨리 일어나는 것으로 보이고, 이는 절연재료에 습기나 소금기, 기름 등에서 나오는 흑연성 먼지 등의 물질들이 오염이 되게 되면 절연재료의 표면 저항이 저하되는 것이라고 판단된다.

4.2.3 트래킹의 진행 형태

트래킹의 진행 형태는 오염되지 않은 시료와 오염된 시료로 나누어진다.

1) 오염되지 않은 시료의 트래킹 진행 형태

Figure 8은 220 V의 전압이 인가된 상태에서의 트래킹 진행 형태를 나타낸 것이다.

(a)는 전극에 전압을 인가한 상태에서 오손액을 주입하여 미소발광방전에 의해 오손액의 수분이 증발하여 전극사이에 건조대가 형성된 부분이다.

(b)는 오손액 주입 시작한 지 약 3분 정도 경과후의 사진으로 전극간에 도전성의 오손액으로 인해 미소전류가 흐름으로서 발생하는 주울열에 의해 수분이 증발되면 오손액의 물의 막이 끊어지고 건조대 형성이 반복적으로 이루어져 이 때 발생하는 미소발광방전이 지속적으로 진행되어 전극사이의 시료표면에 탄화가 시작되는 것을 보여주고 있다.

(c)는 약 20분 정도 경과후의 사진으로 전극사이에 시료 표면의 절연이 파괴되어 탄화도전로가 형성되고 있음을 확인할 수 있다.

(d)는 전극사이의 절연이 완전히 파괴되어 통전이 된 상태이며, 불꽃이 형성됨을 볼 수 있고, 이 때 주위에 가연물이 존재한다면 충분히 화재로 진행될 수가 있다.

(e)는 전원을 차단한 후 트래킹에 의해 탄화된 사진이며, 시료의 표면이 완전히 탄화된 것을 확인할 수 있다.

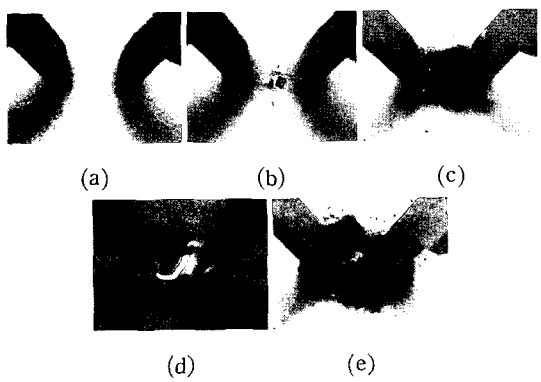


Figure 8. Breakdown process of insulating materials.

2) 오염된 시료의 트래킹 진행 형태

Figure 9는 오염된 시료의 트래킹 진행 형태로써 실험에 사용된 오염물질 전부가 이와 같은 형태로 진행이 되었다.

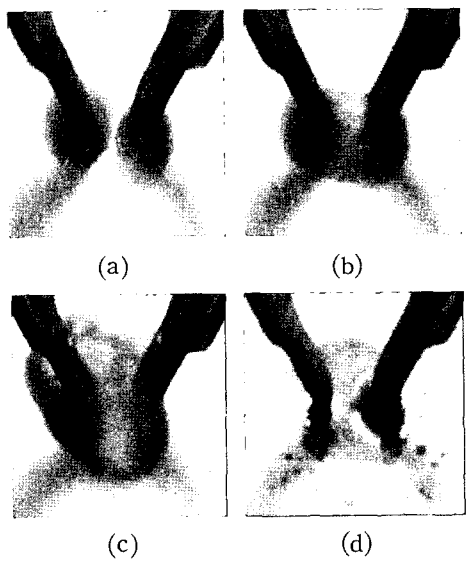


Figure 9. Breakdown process of Contaminated insulators materials.

(a)는 전압이 인가된 상태에서 오손액을 주입한 상태로 건전시료에서 발생하는 미소발광방전을 확인할 수가 없었다. 오염되지 않은시료의 경우 최초 오손액이 주입되면 전극사이에서 미소발광방전이 발생하지만 오염된 시료의 경우 오손액이 주입되면 전극부분으로 물의 막이 끊어지는 현상을 보였다.

(b)와 (c) 오손액을 주입 직후의 현상이다. 오염된 시료의 최초탄화흔의 발생은 Figure 9의 (a)에서 (c)의 진행을 반복하다가 약 2분에서 3분 사이에 (d)에서 나타나듯이 전극 부분과 닿아 있는 곳에서 최초탄화가 진행이 되는 것을 확인할 수 있었다. 시간적으로 볼 때 오염된 시료의 경우 오염되지 않은 시료 보다 최초탄화흔이 매우 빠르게 나타남을 알 수 있었고 탄화도전로의 진행 속도 역시 오염되지 않은 시료보다 상당히 빠르게 진행이 되는 것을 확인할 수 있었다.

오염된 시료와 오염되지 않은 시료의 트래킹 진행 형태를 비교하여 보면 크게 건조대의 형성형태와 방전불꽃의 발생 형태이다. 오염되지 않은 시료의 경우 건조대가 형성되고, 이 건조대 사이에 방전 불꽃이 발생하는 과정을 반복하면서 탄화흔이 발생하였으나 오염된 시료의 경우 초기에 오염되지 않은 시료와 같은 방전불꽃은 발생하지 않았으며, Figure 9의 과정을 반복하다 전극 부근에서 방전 불꽃이 형성됨과 동시에 탄화가 시작이 되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 절연재료의 오염에 따른 트래킹 발생 특성에 대하여 고찰하고, 현재 저압용 옥내배선용으로 사용되고 있는 IV(600V Grade Polyvinyl Chloride Insulated Wires)와 HIV(600V Heat-Resistant PVC Insulated Wires)의 피복재료를 오염물질(물, 소금물, 절삭유, 윤활유)에 오염시킨 후 트래킹 시험을 통하여 동일한 절연재료의 오염에 따른 내트래킹 지수를 결정하고 오염되지 않은 절연재료와 오염된 절연재료의 트래킹 특성을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시편으로 선정된 절연재료의 CTI는 오염물질별로 크게 차이를 보였으며, 건전시료 > 윤활유에 오염된 시료 > 절삭유에 오염된시료 > 물에 오염된 시료 > 소금물에 오염된 시료 순으로 나타났다.

오염되는 물질별로 어느 정도 차이는 있으나 본 연구에 사용된 오염물질의 경우 전부가 CTI가 낮아지는 것으로 나타났다.

2) 최초탄화흔 발생시간 및 탄화도전로 형성시간에서 알 수 있듯이 절연재료가 습기나 해안주변의 소금기, 연료 등의 흑연이 포함된 먼지등에 오염이 되면 탄화진행 속도가 더욱 빠르게 진행됨을 알 수 있었다. 이는 오염물질로 인해 절연재료의 표면저항이 저하된 것으로 판단된다.

3) 절연재료의 오염 유무에 따라 트래킹의 진행 형태가 건조대의 형태와 미소발광방전 형태 부분에서 서로 상이함을 알 수 있었으며, 오염되지 않은 시료 보다 오염된 시료가 오염물질별로 다소 차이는 있으나 대부분 시간이 단축되는 것을 확인할 수 있었다.

4) 최초탄화흔의 발생은 물과 소금물에 오염된 시료가 가장 빠르게 나타났으나, 탄화도전로가 형성되어 절연이 완전히 파괴되는 시간은 물과 소금물에 오염된 시료보다 윤활유나 절삭유에 오염된 시료가 더욱 빠른 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 최충석, 김현우, 이경섭, 이춘하, 임양수, 정재희, 전기화재공학, 동화기술, pp.81-126(2004).
2. 김동래, 강원대학교, 저전압에 의해 소손된 페놀수지의 트래킹 특성에 관한 연구 석사학위논문, pp.11-12(2001).
3. 김만건, 김진표, 전기화재감식공학, 성안당, pp.77-87(2006).
4. IEC 60112, Method for Determining the Comparative and the Proof Tracking Indices of Solid Insulating Materials Under Moist Conditions (2004).
5. KS C 3302, 600V 비닐절연전선(IV)(2001).
6. KS C 3328, 600V 2종비닐절연전선(HIV)(2001).
7. KS C 3004의 20, 절연체의 내유실험(2001).