

케이블 연소방지재의 재료에 대한 성능평가 기술

소진중, 심대섭
한국전기연구원

Assessment of material analysis for Non-flammable of cable

Jin Joong Soh, Dae Sub Shim
KERI

Abstract - 연소방지재(난연테이프, 난연도료, 난연 seal, 난연레진, 난연보드 등)란 지중 배전케이블, 접속재 및 통신케이블 등의 외피에 화재확산 방지를 위해 도포하여 사용하는 것으로서 화재 시 발포하거나 단열의 효과가 있어 케이블, 전선 등이 연소하는 것을 지연시킨다. 따라서 본 평가 기술에서는 수직불꽃시험, 산소지수, 저염소시험, 발연농도, 케이블 허용전류저감률 등 주 재료 시험에 대한 시험방법을 검토하고 시험에 적용하여 시험 시 문제점을 도출하여 시험방법을 정립하고자 한다.

1. 서론

난연도료(연소방지재)란 전력 및 통신 케이블의 외피에 화재확산 방지를 위해 도포하는 도료로서, 케이블 트레이에 포설되어 있는 케이블의 외피에 난연도료를 도포하여 주위에 화재 발생시 화재의 확산을 최소화 또는 막을 수 있도록 한다. 난연도료의 조건으로서는 난연제는 솔벤트(solvent) 성분이 없어야하며, 연소 시 유독가스 발생 및 연기성분이 없어야 한다. 재질은 1)난연성 수지를 주성분으로 하고 석면성분이 없어야한다. 2)도포 시 케이블 외피에 부착성이 좋고 화재 시 열 차단벽이 형성될 수 있는 특성이 있어야 한다. 3)난연제는 난연 및 무기불연성 섬유를 혼합한 것으로 한다. 4)자외선 및 방사선 노출에 영향을 받지 않도록 한다. 5)유성이 아니고 수성이어야 한다. 6)습기가 스며들지 않아야 하며 반영구적이어야 한다.

또한 난연도료 도포의 필요성으로는 화재는 이미 알려진 바와 같이 일순간에 귀중한 재산을 재로 만들 뿐만 아니라 경우에 따라서는 인명까지 빼앗은 재해의 하나이다. 문명의 발전과는 달리 화재발생 건수는 상승하는 역현상을 나타내고 있고 특히 최근에는 대규모로 발생되고 있다. 화재의 확대 원인으로서 포설된 케이블은 화재시의 연소모체로 된다는 사실이 밝혀져 각 방면에서 주목을 받고 있으며 이 구름케이블이 일단 발화하면 피복 및 절연재료가 석유계 유기물로 열에 약하고 연소 시 연료로 되어 연료를 보급하는 현상이 일어나게 되므로 화재는 더욱 더 확대하게 된다. 이와 같이 화재가 일어날 경우 2차 피해를 야기시키는 것을 방지하기 위해서는 필히 연소방지재를 사용하여 화재확대 방지를 해야 한다.

현재 사용중인 케이블 연소방지재의 재료에 대한 평가 항목은 석면함유여부, 수직불꽃시험, 산소지수, 저염소시험(할로겐화수소), 냉열특성, 굴곡특성, 발연농도, 케이블 허용전류저감률, 내염수성, 내후성, 내유성시험 등을 ASTM, IEC, KS 및 안전구매시방서의 규격을 기본으로 평가하게 되어 있다.

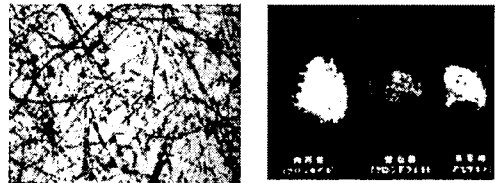
따라서 본 평가 기술에서는 주요재료시험에 대한 시험방법을 검토하고 시험에 적용하여 성능 평가시험 시 문제점을 도출하고 시험방법을 정립하여 난연도료의 주 생산업체인 A, B, C, D사의 제품을 비교 평가하였다.

2. 평가 시험

2.1 석면함유여부 시험

석면은 마그네슘과 규소를 포함하고 있는 광물질로서 솜과 같이 부드럽고, 길고 가늘고, 강한 섬유로 되어 있고, 내화성이 강하고 마찰에 잘 견딜 수 있으며 화학약품에 대한 저항성이 강하고 전기에 대한 절연성이 있으므로 여러 업종에서 많이 쓰이고 있다. 일반 사람들은 흔히 석면과 암면 유리섬유 등을 서로 혼동하는 경우가 많으나 석면은 암면이나 유리섬유와는 완전히 다르고 특히 석면은 사람에게 암을 유발시키는 무서운 물질로 알려져 있다. 석면의 분진을 장기간에 호흡기를 통해 흡수함에 따라 석면폐(폐선유증), 폐암악성종괴 등이 발생함이 밝혀졌다. 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 '석면이란 섬유상의 백석면 (Chrysotile), 청석면(Crocidolite), 갈석면(Amosite 또는 황석면), 안토필라이트, 트레모라이트 또는 액티노라이트'라고 정의하고 있다. 섬유를 위상차 현미경으로 관찰할 때 "길이 5 μ m 이상이고 Aspect Ratio (길이 대 폭의 비) 3:1 이상인 입자상 물질" 이라고 정의하고 있다. 석면의 종류는 다양하여 30가지가 넘는다고 하나 일반적으로는 사문석(Serpentine) 계통인 백석면과 각섬석(Amphibole) 계통인 청석면과 갈석면 등 3가지가 상업적으로 중요하며, 세계적으로 생산량은 백석면이 95% 이상을 차지한다.

대표적인 석면의 종류와 구성성분으로는 다음과 같다.
사문석(Serpentine Group) : $Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$
각섬석(Amphibole Group) : $Na_2Fe_3Fe_2(Si_8O_{22})(OH,F)_2$
청석면(Crocidolite) : $(Mg,Fe)_7(Si_8O_{22})(OH,F)_2$



대표적인 석면의 사진

본 평가시험에서는 도료를 1000 $^{\circ}$ C 정도에서 태운 후, SEM(주사전자현미경)으로 입자를 확인하고 EDX로 주성분인 Mg Si, Fe 등을 분석하여 석면의 존재여부를 확인한다.

2.2 수직불꽃 시험

케이블의 외피는 외부로부터 유입되는 수분 및 이온성 불순물, 절연층의 보호, 수분에 의한 중성선 부식의 최소화를 위하여 사용하고 있다. 주로 PVC를 사용하고 있으나 난연성 전력케이블에는 화재 발생 시 유출되는 인체에 해로운 염소가스 때문에 폴리올레핀 계열을 사용하고 있다. 수직불꽃시험은 절연체 및 시스가 연소되더라도 화재를 파급시키지 않는다는 것을 입증하는 시험으로서 22.9kV CN/CV 325mm의 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포하고 설치조건과 비슷한 상태에서 시험을 하여야

한다.

시험은 자연통풍이 되는 실내 혹은 과도한 통풍 및 기류가 없는 차폐된 곳에서 행하며, 깊이 7.5cm, 너비 30cm, 길이 2.4m 수직형 금속제 사다리 형태의 tray에 중심부만에 케이블을 단층으로 배열하고 케이블 직경의 1/2 정도 이격하여 나머지 부분에 시험시료를 배열하고, 리본 가스 버너는 38cm 길이의 불꽃을 tray 격자 사이의 시료 중심에 가해지도록 하며, 버너면은 시료 표면으로부터 7.5cm 간격으로 수직 tray 바닥에서 약 60cm 높이에 수평으로 장치한다. 불꽃온도는 열전대를 불꽃에 근접하여 시료의 표면에 접촉하지 않도록 약 3mm 이격하여 측정하였을 때 약 816℃ 이어야 한다. 시험은 20분간 행한다. 버너의 불을 끈 후 계속해서 타는 케이블은 계속 타게 방치한 후 연소 길이와 연소시간을 측정한다.

2.3 산소지수 시험

산소지수법에 의해 연소성을 측정하는 방법으로서 KS M 3032에 따른다. 길이 70~150mm, 나비 6.5±0.5mm, 두께 3.0±0.5mm의 시편에 대하여 시험한다. 시편의 추정 산소 농도부터 시험을 시작한다. 점화기의 앞 끝을 위로 향하게 했을 때의 불꽃 길이를 15~20mm로 조절한 후 30초 동안 가스를 방출한 다음 시편 상단에 점화한다. 이때 시편 상단 전체에 불이 붙어 불꽃 모양으로 연소하는 것을 확인한 후 불꽃을 제거하고 즉시 연소 시간과 동시에 연소길이 측정을 시작한다. 시편의 연소시간이 3분 이상 계속해서 연소하든지 또는 불이 붙은 후의 연소 길이가 50mm 이상 계속해서 연소하는데 필요한 최저의 산소 유량과 질소 유량을 확인하며 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{산소 지수} = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100$$

O₂ : 산소의 유량 (L/min)
N₂ : 질소의 유량 (L/min)

2.4 저염소시험 (할로젠화수소)

난연도료에 사용되는 Cl 및 F 가스의 함량을 측정하는 것으로서 건조시킨 도료를 IEC 60754-2에서 정한 장치에 0.1mg의 정확도로 측정하여 연소보트에 넣고 연소 튜브 속으로 밀어 넣는다. 800±10℃에서 20분간 연소시킨다. 연소 후 증류수에 포집된 용액과 세척액의 양을 1000ml로 만든다. 용액을 MILLEX HV 25mm 0.45µm PVDF로 필터한 후에 이 여액을 IC (Ion Chromatography Dionex 2000i)를 이용하여 sample 안에 포함된 F, Cl의 성분을 정성·정량분석 하여 HCl은 350mg/g 이하, HF는 200mg/g 이하 이어야 한다.

· 분석조건
-컬럼

Column : IonPac AS9-HC 4mm +IonPac AG9-HC
Eluent : 9mM Sodium carbonate
Flow Rate : 0.8ml/min
Peaks : Fluoride (5.00min)

Chloride (9.16min)

-서프्रेस

ASRS-UITRA 4mm를 Chemical Mode로 사용
50mN H₂SO₄(98% H₂SO₄), Background conductivity : 24-30 µs

2.5 냉열특성시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 온도변화에 대한 특성을 측정하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료를 -15℃ 이하의 저온용기에서 24시간 경과 후 다시 80℃로 가온시켜 24시간 경과시키는 열 사이클을 2회 반복한 다음 갈라짐 부풀음, 벗겨짐 및 연화 발생 등의 유무를 확인한다.

2.6 굴곡특성시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 굴곡에 대한 특성을 측정하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료를 케이블 외경의 20배를 갖는 원통에 시료를 감아 180°로 구부렸다가 다시 반대로 180°로 구부림을 1회 반복하여 이상 유무를 확인한다.

2.7 연기밀도 시험

난연도료의 연소 시 연기에 대한 밀도를 측정하는 시험으로서 ASTM E 662에 따른다. 가로, 세로가 76.2 +0, -0.8mm인 시편 3개에 대하여 시험한다. 시편은 60℃에서 24시간동안 건조시킨 후 항온 항습 상태로 보관을 한다. 3개의 시험 중 한 개라도 50% 정도의 최소결과 값을 초과가 발생할 시에는 3개의 시편에 대하여 추가로 실시 후 6개의 결과를 평균한다. 연기밀도 시험은 flame과 non-flame mode가 있으나 본 시험은 flame mode만을 실시하였다. 시험에 앞서 각 시편의 무게를 기록하여 측정값의 변수를 확인한다. 시험은 20분 또는 최소 투과율에 도달하여 3분간 지속될 때까지 하며, 20분 동안 최소 값에 도달하지 않으면 시험을 계속 하여 최소 값이 3분간 지속될 때까지 실시하며 다음 식에 따라 계산하여 400이하이어야 한다.

$$\text{연기밀도}(D_s) = (G[\log_{10}(100/T) + F])$$

G=V/AL
V=밀폐된 방의 체적, m³
A=시험편의 노출면적, m²
L=연기를 통과하는 빛의 길이, m
T=광감지기로부터의 빛투과율(%)
F=다음에 의한다:

- (1) 만일 옮길 수 있는 필터가 빛 경로에 있다면, T(실제투과도)는 측정되어지고 'F=0'이다.
- (2) 필터가 빛 경로 밖에 있다면, T(정보기투과도)는 측정되고 'F=필터의 알려진 광학밀도'이다.
- (3) 만일 옮길 수 있는 필터로 갖추어지지 않았다면, F=0이고 T는 실제 투과도이다

2.8 케이블 허용전류 저감률 시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 열의 발산을 확인하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료와 도포하지 않은 시료에 전류를 통하여 온도를 상승시켜 두 시료간의 온도차를 측정하여 온도차가 3% 이내이어야 한다.

2.9 내염수성 시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 염수에 안정한가를 확인하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료를 3% 식염수를 40℃로 일정하게 하고 시료를 완전하게 침수하여 10일간 방치하고 꺼내어 대기 중에서 24시간 보관 후 이상 유무를 확인한다.

2.10 내후성 시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 햇빛, 빗물 온도 등에 안정한가를 확인하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료를 내후성시험기에 400시간 폭로 후 이상 유무를 확인한다.

2.11 내유성 시험

케이블에 난연도료를 도포한 후 기름에 안정한가를 확인하는 시험으로서, 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포한 시료를 전기절연유 1종 2호에 70℃에서 2일간 시료를 침유시키고 꺼내어 대기 중에서 24시간 보관 후 이상 유무를 확인한다.

3. 평가 시험결과 및 고찰

3.1 석면함유여부 시험

난연도료 10g 정도를 6시간 이상 태워서 유기물을 분해한 후, 재를 가지고 SEM으로 형상을 확인하고 및 EDX로 성분을 분석한 결과 석면의 주성분인 Mg 및 Si 는 검출 되지 않았다

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
석면이 포함되지 않을 것	미검출	미검출	미검출	미검출

3.2 수직불꽃시험

시료의 수는 3개로 하였으며, 325mm의 케이블에 대한 시험으로서 표와 같이 연소길이는 600~700mm, 연소시간은 1초~5분의 분포를 나타내고 있다. B사의 연소시간은 절연체 내부까지 불꽃의 영향을 받아 연소가 지속되었으며, 난연도료가 발포하여 공기를 차단하므로 불꽃은 더 이상 확산되지는 않았다.

시 험 기 준	구분	시 험 결 과			
		A 사	B 사	C 사	D 사
불꽃 위 상부 케 이블의 tray 전체 높이까지 연소하지 않을 것	연소길이	600 mm	700 mm	700 mm	600 mm
	연소시간	2분	5분	5 초	1 초

3.3 산소지수 시험

추정 산소농도는 경협상 33부터 시작하였다. 표와 같이 산소지수는 35~60이상의 분포를 나타내고 있다. 특히 B 및 C사는 기준인 30의 두배인 60 이상의 측정값을 나타내어 시험을 중단하였다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
30 이상	60 이상	60 이상	35	44

3.4 저염소시험(할로겐화수소)

침전물을 제거하기 위하여 PVDF로 필터를 하였다. 표와 같이 HCl 함량은 1.8~74.8, HF 함량은 0.4~129의 다양한 분포를 나타냈으며, 이는 도료속의 난연제 조성이 업체마다 다양함을 보여주고 있다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
HCl 함량 350mg/g 이하	1.8	29.7	25.7	74.8
HF 함량 200mg/g 이하	0.4	3.1	2.9	129

3.5 냉열 및 굴곡특성시험

시료의 수는 3개로 하였다. 냉열 및 굴곡특성은 표와 같이 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐, 연화발생 등이 나타나지 않았다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
냉열, 이상이 없을 것	이상없음			
굴곡, 이상이 없을 것	이상없음			

3.6 발연농도시험

시료의 수는 3개로 하였다. 표와 같이 발연농도는 152~284의 분포를 나타내고 있다. 이는 시료제작 시 두께와 무게의 차이에 의해 다소 차이가 있는 것으로 생각된다.

다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
150 이하 (flame mode)	253	284	152	244

3.7 케이블 허용전류 저감률 시험

주위환경에 따라 측정값에 차이가 있을 수 있으므로 실내에서 측정을 하였다. 표와 같이 0.045~1.3의 분포를 나타내는 것과 같이 도포 전후의 온도차는 미미한 것으로 보인다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
3% 이하	0.045	0.22	1.3	0.58

3.8 내염수성시험

시료의 수는 3개로 하였다. 시료를 처음 꺼냈을 때는 약간 부풀어 올랐으나 24시간 방치 후에는 표와 같이 갈라짐, 부풀음, 벗겨짐, 연화발생 등이 나타나지 않았다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
이상이 없을 것	이상없음			

3.9 내후성시험

시료의 수는 3개로 하였다. 표와 같이 갈라짐, 부풀음, 거짐, 연화발생 등이 나타나지 않았다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
이상이 없을 것	이상없음			

3.10 내유성시험

시료의 수는 3개로 하였다. 표와 같이 갈라짐, 부풀음, 거짐, 연화발생 등이 나타나지 않았다.

시 험 기 준	시 험 결 과			
	A 사	B 사	C 사	D 사
이상이 없을 것	이상없음			

4. 결 론

중에서 사용되는 배전케이블은 절연을 목적으로 고분자 재료를 사용한다. 최근에는 케이블을 보호하는 시스의 재질을 난연성능이 우수한 폴리올레핀을 사용하고 있지만, 그 이전에는 PVC를 사용하였다. PVC는 화재시 많은 유독가스를 발생하여 귀중한 생명까지도 빼앗는 일이 종종 일어나고 있다. 본 시험평가에서는 22.9kV CN/CV 325mm의 케이블에 난연도료를 1.0mm 이내로 도포하고 설치조건과 비슷한 상태에서 시험을 하였고, 기타 재료시험은 도료를 건조시키거나 태워서 평가하였다. A, B, C, D 사 제품의 재료에 대한 성능평가 시험결과 우수한 재료의 사용으로 시험기준에 모두 만족을 하였다.

[참고 문헌]

- [1] "Determination of the amount of halogen acid gas", IEC 60754-1, 1994
- [2] "Specific optical density of smoke generated by solid materials", ASTM E 662-97
- [3] "산소지수법에 의한 고분자 재료의 연소시험방법", KS M 3032, 1995
- [4] 한전 배전기자재 구매시방서 "케이블 연소방지제