

브래킷 애자의 오염에 따른 연면방전 위험성과 전기화재
The risk of surface discharge and
electric fire due to contamination on bracket insulators

송길목 · 방선배 · 김종민 · 김영석 · 최명일

Kil-Mok Shong, Sun-Bae Bang, Jong-Min Kim, Young-Seog Kim,
Myung-Il Choi

요 약

브래킷애자의 오염에 따른 위험성을 분석하였으며, 연면방전이 화재에 이르는 과정을 실험을 통해 입증하였다. 애자의 표면에 절연구리스를 바르는 경우에는 분진이나 오염물질이 부착되어 누설전류가 쉽게 흐를 수 있는 구조로 되어 있다. 결과에서는 현장에서 적용가능한 방법으로 3가지의 개선을 제시하였다. 공공의 서비스를 위해 전차 선로의 안전을 확보하는 것은 매우 중요하며, 본 연구를 통해 좀 더 안전한 사용이 될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this study, the risk on the contamination of the bracket insulators were investigated and surface discharge process leading to the fire is verified. If the insulator surface is coated by the grease, dust and contaminants likely to be attached, Leakage current to flow easily.

In these results, the improvement of three methods have been proposed for the apply to the field. It is very important to ensure the safety for the service of electrical safety. For the public service, it's important to safety of railroad. Through this study, it is expected to be safer.

Keywords : Surface discharge, Bracket insulator, Electric fire, Contact angle

1. 서 론

전력설비는 산업이 발달하면서 전기에너지를 전달하는데 매우 중요한 설비 중 하나이다. 최근 산업현장은 무정전 상태에서 설비를 검사하고자 하는 경향을 보이고 있으며, 따라서 전력설비가 무리되지 않는 범위내에서 사용자의 안전을 확보하기 위한 노력이 절실하다.

애자는 전력을 이동시키는데 있어서 절연을 확보하고 기계적으로 지지하기 위한 역할을 수행한다. 브래킷애자의 경우에도 형태는 다르나 그 목적은 절연확보와 기구물의 지지에 있다. 브래킷애자가 많이 사용되는 곳은 특수한 환경에 있는 전력케이블로서 전차선로가 있는 터널내부 등에 주로 이용되고 있다. 국내의 애자는 과거 자기애자가 주로 사용되었으나 경량성, 경제성, 절연성이 우수한 폴리머애자로 바뀌는 추세이다. 폴리머 애자의 평가는 IEC61109 salt fog test(1,000h), Ontario Hydro의 tracking wheel test(TWT)가 이용되었으며, 재료 표면의 특성을 평가하기 위해 ASTM D 2303 경사면 시험, ASTM D 2132 먼지 및 안개시험, VDE 0278에 의한 기후 특성 시험 등이 주로 이용되었다. 이는 대부분 실험실의 조건에서 가능한 것으로 실제 각국의 현장에서는 다른 특성을 가질 것으로 판단된다. 특히 국내의 경우에도 3면이 바다로 되어 있고 사계에 따라 대륙 또는 해양에서 부는 바람의 특성과 황사, 공해의 영향 등을 고려하여 각 지역의 상태를 평가할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 터널구간 전차선로 애자류 오염도 분석을 위해 오염물질이 부착된 애자를 채취하여 그 특성을 분석하였다. 연구의 목적은 터널내부에 설치된 각종 애자류에 대한 오염도 특성과 연면방전에 의해 위험성을 내포하는 것을 입증하고 예방법에 대한 제시를 하고자 하였다.

2. 애자의 특성과 분석방법

2.1 실리콘 고무 폴리머 애자의 특성

터널구간의 애자로 사용되는 폴리머애자는 안정적인 전력공급을 위한 절연역할 및 트롤리선을 기계적으로 지지하는 역할을 수행한다. 애자와 같은 절연물의 절연 성능에 영향을 주는 인자들은 절연물의 형상, 오손된 정도, 오손 물질의 종류, 절연물의 표면

재질, 표면에서 오손액(물)의 유동성과 drop형상 등 다양하다. 사용중인 절연물의 섬락사고는 오손물질과 습도가 결정적인 기여를 한다. 절연물의 표면을 통하여 흐르는 누설전류값은 표면이 건조할 때와 젖어 있을 때가 크게 다르다. 오손물질의 종류나 오손정도에 따라 다르지만 오손이 심할수록 건조상태에서의 누설전류값에 비하여 젖은 상태에서의 누설전류값이 훨씬 크게 증가하므로 표면의 젖음성(wettability)이 매우 중요하다.

절연물 표면에서의 물의 형상은 표면의 재질에 따라서 필름형태로 퍼지기도 하고 물방울 형태로 뭉치기도 한다. 물의 표면에너지는 73 dyne/cm로서 자기(porcelain)나 유리(glass)재질의 표면에너지보다는 작고 유기 고분자의 표면에너지보다는 크다. 따라서 자기 표면에 있는 물은 필름 형태로 퍼지며 고분자 표면에서의 물은 둥근 형태로 뭉친다.

젖음성의 정도는 일반적으로 접촉각을 측정하여 나타낸다. 고분자 물질의 표면에너지는 대부분 물보다 낮아 그 표면에 있는 물은 둥근 형태로 존재하는데 고분자 물질의 종류에 따라라도 표면 에너지값이 다르므로 접촉각도 다르다. 절연물과 관련된 고분자 재료들의 표면에너지를 표 2-4에 정리하였다.

표 1. 절연물과 관련된 고분자물질들의 표면에너지

Materials	Surface Energy(dynes/cm)
H ₂ O	73
General polymers	30~60
Epoxy	34~46
EPDM	34
EP rubber	33
PE, PP	32
Teflon	23
Organic liquids	20~40
Silicone(PDMS)	20~23
Silicone fluid	17~19
Gases	0~10

오손 물질이 표면에 축적된 후 가랑비나 안개(특히 연무)등에 의해 습윤 상태로 바뀌면 오손물질 중에서 수용성인 것은 용해되므로 표면누설 전류가 크게 증가하게 된다. 이런 상황이 되면 절연물 표면의 전계분포가 일정치 않고 저항이 높은 부위의 열

발생이 많으므로 그 부분의 수분이 빨리 증발하여 건조대를 형성한다. 이렇게 되면 그 양단에 상당히 큰 전압이 걸리므로 아크방전이 수반되면서 절연물 표면 재질의 열화는 더욱 가속화되어 절연내력이 점점 약해진다. 방전크기는 건조대 크기, 오손정도, 물의 상태 등에 영향을 받으며 절연물 표면의 절연내력이 양극간의 전위차를 견디지 못할 때 섬락으로 이어진다. 건조대에 의한 방전과 아크 발생은 전계 강도, 절연물 형상, 오손 상태 등에 의존하지만 누설전류의 증가로부터 시작되는 일련의 과정은 절연물의 재료특성에 더욱 많이 의존하는 것으로 볼 수가 있다.

보고된 연구결과에 의하면, 같은 누설거리를 가진 자기와 실리콘 고무를 인공오손시킨 뒤 연무밀도(fog density)에 따라 파괴까지의 절연내력을 측정한 결과, 실리콘 고무가 훨씬 낮은 표면누설값을 보이며, 2배나 높은 절연내력을 가지는 것으로 보고하고 있다. 또한 사용 중에 재질의 화학적 변화가 수반되는 상황에서 발수성이 어떻게 변할 것인가 하는 것은 절연물의 수명, 신뢰성과 관계가 있다. 철도공사에서 운용되고 있는 폴리머애자는 실리콘 재질의 애자로서 우수한 발수성 특성을 가질 것으로 추측된다. 하지만, 옥외용 고분자 재료의 가장 큰 단점은 내열성과 내후특성이 좋지 않다는 것이다. 갓(shed) 형태의 고무소재는 태양광, 물 등에 오염되고, 사용 환경에 따라 염분, 매연, 분진, 특수화학물질 등으로 크게 다르며 이들 물질이 고분자 분해의 촉매 역할을 할 수 있으며 일정하게 오손이 되면 태양광을 차폐하는 역할도 한다. 또한, 전기적 피로는 항상 가해지고 있다. 사용 중인 절연물의 전기적 피로 정도는 전압과 절연물의 형상에 따라 영향을 받지만 열화에 의한 표면 다공성(porosity), 일명 엠보싱 변화, 표면 오염물질의 종류와 누적상태, 물의 기여 형태 등에 따라서도 크게 변한다.

옥외에 설치된 고전압 절연물은 전기적 피로가 늘 가해지고 있는 상태이고 오손 물질의 누적과 자연세정이 반복되고 있는가 하면, 물이 비나 안개 등의 형태로 부정기적으로 표면을 적시는 환경에 놓여 있다. 오손물질이 수용성 염(NaCl)이나 바닷물에 직접 노출되는 환경이면 트래킹(tracking)이 일어날 가능성이 매우 높게 된다.

2.2 접촉각 측정과 평가방법

절연재료의 표면발수특성을 확인하는데 매우 유용하게 이용되는 방법으로 접촉각 측정법(Contact angle measurement)이 있다. 이 방법은 실물수거시 분무 또는 주사

기(syringe)에 의해 물방울을 떨어트려 그 접촉각을 현미경으로 촬영하여 분석하는 방법으로 최근에는 접촉각을 측정할 수 있는 소프트웨어가 많이 개발되어 사용되고 있다. 그림 2는 접촉각 측정시스템의 외형을 나타낸 것이다.



그림 2. 접촉각 측정시스템의 외형을 나타낸 것이다.

접촉각을 측정하기 위해서 표면에 일정량의 물방울을 적하한 후 표면에 맺히는 각도를 측정한다. 발수성이 우수한 경우 접촉각이 커지는 특성을 가지며, 친수성의 표면일수록 접촉각이 작아지는 경향을 가진다. 따라서 이러한 특성을 평가하여 터널 오염지역의 절연표면 특성을 해석하는데 이용된다. 본 분석의 가장 큰 장점은 분진의 흡수성이 좋은 경우 절연재료 표면이 쉽게 오염되어 절연성능을 저하시키는 역할을 하기 때문에 이를 쉽게 판단할 수 있는 근거가 된다는 데 있다.

터널구간 애자류의 접촉각 측정에 따른 발수성을 검토하여 애자의 열화정도를 고려해 볼 필요가 있다. 현 시점에서 터널구간내의 애자가 모두 확보되지 않아 접촉각을 측정하기 곤란하다. 단, 여기서는 접촉각 측정방법, 발수성에 대한 특성등에 대해 서술한다.

그림 3은 절연재료 표면에 액체방울을 떨어트려 측정하는 방법 중 sessile drop method을 나타낸 것이다. 고체표면에 액체방울을 떨어뜨리면 표면에너지(surface energy) 및 계면장력(interface energy)의 균형에 의해 액체방울은 특정한 형태(곡면)을 나타낸다. 이때 액체의 표면 접선과 액체-고체간에 계면이 이루는 각을 접촉각(contact angle)이라 한다.

여기서 접촉각(θ)의 젖음 정도에 있어서 $\theta = 0^\circ$ 일 때는 액체는 고체표면에 완전히 퍼지고 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 일 때는 젖으며 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 일 때는 젖지 않는다. 그리고

$\theta = 180^{\circ}$ 일 때는 완전히 젖지 않는다. 저전압 절연재료의 경우는 $0^{\circ} < \theta < 90^{\circ}$ 의 젖음(wetting)의 상태를 가진다.

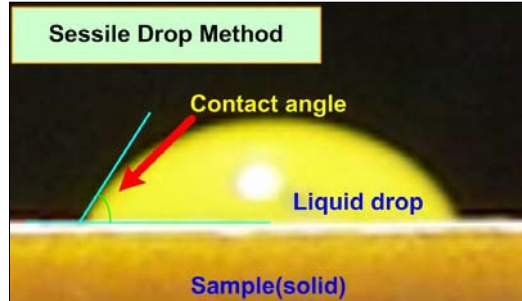


그림 3. 접촉각 측정에 대한 개략도

발수성은 스웨덴 STRI(Swedish Trans-mission Research Institute)에서 고분자애자의 절연성능 평가에 활용하고 있는 방법이다. STRI방법은 스프레이로 애자의 표면에 $25 \pm 10\text{cm}$ 의 거리에서 초당 1~2회씩 20~30초 동안 분무하여 애자의 표면에 형성되는 접촉각을 기준으로 판단한다. 표 2는 발수성 분류의 기준을 나타낸다. 여기서, HC-1등급은 완전한 발수성을 그리고 HC-7등급은 완전한 친수성을 의미하는 것으로서 7등급으로 구분하고 있다.

표 2. 발수성 분류의 기준

HC	기준
1	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 80° 또는 이상
2	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 $50^{\circ} < \theta < 80^{\circ}$
3	완전히 고립된 물방울 형성 대부분 물방울의 접촉각이 $20^{\circ} < \theta < 50^{\circ}$ 물방울이 일반적으로 원형이 아님
4	고립된 물방울과 연결된 물방울(젖음성, $\theta = 0^{\circ}$)이 동시에 형성 완전히 젖음성을 띠는 면적이 2cm^2 보다 작음 고립된 물방울과 연결된 물방울 면적이 시험면적의 90% 이하
5	젖음성을 띠는 면적 또는 수막이 2cm^2 보다 크고, 이것이 시험면적의 90%이하
6	젖음성을 띠는 면적 또는 수막이 90%이상이나, 젖지 않은 면적이 관찰됨
7	시험면적 전체에 수막이 형성됨

2.3 애자 표면의 접촉각 측정

표면 발수 특성을 확인하기 위한 가장 좋은 방법의 하나로 접촉각을 측정하는 것이다. 대상은 폴리머 브래킷 애자를 대상으로 하였다.

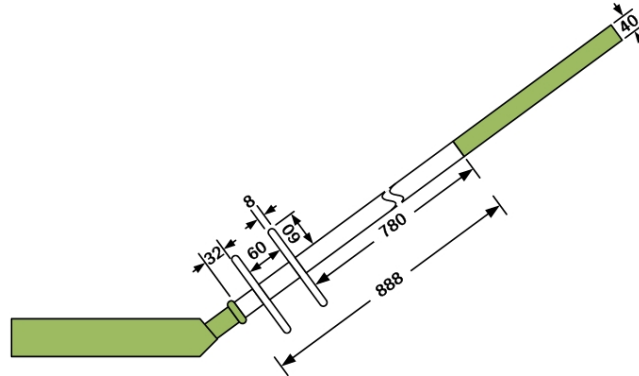


그림 4. 폴리머 브래킷 애자의 형태

그림에서 알 수 있듯이 총 직선거리는 888mm이며, 이때 연면거리는 1,028mm이다. 이는 22.9kV 수전설비내의 연면거리에 비하면 약 3배 강화된 연면거리임을 알 수 있다. 방전거리에 있어서도 968mm이므로 절연성능은 매우 높은 수준으로 확보된 것을 알 수 있다. 또한, 절연재의 표면적은 192,921.6mm²으로 1,929,216cm²으로 환산된다.

용액을 적하시킨 후 그때의 접촉각을 측정하여 발수 특성을 확인하는 것으로 애자의 표면에 용액을 적하하여 각각의 애자에 대해 접촉각을 5회 이상 측정하고 가장 큰 값과 작은 값을 버린 후 평균으로 평가하였다. 그림 5는 현장에서 채취한 애자의 표면에 대해 용액을 각각 적하한 이미지이다.

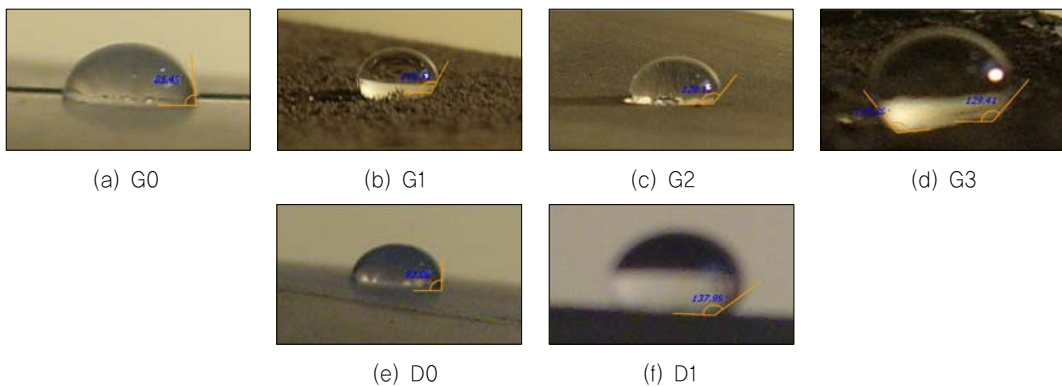


그림 5. 애자 표면에 적하하여 각도를 촬영한 이미지

표 3. 애자에 따른 접촉각과 평가

구분	접촉각, °	평균, °	HC	평가
G0	85.49	80.25	2	- 발수성이 저하 - 세정 필요
	79.35			
	75.92			
G1	106.84	111.01	1	- 발수성이 저하되지는 않음 - 절연구리스의 영향 있음
	118.52			
	107.68			
G2	106.85	116.51	1	- 발수성 - 절연구리스 영향 있음
	128.12			
	114.56			
G3	129.41	130.14	1	- 발수성 - 절연구리스 영향 있음
	141.71			
	119.30			
D0	93.08	78.09	2	- 표면 발수성의 변화가 발생
	68.81			
	72.38			
D1	122.83	126.36	1	- 발수성 - 절연구리스 영향 있음
	137.99			
	118.25			

절연구리스의 영향으로 인해 실제 발수특성이 좋은 것으로 나타났다. 특히 터널 내부에 수분이 다수 존재하는 특성을 고려할 때 절연성능 향상에 기여하기에 충분하다. 그러나 표면에 부착된 오염물의 영향이 크므로 이에 대한 평가와 종합적인 분석이 동시에 이루어져야 할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 세정된 상태에서의 표면특성은 HC2에 해당되었다. 따라서 표면에 부착된 오염물에 의해 나타날 수 있는 전기적 특성을 확인하기 위해 전압을 상승시키면서 실제 수분이 주변에 발생되었을 경우를 모의하여 전기적 특성을 확인하였다.

2.4 애자 표면에서의 절연파괴 특성

절연성능이 확인되는 방법으로 육안을 통해 미소불꽃방전이 지속적으로 발생하는지의 여부를 확인하였다. 또한, 절연파괴전압을 확인하고 이에 대한 평가를 실시하였다.

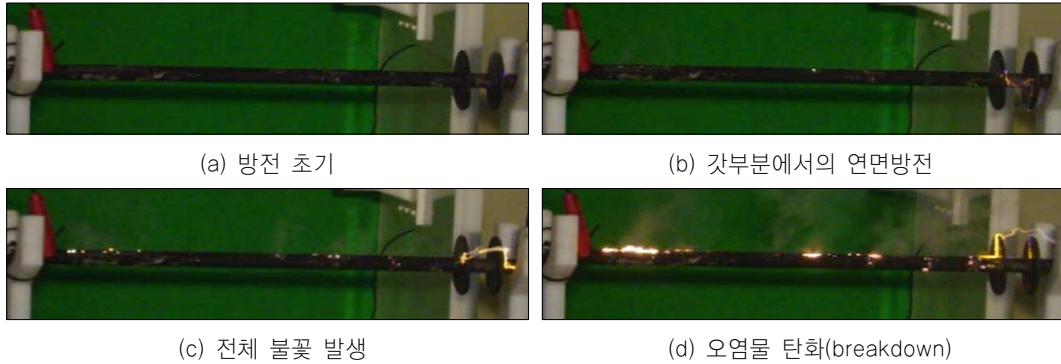


그림 6. 절연구리스가 도포된 애자의 내전압 시험

방전초기에서는 불꽃이 간헐적으로 발생하였으며, 갯에서부터 연면방전에 의한 방전로가 확인되면서 바(bar) 부분에서는 불꽃발생이 많아졌다. 전체적으로 지속적인 불꽃이 발생하는 시점에서는 갯 부분에서는 기중방전으로 이어지는 경우가 관찰되었으며, 탄화에 의한 연기와 불꽃이 커짐을 확인하였다. 이후 오염물이 탄화되면서 이탈되거나 화재로 이어지는 과정을 거친 후 절연파괴에 이르는 것으로 나타났다.

표 4. 애자에 따른 절연파괴 특성과 비교

애자구분	오염상태		미소방전전압 [kV]		절연파괴전압, [kV]		특징
			건조	수분	건조	수분	
2 cells 폴리머 브래킷 애자	G0	- greece : ≒0% - dust : ≒0%	-	-	>150	>150	- 세정 후 실험
	G1	- greece : < 5% - dust : > 90%	-	15±5	>150	>150	- 절연구리스가 얇게 도포되어 있음(10/17)
	G2	- greece : < 30% - dust : > 70%	-	100±10	>150	>150	- 절연구리스 내부에 분진이 완전 스며듦
	G3	- greece : < 50% - dust : > 50%	60±5	45±5	93 105 105.2	100 100.5 100.5	- 절연구리스가 내부에 굉장히 많이 남아 있음
12cells "	D0	- dust : ≒0%	-	-	>150	>150	- 세정 후 실험
	D1	- dust : 100%	-	60±10	>150	>150	- 절연구리스 도포가 없음

세정 후 실험에서는 애자의 표면이 정상상태로서 실제 오염물이 부착되지 않아 미소방전이 발생하지 않았으며, 기중에 의한 영향이 우선되는 것으로 판단된다.



그림 7. 연면방전에 의한 화재 진행

미소방전이 발생하는 전압에서 보면, G3인 경우 절연이 매우 열악한 것으로 확인되었다. 주변이 수분이 포화된 경우에는 충분히 절연파괴로 이어질 수 있음을 확인하였다. 또한, G1에서 수분이 주변에 있는 경우 사용전압 이하에서도 충분히 불꽃이 발생함을 확인하였다. 절연파괴에 까지 이르는 데는 충분한 절연내력을 가지고 있으나 실제 계통상에 문제를 일으키는 데는 사용전압 이하인 것으로 판단된다. 절연구리스가 도포되어 있지 않아도 오염물이 다수 표면에 있는 경우 절연성능은 현격히 저하되는 것을 확인하였다. 따라서 육안으로는 관찰되지 않으나 G1, G2, G3인 경우에는 매우 낮은 전압에서 누설전류가 흐르는 것으로 판단된다. 이에 따라 급격한 절연성능저하가 우려된다. 현장에서 절연구리스를 도포한 경우에는 그러하지 않은 경우보다 절연파괴로 인한 고장장애가 적다고 하였으나 실험을 통해 보면 전계에 의한 절연파괴 가능성은 낮으나 누설전류에 의한 영향은 클 것으로 추정된다.

절연구리스의 경우 단기적으로는 도움이 될 수 있으나 장기적으로는 절연에 치명적인 문제가 발생할 것으로 확인되었다. 따라서 절연구리스가 필요한 지역은 한정적으로 선정하여 도포하고 관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 많은 절연구리스를 도포한 경우에는 도포하지 않은 경우에 오염물이 쌓이는 것보다 절연성능이 좋지 않은 것으로 나타났다. 따라서 절연구리스를 도포하는 경우에는 적절한 두께로 일정하게 도포하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

2.5 절연구리스 도포방법 개선(안) 제시

터널브래킷(2shell-insulator) 장간애자가 설치되어 있는 절연구리스를 도포한 상태에서 분진이 과다 발생하는 지역은 분진 부착 정도가 매우 심하며, 절연성능이 지역에 따라 개선될 수 있으나 일부 떨어질 가능성이 높은 지역으로 평가되었다.

1안) 절연구리스의 경우 단기적으로는 도움이 되나 장기적으로는 절연에 문제가 발생할 수 있으므로, 지역적 특성상 한정적으로 선정하여 도포하고 관리하여야 하며, 많은 절연구리스를 도포한 경우에는 도포하지 않은 경우에 오염물이 쌓이는 것보다 절연성능이 좋지 않은 것으로 나타났으므로 적절한 두께로 일정하게 도포하는 것이 효과적인 것이며, 연구결과에 현재 도포되는 지역을 바탕으로 적합성을 평가하였다.

2안) 브래킷애자의 절연구리스는 현장에서 매우 많이 사용되고 있다. 도포방법은 지역에 따라 다르나 일반적으로 탄화도전료를 효과적으로 끊고, 분진이 부착되는 것을 최소화하기 위한 방법으로서의 개선이 요구된다.

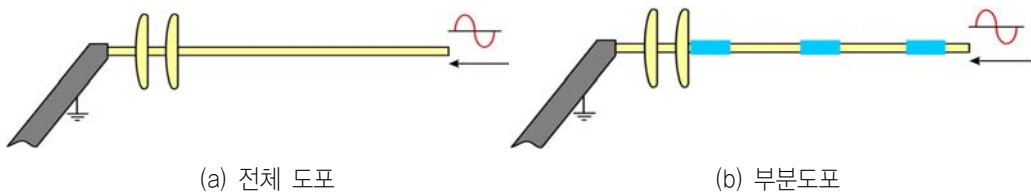


그림 8. 브래킷 애자의 절연구리스 도포방법

3안) 브래킷 애자의 절연구리스 도포를 초기에 하지 않는 방법으로 이는 이동용 플라즈마 코팅장치를 개발해야 된다는 단점을 가지고 있다. 기존 애자의 절연바에 플라즈마 코팅을 실시하여 표면개질이 바뀜으로써 분진이나 수분이 부착되지 않는 장점을 가진다.

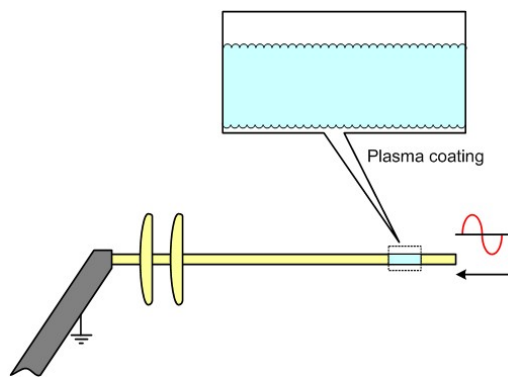


그림 9. 플라즈마 코팅된 표면의 상태

4안) 브래킷관리의 주체가 되는 안전관리자가 주기적으로 절연체 표면의 절연상태와 기계적 특성 등을 분석하여 최적의 시기에 세정 또는 교체하기 위한 정전작업을 수행하는 것이 전기안전을 위해 매우 중요하리라 판단된다.

3. 결 론

절연구리스의 장점은 분진 발생이 심한 지역에서 트래킹이 발생할 때 도전로 형성을 저지하는 효과가 있으며, 실제 애자 표면의 열화를 감소하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 세정시 도포된 절연 구리스의 제거가 어렵고 제거작업시 애자표면이 굽힘이 발생할 우려가 높다. 분진 부착에 따른 상시 누설전류 발생할 수 있으며, 이러한 분진이 분진다수발생지역에서는 폴리머 애자에 쉽게 부착될 수 있는 특성을 가지고 있다. 절연 구리스의 장점으로 누설전류가 흘러 전로가 형성될 시기에 절연 구리스의 유동 특성에 의해 도전로가 형성되지 않은 것은 단기적으로 유용할 수 있으나, 절연 구리스의 단점은 외부 분진 부착이 매우 용이하여 일반상태보다 더 많은 오염물이 부착된다는 것이다. 이로 인해, 오염물 다량 발생지역으로 구분할 경우 절연 구리스의 사용이 현시점에서는 불가피한 사항으로 판단된다.

또한, 절연구리스 도포지역에 있어서도 적정 도포방법을 제시하고 현장에서 적용할 수 있도록 사용지침을 개발하는 것이 필요하다. 특히, 절연을 확보하고 누설전류를 효과적으로 차단하기 위한 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] R. Vogelsang et al., "The Effect of Barriers on Electrical Tree Propagation in Composite Insulation Materials", IEEE Trans. on DEI Vol. 13, No. 1, pp.373-382, Apr. 2006
- [2] B.X. Du, "Effects of Atmospheric Pressure on dc Resistance to Tracking of

- Polymer Insulating Materials", IEEE Trans. on DEI Vol. 12, No. 6, pp.1162-1171, Dec. 2005
- [3] Luiz H. Meyer et al., "A Novel Technique to Evaluate the Erosion Resistance of Silicone Rubber Composites for High Voltage Outdoor Insulation Using Infrared Laser Erosion", IEEE Trans. on DEI Vol. 12, No. 6, pp.1201-1208, Dec. 2005
- [4] B.X. Du, "Discharge Energy and dc Tracking of Organic Insulating Materials", IEEE Trans. DEI Vol. 8, No. 6, pp.897~901, 2001
- [5] ASTM D 3638, "Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials"
- [6] IEC Publ. 60112, "Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd Ed., 1971
- [7] A.Alastuey, X.Querol, A.Chaves, C.R.Ruiz, A.Carratala and A.Lopez-Soler, "Environmental Pollution", pp.106, 359, 1999
- [8] S.Ohta and T.Okita, "Atmospheric Environment", pp.24A, 815, 1990
- [9] IEC 61241-10, "Classification of areas where combustible dusts are or may be present - electrical apparatus for use in the presence of combustible dust", 2006.
- [10] KS C 0223, "환경시험방법(전기·전자) 염수분무시험방법_2005", 기술표준원, 2005.
- [11] 한국전기연구소, "초고압 LSP 개발 및 절연물의 복합열화진단 기술 연구", 과기부보고서, pp.55~58, 1999.
- [12] 한국전력공사, "배전용 실리콘 고무 Composite Insulator 개발", 중간보고서, pp. 103~118, 1996.