

22.9kV-Y 가공선로 지지애자에서의 절연전선의 손상 메커니즘 규명 연구

이병성*, 박철배, 나동채, 이재봉
한전전력연구원*

The Study on Damage Mechanism Analysis of Insulation wire on the Line Post Insulator Using 22.9 kV-Y Overhead Distribution Line

Byung-sung Lee*, Chul-Bae Park, Dong-Chae Na, Jae-Bong Lee
KEPRI KEPCO*

Abstract - 국내 가공배전 선로는 절연전선을 사용하고 있으며, 절연을 위해 세라믹 재질과 폴리머 재질의 지지애자가 사용되고 있다. 지지애자 위의 전선은 진동에 따라 종방향 및 횡방향의 기계적 마찰력을 받고 있으며, 전기적으로 누설전류 및 서지의 영향을 받아 절연피복이 손상된다. 본 연구에서는 지지애자를 통해 흐르는 누설전류에 의해 전선이 손상되는 메커니즘을 규명하여 고장을 예방하고자 하였다. 절연전선은 손상된 부위에서 전류가 집중되어 내부 도체가 용융 단선되었다. 전선단선에 영향을 주는 열화 인자로서 지지애자의 표면 열화상태, 절연전선 피복 손상, 바인드선의 종류 등이 복합적으로 작용하였다.

1. 서 론

국내 가공배전 선로는 안전을 위해 알루미늄 도체가 피복된 절연전선을 사용하고 있으며, 전선과 완금을 절연하기 위해 세라믹 또는 폴리머 재질의 라인포스트애자(이하 지지애자)를 사용한다. 가공배전선로의 절연전선은 수목접촉이나 일시적인 외물접촉의 경우 고장을 예방하는데 효과적이거나, 전기적인 요인에 의해 스트레스가 집중되어 핀 홀이 쉽게 발생하고 지지애자 부근에서 절연전선이 단선되는 고장이 많이 발생하고 있다.

지지애자 위에 고정된 절연전선은 지속적으로 진동하며 애자 상부에서 종방향과 횡방향으로 기계적 마찰 응력을 받아 피복이 손상되기도 한다. 특히 애자 표면이나 애자와 절연전선 사이에 존재하는 오손물은 누설전류를 증가시키고, 절연전선 피복을 전기적으로 손상시켜 단선고장으로 이어지게 된다. 환경적 요인에 의한 서지도 절연전선 피복 손상의 또 다른 요인으로 평가하고 있다.

전선 단선고장을 예방하기 위해 애자에 절연전선을 고정하는 바인드선이 다양한 형태로 개발되었다. 반도전 피복으로 절연전선이 받는 전기적 스트레스를 경감하고, 작업성이 좋게 개발되고 있다.

바인드선은 전선을 고정하는 역할을 하지만 전선을 손상시키지 않아야 하며, 장기간 특성변화가 적도록 신뢰성 확보가 필요하며, 애자 교체 작업이 용이한 구조이어야 한다. 지지애자에 전선을 고정하는 바인드선은 기계적, 전기적, 환경적 스트레스를 지속적으로 받게되므로 이들이 절연전선에 미치는 영향을 평가하는 것은 쉽지 않다.

절연전선이 단선에 미치는 영향에 대한 다양한 시험과 추론이 있었으나 아직까지 명확히 검증 결과는 제시되지 못하였으며, 단선을 예방하기 위한 효과적인 대책도 부족하다. 따라서 본 연구에서는 지지애자를 통해 흐르는 누설전류에 의해 전선이 손상되는 메커니즘을 규명하여 고장을 예방하고자 하였다. 이를 위해 환경에 따라 절연전선이 받는 전기적 스트레스 정도를 분석하였으며, 전기적 스트레스 저감을 위한 대책에 대해 연구하였다.

2. 본 론

2.1 시험 방법 및 시료

2.1.1 시험 방법

바인드는 기계적 및 전기적 영향을 복합적으로 평가하여야 하나, 본 연구에서는 가장 영향이 큰 전기적 평가방법으로 수행하였다. 알루미늄 절연전선(160 mm)을 폴리머 및 자기재 지지애자에 바인드로 고정된 시료를 사용하였다. 전압인가 단자 부분의 누설전류를 감안하여 절연전선의 길이를 2 m로 하였다. 전압을 인가한 상태에서 표면 방전 위치는 저장 기능을 갖는 디지털카메라로 연속 계측하였다.

건조상태에서는 애자 표면에서 방전이 발생하지 않기 때문에 전도도 3000 uS/cm의 물을 애자와 전선 표면에 분무하였다. 또한, 장시간 동안 방전이 지속되도록 하여 절연전선 표면에 전기적 손상이 발생하도록 하였다. 이 때 인가전압은 상용주파 전원으로 주수섬락전압 평균의 80 %

로 하였다.

폴리머애자의 경우 방전이 육안으로 관찰되지 않아 적외선 카메라를 이용하여 방전현상을 관찰하여 비교하였다.

2.1.2 시험 시료

시험에 사용한 자기재 지지애자는 ES-5970-0003의 규격을 만족하는 것으로 상용주파 건조섬락 특성값이 110 kV이며, 주수섬락 특성값이 85 kV이며, 누설거리가 559 mm이다. 폴리머 지지애자는 동일한 전기적 요구 성능으로 누설거리가 712 mm이다.

전선을 고정하는 바인드선은 기존의 절연 피복된 알루미늄 바인드선과 반도전 피복된 강심 정형바인드 2종을 사용하여 비교하였다.

2.2 시험 결과 및 고찰

2.2.1 섬락 전압 시험

상용주파 건조섬락전압 측정은 동일 시료에 대해 7회 반복하여 가장 높은 값과 낮은 값을 제외하고 평균하였다. 시험결과 시료에 섬락을 반복함에 따라 섬락전압값은 바인드 종류에 관계없이 유사하게 나타났다. 표 1에 상용주파 주수섬락전압 측정값을 비교하여 나타내었다.

시험 데이터는 수록하지 않았지만 오손액의 전도도에 따라 섬락전압과 육안으로 관찰된 방전량의 차이가 컸다. 자기재 애자 일부 시료에서 섬락전압 편차가 큰 것은 바인드 종류에 따른 특성이기 보다 주수량과 애자의 표면상태 또는 절연전선 피복의 상태가 영향을 준 것으로 제시됨에서 검증되었다.

뇌충격 섬락전압 시험은 하나의 시료로 하였으며, 50 % 충격섬락전압 값을 측정하였다. 시험결과 바인드 종류에 관계없이 유사한 결과를 보였다. 시험데이터는 별도로 기술하지 않는다.

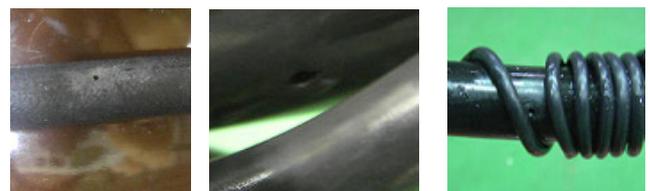
〈표 1〉 주수섬락전압 측정값 비교

	자기재 애자	폴리머 애자	비고
알루미늄 바인드	93	110	
강심 정형바인드 A	93	112	
강심 정형바인드 B	78	115	

2.2.2 손상 분석

주수상태에서 섬락전압의 80 %의 지속적으로 인가한 결과 표면방전에 의한 손상을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림 1은 바인드와 절연전선 부분에서 생성된 핀홀 사진으로 다양한 위치에서 손상이 발생하였다. 알루미늄 바인드는 절연전선과 접하는 부분에 물이 집중되는 부분에서 방전이 많았다. 강심 정형바인드의 경우는 바인드 끝부분에서 방전량이 많았으며, 대체로 전기적 스트레스 집중이 큰 끝 부분에서 절연전선 피복이 손상되는 경우가 많았다.

또한 내부에 강심이 존재하는 정형바인드의 경우 피복이 반도전 성분이지만 최초 손상된 부분에 아크가 집중하게 되어 반도전 피복에도 핀홀이 형성되었다.



(a) 정형바인드 핀홀 (b) 정형바인드 끝부 핀홀 (c) 절연전선 핀홀

〈그림 1〉 바인드 및 절연전선 손상

그림 2는 방전이 발생한 위치를 나타낸 사진이다. 그림에서와 같이 바인드와 애자의 접합부분과 바인드 끝 부분에서 주로 나타났다. 자기계 애자 표면에서의 방전은 오손물의 부착이나 주수 경로에 따라 발생 위치가 상이하며, 표면방전에 의해 쉽게 손상되지 않기 때문에 방전 위치가 이동하는 형태로 나타난다. 그러나 바인드와 절연전선간 또는 절연전선 표면에서 발생하는 방전은 초기에 이동하다가 어느 정도 지속된 이후부터 특정 위치에서 고정되어 발생하기 때문에 전선피복에 손상이 발생한다.



〈그림 2〉 핀홀 부분의 방전 집중

2.2.3 애자 종류에 따른 손상 분석

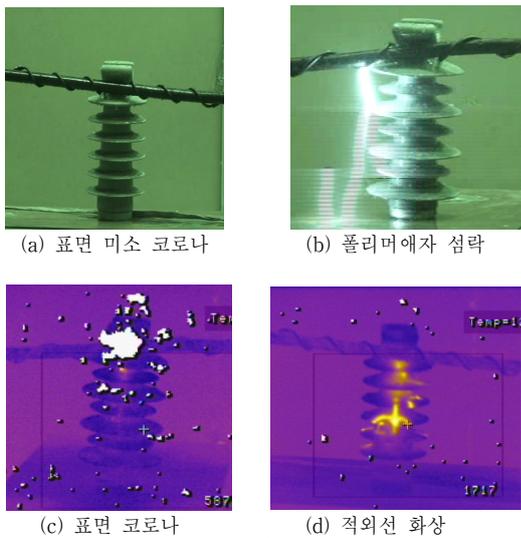
폴리머 지지애자에 시공된 절연전선의 경우에도 자기계 지지애자와 유사한 위치에서 방전이 발생하였고 핀홀을 생성하였다. 그러나 표 2에서와 같이 폴리머애자와 자기계 애자의 누설전류 차에 의해 방전발생 전압이 확연히 차이를 보였다.

동일 조건에서 폴리머가 약 20~30 kV 높은 전압에서 표면방전이 시작되었으며, 상대적으로 방전량도 적었다. 따라서 전선 손상에 주는 방전은 바인드 종류나 형상보다는 애자의 표면 상태가 주는 영향이 큰 것으로 나타났다.

〈표 2〉 상용주파 13.2 kV 전압인가시 누설전류 측정값 비교

구 분	신품 누설전류(uA)			경년품 누설전류(uA)		
	건조	주수	염무(1h)	건조	주수	염무(1h)
내염형 LP애자	40~50	50~70	50~70	40~50	120~170	200~500
폴리머 LP애자	5uA 이하	15uA 이하	20uA 이하	5uA 이하	10~30	30uA 이하

그림 3은 폴리머 지지애자의 표면 방전 현상을 관찰한 사진이다. 초기에 애자 표면과 애자와 전선 접촉부에서 미소 코로나가 발생하였으며, 그림 3의 (c)에서와 같이 코로나 현상이 전선고정부에 나타나는 것이 관찰되었다. 또한 그림의 (d)에서와 같이 표면 누설전류로 애자 표면에서 발열이 관찰되었다. 시간이 경과하여 표면 절연저항이 저하되어 그림의 (b)에서와 같이 섬락이 발생하였다. 이러한 현상은 자기계 애자에서도 유사하게 나타났다.



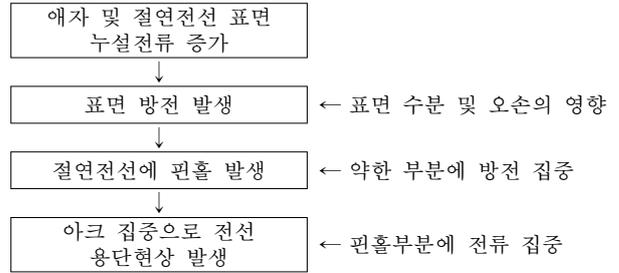
〈그림 3〉 폴리머 지지애자에서의 방전

2.2.4 절연전선 손상 메커니즘

가공선로용 지지애자에서 절연전선이 전기적으로 손상되는 메커니즘

을 그림 4에 정리하였다. 완금(대지)과 절연을 담당하고 있는 지지애자의 열화 또는 오손에 의해 누설전류가 증가할 경우 애자 또는 전선 표면에서 방전이 발생하게 된다. 발생하는 방전량은 애자 표면상태에 큰 영향을 받는다. 전선표면에서의 방전은 바인드와 절연전선간에 주로 발생하며, 발생 위치는 절연전선의 표면 상태가 영향을 주는 것으로 평가되었다.

폴리머 재료의 특성상 열화가 진행됨에 따라 누설전류가 점차 증가하고 경도가 고정되므로 침식이 발생된다. 절연전선에서도 아크에 의해 절연피복이 손상되기 시작하면 이부분에서 집중되어 핀홀이 발생된다. 장기간 지속적으로 아크가 집중될 경우 알루미늄 도체가 용융되어 단선되게 된다. 이 때 전도도가 높은 수분이 추가될 경우 방전량이 증가하여 노출된 도체의 용융이 가속되게 된다.



〈그림 4〉 절연전선 손상 메커니즘

3. 결 론

2.1 전기적 섬락특성

알루미늄 절연전선이 지지애자에 바인드로 고정된 상태에서 측정된 섬락전압은 바인드의 종류에 영향이 적은 것으로 판단되며, 오히려 애자의 표면 상태에 큰 영향을 받았다.

2.2 절연전선 손상 특성

절연전선의 손상은 누설전류 증가에 따른 표면방전이 주 원인이며, 반도체 피복을 갖는 강심 정형바인드는 전선과 접촉하는 부분에서 전기적 스트레스 완화 효과는 어느 정도 있지만 전선 핀홀의 억제 효과에 있어서 바인드간 차이를 적었다.

정형바인드는 절연전선과 접촉하고 있는 끝단에서 전계집중이 발생하여 상대적으로 취약한 특성을 보였다.

폴리머 지지애자는 우수한 발수성으로 자기계 지지애자에 비해 동일 조건에서 표면 누설전류가 적기 때문에 표면방전 발생량이 적다.

[참 고 문 헌]

[1] 박재준, “여러 환경조건에 대한 고분자애자의 누설전류 특성변화”, 한국전기전자재료학회, Vol.19, No.2, 2006
 [2] A.H. El-Hag, S. Jayaram & E.A. Cherney, “Effect of insulator profile on aging performance of silicone rubber insulators in salt-fog”, Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 14, No. 2, April 2007
 [3] Leon M. Tolbert, Jeff T. Lynn J. Degenhardt, “Reliability of Lightning Resistant Overhead Distribution Lines”, IEEE I&CPS Conf., May 7-11, pp.147-152.
 [4] Charles J. Kim, James A. Momoh, Heung-Jae Lee, “Phase-Time Analysis of the Leakage Impulse Current of Faulty Line-Post Pin Insulators”,