

옥외용 폴리머 절연물의 표면 오손에 따른 절연특성 연구

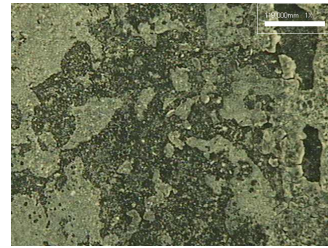
이병성, 박철배, 박용우, 천성남
한국전력공사 전력연구원

Insulation Characteristics of Contaminated Polymeric Insulators in the Field Condition

Byung-Sung Lee, Chul-Bae Park, Yung-Woo Park, Sung-Nam Chun
Korea Electric Power Research Institute KEPCO

Abstract - 옥외에서 폴리머 애자의 사용량이 급격하게 증가하는 이유는 자기제 애자에 비해 경량이면서 오손특성이 우수하다는 장점 때문이다. 약 10년 전 국내 배전선로에 설치된 EPDM(Ethylene propylene diene monomer) 재질의 폴리머 현수애자의 섬락고장이 있었다. 폴리머 애자는 재질 특성상 사용시간에 따라 표면 열화가 진행되고, 표면의 절연저항이 감소하여 누설전류가 증가하게 된다. 표면 섬락고장을 유발하는 누설전류는 절연물 표면 상태에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서는 폴리머애자 표면에 부착된 오손물이 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 표면에 부착된 미세한 오손물은 발수성을 급격히 저하시켰으며, 장시간 수분에 노출될 경우 상용전압에서 표면 방전의 원인이 되었다. 결과적으로 부착된 오손물은 누설전류와 절연내력에 영향을 주어 절연특성을 저하시키게 된다.

다. 오손 애자의 전기적 특성변화를 측정하기 위해 IEEE/ANSI C29.2에 따라 상용주파 주수 및 건조 섬락전압과 뇌충격섬락전압을 측정하였다. 애자 표면의 절연특성 변화는 건조 및 주수상태에서 상전압에 해당하는 13,200 V를 인가하고 접지후에 클램프형의 누설전류측정기(LCD-4, 일본)를 연결하여 측정하였다.



<그림 1> 오염물이 부착된 폴리머애자 표면 확대사진(40배)

1. 서 론

국내 배전선로에서 90년대 후반부터 본격적으로 사용하게 된 폴리머 애자는 최근까지 중대한 섬락고장은 거의 없었다. 하우징 재료로 사용되고 있는 EPDM이나 실리콘 고무는 자기제에 비해 표면오손 특성이 우수한 재질로 평가받고 있으며, 현장 경험으로 볼 때 세라믹 재질의 애자에 비해 염해지역에서 월등히 우수한 특성을 보인다.

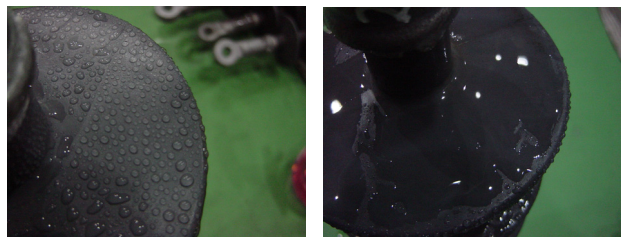
애자 표면에 부착된 오염물을 분석하기 위해 전기전도도를 알고 있는 증류수 500 ml를 이용하여 천으로 금구를 제외한 애자 표면을 깨끗이 세척한 후 세척액의 전기전도도를 측정하였다. 오염물의 양과 특성을 정량할 목적으로 유리섬유여과지(pore size 0.45μm)를 이용하여 여과한 후 건조하여 고형분의 양을 정량하였으며 여과액의 전기전도도를 측정하였다.

그러나 최근의 현장 점검에 따르면 폴리머애자 표면에 장기간 누적된 오손물질이 표면방전 증가의 원인으로 확인되었다. 오염물질은 애자 표면에 부착되고 강우에 의해 세정되는 주기를 반복하는데 부착된 오손물이 염분과 같은 수용성 물질일 경우 쉽게 세정된다. 특히 폴리머 현수애자의 경우 수직형 갯을 갖기 때문에 세정효과는 우수하다고 할 수 있다. 그러나 분진과 같이 입자를 갖는 오손물은 강우에 완전히 제거되지 않기 때문에 표면에 누적된다. 또한, 폴리머애자 표면으로 확산되어 나온 저분자량 오일이 미세한 분진과 결합할 경우 고착되어 절연성능에 영향을 주게 된다. 누적된 오손물은 표면 누설전류를 증가시켜 표면방전의 원인이 되며, 장시간 계속될 경우 침식이나 트래킹을 진전시켜 절연성능이 급격히 저하되어 결국에는 섬락사고로 이어진다.

2.2 실험 결과
2.2.1 오염 애자의 발수성 변화

오손 애자의 발수성을 신품과 비교하여 그림 2에 나타내었다. 모든 시료의 초기 발수성은 HC 4 등급 정도로 나타났으며, 하우징 표면이 완전히 젖을 정도로 증류수를 충분히 분무하고 30분이 지난 후 다시 스프레이 하여 측정된 발수성은 HC 5~6 등급으로 발수성이 더욱 저하되었다.

폴리머애자의 경우 초기에 우수한 발수성으로 표면 누설전류가 거의 없다가 표면에 부착된 오손물의 영향으로 발수성 저하기 나타나 누설전류가 증가한다. 누설전류가 흐르는 경로의 유기물은 주울(Jule)열에 의해 분해되고, 분해된 유기물은 애자표면의 절연성능을 저하시켜 중국적으로 섬락이 일어나게 된다.



(a) 신품(HC 1 등급) (b) 오손을 부착 애자(HC 6등급)
<그림 2> 표면 발수성 비교

본 연구에서는 폴리머애자 표면에 부착된 미세분진이 절연성능에 미치는 영향을 분석하였다. 오손물이 부착된 애자 표면에 수분이 작용하였을 때 표면 발수성과 전기적 특성 변화를 측정하였다.

2. 본 론

2.1 시료 및 시험 방법

2.1.1 시험 시료

시험에 사용된 시료는 분진이 많은 공업지역에서 8년간 사용한 25 kV 급 폴리머현수애자로 하우징은 EPDM 재질이며, 표면누설거리는 840 mm, 아크거리는 480 mm로 설계된 것이다. 현장에서 발취한 7개의 시료는 그림 1과 같이 오손물이 부착되었으며, 초킹(chalking) 현상이 관찰되었다.

2.2.2 전기시험

시료에 대해 섬락전압을 5회 측정하여 평균한 결과 건조섬락전압과 주수섬락전압의 차이가 약 48 kV를 보여, 동일한 신품이 30 kV의 차이를 보인 것과 비교했을 때 편차가 50% 이상 증가하였다. 강우나 습도가 높은 환경 조건에서 표면 방전이나 섬락 발생 가능성이 높아진다는 것을 알 수 있다.

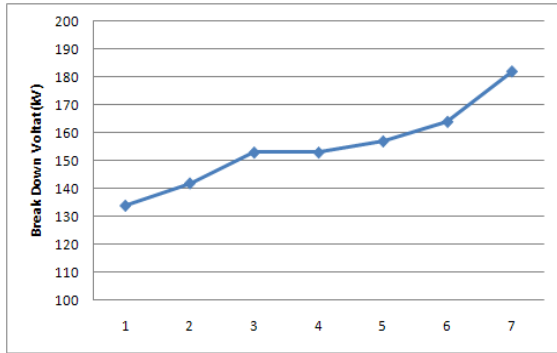
시료 표면에 부착된 오손물의 상태는 외관상 비슷하였으며, 침식이나 트래킹 흔적은 발견되지 않았다. 또한, 금구는 부식되지 않았으며, 금구와 하우징 계면의 상태는 양호하여 코어 부분으로의 수분 침투의 가능성은 없다.

2.1.2 시험 방법

시료를 대상으로 STRI에서 권장하는 발수성 시험방법 측정하였으며, 측정 부분별로 다르게 나타나므로 각과 물체 부분을 구분하여 평가하였

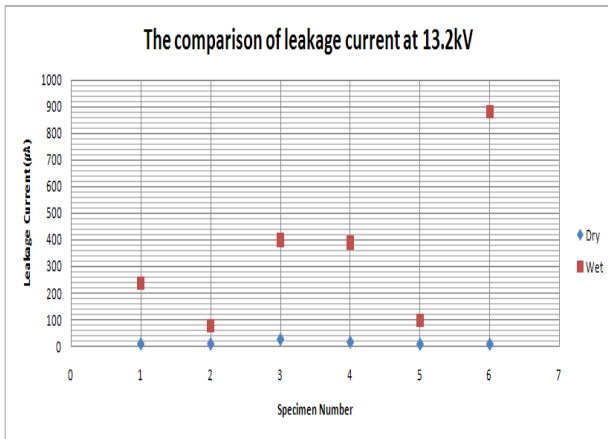
그림 3은 주수 후 반복적인 섬락시험을 하였을 때 섬락 전압 값의 변화를 측정한 것이다. 섬락시험이 반복됨에 따라 폴리머 애자의 섬락전압 값은 증가하였다. 이는 표면이 완전히 젖은 상태에서 반복된 섬락시험에 의한 표면 누설전류가 주울 열을 발생시켜 도전경로에 존재하는 수분증

받을 촉진하고 이 결과로 절연이 점차적으로 회복되기 때문이다. 그림 3의 결과로 부터 애자표면에 부착된 오염물질은 수분과 접촉하였을 경우 표면 절연성능을 급격히 저하 시키고, 완전히 건조된 상태에서는 절연에 그다지 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 반복 섬락시험에 따른 절연 회복

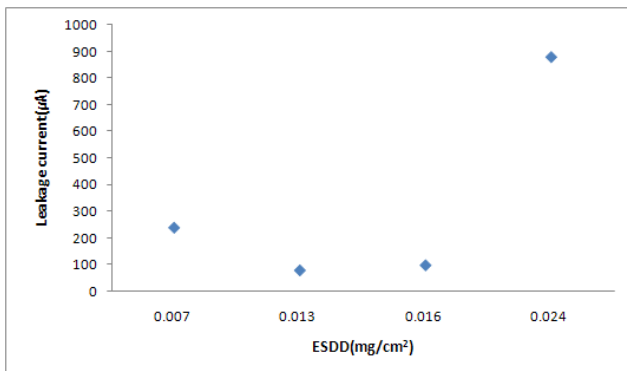
그림 4는 건조시와 주수시의 오손 애자 표면 누설전류를 측정하여 비교한 결과이다. 비록 오손물이 부착된 표면이지만 건조 시에는 누설전류가 수 μA 로 미소하였지만, 주수 시에는 최대 900 μA 정도까지 급격히 증가하였으며, 표면 방전이 육안으로 관찰되었다.



〈그림 4〉 주수 및 건조상태의 표면 누설전류

2.2.3 오염물질 분석 및 전기성능

여과액 중의 수용성 오염물질의 전도도를 측정 후, 등가염분 부착밀도(ESDD)로 환산하였으며, ESDD와 애자 표면 누설전류의 관계를 그림 5에 나타내었다. ESDD의 값이 높을 경우 대체로 표면 누설전류가 증가하지만 수용성 오염물질이 주수에 의해 쉽게 세정되기 때문에 ESDD와 누설전류의 상관성은 크지 않다.

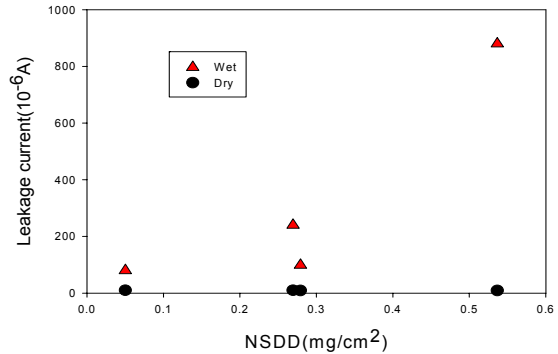


〈그림 5〉 오손 애자의 ESDD와 표면누설전류의 관계

그림 6은 여과지에 남은 고형물을 건조 후 칭량하여 고형물의 총량을 구한 후 ESDD의 계산에서와 마찬가지로 애자 표면적으로 나누어 구한 고형물부착밀도(NSDD)와 표면 누설전류의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 NSDD의 증가에 따라 표면누설전류는 뚜렷한 증가를 보여 표면에 부착된 오손물이 절연에 직접적인 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다. 폴리머 애자의 표면에 부착된 고형물의 오염물질은 수분 필라멘트의 형성을 돕고 이로 인해 도전로 확보에 유리한 조건을 제공한 때문으로 보여진다.

또한 건조 및 주수 조건에서 오손물 양과 표면 누설전류의 관계에 있어서 건조 조건에서는 표면누설전류가 오손물의 양에 영향을 거의 받지 않았지만, 주수 조건에서는 오손물의 양이 증가할 수록 급격히 증가하는 특성을 보였다.

따라서 기존의 자기제 애자에서 ESDD만을 관리 기준으로 운영하는 데 반하여 폴리머 애자를 사용하는 경우에는 NSDD 값을 운영 및 점검 기준에 포함시키는 방안을 검토하는 것이 필요한 것으로 생각된다.



〈그림 6〉 환경조건에 따른 NSDD와 표면누설전류의 관계 비교

3. 결 론

전력설비에서 사용이 증가하고 있는 폴리머 애자의 점검 및 관리기준의 적합성을 검토할 목적으로 표면 오손에 의한 애자의 전기적 특성변화를 조사하였다.

공업오염지역에서 8년간 사용하고 수거한 7개 시료의 발수성은 STRI 기준으로 HC 4~6등급을 나타내어 발수성을 거의 상실한 것으로 나타났다. 전기시험결과 건조섬락값은 큰 차이가 없었으나 주수섬락전압값은 상당히 저하되었다.

오염된 폴리머 애자에서의 누설전류 역시 건조 조건에서는 증가하지 않았지만 주수 조건에서는 급격히 증가하여 오손물이 습윤 상태에서 표면 절연 특성에 상당한 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 또한 누설전류와 오염물질의 NSDD는 뚜렷한 상관성 보여 고형 오염물질이 표면 누설전류에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하였다. 장기적으로 섬락 고장을 예방하기 위해 산업용 분진이나 공해물질이 많은 지역에 설치된 폴리머애자의 특별한 관리 방안이 필요하다.

본 논문은 특정 오염지역에서 발취한 제한된 수량의 폴리머 애자를 대상으로 실험한 결과를 바탕으로 향후 보다 다양한 오염지역과 오염물질의 성장 및 운영조건을 반영한 연구를 통한 자료의 축적과 이를 기반으로 한 폴리머 애자 관리 방안 수립이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] STRI, "Field inspection guide #3 of composite insulator", 2001
- [2] G.G. Karady, M. Shah and R.L. Brown, "Flashover mechanism of silicone rubber insulator used for out door insulation- I", IEEE transactions on power delivery, vol. 10, No. 4. 1965-1971, 1995
- [3] G.G. Karady, M. Shah and R.L. Brown, "Flashover mechanism of silicone rubber insulator used for out door insulation-II", IEEE transactions on power delivery, vol. 10, No. 4. 1972-1978, 1995
- [4] 전력연구원, "폴리머경년열화 실증시험", 최종보고서, 2006