

고분자 애자의 시멘트 분진에 의한 특성 변화 연구

이상진*, 김동욱, 최명규
LG전선(주) 전력연구소

Properties of composite insulators stuck by cement powder

Sang-Jin Lee*, Dong-Wook Kim, Myung-Kyu Choi
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable Ltd.

Abstract - When insulators are operated near cement factories, some amount of cement powder may be stuck on the surface of insulators and decreases their electrical performances. Three kinds of insulators, such as, silicone EPDM and porcelain insulators, are tested in this paper. Testing Voltage of 25kV is applied to the samples, and surface leakage current is measured for 6 months after cement solvent of 10 vol% was stuck on the surface of each insulator in the laboratory. Insulation layers are cut from 3 and 6 month-aged insulators and tested for ac breakdown, impulse breakdown, contact angle. After aging, electrical properties are unchanged in silicone and EPDM insulators but show some changes in porcelain insulators.

1. 서 론

송, 배전 선로에서의 전기 절연용 애자는 무기재료인 세라믹을 재료로 하는 자기재 애자가 주로 사용되었으나, 최근들어 유기재료의 합성 고분자 재료의 성형기술의 발달로 유기재료를 이용한 고분자 애자의 개발 및 적용이 활발이 진행되고 있다. 고분자 애자는 자기재 애자에 비해 가벼워 설치가 용이하고 포설이 간편하여 송전 선로의 건설 경비의 절감 효과도 가져올 수 있다.¹⁾ 또한 가공성과 잣(Shed)형상의 자유도가 크기 때문에 설계의 가변성이 용이하여 소형화가 가능한 이점도 가지고 있다.²⁾ 그리고 자기재에 비해 발수성이 우수하므로, 오손 및 습윤시에도 누설전류가 작고, 표면특성이 발수성이 옥외에서 장기간 유지 및 회복 될 뿐 아니라 내트래킹성이 우수하므로 내오손 성능에 기여 할 수 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾ 본 연구에서는 애자가 사용되는 옥외 사용 환경중, 시멘트 분진에 의한 특성 평가를 위해, 실리콘 고분자 애자와 EPDM의 고분자애자, 자기재 애자의 시멘트 환경 하에서의 장기 신뢰성을 평가 하였다. 또한 시멘트분진에 의한 열화 인자들의 영향을 AC 섬락전압, Impulse 섬락전압, 접촉각, 누설전류등으로 분석 고찰하였다. 또한 장기 신뢰성을 확보하기 위하여 단계별 열화 실험을 실시 평가하였다.

2. 실 험

2.1 실험 방법

시멘트 분진지역에 설치된 실선로의 애자를 모의하기 위해 시멘트를 물과 혼합하여 2주 정도 Spray와 자연건조를 반복하여 분진 환경을 구축하였다. 그 결과 자기재의 경우 시멘트가 표면 전체에 균일하게 도포 되나, 고분자의 경우 균일하지 않고, 부분적으로, 도포 되지 않는 특성을 나타내고 있다. 오손된 시험 시료에 대해 시멘트 환경에 의한 열화를 주기 위해, 습윤 상태에서의 분무와 건조 상태에서의 환경 조건으로 12시간씩 2회 반복하여

25kV로 전압을 인가하여 분진에 의한 열화 특성 변화를 비교 평가하였다. 초기 특성시험과 전전 시료 및 가속 열화 시료에 대한 애자의 특성 변화를 관찰하기 위해 AC, Impulse 섬락전압, 접촉각, 실험을 실시하였다. 표1과 같은 제원을 갖는 시료에 대해 각각 전전상태, 3개월 열화, 6개월 열화하여 실험하였다. 시험 진행 과정은 그림1과 같고, 시료 구성은 그림2와 같다.

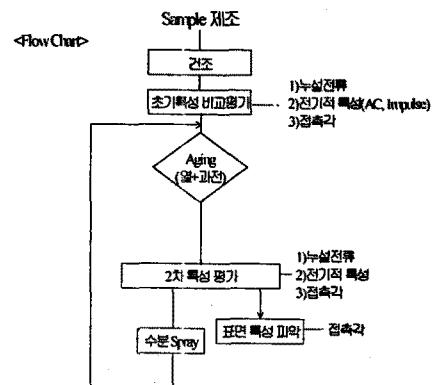


그림 1. 시험 진행 과정

표 1. 시험품 제원

구 분	Silicone	EPDM	자기 재
유효 절연거리(mm)	197	271	350
건조 섬락거리(mm)	319	370	451
표면 누설거리(mm)	783	787	838

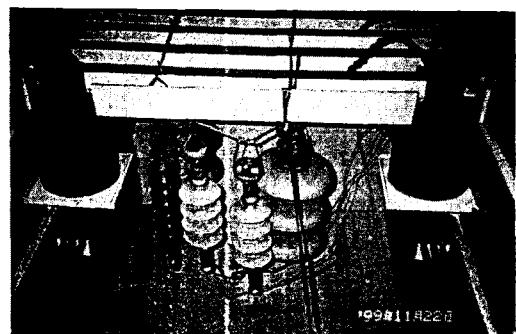


그림 2. Chamber내의 시료구성 및 과전장면

2.1.1 AC 섬락 전압

시험조건은 초기에 예상 섬락전압치의 75%까지 급격히 상승시키고 연속적으로 5초 이상 30초 이내에 섬락치까지 이르게 한 후, 연속적으로 5회 이상 섬락 값을 구하였다. 이후 대기중의 온도와 습도는 기준치로 환산하여 섬락값을 보정하였다.

2.1.2 Impulse 섬락 전압

뇌충격 전압시험에 사용하는 표준파형은 $1.2 \times 50\mu s$ 로 부극성(negative)의 전파전압으로 하였다. 파형의 허용치는 파두장 30%이고, 과미장은 $\pm 20\%$ 이며, 뇌충격 전압 시험에서의 50% 섬락전압은 승강법과 보간법으로 측정 후, 계산하였다.

2.1.3 접촉각 측정

Contact Angle Meter를 사용하여 액적법(sessile drop)로 측정하였다. 이 때 액체는 탈이온 중류수를 사용하였으며, $23 \pm 2^\circ C$ 에서 시료위에 직경 0.5~1.0mm의 액체방울 2mm³(3~5μl)를 떨어뜨린 1분 후에 5점을 측정하였다.

2.1.4 누설 전류

염수 분무 chamber내 선로를 구성한 후 각 시료별 누설거리를 측정한 결과, 고분자 애자보다 자기재 애자의 누설거리가 길어 인가 전압 25kV를 기준전압으로 정하고, 누설 거리에 따라 동일하게 전압을 인가하여 시험하였다. 시멘트 분진 상태에서의 절연물들의 누설전류 차 이를 살피기 위하여, 습윤 분무 상태와 건조 가열 상태에서의 누설전류 특성을 파악하여, 시멘트 분진 환경이 애자의 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

3. 결과

3.1.1 제품 전기적 특성 비교 평가

고분자 애자 Silicone, EPDM, 자기재 제품에 대해, 건조 섬락거리와 유효 절연거리를 정한 후, 전기적 실험을 하였다. 그림3은 시간 경과에 따른 AC 섬락 전압을 나타내고 있다. 자기재 애자의 AC 섬락 특성이 고분자 애자보다 높은 전압을 갖지만, 애자별 건조 섬락거리로 단위 길이당 절연섬락치로 비교하면 초기에는 Silicone 0.52kV/mm, EPDM 0.46kV/mm, 자기재 0.44kV/mm로 고분자 재료가 단위 길이당 분담전압이 높은 것을 알 수가 있다. 각 애자별 6개월 장기과전시의 AC 섬락 전압의 변화 추이로 비교해 보면 표2와 같다. 여기서 알 수 있듯이 자기재 애자의 경우, 시멘트 및 건전시료 모두, 고분자 재료 애자에 비해 큰 감소율을 나타내고 있다.

표 2. 6개월 장기 과전후 AC 섬락특성 감소율(%)

Silicone	건전	1.5
	Cement	1.1
EPDM	건전	0.2
	Cement	1.3
자기재	건전	7.3
	Cement	8.2

그림4는 시간 경과에 따른 Impulse 섬락 전압 결과를 나타내고 있다. 자기재 애자의 Impulse 섬락 특성이 고분자 애자보다 높은 전압을 갖지만, 애자별 유효 절연거리로 단위 길이당 절연섬락치로 비교하면 초기에는 Silicone 1.49kV/mm, EPDM 1.12kV/mm, 자기재 0.77kV/mm로 Impulse 섬락 전압도 고분자 재료가 단위 길이당 분담 전압이 높은 것을 알 수가 있다. 각 애자별 6개월 장기 과전시의 Impulse 섬락 전압의 감소 추이를 표3에 나타내었는데, Impulse의 경우 시멘트 처리된

자기재 애자에서 높은 감소율을 나타내고 있다.

표 3. 6개월 장기 과전후 Impulse 섬락특성 감소율(%)

Silicone	건전	2.0
	Cement	0.4
EPDM	건전	0.4
	Cement	1.2
자기재	건전	0.3
	Cement	4.9

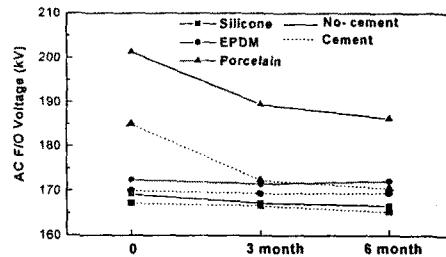


그림 3. AC 섬락 전압 결과

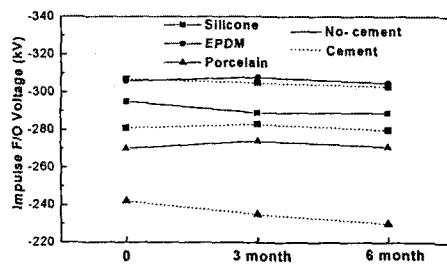


그림 4. Impulse 섬락 전압 결과

자기재 애자의 Impulse 섬락 전압 특성 결과로 볼 때, 유효 절연 거리가 고분자 애자보다 상대적으로 길지만, 특성이 다소 떨어지는 이유는 자기재 애자의 금구는 고분자 애자와는 달리 유효 절연 거리내에 금속들이 연결되어 있는 구조로 되어 있어 절연성능에 영향을 줄 수 있다고 생각된다.

이상의 전기적 시험의 결과로 볼 때 유횜용으로 사용되는 절연체에 있어서의 섬락전압은 표면저항에 영향을 받지만, 고분자 애자와 같은 경우는 전기적인 회복능력이 타월하여 이물질인 시멘트의 영향에 크게 좌우되지 않는다. 그러나 자기재 애자의 경우에는 자기 회복 특성이 그다지 좋지 않아서 섬락특성에 영향을 받을 수 있다고 사료된다. 그러므로 고분자 애자는 자기재 애자에 비해 시멘트 분진 환경같이 오염이 심한 환경에서도 높은 절연내력과 내오손 회복 특성을 유지하는 고분자 애자의 우수한 성능을 확인 할 수 있었다.

3.1.2 누설 전류 측정

건전시료 및 시멘트 처리된 시료를 건조와 습윤하에서 장기간 과전하여, 1개월 단위로 누설 전류를 측정하였다. 누설전류는 애자별 표면 누설 거리가 다르기 때문에, 누설거리에 동일한 전압이 분담되도록 애자별로 보정된 시험전압을 각각 인가하였다. 그림5는 건조 상태에서의 시간 경과에 따른 누설전류의 변화를 나타내고 있다. 자기재 애자의 표면누설 전류는 고분자 애자 보다 높은 값을 가지며 시간경과에 따라 서서히 증가하는 추세를 나타내

나, 시멘트처리 시료와의 차이는 그다지 나타나지 않았다. 또한 고분자애자의 경우도 미소한 변화를 나타내고 있다. 그럼6은 습윤 상태에서의 누설전류 변화치를 나타내고 있다. 습윤시 자기재애자의 경우 시멘트 처리 시료가 상대적으로 높게 나타나고 있는데, 이는 시멘트에 수분이 함유되어 표면 절연저항을 약화시키기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 고분자애자의 경우는 시멘트 처리된 시료와 견전시료의 차이는 미소하였다. 이는 고분자애자의 발수성 전이특성 및 수분하에서 고분자 표면에서의 시멘트 분진의 분포가 연속적이지 않아, 절연특성이 상대적으로 강화되는 것으로 판단된다. 이상의 누설전류 결과로 미루어, 3.1.1의 시간 경과에 따른 고분자애자의 전기적 성능특성이 시멘트 분진 환경하에서도 자기재애자에 비해 장기적으로 안정한 이유를 확인할 수가 있었다.

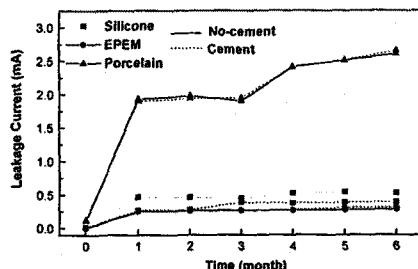


그림 5. 건조상태의 누설전류 측정 DATA

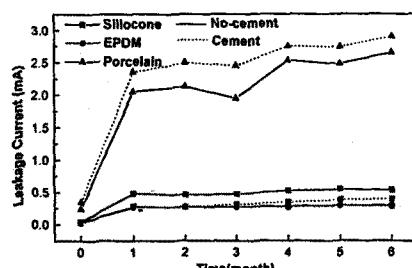


그림 6. 습윤상태의 누설전류 측정 DATA

3.1.3 외피재 특성 비교 평가

접촉각 측정결과 Silicone 고분자애자의 전전시료의 시멘트 포설 환경 모의시료의 실험결과 열화기간에 따른 차이 변화는 없었다. 그럼7 결과에서와 같이 전전시료, 3개월, 6개월의 시료의 특성 결과는 전전 시료는 평균 110°, 3개월은 108°, 6개월 108°로 1.1%의 특성평균 차이를 보였다. EPDM 고분자 애자의 시험 결과로는 시료의 특성 변화치는 전전시료 109°, 3개월108°, 6개월 108°로 0.5%의 결과변차 수준 범위로 특성치 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 자기재애자의 경우 전전시료 40°, 3개월 38°, 6개월 31°로 측정 되었으며 결과 편차 범위가 초기 특성과 비교시 8.5% 저하 되었다. 접촉각의 변화는 고분자애자의 경우는 거의 동일한 특성을 보였으나 자기재 애자의 경우 차이가 많음을 알 수 있었다. 시멘트 분진 환경에서의 외피재의 특성분석 결과 Silicone 고분자애자의 경우에는 외피재 고유의 발수성 전이특성이 있어⁶⁾ 상대적으로 내오손성 특성이 우수한 것으로 사료 된다. 자기재 애자의 경우에는 애자의 표면에 시멘트 분진, 먼지등의 영향으로 수분의 흡착성을 높여 누설전류의 증대

로 접촉각 및 전기 절연성에 악영향을 미쳐 고분자 애자보다 특성이 지하 되었다고 생각 된다.

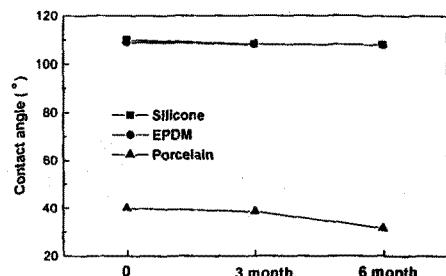


그림 7. 접촉각 측정 결과

4. 결 론

시멘트 밀집지역에 포설된 고분자 애자의 실 사용중의 신뢰성을 평가하기 위하여 시멘트 분진지역에서의 환경을 모의하여 고분자애자와 자기재애자 제품 및 외피재에 대해 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 과전 기간에 따른 전기적인 특성변화 및 발수성의 변화는 고분자애자의 경우 미소하였으나, 자기재애자의 발수성 저하는 확연한 차이를 보였다.
2. 누설전류의 크기와 변화는 습윤 및 분진 환경하에서도 고분자 애자가 자기재 애자에 비하여 훨씬 안정적임을 확인하였다.
3. 현재 시멘트 공장 밀집지역에 설치되어있는 고분자애자의 선로 환경에 따른 전기적, 열적 특성분석의 비교 자료로서의 기초 Data를 확보하였다.

이상의 결과로부터 고분자애자는 시멘트 분진 환경에서도 안정적인 특성을 지니고 있음을 확인하였으며, 좀 더 장기적 특성 평가 실시를 위하여 실 포설된 고분자애자의 지속적인 특성 분석을 통한 연구가 진행 중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Brian Porarier(1996) "Experience and Applications with Non Ceramic Insulators at Power-line Queensland," Symposium on Non-Ceramic Insulator Technology
- [2] Jeff Burnham(1996), "Application of Polymer Insulators to reduce costs and Increase Reliability", Symposium on Non Ceramic Insulator Technology, #17
- [3] L.Xidong, Z.Renyu(1993), "On the surface hydrophobicity of Insulation Material", 8th Internations Symposium on High voltage Engineering, 47.03
- [4] A.E. Vlzztos and M.Sjobeg(1993), "Leakage Current Data Aquisition System for Field Tests of Polymeric Insulators", 8th ISH, 47.09, pp. 205-208
- [5] V.K. Agarwal al., "The mysteries of Multifactor Aging" IEEE Electrical Insulation Vol. 11, No.3, 1995.
- [6] R. Bartnikas, "Engineering Dielectric" Special Technical Publication, 1987.