

장기간 테스트에 대한 신뢰성 평가의 부족, 활선

SD를 이용한 EPDM애자의 프랙탈 응용

Fractal Application of EPDM Insulator Using Surface Di

임 장 섭, 김 상 준, 송 일 근.
 목포해양대학교, 전력연구원, 전력연구원
 Lim J.S., Kim S.J., Song I.K.
 Mokpo Maritime Univ. KEPRI, KEPRI.

<ABSTRACT>

Many researchers make efforts to develop an effective tracking method for accellatinn combined with the field simulation in actual system. Specially, the porcelain type insulator is required exchanging to EPDM/SIR polymer insulator according to the recently environmental consideration.

In this paper, we have developed the estimation system using the SD testing and the fractal mathematics. Those approach has been very successful to relative diagnosis applied to the various practical problem

1. 서 론

전력계통에는 여러 종류의 절연재료가 도전재료, 자성재료 및 절연재료 등으로 사용되고 있다. 이 중 옥외용 절연재료는 타 분야의 재료에 비하여 장기간 사용되고 열악한 환경에 노출되어 있다. 이러한 이유로 옥외용 애자로 Porcelain Type 애자가 내아크성, 내후성, 내열성 등의 절연특성 갖고 있으므로 이용되고 있었다. 그러나 산업의 발전으로 인한 전력수요의 급격한 증가는 상기의 특성외에도 유지·보수, 소형화, 경량화 및 내환경성 등의 추가적인 기능이 요구되고 있다. 특히 종래에 사용되던 Porcelain Type 애자는 내열성, 내열화성, 기계적 강도 등이 우수하지만 가공 및 성형이 곤란하고, 환경적 절연특성 등에서 취약하여, 선진국에서는 약 20년전부터 폴리머 절연재료가 연구개발되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 배전용 22.9[KV] EPDM 애자를 이용하여 트래킹의 발생 및 진행 과정을 분석하고, SD 관측을 통하여 가속시험 전후의 특성을 판단하고자 한다. 그리고 마지막으로 배전급 EPDM 애자의 현장 운용된 SD결과를 고찰하였다.

2. SD 실험방법 및 가속열화

2-1. SD

트래킹과 같은 표면열화의 오랜 연구기간에도 불구하고, 명확한 열화진단 및 평가가 많은 문제점을 갖고 있다. 특히 신개발품의 성능을 가속열화하여 판단하는 방법 역시도 상당히 어려운 일정이고, 만족할 만한 결과나 기준이 제안되지 않고 있다. [ASTM(1979)]

기존의 트래킹 특성은 가속열화에 대한 여러가지 조건에 대해서 비교분석하는 분야가 대다수를 차지하고 있다. 이러한 Lab Testing의 문제점은

상태에서 불가능, 장비의 휴대성 여부가 문제, 불분명한 판단근거 등이 있다.

본 연구에서 상기의 트래킹연구를 위하여 1차적으로 3년간 운용된 제푸의 대상으로 SD 등의 분석을 수행하였다.

3-1. SD(Surface Discharge) 시험

실험에 사용한 시험장치는 현재까지 별도의 제안된 방법이 없다. 또한 기존의 방식이 엷기 때문에 다음과 같은 조건을 설정하였다.

- 사전 준비단계에서의 22.9[KV]급 B형 폴리머 애자의 경우 45[KV]의 인가전압을 유지해야 SD 관측에 용의 하다.
- 염수액에 1분간 침적하고 대기상태에서 2분간 자연건조 후 과전한다.
- SD는 사진의 연속노출을 이용하여 촬영한다. 이때의 노출시간의 2분을 유지한다.

상기의 조건은 배전급 폴리머 애자의 경우에서 적용되는 조건이며, 이에 대한 별도의 규정은 없다. 그러나 이는 기존의 불연속적인 관측법보다 상당히 효과적인 결과가 고찰된다.

2-2. 22.9[KV]급 EPDM 애자

표 1은 현재 시험된 EPDM 애자를 시료별 구분하여 실험한 조건이다. 특히 A, B, C는 외국의 3사이며, IEEE에서 권장하는 Wheel Test를 통과한 시료이다.

국내에 현장 운용되고 있는 제품인 A사 및 B사는 약 3년간의 운용결과를 가지고 있으며, 사고이력이 거의 존재하고 있지 않다. 또한 아직까지는 그 문제점이 발생하지 않은 제품이며, C사의 경우에는 국내 개발 진행중인 제품을 샘플링

한 결과이다.

모든 22.9[KV]급 B형 EPDM애자는 기존의 전기적 실험이나, 기존의 가속실험으로 우열성을 판정하기가 어렵다는 관점에서 본 연구가 수행되었고, 장기적으로는 열화진단 시스템 및 수명 평가시스템이 개발되어야 한다. 그 이유는 아직까지 국내의 폴리머 애자의 운영경험이 없고, 장기 신뢰성 평가에 대한 방안이 미흡하기 때문이다. 또한 세라믹애자의 품질관리에서도 경쟁적인 체계를 유지할 수 있을 것이다.

3. 프랙탈 수학

자연계의 현상이나 패턴은 단순한 정의로 프랙탈 차원을 구하는 것이 어렵기 때문에 대상 영상으로부터 자기상사성(Self-similar set), 즉 도형의 둘레를 적당한 방법을 이용해서 구하여 프랙탈 차원을 구하고 있다. 또한 프랙탈 차원을 구하는 방법으로는 스케일 변환법, 회전반경법, 상관함수법 및 커버법등이 있다.

프랙탈은 자기상사성을 갖고 있으며, 1차원의 임의의 스케일에서 측정된 L_1 이라는 것을 스케일의 단위를 a 배하여 측정하면 선분의 길이는 다음과 같다.

$$L_a = \frac{L_1}{a} \quad (1)$$

같은 모양의 문제에 대하여 2차원, 3차원으로 생각해 보면 다음과 같은 두 식으로 적용할 수 있다.

$$S_a = \frac{S}{a^2} \quad (2)$$

$$V_a = \frac{V}{a^3} \quad (3)$$

상기 수식을 1에서 a 배까지 적용가능한 일반화된 수식으로 작성하게 되면 D차원 공간 내에 있는 물체에 적용할 수 있으며, 패턴을 주변거리 r 과 D차원의 입방체로 덮어서 측정한다. 그 때 필요한 초입방체의 최소수 $N(r)$ 는 다음의 수식과 같다.

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (4)$$

이러한 수식에서의 D가 프랙탈 차원이다. 상기의 수식에서 프랙탈 차원은 다음과 같다.

$$D = -\frac{\log(N(r))}{\log(r)} \quad (5)$$

이것은 스케일이 $1/a$ 로 될 때의 체적이 V_a 로 된다고 하면 $N(r)=V_a/V$, $r=1/a$ 로 된다면 스케일 변환법의 수식과 일치한다. 그러나 커버법은 스케일 변환법과 달리 간단히 3차원의 프랙탈화가 가능하기 때문에 널리 이용되고 있다.

커버법의 계산은 모형 위에 커버한 후 표시된 점을 체크하고, 이 때의 마크의 크기를 변화하면서 여러 지점에서의 값을 구하고 이때 얻어지는 그래프의 마이너스 기울기가 프랙탈 차원이다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 신문에 대한 SD 고찰

본 연구에서 선택된 제품의 신문을 대상으로 SD실험을 수행하였다. 이는 최초의 절연성 평가와 현장에서 사용된 시료를 대상으로 수행하였다. 국내에 설치된 외국의 배전급 EPDM을 채취하여 이를 기존의 전기절연성 평가를 수행한 결과로는 그 열화정도를 판정하는 것이 어렵다. 아래의 사진은 대상 A사 및 B사의 신문의 경우에 관측되는 가속 SD 실험이다.

기존의 Lab testing에서 알려진 몇가지의 문제점이 많이 발견되었다. 특히 절연과괴시험이나 누설전류측정등의 방법이 효과적이지 않는다는 것이다. 특히 IEC-60587법은 실제 제품에는 적용할 수 없기 때문에 실용적인 측면에 문제점이 있다. 특히 초기조건을 가지만 옥외용설비를 평가하는 것은 대단히 어려운 관점이 있다.

예를 들면, 애자에 있어서 중요 평가 대상으로 추정되는 접촉각이나 내열성은 중요성이 이미 널리 보고되고 있다. 그러나 초기의 우수한 특성이 장기적인 내후성에 미치는 결과를 예측하는 것이 어렵다.

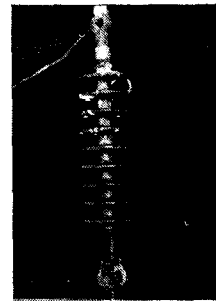
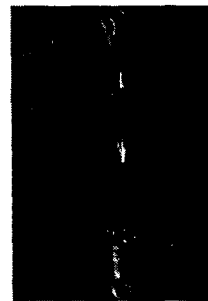


사진 1. 신문 A사

사진 2. 신문 B사

상단의 그림은 대상으로 하고 있는 2종의 초기 상태에서 SD실험을 수행 하였다. 그러나 그 차이를 감지하기가 어렵고, 오히려 B사의 경우가 더욱 우수한 결과가 고찰된다. 그러나 3년간의 field aging 후에는 그 결과가 전혀 다르게 고찰된다. 이는 추후에 장기신뢰성을 평가할 때의 중요 평가가능성을 가지고 있음을 증명한다.

4-2. 동일지점 및 동일 사용년수의 비교

거의 일정한 시기에 설치된 A사 및 B사의 목포 지점에서 샘플링된 애자의 SD 결과이다. 그림에서 보듯이 목포의 지점에 다른 지점에 비하여 상당히 취약한 환경 또는 열화 요소가 있음을 간접적으로 판단된다. 그러나 기존의 보고에서는 이에 대한 조사가 대단히 부족하다. 이에 대한

추후에 지속적인 샘플링과 고찰이 요구된다.

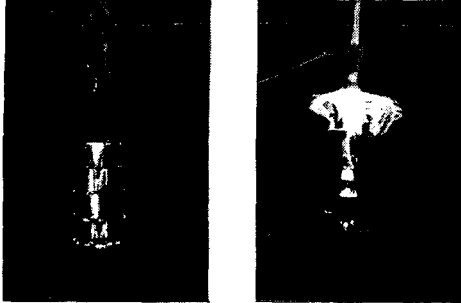


사진 3. 목포지점 A사 사진 4. 목포지점 B사

다음으로 제주도에 설치된 경우에서도 다음과 같은 SD가 관측된다. 그러나 목포지점의 경우보다는 다소 상태가 좋은 결과로 고찰 할 수 있다. 또한 이에 대한 정량적인 결과는 4-3절에서 프랙탈 차원화하여 상대적인 비교를 하고자 한다.

이에 대한 환경적인 문제점은 광범위한 조사가 요구된다. 명확한 열화요소는 추후에 많은 연구가 요구되지만 현재까지 보고되고 있는 주요 열화 요소는 다음과 같다.

- 염분문제 : 해수로부터의 염분정도
- 산성우 : 계절 및 풍향
- 먼지 및 분진 : 대기오염 정도
- 자외선: 대기분위기
- 주변환경 : 습도, 강우량 및 풍속 등



사진 5. 제주지점 A사 사진 6. 제주지점 B사

특히 바닷가 주변이 심한 열화상태를 가지고 있는 것으로 추정된다. 또한 이는 지역적으로 상당히 많은 편차가 존재한다. 따라서 이에 대한 적절한 가중치를 가지고 있다면 이를 통한 근사적인 수명예측이나 관리가 요구된다. 특히 복합 챔버 등과 같은 추후에 설치가 예측되는 경우에도 이러한 SD 실험을 통하여 데이터를 축적해야 한다.

3년간의 사용년수를 갖고 있는 EPDM의 SD를 조사한 거의 모든 곳에서 A사의 제품이 B사보다

안정적인 단계를 갖고 있는 것으로 평가 된다. 특히 바닷가 주변에서는 그 차이가 많은 편이다. 이에 대한 명확한 메카니즘은 현재까지 2가지로 추정되고 있다. 이것은 국내의 개발품 역시도 마찬가지로 많은 문제점을 가지고 있다.

이에 대한 2가지의 중요관점이 열화과정의 중요한 개발 연구과정이다. 첫째는 EPDM의 필라량에 차이가 중요한 장기 열화과정에 중요한 관점이다. 특히 이에 대한 결과는 본 학술회의 "EPDM에자의 트래킹성 평가"에서 고찰 하였다. 즉 초기 내트래킹성 및 내열성을 위하여 과도한 필라량이 장기적 신뢰성 측면에서 문제점을 일으킬 수 있다는 것이다. A사의 비중은 약 1.25정도이고, B사는 약 1.45정도로 추정되었다.

국내에서 개발 연구되는 배전용 EPDM의 평균적인 비중은 1.5정도로 초기 트래킹 특성은 매우 우수하지만 장기 신뢰성 측면에서 많은 문제점이 고찰될 것으로 추정된다. 특히 IEC-60587법을 연구대상으로 단순히 평가하는 경우에는 이러한 장기적인 field testing 측면에서 고찰해야만 한다. 예를 들면 이미 장신신뢰성 측면에서 검증된 A사 및 C사의 EPDM의 IEC-60587법 및 비교실험에서는 1시간 내에 모든 시료가 트래킹 파괴되었다. 따라서 단순히 IEC-60587법을 개발대상으로 추진하여서는 안된다고 추정한다.

염수 및 산성우에 대한 결과는 많은 논문에서 발표되고 있지만, 분진과 같은 경우에 대한 고찰이 요구되는 예를 다음과 같은 사진에서 확인하였다.

특히 조사대상의 A사 중에서 가장 위험한 SD가 고찰되었다. 그리고 그 지점은 서울에 위치한 내륙이기 때문에 염수보다는 대기 오염 및 분진이 주된 열화 요소로 추정된다. 따라서 이에 대한 지속적인 샘플링도 요구된다.

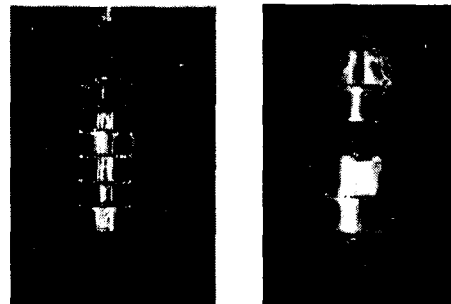


사진 7. 중부지점 A사 사진8. 국내 D사

국내에 개발하고 있는 한 제품을 IEEE에서 추천한 Wheel testing을 수행 한 후에 SD를 고찰 하였다. 이 시편은 IEC-60587법을 통과 했지만, 장기적인 측면에서 문제점이 일으킬 수 있는 가능성이 높다.

두 번째의 열화요인은 OIT 능력이다. 특히 SD

실험에서 문제시 되는 제품에서 상대적인 비교가 가능한 분석결과는 DSC/OIT 결과이다. 또한 이는 A사 및 B사의 결과와도 일치하고 있다. 이는 적절한 내열성과 SD 및 가속열화 실험이 상당히 높은 연관성을 갖고 있음을 보여주고 있다. 따라서 OIT는 필수적인 단계로 요구된다. 그그러나 이 역시도 절대적인 열화 판정치로서는 문제점을 가지고 있다. 그러한 이유는 Tracking 이나 SD가 건전한 상태에서 발생하는 사고가 아니라, 비정상적인 표면상태와 국부적인 결합의 집중에서 발생하기 때문이다. 그리고 SD위 정량적인 측면에서도 수식화가 요구되고 이에 대한 장기 필드 시험이 필수적이다.

4.3. 프랙탈적 고찰

프랙탈 수학을 이용한 정량화는 컴퓨터 프로그램과 화상처리에 의해서 수행 가능하다. 일반적인 수작업인 Box-counting 법은 정확도가 떨어지므로 화상처리와 같은 동작이 요구된다.

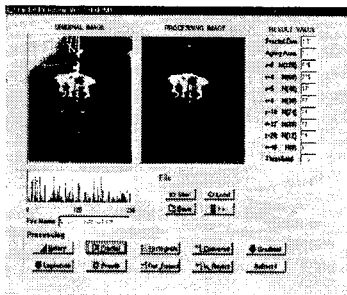


사진 9. 프랙탈 응용 프로그램 실행예.

3절에서 전술한 프랙탈 차원은 상기의 SD 결과를 수식화 할 수 있다. 특히 이에 대한 SD의 복잡도를 정량화하여 상대 비교하는데 유용하다. 특히 신품의 경우에는 약 0.2에서 0.3 차원 정도의 저차원의 SD가 관찰되어 상대적인 비교가 어려웠지만, 3년간의 현장운용 후에는 지역별, 회사별 특징이 확연하게 구분되어 진다. 이에 대한 결과는 그림 1과 같다.

특히 목포지점과 서울 중부지점의 경우가 상당히 높은 차원의 결과로 고찰되고 이는 지역적인 열화 요소가 있음을 고찰 할 수 있다.

SD의 프랙탈 차원은 트래킹 파괴의 전단계를 확인 할 수 있었지만 다른 분석방법과의 비교를 위하여 SEM, 금구부식, 표면침식 및 crazing 등의 육안검사와 발수성, 접촉각 등을 검사 하였지만, 명확한 연관성을 고찰하기가 어려웠다. 또한 전기적인 시험인 PD, 건조시 및 주수시의 누설 전류, Tan δ 에서도 구분이 어려웠다.

현재 가능성이 있는 연관성은 적외선 방사시험과 DSC/OIT 특성에서 A사 및 B사의 연관성이 구분되어진다. 특히 목포지점의 B사는 2분 18초정도의 가장 열확한 산화방지 피크를 가지고 있었다. A사의 경우에서는 모든 실험에서 20분이

상으로 상당한 산화방지 능력을 가지고 있음을 확인할 수 있지만, B사의 경우에서는 목표(2분18초), 거제(5분 24초), 제주(8분 48초)의 순서로 나타나고 있다. 이는 SD의 프랙탈 차원도 동일한 결과로 고찰됨으로 두 시험방법의 효과적인 적용을 증명하고 있다.

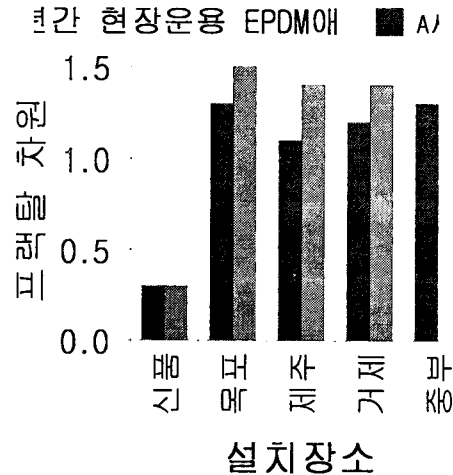


그림 1. SD관측에 따른 프랙탈 평가

5. 결 론

본 연구에서는 배전급 EPDM애자의 성능평가 및 개발을 위하여 프랙탈 수학을 이용한 SD 등의 연구를 중심으로 3년간 운용된 현장품의 절연성 평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1> SD는 인가스트레스에 의해서 발생 위치가 결정된다. 즉 열화초기에는 상부전극에서 SD가 발생하지만, 점차적으로 애자 중간부분으로 이동하고 최종적으로 전 영역에서 관측된다.
- 2> SD는 주수상태의 가속 상태에서 열화진행 및 건전성 평가가 가능하다. 또한 기존의 다른 시험법으로 관측할 수 없는 부분이 관측 가능하다.
- 3> SD는 OIT 시험결과와 연관성을 갖고 있으며, 트래킹 실험에서 어려운 재현성을 갖는다.
- 4> 최초 제품은 약 200%의 가속 인가전압 상태에서 0.3차원의 미소한 SD형상이 관측되지만 3년이 경과한 후, 지역에 따라서 1.1에서 1.5 차원의 위험한 SD로 발전한다.
- 5> 프랙탈 수학을 트래킹성을 평가하는데 효과적으로 정량화가 가능하고 상대적인 평가치로 제안된다.

<REFERENCE>

[1] "배전용애자류의 고품질 기술개발", 제 1 회 신기술개발 워크샵, 한전전력연구원, 1998.
 [2] T. Kawamura, "Experience and Effectiveness of application of Arresters to Overhead Transmission Lines", CIGRE G33-301, 1998.