

EPDM 및 실리콘 애자의 가속실험에 대한 와이블 분포해석

임장섭*, 김진국*, 박범수**, 송일근†, 이재봉*

* : 목포해양대학교 ** : 한국전력공사 † : 전력연구원

The Analysis of Weibull Distribution on the Accelerated Aging Test in Polymer Insulation

Lim Jang-Seob*, Kim Jin-Gook*, Park Beom-Su**, Song Il-Keun†, Lee Jae-Bong*

* : Mok-Po National Maritime University.

** : Korea Electrical Power Company.

† : Korea Electrical Power Research Institute.

Abstract - Fractal mathematics is being highlighted as a research method for classification of image. But the application of Fractal dimension(FD) has been required the complicated calculation method because of its complex repetition progressing.

In this paper, it has been developed the new approach method to express the Fractal Dimension(FD) for aging level calculation and estimation system of outside insulator using special image processing algorithm.

As a result after FD testing, the recognized aging estimation of FD has a very characteristics compared to the conventional visual inspection.

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 연구 개발되어 사용되고 있다.

그러나 옥외용 설비의 내트래킹성과 같은 절연성을 평가하는 방법은 아직까지 정립된 이론 및 방법이 없다. 따라서 객관적인 평가가 가능한 새로운 정량화를 개발할 목적으로 표면방전(Surface Discharge :SD)을 프랙탈 차원(Fractal Dimension :FD)을 이용하여 평가하였다.

본 연구에서는 배전용 22.9[KV] EPDM 및 SIR 애자를 이용하여 트래킹의 발생 및 진행 과정을 분석하고, 특히 SD 측정을 통하여 트래킹성에 대한 비교분석 및 각종가속실험 전후의 특성을 판단하고자 한다. 그리고 마지막으로 SD관측을 통하여 EPDM 및 SIR 애자의 가속열화에 따른 표면방전을 고찰하였다.

2. 이 론

2-1프랙탈 수학

현대과학의 지식으로 아직 미해결된 문제가 많은데, 이 미해결의 문제에는 대개 복잡성과 난해성 등과 같은 공통적인 성질을 내포하고 있다. 어떤 대상이 복잡하다는 감각을 정량화 할 수 있다.

상기와 같은 특성에는 같은 모양의 패턴이 반복적으로 생성되고 반복적인 작업 후에도 작업전의 패턴이 남아있는 것을 쉽게 발견된다. 이와 같은 특성을 자기상사성이라고 부르고 있다. 이러한 프랙탈 모형으로 길이와 같은 정량적인 표현으로 불가능한 정성적인 표현방법을 제시하고 있다.

자기상사성을 갖는 임의의 패턴은 가정한다. 모형의 크기를 1/a로 축소한 후 자기상사성을 측정할 경우 패턴의 상사성은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

이와 같은 관계를 고차원의 경우로 확장한다면 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$N(r) = r^D \quad (1)$$

$$D = \frac{\log N(r)}{\log r} \quad (2)$$

일반적으로 유클리드 기하학에서의 차원은 정수값을 표현되지만, 위 식에서의 차원은 비정수값을 가질수 있다.

2-2. 와이블 함수(Weibull Distribution)

와이블 분포(Weibull Distribution)는 신뢰도 계산에서 가장 널리 쓰이는 분포중의 하나로, 모수를 적절히 선택하면 다양한 고장률 형태를 모형화할 수 있다. 마모(Wear-out)와 역마모(Weat-in) 현상을 모형화하는 고장의 예도, 특별한 경우로, 상수 고장률도 묘사할 수 있다. 형상모수(Shape Parameter)와 특성수명(Characteristic Life)을 갖는 와이블 분포는 고장률이 멱수 법칙의 형식을 취한다.

체계 고장률의 형태를 고찰하면 고장기전(mechanism)에 대해서 좀더 통찰할 수 있다. 고장률 $\lambda(t)$ 는 신뢰도 혹은 고장시간의 PDF(확률밀도함수)에 의하여 다음과 같이 정의할 수 있다. 체계가 $T=t$ 에서 아직 고장나지 않았는데 $T < t+dt$ 에서 고장날 확률을 $\lambda(t)dt$ 라 하자 즉 이는 조건부 확률로 t 초후 고장날 확률과 확률 밀도함수를 대입하여 나타내면 식(1)와 같다.

$$f(t) = -\frac{d}{dt}R(t) \quad (1)$$

형상모수(shape parameter) β 와 특성수명(characteristic life) θ 를 갖는 와이블 분포(Weibull Distribution)의 누적분포함수(CDF)를 이항하고 양변에 자연로그를 두 번 취하면 식(2)과 같으며 이를 이용한 와이블 함수(Weibull Distribution)의 평가를 측정하다.

$$\ln \ln \left[\frac{1}{1-F(t)} \right] = \beta \ln t - \beta \ln \theta \quad (2)$$

3. 실험방법 및 프랙탈 계산 알고리즘

3-1. SD 실험방법

현재까지의 많은 제안된 방법은 시편에서의 특성분석만이 가능한 방법이 보고되고 있으며, 너무나도 가혹한 조건에서 시험하는 방법으로 시행하는 단시간 Testing이 시행되고 있다. 따라서 장기간의 신뢰성이나 운용중의 재품을 평가할 수 있는 방법은 아직까지 제안되고 있지 않다. 특히 재현성 있는 수식화와 같은 파라메타가 없기 때문에 정량적인 개발법이 요구된다.

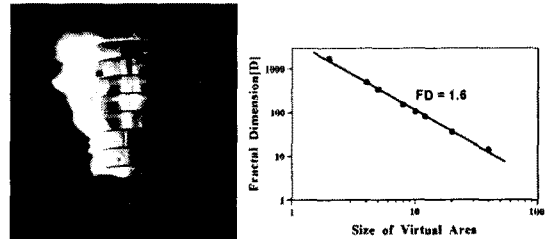
본 연구에서는 기존의 내트래킹성 시험에서 이용되는 조건을 이용하고, 재현성 있는 FD 실험을 위하여 다음과 같이 각각의 조건을 제안한다.

- 침적액은 IEC-60587법에서 제시한 내트래킹 침적용액(NH₄Cl)으로 이용.
- 배전용예자를 용액내에 30초간 침적.
- 인가전압은 45 [KV]. (1회 시험을 약 10분 이내로 하기 위함)
- 전원 인가 후, 3분간 연속 촬영. (3-5분)
- 입력의 크기 재변환
- 10회의 반복실험 후 상한과 하한을 제외한 평균값. (재현성, 반복성)
- 24 시간 휴식후에 10 사이클 반복 (총 30 사이클)

3-2. 프랙탈 계산 알고리즘

상기의 시험방법에 의하여 시험한 결과는 다음과 같이 얻어진다. 이 조건의 외국 A사의 제품으로 현장에서 3년간 운용된 제품을 SD 실험한 결과이다.

최초에 설정된 침적조건에 의해서 샘플링된 시료를 준비하고 500Volt/sec의 승압속도로 목표전압 45[KV]를 인가한다. SD의 효과적인 관측을 위하여 암실 내에서의 시험이 요구되며, 카메라의 노출과 촬영시간이 적절히 조절되어야 한다. 특히 45[KV]의 전압은 상당히 높은 전압으로 추정되지만, 적절한 시험시간을 위하여 인위적으로 조정된 결과이다. 예를들면, 35[KV]에서는 수십분 이상의 시험시간이 요구되면 이는 보다 효과적인 자동화 시스템이 요구된다. 이는 추후에 보다 효과적인 개발을 추진할 계획에 있다.



(a) SD (b) FD Result
그림 1. 가속사이클 후에 발전된 SD 및 프랙탈 차원

그림 1의 과정을 거치면서 필수적인 단계를 수행한 후, 영역분할을 통한 프랙탈 구강 카운트를 수행하면 모의 공간에서의 결과 값이 계산된다. 이들의 좌표를 다시 최소자승 오차법에 의한 기울기를 구하면 프랙탈 차원이 구해진다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 제안한 새로운 평가법은 다음과 같은 결과가 얻어졌고, 또한 보다 효과적인 열화평가 가능성을 위한 개발의 요구된다.

4-1. 프랙탈 차원의 가능성 및 장점

FD를 이용한 제안된 방법은 현재의 다른 확실한 기술적인 방법이 없다는 점에서 새로운 접근방법으로 추정된다. 또한 옥외용 설비의 현장 운용 후에도 샘플링을 통한 정량적인 평가가 가능하다는 장점을 확인할 수 있다.

환경적인 열화요인 이 복잡한 옥외용 설비의 지역적·환경적 열화가속정도를 표현할 수 있는 방법으로 제안한다. 즉 동일 생산품의 경우에도 지역적인 열화가속도가 다르다는 점이 옥외용 설비의 운용 및 유지보수 측면에서 문제점으로 나타난다. 즉 경험적인 시각적 관찰(Visual Inspection)이 유일한 지역적·통계적 고찰이라는 점에서 제안된 방법은 새로운 접근이 가능하며, 운용지역의 효과적인 보수상황을 예측할 수 있다.

제안된 방법은 열화정도를 숫자로 표현가능하기 때문에 제품별의 절연성 평가 및 지역별 상대적 평가가 가능하다.

또한 운용기간동안의 SD열화정도를 구체적인 숫자로 정량화가 수행 가능하다. 예를 들어 그림 2의 경우에는 SD=1.32정도로 같은 기간동안 운용된 다른 지역보다는 열화정도가 심한 것으로 추정되며, 다른 제조사의 경우보다도 열화가 심한 것으로 추정가능하다.

제안된 방법은 기존의 불분명한 SD 평가법보다도 효과적이며, 저비용의 SD평가가 가능하다. 또한 보다 효과적인 발전 가능성이 높음으로 국내외적인 적용이 요구된다.

4-2. EPDM/SIR 가속실험 결과

EPDM 과 SIR의 가속실험 결과, 그림 3-6과 같은 결과가 고찰 되었다. 그림2는 SIR를 소재로 하는 애자에 대한 가속 실험 결과로써 30사이클 동안 안정적인 SD 진적을 고찰할 수 있었으며, 특히 그림3의 저비중 EPDM 애자의 열화 특성과 유사한 결과를 고찰할 수 있었다. 이는 폴리머 애자가 장기적으로 신뢰성을 확보하기 위한 자기회복력을 가지는 결과로 추론되며 특히 24시간 휴식 후에는 폴리머 절연체의 특성을 회복하는 특징을 가지고 있다.

특히 SIR재질의 옥외용 설비는 EPDM에 비하여 SD가속 실험시 회복능력이 월등히 우수하며 본 가속사이클에서 특성저하를 발견할 수 없었다. SIR이 고가 임에도 불구하고 송전클래스 이상에서 제안되고 있는 것은 이러한 표면특성의 회복능력이 장기신뢰성을 갖는 것으로 판단된다.

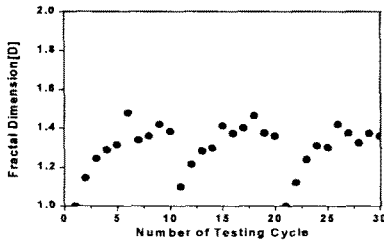


그림 2. 실리콘 애자의 가속실험 결과

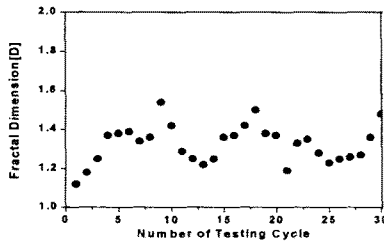


그림 3. EPDM 애자의 가속실험 결과(저비중)

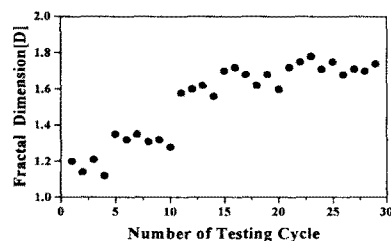


그림 4. EPDM 애자의 가속실험 결과(고비중)

그러나 그림 4와 같은 고비중 EPDM의 경우에는 초기 내트래킹성은 우수하지만 표면 전체에 미세한 손상을 유도하여 Weak Point를 증대 시키므로써 장기적으로 안정도가 떨어질 것으로 판단된다.

국내에 운용된 3년간의 폴리머 애자에 대한 가속실험 결과에서도 상기와 같은 문제점이 고찰되었으며 이는 현재 개발된 제품들의 문제점으로 고찰된다.

4-3. Weibul Distribution 해석

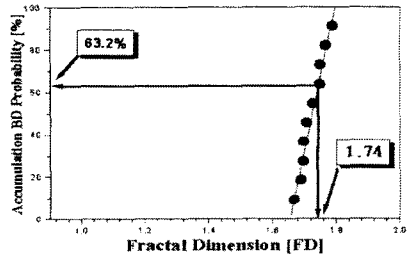


그림 5. 실리콘 애자의 측정모수

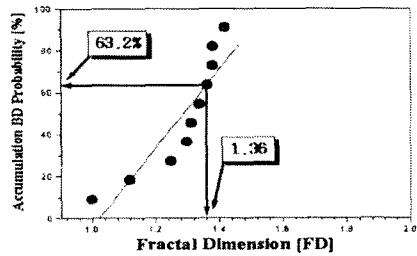


그림 6. EPDM 애자의 측정모수(저비중)

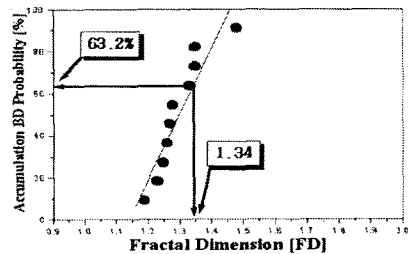


그림 7. EPDM 애자의 측정모수(고비중)

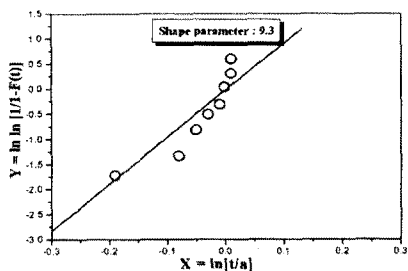


그림 8. 실리콘 애자의 형상모수

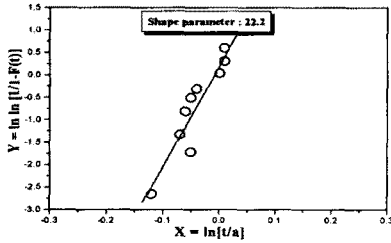


그림 9. EPDM 애자의 형상모수(저비중)

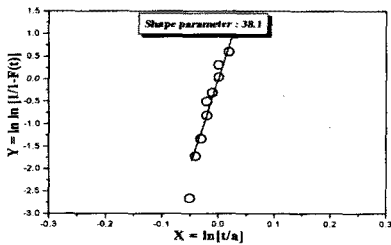


그림 10. EPDM 애자의 형상모수(고비중)

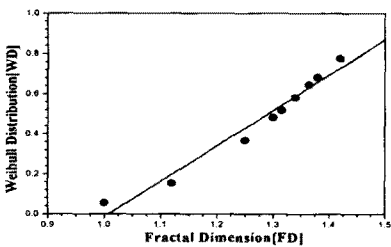


그림 11. 실리콘 애자의 Weibull Data

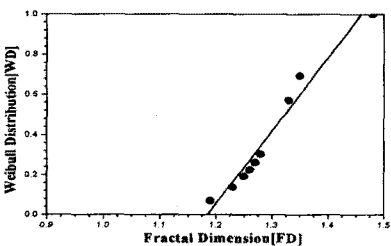


그림 12. EPDM 애자의 Weibull Data(저비중)

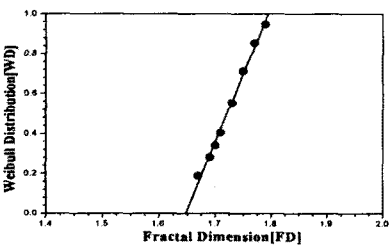


그림 13. EPDM 애자의 Weibull Data(고비중)

와이블 함수를 이용한 EPDM과 SIR의 해석결과, 그림 5-13과 같은 결과가 고찰되었다. 그림 5, 8, 11은 SIR를 소재로 하는 애자에 대한 Weibull Distribution 해석결과로써 안정적인 SD 진적에 따른 해석을 고찰할 수 있으며, 그림 4, 9, 12의 저비중 EPDM 애자의 열화 특성과 유사한 결과를 볼수 있다. 그러나 와이블 함수의 해석결과 저비중 EPDM과 실리콘은 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 비중에 따른 EPDM의 차이를 보여주며, 폴리머 절연체의 특성중 회복능력을 보여준다는 가속실험 결과와 같은 결과를 고찰할 수 있다.

5. 결론

옥외용 애자의 표면 절연특성을 평가하기 위한 새로운 프랙탈 차원(FD)을 적용후 Weibull함수를 이용한 해석결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. FD를 이용한 제안된 방법은 현재의 다른 확실한 기술적인 방법이 없다는 점에서 새로운 접근방법으로 제안할 수 있다.
2. 옥외용 설비의 지역적인 열화 가속 정도를 정량화 할 수 있다.
3. 제조사별 열화진행을 와이블을 해석을 통한 시각적인 상대 평가가 가능하다.
4. 와이블분포 해석을 통한 해석으로 수명예측이 가능하다.
5. SIR은 EPDM 보다도 장기 신뢰성 측면에서 우수하지만 고정밀 제작기술이 요구된다.
6. 저비중 EPDM은 고비중 EPDM에 비하여 초기열적특성은 떨어지지만 장기 신뢰성은 우수한 것으로 판단된다.

상기의 제안된 새로운 방법으로 FD의 효과적인 운용을 수행 할 수 있으며, 와이블함수를 이용한 해석을 통한 수명에 대한 평가 및 진단이 가능하고, 시각적 방법을 통한 상대평가가 가능할 것으로 판단된다.

[REFERENCE]

- [1] Lim Jang-seob , CIGRE WG. 15-108, 1998.
- [2] Lim Jang-seob , "Aging Recognition of Partial Discharge Patterns Using Neural Network and Semi-Fractal Dimension", Proceedings of the 5th ICPADM, Vol.1, pp. 290-293, 1997.
- [3] M. Fujii, "Fractal Character of DC Trees in Polyethylmethacrylate", IEEE. Trans. on E.I. Vol.26 No.6, pp. 1159-1162, 1991.
- [4] Lim Jang-Seob "The Fractal Estimation of the EPDM Insulator in the South-coast of Korea": 2002 JC of ACED & K-J Symposium on ED/HVE , Vol 2 , pp. 357-360, 2002.
- [5] 박경수 "신뢰성 개론" 영지문화사 1996.
- [6] 김상준, 한재홍 "배전용 고분자 애자의 경년열화설비 구축 및 진단시스템 개발 연구(96E-J32)" 한전전력연구원, 한국전기연구소 및 기초전력공학공동연구소 공동 연구과제 12, 1997.