

프랙탈 수학을 이용한 옥외용 설비의 정량적 평가법 제안

The New Estimation Methods for Outdoor Equipment using Fractal Mathematics

박범수¹, 임장섭², 소순열^{1,a}, 이진¹, 송일근³, 이재봉³

(Beom-Su Park¹, Jang-Seob Lim², Soon-Youl So^{1,a}, Jin Lee¹, Il-Keun Song³, and Jae-Bong Lee³)

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.

Key Words : Fractal dimension, Self-similarity, Insulator aging, Image process

1. 서론

전력계통에서 사용되고 있는 옥외용 설비에서의 절연재료는 타 분야의 재료에 비하여 장기간 사용되고 열악한 환경에 노출되어 있다. 이러한 이유로 내트래킹성이 우수한 절연재료가 이용되고 있었다. 그러나 산업의 발전으로 인한 전력수요의 급격한 증가는 상기의 특성외에도 유지·보수, 소형화, 경량화 및 내환경성 등의 추가적인 기능이 요구되고 있다.

그러나 옥외용 설비의 내트래킹성과 같은 절연성을 평가하는 명확한 방법은 아직까지 정립된 이론 및 방법이 없다 따라서 옥외용 설비의 유지를 위해서는 현재까지 수행하는 방법으로 시각적·화상적 평가가 널리 이용되고 있다[1,2]. 장기간 사용

중에 전력용 옥외설비의 치명적인 절연과피 단계의 주된 원인으로 알려져 있는 표면방전은 제작상태 및 운용중의 열화진단 시스템으로 널리 연구되고 있다. 그러나 표면방전은 그 신호가 대단히 복잡하고 불규칙한 진행패턴을 갖고 있어서 시스템에서 얻어지는 데이터에서 인위적이 해석이나 인식이 대단히 어렵고 경우에 따라서는 불가능하다.

본 연구에서는 이러한 옥외용 전력설비의 열화진단을 하기 위하여 트래킹의 표면방전 현상을 Chaos/Fractal 수학을 이용하여 영상처리하고, 상대적인 열화진행이나 상태를 확인할 수 있도록 새로운 프랙탈 차원을 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이것으로부터 정량적 평가법을 제안하였다.

1. 목포대학교 전기제어신소재공학부
(전남 무안군 청계면 도림리 61)
2. 목포해양대학교 해양전자통신공학부
3. 한국전력공사 전력연구원
a. Corresponding Author : syso@mokpo.ac.kr
접수일자 : 2006. 12. 8
1차 심사 : 2007. 1. 18
심사완료 : 2007. 1. 23

2. Chaos/Fractal 수학

자연계에서 존재하는 패턴은 유한크기를 갖고 있기 때문에 그 크기에 대한 상한과 하한을 갖고 있다. 전술한 단순한 정으로는 현실의 패턴의 프랙탈을 구하는 것이 어렵기 때문에 실제적으로는 대

상 패턴으로부터 자기상사성(Self-similarity), 즉 도형의 둘레를 적당한 방법을 이용해서 구하여, 프랙탈 차원을 구하고 있다. 또한, 프랙탈 차원을 구하는 방법으로는 스케일 변환, 회전 반경법 및 상관함수법 및 커버법등이 있다[3,4].

프랙탈은 자기상사성(Self-similarity)을 갖고 있지만, 이 방법은 임의의 스케일 이하의 미소한 변화를 무시하는 것에서 차원을 구하는 방법이다. 어떤 물체의 길이, 면적 또는 체적 등의 크기는 측정에 이용하고 있는 스케일의 기본단위가 변화하게 되면 따라서 변화하게 된다. 1차원의 경우, 어떤 스케일에서 측정된 L_1 이라는 것을 스케일의 단위를 a 배하여 측정하면 선분의 길이는 다음과 같다.

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

자기상사성(Self-Similarity)을 갖는 임의의 패턴은 가정한다. 모형의 크기를 $1/a$ 로 축소한 후 자기상사성을 측정할 경우 패턴의 상사성은 다음과 같은 수식으로 표현된다. 이와 같은 관계를 고차원의 경우로 확장한다면 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$N(r) = r^D \quad (2)$$

$$D = \frac{\log N(r)}{\log r} \quad (3)$$

일반적으로 유클리드 기하학에서의 차원은 정수 값을 표현되지만, 위 식에서의 차원은 비정수값을 가질 수 있다[5].

3. 실험방법 및 프랙탈 계산 알고리즘

3.1 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 제품을 평가할 수 있는 방법은 아직까지 제안되고 있지 않다. 특히 재현성 있는 수식화와 같은 파라메타가 없기 때문에 정량적인 개발법이 요구된다[6,7].

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.
- 배전용 애자를 용액 내에 30초간 침적.
- 인가전압은 45 kV. (1회 시험을 약 10분 이내로 하기 위함)
- 전원 인가 후, 3분간 연속 촬영. (3-5분)
- 입력의 크기 재변환.
- 10회 반복실험 후 상한과 하한을 제외한 평균값. (재현성, 반복성)
- 24 시간 휴식 후에 10 싸이클 반복. (총 30 싸이클)

3.2 프랙탈 계산 알고리즘

상기의 방법에 기준하여 현장에서 3년간 운용된 제품을 실험하였다. 최초로 설정된 침적조건에 의해서 샘플링된 시료를 준비하고 500 Volt/sec의 승압속도로 목표전압 45 kV를 인가한다. SD의 효과적인 관측을 위하여 암실 내에서의 시험이 요구되며, 카메라의 노출과 촬영시간이 적절히 조절되어야 한다. 특히 45 kV의 전압은 상당히 높은 전압으로 추정되지만, 적절한 시험시간을 위하여 인위적으로 조정된 결과이다. 예를 들면, 35 kV에서는 수 십분 이상의 시험시간이 요구되며, 이는 보다 효과적인 자동화 시스템이 요구된다. 이는 추후에 보다 효과적인 개발을 추진할 계획에 있다[8].

그림 1(a)의 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(그림 1(b)).

그림 2는 표면방전 실험 결과를 촬영하고, 발생된 트래킹 형상을 컴퓨터를 이용하여 프랙탈 차원의 값으로 계산한 결과이다. 사진의 우측 상단이 프랙탈로 계산된 차원의 값이다.

3.3 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 확인 할 수 있다.

제안된 방법은 열화정도를 숫자로 표현가능하기 때문에 제품별의 절연성 평가 및 지역별 상대적 평가가 가능하다. 또한 운용기간동안의 SD열화정도를 구체적인 숫자로 정량화가 수행 가능하다.

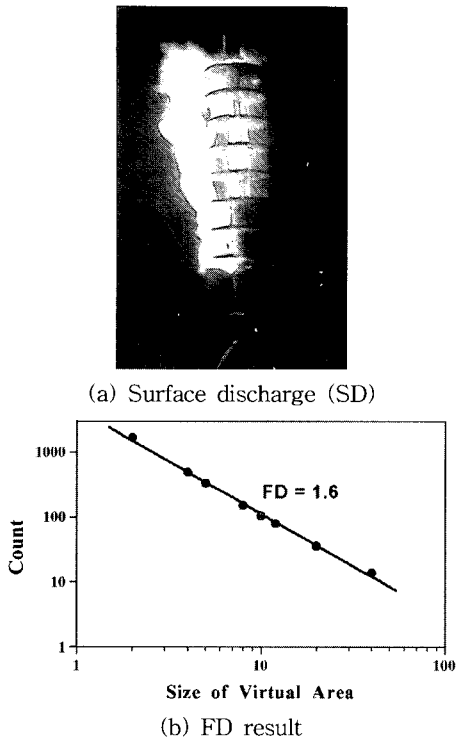


그림 1. 가속 사이클 후에 발전된 표면방전(SD) 및 프랙탈 차원 (FD).
 Fig. 1. Surface discharge (SD) and fractal dimension (FD) after acceleration.

- SD 특성상의 FD 재현성:
SD는 주변상화에 따라서 또는 시험조건에 따라서 동일조건 환경 및 반복적 실험을 통하여 신뢰도 영역을 높여야 한다.
- 단일 인가전압의 특성 고유치 고찰:
다단계 실험고찰(25, 30, 35, 40, 45 kV)을 통하여 보다 효과적인 SD 정보를 수행한다면 가능하다. 그러나 측정 시간의 증대에 따른 자동화가 요구된다.
- 측정자동화 시스템:
프랙탈의 영역분할은 정확한 계산을 위하여 보다 효과적인 디지털화 추진 및 실시간 영상처리가 요구된다.
- 지역적인 편차의 관리:
장기적인 Database화 필요하며, 지속적인 샘플링이 요구된다.
- 제품평가의 명확한 데이터:
SD기술 및 소프트웨어의 개발.

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

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 제안한 Chaos/Fractal 수학을 적용하여 실리콘(SIR)과 EPDM의 열화 진단 및 평가를 수행하였다. 이 방법은 옥외용 설비의 열화진단 및 가능성을 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 고려된다.

EPDM 과 SIR의 가속실험 결과, 그림 3~6과 같은 결과가 고찰 되었다. 그림 3~6에서 FD 1.0값은 파괴 위험성이 낮은 상태를 나타내며, FD 2.0은 열화진행이 빠른 상태를 나타낸다. 그림 3은 SIR를 소재로 하는 애자에 대한 가속실험 결과로서 30사이클 동안 안정적인 SD 진전을 고찰할 수 있었으며, 특히 그림 4의 저비용 EPDM 애자의 열화특성과 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 SIR제질의 옥외용 설비는 EPDM에 비하여 SD 가속 실험시 회복능력이 월등히 우수하며 본 가속 사이클에서 특성저하를 발견할 수 없었다.

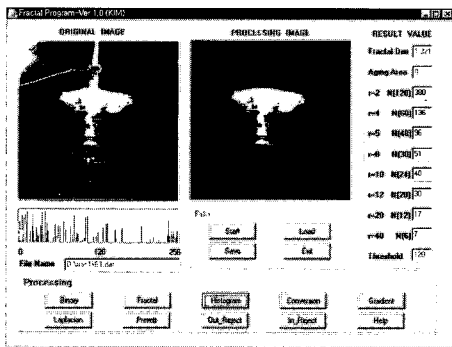


그림 2. SD 형상 및 FD 프로그램.
 Fig. 2. SD image and FD program.

3.4 프랙탈 응용의 문제점 및 해결방안 제시

그러나 FD 응용에도 다음과 같은 문제점과 해결방안 고안되어야 한다.

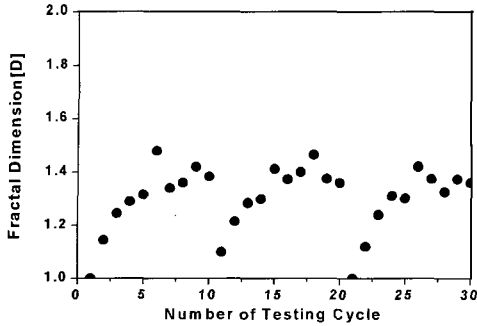


그림 3. 실리콘 애자의 가속실험 결과.
Fig. 3. Result of acceleration in silicone insulators.

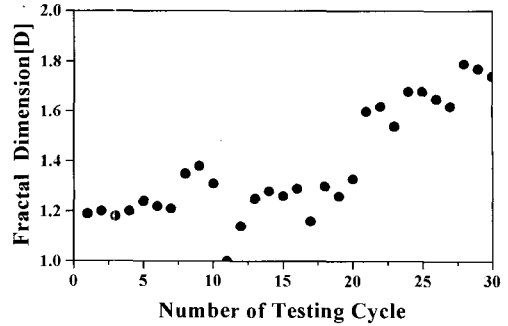


그림 5. EPDM 애자의 가속실험 결과 (고비중).
Fig. 5. Result of acceleration in EPDM-2.

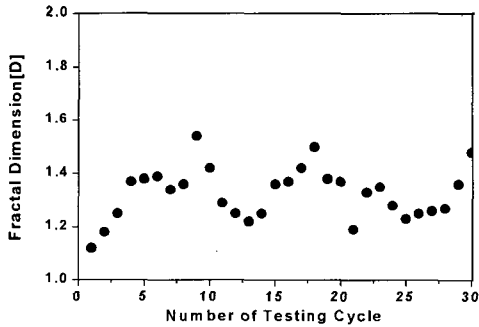


그림 4. EPDM 애자의 가속실험 결과 (저비중).
Fig. 4. Result of acceleration in EPDM-1.

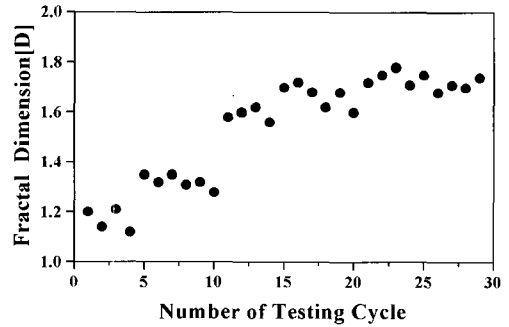


그림 6. EPDM 애자의 가속실험 결과 (고비중).
Fig. 6. Result of acceleration in EPDM-3.

SIR이 고가 임에도 불구하고 송전 클래스 이상에서 제안되고 있는 것은 이러한 표면특성의 회복능력이 장기신뢰성을 갖는 것으로 판단된다.

그러나 그림 6과 같은 고비중 EPDM의 경우에는 초기 내트래킹성은 우수하지만 표면 전체에 미세한 손상을 유도하여 Weak Point를 증대시킴으로써 장기적으로 안정도가 떨어질 것으로 판단된다. 국내에 운용된 3년간의 폴리머 애자에 대한 가속실험 결과에서도 상기와 같은 문제점이 고찰되었으며, 이는 현재 개발된 제품들의 문제점으로 고찰된다.

폴리머의 단기 내트래킹성의 실험에서는 고비중의 EPDM이 우수하였지만 열적 열화 등에서는 저비중 EPDM과 SIR이 우수한 특성을 가지고 있다. 특히 저비중 EPDM과 SIR은 열적 열화의 경우, 초기보다도 더 우수한 특성을 고찰할 수 있었으며 이는 장기 신뢰성 측면에서 매우 중요한 부분으로 판단된다.

UV 열화의 경우 EPDM과 SIR은 모두 다 우수한 특성을 가지고 있었으며 기존의 개발된 제품에서도 큰 문제점은 발견되지 않았다.

국내의 보급되고 있는 폴리머 애자의 개발 방향은 SIR과 저밀도 EPDM이 적합한 것으로 판단되며 이에 따른 기술적 개발이 요구된다.

5. 결론

옥외용 애자의 표면 절연특성을 평가하기 위하여 새로운 프랙탈 차원(FD) 프로그램을 개발하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

FD를 이용한 제안된 방법은 현재의 다른 확실한 기술적인 방법이 없다는 점에서 새로운 접근방법으로 제안 할 수 있다. 또한, 옥외용 설비의 지역적인 열화 가속 정도를 정량화 할 수 있다 (큰 FD:심한열화지역). 제조사별 열화진행을 상대적으로

로 평가할 수 있으며 (큰 FD:열화진행이 빠른 제품), FD의 최대값은 1.8정도로 추정된다. 이를 통하여 기대수명을 예측할 수 있다. SIR은 EPDM보다도 장기 신뢰성 측면에서 우수하지만 고정밀 제작기술이 요구된다. 저비중 EPDM은 고비중 EPDM에 비하여 초기열적특성은 떨어지지만 장기 신뢰성은 우수할 것으로 판단된다.

상기의 제안된 새로운 방법으로 프랙탈 수학을 이용한 정량적 평가법이 효과적인 운용을 수행할 수 있으며, 지역적인 관리나 제조사별 운용에 적용하는 것이 가능할 것으로 기대된다. 따라서 제안된 Chaos/Fractal 수학을 이용한 옥외용 설비의 정량적 평가법을 기초 자료로 지속적인 연구를 수행한다면, 옥외용 설비에 대한 운영관리에 좋은 결과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] J.-S. Lim, "Development of a Neural Network Techniques based PD-Model for the Aging Condition Monitoring and Diagnosis :Practical Aspects and Economic Consideration", CIGRE WG15-108, 1998.
- [2] J.-S. Lim, "Aging recognition of partial discharge patterns using neural network and semi-fractal dimension", Proceedings of the 5th ICPADM, Vol. 1, p. 290, 1997.
- [3] M. Fujii, "Fractal character of DC trees in polyethymethacrylate", IEEE. Trans. on E.I., Vol. 26 No. 6, p. 1159, 1991.
- [4] J.-S. Lim, "The fractal estimation of the EPDM insulator in the South-coast of Korea", 2002 JC of ACED & K-J Symposium on ED and HVE, Vol. 2, p. 357, 2002.
- [5] 임장섭, "고분자 절연체의 장시간 신뢰성에 관한 프랙탈 평가", 한국전기전자재료학회, 제5회 영호남 학술대회 논문집, p. 25, 2003.
- [6] N. Yoshimura, "Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulator", IEEE Trans. DEI, Vol. 6, No. 5, p. 632, 1999.
- [7] M. Uger, "Analyzing and modeling the 2D surface tracking patterns of polymeric insulation materials", IEEE Trans. DEI, Vol. 5, No. 6, p. 824, 1998.
- [8] 김상준, 한재홍, "배전용 고분자 애자의 경년열화설비 구축 및 진단시스템 개발 연구(96E-J32)", 한전전력연구원 한국전기연구소 및 기초전력공학공동연구소 공동 연구과제 12, 1997.