

절연파괴 메카니즘의 비 선형 분석에 의한 절연진단에 관한 연구

임윤석*, 장진강*, 김성홍**, 박재준***, 김재환*
 *광운대학교 전기공학과 **순천청암대학 전기설비과 ***중부대학교 컴퓨터공학부

A Study on the Insulation Diagnosis by Nonlinear Analysis of the Insulation Breakdown Mechanism

Yunseog Lim*, Jinkang Jang*, Sunghong Kim**, Jaejun Park***, Jaehwan Kim*

*Dept. of Electrical Engineering, Kwnagwoon Univ.

**Electrical Facilities, Suncheon Chongam College.

***Dept. of Computer Science, JoongBu University.

Abstract - 절연체 내부의 보이드로 인하여 부분방전이 발생하면 국부 파괴와 완전절연파괴의 원인이 된다. 부분방전으로 생기는 트리잉은 절연재료를 열화시키며 부분방전 메카니즘 연구의 한 축을 이룬다. 이에 절연 파괴를 미연에 예측하고 감시하는 기술의 개발은 매우 중요하다. 이러한 관점에서, 부분방전의 메카니즘을 본래의 관점에서 비 선형적으로 해석할 수 있는 기법의 도입은 중요한 의미를 갖는다. 절연체의 부분방전을 시간전개에 따라 해석함으로써 이후 실시간 감시 시스템 구축에 기초가 될 것이며 지금까지 수없이 시도 되어온 통계적인 방법과의 비교분석 및 데이터 베이스화에 따른 더욱 객관적이고 정확한 감지 결과가 기대된다. 부분방전 신호는 음향센서를 거쳐 개인용 컴퓨터에서 비선형적 해석기법과 통계적인 ϕ -q기법을 적용하여 해석하였으며, 이 해석 결과는 다양한 해석 기준을 제공해 줄 것으로 기대된다.

를 보였다. 부분방전신호를 발생시키기 위한 전압은 부분방전이 발생하는 시점부터 1분에 1[kV]씩 증가시켜 15[kV]로 일정하게 유지한후 신호 검출을 시작하였다.

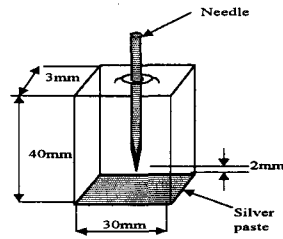


그림 1. 전극 구성도
 Figure 1. An electrode composition

주제어 : 부분방전, 실시간 감시 시스템, 데이터 베이스, 비선형적 해석기법

1. 서 론

최근들어, 고전압 주변기기의 절연성능 감시하고 진단하기 위한 다양한 기법들이 소개되고 있다[1-4]. 특히, 부분방전을 이용한 절연진단 기법에 있어서는 ϕ -q-n 파라미터를 이용한 다양한 통계적인 기법들을 컴퓨터를 이용하여 자동화하는 추세에 있다[1-3]. 이에, 본 연구에서는 이러한 통계적인 기법과 시간의 흐름에 따른 절연 열화를 해석할 수 있는 비선형적 해석기법에 의해 부분방전을 일으키는 메카니즘에 관하여 복합적으로 검토하였다. 다시말해, 시간전개에 따른 부분방전 메카니즘을 비선형 역학계로 추정하고 통계적인 부분방전 메카니즘 해석과 비선형적인 메카니즘 해석방법을 복합적으로 적용하여 부분방전을 이용한 절연진단에 있어서 기준이 될 수 있는 파라미터를 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 실험방법

본 논문에서는 부분방전 전하량을 그에 상응하는 전기적 펄스신호로 바꾸어 출력하는 음향방출 시스템(Acoustic Emission System)을 사용하여 부분방전 신호를 검출하였다.

부분방전 신호를 모델링 하는데 사용된 시료는 블록형 태의 침대평판 전극구조를 갖는 가교폴리에틸렌(이하 XLPE)으로 제작되었으며, 이는 케이블용 절연재료에서 발생하는 부분방전을 모델링 하기 위한 것이다. 침전극으로는 일제 OGURA(침단반경 5 μ m)바늘을 사용하였으며 침전극과 평판전극간의 극간 거리는 2mm로 일정하게 유지하였다. 그림 1.에 실험에 사용된 전극의 구성도

하부전극과 밀착되어 있는 센서는 400KHZ~1MHZ 대역의 출력을 갖는 방유형 음향센서로서 600KHZ 대역에서 공진 주파수를 갖는다. 센서로부터 얻어지는 전기적 펄스 신호는 센서의 공진 주파수에 맞춰 설계된 증폭기를 거쳐 증폭되고 디지털 오실로스코프를 거치면서 일정한 시간간격으로 샘플링되어 인터페이스카드를 통해 컴퓨터에 저장된다. 지금까지의 개념을 그림 2.에 도식적으로 설명하였다.

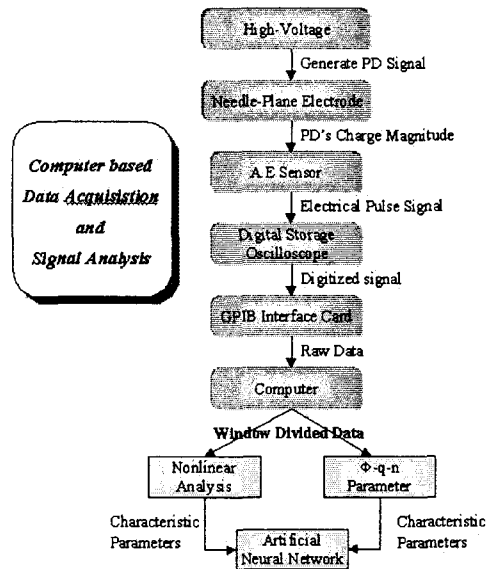


그림 2. 부분방전 신호검출 및 분석 개념도
 Figure 2. Block Diagram of the PD signal detection

and analysis

2.2 데이터 구성

본 논문에서는 디지털 오실로스코프의 샘플링 주파수 (f_s)는 10MHz로 설정하였으며, 이는 음향센서의 최대 출력 주파수의 10배에 달하는 샘플링 비율로서 나이퀴스트 이론에 위배되지 않도록 샘플링 할 수 있었다. 결과적으로, 시계열 데이터의 각 점은 0.58초의 샘플링 시간을 갖게되며, 컴퓨터로 읽어들이 음향방출 신호를 한 주기에 해당하는 전체 데이터를 한 주기당 24개의 창으로 나누어 각기 15°의 위상각 범위를 갖도록 하였다. 그러나, 각 창마다의 방전 신호들은 그 발생하는 시간간격이 일정치 않으며 작은 크기의 방전신호는 오실로스코프의 기본적인 잡음에 묻혀 버리는 경우가 생겨 본 논문에서의 해석 방법에 적용하기 위하여 각 창마다의 최대값을 검출하고 오실로스코프가 검출해 낼 수 있는 한계 범위를 넘어서는 경우 오실로스코프의 [v/div]를 자동으로 증가시켜 검출해 내는 기법을 택했다. 이 기법은 각 점들간의 시간간격을 일정하게 유지시켜 주며 부분방전 신호중 의미있는 신호를 검출하는 방법[6]이므로 본 논문에서는 이 최대치검출 기법을 이용한 시계열 데이터를 구성하였다. 이러한 방법으로 일정한 위상각 범위의 창으로 나누어진 음향방출 신호는 각 점들이 일정한 샘플링 시간을 갖게되는 시계열(Time series)데이터의 형태를 띠게된다. 결국, 모델링을 통해 이루어진 부분방전 신호는 모두 24개의 시계열 데이터 집합을 갖게된다. 그림 4에 이러한 방법으로 얻어진 시계열 데이터의 예를 나타내었다. (a)는 위상각 15° ~ 30°에서의 시계열 데이터이며 (b)는 위상각 300° ~ 315°에서의 시계열 데이터이다.

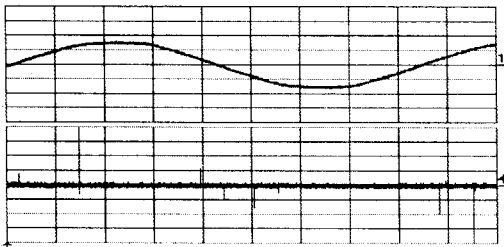
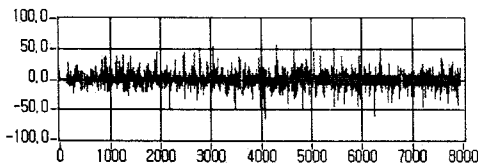
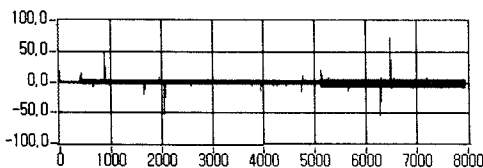


그림 3. 오실로스코프의 출력파형 예
Figure 3. An Waveform of the oscilloscope



(a) 위상각 15° ~ 30°에서의 시계열 데이터
(a) Time series in phase window 15° ~ 30°



(b) 위상각 300° ~ 315°에서의 시계열 데이터
(b) Time series in phase window 300° ~ 315°
그림 4. 각 위상각에서의 시계열 데이터 예
Figure 4. Examples of the time series in each

phase window

그림 5.에는 위상 및 시간 전개에 따른 PD 신호의 변화관계를 3차원 그래프로 보였다. 그래프에서 알 수 있듯이 PD신호는 모든 위상각 범위에서 발생하는 것이 아니라 위상이 변화함에 따라 그 특성을 달리하는데 [3,4], 이는 전자 주입 및 추출에 의한 결과로서 전자 운동의 특성에 기인하며 이를 바탕으로 PD발생기구가 카오스적임을 추정할 수 있다[6, 7].

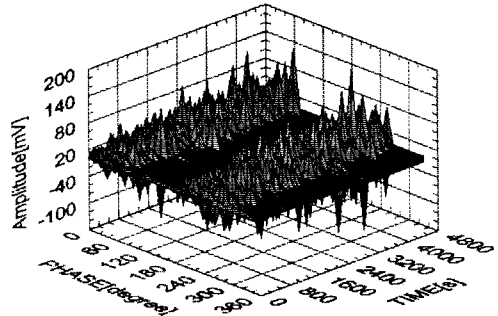
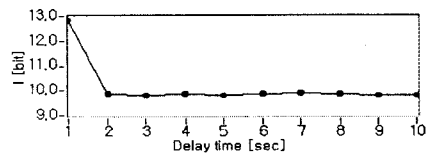


그림 5. 위상 및 시간전개에 따른 PD 신호의 변화
Figure 3. Variation of the PD signal according to Phase and time evolution

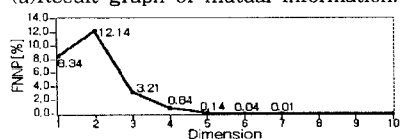
2.3 데이터 해석

위상공간 재구성은 Packard[8]등이 처음으로 제안하였으며, Takens 등에 의해서도 독립적으로 주장된바 있다. Takens 등에 의해서 주장된 기법은 “지연 축 매립 (delay coordinate embedding)”으로 알려져 있으며, 본 논문에서는 위상공간에서의 끌개(attractor)를 재구성하기 위하여 사용되었다. 위상공간을 재구성하기전에 모든 값이 0과 1사이의 값을 취하도록 정규화 하였다.

지연시간의 결정은 재구성에 있어서 가장 중요한 요인이라고 할 수 있다. 지연시간 결정에 있어서, 적당한 지연시간을 결정함으로써 시간축 $x(t)$ 는 지연시간축 $x(t + \tau)$ 와의 독립성이 보장되어야만 한다. 이를 보장하기 위한 기법으로서 Swinney[9]가 주장한 상호정보(Mutual Information)량 기법을 사용하였다. 이에 대한 결과그래프를 그림 6(a)에 도시하였으며 지연시간은 2[sec]로 결정되었다. 매립공간(차원)이 너무 작아서 근접하는 점으로 잘못 인식되는 점들을 배제하기 위한 방법으로 FNN(false nearest neighbor)[10] 기법을 사용하였다. 이를 사용해 얻어진 결과는 그림 6(b)에 도시하였으며 6 차원으로 결정 할 수 있었다.



(a) 상호정보량 결과 그래프
(a) Result graph of mutual information.



(b) FNN 결과 그래프
(b) A result graph of FNN

그림 6. 파라미터 결정 그래프
Figure 6. Graph of determining parameters

그림 7.에는 이들 파라미터로 재구성된 3차원 끌개를 보였다. 다양한 모델링[11, 12]에서 시험적으로 다루는 로렌즈 혹은 끌개와는 다소간의 차이가 있으나 본 모델링만의 특성을 갖는 신호특성에 기인한 것이며, 무작위의 잡음인 경우 끌개가 원형을 이루는데 반해 본 실험의 결과는 별모양의 끌개를 이루는 특성을 보였다. 이렇듯, 기이한 끌개의 모양을 나타내는 신호를 발생시키는 역학계는 특정한 규칙을 갖게되며 리아프노프 지수 및 상관적분량 등의 정량적인 특성지수에 관한 연구도 이후 연구에서는 더욱 자세히 검토되어야 한다.

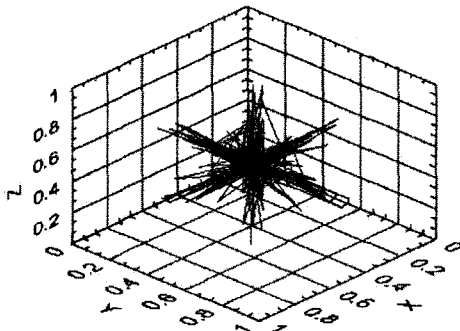


그림 7. 시계열 데이터로부터 재구성된 끌개
Figure 7. Reconstructed 3-dimensional attractor

3. 결 론

본 논문에서 검출한 PD 신호는 전형적인 ϕ - q 특성을 보이고 있으며 PD신호가 미소하여 거의 검출되지 않은 $100^\circ \sim 180^\circ$ 및 $300^\circ \sim 360^\circ$ 구간은 일반적인 잡음과 같은 특성을 보였으며, 이를 보완하기 위해서는 통계적인 기법 또는 인공신경망을 이용한 패턴인식등을 보완책으로 사용할 수 있다고 여겨진다. 또한, 본 연구의 결과로 얻은 끌개는 무작위의 잡음인 경우 끌개가 원형을 이루는데 반해 별모양의 끌개를 이루는 특성을 보였다. 이렇듯, 기이한 끌개의 모양을 나타내는 신호를 발생시키는 역학계에 대한 리아프노프 지수 및 상관적분량 등의 정량적인 특성지수에 관한 연구도 이후 연구에서는 더욱 자세히 검토되어야 한다. 마지막으로, 위상창을 나누어 구성된 시계열 데이터 집합간의 역학적인 관계와 이후 예측 등도 인공신경망 및 카오스이론을 적용하여 충분히 가능하리라 여겨진다.

(감사의 글)

이 연구는 한국전력공사 지원에 의하여 기초전력 공동 연구소 주관(관리번호 98-281)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

[1]E. Gulski and F. H. Kreuger, "Computer aided recognition of discharge sources", IEEE Trans. Elect. Insul. vol. 27, 82-92, 1992.
[2]R. E. James and B. T. Phung, "Development of computer-based measurements and their application to PD pattern analysis", IEEE Trans. Die. and Elect. Insul. vol. 2, 838-856, 1995.
[3]A. Krivda, "Automated Recognition of Partial

Discharges", IEEE Trans. Die. and Elect. Insul. vol. 2, 796-821, 1995.

[4]Edward Gulski and Andrew Krivda, "Influence of aging on classification of PD in HV components", Trans. Die. and Elect. Insul. vol. 2, 676-683, 1995.

[5]N. H. Packard, J. D. Farmer and R. S. Shaw, "Geometry from a time series", Physical Review Letters, vol. 45, 712-715, 1980.

[6]김성홍, 임윤석, 장진강, 이영상, 김재환, "A Nonlinear Analysis of the Partial Discharge Signal", Proceedings of 1999 Spring Symposium of KIEEME, 165-168, 1999

[7]T. Okamoto and T. Tanaka, Change in Pulse-Mean ϕ -Q Distribution Patterns of Partial Discharge due to Treeing Propagation, Trans. Insul. Elect. Eng. Japan, Vol. 102, No. 12, pp. 665-672, 1982

[8]D. S. Broomhead and Gregory P. King, "Extracting qualitative dynamics from experimental data", Physica D, vol. 20, 217-236, 1986.

[9]J. D. Fraser and H.L. Swinney, "Independent coordinates for strange attractors from mutual information", Physical Review A. vol. 33, 1134, 1986.

[10]Mathew B. Kennel, Reggie Brown and Herry D. I. Abarbanel, "Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction", Physical Review A, vol. 45, 3403-3411, 1992.

[11]M. Sano and Y. Swada, "Measurement of the Lyapunov spectrum from a chaotic time series", Physical Review Letters, vol. 55, 10, 1082-1085, 1985.

[12]Y. C. Lai and David Learner, "Effective scaling region for computing the correlation dimension from chaotic time series", Physica D, vol. 115, 1, 1998.