

고체절연체의 내부결함에 따른 부분방전 특성과 패턴분류

강성화*, 박영국, 이광우, 김완수, 이윤희, 임기조
*충청대학 산업안전과, 충북대학교 전기공학과

Properties of PD and Classification of Defect Patterns in Solid Insulation

S.H. Kang*, Y.G. Park, K.W. Lee, W.S.Kim, Y.H. Lee, K.J. Lim
*Chungcheong College, Chungbuk Nat. University

Abstract - PD in defect of solid insulation system is very harmful since It often leads to deterioration of insulation by the combined action of the discharge ions bombarding the surface and the action of chemical compounds that are formed by the discharge.

PD can indicate incipient failure, so it has been used to determine degradation of insulation.

In this paper, we investigated PD in defects of solid insulation by using statical method and classified PD patterns with surface discharge, electrical tree and void discharge by using Kohonen network.

we used peak charge, average discharge power, average discharge current, repetition rate, skewness, kurtosis, QN of the max pulse height vs. repetition rate $H_p(m)$ for analysis and classification.

1. 서 론

고체절연재료는 절연특성이 우수하지만, 보이드나 크랙이 존재하게 되면 전계가 집중되고, 또한 자체의 절연내력이 상대적으로 약하여 결함에서 부분적인 열화가 진행되어 결국에는 전로파괴에 도달한다[1,2]. 따라서 고체절연시스템에서 결함이 존재하게 되면, 본질적으로 절연특성이 저하되며, 이들 결함으로 인하여 신뢰도가 상당히 낮아진다. 따라서 고체절연시스템에 존재하는 결함의 검출은 상당히 중요하다[3,4].

부분방전의 측정 및 패턴분류에 의한 결함의 검출과 결함의 위치판정 및 절연시스템의 열화추정에 관한 연구는 국내외에서 활발하게 진행되어져 왔다[5,6]. 그러나 부분방전의 패턴분류에 의한 결함의 인식이나 위치판정은 패턴분류에 사용되는 데이터에 따라 다른 결과가 나타나며, 신뢰성 등에 문제가 있으므로 아직 연구하여야 할 부분이 많다.

따라서 본 연구에서는 고체절연시스템에 존재할 수 있는 결함으로써 절연재료 표면의 오손이나 부적절한 누설 거리에 기인하는 연면방전과, 절연재료의 내부에 존재하거나, 부분방전이나 열화에 의하여 발생할 수 있는 보이드, 고체절연재료 내부에서 국부적인 전계의 집중에 기인하여 절연재료의 절연특성을 심각하게 저하시키는 전기트리로 분류하여 이들 결함으로부터 발생하는 부분방전을 측정·검토하고 Kohonen network를 이용하여 방전원별로 패턴분류하였다.

부분방전의 통계적 특성분석 및 패턴분류에 사용된 Kohonen network의 입력으로 사용된 부분방전의 특성량들은 최대 방전전하량, 평균 방전전력, 평균 방전전류, 방전펄스의 발생빈도수, 최대 방전하량-발생빈도수 분포($H_p(m)$)의 skewness(왜도, S), kurtosis(첨예도, K)와 QN이다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에 사용된 시편의 형상을 그림 1에 나타내었다. 시편은 LDPE를 hot press로 가열·압축하여 각각의 결함에 대하여 10개씩 제작하였으며, 전기트리 시편의 전기트리는 0.5 mm 성장시켰다.

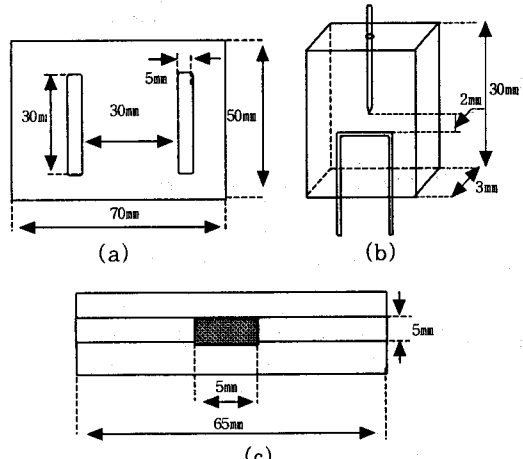


그림 1 시편의 형상

그림 2는 본 실험에 사용된 실험장치의 다이어그램을 나타낸 것이다. 부분방전 펄스는 부분방전 검출기에서 계속하여 컴퓨터에서 모니터링되며, 부분방전 펄스를 필터링을 거쳐 저장하여 IEC 270 규격에 따라 최대 방전 전하량 pC, 발생 빈도수 n/sec 등으로 연산하여 부분방전 신호의 특성을 검토한다.

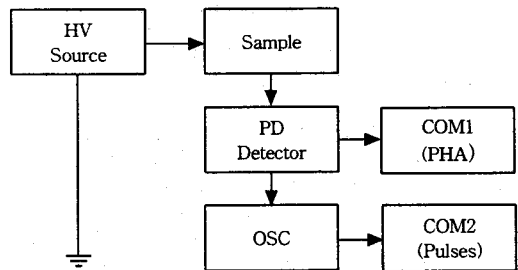


그림 2 실험장치의 블록도

연면방전, 전기트리에 의한 방전과 보이드 방전은 각각 부분방전의 개시전압이 다르며, 실제 기기의 경우에는 부분방전의 발생이 전계의 집중정도 및 결함의 상태에 더욱 민감하게 나타난다. 또한, 부분방전은 인가전압에 따라 방전전하량이나 발생빈도수 등 특성량의 변화가

따라서 본 연구에서는 방전전하량이 5 pC을 초과하는 전압을 부분방전 개시전압 v_i 라 하고 인가전압을 $1.0v_i, 1.1v_i, 1.15v_i, 1.2v_i, 1.25v_i, 1.3v_i$ 의 단계로 증가시키면서 인가전압의 상승에 따른 부분방전의 특성변화를 검토하였다.

2.2 실험결과

부분방전의 특성분석을 위하여 가장 널리 이용되고 있는 특성량은 최대 방전전하량이다. 최대 방전전하량은 국부적인 절연열화를 나타내는 가장 일반적인 특성량이지만, 일정한 측정기간 동안의 방전전하량의 최대치만이 검토된다는 단점이 있다.

그림 3은 각각의 결합에 인가되는 전압비에 따른 부분방전의 최대 방전전하량의 증가비를 나타낸 것으로 데이터는 시편 10개의 평균치이며, 표준편차를 상하로 표시하였다.

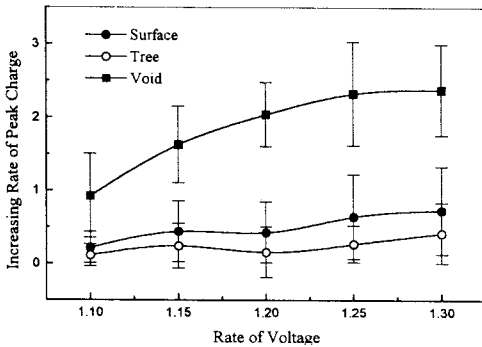


그림 3 전압비에 따른 최대 방전전하량의 증가비

그림에서 인가전압비에 따른 전기트리에서 발생된 부분방전과 연면방전의 최대 방전전하량의 증가비는 1이하로 나타났으며, 표준편차도 증가비에 비하여 작게 나타났으나, 보이드 방전에서 발생된 부분방전의 최대 방전전하량은 부분방전 개시전압의 1.2배 이상의 전압에서 약 2배 이상의 증가를 나타내었으며, 상대적으로 표준편차가 약 1.5 이내로 나타났다.

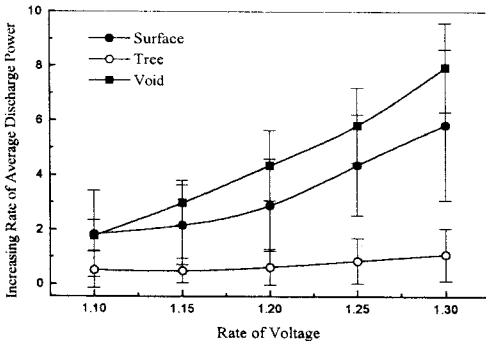


그림 4 전압비에 따른 평균 방전전력의 증가비

그림 4는 각각의 결합에서 발생된 300 cycles의 부분방전의 평균 방전전력을 연산하여 전압비에 따른 평균 방전전력의 증가율을 검토한 결과이다. 평균방전전하량은 다음식으로 계산되었다. 부분방전의 평균 방전전력은 다음의 식으로 구해진다.

$$P = 1/T(q_1 v_1 + q_2 v_2 + \dots + q_n v_n) \quad (W)$$

그림에서 전기트리에서 발생된 부분방전의 평균 방전전력의 증가는 1이하로 나타났으며, 연면방전의 증가율은 전압비 1.25에서 약 9, 보이드방전의 증가율은 약 6으로 나타났다. 보이드방전과 연면방전의 증가율은 거의 유사하지만, 보이드방전의 경우가 더 크게 나타났으며, 표준편차도 더 작게 나타났다.

그림 5는 각각의 결합에서 발생된 부분방전의 평균 방전전류의 증가비를 나타낸 것이다. 평균방전전류의 연산식은 다음과 같다.

$$I_a = \frac{1}{T}(|q_1| + |q_2| + |q_3| + \dots + |q_n|) \quad (A)$$

그림에서 평균방전전류의 전압에 따른 증가비는 평균 방전전력의 증가추세와 유사하게 나타나고 있다. 평균 방전전력의 경우는 전압비가 1.1일 때 연면방전과 보이드 방전의 증가비가 2로 거의 동일하게 나타났지만, 평균 방전전류에서는 보이드방전의 경우가 약 20%정도 더 크게 나타나고 증가비도 더 크게 나타났다.

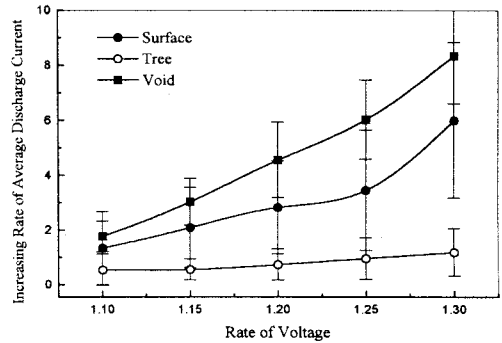


그림 5 전압비에 따른 평균 방전전류의 증가비

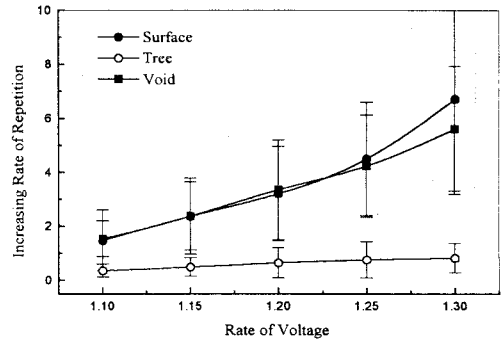


그림 6 전압비에 따른 발생빈도의 증가비

그림 6은 300cycles 동안 발생된 부분방전의 발생빈도의 증가비를 나타낸 것이다. 연면방전과 보이드 방전의 증가비는 유사하게 나타났으며, 전기트리에서 발생된 부분방전의 발생빈도의 증가비는 1이하로 나타낸 것으로 표준편차가 크게 나타났다.

그림 7, 8, 9는 300cycles 동안 측정된 부분방전의 $H_r(m)$ 분포로부터 S, K, QN을 검토한 결과이다. 연산식은 다음과 같다.

$$\text{Skewness} = \frac{\sum (x_i - \mu)^3 \cdot p_i}{\sigma^3}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum (x_i - \mu)^4 \cdot p_i}{\sigma^4}$$

여기서 x_i 는 측정 값, p_i 는 i 번째 데이터에서 x_i 값이 나

타입 확률, μ 는 평균값, σ 는 표준편차이다.

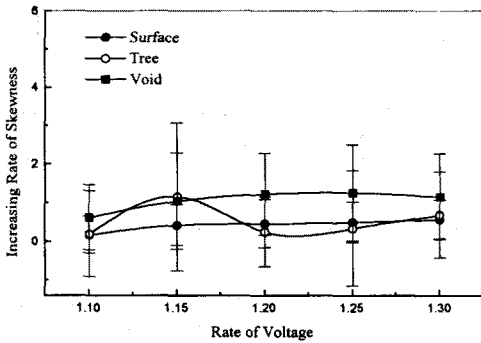


그림 7 전압비에 따른 왜도의 증가비

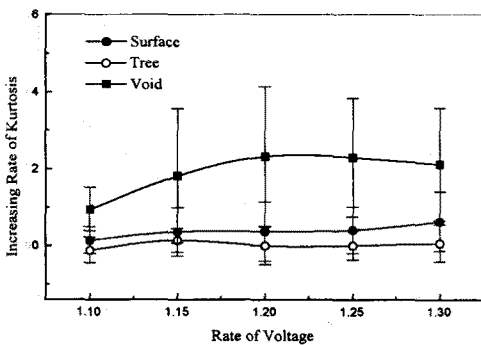


그림 8 전압비에 따른 첨예도의 증가비

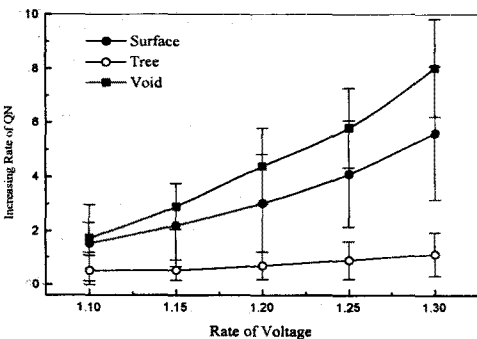


그림 9 전압비에 따른 QN의 증가비

그림 7은 전압비에 따른 왜도의 증가비를 나타낸 것이다. $H_0(n)$ 의 분포에서 방전전하량이 작을수록 발생빈도가 크게 나타나므로, 분포의 형상이 좌측으로 기울게 나타나 왜도의 값이 양의 값을 갖는다. 전압의 상승에 따라서 왜도의 값은 미소하게 상승하지만 경향이 뚜렷하지 않다. 특히 전기트리의 경우에는 특별한 경향이 없으며, 표준편차도 약 2.5 가까이 나타나므로 패턴분류 특성량으로는 부적합하다.

그림 8은 첨예도의 증가비를 나타낸 것이다. 첨예도의 증가비는 왜도에 비하여 크게 나타나지만, 표준편차가 크므로 패턴의 분류에는 부적합한 것으로 생각된다. 따라서 $H_0(n)$ 분포가 아닌 위상각에 대한 정보가 있는 분포의 왜도나 첨예도가 고려되어야 할 것으로 생각된다.

그림 9는 $H_0(n)$ 분포의 면적에 해당하는 QN의 증가비를 나타낸 것이다. 경향이 평균 방전전력과 유사하게 나타난다.

11-13							3-5
15-18					10		8
19						1	6-7
14,20							2,9
					30		23,29 21-22 24-28

그림 10 Kohonen network에 의한 방전의 패턴분류

그림 10은 각각의 방전에 대한 전압상승비에 따른 파라미터 35개를 입력으로 하여 Kohonen Net로 패턴분류한 결과를 mapping한 결과이다. 입력데이터로써는 각각의 방전원별로 10개의 패턴을 사용하였다. 각각의 숫자는 부분방전을 나타내며, 연면방전은 1-10번, 트리방전은 11-20번, 보이드방전은 21-30번이며, 연면방전의 분포가 산만하지만 패턴이 비교적 양호하게 되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 연면방전과 전기트리에서의 부분방전 보이드방전의 특성분석과 패턴 분류를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전압비에 따른 최대 방전전하량의 증가비는 전기트리방전과 연면방전이 유사하고, 보이드방전이 다르게 나타났다.
- 2) 평균 방전전력의 증가비는 연면방전과 보이드방전이 유사하고, 전기트리의 부분방전이 다르게 나타났다.
- 3) 평균 방전전류의 증가비는 평균 방전전력과 유사하지만 표준편차가 더 크게 나타났다.
- 4) $H_0(n)$ 에서의 S, K의 증가비는 전압비에 따라 미소하게 증가하지만, 표준편차가 심하여 패턴분류에는 유효하지 않으며, QN은 평균 방전전력의 경향과 동일하다.
- 5) 패턴분류를 위한 부분방전 분포형상 파라미터는 위상에 대한 정보를 갖는 분포가 적당할 것으로 생각된다.
- 6) 패턴분류 결과 비교적 양호하지만, 산만한 분포를 가지므로 여유도가 상당히 적게 나타났다. 이것은 각각 결합의 특성이 유효하게 적용되지 않았기 때문으로, 각각의 결합에 대한 정량적인 데이터 확보 및 유효한 분석법이 앞으로 연구되어야 하겠다.

(참 고 문 헌)

- [1] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment", Temple Press, 1989.
- [2] C. Laurent and Mayoux, "Analysis of the Propagation of Electrical Treeing Using Optical and Electrical Methods", IEEE Trans. Vol. EI-15, pp. 33-42, 1980.
- [3] R. M. Eichhorn, "Treeing in Solid Extruded Electrical Insulation", IEEE, Trans. EI, Vol EI-12, No.1, pp. 2-18, 1976.
- [4] N. Yoshimura and F. Noto, "Effects of DC Prestressing on Tree Initiation in Polyethylene with and without Needle-Shaped Void", IEEE Trans. Vol. EI-19, NO.2 pp. 135-140, 1994
- [5] T. Okamoto and T. Tanaka, "Auto-correlation Function of PD Pulses under Electrical Treeing Degradation", IEEE, Trans. EI, Vol.2, No.5, pp. 857-865, 1995.
- [6] C. Cachin and H. J. Wiesmann, "PD Recognition with Knowledge-based Preprocessing and Neural Networks", IEEE Trans. EI., Vol. 2, No. 4, pp. 578-589, 1995.