

고체절연 시스템에서 부분방전의 통계적 분포를 이용한 결함의 인식

박정남, 김진표*, 박영국, 장동욱, 임기조
 충북대학교 전기공학과, *국립과학수사연구소

Defect Recognition with Statistical Distributions of PD in Solid Insulator

J.N. Park, J.P. Kim*, Y.G. Park, D.U. Jang and K.J. Lim
 Chungbuk Nat'l University, *National Institute of Scientific Investigation

Abstract - PD in defects of solid insulation system is very harmful since it leads to deteriorate insulation system by the discharge electrons and ions bombarding the insulation surface and the action of chemical products that are formed by discharges. PD is used to detect and recognize defects and degradation of insulation system. However, there are still marked difficulties to recognize defects by PD method.

In this paper, we investigated properties of PD of defects in solid insulation by using statistical methods and classified PD patterns of surface discharge, electrical tree and void discharge with source of discharge. We used specific distributions such as $H_n(q)$, $H_m(\psi)$, $H_n(\phi)$, $H_s(\phi)$ of PD to recognize defects of solid insulation system.

1. 서 론

고체절연시스템에 결함이 존재하면 전계 집중이 되고 상대적으로 절연내력이 낮은 결함부분에서 부분방전이 발생하게 되어, 부분방전에 의한 점진적인 열화에 의하여 절연특성이 상당히 약화되어, 결국 절연과피에 도달한다[1]. 이러한 전기사고를 미연에 방지하기 위해서는 결함의 검출이 상당히 중요하다. 고체절연시스템에 결함이 존재하면 비교적 낮은 전계 하에서도 부분방전이 발생되기 때문에 절연시스템의 열화나 손상없이 부분방전을 측정하여 결함을 검출할 수 있다[2].

그러나 결함을 검출하여도 결함의 종류나 형태 등에 대한 정보가 없다면 대책 수립이 곤란한 경우가 많다. 따라서 결함에 따른 부분방전의 패턴을 분류하여 결함원을 인식하는 것은 반드시 필요하다[3].

부분방전의 패턴분류에 의하여 방전원을 식별하면 고체절연시스템에 존재하는 결함을 검출하여 부분방전 및 열화를 효과적으로 억제하거나 제거함으로써 전기사고를 미연에 방지할 수 있으며, 결함을 유발시키는 제조과정을 개선하여 결함을 사전에 방지하는 것이 가능하다[4,5].

본 연구에서는 고체절연시스템에 존재할 수 있는 결함으로써 절연체 내부의 보이드, 전기트리, 부적절한 절연설계에 의한 유효누설거리 부족으로 발생하는 표면방전 등의 결함으로부터 부분방전을 측정하고

인가전압의 의존성을 고려하여 부분방전의 통계적 분포인 $H_n(q)$, $H_m(\psi)$, $H_n(\phi)$, $H_s(\phi)$ 를 정량화하여 데이터베이스를 구축하였으며, 이들을 기 제작된 데이터베이스와 비교 분석하여 패턴을 분류하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

시편의 제작은 LDPE를 120 [°C]에서 가압·성형하여 원통형 보이드를 갖는 시편, 전기트리를 발생시키기 위

한 시편, 표면방전을 발생시키기 위한 시편을 10개씩 제작하였으며, 전기트리 시편에서는 전기트리를 0.5 mm 성장시킨 후 발생하는 방전을 측정하였다[6].

보이드방전, 전기트리 방전과 표면 방전은 각각 부분방전의 개시전압이 다르며, 실제 기기의 경우에는 부분방전의 발생이 전계의 집중도 및 결함의 상태에 의해 매우 민감하게 나타난다.

따라서 각각의 결함에서의 부분방전의 전압의존성을 고려하기 위하여 방전전하량이 5 [pC]을 초과하는 부분방전이 발생하는 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 인가하였다. 측정된 부분방전은 컴퓨터에 의하여 통계적으로 처리하여 $H_n(q)$, $H_m(\psi)$, $H_n(\phi)$, $H_s(\phi)$ 의 평균값과 통계적 에러값을 도출하여 데이터 베이스화 하였다.

2.2 실험결과

측정·처리된 부분방전 신호는 각각의 결함별로 10개씩이며, 각각의 경우는 모두 $1.0v_i$, $1.1v_i$, $1.15v_i$, $1.2v_i$, $1.25v_i$, $1.3v_i$ 의 단계별로 데이터 처리하였다.

그림 1, 2, 3, 4는 패턴분류에 사용되는 데이터베이스로써, 각각의 결함에서 발생된 부분방전의 특성분포를 도시한 것이다.

그림 1은 방전전하량에 대한 부분방전의 발생빈도수를 100 [pC] 이하의 경우만을 선별하여 나타낸 것으로 최대 발생빈도수를 1로 규준화하여 나타낸 것이다. 그림에서는 $1.0v_i$ 와 $1.3v_i$ 의 결과만을 도시하였다.

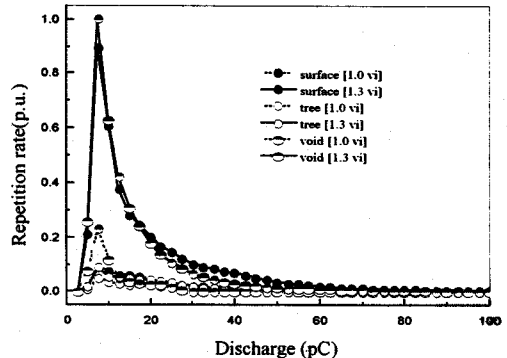


그림 1. $H_n(q)$ 분포 (데이터베이스)

그림에서 방전전하량 10[pC] 이하의 발생빈도수는 보이드방전의 경우가 가장 크게 나타났다. 또한 10[pC]이하에서의 $1.0 v_i$ 에 대한 $1.3 v_i$ 에서의 발생빈도수의 증가는 표면방전의 경우가 가장 크게 나타났다. $1.3 v_i$ 의 경우에 20 [pC]이상의 부분방전의 발생빈도수는 표면방전의 경우가 가장 크게 나타난다.

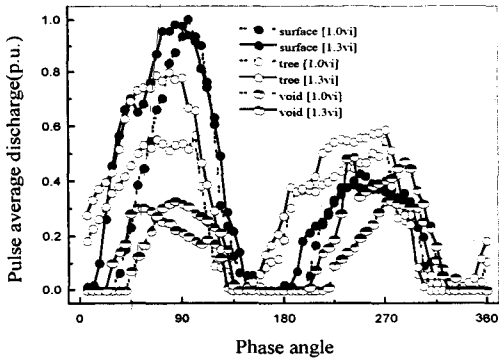


그림 2. $H_{qn}(\psi)$ 분포(데이터베이스)

그림 2는 위상각에 따른 펄스 평균 방전전하량의 크기를 1로 규준화하여 도시한 것이다. 펄스 평균 방전전하량의 크기는 부분방전의 발생빈도와 방전전하량의 값을 동시에 고려한 것으로써 방전전하량의 총합을 발생빈도수로 나누어 나타내는 값이지만, 한 개의 큰 부분방전이 발생했을 때, 수 백개의 작은 부분방전이 발생한 것보다 펄스 평균 방전전하량의 크기가 더 크게 나오는 오차가 생길 수 있다.

따라서 그림 2의 펄스 평균 방전전하량은 방전전하량의 총합을 기준 발생빈도수로 나눈 값을 도시하였다.

그림에서 펄스 평균 방전전하량은 표면방전의 경우가 가장 크게 나타났으며, 보이드 방전의 경우가 가장 작게 나타났다. $1.0 v_i$ 에 대한 $1.3 v_i$ 에서의 방전이 발생한 발생 위상각의 폭과 펄스 평균 방전전하량의 증가율은 전기트리 방전의 경우가 가장 크게 나타났다. 전기트리 방전이 최대 방전전하량과 발생빈도가 크지 않음에도 불구하고 펄스 평균 방전전하량 분포의 값이 큰 것은 방전펄스의 크기가 비교적 일정하기 때문이다.

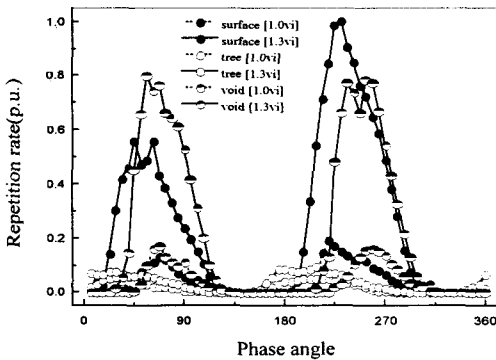


그림 3. $H_n(\psi)$ 분포(데이터베이스)

그림 3은 각각의 결함에서 발생된 부분방전을 위상각에 따른 발생빈도수의 분포로써 도시하였으며, 가장 큰 발생빈도수를 1로 규준화하였다. $H_n(q)$ 분포와 형상의 차이는 크지만, 경향은 동일하다.

그림 4는 결함에서 발생한 부분방전의 발생위상에 따른 최대 방전전하량 분포이다. 방전전하량의 크기는 표면방전의 경우가 가장 크지만, $1.0 v_i$ 에 대한 $1.3 v_i$ 에서의 최대 방전전하량의 크기의 증가율은 보이드 방전의 경우가 가장 크고, 전기트리 방전의 경우가 가장 작게 나타난다.

데이터베이스 내에 있는 데이터들의 $H_n(q)$, $H_{qn}(\psi)$, $H_n(\psi)$, $H_q(\psi)$ 의 특성분포를 고려한 결과 특성분포 자체의 비교로 충분히 결함의 종류가 분류 될 수 있

음을 알 수 있다.

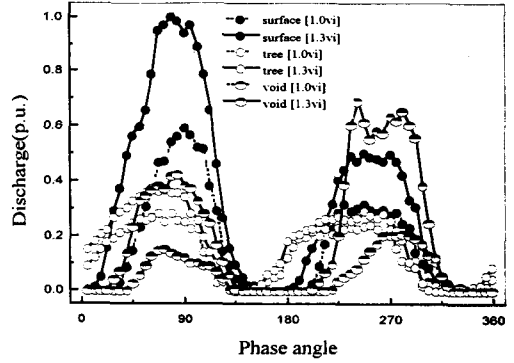


그림 4. $H_q(\psi)$ 분포(데이터베이스)

미지의 부분방전의 패턴분류를 위하여 사용될 미지의 부분방전은 표면방전, 전기트리에서의 방전, 보이드 방전으로 각각 3개이며, 이들은 데이터베이스와 무관하며, 패턴분류의 신뢰성 향상을 위하여 전극간 거리등을 조절하므로써 시편의 형상에 약간씩의 변화를 주었다.

패턴 분류 방식은 미지의 부분방전의 특성분포인 $H_n(q)$, $H_{qn}(\psi)$, $H_n(\psi)$, $H_q(\psi)$ 를 도출하여, 이들을 데이터베이스 내에 있는 기지의 특성분포와 비교하여 가장 일치하는 부분방전의 발생원인으로 인식하게 되며, 각각의 방전일 확률이 도출된다.

그림 5, 6, 7, 8은 각각 미지의 부분방전의 결함에 따른 $H_n(q)$, $H_{qn}(\psi)$, $H_n(\psi)$, $H_q(\psi)$ 의 분포특성을 도시한 것이며, 표 1은 미지의 결함에서 발생된 부분방전을 방전원별로 패턴분류한 결과를 특성분포별 인식률을 도시한 것이다.

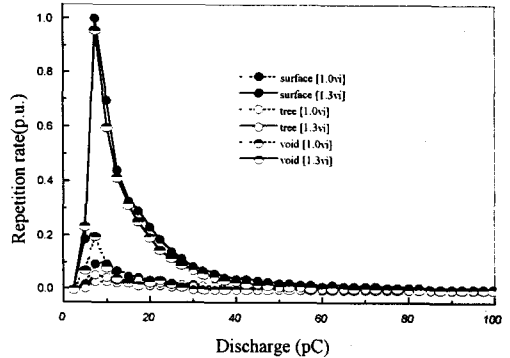


그림 5. $H_n(q)$ 분포(미지의 데이터)

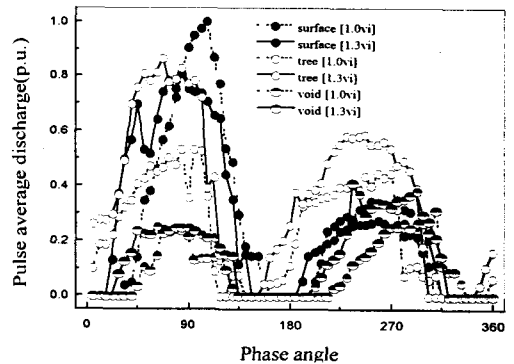


그림 6. $H_{qn}(\psi)$ 분포(미지의 데이터)

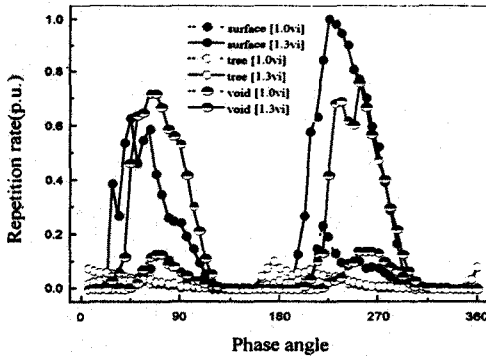


그림 7. $H_n(\phi)$ 분포(미지의 데이터)

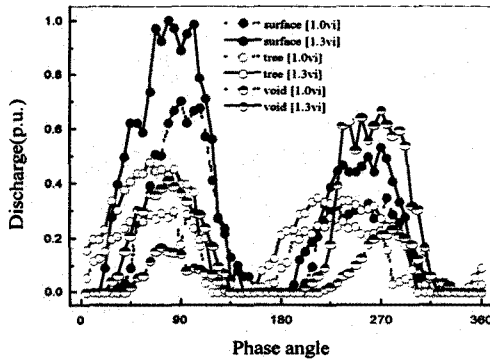


그림 8. $H_q(\phi)$ 분포(미지의 데이터)

표1. 특성분포에 의한 방전패턴의 분류결과

		특성분포의 종류별 패턴 인식률(%)				
결함		$H_n(q)$	$H_m(\phi)$	$H_n(\phi)$	$H_q(\phi)$	총계
Surface	1	83.33	100	100	100	99.67
	2	16.67	100	83.33	100	75
	3	33.33	100	100	100	83.33
Tree	1	100	100	100	100	100
	2	100	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	100
Void	1	33.33	100	83.33	100	79.16
	2	100	100	100	100	100
	3	100	100	100	100	100

3. 결 론

결함에서 발생한 부분방전을 측정·분석 통하여 결함 원인을 도출하기 위해 패턴분류를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) $H_n(q)$ 분포의 경우, 표면방전과 보이드방전의 경우가 유사한 경향을 보였으며, 20 [pC] 이상의 경우를 고려하면 표면방전과 보이드방전을 패턴분류할 수 있다.

2) $H_m(\phi)$ 분포의 경우 전기트리방전의 펄스 평균 방전전하량분포가 가장 크게 나타났는데, 이것은 전기 트리에서 발생한 방전의 크기가 비교적 일정하고 크

게 나타났기 때문이다. 전기트리방전과 보이드 방전의 패턴분류가 유효하게 이루어 질 수 있다.

3) $H_n(\phi)$ 분포의 경우 총괄적인 값은 보이드방전과 표면방전의 경우가 유사하지만 방전이 발생한 위상각의 분포에서 표면방전의 경우가 크게 나타나기 때문에 패턴분류가 잘 될 것으로 생각되며, 전기트리방전과는 명확한 차이를 나타낸다.

4) $H_q(\phi)$ 분포의 경우 총괄적인 값에서는 전기트리방전과 보이드 방전의 경우가 패턴분류가 명확하지 않을 수도 있으나, 표면방전과는 명확한 차이가 있다.

5) 위상각에 대한 정보를 갖는 $H_m(\phi)$, $H_n(\phi)$, $H_q(\phi)$ 등의 특성분포인 경우 $0 \sim 30^\circ$ 부근과 $160 \sim 210^\circ$ 부근의 특정위상각에서의 결합될 때미터의 값에 명확한 차이가 있으므로 가중치를 주는 경우, 패턴분류가 명확하게 되지만, 미지의 부분방전의 결합될 패턴분류시에 오류가 발생할 수 있으며, 패턴분류의 신뢰성을 저하시킬 수 있으므로, 더 많은 연구가 필요하다.

5) 미지의 결합에서 발생된 부분방전의 패턴분류를 행한 결과 표면방전은 " $H_m(\phi)$, $H_q(\phi)$ ", 전기트리 방전은 " $H_n(q)$, $H_m(\phi)$, $H_n(\phi)$, $H_q(\phi)$ ", 보이드 방전은 " $H_m(\phi)$, $H_q(\phi)$ " 분포에 의한 패턴 분류가 가장 유효하였다.

6) $H_n(q)$ 분포는 패턴분류 상에서 가장 낮은 신뢰도를 갖는 것으로 나타났으며, 특히 표면방전을 전기트리 방전이나 보이드 방전으로 인식하는 경우가 있었으나, 다른 특성분포를 모두 고려하면, 특성분포 자체를 표준화하여 결합을 패턴분류하는 것이 유효하다는 것을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment", Temple Press, 1969.
- [2] C. Mayoux and C. Laurent, "Contribution of Partial Discharges to Electrical Breakdown of Solid Insulating Materials", IEEE Trans. Vol.2 NO.4 pp 641-652. 1995.
- [3] R.E.James and B.T.Phung, "Development of Computer-based Measurements and their Application to PD Pattern Analysis", IEEE Trans. Vol.2 NO.5 pp 838-846. 1995.
- [4] Edward Gulski and Andrej Krivda, "Influence of Aging on Classification of PD in HV Components", IEEE Trans. Vol.2 NO.4 pp 641-652. 1995.
- [5] M.M.A.Salama and R.Bartnikas, "Fuzzy Logic Applied to PD Pattern Classification", IEEE Trans. Vol.7 NO.1 pp 118-123. 2000.
- [6] 강성화, 박영국, 이광우, 김완수, 이용희, 임기조, "고체절연체의 내부결함에 따른 부분방전 특성과 패턴분류, '99대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1624-1629, 1999.