

보이드 모의결함을 이용한 부분방전과 절연파괴와의 상관관계에 대한 고찰

이태성, 장수길, 김정태
대진대학교

Considerations on correlation between partial discharge and breakdown using void-simulated defect

Tae-Seong Lee, Su-Gil Jang, Jeong-Tae Kim
Daejin University

Abstract - In this paper, considerations on correlation between partial discharge and breakdown using void-simulated defect, investigating the characteristics of void discharges. For the purpose, the relationship between PDIV(Partial Discharge Inception Voltage) and BDV(BreakDown Voltage) was analyzed. As a result, it is noticed that the higher PDIV, the higher BDV.

1. 서 론

부분방전은 주로 절연파괴의 바로 전 단계에서 일어나는 현상이므로 상당히 중요한 진단방법이라고 할 수 있으며, 절연시스템 내부의 상태에 관한 정보를 전기적 신호의 형태로 외부에 전달하여 주기 때문에 전력기기의 절연 진단에 많이 사용되고 있다.[1] 따라서 부분방전신호의 정확한 측정과 이 신호에 대한 올바른 해석은 신뢰성 있는 진단기법의 개발과 응용이라는 측면에서 객관적인 절연 진단에 대한 평가가 이루어질 수 있다고 생각한다. 현재 부분방전과 수명평가에 대해서 연구가 활발하게 진행이 되고 있는 상태이다.[2]

수명평가를 위해서는 상태판단이 중요하게 고려된다. 최악의 상황일 경우 절연파괴가 발생할 수 있는데, 이러한 사고가 일어나기 전에 부분방전을 파악하여 사고를 미리 예방할 수 있다. 따라서, 부분방전과 절연파괴와의 상관성 파악이 매우 중요하지만, 아직까지 이에 대해서는 많은 연구가 진행이 되고 있지 않은 상황이다.[3]

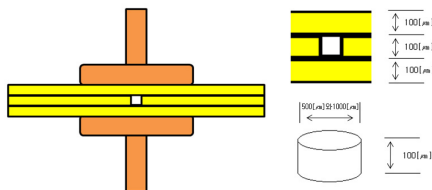
본 논문에서는 보이드 모의결함을 이용하여 부분방전과 절연파괴의 상관관계를 연구하였으며, 부분방전 실험을 수행하여 보이드방전의 특성을 조사하였다. 아울러 부분방전개시전압과 절연파괴전압과의 상관관계를 검토하였다. 또한 와이블 분포함수를 이용하여 수명지수에 대한 통계적인 접근을 수행하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

본 실험에서는 비유전율($\epsilon_r = 2.3$)을 가지고 있는 폴리에틸렌 라미네이팅 필름을 이용하여, 두께 300[μm], 크기 90×90[mm]로 제작하여 사용하였다.

시료의 보이드 특성을 조사 비교 하기 위하여 중간층에 지름 500[μm] 또는 지름 1000[μm], 두께 100[μm]인 원기둥 보이드를 삽입하였다. 실험에서 전극은 평판 대 평판을 사용하였고, 일정한 압력을 유지하기 스프링을 이용하였다. 전계의 집중현상을 피하기 위해서 평판의 옆면을 둥글게 처리하였고, 실리콘 오일 내에서 실험하였다. 그림 1은 시료가 삽입된 전극의 형상을 나타내고 있다.



〈그림 1〉 전극 및 시료의 모양

2.2 PDIV(Partial Discharge Inception Voltage)

본 실험에서는 위와 같은 상황을 고려하여, 500[V]부터 시작해서 100[V]씩 점차적으로 상승시키면서 실험을 하여 PDIV를 확인하고 다시 전압을 하강시켜 부분방전이 소멸된 것을 확인한 후, 다시 전압을 상승시켜 PDIV를 재확인하였다. 반복실험시 전압 휴지시간을 5분이상으로 충분히 두었다.

이때, 부분방전의 측정은 오실로스코프와 1~200MHz 주파수 특성을 갖는 RFCT(Radio Frequency Current Transformer)센서를 사용하였다.

2.3 BD(Breakdown)

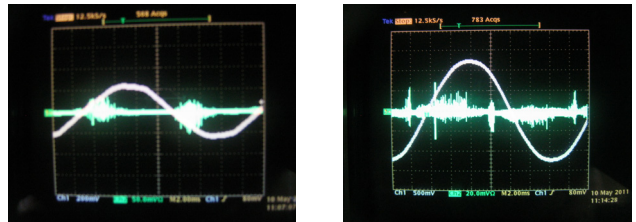
인가전압과의 절연파괴 특성을 분석하기 위해서 인가전압은 500[V]부터 시작하여 절연파괴가 발생할 때까지 전압을 150[V/s]씩 상승시키면서 절연파괴가 발생할 때까지의 전압을 측정하였다.

종류별로 시료 8개를 실험에 사용한 후 획득한 데이터를 가지고 와이블 분포해석을 하였다.

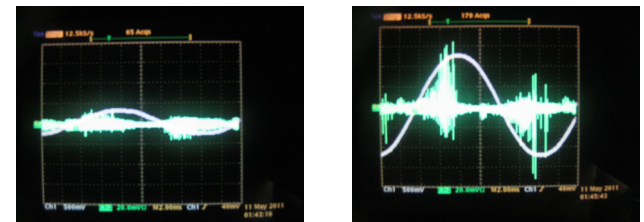
3. 실험 결과

3.1 PD패턴

그림 2와 그림 3은 500[μm]보이드와 1000[μm]보이드 PD패턴을 나타낸 오실로그래프로 60Hz 100주기의 누적결과이다. 각 그림에서 a)는 PDIV가 발생하였을 때의 PD패턴이고, 그림 b)는 8[KV]의 전압을 인가하였을 때의 PD패턴이다.



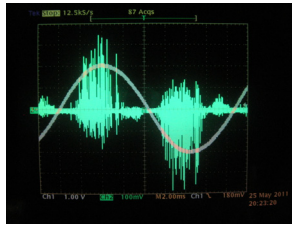
a) 1.8[kV]전압인가 b) 8[kV]전압인가
〈그림 2〉 500[μm] void



a) 1.4[kV]전압인가 b) 8[kV]전압인가
〈그림 3〉 1000[μm] void

그림 4는 보이드가 없을 경우의 PDIV가 발생하였을 때의 PD 패턴이다.

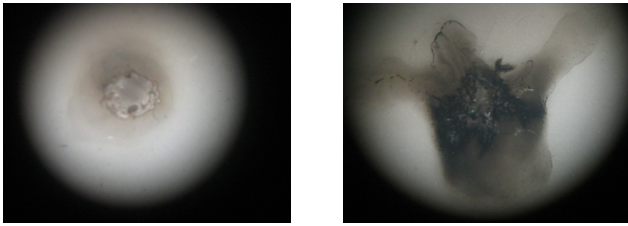
그림 4에서 알수있는 바와 같이 전극과 필름 시편의 연면에서 발생하는 연면방전(surface discharge)은 14[kV]에서 나타나, 그림2 또는 그림3의 방전을 시편 내부에서 발생한 것임을 알 수 있다.



〈그림 4〉 no-void 시료사진 [14kV]

그러나, 그림2 및 그림3의 b)의 패턴은 a)의 패턴과는 다른양상을 보이고 있다. 이것을 3장의 필름을 붙여 만들었기 때문에 보이드에서 방전이 일어난후 필름 시료의 사이를 퍼져나간 계면방전(interfacial discharge)에 의한 것이라 판단된다.

즉, 보이드에서 방전이 일어난후 압력이 증가하여, 필름의 계면을 팽창시키면서 퍼져나가면서 계면방전이 일어난 것으로 보인다.



a) 500[μm]보이드 b) 1000[μm]보이드

〈그림 5〉 BD후 시료 확대 사진

그림 5는 BD 후 현미경을 통해 촬영한 사진으로, PD패턴이 보이드 방전과 계면방전이 같이 발생했다는 또 다른 증거 자료이다.

500[μm]보이드에서는 계면방전의 발생이 적어 그림2의 b)와 같은 PD패턴의 모양이 나타나지만, 1000[μm]보이드에서는 계면방전의 발생이 많아 그림3의 b)처럼 PD패턴의 모양이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3.2 PDIV와 BD

본 실험에서 시료에서의 방전개시전압과 절연과피 특성에 대한 실험을 한 결과이다.

인가전압은 500[V]부터 시작하여 PDIV가 발생할 때까지 100[V]씩 상승시킨 후 PDIV가 발생 후 부터는 150[V/s]씩 전압을 상승시켜 BD의 발생시간과 전압을 나타낸 표이다.

〈표 1〉 500[μm]보이드

시료갯수	1	2	3	4	5	6	7	8
실험결과								
PDIV[kV]	2.7	1.6	2.0	2.5	1.4	1.4	2.4	1.8
BD[kV]	12.7	12.5	10	16.1	13.4	14.7	10.2	12.7

〈표 2〉 1000[μm]보이드

시료갯수	1	2	3	4	5	6	7	8
실험결과								
PDIV[kV]	1.8	1.3	1.4	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2
BD[kV]	13.	12.1	13.1	12.5	8.2	11.5	11.7	10.1

위의 표 1은 500[μm]보이드로 부터 얻은 데이터이고, 표 2는 1000[μm]보이드에서는 얻은 데이터이다.

이론적으로 유전체 내의 보이드의 두께를 d , 유전체의 두께를 D , 비유전율을 ϵ_r , 보이드내의 방전전압을 V_d 라고 하면 유전체에서의 보이드 방전개시전압 V_i 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.[4]

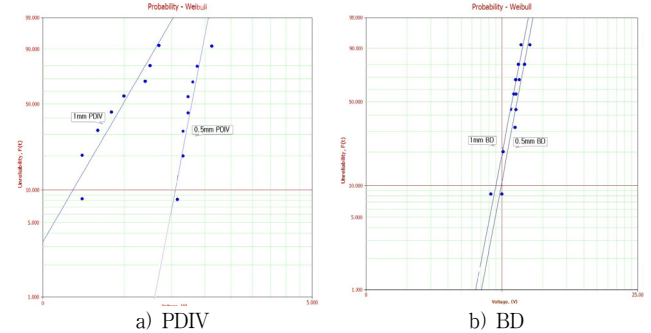
$$V_i = \frac{V_d}{d} \left(d + \frac{D}{\epsilon_r} \right) \quad (1)$$

보이드 크기 1000[μm]일 때 파괴전계는 약 5.6~6.7[kV/mm]정도 이므로[5], 식 (1)을 이용하여 계산하면, $V_i=1.3 \sim 1.6$ [kV]이다.

하지만, 본 실험에서 방전 개시전압 측정값은 위에 의해 계산된 방전개시전압과 차이가 나타났다.

이와 같은 차이가 발생한 이유는 보이드의 형상의 불균일성, 유전체 표면에 있는 불순물, 보이드의 잔류전하, 보이드 내의 기압, 표면상의 2차 전자 방사계수 등으로 인해 차이가 발생되었다고 판단된다.

그림 6는 시료에 따른 PDIV와 BD의 데이터를 이용하여 전압에 따른 신뢰성을 와이블 분포함수를 이용하여 나타낸 것이다.



〈그림 6〉 와이블 분포함수

고장률 63.2[%]의 크기파라미터(scale parameter)에서 500[μm]보이드의 PDIV는 2.155[V], BDV는 13.606[V]이었고, 1000[μm]보이드 PDIV는 1.342[V], BDV는 12.381[V]이다.

PDIV의 크기파라미터(scale parameter)와 BD의 크기파라미터(scale parameter)사이 PD가 발생하여 열화현상이 일어나게 되면서 BD의 크기파라미터(scale parameter) 이후에는 위험해질 가능성을 의미한다.

각각의 PD와 BD를 비교해보면 1000[μm]보이드의 PDIV와 BD의 값이 더 작다는 것을 알 수 있고, 결합의 크기가 커져 방전 발생 개수가 증가되어 더 낮은 전압에서의 고장확률이 높다는 것을 알 수 있다.

아울러, 1000[μm]의 PDIV의 경우 shape parameter는 작게 나타났는데, 이는 보이드 면적이 넓어짐에 따른 열화의 불균일성이 증가되었기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 보이드 모의결함을 이용하여 부분방전과 절연과피와의 상관관계에 대해 검토하였다.

보이드의 면적이 넓어짐에 따라 방전이 쉽게 발생 될 수 있기 때문에, 보이드의 크기가 증가하면 PDIV는 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

필름을 겹쳐 만들었기 때문에 방전이 커지면 보이드내 압력증가로 인해 필름 사이 계면으로 방전이 전전되어 나가는 것을 PD패턴과 육안으로 확인할 수 있었다.

면적이 넓어져 열화가 진전 될 수 있는 가능성이 증가되었기 때문에 보이드의 크기가 증가하면 BDV는 감소하는 것을 확인 되었고, PDIV의 감소와 관련 있는 것으로 판단되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김정태, *고전압 이론과 응용*, 교우사, 2002
- [2] 임장섭, 노성호, 김지선, 김정태, 구자운, 이재복, "배전케이블의 열화현상과 잔존수명에 관한 기초연구", 대한전기학회 전기설비부분회 2010추계학술대회 논문집, pp.83~85, 2010
- [3] 변두균, 전력설비의 절연열화 매커니즘 해석에 관한 연구 광운대학교 박사학위논문, 2010
- [4] F.H.Kreuger, *Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment*, Heywood London, Butterworths, 1989
- [5] Bartnikas, McMahon, *Engineering Dielectrics volume1*, pp.120, pp.169, American society for testing and materials, 1979