

Chracteristics of Partial Discharge Patterns Subjected to Different Defects at the Epoxy/Rubber Interface

金 東 郁* · 金 定 年** · 白 周 欽***
(Dong-Wook Kim · Jung-Nyun Kim · Ju-Heum Baek)

Abstract : In order to recognize the deterioration of insulation system by partial discharge (PD), the characteristics of PD patterns which are occurring at the interface between epoxy and rubber materials in extra high voltage cable joints, have been investigated. The artificial defects such as voids, metal particles, insulation fiber and water impregnated insulation fiber are planted between the interfaces. A high frequency partial discharge detection system was used for measuring PD signals. An analysis of the PD patterns is focused on the shape of PD pattern, phase, width and time-dependence for each artificial defect. The PD patterns in each defect show the different behaviors and it is suggested that the precise discrimination of PD patterns could be used for the diagnosis of deterioration in the insulation systems.

Key Words : Partial discharge (PD), Interface, Avalanche, PD pattern

1. 서 론

1930년대 이후 고분자의 합성기술이 급속히 발전함에 따라, 전력 기기용 절연재료에 절연성과 기능성이 뛰어난 많은 신재료들이 개발되어져 왔다. 그 중 대표적인 것으로서 열가소성 재료로서는 폴리에틸렌이, 열경화성 재료로서는 에폭시 재료가 우수한 전기적 절연특성과 가공성을 보유함으로써 그 용도가 전력산업 전반에 걸쳐 널리 확대 이용되어져 오고 있다. 그러나 아무리 우수한 절연재료라 하더라도 절연재료 Bulk 내의 미세 결함 및 전력기기 시스템의 절연협조를 이루고 있는 주변재료와의 비정합성 등으로 인해, 그 고유의 우수한 특성들이 단기적 또는 장기적으로 변성 및 열화되어, 결국에는 절연과파가 일어나기도 한다. 이러한 주변재료와의 비정합성 등은 최소화할 수 있는 있으나 궁극적인 제거는 어려운 상황이며, 또한 설계시 결점을 최소화한 안정구조를 갖게 한 것이라 하더라도 제조시 또는 시공 포설 등의 상황에서 이물 또는 결함 등의 개입으로 그 특성이 저하될 수도 있다.

최근 초고압 케이블을 연결하는 접속부는 서로 다른 절연 재료를 이용한 부품들이 사전에 공장에서 제조되어 시공현장에서 조립되면서 이종 재료간의 계면을 형성할 뿐만 아니라 조립과정에서 계면 부위에 이물의 개입 등이 일어날 수가 있다. 좀 더 구체적으로 설명하면 케이블은 가교 폴리에틸렌

(XLPE) 재료, 접속부분의 케이블 반도전부 전계를 완화시키는 전계 완화용 고무재료 부품 그리고 이들 부품들을 기계적으로 보호, 유지하는 에폭시 절연부품으로 구성된다. 이 때 이들 부품의 조립시 형성되는 계면은 접속부 절연 시스템에 있어서 취약부로 작용하기 때문에 결함 등의 개입이 없는 안정적인 특성 확보가 아주 중요하다. 그러므로 케이블 접속 후에는 결함의 존재 및 조립 작업의 완벽성을 파악하기 위해 준공시험 뿐만 아니라 부분방전 시험을 행하게 된다.

따라서 본 연구에서는 케이블 접속 후에 수행되는 부분방전의 진단시 정확한 판단을 하기 위해, 실제통을 모의한 계면에 여러 결함을 개입시켜 절연과파와 부분방전의 패턴을 관찰 그 결함에 따른 상관관계를 파악 분석하였다.

2. 실 험

2.1 시료의 구성

초고압용 케이블의 접속함에는 케이블 절연재료인 XLPE 위에 에폭시와 고무를 절연재료로 사용하는 부품들이 조립되는 조립형 접속함(그림 1)이 있는데, 이 때 접속함 내부에는 에폭시와 고무간 그리고 고무와 XLPE간에 계면이 존재하게 된다. 이 계면은 조립과정에서의 이물의 혼입 또는 조립시 조립불량에 따른 공극의 존재 등의 이유로 인해 절연과파의 주요 원인이 되는 부위이기도 하다. 따라서 이 부위에서의 결함 존재시 부분방전 발생 패턴을 분석하기 위해 조립된 상태에서 전계해석을 하여본 결과, 에폭시/고무 계면에서의 등전위 분포는 계면 방향에 수직방향으로 형성되어 주로 계면 방향으로 전계가 형성되게 됨을 알았다.

본 실험에서는 이와 같은 계면에서 결함에 의해 부분방전

* 正 會 員 : LG전선(주) 전력연구소

** 正 會 員 : LG전선(주) 전력연구소

*** 正 會 員 : LG전선(주) 전력연구소

接受日字 : 2001년 9월 19일

最終完了 : 2002년 3월 4일

이 발생하는 경우를 분석하기 위하여, 에폭시와 고무재료의 모의계면에 접속함 내부에서의 전계와 동일한 전계분포를 갖도록 하기 위해 그림 2와 같은 전극 시스템을 모의한 실험 시료를 구성하였다.

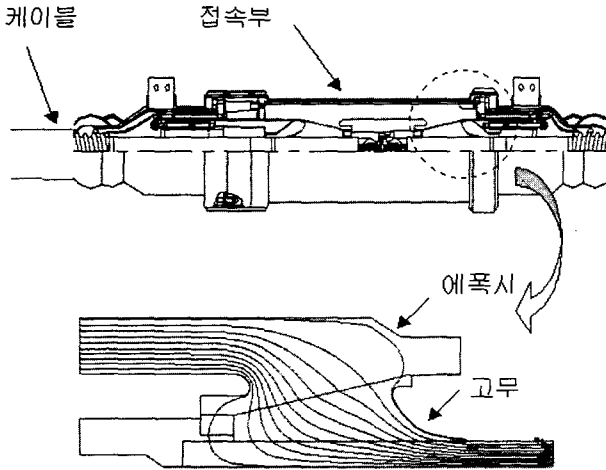


그림 1 전력케이블 조립형 접속함의 계면과 등전위 분포
Fig. 1 The distribution of equi-potential lines in prefabricated joint

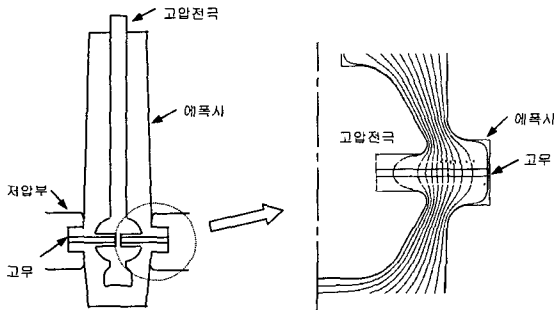


그림 2 계면 모의 전극과 모의시편의 등전위 분포
Fig. 2 The distribution of equi-potential lines in model electrode and specimen

이후 전극 및 시료의 표면을 솔벤트 등을 이용하여 깨끗이 닦은 후, 실조립 상태의 조건과 같게 하기 위해 실리콘 오일을 적절히 균일하게 계면에 도포한 다음, 모의 전극상의 전계를 해석하여 전계가 가장 높은 위치(그림 3의 등전위선 부위)의 에폭시/고무 계면 간에 표 1과 같은 결함을 각각 모의하여 개입시켰다. 여기서 실리콘 오일을 도포하면 도포하지 않은 경우보다 계면의 인가 압력이 증가함에 따라 최대 25% (4kgf/cm²의 경우) 정도 높은 전압에서 부분방전이 개시되는데, 이는 이물 등의 결함이 있을 때 그 계면에서의 공극을 오일이 채워줌으로써 보이드성에 의한 부분방전 개시를 억제해 주기 때문이다[1].

표 1 모의결함의 종류

Table 1 Artificial defects

결함	결함 제작 방법
Void	에폭시면에 $\phi 3.2\text{mm}$ 깊이 2mm Void
금속 이물	동분(100~600 μm) 전계 방향에 직병렬 배치
수분 함유분	수분함유 면섬유(길이 20mm) 전계 방향에 배치
절연성 이물	면섬유(길이 20mm) 전계 방향에 배치



그림 3 모의한 결함 종류 및 위치 종합
Fig. 3 Artificial defects and location of defects

2.2 실험방법

우선 본 실험에 앞서 계면 간의 압력이 가해질 수 있는 구조로 시험 챔버를 제작하였고, 압력과 계면과피 결과와의 분석을 통해 최적의 계면압력을 선정하는 실험을 행하였다. 이후 결함이 개입된 시료 전극을 시험 챔버 내에 넣고 앞서 선정된 적정압력(4.5kgf/cm²)을 가하여 시료를 설치하였다. 시험 챔버 내의 절연은 SF₆를 충전하여 절연하였고, 실험시의 전압인가는 분당 5kV씩 상승하여 실험전압에 도달토록 하였다. 본 실험에 이용한 PD 측정방법은 그림 4에서와 같이 접지 측에 고주파 CT를 설치하여 접지측에 흐르는 PD전류 Pulse를 검출하였다. 측정된 Data의 저장과 분석은 Power Diagnosis 사의 ICM system을 이용하였다. 또한 동일 시험 조건 하에서 결함이 개입되지 않은 건전 시료의 경우, 80kV 까지 인가하여 부분방전이 발생하지 않음을 확인하였고, PD의 측정은 시편의 조립 후 1 시간 경과시킨 후 전압을 인가하여 실험을 행하였다.

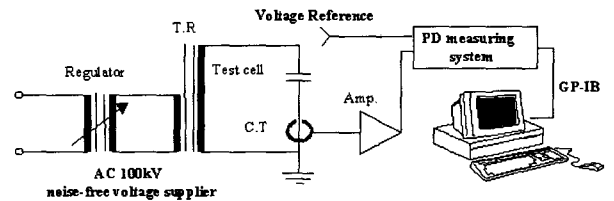


그림 4 PD 측정회로
Fig. 4 The measuring circuit of Partial discharge

3. 결과 및 고찰

3.1 보이드에서의 부분방전 특성

보이드에 있어서의 부분방전 특성은 오래전부터 보이드 내부에 고전계가 인가될 때 방전이 일어나는 물리 화학적 메커니즘과 보이드의 형태, 보이드 내부의 구성 조건에 따른 연구 그리고 지속적인 방전에 따라 보이드 내부의 열화 과정이 일어날 때의 변화 등에 대해 많은 연구가 행하여져 왔다[2-3]. 이들 결과에 따르면 절연재료 내에 형성된 보이드에 있어서의 부분방전 메커니즘은 일반적인 금속전극 사이의 Gas 방전 시와는 다른 아주 복잡한 양상을 나타내는 것으로 보고하고 있는데, 이는 보이드를 감싸고 있는 주변 절연재료의 고유특성이 보이드 방전이 일어나는 것에 따라 열화 또는 변화되는 시변성을 갖기 때문이다.

그러나 기본적으로 보이드에서의 방전은 1차적으로 보이드 내부의 자유전자가 인가된 전계에 의해 음극쪽에서 양극쪽으로 이동하며 Avalanche 상태를 야기시키며 발생되는데, 이때의 자유전자의 수는 보이드의 크기, 내부의 물질 또한 보이드 내부의 압력 등에 의해 달라진다. 그리고 음극으로부터의 전자 방출은 통계학적 프로세스로 의해 발생되는데[4], 이 때 Paschens Curve로부터 얻어지는 보이드 내부의 최소 파괴전압 (Upaschen)과 방전이 개시되는 전압 (Uinc) 과는 그림 5에서와 같이 τ_s 의 시간지연이 발생하고, 이 때 시간 경과에 따라 Avalanche가 시작될 확률은 아래와 같이 보고되어 있다[2].

$$P(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau_s}} \quad (1)$$

여기서 $P(t)$ 는 Avalanche가 일어날 확률, τ_s 는 부분방전 개시 지연 시간, t 는 인가시간을 나타낸다.

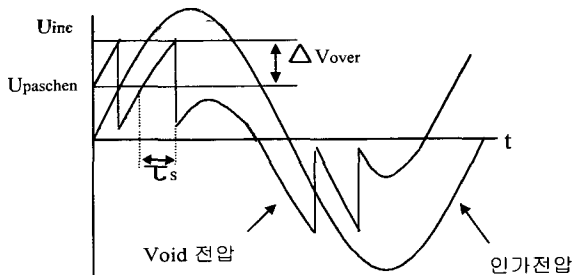


그림 5 부분방전 개시전압과 지연시간과 관계
Fig. 5 The relationship between PD inception voltage and time delay

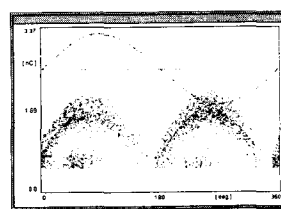
그림 6는 보이드에서 부분방전이 개시된 이후, 인가전압을 상승하면서 일정시간에서의 부분방전 패턴을 측정된 결과로, 인가전압이 높아짐에 따라 방전량의 증가와 더불어 부분방전의 발생 위상이 0° 쪽으로 이동함을 나타내고 있다. 또한 그림 7은 보이드 결함에서 부분방전이 개시된 경우, 일정전압에서 인가 시간 경과에 따른 부분방전 패턴의 변화를 측정된 것으로 시간 경과에 따라 개시된 부분방전 신호가 점차 소멸됨을 나타내고 있다.

여기서 보이드에 대한 본 부분방전 실험 결과에 있어서 전

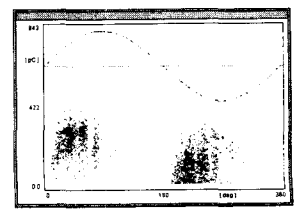
압증가에 따라 위상 변화가 일어나는 것은 다음과 같이 설명할 수가 있다. 저전압에서부터 보이드 내에 방전이 일어나면 점차 보이드 표면이 열화되어 탄화되든가 또는 방전 후 발생 물질이 보이드 내부 표면에 축적되어 전도성이 높아지게 된다. 이 경우 보이드 내의 자유전자 밀도도 증가할 뿐만 아니라 보이드 내부표면으로부터의 전자의 공급도 수월해져 결국 τ_s 가 짧아지게 된다. 이렇게 되면 Avalanche 발생 확률이 높아져 결국 부분방전 개시전압이 낮아지고 개시시의 위상도 0° 쪽으로 이동하게 된다. 이는 본 실험의 결과와도 일치하며, 전압증가에 따라 발생하는 부분방전 개시의 위상변화가 0° 쪽으로 이동하는 것을 보이드에서 일어나는 부분방전의 특징 중의 하나로 특징지을 수가 있다. 또한 松崎 氏등도 보이드에서 열화가 진전되면 부분방전의 발생 위상이 0° 쪽으로 이동하는 현상을 열화진단의 한 방안으로 제시하고 있기도 하다[5].

또한 일정전압에서 장기간 부분방전이 발생할 경우, 시간 경과에 따라 부분방전이 사라지는 그림 7의 특성도 보이드에서 일어나는 전형적인 부분방전 특성 중의 하나인데, Rogers는 이에 대한 원인을 보이드에서 장기간에 걸친 부분방전 발생하면 보이드 내면이 점차적으로 도전성을 띄게 됨으로써 보이드가 단락 (Short circuit)되는 현상에 기인한다고 보고하고 있다[6]. 또한 Bartnikas 등은 기존의 방식으로 검출하기 어려운 매우 미소한 방전으로 그 발생 메커니즘이 변화하기 때문으로도 설명하고도 있다[7]. 이 두 경우 모두 일정 전압 하에서 시간 경과에 따라 부분방전이 사라지는 것을 보이드에서 일어나는 부분방전의 특징의 하나로 설명하고 있다. 그러나 내부 보이드의 표면이 카본화 되어지지 않은 초기열화 단계에 있어서는, 전압인가에 따라 방전량이 소멸된 후라도 전압을 Off하여 일정시간 후 재인가 하면 다시 방전이 개시되는 경우도 있다. 이는 초기 방전시 발생했던 하전입자들이 Off 시간 동안 재결합하여 방전 소멸 직전의 보이드 내의 하전 밀도보다 떨어지게 되어, 다시 전압을 걸어도 표면이 손상된 장기 열화시 보이드에서의 PD 소멸 특성과는 달리 다시 방전이 발생하기 때문이다.

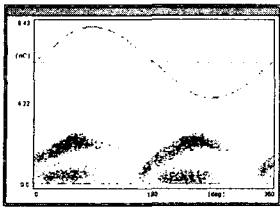
한편 교류전압 인가시 보이드에서의 부분방전의 패턴을 관찰해보면, 극성에 관계없이 대칭적인 부분방전 패턴을 갖는 것을 그림 6로부터 알 수가 있다. 이는 보이드가 갖는 기하학적인 대칭구조로 인해 발생하는 것으로 판단된다. 일반적으로 절연재료 내에서의 보이드의 형성은 대부분 자연발생적으로 원형 또는 타원형의 구조를 갖게 되어, 통계적으로 극성에 대칭적인 위치로 놓이게 된다. 이때 인접한 주변 전극의 형상이 특별한 비대칭 구조를 갖지 않는 한, 또는 비대칭 구조를 갖는다 해도 보이드에 걸리는 전계가 크게 왜곡이 될 확률이 높지 않아, 인가극성에 관계없이 유사한 Avalanche 메커니즘을 갖게 되는 것에 기인한다고 판단된다. 0



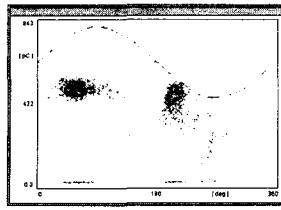
(a) 인가전압 : 27 kV



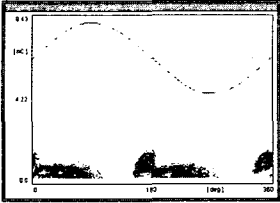
(a) PD 개시전압(19kV)



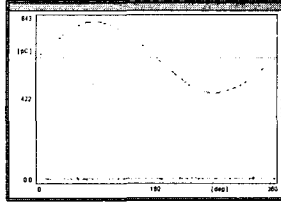
(b) 인가전압 : 37 kV



(b) 19kV/20 min. 경과



(c) 인가전압 : 45 kV



(c) 19kV/125 min. 경과

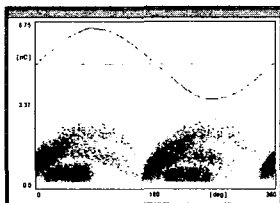
그림 6 보이드에서 인가전압에 따른 부분방전

Fig. 6 PD pattern in void according to voltage

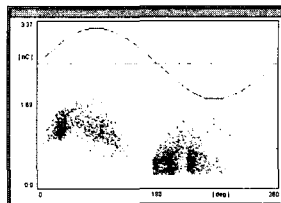
그림 7 보이드에서 부분방전의 시간특성

Fig. 7 PD pattern in void according to time

한편 보이드에서의 부분방전 발생 패턴 중의 독특한 또 하나의 현상은 그림 6의 (a)에서와 같이 일정전압 이상이 되면 그 방전 패턴이 위상의 증가와 함께 방전의 크기가 증가하는 패턴과 위상에 관계없이 일정한 방전 크기를 갖는 Double 방전 패턴을 갖는다는 것이다. 이는 본 시험에서도 확인된 결과로서 침전극(금속 이물) 선단 또는 이물 선단 등에서 방전이 발생할 때는 나타나지 않고, 보이드가 존재할 경우 또는 금속이물 주위에 보이드가 함께 존재할 때만 나타나는 현상이다. Kaneiwa 등은 이러한 패턴은 1차적으로 보이드의 내부 방전 후, 보이드 표면에서 Bulk 재료내로 Tree가 발생할 때 나타나는 현상으로 보고하고 있다[8]. 그림 6와 그림 7의 결과에서도 알 수 있듯이 19kV에서 부분방전이 개시될 때는 하나의 방전 패턴이 나타나는데, 이 후 인가전압이 높아져 27kV인 경우 그림에서 보는 바와 같이 명확히 위상에 비례하는 패턴과 일정한 패턴 2가지의 방전 현상이 나타난다. 또한 이에 대한 현상을 파악하기 위해 복수의 보이드를 동일 전계상에 위치시켜 시험한 결과가 그림 8이다. 복수의 보이드인 경우도 인가전압이 일정수준 이상이 되면 그림에서 알 수 있듯이 단일 보이드에서와 같이 Double 방전 패턴을 보여주는데, 단일 보이드와 다른 점은 위상에 비례하는 방전 패턴이 복수 개로 나타난다는 것이다. 이상의 결과들과 그림 5의



(a) PD 개시전압(17 kV)



(b) 인가전압(25kV)

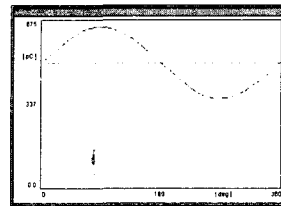
그림 8 복수 보이드에서의 방전 패턴

Fig. 8 PD pattern in case of multi voids

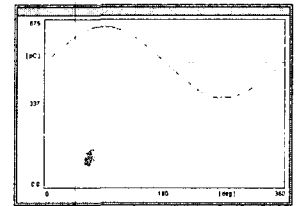
방전 원리를 고려하면, 위상에 비례없이 일정한 방전 크기를 갖는 하단부의 방전은 순수한 보이드의 방전으로 생각되고, 위상에 비례하는 방전 패턴은 보이드 벽면에서의 Bulk내로 Tree 또는 열화 현상의 진전에 의해 나타나는 방전에 기인하는 패턴으로 생각되어진다. 복수 보이드인 경우 두개의 위상 비례 패턴이 나타나는 것은 보이드 내부 벽면의 특성 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

3.2 금속이물의 부분방전 특성

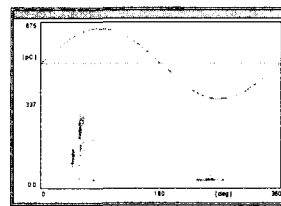
그림 9는 금속이물로서 동분이 등전위선(전계방향에 수직적으로 분포)을 따라 분포되어져 있을 때 측정된 부분방전 패턴으로서, 동분이 전계방향으로 배치된 경우도 이와 유사한 부분방전 패턴을 보여주고 있다. 이 경우의 부분방전 패턴을 보이드에서와 비교를 하여 보면, 우선 부분방전이 개시된 부분방전 개시전압에서 시간이 경과에 따른 방전 패턴을 조사한 결과, 방전량의 크기와 개수는 점차 줄어들지만 보이드에서와는 달리 완전히 소멸하지는 않는 것으로 확인 되었다. 또한 부분방전이 개시된 전압에서부터 인가전압을 상승할 경우, 초기 부분방전이 발생하는 위상의 폭이 매우 좁게 나타나며 부분방전의 발생형태가 비대칭성을 갖지만, 점차 인가전압을 상승할 경우 일정전압 이상에서는 대칭적인 발생을 보여주며 발생 위상의 폭도 넓어지고 있음을 확인 하였다.



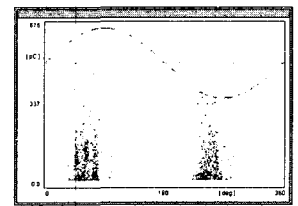
(a) 인가전압(42 kV)



(b) 인가전압(46 kV)



(c) 인가전압(50 kV)



(d) 인가전압(54 kV)

그림 9 동분 이물에서의 인가전압 상승에 따른 PD특성

Fig. 9 PD pattern according to voltage of metallic defects

보이드와는 다른 동분의 금속이물이 입자로서 분포되어 있는 경우를 검토해 보면, 초기 부분방전의 개시시 가장 높은 전계가 걸리는 위치의 이물입자에서 집중적인 전자의 방출이 일어나 부분방전 개시 지연시간 t_s 가 짧게 되고, 방출부위의 이물의 형상의 변화가 거의 없어 일정한 전압에서 부분방전 개시가 일어나는 것으로 판단되며, 이로 인해 그림 9에서 보듯이 금속이물이 입자로서 분포하는 경우 초기 부분방전이 발생하는 위상의 폭이 매우 좁게 되는 것으로 생각되어진다. 그러나 인가전압을 상승하면 점차 방전 위상의 폭이 넓게 발생하는데, 이는 실험 후 금속 이물 부위에 대해 조사한 결과, 낮은 전압에서는 국부적인 방전이 가지형으로 부분적으로 일

어는 흔적을 나타내나, 고압의 경우에는 상대적으로 금속이 물을 중심으로 주위에 넓게 방전부위가 형성된 경우로 보아, 발생위치에 따른 τ_s 가 달라 방전 위상의 폭이 넓게 발생하는 것으로 판단된다.

이러한 동분에서의 방전현상의 변화는 부분방전 발생 위상에도 영향을 끼치게 된다. 즉 동분의 이물일 경우, 이물의 형상이 대칭적 구조를 갖을 확률이 상대적으로 낮아 놓이는 위치에 따라 이물에 걸리는 전계의 세기가 달라지고 대칭적인 전계세기 값을 갖는 것이 어렵게 된다. 이로 인해 금속이물의 초기 부분방전 개시시의 방전 패턴은 이런 국부적 전계차이에 의한 비대칭성으로 인해 인가 전압 위상에 대해 비대칭성을 갖는 경우가 많다. 그러나 금속이물의 경우도 점차 인가전압을 상승하여 부분방전의 발생빈도가 증가하게 되면, 앞서 설명한 대로 방전이 일어나는 부위가 금속이물을 중심으로 넓어져서 방전이 대칭성을 갖게 되어, 전압 인가 위상에 대해서도 부분방전 패턴이 대칭적으로 변화되는 것으로 판단된다.

이상과 같은 특성은 동분의 분포가 전계에 수직, 수평으로 존재하는 경우, 모두 유사한 패턴을 나타내고 있다.

3.3 수분함유시의 부분방전 특성

그림 10는 절연성 면섬유와 그 면섬유에 수분을 함유시켜 전계방향으로 위치시킨 경우 측정된 부분방전 패턴의 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 면섬유의 경우와 수분이 함유된 경우 모두 부분방전의 발생 패턴은 인가전압의 극성성 부극성에 관계없이 대칭성을 갖는 것으로 나타났다, 그러나 절연성 면섬유의 경우 다른 이물의 경우와는 달리 부분방전 개시 전압이 65kV 정도로 매우 높았으나, 수분이 함유된 경우는 상대적으로 낮은 전압 25kV에서 부분방전이 개시되었다. 그리고 수분이 함유된 경우, 부분방전 발생 위상 폭이 넓고 또한 부분방전량과 그 크기도 아주 현저하게 증가됨을 알 수가 있다. 또한 부분방전이 개시되고 있는 일정전압에서의 시간 경과에 따른 부분방전 특성은 절연 이물인 경우 짧은 시간(수십초)내에 소멸을 하지만, 수분 함유의 경우는 시간 경과에 따라 방전량이 꾸준히 증가하는 특성을 나타내었으며 또한 다른 결함보다도 상대적으로 낮은 30kV정도에서 부분방전량이 크게 증가하다 그림 11에서와 같이 계면파괴로 진전되었다.

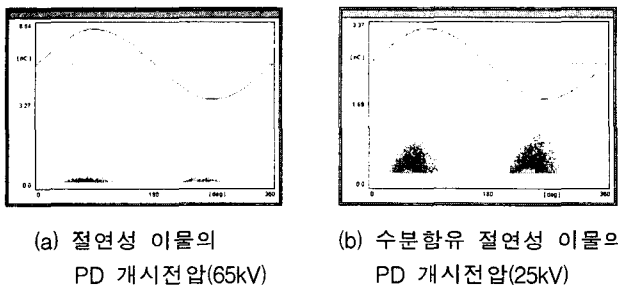


그림 10 절연성 이물 및 수분 함유 절연성 이물의 부분방전 개시 전압 및 패턴

Fig. 10 PD inception voltage and pattern of fabric defects

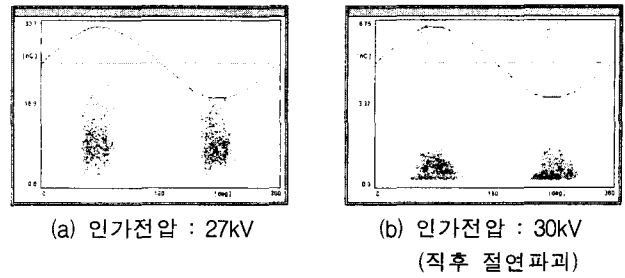


그림 11 수분함유 절연성 이물의 인가전압 상승에 따른 부분방전 패턴

Fig. 11 PD pattern of fabric defects containing water according to time

보이드 내부에 수분이 존재하면 물분자로부터의 전자의 이탈이 쉬워 τ_s 가 짧아지고 또한 전자공급이 용이한 물질이 존재할 때도 τ_s 는 짧아져, 결국 일정시간 내에 Avalanche가 일어날 확률 $P(t)$ 는 높아지게 된다. 방전과정에서 수분으로부터의 전자의 형성은 방전시 발생하는 Photon 에너지, 전자들과 물분자와의 충돌에 의한 이온화 과정 및 형성된 이온들과 물분자간의 충돌과정 등 단독 또는 혼합작용에 의해 발생한다 [9].

한편 수분이 개입된 시료의 경우도 살펴보면, 인가전계에 따라 일차적으로 특정부위에서 τ_s 의 시간에 부분방전이 발생한다 하더라도, 이후 인가된 전계에 의해 수분의 이동이 발생하게 된다[10]. 또한 이로 인해 수분이 존재하는 부위의 전계 분포가 왜곡을 받아, 위치에 따른 서로 다른 τ_s 의 값을 갖는 부분방전의 개시가 이루어지게 되어, 그림 10에서와 같이 넓은 위상폭 영역에서 부분방전이 발생하는 패턴을 갖는 것으로 생각되어진다. 그리고 수분의 분포공간이 인가 전계에 의해 확산되어, 결과적으로는 보이드에서와 같이 대칭구조를 갖을 확률이 매우 높게 된다. 이로 인해 수분을 함유한 이물의 경우 부분방전 패턴의 발생형태가 보이드에서와 같이 극성에 대해 대칭성을 갖는다고 판단되어진다.

4. 결론

이상에서의 에폭시 재료와 고무간 이종계면에서의 결합별에 따른 부분방전 패턴의 결과를 요약하면 다음과 같다

- 1) Void의 결합에서 부분방전이 발생하는 경우, 방전개시 이후 부분방전은 시간경과에 따라 감소하거나 사라지며, 인가전압 상승시 방전량은 점차 증가하고 부분방전의 발생 위상은 0° 쪽으로 이동한다. 그리고 부분방전의 발생 패턴은 극성에 관계없이 대칭성을 갖는다. 또한 보이드에서 부분방전은 일정전압 이상이 되면 방전의 크기가 인가전압의 위상에 비례하는 패턴과 위상에 비례하지 않는 일정한 Double 방전 패턴을 나타낸다.
- 2) 금속이물(동분)이 존재할 경우, 부분방전 개시전압에서 시간이 경과에 따른 방전 패턴은 방전량의 크기와 개수는 점차 줄어들지만 보이드에서와는 달리 완전히 소멸하지는 않는다. 또한 부분방전이 개시된 전압에서부터 인가전압을 상승할 경우, 부분방전의 발생 위상의 변화는 없으며, 초기 부분방전이 발생하는 위상의 폭은 매우 좁게 나타나며

부분방전의 발생형태가 비대칭성을 갖지만, 일전전압 이상에서는 대칭적인 발생 패턴을 보여주며 발생 위상의 폭도 넓어진다.

- 3) 절연성 이물의 경우, 부분방전의 패턴은 정부극성에 대칭성을 갖으며, 인가 시간 경과에 따라 짧은 시간 내에 소멸해 버린다. 그러나 부분방전 개시 전압은 상대적으로 상당히 높다
- 4) 수분함유 절연성 이물의 경우, 부분방전은 상대적으로 낮은 전압에서 개시되며 대칭성을 갖는 방전패턴을 나타낸다. 그리고 시간 경과에 따라서 부분방전량은 꾸준히 증가되며 방전개시 이후 급속히 파괴로 진전해 버린다.

참 고 문 헌

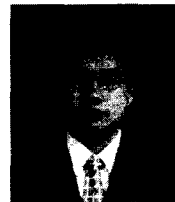
- [1] J. Densley, T. Kalicki and Z. Nadolny, Characteristics of PD pulse in electrical trees and interfaces in extruded cable, IEEE Trans. on Diel. and Electr. Insulation, Vol.8, No.1, pp48-57,, 2001.
- [2] J.C. Devins, The Physics of partial discharge in solid dielectrics, IEEE Trans. on Electr. Insulation, Vol. EI-19, pp475-494, 1984
- [3] T. Tanaka, Internal partial discharge and material degradation, IEEE Trans. on Electr. Insulation, Vol. EI-21, pp899-905, 1986
- [4] L.G. Christophoru and L.A. Pinnaduwage, Basic physics of gaseous dielectric, IEEE Trans. on Electr. Insulation, Vol. EI-25, pp55-74, 1990
- [5] 松崎弘幸 외, ボイド形状と放電電荷 分布. 電氣學會研究會資料, EIM-86-39, pp59~68, 1986
- [6] E.C. Rogers, The self-extinction of gaseous discharge in cavities in dielectrics, Proc. on IEE. Vol. 105A, pp621-630, 1958
- [7] R. Bartnikas and J.P. Novak, On the spark to pseudoglow and glow transition mechanism and discharge detectability, IEEE Trans. on Electr. Insulation, Vol. EI-27, pp3-14, 1992
- [8] H. Kaneiwa, Y. Suzuoki and T. Mizutani, Characteristics of partial discharge in artificial simulated tree channels during tree propagation, IEEE Trans. on Diel. and Electr. Insulation, Vol.8, No.1, pp72-77, 2001
- [9] J.M Meek and J.D. Craggs *Electrical breakdown of gases*, A wiley-Interscience Publication (1978)
- [10] Perus Henicus, Fransicus Morshuism *Partial discharge Mechanism-mechanisms leading to breakdown analyzed by fast electrical and optical measurements* Deft University Press, 1993

저 자 소 개



김 동 옥 (金 東 郁)

1961년 12월 11일생. 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 오오사까 대학 전자공학과 졸업(공박) 1983년~현재 LG전선(주) 전력연구소 재직
TEL : 054-469-7596
E-Mail : dwkim1@cable.lg.co.kr



김 정 년 (金 定 年)

1969년 2월 21일생. 1994년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1998년~현재 LG전선(주) 전력연구소 재직
TEL : 054-469-7627
E-Mail : jnkim@cable.lg.co.kr



백 주 흠 (白 周 欽)

1963년 4월 18일생. 1982년 대양 공고졸업 1987년~현재 LG전선(주) 전력연구소 재직
TEL : 054-469-7626
E-Mail : jhbaek@cable.lg.co.kr