

전력용 기기의 예방진단을 위한 부분방전측정

논문
7-1-6

The Measurement of Partial Discharge for Preventive Diagnosis in Power Machinery

김 태 성*, 구 할 본*, 임 장 섭*, 정 우 성*
(Tae-Seoung Kim, Hal-Bon Gu, Jang-Seob Lim, Woo-Seoung Jeong)

Abstract

The preventive diagnosis technique for power system is being highlighted as a research area for deterioration of insulation in machinery because of high-voltage power system. We make efforts to develop not only diagnosis of aging state but also detection of defects in the initial stage from preventive diagnosis technique.

Especially, partial discharge is actively studied as a non-destructive diagnosis technique and very useful because partial discharge measurement reduces damage than conventional diagnosis technique. The loaded stress during this test is smaller than that of other diagnosis techniques.

But the continuous research for various complicated analysis method is required because partial discharge has very small signals and its signals have complex forms.

In this paper, the measurement of partial discharge was investigated and studied on many specimens with void. We made samples having artificial voids and measured partial discharge. In order to use as a practical diagnosis technique, we studied ways of measurement, measured illustrations and types of partial discharge which could be used in order to diagnose defects of power machinery.

Key Words(중요용어) : Partial Discharge(부분방전), Skewness(왜도), Non-destructive diagnosis technique(비파괴 진단기술)

1. 서 론

전력용 시스템의 절연열화 예방진단기술은 전력계통의 초고압화에 따른 기기의 절연열화의 예방연구분야로 각광받고 있다. 예방진단 기술은 절연열화 상태 진단에 관한 연구외에 기기의 결함을 초기에 발견하려는 연구까지 발전시키려는 노력을 하고 있다. 부분방전 실험은 실험을 하는 도중에 시편이 받는 스트레스가 다른 진단방법보다도 적기 때문에 기존의 파괴 실험과 같이 기기에 손상을 주지 않고 실험할 수 있으므로 실험방법이 대단히 유용하다. 그러나 부분방전은 그 신호가 대단히 미약하고 복잡한 형태를 이루고 있어서 여러가지의 정교한 분석방법에 관한 지속적인

연구가 요구되고 있다.

부분방전의 연구는 여러가지 종류의 절연모델을 부분방전의 새로운 분석 및 해석방법 등에 적용시키려는 노력과 실용화된 시스템의 직접적인 응용측면이 주로 연구되고 있는데 그 하나의 예는 인가전압 위상각과 방전량과의 관계에 관한 연구이다. T. Tanaka씨의 연구에서는 부분방전의 새로운 처리방법으로서 인가전압의 한 주기를 미소구간으로 나누고 반복적으로 부분방전량을 측정한 사이클 평균 위상-방전량 특성을 제시하였다¹⁾. 또한 G.Katsuta씨의 연구에서는 초고압용 장거리 전력용 케이블의 활선(on-line)상태에서의 부분방전 검출에 관한 연구를 진행하고 있다²⁾.

그러나 부분방전 연구에서는 아직도 해결되지 못한 점이 많이 남아있다. 특히 부분방전의 패턴을 분석하는 경우 초고속용 AD변환기의 개발, 메모리의 한계 및 신호처리의 하드웨어적인 지원이 요구되기 때문이다. 또한 여러가지 부분방전 현상에 관련된 복잡한 파라메타를 효율적으로 접근할 수 있는 연구가 요구된

* : 전남대학교 전기공학과
접수일자: 1993년 9월 27일
심사완료: 1993년 12월 20일

다³⁾.

본 연구에서는 전력용모터, 발전기, 물드형 변압기 및 전력용 케이블과 같은 전력용 기기의 예방진단을 위하여 인공적인 보이드를 갖는 여러종류의 시료들을 제작하여 부분방전을 측정하였다. 또한 실용적인 진단 기술로 이용하기 위하여 부분방전량을 이용하여 전력용 기기의 결함을 진단할 수 있는 측정방법과 그 실제와 부분방전의 발생형태에 관하여 연구하였다.

2. 부분방전의 왜도특성

부분방전의 해석에는 최대 방전전하량, 방전펄스의 발생빈도 및 방전전하와 교류의 위상과 관련된 연구가 활용되어 왔다. 그리고 부분방전 현상은 방전의 위상패턴이 대단히 복잡한 형태이므로 고주파 신호처리와 부분방전의 패턴인식이 요구된다. 그러나 부분방전의 모든 데이터는 인가전압의 모든 위상영역에서 해석하기는 불가능하다. 따라서 위상영역에서의 구간별 평균화 조치가 필요하다. 위상영역을 미소한 크기로 나누어 위상구간에 발생한 부분방전 펄스를 평균하는 것을 생각할 수 있다.

부분방전의 패턴은 평균 ϕ -q분포로 나타낼 수 있으며 이를 표현하는 양으로서 왜도 (Skewness)의 개념을 도입하였다. 한 싸이클을 N(300)개로 나누고 총 방전량을 Q, i번째 미소구간의 방전량을 q_i , i 번째의 평균위상을 ϕ_i , 방전발생 평균위상을 $\bar{\phi}$ 및 편차를 σ 라고 할 때 왜도는 식 1과 같이 표시된다.

$$S = \sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^3 \frac{q_i}{Q\sigma^3} \quad (1)$$

왜도값은 부분방전 분포형상의 대칭성을 나타내는 물리량⁴⁾이다. 이 값이 정(Positive)의 큰 값을 갖는 경우는 저위상각의 부분에 집중하는 방전이 발생하고, 고위상각에서는 길게 꼬리를 늘이는 형상을 보인다. 따라서 이 경우의 왜도값은 큰 방전이 발생하고 후속하는 방전이 작아지는 경우의 방전 전하분포를 의미한다.

3. 실험방법

3-1 시료 제조

본 실험에서 사용한 시료는 목적 및 용도에 따라 내부에 보이드를 갖는 단일상 시료, 에폭시-공극-에폭시 평판시료 및 마이카-에폭시의 계면층에 半球-半球형 전극을 부착한 시료는 계면시료로 구분하였다.

단일상 시료는 현미경으로 확인가능한 보이드($\phi=1-3\text{mm}$)를 내부에 갖고 있는 단일재료($100 \times 100 \times 3\text{mm}$)로 제작되었으며, 평판시료는 에폭시판(120×120

$\times 1\text{mm}$)사이 1 [mm]의 스페이서를 부착한 후 실리콘으로 접착시켰다.

단일상 시료와 평판시료의 경우에는 양단에 판-판($\phi=60\text{mm}$)의 전극을 접촉시켰으며 접촉상태의 개선을 위하여 은페이프로 도포하였다.

마이카 시료는 천연마이카(Muscovite mica)를 사용하였고, 계면시료의 전극은 마이카 표면에 직경 5-6 [mm] 크기의 정밀 가공된 동판을 부착시킨 후 다음과 같은 처리를 하였다.

마이카 내부의 수분 및 결정수를 제거하기 위하여 $550 \pm 10[^\circ\text{C}]$ 의 전기로(국제리화학제 T-F형)에서 약 30분간 열처리하였다. 열처리는 유리질 석영으로 된 도가니에 30-40개 정도의 마이카 시료를 넣은 후, 열처리중에 시료 표면이 산화되지 않도록 질소가스중에서 시행하였다. 전기로에 주입되는 질소가스는 수중으로 배기되도록 개스관로를 구성하였다.

전극을 부착한 마이카시료는 에폭시수지와와의 결합 반응을 향상시키기 위해⁵⁾ 실란 결합제(Silane Coupling Agent, 일본, 信越 SILICON제, KBM 403)의 수용액에 침적법으로 처리한후 $120[^\circ\text{C}]$ 에서 20분 동안 건조하였다.

에폭시 수지는 비스페놀(Bisphenol)A와 에피클로로히드린(Epichlorohydrine)을 알칼리 용액중에서 축합시킨 DGEBA(Diglycidyl Ether of Bisphenol A)계열의 에폭시(Epoxy, 국도화학, YD-128)를 사용하였고, 경화제로는 산무수물인 MNA (Methylnadic Acid, 국도화학, KBH-1085)를 혼합하고 경화 촉진제로 3급 아민 BDMA(Benzyl Dimethyl Amine, 국도화학)를 부가하였다⁶⁾.

에폭시수지, 경화제 및 촉진제의 배합비는 100 : 85 : 3의 중량비(Weight percent)로 하였다. 혼합된 액상수지는 10분 이상 저온 후 시료내에 발생하는 보이드 방지를 위해 약 30분간 일정온도에서 1차 진공처리한 후 실란으로 표면처리한 마이카의 전극부착면에 액상의 혼합수지를 도포하고, 도포중 발생한 미세 기포를 제거하기 위해 $60[^\circ\text{C}]$ 로 예열한 진공 경화로중에서 약 30분 동안 2차 진공처리를 하였다⁷⁾. 진공은 1, 2차 모두 약 0.92 [Torr]로 하였으며 경화처리는 1차로 $120[^\circ\text{C}]$ 에서 2시간, 2차로 $150[^\circ\text{C}]$ 에서 1시간 경화시켰다⁸⁾. 그림 1은 부분방전측정 장치의 개략도이다.

그림 1에서와 같이 계면용 전극은 극간격 0.5-2.5 [mm]로 부착하였고, 절연과피 및 부분방전 특성 측정용 계면시료는 극간격을 1[mm]와 2 [mm]로 하여 에폭시 수지를 도포한 후 경화시켰다. 半球형 전극의 반경은 약 8[μm]정도이며 경화후의 계면시료의 두께는 약 3-4[mm]로 하였다.

3-2 실험 방법

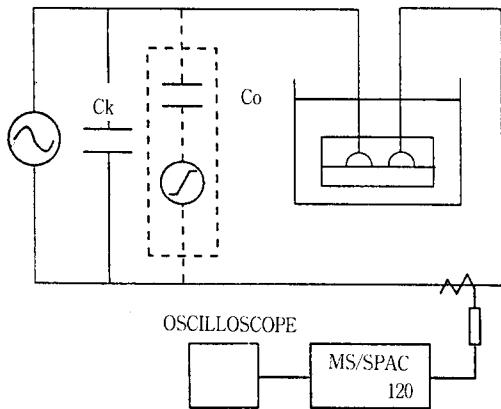


그림 1 부분방전 측정시스템의 개략도
 Fig. 1 Schematic diagram of partial discharge measurement system.

부분방전 특성시험은 측정용 시료물림에 장착하여 실은의 실리콘유 중에서 측정하였다. 부분방전 펄스는 오실로스코프를 통하여 상시 관찰하였으며 방전전하량이나 발생빈도 등의 부분방전량은 부분방전 분광 분석장치(Partial Discharge Spectral Analysis Device, MS/ SPAC 120형)를 이용하여 측정하였다. 측정계에서 결합 콘덴서 C_k 는 2,000 [μ F]로 선정하고 측정전 펄스 제너레이터(일본계측기계, NPG-2형)를 이용하여 교정하였다.

부분방전측정은 측정회로를 구성한 후, 전원을 투입하지 않은 상태에서 약 100PPS의 표준전하를 이용하여 교정하였다. 다음에 인가전압을 일정속도(500V/sec)로 최고전압까지 상승시키고, 이 상태에서 2분 정도 방치한 후, 상승속도와 동일한 강하속도로 감압하고, 그 사이의 최대방전전하량-인가전압특성을 X-Y 레코더로 기록하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1 보이드의 존재에 따른 부분방전량에 관한 고찰

제작된 시료의 부분방전을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 회로를 구성하고 측정하였다. 검출감도는 시료에 따라 약간 차이가 있고, 부분방전 측정결과는 외래잡음의 영향을 받고 있으며, 그 크기는 약 2-12[pC]이다. 펄스수 제어법에서는 외부잡음의 영향이 적어진다. 최대방전전하량-인가전압특성은 인가전압이 시료의 방전개시전압 이하에서는 잡음레벨을 표시하지만, 방전개시전압을 넘으면 최대방전전하량이 흔들림을 나타내고, 그 후의 특성은 보이드의 크기, 보이드의 형태 및 절연체의 구성 등에 따라 부분방전의 발생과

진행이 나타난다. 또 기록계의 응답속도를 결정하는 지시회로중의 적분시정수는 1-2초가 적당하였으며, 그 이하에서는 기록의 진폭이 심하게 변동하고, 마지막에는 오버래핑이 되는 경향이 있다.⁹⁾

그림 2는 시료내부에 보이드를 갖는 단일상 시료와 보이드가 없는 시료에 대한 부분방전 측정 결과이다.

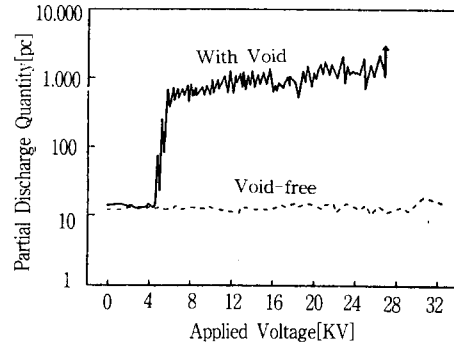


그림 2 보이드를 갖는 시료와 갖지 않는 시료의 부분방전량

Fig. 2 Partial discharge quantity both sample with void and non-void.

보이드의 유무에 따른 부분방전특성을 고찰하기 위하여 단일상 시료에서 보이드를 확인한 후 부분방전을 측정하였다. 그림 2는 보이드가 존재하는 샘플과 보이드가 존재하지 않는 동일크기의 샘플을 승압하면서 부분방전을 측정하였다. 부분방전의 발생은 부분방전량이 50-60[pC]를 초과할 때로 하였으며, 보이드가 존재하지 않는 샘플의 경우에는 부분방전량의 변화를 관측할 수 없었으며 인가전압을 파괴전압까지 승압하더라도 부분방전의 발생이 관측되지 않았다. 즉 보이드가 존재하지 않는 절연체는 진성과파에 가까운 전압에서 파괴되는 특성이 관측되었다. 그러나 내부에 인공적인 결함을 갖고 있는 시료의 경우에는 파괴전압의 1/2 이하에서도 부분방전의 발생이 관측되었는데, 그 이유는 내부 보이드의 파괴전압이 고체보다도 상대적으로 작기때문에 먼저 파괴가 진행되며 유전율의 차이로 인하여 고체보다도 더 큰 전계가 형성되고, 또 보이드내의 기체는 절연회복 특성으로 인하여 부분방전현상이 지속되기 때문¹⁰⁾이라고 판단된다.

이상의 결과에서는 전력용 기기의 내부에 존재하는 결함을 파괴전압 이하에서 관측할 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 부분방전을 통한 예방진단기술은 다음과 같은 2가지의 관점에서 실용화가 가능하다.

첫째, 상기 실험은 단기간 동안의 전력용 기기 테스트가 가능하고 결함유무의 진단에 우수하므로 실용화가 가능하다.

둘째, 부분방전 측정시 전력용 기기에 가해지는 전

압은 파괴전압보다 상당히 작으므로 실험중 기기에 가해지는 스트레스는 대단히 작아서 전력용 기기의 최초 절연시험에 필수적이다.

4-2 시료내부의 보이드형태에 따른 부분 방전 특성

그림 3은 인가전압의 상승 및 감압시에 단일보이드만을 갖고 있는 시료에서의 부분방전측정 결과를 나타내고 있다. 보이드 존재가 확인된 단일 보이드에서의 최대방전전하-인가전압특성은 부분방전의 개시시점에서 방전전하량이 급격히 커지게 되고, 이후의 전압상승에 따라 빠르게 포화되는 경향이 있다. 포화 후에는 인가전압의 상승에 따라 부분방전 발생빈도가 증가하고 방전위상의 변화를 관측할 수 있다.

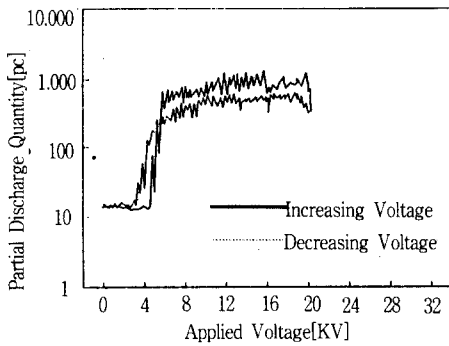


그림 3 단일 보이드를 갖는 시료의 부분 방전량
Fig. 3 Partial discharge quantity of this sample with a void.

그림 3에서는 단일 보이드를 갖는 시료내의 부분방전이 발생 후 포화되는 특성을 관측할 수 있었다. 보이드의 크기를 변화하면서 실험한 결과, 시료내의 보이드의 직경이 커면 최대방전전하량이 크고, 방전개시 전압은 낮아진다. 이것은 보이드내에서의 방전이 방전개시 후 단일보이드에 전계가 집중된¹¹⁾ 것으로 판단된다.

그림 4는 다수의 보이드가 존재하는 경우의 부분방전 측정 결과이다. 시료에서의 보이드(약5-10개; $\phi = 1-2\text{mm}$)는 현미경을 이용하여 확인하였다. 최대방전전하량-인가전압특성이 부분방전 개시전압부터 서서히 상승하고 또한 감압시에도 서서히 감소하고 있다. 그림 3의 경우가 방전개시후에 빠르게 포화를 이루는 결과와는 다른 결과이다. 즉 다수의 보이드중에서 일부가 최초로 방전을 시작하고, 전압의 상승에 따라 방전을 일으키는 보이드가 점차 증가하여 결국 모든 보이드가 방전을 일으켜서 최대방전전하특성이 포화하는 것으로 생각된다. 따라서 이러한 부분방전의 결과

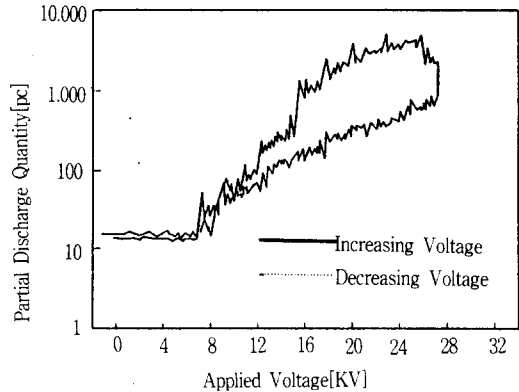


그림 4 다수의 보이드가 존재하는 시료에서의 부분방전량

Fig. 4 Partial discharge quantity sample with multi-void.

에서 전력용 기기의 결함 상태를 추정할 수 있다. 즉 보이드의 존재가 많은 기기의 부분방전 특성은 최초 방전개시 후에도 제 2, 제 3의 방전이 지속하게 되므로 방전량이 선형적으로 증가한다.

4-3 계면에서의 부분방전 특성

그림 5는 복합재료의 열화가 계면을 통하여 진전된다는 보고⁷⁾를 기초로 하여 계면에서의 부분방전 특성을 관측한 결과이다. 전술한 부분방전특성과 같이 부분방전 개시후 포화되는 특성이 조사되었다.

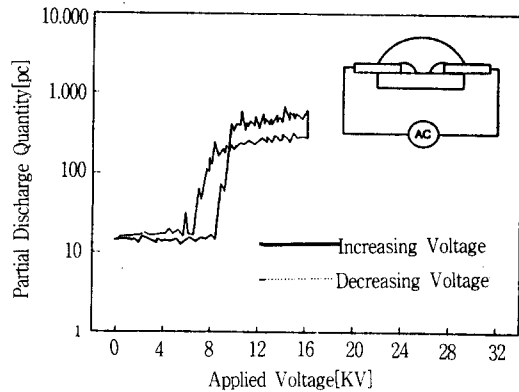


그림 5 계면층에서의 부분방전량

Fig. 5 Partial discharge quantity interface layer.

전압강하시 복합재료의 계면층에서의 부분방전특성은 상승시에 비해 완만하므로 방전개시와 동시에 계면의 수영역에서 생긴 부분방전이, 인가전압의 강하에 따라서 일부분에서 유지가 되고, 결국에는 소멸하는 것으로 추정된다. 또한 방전소멸전압이 방전 개시전압

보다 5-10% 정도 낮은 결과가 관측되었는데, 그 이유는 계면층에서 발생된 부분방전이 다른 계면보이지의 후속방전을 유도하는 것으로 판단된다.¹¹⁾

4-4 부분방전의 방전위상에 관한 고찰

그림 6은 대표적인 부분방전의 관측결과와 모델이다. 특히 부분방전량의 포화상태의 방전특성을 고찰하기 위하여 오실로스코프를 이용하여 지속적으로 관측하였다. 그림 6에서 기호(a-e)는 사진 1에서 각 영역별 부분방전패턴으로 고찰되었다.

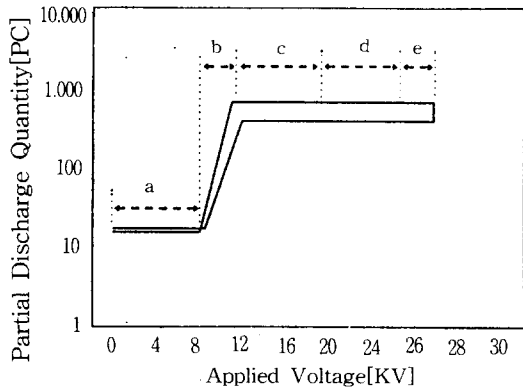


그림 6 인가전압의 증가 및 감소에 따른 부분방전량 특성모델

Fig. 6 The model of partial discharge characteristics according to increasin voltage.

사진 1은 그림 6에서의 영역별 부분방전 패턴을 관측한 결과이다. 먼저 사진 1(a)영역은 부분방전 발생전의 결과로 아무런 방전의 형태가 관측되지 않았다. 사진 1(b)는 부분방전 개시 및 소멸시의 관측결과이다. 한 주기동안의 부분방전 발생펄스가 $\pi/2$ 와 $3\pi/2$ 에서 방전의 개시점이 관측되었으며 그 지점의 교류인가전압이 최고치를 이루고 있다. 즉 이 지점에서의 방전발생은 인가전압의 피크 위상과도 일치함을 알 수 있다. 또한 방전펄스의 크기가 영역 b-e까지의 방전펄스크기와 근사적으로 일치함이 관측되었다. 방전개시 후 초기포화영역에서 관측된 방전펄스는 사진 1(c)에서 볼 수 있다. 또한 인가전압 강압시에도 소멸전압직전에 비슷한 펄스형태를 찾을 수 있었다. 이 영역에서는 부분방전의 펄스수가 방전개시의 펄스수보다도 증가하였고 위상이 $\pi/2$ 와 $3\pi/2$ 지점에서 좌우로 전이됨을 관측할 수 있다. 사진 1(d)는 보다 더 진전된 부분방전 형태임을 알 수 있다. 또한 방전펄스의 전이가 $\pi/2$ 와 $3\pi/2$ 지점의 왼편, 즉 저위상쪽으로 발전되었다. 예비실험을 통하여 절연파괴전압의 90%지점으로 추정되는 스트레스에서의 부분방전 측정결과

는 사진 1 (e)이다. 특히 방전이 0- $2\pi/3$ 및 π - $5\pi/3$ 까지의 위상영역에서 집중되고 있으며 그외의 위상에서도 군소방전펄스가 관측되고 있다.

전술한 부분방전량과 부분방전 펄스의 형태를 관측한 결과에서는 부분방전의 진행이 초기 방전개시 후 위상전이를 통하여 진전된다. 특히 이때의 부분방전의 위상전이는 반주기의 초기 위상으로 진행됨을 알 수 있었다. 또한 최종적인 부분방전 즉 절연파괴시에는 저위상영역에서 방전현상이 일어난다.

사진 1에서 관측된 부분방전 형태는 왜도값을 통하여 정량적인 분석을 하고 절연파괴까지의 시간에 따른 열화패턴을 왜도 모델화 하였다.

왜도는 분포형상의 대칭성을 나타내는 물리량이다. 열화진전에 따른 부분방전의 발생분포 형태를 조사하였다. 그림 7은 부분방전의 열화에 따른 왜도특성을 고찰한 것이다.

N.Nagaoka는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 부분방전의 왜도특성이 전압인가초기에 약간의 상승후 감소하였다가 다시 상승하는 과정에서 절연파괴가 일어나는 것으로 單峰狀의 왜도특성을 발표하였으나⁴⁾ 본 실험결과에서는 그림과 같이 雙峰狀의 형태를 보여주고 있다.

왜도의 시간변화특성은 시료에 따라 변화의 폭은 크지만 왜도가 전압 인가초기에 한번 증가후 감소하는 현상은 전체 시료중 약 80[%]의 시료에서 관측할 수 있다.

열화에 저위상영역에 방전이 집중되다가 절연파괴 직전에 저위상에서 방전이 발생하는 현상에 대해서는 다음과 같이 생각할 수 있다. 열화초기에 위상각의 중심에서 방전이 집중하다가 저위상각으로 진행하는 것은 열화의 진전에 따라 새로운 위상에서 방전이 발생하는 것으로 생각된다. 또한 절연이 파괴되기 직전의 열화말기에 방전이 전위상에서 발생하는 것은 횡방향 누설에 따른 증첩외에도 군소펄스의 영향을 고려할 수 있다. 통상의 부분방전 측정장치의 검출감도는 10[pC]정도로 이 이하를 군소펄스라 한다면 왜도에서 길게 꼬리를 늘이는 부분은 군소펄스의 영역으로 추정이 가능하다.

4. 결 론

전력용 기기의 예방진단을 위하여 모의 시료를 제작하고, 이 시료로 부터 부분방전 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 부분방전 측정을 통하여 전력용 기기에 결함이 존재하는 경우에는 절연파괴전압이전의 실험으로 예방 진단할 수 있다.
- 2) 단일 보이더를 갖는 시료는 방전개시후 포화되는

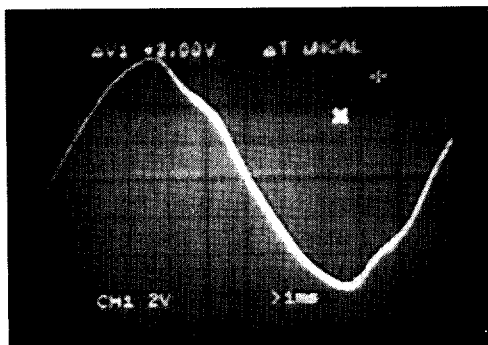


Photo 1. (a) Pattern of partial discharge in a region.

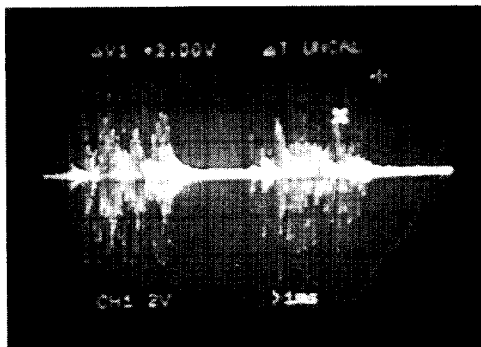


Photo 1. (d) Pattern of partial discharge in d region.

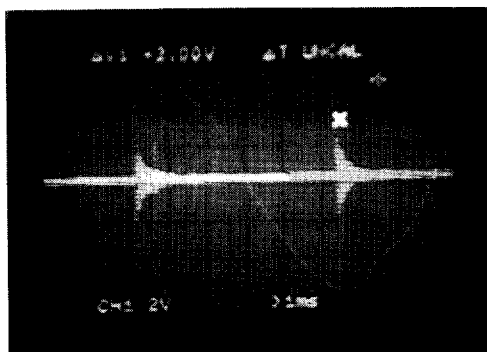


Photo 1. (b) Pattern of partial discharge in b region.

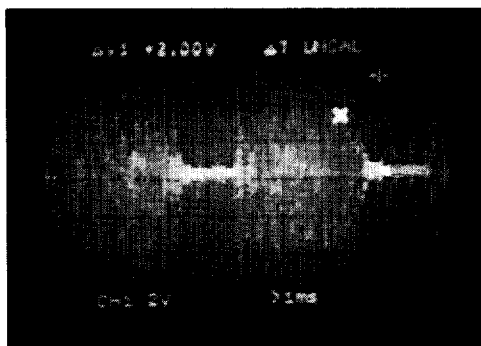


Photo 1. (e) Pattern of partial discharge in e region.

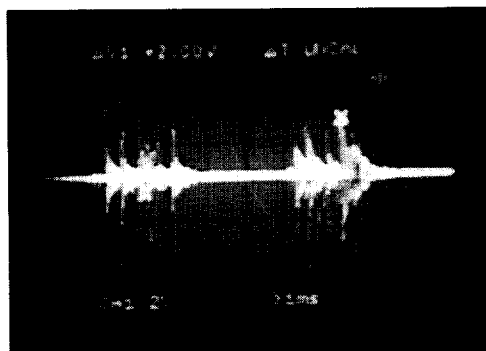


Photo 1. (c) Pattern of partial discharge in c region.

- 사진 1 (a) "a"영역에서의 부분방전 패턴
 (b)"b"영역에서의 부분방전 패턴
 (c)"c"영역에서의 부분방전 패턴
 (d)"d"영역에서의 부분방전 패턴
 (e)"e"영역에서의 부분방전 패턴

- Photo. 1 (a) Pattern of partial discharge in "a" region.
 (b) Pattern of partial discharge in "b" region.
 (c) Pattern of partial discharge in "c" region.
 (d) Pattern of partial discharge in "d" region.
 (e) Pattern of partial discharge in "e" region.

일어나는 것으로 판단된다.

■ 본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- 특성을 관측할 수 있으며, 다수의 보이드를 갖는 시료의 경우에는 방전 개시후부터 포화까지 선형적으로 방전전하량이 증가한다.
- 계면상태에서의 부분방전은 포화특성을 보이며 소멸전압이 개시전압보다도 5-10%가 작다.
 - 부분방전 펄스의 형태를 관측한 결과에서는 부분방전의 진행이 초기 방전개시후 위상전이를 통하여 진전된다. 특히 이때의 부분방전의 위상전이는 반주기의 저위상으로 진행됨을 알 수 있었다. 또한 파괴직전단계에서의 부분방전은 전위상영역에서

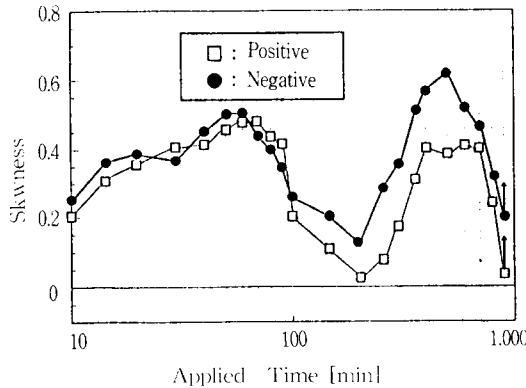


그림 7 계면층 모델에서 왜도의 시간의존성
 Fig. 7 Time dependence of skewness at interface layer model.

- 1) T. Okamoto and T. Tanaka, "Cycle-mean ϕ - q Characteristics of Partial Discharge in Six Electrodes System", T.IEE, Vol. 102A, No.7, July 1982, pp.7-14.
- 2) G. Katsuta, "Development of a New Detection Method of Discharge for EHV Long-Distance Cable Active Line", T.IEE, Vol. 111-B, No.11, 1991, pp. 1223-1232.
- 3) N. Hozumi, "Discrimination of Tree Inception using Partial Discharge Pattern Recognitions

- with Neural Network", T.IEE, Vol. 111-B, No.11, 1991, pp.1243-1249.
- 4) N.Nakaoka, "Life Time Estimation of a Composite Insulation Material Based on its Partial Discharge Characteristics", T.IEE, Vol.107-A, No.2, 1987, pp.81-87.
- 5) 近藤 保, "界面化学", pp.79, 東京, 三版,(1986).
- 6) Tsai, S.W., Halpin, J.C., "Effects of Environmental Factors on Composite Materials", AFML-TR-67-423, 1969.
- 7) G. Lister, R. Lefebvre and L.Kohn, "Epoxy-Mica Mat in Class F Stator Ground Wall Insulation", IEEE, CH-195, Jan. 1977, pp.152-156.
- 8) T.S. Kim, "The Partial Discharge at Interface Lay in Mica-Epoxy Composite", '92 ACED, Nov. 1992, pp.160-163.
- 9) K. Kadotani and Y. Kako, "Capability of Insulation Diagnosis for Mica-Resin Insulated Coils", IEEE Trans.Electrical Insulation, Vol. EI-15, No.6, Dec. 1980, pp. 481-490.
- 10) 김태성, "에폭시 수지의 경화형태와 전기절연특성과의 관련성", 한국전기전자재료학회지, 제 3권 제 2호, 1990. 12, pp. 9-12.
- 11) 김태성, "마이카-에폭시 복합재료의 개변에서의 절연과괴특성", 한국전기전자재료학회지, 제 5권, 제 2호, 1992, pp.224-236.

저자소개



김태성

1935년 11월 29일생. 1959년 2월 전남대학 전기공학과 졸업. 1981년 2월 조선대학 대학원(공학). 1983년 7월 일본 칭산학원대학 전기전자공학과 연구교수. 1989년 7월 일본 동경대학 전기전자공학과 연구교수. 1994년 현재 전남대학 전기공학과 교수.



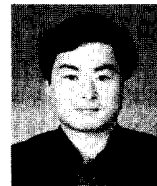
구현분

1951년 10월 24일생. 1974년 2월 영남대학 전기공학과 졸업. 1976년 2월 영남대학 전기공학과 석사. 1988년 3월 일본 OSAKA대학 전기공학과(공학). 1983년 6월 OSAKA대학 전기공학과 방문교수. 1994년 현재 전남대학 전기공학과 조교수.



임장섭

1967년 1월 19일생. 1989년 2월 전남대학교 공대 전기공학과 졸업(공학사). 1991년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 중. 1992년 9월-현재 전남대학교 공대 전기공학과 조교.



정우성

1959년 6월 19일생. 1987년 8월 조선대학교 전기공학과 졸업. 1994년 2월 전남대학교 전기공학과(석사). 1978년-1992년 전남대학교 전기기사.