

진동파 전압을 이용한 부분방전 측정 기초 연구

논문
12-2-1

A Basic Study on Partial Discharge Detection using Oscillating Wave Voltage

김정태*

(Jeong-Tae Kim*)

Abstract

This paper deals with the basic study of OW-PD(Oscillating Wave-Partial Discharge) measurement method which is expected to have excellent applicability on-site, its small size and low cost. For the purpose, OW-PD measurement system has been composed with the OW voltage generating equipment, PD detecting sensor and PD detecting window circuit. And, OW-PD measurements have been carried out for the needle-plane electrode and the power cable sample having electrical tree. From the results, it is confirmed that the OW-PD measurement system can detect partial discharges and the PD detecting window circuit can be operated very well. Therefore, it is concluded that the composed OW-PD measurement system can be useful as a PD test method for an after laying test and/or a diagnostic test of an underground power cable system.

Key Words(중요용어) : Key Words(중요용어) : XLPE cable(XLPE 케이블), Partial discharge(부분방전), OW(oscillating Wave) voltage(진동파 전압), Needle-type defect(침 결함), Needle-plane electrode(침-평판 전극)

1. 서 론

지중 전력케이블에서의 부분방전 검출은 운전 중에 발생된 열화 상태를 판단하는 정기적인 진단시험 뿐만 아니라, 케이블 포설 직후 수행하는 케이블 준공시험으로 꾸준히 연구되고 있다. 그러나, 정확한 부분방전의 검출을 위해서는 운전전압보다 높은 전압레벨로 시험할 필요가 있을 뿐 아니라, 지중 케이블 선로의 큰 커패시턴스로 인해 대용량의 시험장치가 필요하므로 현장 적용이 용이하지 않을 뿐 아니라 경제적인 문제가 대두된다. 한편, 케이블 접속부위나 단말과 같이 국부적인 부분에서 발생하는 부분방전을 측정하기 위해 코일 센서 등을 이용하는 방법이 제시되고 있으나^{1,2)}, 지중에 포설되는 케이블 자체에서 발생하는 부분방전의 측정은 어렵다.

최근 케이블 시스템에서 발생하는 부분방전을 측정하는 방법으로 현장 적용성 및 경제성이 우수한 개폐충격파-부분방전 측정방법 및 진동파-부분방전 측정방법이 제시되었다^{3,4)}. 이 시험방법들은 모두 상용주파수의 교류전압 인가시에 나타나는 부분방전을 모의

한 것으로, 대체로 25 ~ 100 Hz 정도의 주파수에서는 부분방전 특성이 유사하기 때문에⁴⁾ 이러한 전압이 케이블에 인가되도록 구성한 것이다. 이에 따라, 개폐충격파 전압의 경우 1 ~ 10 ms 정도의 파두장을 갖도록 하여 교류전압 위상의 1/4 상한을 모의하게 되고, 진동파 전압의 경우에는 진동파의 공진 주파수가 25 ~ 300 Hz가 되도록 하여, 이러한 전압에 의해 나타나는 부분방전 펄스들을 측정함으로써 케이블의 결함을 검출하는 방법이다. 이 중, 개폐충격파-부분방전 측정방법은 개폐충격파 전압을 케이블에 인가할 때 케이블의 커패시턴스로 인하여 시험장치의 충전 커패시터에 충전된 전압레벨 보다 작은 전압이 케이블에 인가되며, 케이블의 길이가 길어질수록 전압효율(=인가전압/충전전압)이 저하되는 문제가 있다. 이에 반해, 진동파-부분방전 측정방법은 직류전압을 충전 커패시터와 함께 케이블에 충전시킬 경우 항상 전압효율을 1로 할 수 있으므로 케이블의 길이가 다를 경우에도 항상 일정한 조건의 시험을 수행할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나, 진동파-부분방전 측정방법은 아직 가능성만이 제시되고 있으며, 실제적인 적용에 대해서는 아직까지 보완하여야 할 점이 많은 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 진동파-부분방전 측정방법을 적용할 경우 측정 시스템의 회로 구성과 현장 적용성 향상 방안을 모색하기 위하여, 실험장치를 구성

* : 대전대학교 전기공학과
(경기도 포천군 포천읍 선단리 산 11-1 17, Fax : 0357-535-3579 E-mail : jtkim@road.daejin.ac.kr)
1998년 10월 26일 접수, 1999년 1월 28일 심사완료

하고 침-평판 전극에서의 코로나 방전과 전기트리가 존재하는 전력케이블에서의 부분방전을 측정하였으며, 현장 적용을 위한 부분방전 검출 원도우 회로에 대해서도 검토하였다.

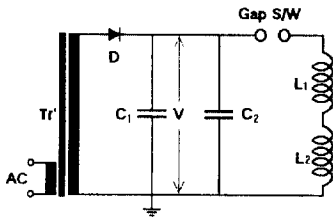
2. 실험장치 및 방법

2.1. 진동파 전압발생회로

그림 1. (a)는 LC 병렬공진 회로를 이용한 충전방식의 진동파 발생 기본회로이다. 여기서, C_1 은 충전 커패시터 C_2 는 실험 대상시료의 커패시턴스, L_1 과 L_2 는 공진을 위한 인덕턴스이며, 시험전압으로 충전 커패시터를 충전시킬 때 시험대상물도 동시에 충전되도록 되어있다. 이와 같이 시험대상물을 같이 충전시키는 이유는 첫째, 시험대상물의 커패시턴스가 달라도 항상 일정한 시험전압을 유지할 수 있으며, 둘째, 전압효율(=충전전압/출력전압)이 항상 1 이므로 충전 커패시터가 없어도 시험이 가능한 방식이기 때문이다. 그러나, 방전이 일어나는 구 겹을 통해 항상 회로가 이루어지기 때문에 구 겹의 방전 노이즈가 부분방전 측정에 악영향을 줄 수 있는 단점이 있다. 그림 1. (b)는 그림 (a)의 충전방식 진동파 발생회로를 이용하여 시험 대상인 케이블 시료에 인가된 시험전압 V 를 측정된 파형으로 오실로스코프의 트리거 시점인 구 겹의 방전 이전까지는 직류 전압이 걸리다가 구 겹의 스위칭으로 인해 진동파 전압이 나타나는 것을 볼 수 있다.

비충전방식 진동파 전압 발생회로

충전방식의 진동파 발생회로는 전술한 바와 같이 전압 효율이 좋고 시험전압이 일정하도록 할 수 있는 장점이 있지만 전압인가 초기에 구 겹에서 발생하는 노이즈의 영향을 받을 수 있는 단점이 있다. 이러한 영향을 어느 정도 배제되도록 고려한 방식이 비충전방식의 진동파 발생회로이며, 케이블 시료 C_2 가 저항 R 및 공진 인덕턴스 L_2 와 병렬이 되도록 그림 2. (a)와 같이 회로를 구성하였다. 이에 따라 케이블 시료



(a) 진동파 전압발생 회로
(a) Circuit of OW voltage generation

C_2 에 인가되는 전압은, 그림 2. (b)에 나타낸 바와 같이, 트리거 시점 이전까지는 케이블에 전압이 인가되지 않다가 구 겹의 방전 이후 첫 번째 주기에서 전압 파형이 인덕턴스 L_1 으로 인해 100 μ sec까지 파도가 완만해지는 진동파 전압의 형태가 됨을 알 수 있다. 이 회로의 또 하나의 장점은 L_1 과 R 을 이용하여 low pass filter 회로를 구성하여 전원 측이나 구 겹에서 생긴 고주파 노이즈를 차단시킬 수 있다는 장점이 있다.

2.2. 진동파-부분방전 측정시스템 구성

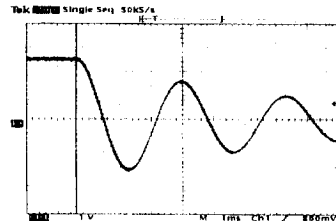
진동파-부분방전 측정시스템은 크게 진동파 전압발생부 및 부분방전 측정부로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서는 진동파 전압 발생을 위한 구 겹 스위치는 공기압으로 작동되는 공압 스위치를 사용하였고 적절한 용량의 인덕터를 제작하였다. 아울러, 부분방전 측정을 위해 부분방전 측정 센서와 현장 적용을 위한 부분방전 검출 원도우 회로를 직접 제작하였다.

인덕터 설계 및 제작

진동파 전압의 공진 주파수는 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 시험대상물이 있을 때는 공진 주파수의 값이 시험대상물의 커패시턴스 C_2 로 인해 더 낮아지게 된다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)(C_1 + C_2)}} \quad (1)$$

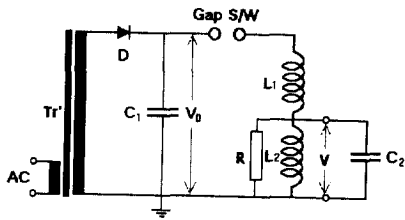
진동파를 이용한 부분방전 측정은 교류전압에 의해 발생되는 부분방전 측정을 모의하는 것이기 때문에 진동파 공진 주파수를 교류의 상용 주파수와 유사하게 하여야 한다. 대체로 25 ~ 300 Hz 정도의 주파수에서는 부분방전 양상이 거의 같게 나타나므로⁴⁾, 진동파 전압으로 교류전압을 모의하기 위해서는 300 Hz 이하의 진동파를 발생시켜야 상용주파수의 교류전압에서 측정하는 것과 같은 부분방전 특성을 얻을



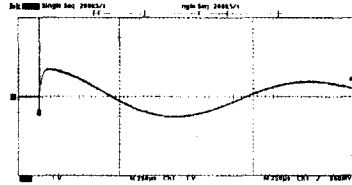
(b) 진동파 전압 출력 파형
(b) Wave shape of Output OW voltage

그림 1. 충전방식의 진동파 발생 기본회로 및 전압파형

Fig. 1. Circuit and wave shape of OW voltage with-Cable-Charging method



(a) 진동파 전압발생 회로
(a) Circuit of OW voltage generation



(b) 진동파 전압 출력 파형
(b) Wave shape of Output OW voltage

그림 2. 비충전방식의 진동파 발생 기본회로 및 전압 파형

Fig. 2. Circuit and wave shape of OW voltage without-Cable-Charging method

수 있다. 따라서, 시험대상물이 없을 때 즉, 충전 커패시터만으로 공진 주파수를 구했을 때 300 Hz가 되도록 인덕턴스 L의 값을 결정하여야 한다. 충전 커패시터의 용량을 1 μ F로 할 경우, 식 (1)에 의해 얻어진 L 값의 계산치는 281 mH이다.

스테인레스강 재질의 아크 차폐판은 전류 차단시 발생하는 금속 증기의 절연 용기 부착에 의한 절연 성능의 저하를 방지하고자 설치하며, 주름판 차폐판 (bellows shield) 또한 금속 증기로부터 주름관을 보호하기 위해 사용한다.

본 연구에서는 이러한 값을 갖는 인덕터를 다음과 같이 설계하여 제작하였다. 일반적으로 길다란 솔레노이드의 자기 인덕턴스는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$L = K4\pi\mu_r n_0^2 l \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \times 10^{-7} \quad (2)$$

단, K : D/l에 의해 결정되는 나가오케 계수.
(D = 0.3 m, l = 1.7 m 인 경우 K = 0.94)
 n_0 : 단위 길이당 턴 수(1,000 회/m로 고려)
 μ_r : 공심이므로 공기의 비투자율 1

따라서, 직경 D가 300 mm이고 길이 l이 1,700 mm인 PVC 파이프에 1 mm 에나멜 동선을 이용한 경우, 식 (2)에 의해 산출된 인덕턴스 값은 141 mH 이므로, 이 값을 기준으로 인덕터를 2 개 제작하였다. 이에 따라, 동일한 2 개의 인덕터를 직렬로 연결시켜 LCR meter를 이용하여 측정된 인덕턴스 값은 설계값인 281 mH 보다 약간 작은 275 mH이 있지만, 최대 주파수가 300 Hz인 진동파 전압을 발생시킬 수 있었다. 그림 3은 본 연구에 사용된 진동파 전압발생장치이며, 그림의 좌측에는 직류 고전압 발생장치 및 공압 스위치, 우측에는 제작한 2 개의 인덕터가 배치되어 있음을 보여주고 있다.

부분방전 측정 센서 제작
부분방전의 측정을 위한 센서로는 고주파 응답특성

이 좋은 페라이트 코어에 동선을 감고 2 중 차폐시키는 구조를 가지는 고주파 측정용 CT를 제작하여 이용하였으며, 진동파 전압 인가시 진동파 주파수에 해당하는 변위전류 성분인 저주파 성분은 제거하고 고주파 성분만 검출되도록 적절히 동선의 턴 수를 설계하였다. 센서를 진동파-부분방전 측정 시스템에 장착하였을 때의 보정 특성을 알아보기 위해, 센서를 그림 1과 2의 시험대상 케이블 C₂의 접지 쪽에 설치하고 케이블 도체에 Haefely 사의 부분방전 보정기를 연결한 후 오실로스코프를 이용하여 센서의 출력을 측정하였다. 그림 4. (a)에서, CH.1은 부분방전 보정기에서 발생하는 전압 펄스로서 100 pC에 상당하는 크기이며, CH.2는 센서 출력 파형으로 본 연구에서 제작한 센서가 부분방전을 잘 측정할 수 있음을 보여주고 있다. 아울러, 그림 4. (b)는 보정기의 출력(pC)에 대한 센서의 출력전압(mV)을 나타낸 것으로, 20 pC 정도까지 3 mV 정도의 응답으로 측정 가능하였으나 정확한 정량적인 측정은 50 pC 이상에서나 가능하여 측정감도는 낮게 나타났다

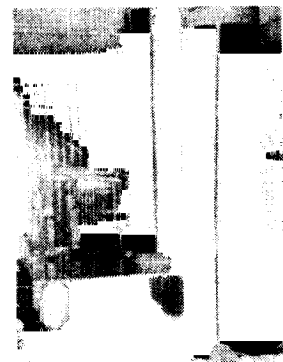
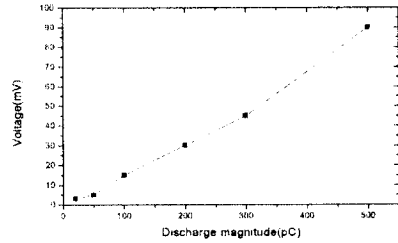
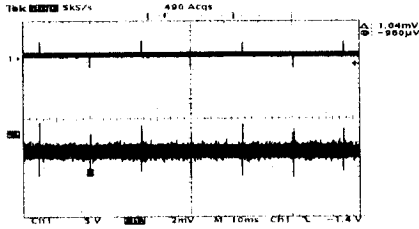


그림 3. 진동파 전압발생 장치
Fig. 3. OW voltage generation equipment



(a) 보정기의 전압펄스 및 센서의 응답특성
(CH1: 보정기 펄스(100pC), CH2: 센서응답파형)
(a) Characteristics for calibration pulses and response of the sensor(CH1: cali.-pulse (100pC), CH2: response of sensor)

(b) 보정펄스 방전량에 따른 센서의 응답전압
(b) Response voltage of the sensor vs. cali. pulse magnitude

그림 4. 제작된 고주파 CT 부분방전 센서의 응답 특성

Fig. 4. Response characteristics of PD sensor using high frequency CT

부분방전 검출 윈도우 회로 설계 및 제작

충전방식이건 비충전방식이건 진동과 전압의 발생을 위해서는 구 갭의 방전을 이용해 스위칭하여야 하며, 이러한 과정에서 구 갭 방전시에 상당한 고주파 아크 노이즈가 발생되고 이 노이즈는 측정회로 및 공중파를 통해 부분방전 측정의 심각한 노이즈로 작용할 수 있다. 특히 현장에서 부분방전 측정을 위해 항상 오실로스코프를 사용할 수 없으므로 현장에 쉽게 적용할 수 있는 방법이 강구되어야 한다. 즉, 부분방전을 검출하여 어느 정도 이상의 레벨이면 경보가 작동되어 케이블 시스템에 부분방전의 문제가 있다는 것을 시험자가 알 수 있도록 하여야 한다. 그러나, 구 갭의 방전시에 나타나는 고주파 노이즈는 부분방전 레벨보다도 상당히 큰 값일 뿐 아니라 부분방전의 주파수 특성과 유사하기 때문에 필터링도 곤란하다. 따라서, 이에 대한 적절한 방법이 필요하다.

이에 따라 본 연구에서는 부분방전이 구 갭의 방전 후에 발생된다는 것에 착안하여 부분방전을 순수히 측정할 수 있는 부분방전 검출 윈도우 회로를 설계 제작하였다. 이 회로의 개념도를 그림 5. (a)에 나타내었으며, 고주파 CT 센서를 통해 부분방전 신호가 입력되면 다음과 같은 순서로서 동작된다.

- ① 기본적으로 부분방전 신호가 입력되기 전에, 아날로그 멀티플렉서(Analog Multiplexer)는 초기에 출력은 OFF 상태이며, 전압레벨 검출 회로(Voltage Level Detector)는 ON 상태가 되도록 한다.
- ② 시험전압이 초기의 직류 전압에서 구 갭의 구동에 의하여 진동과 전압이 발생되면, 이 때 고주파 CT에 의해 검출된 전류는 부분방전 신호보다 큰 구 갭 방전의 아크 노이즈를 포함하게 되고, 이 노이즈 전압을 전압레벨 검출회로에서 검출하여 지연 카운터(Delay Counter)의 초

기 설정된 값(예, 지연시간 400 μ sec 정도) 동안 검출지연이 이루어진다. 이를 위해 지연 카운터는 지연 프리셋(Delay Preset)을 통해 초기화 상태에 있도록 한다.

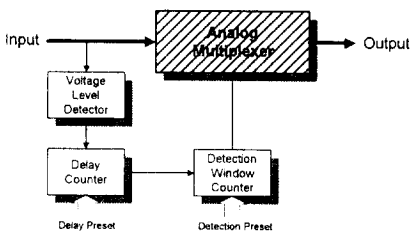
- ③ 초기 설정된 지연 시간이 끝나게 되면, 두 가지의 동작이 수반되는데, 먼저 아날로그 멀티플렉서에서 출력이 ON 상태가 되며, 이와 동시에 검출 윈도우 카운터(Detection Window Counter)에서 설정된 시간 동안의 동작이 시작되며, 이 역시 검출 프리셋(Detection Preset)에 의해 초기화된 상태에 있도록 한다. 따라서, 아날로그 멀티플렉서의 출력으로는 초기의 아크 노이즈 이후의 순수한 부분방전 신호가 나타나게 되며, 이 신호를 오실로스코프 또는 별도의 부분방전 발생 알람 회로에 입력되어 부분방전을 검출하게 된다.

이러한 개념을 갖는 회로를 구성한 것이 그림 5. (b)로서, 이 회로는 구 갭의 방전시 나타나는 아크의 공중파 노이즈를 차단하여야 하므로 외함은 전자파의 차폐가 이루어지는 구조로 제작하였다.

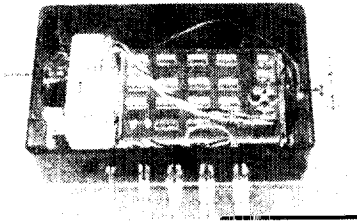
2.3. 실험 대상

침-평판 전극 구조의 공기중 코로나 방전

본 연구에서 제작한 진동과-부분방전 측정 시스템의 유효성을 파악하기 위하여 그림 6과 같은 침-평판 전극을 제작하였고, 침 전극에 진동과 전압을 인가한 경우(정극성)와 평판 전극에 진동과 전압을 인가한 경우(부극성)에 대해서, 침의 곡률 반경에 따른 부분방전량을 측정하였다. 여기서, 사용된 침의 곡률 반경은 100 μ m, 200 μ m 및 500 μ m로, 일본 Ogura사의 stainless treeing needle로서 침 끝의 각도는 30°, 직경 1 mm이다. 침 전극의 끝단과 평판 전극간의 간격은 30 mm로 하였다.



(a) 개념도
(a) Block diagram



(b) 제작 회로
(b) Photo. of the circuit

그림 5. 부분방전 검출 윈도우 회로
Fig. 5. PD detection window circuit

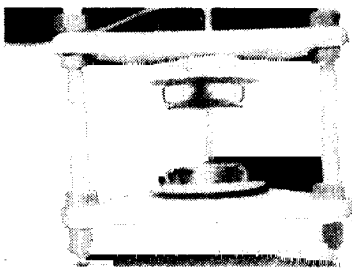


그림 6. 침-평판 전극
Fig. 6. Needle-plane electrode

침 결함(전기트리)을 갖는 전력케이블에서의 부분방전 지중 배전케이블의 절연층에 침 결함(needle-type defect)이 존재하여 여기에 교류전압이 장시간 인가 될 경우에는 전기트리가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 전기트리에서 발생하는 부분방전을 진동파 전

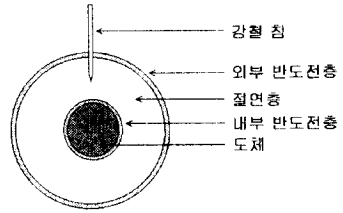


그림 7. 인위적인 침 결함
Fig. 7. Artificial needle-type defect



그림 8. 침이 삽입된 케이블 시료 전경
Fig. 8. Photo of cable sample having needle-type defect

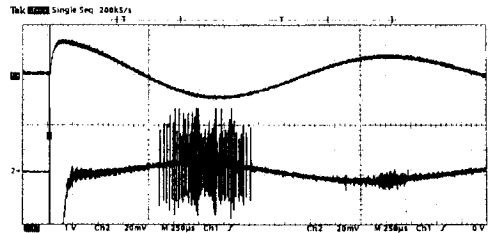
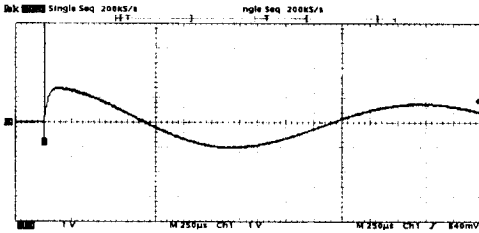
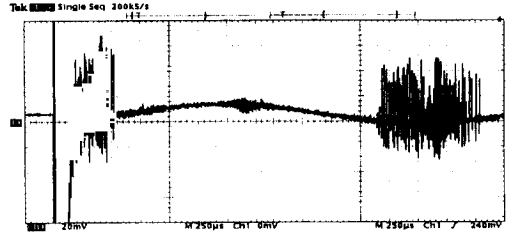


그림 9. 침(고전압)-평판(접지) 전극에서의 진동파 부분방전 측정파형(CH1 : 인가전압, CH2 : 센서를 이용 측정된 전류파형)
Fig. 9. Result of OW-PD measurement for the needle(HV)-plane(earth) electrode(CH1 : applied voltage, CH2 : measured current through the sensor)

압을 이용하여 측정하였다. 이를 위해, 국내에서 주로 사용되는 22.9 kV CN/CV 지중 전력케이블(운전전압 U_0 : 13.2 kV) 시료에 그림 7과 같이 곡률반경이 10 μm 인 침을 3.5 mm 깊이로 삽입하여 인위적인 결함을 만들고 2 U_0 의 교류전압을 20 분 동안 인가하여 전기트리를 진전시킨 후 부분방전 양상을



(a) 인가된 진동파 전압
(a) Applied OW voltage



(b) 센서를 이용 측정된 전류파형
(b) Measured current through the sensor

그림 10. 침(접지)-평판(고전압) 전극에서의 진동파-부분방전 측정파형

Fig. 10. Result of OW-PD measurement for the needle(earth)-plane(HV) electrode

측정하였다. 케이블 시료의 길이는 5 m로서, 침 결합 이외의 부분에서 부분방전이 일어나는 것을 방지하기 위해 케이블 양단에 23 kV급 조립형 종단 접속재를 이용하여 정상적인 단말 처리를 한 후 케이블 단말 도체에 코로나 링을 장착하였다. 케이블 시료는 총 5 개를 제작하여, 이에 대한 실험을 통해 실험에 대한 편차를 줄이도록 하였다. 그림 8은 침이 삽입된 케이블 시료 전경을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1. 침-평판 전극에서의 코로나 방전

진동파-부분방전 측정에서 시험전압이 낮은 경우에는 구 갭에서 발생하는 아크로 인한 고주파 노이즈가 발생하기 때문에 부분방전의 측정이 매우 어려워진다. 침-평판 전극에서의 부분방전은 낮은 전압에서 발생하므로 구 갭 노이즈를 보다 저감시킬 수 있는 비충전방식의 진동파 전압발생이 효과적이기 때문에 그림 2에 나타난 바와 같은 비충전 방식 진동파 발생회로를 사용하였다. 아울러, 전술한 바와 같이 L_1 과 R을 low-pass filter로 이용해 전원 자체의 고주파 성분을 제거함으로써 구 갭에서의 노이즈를 감소시켰다.

그림 9는 곡률 반경 200 μ m인 침과 평판 전극에서 평판 전극 쪽을 접지시킨 경우 진동파 전압을 이용하여 부분방전을 측정된 파형으로, CH1은 인가전압 파형이고 CH2는 본 연구에서 제작한 센서를 이용하여 측정된 전류파형이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 부분방전 펄스는 음의 피크 부근에 대체로 30 mV 정도의 일정한 크기로 나타나며, 그림 4의 캘리브레이션 결과로부터 산출된 방전량은 200 pC 정도임을 알 수 있다. 아울러, 인가 전압을 상승시키면 인가 전압의 음의 피크 부분에 나타나는 부분방전의 크기는 대체로 일정하지만 위상의 폭이 증가되는 부분방전 패턴으로 나타났다. 이러한 결과는 침(고전압)-평판(접지) 전극에서의 일반적인 교류전압-부분방전 패턴⁶⁾과 동일한 것으로, 본 측정시스템의 유효성을 입증하고 있다.

침을 접지에 연결한 경우 진동파 전압을 인가하였을 때, 그림 10과 같이 부분방전량은 침에 고전압을 인가한 경우 보다 35 mV (220 pC) 정도로 약간 크게 나타났으나 큰 차이를 알 수는 없었다. 그리고, 부분방전 발생 위상은 인가 전압의 양의 피크 부근에서 발생되고, 인가전압이 더욱 상승되면 일정한 크기의 부분방전 펄스가 양 옆으로 늘어나는 결과를 보였다. 이러한 결과 역시 같은 전극 구조에서 교류전압-부분방전 패턴⁶⁾과 동일하다.

한편, 그림 11에 침의 곡률 반경에 따른 부분방전량을 나타내었으며, 곡률 반경이 증가함에 따라 부분방전량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것 역시 교류전압-부분방전 측정에서의 일반적인 현상으로 곡률 반경이 커지면 국부 전계가 감소하고 이에 따라 부분방전 개시전압이 높아지기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 침(고전압)-평판(접지)인 경우와 침(접지)-평판(고전압)인 경우에 따른 부분방전량의 차이를 관측하지는 못하였다. 일반적으로 후자의 경우가 전자의 경우 보다 약간 큰 부분방전량을 나타내는데⁷⁾, 본 연구 결과 유사한 경향을 보이긴 하였지만 정량적인 차이를 알기는 어려웠다. 이것은 본 측정시스템에 사용된 부분방전 검출 센서의 측정감도 문제로서 보다 정확한 정량적인 측정을 위해서는 고감도의 센서가 필요하다고 생각된다.

한편, 그림 5의 부분방전 윈도우 검출회로를 사용하여 측정된 공기중 코로나 방전의 파형을 그림 12에 나타내었다. 이 때, 부분방전 검출을 위한 지연시간은 400 μ sec로 하였고 검출 윈도우의 폭을 3.5 msec로 하였다. 그 결과, 그림 9에 나타났던 초기의 아크 노이즈 부분이 배제된 상태에서 정해진 윈도우 구간 동안 부분방전이 측정됨을 알 수 있었다. 그림의 윈도우 구간에서 기준 레벨이 높아진 것은 회로의 구동에서 약간의 증폭과 OFFSET 조정 문제로 나타난 것이지만, 오히려 윈도우 구간이라는 것을 나타내주므로 0 점으로 기준 레벨을 조절하지 않았다.

침 결합을 갖는 전력케이블에서의 부분방전
전력케이블은 커패시턴스가 크기 때문에 비충전방

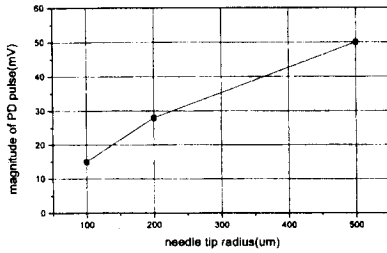


그림 11. 진동파-부분방전 측정에서 침의 곡률 반경에 따른 부분방전량

Fig. 11. Dependence of OW-PD magnitude with various needle-tip radius

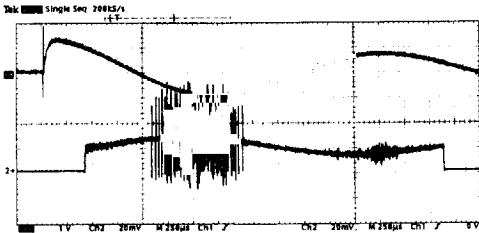


그림 12. 부분방전 검출 윈도우 회로 적용시의 진동파-부분방전 측정 파형 (침(고전압)-평판(접지) 전극의 경우) CH1: 인가전압, CH2: 센서를 이용 측정된 전류파형

Fig. 12. Result of OW-PD measurement using PD detection window circuit for the needle(HV)-plane(earth) electrode (CH1: applied voltage, CH2: measured current through the sensor)

식의 진동파 발생회로를 적용할 경우에는 전압효율(인가전압/충전전압)이 저하되어 현장 시험시 일정한 조건의 시험이 이루어지지 않으며 시험시스템의 용량과 크기가 커지는 단점이 있다. 따라서, 케이블에 대한 진동파-부분방전 측정시에는 항상 전압효율이 1인 충전방식의 진동파 발생회로가 적합하다. 따라서, 침 결합을 갖는 케이블에 대한 부분방전 측정으로 충전방식의 진동파-부분방전 측정시스템을 적용하였다.

그림 13은 3.5 mm의 침 결합에 2U₀의 교류전압을 20 분 동안 인가하여 전기트리를 진전시킨 후 37 kV의 충전전압으로 진동파-부분방전 측정을 한 결과로서, 실험의 재현성이 아주 좋아 진동파 전압 인가시마다 유사한 부분방전이 측정되었다. 대체로 인가 전압 파형 위상의 1/4 주기와 3/4 주기에서 20 ~

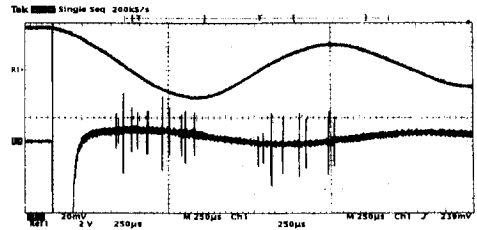


그림 13. 전기트리화 진전된 케이블의 진동파-부분방전 측정 결과(인가전압 : 37 kV, 위 : 인가된 진동파 전압, 아래 : 센서에서 측정된 전류)

Fig. 13. Result of OW-PD measurement for the cable sample having needle-type defect(applied voltage : 37 kV, upper : applied voltage, lower : current through the sensor)

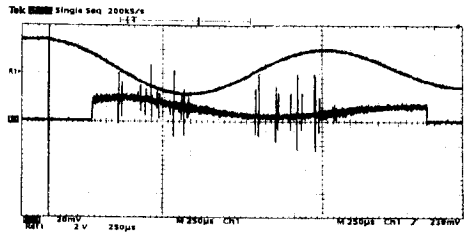


그림 14. 케이블 시료에서 부분방전 검출 윈도우 회로를 적용한 경우(인가전압 : 27 kV, 위 : 인가된 진동파 전압, 아래 : 센서에서 측정된 전류)

Fig. 14. Result of OW-PD measurement using PD detection window circuit for the cable sample having needle-type defect(applied voltage : 27kV, upper : applied voltage, lower : current through the sensor)

30 mV (140 ~ 200 pC) 정도의 부분방전 펄스가 많이 측정되었으며, 이러한 양상은 일반적으로 케이블에서 발생하는 교류전압-부분방전 양상¹⁾과 동일한 결과이다.

한편, 부분방전 검출 윈도우 회로를 적용한 경우의 파형을 그림 14에 나타내었으며, 이 경우에도, 부분방전 검출을 위한 지연시간은 400 μsec로 하였고 검출 윈도우의 폭을 3.5 msec로 하였다. 아크 노이즈 부분이 배제된 상태에서 정해진 윈도우 구간 동안 부분방전을 측정할 수 있어, 현장에서 진동파 전압을 이용하여 부분방전을 측정할 때 순수한 부분방전 펄스만을 측정할 수 있었다. 이 회로에 추가로 전압레벨 검출 회로를 설치할 경우 오실로스코프를 이용하지 않고도 파일럿 램프나 알람 등을 통해 부분방전이 발생되고 있다는 경보를 알리게 되어 효과적이면

서도 용이한 부분방전 검출이 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는 현장에 포설된 지중 전력케이블 선로에 적용이 가능한 부분방전 측정장치 개발의 기초 연구로서 진동과 전압을 이용한 부분방전 측정 시스템을 제작하였으며, 이를 이용하여 진동과-부분방전 측정실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 침-평판 구조의 코로나 특성을 평판 전극을 접지시킨 경우(정극성)와 침 전극을 접지시킨 경우(부극성)으로 구분하여 실험을 수행하였으며, 침의 곡률 반경에 따라 부분방전량이 증가하는 것으로 나타나, 일반적인 교류전압-부분방전 측정시와 동일한 양상임을 확인하였다.
- 전기트리가 진전된 케이블에 대해서 진동파의 1/4 및 3/4 위상 구간에서 부분방전이 측정되어, 일반적인 케이블에서의 부분방전 특성과 동일하다는 것을 알 수 있었다.
- 부분방전 검출 윈도우 회로를 적용하여 구 갭의 방전 노이즈가 거의 사라진 이후부터 부분방전을 측정하는 방법을 이용하여 순수한 부분방전 펄스만을 검출할 수 있었으며, 이러한 회로는 현장에서 부분방전 발생 여부의 진위를 판단하는데 필요할 것으로 사료된다.

이상의 기초적인 연구 결과로부터 진동과-부분방전 측정시스템으로 현장에 포설된 전력케이블의 부분방전 측정 시험을 수행할 수 있다고 사료된다. 그러나, 본 연구에서는 부분방전 검출 센서의 감도가 낮아 정확한 정량적인 측정을 수행하지는 못하였으며 향후 이 부분에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. E. Pultrum, et. al., "Test After Laying, Diagnostic Testing using Partial Discharge Test at Site", CIGRE, 1996-Session, 15/21/33-12, 1996.
2. G. Katsuta, et. al., "Development of a Method of Partial Discharge Detection in Extra-High Voltage Cross-Linked Polyethylene Insulated Cable Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, pp. 1068-1079, 1992.
3. I. Krage, W. Kalkner, "PD-Detection and Localisation using Unipolar Impulse Voltage for On-Site Testing of Polymer Insulated Cables", 8th ISH, Yokohama, 1993.
4. E. Lemke, P. Schmiegel, "Complex Discharge Analyzing (CDA) - an Alternative Procedure for Diagnosis Tests on HV Power Apparatus of Extremely High Capacity", 9th ISH, 5617-1, 1995.
5. 구자운 외, "진동과 전압을 이용한 22.9kV CN/CV 전력케이블의 준공검사에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 47권, 4호, pp. 503-510, 1998.
6. CIGRE, "Recognition of Discharges", Electra No. 11, pp. 61-98, 1969.
7. Haefely, "Partial Discharge Analysing System TEAS 570", Technical Report, HAFELY.