

# 전력케이블에서 교류전압과 진동파 전압을 이용한 부분방전 측정

論 文

48C-4-5

## Partial Discharge Detection for the Power Cables using AC and Oscillating Wave Voltage

金正泰\* · 金南俊\* · 李全善\*\* · 具滋允\*\*\*

(Jeong-Tae Kim · Nam-Joon Kim · Jeon-Seon Lee · Ja-Yoon Koo)

**Abstract** - In this paper, in order to investigate availability of the OW-PD measurement method which has been proposed as an alternative of AC-PD measurement method to an after laying test and/or diagnosis for the power cable system, partial discharges owing to the needle-type defect integrated into the cable have been measured using AC and OW(Oscillating Wave) voltages. In the AC-PD measurement, the magnitude, phase and pulse number of partial discharges have been changed with the duration of voltage application, which can be analyzed through the relation with the process of the electrical tree initiation and propagation. In addition, the characteristics of partial discharges using OW voltage are appeared to be similar to those in case of AC-PD measurement and to be different with the shapes of electrical tree. From these results, it is concluded that the OW-PD measurement method is available to the tests for the cable system.

**Key Words** : XLPE cable, partial discharge, OW(Oscillating Wave) voltage, needle-type defect

### 1. 서 론

지중 케이블에서 발생하는 부분방전은 전력케이블의 열화 상태 및 사고에 대한 많은 정보를 제공해주기 때문에 오래 전부터 지속적인 연구 대상이 되어왔다. 따라서, 전력케이블의 부분방전 검출은 운전중에 발생한 열화 상태를 판단하는 정기적인 진단시험으로 이용될 수 있을 뿐 아니라, 케이블 포설 직후 수행하는 케이블 준공시험으로도 시도되고 있다.[1,2]

그러나, 지중 케이블 선로는 현장마다 케이블의 길이가 다르고 이에 따라 케이블의 커패시턴스가 달라지게 되며 케이블의 길이가 긴 경우에는 커패시턴스가 커지기 때문에 기존의 교류전압-부분방전 측정방법에서는 교류 고전압 발생을 위한 변압기의 용량이 대규모화되어 현장 적용과 경제성 문제가 도출되며, 현장의 각종 노이즈로 인해 부분방전 측정 감도가 저하된다. 최근 외국에서는 현장 적용 및 경제성 측면에 대한 해결 방안의 하나로써 개폐충격파-부분방전 측정방법 및 진동파-부분방전 측정방법이 제시되고 있다.[3-8] 이 시험방법 들은 케이블에 1 ~ 10 ms 정도의 파두장을 갖는 개폐충격파 전압 또는 상용주파수인 50/60 Hz 정도에 근사하도록 25 ~ 300 Hz 정도의 공진주파수를 갖는 진동파 전압을 시험대상 케이블에 인가하여, 이로 인해 나타나는

부분방전 펄스들을 측정함으로써 케이블의 결함을 검출하는 방법이다. 개폐충격파-부분방전 측정방법은 개폐충격파를 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 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 초기 단계로서 가능성만이 제시되고 있으며, 실제적인 적용에 대해서는 아직까지 미미한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 장치가 가볍고 경제적이며 현장 적용성이 뛰어나다고 예상되는 진동파-부분방전 측정방법이 실제 전력케이블의 준공/진단 시험으로 적용 가능한지 파악하기 위하여, 지중 전력케이블의 대표적인 결함인 침 결함을 갖는 케이블 시료에서 교류전압과 진동파 전압을 이용하여 부분방전을 측정 비교하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1. 진동파-부분방전 측정 시스템

진동파-부분방전 측정의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 먼저 직류 고전압을 발생시켜 충전커패시터 및 시험대상물에 직류 고전압을 충전시킨 후 구 갭 스위치를 동작시켜 진동파 고전압을 발생시킨다. 이 때, 분압기를 이용하여 고전압을 측정하고, 시험대상물의 접지 쪽에 연결된 부분방전 측정회로를 통해 디지털 오실로스코프를 이용하여 부분방전 전류를 측정한다. 진동파 전압 발생을 위한 구 갭 스위치

\* 正 會 員 : 大 眞 大 電 氣 工 學 科 助 教 授 · 工 博

\*\* 正 會 員 : 漢 陽 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

\*\*\* 正 會 員 : 漢 陽 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接受日字 : 1998年 10月 30日

最終完了 : 1999年 3月 2日

는 컴프레서로 작동되는 공압 스위치를 사용하였고, 인덕터와 부분방전 측정회로를 직접 제작하였다.

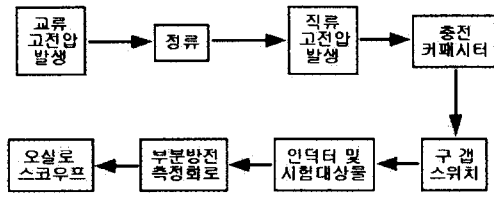
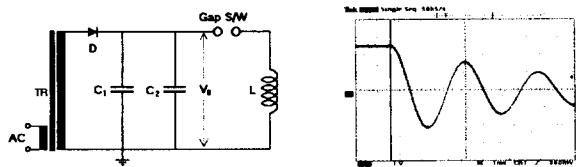


그림 1. 진동파-부분방전 측정 개념도  
Fig. 1. Block Diagram of OW-PD measurement

진동파 전압의 발생은 그림 2.(a)와 같은 LC 병렬공진 회로를 이용하였으며, 여기서  $C_1$ 은 충전 캐패시터  $C_2$ 는 실험 대상시료의 캐패시턴스,  $L$ 은 진동파 발생을 위한 인덕턴스이며, 시험전압으로 충전 캐패시터를 충전할 때 시험대상물도 같이 충전되도록 되어있다. 이와 같이 시험대상물을 같이 충전시키는 이유는 첫째, 시험대상물의 캐패시턴스가 달라도 항상 일정한 시험전압을 유지할 수 있으며, 둘째, 전압 효율(=충전전압/출력전압)이 항상 1 이므로 충전 캐패시터가 없어도 시험이 가능한 방식이기 때문이다. 그러나, 방전이 일어나는 구 갭을 통해 항상 회로가 이루어지기 때문에 구 갭의 방전 노이즈가 부분방전 측정시에 악영향을 줄 수 있는 단점이 있다.



(a) 진동파 전압발생 회로 (b) 진동파 전압 출력 파형  
(a) Generation circuit of OW voltage (b) Wave shape of OW output voltage

그림 2. 충전방식의 진동파 발생 기본회로 및 전압파형  
Fig. 2. Circuit and wave shape of OW voltage with cable-charging method

진동파의 공진주파수는 다음 식 (1)과 같이 되며, 교류전압을 이용한 부분방전 측정시와 유사한 부분방전 양상을 얻기 위해서는 대체로 25 ~ 300 Hz 정도의 주파수가 되도록  $L$ 과  $C$  값을 선정하여야 한다. 이것은 이 정도 주파수 범위에서의 부분방전 양상이 거의 같게 나타나며[7], 그 이상의 주파수에서는 열화의 진행속도가 빠르게 나타나기 때문이다. 따라서, 진동파 전압의 최대 공진주파수가 300 Hz 이하가 되도록 하기 위해서는 시험대상물이 없을 때 즉 충전 캐패시터만으로 공진 주파수를 구했을 때 300 Hz 가 되도록 인덕턴스  $L$ 의 값을 결정하여야 한다. 충전 캐패시터의 용량을 1  $\mu$ F로 할 경우, 식 (1)에 의해 얻어진  $L$  값의 계산값은 281 mH이므로, 본 연구에서는 141 mH의 값을 갖는 공심 인덕터를 2 개 제작하여 사용하였다.

그림 2.(b)는 그림 (a)의 충전방식 진동파 발생회로를 이용하여 제작된 장치에서 시험 대상인 케이블 시료에 걸리는

시험전압을 측정된 파형으로 오실로스코프의 트리거 시점인 구 갭의 방전 이전까지는 직류 전압이 걸리다가 구 갭의 스위칭으로 인해 진동파 전압이 나타나는 것을 볼 수 있다.

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

진동파 전압인가시 부분방전의 측정을 위한 센서로는 고주파 응답특성이 좋은 페라이트 코어에 동선을 감고 2 중 차폐시키는 구조를 가지는 고주파 측정용 CT를 제작하여 사용하였으며, 센서를 제작한 후 센서의 특성을 알아보기 위하여 캘리브레이션을 수행하였다. 진동파-부분방전 측정 시스템을 구성하고 시험대상 케이블을 연결한 상태에서, Haefely 사의 보정기를 이용하여 보정펄스를 인가한 후 제작한 센서의 응답 전압펄스의 피크 값을 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며, 그림 3과 같은 센서의 응답 특성을 구하였다. 제작된 센서는 대체로 50 pC 정도의 낮은 측정 감도를 갖는 것으로 나타났다.

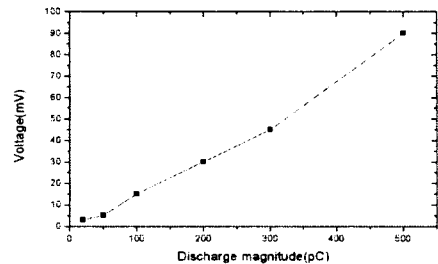


그림 3. 제작된 고주파 CT 부분방전 센서의 응답 특성

Fig. 3. Response characteristics of PD sensor using high frequency CT

### 2.2. 교류전압-부분방전 측정

교류전압을 이용한 부분방전 측정은 전자차폐실(110dB)에서 Haefely사의 부분방전 측정장치(Type TE571)를 이용하여 수행하였고, 부분방전량, 발생 빈도, 발생 위상 및 부분방전 개시전압 등을 측정하여 진동파를 이용한 부분방전 시험 결과와의 비교 자료로서 사용하였다.

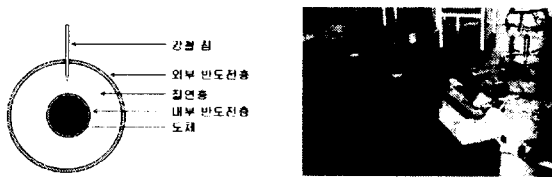
### 2.3. 결함을 갖는 케이블 시료

현장에 포설된 지중 배전케이블의 절연층에 많이 발생하는 결함으로는 침 결함(needle-type defect), 칼 흠집 결함(knifecut-type defect) 및 접속재 결함 등이 있으나[2], 본 연구에서는 대표적인 결함으로 실험의 정확성과 실험 결과의 분석이 용이한 침 결함을 선정하여 부분방전을 측정하였다. 침 결함은 절연층 내에 존재하는 도전성 이물질, 케이블 반도전층으로부터의 도전성 돌기 등을 모델링한 것으로, 케이블 절연층에 스텐레스 침을 삽입한 후 침을 접지시켜 시험하였다.

국내에서 주로 사용되는 22.9 kV CN/CV 지중 전력케이블(운전전압  $U_0$  : 13.2 kV) 시료에 그림 4.(a)와 같이 곡률반경이 10  $\mu$ m인 침을 삽입하여 인위적인 결함을 만든 후 부분방전 양상을 측정하였다. 절연층 내로의 침 삽입은 외부

반도전층으로부터 도체 쪽으로 수직하게 삽입시켰다. 이때, 침 삽입 깊이의 정확도를 높이기 위하여 케이블의 외피와 천테이프 및 부직포를 제거하고 중성선을 한 쪽으로 밀어낸 상태에서 절연층에 가급적 기계적인 스트레스가 작게 가해지도록 아주 서서히 외부 반도전층에서부터 침을 삽입하였다.

케이블 시료의 길이는 5 m로서, 결함 이외의 부분에서 부분방전이 일어나는 것을 방지하기 위해 케이블 양단에 23 kV급 조립형 중단 접속재를 이용하여 정상적인 단말 처리를 한 후 케이블 단말 도체에 코로나 링을 장착하였다. 침 결함을 만들기 전에 일반적으로 배전급 케이블 시스템의 부분방전 측정에 적용되는 2 ~ 3 U<sub>0</sub> 보다도 높은 레벨인 46 kV(3.5U<sub>0</sub>)에서도 1 pC 이하의 상당히 작은 부분방전이 나타나 본 연구에서의 정확성을 기할 수 있음을 확인하였다. 그리고, 케이블 시료는 총 5 개를 제작하여, 이에 대한 실험을 통해 실험에 대한 편차를 줄이도록 하였다. 그림 4.(b)는 침 결함이 삽입된 상태의 케이블 시료를 나타낸 것이다.



(a) 침 결함의 형태 (b) 침이 삽입된 케이블 시료 전경  
 (a) Shape of needle-type defect (b) Photo of cable sample having needle-type defect

그림 4. 침 결함을 갖는 케이블 시료  
 Fig. 4. Cable sample having needle-type defect

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 교류전압-부분방전 측정

전력 케이블 시료에 침 결함을 만들고 침 결함의 깊이 및 전압 인가시간에 따라 부분방전량, 위상, 부분방전 펄스 수의 측면에서 부분방전을 측정하였다. 그림 5는 대표적인 실험 결과로서, 케이블 외부 반도전층으로부터 절연층(전체 두께 7.4 mm) 내로 3.5 mm 깊이의 인위적인 침 결함을 삽입한 케이블 시료에 2U<sub>0</sub> 정도의 전압인 27 kV<sub>rms</sub>의 교류전압을 인가하고 1 분 동안 측정한 결과로 평균방전량(H<sub>qm</sub>(δ))와 방전수(H<sub>n</sub>(δ))를 나타내고 있다.

침 결함 깊이에 따른 부분방전 발생량을 파악하기 위해 절연층에 2 ~ 4.5 mm 깊이의 침 결함을 만들어 전압을 증가시키면서 부분방전량의 변화를 조사하였다. 침 결함 깊이가 달라지면 같은 인가전압이라도 침 끝에서의 전계의 세기는 달라지므로 부분방전 개시전압 레벨과 부분방전량이 달라지게 된다. 2 ~ 4.5 mm 깊이의 침 결함에 대해 전압을 증가시키면서 방전량의 변화를 조사한 결과, 그림 6에 나타낸 바와 같이 2 mm 침 결함의 경우에는 인가전압 레벨을 높여도 거의 부분방전이 나타나지 않고 있으나, 3 mm 이상의 경우에는 삽입 깊이에 따라 그리고 인가 전압레벨에 따라 부분방전량이 증가됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 2 mm 침 결함의 경우에는 2U<sub>0</sub>의 교류 전압으로 전기트리가

발생하지 않았다는 결과[2]와 일치하는 것으로, 2 mm 침 결함의 경우 2U<sub>0</sub>의 교류 전압에서 부분방전이나 전기 트리가 발생할 수 있는 전계의 크기가 아님을 알 수 있다. 아울러 침의 깊이가 깊어질수록 부분방전량이 커지는 것은 그만큼 전계의 세기가 증가되었기 때문으로 생각된다.

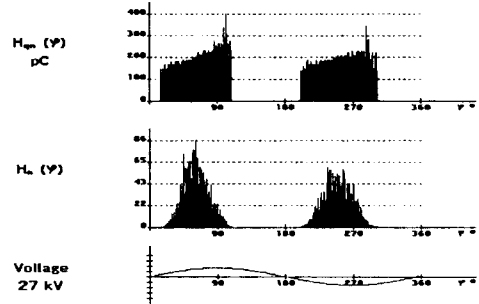


그림 5. 침 결함을 갖는 전력케이블의 전형적인 부분방전 패턴

Fig. 5. Typical PD pattern of cable sample having needle-type defect

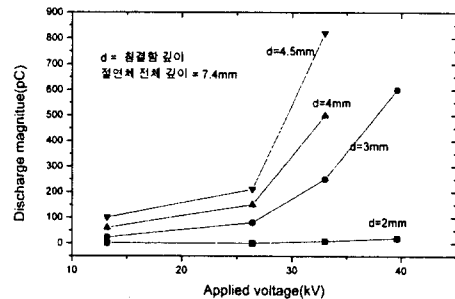


그림 6. 침 결함 깊이에 따른 부분방전량 변화

Fig. 6. Dependence of PD magnitude with the depth of needle-type defect

한편, 침 결함에 전압이 인가되면 전기트리가 진전되면서 절연과피에 이르므로 이에 대한 부분방전 변화 양상을 파악하기 위해, 3.5 mm로 일정한 깊이의 침 결함을 만들고 2U<sub>0</sub>(26.4kV)의 전압을 인가하면서 10 분 마다 부분방전량의 크기, 위상, 부분방전 펄스 수(발생 횟수) 등 부분방전 양상의 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 부분방전량 : 전압 인가후 10 분 간격마다 1 분 동안 부분방전을 측정하여 최대 방전량과 평균 방전량을 구하였다. 그림 7과 같이 전압인가 초기에 부분방전량은 최대량이나 평균량 모두 급격한 증가를 하지만, 시간이 지나면서 증가 정도가 둔화되며 평균 방전량은 거의 포화에 다다르고 있다.
- 위상 : 전술한 그림 5에서 부분방전이 나타나는 위상을 알 수 있다. 위상은 시간이 지남에 따라 변화하는데 초기에는 - 20° ~ 110° 및 160° ~ 300° 의 위상에서 나타나지만 20 분의 시간이 지나면서 교류전압의 1/4 주기와 3/4 주기에 집중되었다.
- 부분방전 펄스 수 : 그림 8에 전압 인가후 10 분 간격

으로 1 초 동안 측정된 부분방전 펄스 수( $H_n(\delta)$ )를 나타내었다. 전압인가 초기의 펄스 수는 상당히 많게 나타났으나 시간이 경과하면서 펄스 수는 급격히 줄어드는 것을 알 수 있으며 30 분이 지나면서 최저에 달했고 이후에는 약간 증가하는 경향을 나타냈다.

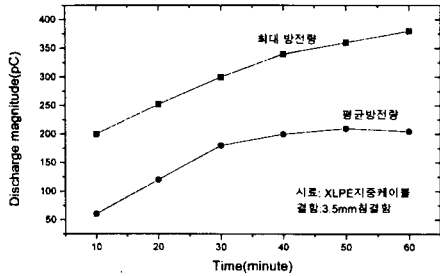


그림 7. 침 결함 케이블의 시간에 따른 부분방전량 변화

Fig. 7. Dependence of PD magnitude with the duration of AC voltage in needle-type defect

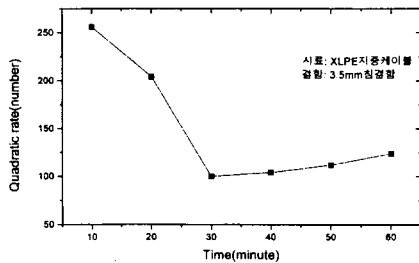


그림 8. 전압인가 시간에 따른 부분방전 펄스 수 변화

Fig. 8. Dependence of PD pulse number with the AC voltage duration in needle-type defect

이상과 같은 침 결함을 갖는 전력케이블에서의 시간에 따른 부분방전 측정 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다. 본 연구에서 침을 XLPE 절연층 내로 삽입하는 경우 삽입시의 기계적 스트레스로 인해 침의 끝 부분에는 약 30 ~ 50  $\mu\text{m}$  정도의 보이드가 형성된다. 여기에 전압이 인가되면 이 보이드 내에서 부분방전이 일어나면서 전기트리로 진전될 것이다. 일반적으로 전압 인가후 전기트리 가 개시될 때까지는 어느 정도의 시간이 걸리고 XLPE 전력 케이블에서의 교류전압 인가시 전기트리 양상은 덩불형으로 알려져 있으므로[9], 전기트리의 개시 및 진전에 따른 부분방전 양상은 구조적 측면, 즉, 부분방전이 일어나는 보이드 및 전기트리 채널의 크기와 관계된 것으로 가정할 수 있다. 전압인가 초기에 보이드로부터 전기트리가 개시되어 그 크기나 범위가 작을 때에는 보이드 내에서 부분방전이 발생되기 위한 전압은 낮을 것이고, 인가 교류전압에 따라 부분방전이 잦게 일어나게 되어 부분방전량이 작고 발생 위상의 폭도 넓으며

부분방전 펄스 수도 많게 될 것이다. 이제 전기트리가 어느 정도 진전되어 크기와 범위가 커지면 부분방전 개시전압은 높아지고, 이에 따라 부분방전량이 커지고 발생 위상의 폭도 좁아지게 되며 부분방전 펄스 수는 줄어들게 될 것이다. 그림 7과 8에 나타난 바와 같이 대략 30 분이 경과하면서 부분방전량의 평균값이 포화되기 시작하였고 펄스 수는 최소에 다다른 결과는 상기한 가정을 입증하는 것으로 보이며, 최대 부분방전량이 인가시간이 지남에 따라 커지는 것 역시 부분방전이 발생하는 전기트리 채널이 커지기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2. 진동파-부분방전 측정

침 결함을 갖는 XLPE 케이블 시료에 대한 교류전압-부분방전 측정 결과에 따르면, 배전 케이블의 일반적인 부분방전 시험 전압인  $2U_0$ 를 인가하였을 때 3 mm 깊이의 인위적인 침 결함에서 100 pC 정도, 4 mm 침 결함에서는 150 pC 정도의 부분방전량을 나타내었다. 따라서, 진동파-부분방전 측정시험의 비교 평가를 위해 유사한 침 결함 조건을 갖는 케이블 시료에 대해 실험을 수행하였다.

침 결함에 대한 실험에 앞서서 침 결함이 없는 건전한 케이블에 대해 진동파-부분방전을 측정된 결과, 45 kV 정도까지의 시험(충전)전압에서도 전혀 부분방전 펄스가 관측되지 않았으며, 이러한 결과는 교류전압-부분방전 측정 실험의 경우와 동일한 결과이다.

다음으로 3.5 mm 침 결함을 갖는 케이블 시료에 대해 진동파-부분방전 측정 실험을 수행하였다. 그 결과, 37 kV의 시험(충전)전압으로 수십 차례 인가하여도 부분방전을 관측할 수 없었으며, 100 여 회 이상을 인가하였을 때 그림 9와 같은 부분방전 펄스가 측정되었다. 이러한 부분방전 펄스는 그림 5에 나타난 교류전압-부분방전 측정 결과와 비교할 때, 부분방전 발생 위상은 유사하지만 상당히 펄스 수가 작으며 각 펄스당 30 ~ 40 mV 정도로 크게 나타나 그림 3의 보정을 한 결과 200 ~ 260 pC 정도의 부분방전량이 발생되었다. 아울러, 이 경우에는 부분방전 측정의 재현성이 좋지 않아 진동파 전압 인가시마다 부분방전이 측정되지 않았다.

한편, 케이블에 진단시험을 수행할 경우에는 교류전압이 인가되므로 진단시험으로 진동파-부분방전 측정시험을 수행할 때에는 결국 교류전압이 인가된 후 진동파 전압이 가해지게 된다. 이것을 모의하기 위해, 3.5 mm의 침 결함을 갖는 케이블에  $2U_0$ 의 교류전압을 20 분 동안 인가한 후 37 kV의 시험(충전)전압으로 진동파-부분방전 측정시험을 수행하였다. 그 결과, 그림 10에 나타난 바와 같이 그림 9와는 조금 양상이 다른 부분방전 펄스가 측정되었고, 이 경우에는 아주 재현성이 좋아 진동파 전압 인가시마다 유사한 부분방전이 측정되었다. 대체로 인가전압 파형 위상의 1/4 주기와 3/4 주기에서 20 ~ 30 mV 정도의 부분방전 펄스가 많이 측정되었으며, 그림 3에 따른 보정을 하면 대체로 140 ~ 200 pC 정도임을 알 수 있다. 이러한 양상은 그림 5의 교류전압-부분방전 측정 시험시 나타났던 것과 동일한 결과이며, 부분방전량도 그림 7에 나타난 결과와 유사하다.

이상과 같은 진동파-부분방전 측정 결과는 다음과 같이 가정으로 해석할 수 있다. 진동파 전압만을 인가할 경우에

는 잔가지가 적은 나뭇가지형의 전기트리가 발생되지만, 교류전압을 인가한 경우에는 덩불형의 전기트리가 발생된다.[9] 부분방전은 보이드 또는 전기트리의 형상에 따라 발생하는 양상이 다르므로, 그림 9와 10의 진동과-부분방전 양상이 다른 것은 이와 같은 전기트리의 형태에 기인한다고 가정할 수 있다. 즉, 그림 9의 진동과 전압만을 인가한 경우에는 길다랗고 잔가지 적은 나뭇가지형의 전기트리 채널 내에서 부분방전이 일어나므로 부분방전량은 커지겠지만 상대적으로 부분방전 펄스 수는 적어지게 될 것이다. 이에 반해, 교류전압에 의한 덩불형 전기트리가 진전되어 있는 경우에는 전기트리 채널의 수가 많고 경로가 다양하므로 나뭇가지형에 비해 그림 10과 같이 부분방전량이 다소 작아지고 펄스 수는 많아지리라 생각된다. 이상과 같은 해석을 입증할 수는 없으나, 본 연구에서의 이러한 결과는 최소한 전기트리의 형상과 부분방전의 양상과는 관련성이 있으며 진동과-부분방전 측정방법을 전력케이블의 준공시험 또는 진단 시험 방법으로 적용할 때의 기초자료가 될 수 있으리라 사료된다.

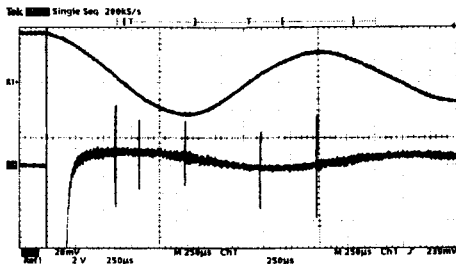


그림 9. 진동과 전압만을 인가한 경우의 진동과-부분방전 측정 결과 (인가전압 : 37kV, 130회 인가시) 위 : 인가된 진동과 전압, 아래 : 센서에서 측정된 전류

Fig. 9. Result of OW-PD measurement in case of the OW voltage application only(applied voltage : 37kV, No. of shots : 130) upper : applied OW voltage, lower : measured current through the sensor

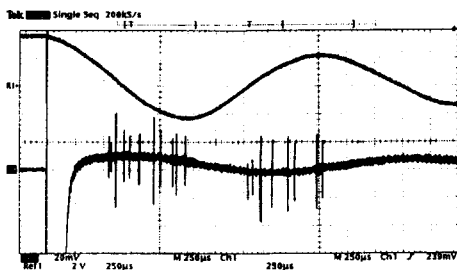


그림 10. 교류전압 인가후의 진동과-부분방전 측정 결과 (인가전압 : 37kV) 위 : 인가된 진동과 전압, 아래 : 센서에서 측정된 전류

Fig. 10. Result of OW-PD measurement after AC voltage application (applied voltage : 37kV) upper : applied OW voltage, lower : measured current through the sensor

즉, 최근에 케이블의 준공시험방법으로 제시되고 있는 진동과 전압시험에서, 이 준공시험으로 검출될 수 있는 결함보다 작은 크기의 결함이 케이블에 존재할 때에는 진동과 전압시험으로 인해 결함의 크기를 크게 만들지만 하고 검출(절연파괴)되지 않을 수 있다. 이를 보완하기 위해 준공시험후 부분방전 시험을 수행하는 경우가 있는데, 이 부분방전 시험을 진동과 전압을 이용하여 수행할 경우에는 하나의 장치로 준공시험과 부분방전 시험을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 진동과-부분방전 시험의 경우에는 전술한 바와 같이 나뭇가지형 전기트리에서 발생하는 부분방전을 측정하는 것이 된다. 한편, 진단시험으로서 진동과-부분방전 측정방법을 적용할 때에는 운전중 교류전압에 의한 덩불형 전기트리가 진전되어 있을 것이므로, 이 경우에는 준공시험시와는 조금 다른 양상의 부분방전이 검출될 것이다. 따라서, 진동과-부분방전 측정방법을 준공시험과 진단시험에 적용할 경우에는 서로 다른 기준에 의해 케이블에 대한 판단을 내려야 할 것으로 사료되며, 이를 위해서는 전기트리 형태에 따른 부분방전 특성에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

한편, 그림 10의 경우와 같이 교류전압으로 덩불형 전기트리를 진전시킨 후 진동과-부분방전 측정을 수행하였을 때에는 상당히 재현성이 좋았으나, 그림 9와 같이 진동과 전압만으로 실험한 경우에는 재현성이 좋지 않았다. 따라서, 진동과 전압시험으로 준공시험을 수행한 후 진동과-부분방전 측정시험을 수행할 때에는 최소한 5 ~ 10 회 정도의 진동과 전압 인가를 통해 부분방전 검출 여부를 파악하여야 할 필요가 있다.

또한, 그림 9와 10의 측정된 전류에서 알 수 있는 바와 같이 진동과 전압발생시에는 구 껍에서의 아크 발생으로 인해 부분방전 펄스보다 상당히 큰 전류가 나타나는 문제가 있으며, 본 연구에서 제작한 부분방전 검출센서의 측정 감도가 낮은 문제로 인해 정확한 부분방전량의 측정이 어려웠다. 따라서, 진동과-부분방전 측정방법의 현장 적용을 위해서는 아크 노이즈 문제 해결 및 부분방전 측정기술에 대한 보완이 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 침 결함을 갖는 전력케이블에 대해 교류전압과 진동과 전압을 이용하여 부분방전을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 침 결함을 갖는 전력케이블 시료에 대한 전압 인가시간에 따른 교류전압-부분방전 측정에서, 부분방전량, 발생 위상 및 부분방전 펄스 수 등의 변화를 전기트리의 개시 및 진전 과정과 관련이 있는 것으로 해석되었다.
- 진동과-부분방전 측정실험에서 부분방전량과 발생위상은 교류전압-부분방전 측정 결과와 거의 일치하는 것으로 나타났으며, 전기트리의 형태에 따라 부분방전 양상이 달라지는 것을 알 수 있었다.
- 진동과-부분방전 측정의 현장 적용시에는 최소한 5 ~ 10 회 정도의 진동과 전압인가를 통해 부분방전을 검출

하여야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 기초적인 연구 결과로부터 진동파-부분방전 측정 방법이 교류전압-부분방전 측정 시험을 대체할 수 있다고 사료되어, 향후 부분방전 측정감도의 향상, 구 갭의 아크 노이즈 대책, 진동파 전압에 의한 전기트리 양상 파악, 전기트리 형태에 따른 부분방전 양상 분석, 측정 데이터의 통계적 처리 등의 보완 연구를 통해 현장에 포설된 지중 전력케이블의 부분방전 측정시험 방법으로 적용 가능하다고 판단된다.

**감사의 글**

본 연구는 한국전력공사 및 기초전력공학공동연구소의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.  
(과제관리번호 : 97-020)

**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] 구자윤 외, "지중배전선로의 준공시험기술 및 접속재 진단기술 개발", 한전 전력연구원 연구보고서, 95YJ17, 1998.1
- [3] I. Krage, W. Kalkner, "PD-Detection and Localization using Unipolar Impulse Voltage for On-Site Testing of Polymer Insulated Cables", 8th ISH, Yokohama, 1993
- [4] Lemke E., Roding R. Weissenberg W., "On-Site Testing of Extruded Power Cables by PD Measurement at SI Voltage", CIGRE, Vienna, Paper 1020-02, 1987
- [5] Lemke E., Friese G., "PD Phenomena in Polyethylene under AC and Impulse Stresses with respect to On-Site Diagnosis Tests of Extruded Cables", 7th ISH, Dresden, Paper 75.07, 1991
- [6] 김정태 외, "충격파-부분방전(SI-PD) 시험방법을 이용한 케이블 진단에 관한 기초 연구", 대한전기학회 96하계학술대회, pp.1774-1777, 1996
- [7] 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

- [8] 김정태 외 3인, "진동파를 이용한 22.9kV 지중전력케이블의 부분방전 측정기술 개발," 대한전기학회 98 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표회 논문집, pp.17-20, 1998
- [9] 구자윤 외, "진동파 전압을 이용한 22.9kV CN/CV 전력케이블의 준공검사에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 47권, 4호, pp.503-510, 1998

**저 자 소 개**



**김 정 태(金正泰)**  
1960년 1월 1일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1992년~1995년 대한주택공사 주택연구소 선임연구원. 1995년~현재 대전대 전기공학과 교수

Tel : (0357) 539-1914, Fax : (0357) 535-3579  
E-mail : jtkim@road.daejin.ac.kr



**김 남 준(金南俊)**  
1964년 12월 19일 생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1992년~현재 대전대학교 전기공학과 조교수



**이 전 선(李 全 善)**  
1968년 7월 13일 생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1994년~1996년 삼영중앙기술연구소 연구원. 1998년 한양대 전기공학과 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정



**구 자 윤(具 滋 允)**  
1951년 2월 7일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 프랑스 ENSEEIHT 졸업(석사). 1980년~1984년 프랑스 ENSIEG 졸업(공학). 현재 한양대 공대 전기공학과 교수. 한양대 전자재료 및 부품연구센터

(EM&C)소장