

## 전력케이블에서 개폐충격파를 이용한 부분방전 측정

이전선<sup>(○)</sup>, 장은\*, 구자윤\*, 김정태\*\*, 조연옥\*\*\*, 김상준\*\*\*\*, 송일근\*\*\*\*, 김주용\*\*\*\*  
(\*한양대학교, \*\*대전대학교, \*\*\*철도연구원, \*\*\*\*한전 전력연구원)

### Partial Discharge Measurement in Power Cables using Switching Impulse Voltages

J.S.Lee<sup>(○)</sup>, E.Jang\*, J.Y.Koo\*, J.T.Kim\*\*, Y.O.Cho\*\*\*, S.J.Kim\*\*\*\*, L.K.Song\*\*\*\*, J.Y.Kim\*\*\*\*  
(\*Hanyang Univ., \*\*Daejin Univ., \*\*\*KRRI, \*\*\*\*KEPRI)

#### ABSTRACT

On-site partial discharge test by use of AC voltage has been considered not to be appropriate for the extruded power cable due to their large capacitance depending on their lengths.

Therefore, it is proposed, in this work, to use switching impulse voltage of which the front time is set from 1ms to 10ms. This newly proposed method enables us to simulate the 1/4 period of power frequency at 60 Hz and to obtain similar effect of AC voltage test.

Our tentative results show that SI voltage is proved to be an alternative method, replacing AC voltage, by which partial discharge was well produced from the artificial defects integrated in 22.9kV distribution power cables.

#### 1. 서론

교분자절연 지중케이블 시스템의 준공검사와 진단 방법으로 기존에 적용 되어오던 직류전압을 대체하는 시험으로 진동과 전압시험과 초저주파 전압 시험이 활발히 연구 진행중이다.[2,3] 이러한 대체 시험 방법은 케이블 시스템에 결함이 존재하는 경우 결함에서 절연파괴됨으로써 결함을 검출하는 방법이다.

한편 비파괴적인 케이블 진단 방법으로서 부분 방전을 측정하는 방법이 있는데, 상용주파 교류전압을 이용하는 방법은 케이블의 커패시턴스가 거리에 따라 증가하기 때문에 전원장치가 상당히 커지므로 현장에 적용하기에는 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 개폐충격파의 파두장을 교류전압의 1/4파장과 비슷하게 함으로써, 교류전압에서 측정되는 부분방전 특성과 같은 효과의 부분방전을 측정할 수 있는 새로운 방법이 제시되고 있다.[4] 그러나, 이러한 시도는 PE 샘플에서만 수행되었고 아직 실제 케이블에 대한 연구 보고는 없다.

본 연구에서는 개폐 충격파를 발생시킬 수 있는

시험장치와 부분방전 펄스를 감지할수 있는 센서를 제작하여, 실제 케이블에 인위적인 침결함을 설치하고, 결합에서 발생하는 부분방전 펄스를 교류 전압과 개폐충격파 전압을 이용하여 측정 비교하였다. 그리고, 국내 배전계통에 채택되고 있는 다중접지 방식에서도 이러한 방법이 가능한지를 파악하고자 다중 접지방식을 모의하여 부분방전 검출 여부를 조사하였다

#### 2. 교류전압 부분방전 측정시험

교류전압을 이용한 부분방전 시험은 로빈슨사의 부분방전 시험기를 이용하여 측정하였다. 측정시 회로 연결상의 접촉불량으로 인한 부분방전의 발생을 막고자 용접을 통하여 코로나가 발생되지 않도록 하였고, 결합이 없는 온전한 케이블에 전압을 점차적으로 올려가면서 부분방전의 양상 및 회로 연결상에 문제점이 있는가를 파악한 다음, 인위적인 침결함을 만들어 부분방전 양상의 차이점을 비교하였다.

결합이 없는 케이블의 경우  $2U_0(26.4kV)$  전압에서는 부분방전의 흔적을 전혀 찾을 수 없었고, 65kV의 전압이 되서야 비로소 부극성쪽에 펄스의 크기가 비교적 동일한 펄스가 나타났고 전압을 더 상승시키면 양 옆으로 퍼지는 유형의 부분방전 패턴을 볼 수 있었다. 이러한 패턴은 접지쪽에 날카로운 부위가 있을 때 생기는 것으로, 상당히 높은

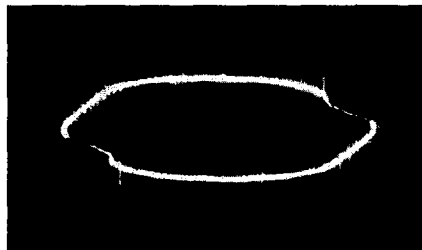


그림 1 교류에서의 부분방전 파형  
Fig. 1 PD pulse of AC voltage

전압에서 발생되기 때문에 본 실험에서는 문제되지 않는 것으로 판단된다.[6]

한편, 케이블 시료에 인위적인 침결함을 만든 경우의 부분방전 양상은 그림 1 이다. 이 때, 인위적인 침은 케이블의 외부 반도전층으로부터 곡률반경 10  $\mu\text{m}$ 인 침으로 3 mm 삽입한 것이다. 교류 2U<sub>0</sub>의 전압을 가하면서 부분방전의 양상을 관측하였는데 인가한 뒤 10 분이 지나면서 100 pC 정도의 부분방전 펄스가 1/4주기와 3/4주기에서 나타나, 전형적인 절연체 내에서 일어나는 부분방전 패턴임을 알 수 있어 침결함에 의한 부분방전임을 알 수 있었다.

### 3. 개폐충격파 전압을 이용한 부분방전 측정

#### 3.1. 시험회로

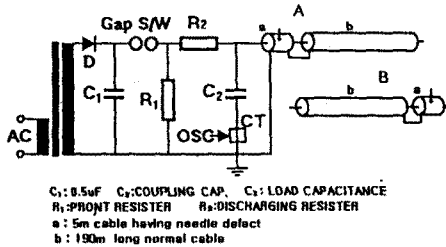


그림 2 실험 회로도

Fig. 2 Experimental circuit diagram

일반적으로 교류전압 인가시 부분방전 특성은 25 Hz ~ 300 Hz 의 주파수 범위에서 유사하게 나타나므로, 개폐충격파 전압으로 교류전압을 모의할 때 파두장의 길이는 교류 전압 300 Hz의 경우 1/4 파장의 시간이 1.6 msec 정도이므로 최소한 개폐충격파의 파두장이 이보다는 길어야 상용주파수의 교류전압에서 측정하는 것과 같은 부분방전 파형을 얻을 수 있다.

그림 2 는 시험회로의 개략도를 나타내고 있으며, 그림 3 에서 CH1은 개폐충격파 전압 파형을 CH2는 본 연구에서 부분방전 측정용으로 특별히 제작한 고주파 CT를 이용하여 측정된 전류를 나타낸다. 전압인가 초기에 나타나는 상당히 큰 전류는 개폐충격파 전압 발생시 아크 발생에 의한 노이즈이다.

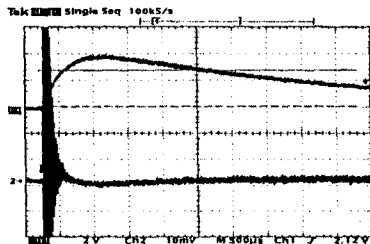


그림 3 개폐임펄스 전압 및 전류파형  
Fig.3 Voltage and current waveform of SI impulse test

#### 3.2. 센서 설계 및 캘리브레이션

자체 제작한 고주파 CT를 센서로 사용하였는데 페라이트 코어에 동선을 감아 변위전류 성분인 저주파 성분은 제거하고 고주파 성분만 검출할 수 있도록 설계하였다.

로빈슨사의 부분방전 캘리브레이터를 이용하여 자체 제작한 CT의 특성을 조사한 결과, 주변의 노이즈를 완전히 제거했을 때는 5 pC까지 측정가능하였다.

그림 4 에서 CH1은 캘리브레이터에서 발생하는 전압 펄스로서 100 pC에 해당하는 크기이며, CH2는 시험장치와 케이블에 장착한 고주파 CT로부터 얻은 파형이다. 캘리브레이터의 전압 펄스중에 정극성과 부극성 펄스에 대한 파형을 보다 자세히 나타낸 것이 각각 그림 5 와 그림 6 이다.

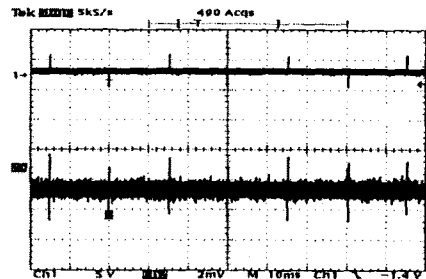


그림 4 Calibration 전압 파형 (100pC)  
Fig. 4 calibration voltage signal(100pC)

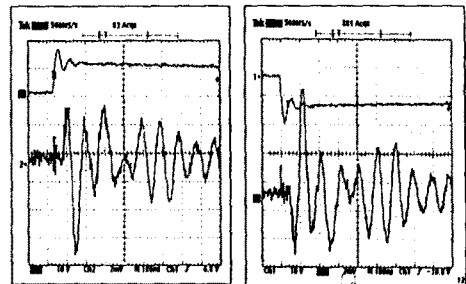


그림 5 정극성 펄스  
Fig.5 positive pulse  
그림 6 부극성 펄스  
Fig.6 negative pulse

한편, 190 m 길이의 정상적인 케이블에 충격파 전압을 인가하여 부분방전을 측정하였으며, 케이블의 길이에 따른 부분방전 특성을 파악을 위해 앞단 또는 뒷단에 결함 케이블 시료를 연결해 가면서 캘리브레이션을 수행하였다.

캘리브레이터를 결함을 만들 위치에 설치하고 100 pC 부터 2000 pC까지 점차적으로 캘리브레이터의 전하발생량을 올리면서 보정한 결과, 케이블 앞단에 설치한 경우에는 100 pC부터 8 mV의 보정 펄스를 측정할 수 있었고 케이블의 뒷단에 설치했을 경우에는 700 pC이 되어서야 10 mV정도의 전압의

펄스를 나타내, 펄스가 190 m 길이의 케이블 속에서 전파되는 과정에서 감쇄가 일어나 측정값도가 작아짐을 알 수 있었다. 그림 7의 A 곡선은 결합이 케이블의 앞단에 있는 경우이고 B 곡선은 결합이 케이블의 뒷단에 있는 경우이다. A 보다 B가 작은 것은 펄스가 감쇄되었음을 나타내고 있다.

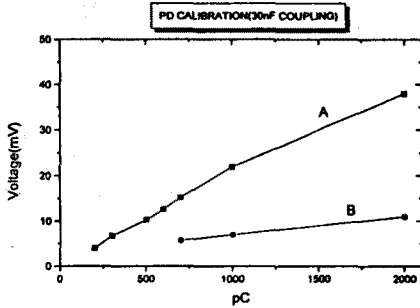


그림7 Calibration curve

### 3.3. 시험결과

결합이 케이블의 앞단에 있는 경우, 정도의 차이가 있지만 15 mV 정도로 500 pC의 부분방전 펄스를 측정할 수 있었고, 펄스 수는 32 kV 정도되는 전압에서 1~3개의 펄스가 나타났다. 결합이 케이블의 뒷단에 있는 경우, 부분방전 펄스를 측정할 수 없었는데, 이것은 발생한 부분방전 펄스가 케이블을 전파하는 동안 감쇄가 일어났기 때문으로 생각된다.

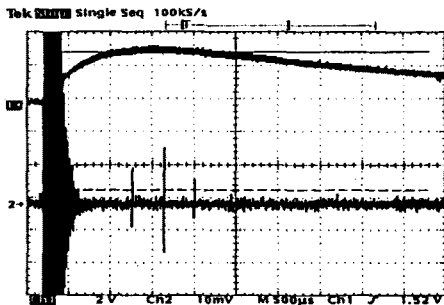


그림 8 부분방전 펄스 검출  
Fig. 8 Typical example of PD pulse

한편, 현재 우리나라의 지중케이블 전력계통은 다중접지방식이므로 부분방전이 발생하여도 그 신호가 디텍터에 검출되기는 어려울 것이라고 생각되어 실제로 여러개의 케이블을 연결하고 연결 위치마다 접지를 설치하여 다중접지 방식으로 모의하여 실험하였다. 실험 결과, 예상대로 부분방전 신호를 검출할 수가 없었다.

### 4. 결론

실제 22.9 kV CN/CV 케이블에서의 부분방전 측정 가능성을 조사한 결과, 개폐 충격파를 이용하여 부분방전 펄스를 재현성 있게 검출할 수 있었다. 그러나, 결합의 위치가 측정장소로부터 멀리 떨어진 경우에는 부분방전 펄스의 감쇄로 인해 측정이 어려웠다.

따라서, 향후 더욱 민감한 센서의 개발과 아울러 필터와 튜너, 그리고 증폭기에 대한 연구가 필요하다고 생각되며, 결합의 종류에 따른 부분방전 패턴에 대한 연구도 보완되어야 한다고 생각한다.

또한, 다중 접지방식에서 부분방전을 검출한다는 것은 매우 어려울 것으로 판단되어, 측정 방법의 보완이나 새로운 측정장치의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

### Acknowledgement

본 연구는 한전전력연구원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 : 95YJ17)

### 참고문헌

- [1] 구자윤 외, "충격파-부분방전(SI-PD) 시험방법을 이용한 케이블 진단에 관한 기초 연구" 대한 전기학회 하계학술대회, 1996, pp. 1774-1777
- [2] 구자윤 외, "지중배전선로의 준공시험기술 및 접속재 진단기술 개발", 한전 전력 연구원 연구 보고서, 1997,KEPRI TM.95YJ17.97.200
- [3] 구자윤 외, "A study on the oscillating wave voltage test as an after-laying test for distribution power cables, CEIDP, Minnesota, 10.20, 1997
- [4] Lemke, "After laying test and diagnosis of high voltage cables by partial discharge measurement at switching impulse voltage", CIGRE SC-21, 1989, Doc.89
- [5] W. Kalkner, I Krage, "PD-detection and location using unipolar impulse voltage for on site testing of ploymer insulated cable" 8th ISH, Paper67.08, 1993
- [6] Haefely, "Partial Discharge Analysing System TEAS 570", Technical Report HAEFELY
- [7] Lemke E., Roding R., Weissenberg W., "On-site Testing of Extruded Power Cables by PD Measurement at SI voitage", CIGRE,Vienna, Paper 1020-02,1987