

# 초음파 신호 분석에 의한 케이블 접속재 열화진단 연구

진 상범\*, 박 치영\*, 락 희로\*, 권 동진\*\*, 송 일근\*\*

\* 숭실대학교, \*\* 전력연구원

## Diagnosis of Cable Splices by Analysis of Ultrasonic Signals

Sang-Bum Chin\*, Chi-Young Park\*, Hee-Ro Kwak\*, Dong-Jin Kweon\*\*, Il-Keun Song\*\*

\* Dept. of Electrical Engineering, Soong Sil Univ. \*\* KEPRI.

**ABSTRACT** — This paper describes a diagnosis of cable splices by analysis of ultrasonic signals which is generated by partial discharge. Peak-peak amplitude of ultrasonic signals was used to diagnose cable splices. It is proposed that aging discrimination is possible by analysis of ultrasonic signals in cable splices.

### 1. 서론

본 연구에서는 부분방전에 의해 발생하는 초음파를 측정하는 기법을 이용하여 케이블 접속재의 예방진단기법에 관하여 연구하고자 한다. 케이블사고 발생의 전구현상으로써 나타나는 부분방전의 검출은 케이블 접속재 사고를 미연에 방지하거나 감소시킬 수 있다. 따라서, 케이블 접속재 내부에서 초음파 발생장치를 사용하여 초음파를 발생시키고 접속재의 외부 각 부위에서 검출한 초음파 신호를 분석하여 케이블 접속재에 대한 간편하고 효율적인 절연열화 검출방안을 제시함으로써 합리적인 유지보수 방안을 마련하고자 한다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

초음파 신호를 이용하여 접속재의 절연열화를 판정하기 위하여 케이블 접속재, 초음파 발생장치(압전 진동자), 초음파 탐촉자, 초음파 측정장치 및 절연열화 분석장치를 구성하였다.

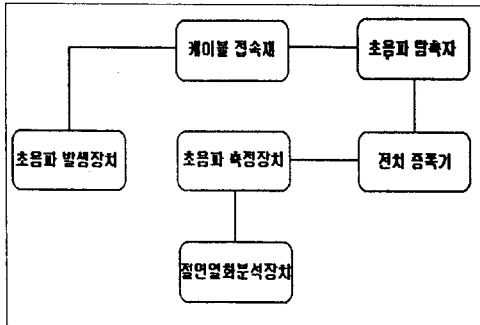


그림1. 케이블 접속재 절연열화 측정장치의 개략도

그림1은 케이블 접속재 절연열화 측정장치의 개략도를 나타낸 것이다. 초음파 신호를 검출하기 위하여 전치 증폭기(이득 : 40[dB]), 필터(주파수 대역 : 100[kHz]~300[kHz]), 주 증폭기(이득 : 8[dB]~26[dB])로 초음파 측정장치를 구성하였다<sup>1)</sup>. 압전진동자(PZT-5A)의 압전 역효과를 이용하여 제작된 초음파 발생장치로 초음파 신호를 발생시켰으며 케이블 접속재는 23KV급 PCJ type 케이블 직선접속재를 사용하였고, 활선 상태와 유사한 형태를 모의하기 위하여 접속재에 케이블을 연결한 상태로 실험을 하였다.

절연열화 분석장치는 임의의 초음파 신호가 측정되었을 경우 열화판정의 기준이 되는 3개의 초음파 기준파형의 측정치와 비교·분석하여 접속재의 열화정도를 판정할 수 있도록 하였다

### 3. 실험결과 및 고찰

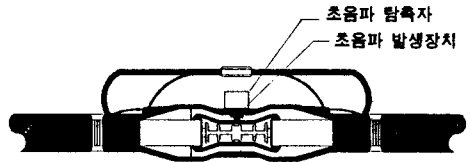


그림2. 초음파 탐촉자 및 초음파 발생장치의 설치위치

그림2는 케이블 접속재의 구조와 초음파 발생장치 및 초음파 탐촉자의 위치를 나타낸 것이다. 케이블 접속재의 내부에서 부분방전이 발생한 경우를 모의하기 위하여 초음파 발생장치를 부분방전이 발생할 가능성이 큰 접속재 내부에 설치하고 케이블 접속재 외부에서 초음파 탐촉자를 이용하여 초음파 신호를 검출하였다

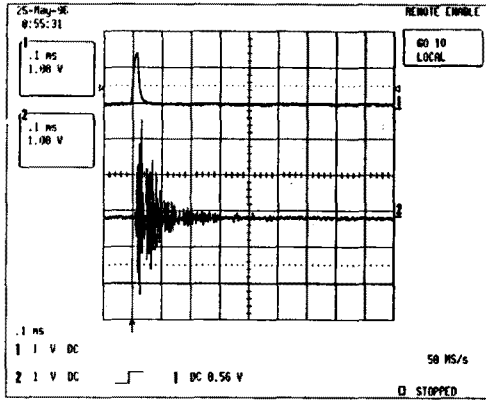


그림3. 초음파 발생장치에 의한 초음파신호

그림3은 접속재 내부에서 초음파 발생장치를 이용하여 초음파 신호를 발생하였을 경우 초음파 발생장치 바로 윗부분의 접속재 외부에서 초음파 탐촉자로 검출한 초음파 파형이다. (1)의 파형은 초음파 발생장치에 인가한 입력 전기펄스 신호로서 인가한 펄스의 폭은 45[ $\mu$ s], 펄스 크기는 1.53[V]이다. (2)의 파형은 초음파 탐촉자로 검출한 초음파 파형이다.

케이블 접속재 내부에서 어떠한 원인에 의하여 부분방전이 발생되면 부분방전에 의한 전기적인 방전펄스와 초음파 신호가 발생된다. 따라서, 케이블 접속재에서 발생하는 부분방전을 검출할 수 있는 방법으로 전기적인 펄스를 coupling capacitance를 이용하여 부분방전 측정회로로 측정할 수 있는 방법이 있다. 그러나, coupling capacitance를 이용한 부분방전 측정회로는 활성상태에서 회로를 접속시키기 곤란하며, 비활선상태에서도 고전압을 인가하기 위한 별도의 전원공급장치를 필요로 하는 등 현장적용에 적용하기 곤란한 점이 있다<sup>[2]</sup>. 또한, 부분방전에 의한 초음파 신호를 측정함으로써 부분방전을 검출할 수 있는 방법으로 부분방전에 의한 초음파 신호를 케이블 접속재 외부에서 측정할 수 있는 방법이 있다.

일반적으로 전력용 설비의 예방진단에는 on-line상태로 상시진단할 수 있는 방법과 정기 점검시의 예방진단 기법이 있을 수 있다. 변압기와 GIS등과 같은 설비의 경우 정기점검에 더하여 운전상태에서도 설비를 상시감시하기 위한 on-line system이 중요한 역할을 담당하며 최근 활발히 연구되고 있다.<sup>[3]</sup> 그러나 케이블 접속재의 경우에는 전국적으로 분포되어 있는 모든 케이블 접속재에 상시진단 장치를 설치하기에는 진단 대상 설비와 진단장치의 가격 때문에 적용하기 곤란한 점이 있다. 따라서 이러한 설비에는 활성상태에서 정기점검에 의해 설비를 진단할 수 있는 portable 진단장치가 유효할 것이다.

이와같이 활성에서 신호를 측정할 경우에는 설비의 열

화와 밀접한 관계가 있는 parameter를 선정하여 정상시와 비정상시를 비교할 수 있어야 한다. 또한 현장에서의 측정은 정밀분석에 의해 정확한 값보다는 현장 운용자들이 사용하기 간편하도록 중요 parameter에 의한 정상과 비정상의 판단을 하게 하고 비정상일 경우 정밀진단으로 유도하는 역할을 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 부분방전에 의해 발생하는 그림3의 (2)와 같은 초음파 신호를 측정하고 이 신호에서 케이블의 열화를 판단할 수 있는 parameter를 추출하고자 하였다.

그림3에서 측정된 초음파 신호는 초음파 발생장치에 인가한 펄스보다 약 19[ $\mu$ s]의 시간지연을 보이고 있다. 이는 부분방전의 위치에서 초음파 신호가 케이블 접속재 내를 통과하여 초음파 탐촉자에 도달하기까지의 전달시간으로써 이 시간차를 이용함으로써 부분방전의 발생 위치를 추정할 수 있다.<sup>[4]</sup>

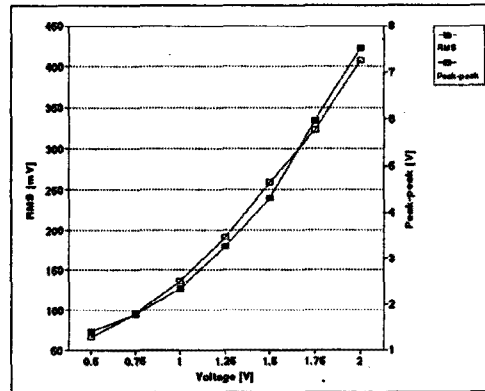


그림4. 입력전압의 변화에 따른 초음파 신호의 변화

그림4는 초음파 발생장치에 인가하는 전압을 증가할 경우 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호의 RMS값과 peak-peak치의 변화를 나타내었다. 케이블 접속재가 열화되어 부분방전이 진전되는 것을 모의하기 위하여 초음파 발생장치에 인가한 펄스 전압을 0.5V에서 2.0V까지 0.25V씩 증가시키면서 측정된 초음파 신호의 변화 경향을 살펴보기 위하여 초음파 신호의 RMS와 peak-peak치를 측정하였다.

그 결과 그림4에서와 같이 인가전압의 증가에 따라 RMS와 peak-peak치는 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 케이블 접속재의 외부에서 초음파 탐촉자에 의해 측정된 초음파 신호의 RMS와 peak-peak치의 변화를 관찰함으로써 부분방전에 의한 케이블 접속재의 열화의 진전을 판단할 수 있을 것으로 사려된다.

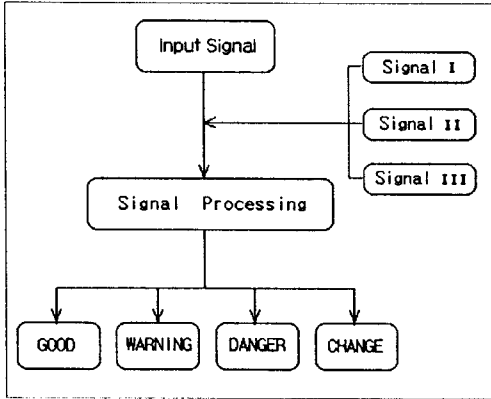


그림5. 절연열화 분석장치의 개략도

그림5는 케이블 접속재의 절연열화 분석장치의 개략도를 나타내고 있다. 그림5에서 signal I, II, III는 열화 판정의 기준이 되는 초음파 신호이다. 판정의 기준이 되는 초음파 신호는 건전 케이블 접속재에서 열화가 진행되어 절연파괴가 일어나기까지의 초음파 신호를 측정하고 이 신호들을 적절히 선정하면 [양호], [경고], [위험], [교체]의 판단 기준치로 사용 가능할 것이다.

본 연구에서는 초음파 발생장치에 인가할 수 있는 최소전압과 최대전압을 이용하여, 케이블 접속재에서 발생할 수 있는 건전에서 파괴까지의 초음파 신호를 모의하였다. 이때 측정되는 신호가 0.5[V]~3.5[V]까지이므로 이 신호를 판정 기준으로 분류하였다. 절연열화 판정결과는 초음파 탐촉자에 입력된 임의의 초음파 신호의 peak-peak치가 1.3[V]이하일 때는 [양호], 1.3~2.4[V]는 [경고], 2.4~3.5[V]는 [위험] 그리고 3.5[V]이상은 [교체]로 판정결과를 제시하도록 하였다. 따라서 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호가 절연열화 분석장치에 입력되면 초음파 신호의 peak-peak치는 판정기준에 따라 분류되고 각각의 열화판정 결과를 나타낸다.

표1. 초음파 신호의 열화판정 결과

인가펄스전압	Peak-peak 치	판정결과
0.6	1.43	WARNING
0.7	1.76	WARNING
0.8	2.01	WARNING
0.9	2.33	WARNING
1.0	2.54	DANGER
1.1	2.87	DANGER
1.2	3.27	DANGER
1.3	4.04	CHANGE

표 1은 정기점검시 케이블 접속재에서 발생하는 부분방전이 증가되었을 경우를 모의하기 위하여 초음파 발생장치에

인가하는 전압을 증가시켰을 때 절연열화 분석장치로 초음파 신호의 열화를 판정한 결과이다. 초음파 발생장치에 인가하는 전압을 표1에서와 같이 0.6V에서부터 1.3V까지 0.1V씩 증가시켰을 경우, 초음파 탐촉자에서 측정된 각각의 초음파 신호는 절연열화 분석장치에 의해 peak-peak치가 계산되어지고 그 결과는 기준이 되는 3개의 파형의 peak-peak치와 비교·분석되어 표1에서와 같이 열화판정이 내려진다. 즉, 케이블 접속재의 내부에서 부분방전이 발생하였을 경우 부분방전의 진전정도에 따라 초음파 신호는 절연열화 분석장치에 의해 [양호], [경고], [위험], [교체]의 네 가지 판정기준으로 분류하여 케이블 접속재의 열화정도를 판정할 수 있다.

#### 4. 결론

케이블 접속재에서 부분방전이 발생하였을 때 수반되는 초음파 신호를 이용한 케이블 접속재의 절연열화 판정에 대한 연구에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

케이블 접속재의 내부에서 발생한 초음파 신호는 접속재의 외부에서 초음파 탐촉자에 의해 측정이 가능함을 알 수 있었다. 또한 초음파 탐촉자에서 측정된 초음파 신호의 변화 경향을 관찰함으로써 케이블 접속재 내부에서 발생한 부분방전의 진전정도에 대한 예측이 가능하였고 측정된 초음파 신호는 절연열화 분석장치에 의하여 [양호], [경고], [위험], [교체]의 네 가지 판정기준으로 분류함으로써 케이블 접속재의 열화정도를 판정할 수 있었다. 따라서, 차후 과제으로써 현장에서 적용이 가능한 열화판정의 기준을 설정하기 위하여 환선상태의 케이블 접속재에서 부분방전을 발생시키고, 이때 측정된 초음파 신호를 이용함으로써 접속재의 열화판정이 가능할 것으로 사려된다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] 권동진 외, "超音波 信號 數의 移動平均에 의한 電力用 變壓器 豫防診斷" 전기학회지, Vol. 45, No. 3, pp.432~437, 1996.
- [2] E. Howells et. al., "Partial Discharge Handbook," Physical Acoustics Corporation, pp.1-1~9-11, 1989.
- [3] 松浦 虎士 外, "電力設備の運轉中の絶縁診断技術," 電気學會, pp.3~166, 1992.
- [4] J.H. Capenter, J.S. Kresge and Musick, "Ultrasonic Corona Detector in Transformer," IEEE Trans. PAS, Vol. 84, No. 4, pp.647~651, 1965.