

운전 중인 변압기의 부분방전 측정기법 적용

(Application of the Partial Discharge Measuring Method in Operating Transformer)

권동진* · 최인혁 · 정길조(전력연구원)
(Dong-jin Kweon · In-Hyuk Chio · Gil-Jo Jung(KEPRI))

Abstract

This paper describes an application of the partial discharge measuring method in operating transformer. In the operating transformer, the useful PD signal may be superimposed by radio interference voltage and impulse shaped noise signals generated by external corona or power electronics. In this paper, initial investigations after connecting the PD measuring system to the terminals of the measuring impedance showed a very high noise level of 3,700pC due to sinusoidal interferences. In order to reject these noises, this paper applied RIV and band-pass filters and noise gating method. The resulting measuring sensitivity was improved from 3,700pC to 160pC.

1. 서 론

최근 대용량 변압기의 운전 신뢰성을 확보하기 위하여 예방진단시스템을 적용하고 있다.[1,2] 예방진단시스템은 변압기의 운전 중에 열화와 관련된 신호를 상시로 측정하여 변압기의 사고방지는 물론, 최적의 유지보수 계획을 수립하기 위한 것으로, 변압기의 열화를 측정하는 센싱 기술로는 절연유 분석기술과 부분방전 측정기술이 대표적이다.

변압기의 중대사고 요인인 내부절연 이상은 대부분 부분방전을 수반하므로 부분방전과 절연수명은 깊은 상관관계가 있다고 인정되어 왔다. 특히 부분방전은 이상 상태 발생시 응답이 빠른 특성을 지니고 있으므로 부분방전을 측정하면 변압기 사고를 미연에 방지할 수 있는 유효한 방식이다.[3]

변압기에서 부분방전을 측정하기 위한 전기적인 측정기법은 현재 공장시험에 적용되고 있다. 그러나 현장에서 운전되고 있는 변압기에는 수천[pC]에 달하는 외부잡음을 제거할 기법을 제시하지 못하여 아직까지 효과적으로 적용되지 못하고 있다.

일본에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 변압기 접지선에 로고우스키 코일을 삽입하여 전기적인 펄스를 측정하고, 변압기 외함에 초음파 센서를 부착하여, 부분방전에 의한 초음파 신호를 측정하는 기법을 혼합하여 사용하고 있다.[4,5] 이때, 두 신호가 동시에 발생할 경우에는 변압기 내부의 부분방전으로 판단하고, 전기적인 신호나 초음파 신호가 개별적으로 측정될 경우에는 변압기 외부에서 발생하는 노이즈로 판단한다. 그러나

변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 초음파 신호가 변압기 구조물에 감쇄되어 측정되지 않거나, 변압기 외부에서의 코로나 노이즈로 인하여 전기적인 펄스와 초음파 신호가 동시에 측정될 경우에는 유효하지 못한 단점이 있다.

최근 신호측정 및 처리기술이 발달하여 기존의 많은 진단기법이 새로운 시각에서 접근되고 있다. 본 연구에서는 부분방전에 의한 전기적 측정기법을 현장에 운전 중인 변압기에 적용하기 위하여, 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 제거하고 변압기 내부 부분방전에 의한 신호만을 감시하는 기법에 관하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

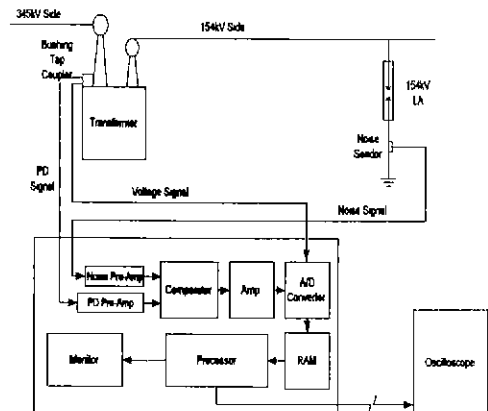


그림 1 실험장치의 구성도

그림 1은 운전중인 변압기에서 부분방전을 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 현장에 설치되어 6개월 정도 운전중인 345kV 변압기, 매칭 임피던스, 부분방전 측정장치 및 오실로스코프로 구분 할 수 있다.

운전중인 변압기에서는 콘덴서 부상의 시험단자, 변압기 중성점의 접지선 또는 변압기 외함 접지선에서 부분방전을 측정할 수 있다. 그러나 본 연구에서의 시험대상 변압기는 345kV급 단상 변압기로, 이 경우에 중성점 접지선은 보조 모선을 통하여 3상이 연결되어 방화 격벽 사이로 접지되어 있으므로 사용이 불가능하다. 또한 변압기 외함의 접지선은 부상 텀보다 감도가 낮은 단점이 있으므로, 본 연구에서는 변압기의 제작과정에서 부상의 시험단자에 매칭 임피던스를 설치하여 부분방전과 인가전압을 측정하였다.

일반적으로 154kV 이상의 변압기에서는 콘덴서형 부상이 사용되고 있다. 콘덴서형 부상은 도체 주위에 절연지를 원통 형태로 감고, 정해진 직경마다 커패시터 박판을 절연지 층 사이에 삽입한다. 따라서 각 층의 절연지에 걸리는 전압은 균등하며, 동일한 용량의 커패시터가 도체를 중심으로 직렬로 연결된 형상이다. 이 콘덴서형 부상의 최외층 금속박판은 접지되어 있으며 최외2층과의 사이에는 고전압 도체에 걸리는 전압에 비례하는 콘덴서 분압비에 따른 전압이 측정 가능하므로, 취부 후렌지 바로 위에 시험단자를 인출하여 역률 또는 부분방전을 측정할 수 있도록 되어 있다.

부상의 시험단자에 설치한 매칭 임피던스에는 변압기 내부 결함에 의해 발생하는 부분방전 신호와 외부 노이즈가 동시에 측정된다. 따라서 본 연구에서는 매칭 임피던스에서 측정된 신호에서 외부 노이즈를 제거하기 위하여 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 별도로 측정하였다. 외부 노이즈는 시험대상 변압기에 연결된 선로 중에서 시험대상 변압기에서의 노이즈 형태와 가장 유사한 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에 인덕턴스 센서(L 센서)를 이용하여 측정하였다.

부분방전 측정장치는 위상에 따른 부분방전의 빈도 및 크기 등을 정밀 측정, 분석할 수 있으며, 특히 운전중인 변압기에서 자동적으로 부분방전의 지속적인 증가 경향을 상시 감시하기 위하여 모니터링 프로그램을 구비하고 있다. 부분방전 측정장치의 하드웨어는 광범위한 측정감도를 위해 신호 감쇄기, 노이즈 저감장치를 포함한 wide band PD processing unit와 부분방전과 시험전압의 A/D 변환장치 등으로 구성되어 있다. 부분방전 측정장치 ADC의 digital resolution은 12bit, 최대 샘플율은 최소 100,000s/s(한 채널)로, 최소 측정범위는 1[pC] 이하며, 부분방전 분석의 중심 주파수 대역은 100~400[kHz]이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부상 시험단자에서의 신호 분석

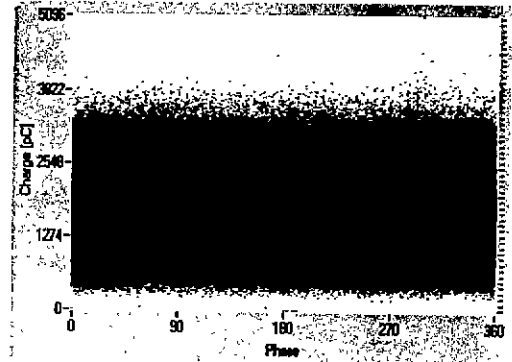


그림 2 부상 시험단자에서의 신호

그림 2는 부상의 시험단자에서 측정된 신호로, 부분방전 측정장치는 200[ms]마다 부분방전 신호를 측정하여 분석하도록 되어 있으며, 그림 2를 비롯한 본 연구에서의 데이터는 이 신호들을 60[sec] 동안 누적시켜 나타낸 것이다. 그림에서 수직 축은 부분방전 전하량[pC]을 표시하며, 수평 축은 AC 시험전압의 위상을 나타낸다. 또한 각각의 점(point)은 위상각에 대한 부분방전 펄스의 걸보기 전하량을 나타낸다. 따라서 그림에서 점의 밀도는 부분방전의 발생빈도를 나타낸다.

그림 2와 같이 부상 시험단자에서 측정되는 신호는 전대역에 걸쳐 약 3,700[pC] 정도의 신호가 지속적으로 발생하고 있다. 이는 부상의 시험단자에는 변압기 내부의 부분방전 뿐만 아니라, Radio Interface Voltage (RIV) 등의 방송파 노이즈와 가공선로나 급류류 등에서 코로나 노이즈가 모두 측정되기 때문이다.

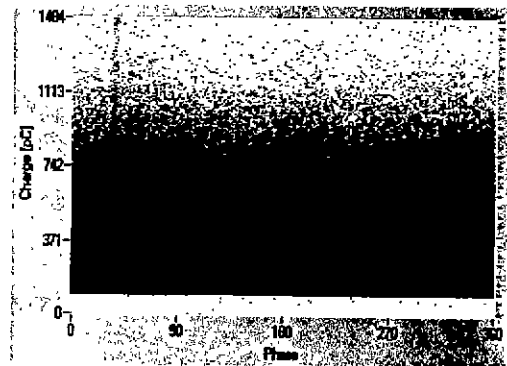


그림 3 RIV 노이즈를 제거한 신호

운전중인 변압기에서 부분방전을 측정하고자 할 경우의 가장 큰 문제점은 그림 2와 같이 측정 시스템 주위에서 발생하는 기본 노이즈(back ground noise) 레벨이 높아 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 신호와 노이즈 신호의 구별이 곤란한 경우이다.

그림 3은 그림 2의 상태에서 RIV 등의 방송과 노이즈를 제거한 신호로, 전대역에 걸쳐 약 1,500[pC]까지 신호가 저감되었음을 보여 주고 있다. 그림에서 100[pC] 이하의 신호가 나타나지 않은 것은 측정 한계레벨을 설정하였기 때문으로, 이 이하의 부분방전은 기본 노이즈로 처리하여 부분방전 측정장치에서 데이터 처리를 하지 않는다. 이는 미소한 노이즈에 의한 측정장치의 데이터 처리 부담을 경감하기 위한 것이다. 그림 3에서와 같이 방송파의 노이즈를 제거하여도 아직까지 상당히 큰 노이즈가 남아 있으며, 신호의 발생 위상각이 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하고 있으므로, 변압기 내부의 부분방전으로 보기 어려운 형태이다.

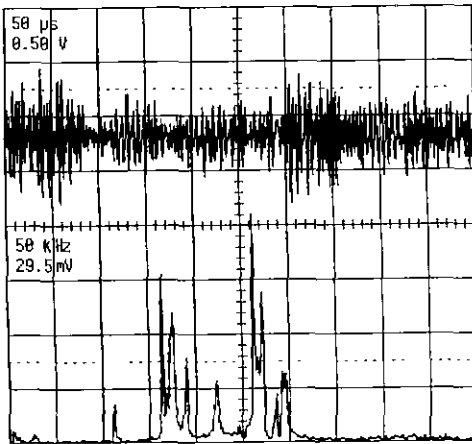


그림 4 부상에서의 신호 FFT

그림 4는 그림 3의 신호를 시간과 주파수로 분석(FFT)한 것으로, 상단의 신호는 시간에 따른 신호이며, 하단의 신호는 이를 주파수 분석한 것이다. 상단의 시간에 다른 신호와 같이 발생신호는 펄스 형태가 아닌 사인파 형태의 기본 노이즈로, 주파수는 160kHz 대역 부근과 260kHz 대역 부근에서 크게 나타났다.

3.2 Sine Wave 노이즈 제거

그림 4와 같은 신호는 시험장 주위에서 지속적으로 발생하는 방송파나 측정 케이블에서의 유도 노이즈 등으로 400[kHz] 이상의 신호를 제거하는 RIV 기능으로

는 제거되지 않는 노이즈이다. 이와 같이 sine wave 형태로 전 위상각에 걸쳐 지속적으로 나타나는 노이즈는 특정 대역의 band-pass 필터를 사용하여 제거하는 것이 바람직하다.

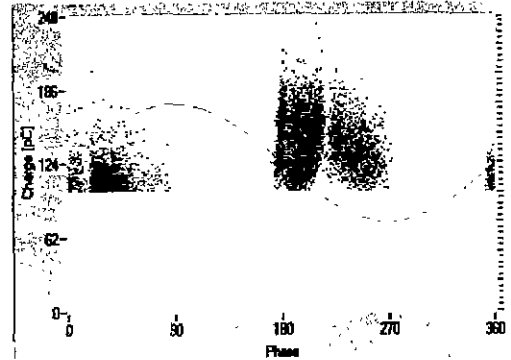


그림 5 필터를 사용한 후의 신호

그림 5는 노이즈 신호의 주파수 대역에 맞는 필터를 사용하였을 경우에 측정되는 신호이다. 그림 5는 그림 3에서 전 위상각에 걸쳐 지속적으로 나타나는 노이즈가 제거되고 특정 위상각에 펄스형태의 신호만이 측정됨을 보여 주고 있다. 그림 5에서 측정된 신호는 위상각 35°~80°에서 약 175[pC], 위상각 175°~270° 사이에서 약 200[pC]의 전하량이 나타났다.

3.3 변압기 외부 노이즈 신호 측정

변전소의 경우 변압기와 연결된 가공선 및 금구류 등에서 코로나가 발생하며, 이러한 코로나는 전기적으로 연결된 부분에는 동시에 측정될 수 있다. 따라서 그림 5의 신호는 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 신호와 변압기 외부에서 발생하는 펄스형태의 노이즈 신호가 중첩된 것으로 판단되며, 변압기 외부의 코로나 노이즈의 발생형태를 파악하여 제거하여야 한다.

그림 5의 신호에서 변압기 외부에서 발생하는 노이즈의 발생형태를 파악하기 위하여, C상 변압기에 연결된 선로에서 접지선이 인출되어 있는 345kV T/L측 피뢰기, 345kV CPD, 345kV 변압기측 피뢰기, 154kV 변압기측 피뢰기, 23kV 구내선로용 피뢰기, 154kV T/L측 피뢰기 접지선에서 노이즈 신호를 측정하였다.

노이즈 신호의 측정에는 두 가지 기법을 사용할 수 있다. 커패시턴스(C) 센서는 외부환경(공기)에서의 코로나 노이즈를 측정하는데 유용하며, 인덕턴스(L) 센서는 접지선에서 노이즈 전류 펄스를 측정하는데 유용하다. 기존에는 로고우스키 코일(Rogowski Coil)을 많이 사용

하였으나, 로고우스키 코일은 접지선을 관통해야 하므로, 접지선을 분리하거나 로고우스키 코일 자체를 분리해야 하는 어려움이 있었다. L 센서는 이러한 단점을 보완한 것으로 접지선을 분리하지 않고 적용할 수 있으므로 현장 적용의 관점에서 편리하다. 본 연구에서는 변압기의 운전중에 상시로 부분방전을 감시하기 위하여 상시 설치가 용이한 L 센서를 이용하였다.

변압기와 연결된 선로에서의 노이즈는 154kV T/L측 피뢰기에서는 노이즈가 위상각 전대역에 걸쳐 2[pC] 정도로 아주 미약하였으며, 23kV 구내선로용 피뢰기에서는 전대역에 걸쳐 9[pC] 정도가 가끔 발생하였다. 또한 345kV 변압기측 피뢰기에서는 전대역에 걸쳐 4[pC] 정도로 아주 미약하였으며, 345kV T/L측 피뢰기에서는 전대역에 걸쳐 6[pC] 정도로 미약하였다.

그러나 345kV T/L측 CPD에서는 단말 코로나 링이 없으므로, 코로나 가청음이 변전소 중에서 가장 심하게 발생하였고, 전대역에 걸쳐 30[pC], 위상각 110~140도에서 100[pC]이 발생하였다. 또한 345kV T/L측 CPD A 상에서는 위상각 250도에서는 약 500[pC]의 상당한 노이즈가 가끔 발생하였다.

그러나 345kV T/L측 CPD에서의 신호는 변압기 부상 시험단자에서의 신호패턴과 상당히 다르게 나타났다. 이는 변압기까지의 거리가 약 150[m] 정도로 멀고, 중간에 GIS가 있으므로 인해 임피던스에 의한 감쇄가 상당히 크기 때문에 CPD의 코로나가 변압기에 영향을 미치지 않은 것으로 판단되어 코로나 노이즈의 측정 포인트로 이용하지 않았다.

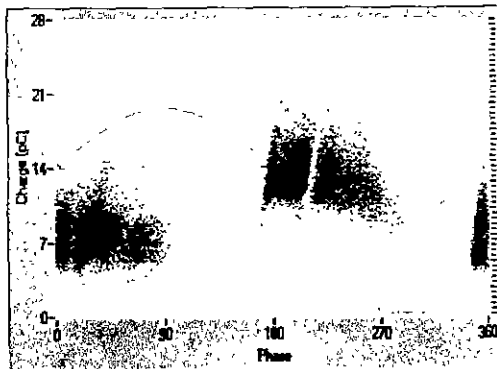


그림 6 154kV 피뢰기에서의 노이즈 신호

그림 6은 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 측정 한 노이즈 신호이다. 154kV 변압기측 피뢰기에서는 위상각 345~90도와 175~280도에서 약 20[pC]의 노이즈가 측정되었으며, 크기는 작으나 신호의 패턴이 부상의 시험단자에서의 신호와 거의 유사하게 나타났다.

3.4 펄스 형태의 외부 노이즈를 제거한 부분방전 신호

그림 5와 같이 부상의 시험단자에서 부분방전 신호와 노이즈 신호가 중첩되어 측정되었을 경우에, 그림 6과 같은 노이즈 신호를 제거하는 기법은, 노이즈 신호가 발생될 경우에 부상의 시험단자에서 측정되는 신호를 트리거(trigger)시켜 신호의 전달을 일시(약 70[μs]) 차단하는 방법이다. 이 기능은 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하는 sine wave 형태에서는 트리거가 계속 동작하여 부분방전 신호가 전혀 나타나지 않을 수 있으므로 적용이 어려우나, 코로나 노이즈와 같이 가끔씩 발생하는 펄스형태의 노이즈 제거에는 유용하다.

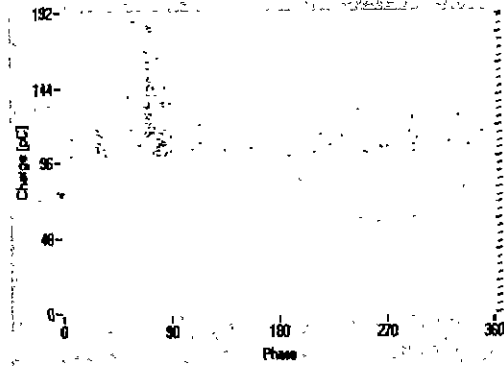


그림 7 펄스 노이즈를 제거한 PD 신호

그림 7은 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 L 센서를 이용하여 측정하고, 부상의 시험단자에서 측정된 신호에서 이 외부 노이즈를 제거한 것이다. 그림 7에서 노이즈를 제거한 후의 신호는 전대역에 걸쳐 약 90[pC]의 전하가 가끔 발생하며, 위상각 80도 부근에서 약 180[pC] 정도의 신호가 많이 발생하고 있다.

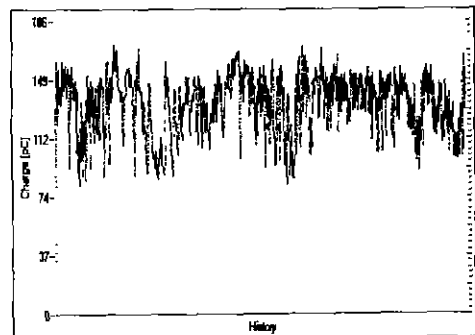


그림 8 상시 모니터링 화면

그림 8은 그림 7과 같은 상태에서 44분 동안 부분방전을 모니터링한 것으로, 부분방전 신호는 약 80~160[pC]의 범위에서 발생하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 부분방전 전하량은 현장에서 운전중인 변압기에서는 발생할 수 있고, 알람 레벨을 약 1,300[pC] 정도로 설정한다고 볼 때, 무시할 수 있는 정도로 생각되며, 향후 부분방전의 추이를 지속적으로 관찰하는 기준을 설정하는데는 무리가 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재까지 가장 큰 문제점으로 지적되어 온 외부 코로나에 의한 노이즈 신호를 제거하고, 변압기 내부의 부분방전에 의한 신호만을 측정하는 기법을 현장에서 운전중인 변압기에 시험 적용하였다.

현장에서 운전중인 변압기 부싱의 시험단자에서는 방송과 등으로 인해 약 3,700[pC]의 노이즈가 상시 발생하여 변압기 내부에서 부분방전이 발생한다고 하여도 구별이 불가능한 상태였다. 그러나 RIV 신호를 제거하였을 경우에는 1,500[pC]으로 저감되었으며, 주파수 분석에 따른 필터를 적용하여 sine wave 형태의 노이즈를 제거하고, 펄스형태의 노이즈를 154kV 피뢰기 접지선에서 측정하여 제거한 결과, 약 80~160[pC] 정도의 부분방전량을 상시 감시할 수 있음을 보였다.

그러나 본 논문에서 적용한 변압기는 아직까지 운전된 기간이 6개월이 안된 신형의 변압기로, 향후 이 변압기에서의 부분방전 발생추이를 장기간 관찰하면 부분방전의 현장 측정기법에 상당한 신뢰성이 제시될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 권동진 외, "765kV 변전기기 예방진단시스템 개발," 한전 전력연구원 보고서, 1999
- [2] "전력용 변압기 예방진단시스템 센서 적용기법," 한전 전력연구원 보고서, 1998
- [3] H. Kaward et. al., "Partial Discharge Automatic Monitor for Oil-Filled Power Transformer," IEEE Trans. PAS, Vol. 103, No. 2, pp.422~428, 1984
- [4] 田中一郎 外, "變壓器の豫防保全技術の現況とその動向," 電氣學會, pp.3~48, 1990.
- [5] 久保義昭 外, "變壓器部分放電自動監視裝置の開発とフィールド試驗," 電氣學會, Vol. 26, No. 3, pp.10~18, 1982.