

온라인 변압기 부분방전 측정기법

On Line Partial Discharge Measurement Method for Transformer

권동진*, 최인혁*, 송일근*, 박재준**

Dong-Jin Kweon*, In-Hyuk Choi*, Il-Keun Song*, Jae-Jun Park**

Abstract

This paper describes an application of the on line partial discharge measurement method in operating transformer. In the operating transformer, the partial discharge signal may be superimposed by radio interference voltage(RIV) and pulse shaped noise signals generated by external corona. The partial discharge quantity showed about 3,800pC due to very high sinusoidal interferences at the measuring impedance terminal of the transformer bushing tap. In order to reject these noises, this paper applied RIV filter, band-pass filters and noise gating method. The resulting measuring sensitivity was improved from 3,800pC to 160pC.

Key Words(중요용어) : Transformer(변압기), Partial discharge(부분방전), On line monitoring(온라인 감시), Diagnosis(진단)

1. 서 론¹⁾

최근 대용량 변압기의 운전 신뢰성을 확보하기 위하여, 예방진단시스템을 적용하고 있다. 예방진단시스템은 변압기의 운전 중에 열화와 관련된 신호를 상시로 측정하여 변압기의 사고방지는 물론, 최적의 유지보수 계획을 수립하기 위한 것으로, 변압기의 열화를 측정하는 센싱 항목으로는 절연유 분석기술, 초음파 측정기술, 전기적인 부분방전 측정기술 및 온도 측정기술이 대표적이다.²⁾

변압기의 중대사고 요인인 내부절연 이상은 대부분 부분방전을 수반하므로 부분방전과 절연수명은 깊은 상관관계가 있다고 인정되어 왔다. 특히 부분방전은 이상상태 발생시 응답이 빠른 특성을 지니고 있으므로 부분방전을 측정하면 변압기 사고를 미연

에 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.

본 연구에서는 부분방전에 의한 전기적 측정기법을 현장에서 운전중인 345kV 변압기에 시범 적용하여, radio interference voltage(RIV)와 외부 코로나 노이즈를 제거하고 변압기 내부 부분방전에 의한 신호만을 감시하는 기법에 관하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

그림 1은 운전중인 변압기에서 부분방전을 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 운전중인 345kV 변압기, 매칭 임피던스

* 한전 전력연구원 전력계통연구실

** 중부대학교 정보공학부

스, 부분방전 측정장치 및 오실로스코프로 구성하였다.

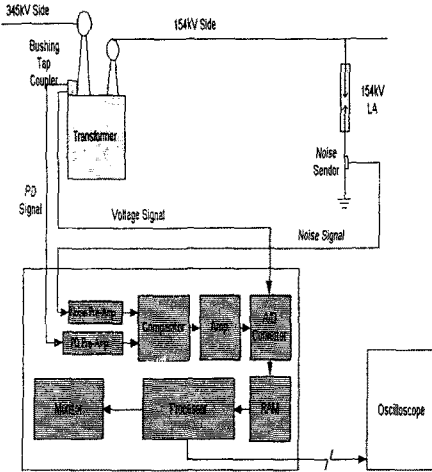


그림 1 실험장치의 구성도

하량[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.

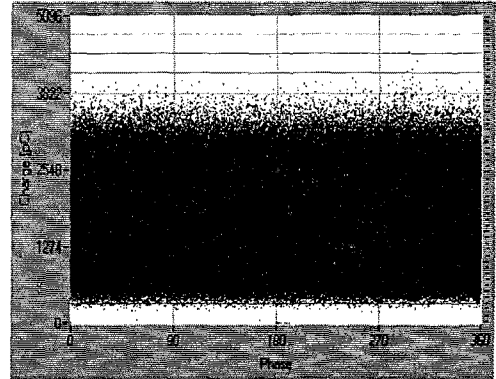


그림 2 부싱 시험단자에서의 신호

운전중인 변압기에서는 콘덴서 부싱의 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 방화격벽 사이로 접지되어 있으므로 사용이 불가능하다. 또한 변압기 외함의 접지선은 감도가 낮은 단점이 있으므로, 본 연구에서는 변압기의 제작과정에서 부싱의 시험단자에 매칭 임피던스를 설치하여 부분방전과 인가전압을 측정하였다.

부싱의 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 신호 형태와 가장 유사한 위치에서 인덕턴스 센서(L 센서)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부싱 시험단자에서의 신호 분석

그림 2는 부싱의 시험단자에 연결한 매칭 임피던스에서 측정된 신호로, 그림 2를 비롯한 본 연구에서의 데이터는 부분방전 신호를 60[sec] 동안 누적시켜 나타낸 것이다. 그림에서 수직 축은 부분방전 전

그림 2와 같이 부싱 시험단자에서 측정되는 신호는 전 위상각에 걸쳐 약 3,800[pC] 정도의 신호가 지속적으로 발생하고 있다. 이는 부싱 시험단자에는 변압기 내부의 부분방전 뿐만 아니라, Radio Interference Voltage(RIV) 등의 방송파 노이즈와 가공선로나 금구류 등에서의 코로나 노이즈가 모두 측정되기 때문이다. 운전중인 변압기에서 부분방전을 측정하고자 할 경우의 가장 큰 문제점은 이와 같이 측정 시스템 주위에서 발생하는 기본 노이즈(background noise) 레벨이 높아 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 신호와 노이즈 신호의 구별이 곤란한 경우이다.

그림 2의 상태에서 RIV 등의 방송파 노이즈를 제거한 신호는 전 위상각에 걸쳐 약 1,500[pC]까지 신호가 저감되었다. 그러나 방송파 노이즈를 제거하여도 아직까지 상당히 큰 노이즈가 남아 있었으며, 신호의 발생 위상각이 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하고 있으므로, 변압기 내부의 부분방전으로 보기 어려운 형태였다. 이 신호를 주파수 분석(FFT)한 결과, 주파수는 160[kHz] 대역 부근과 260[kHz] 대역 부근에서 크게 나타났다.

3.2 Sine Wave 노이즈 제거

이와 같이 sine wave 형태로 전 위상각에 걸쳐 지속적으로 나타나는 노이즈를 제거하기 위하여 본 연구에서는 band-pass 필터를 사용하였다.

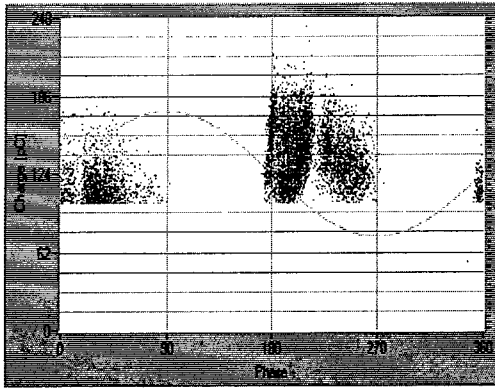


그림 3 필터를 사용한 후의 신호

그림 3은 노이즈 신호의 주파수 대역에 맞는 필터를 사용하였을 경우에 측정되는 신호이다. 그림 3에서 측정된 신호는 위상각 350~80도에서 약 175[pC], 위상각 175~270도 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 측정되어 진다. 따라서 그림 3의 신호는 변압기 내부에서 발생하는 부분 방전 신호와 변압기 외부에서 발생하는 펄스형태의 노이즈 신호가 중첩된 것으로 보아야 하며, 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 측정하여 제거하여야 한다.

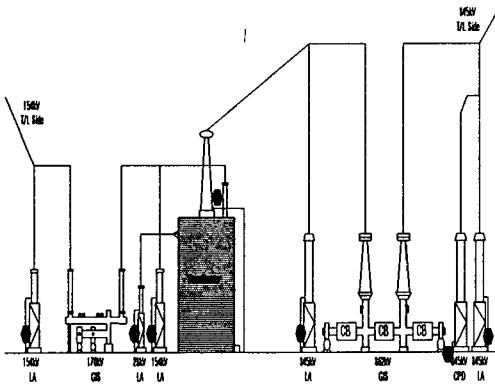


그림 4 노이즈 신호 측정위치

그림 3의 신호에서 변압기 외부에서 발생하는 노이즈를 제거하기 위하여, 그림 4와 같이 시험대상

변압기에 연결된 선로에서 접지선이 인출되어 있는 154kV T/L측 피뢰기, 23kV 구내선로용 모선의 피뢰기, 154kV 변압기측 피뢰기, 345kV 변압기측 피뢰기, 345kV CPD, 345kV T/L측 피뢰기의 접지선에서 노이즈 신호를 측정하였다.

노이즈 신호의 측정에는 로고우스키 코일 (Rogowski Coil), 커패시턴스(C) 센서 및 인덕턴스(L) 센서 등을 사용할 수 있다. 기존에는 로고우스키 코일을 많이 사용하였으나, 로고우스키 코일은 접지선을 관통해야 하므로, 접지선을 분리하거나 로고우스키 코일 자체를 분리해야 하는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 변압기의 운전중에도 설치가 용이한 인덕턴스 센서를 이용하였다.

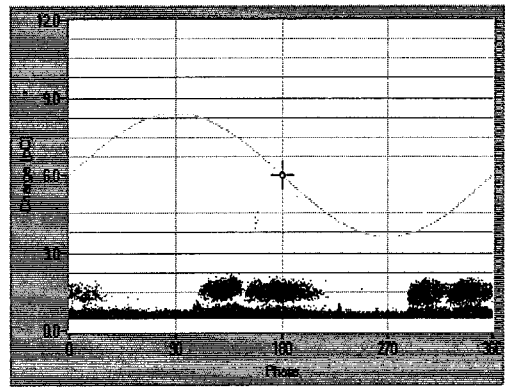


그림 5 154kV T/L측 피뢰기에서의 노이즈 신호

그림 5는 변압기와 연결된 선로 중에서 154kV T/L측 피뢰기 접지선에서의 노이즈 신호를 측정하였으므로, 노이즈는 위상각 전대역에 걸쳐 1[pC] 이하의 미약한 신호가 측정되었으며, 위상각 290~30도 및 위상각 115~205도 사이에서 약 2[pC]의 미약한 전하량이 나타났다.

23kV 구내선로용 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호는 RIV 제거기능을 Off하였을 경우에는 전대역에 걸쳐 약 350[pC]의 신호가 측정되나, RIV 제거기능을 On하였을 경우 노이즈 신호는 거의 측정되지 않았다.

그림 6은 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 측정된 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. 따라서 본 연구에서는 154kV 변압기측

피뢰기의 접지선에서 측정된 신호를 변압기 부상 탭에서의 노이즈 신호를 제거하는 용도로 사용하였다.

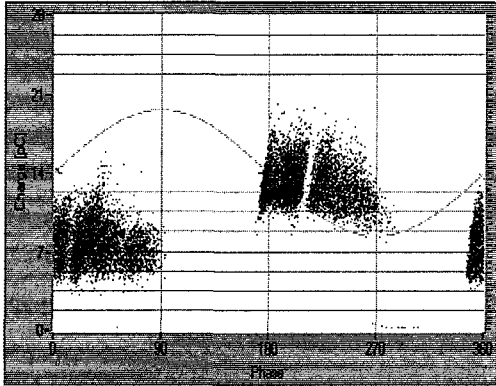


그림 6 154kV Tr측 피뢰기에서의 노이즈 신호

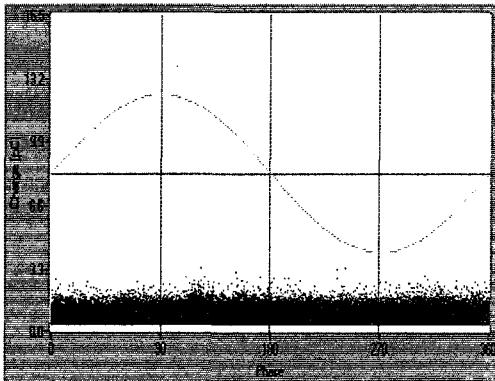


그림 7 345kV Tr측 피뢰기의 노이즈 신호

그림 7은 345kV 변압기측 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호로, 전대역에 걸쳐 3[pC] 정도로 아주 미약한 노이즈 신호가 측정되었다.

345kV T/L측 CPD에는 도체의 접속을 위한 단말 코로나 링이 없어 코로나 가침음이 변전소 중에서 가장 심하게 발생하는 부분이다. 이 부분에서의 신호는 전대역에 걸쳐 30[pC], 위상각 110~140도에서 100[pC]이 발생하였다. 그러나 345kV T/L측 CPD에서의 신호는 변압기 부상 시험단자에서의 신호패턴과 상당히 다르게 나타났으므로, 코로나 노이즈의 측정 포인트로 이용하지 않았다.

345kV T/L측 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호는 전대역에 걸쳐 약 6[pC] 정도로 미약한 노이즈 신호가 발생하였다.

3.4 펄스 형태의 외부 노이즈를 제거한 부분방전 신호

본 연구에서는 부상의 시험단자에서 그림 3과 같이 부분방전 신호와 노이즈 신호가 중첩되어 측정되었을 경우에, 그림 6과 같은 노이즈 신호를 제거하기 위하여, 노이즈 신호가 발생할 경우에 부상의 시험단자에서 측정되는 신호의 전달을 일시(약 70[μ s]) 차단하는 노이즈 게이팅(noise gating) 기법을 사용하였다. 이와 같은 노이즈 게이팅 기법은 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하는 sine wave 형태의 노이즈 신호에서는 게이트가 계속 동작하여 부분방전 신호가 전혀 나타나지 않을 수 있으므로 적용이 어려우나, 코로나 노이즈와 같이 위상각에 걸쳐 일시적으로 발생하는 펄스형태의 노이즈 제거에는 적용이 유용하다.

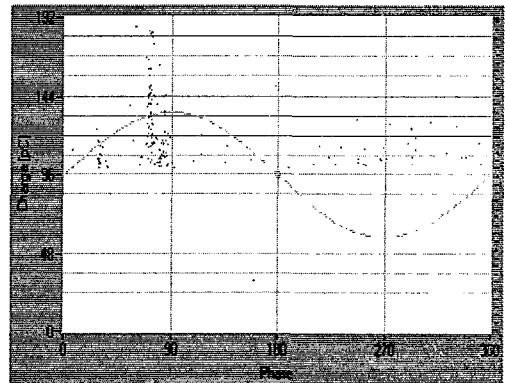


그림 8 펄스형태의 노이즈를 제거한 부분방전 신호

그림 8은 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 인덕턴스 센서를 이용하여 측정하고, 부상의 시험단자에서 측정된 신호에서 이 외부 노이즈를 제거한 것이다. 그림 8과 같이 노이즈를 제거한 후의 신호는 전대역에 걸쳐 약 90[pC]의 전하가 가끔 발생하며, 위상각 80도 부근에서 약 180[pC] 정도의 신호가 많이 발생하고 있다.

3.5 부분방전 상시 감시기법

변압기에서 부분방전 상시 감시의 주요 관점은 부분방전에 의한 위험한 정도를 판별하는 것이며, 이때 부분방전 측정회로의 결합상태에 따라 부분방전 전하량의 절대적인 크기는 상당히 영향을 받을 수

있으므로, 측정되는 부분방전 전하량의 절대치를 평가하는 것보다는 절연 열화의 경향(trend)을 지속적으로 감시하는 것이 열화상태에 대한 더욱 중요한 정보가 된다.

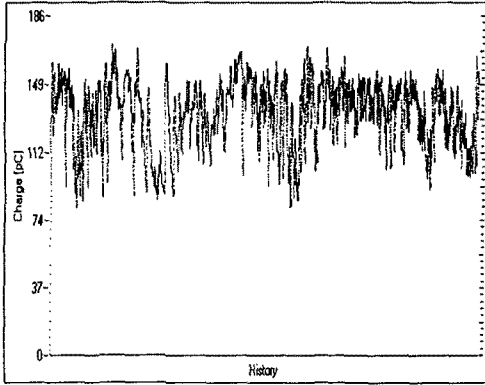


그림 9 상시 모니터링 화면

그림 9는 그림 8과 같은 상태에서 44분 동안 부분방전을 모니터링한 것으로, 부분방전 신호는 약 80~160[pC]의 범위에서 발생하고 있으며, 본 연구에서는 향후 부분방전을 상시 측정하여 진전경향을 지속적으로 감시하고자 한다.

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 방송파 등으로 인해 약 3,800[pC]의 노이즈가 상시 발생하여 변압기 내부에서 부분방전이 발생한다고 하여도 구별이 불가능한 상태였다. 그러나 RIV 신호를 제거하였을 경우에는 약 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. 따라서 향후 이 변압기에서의 부분방전 발생추이를 장기간 관찰하면 부분방전의 현장 측정기법에 상당한 신뢰성이 제시될 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] 권동진 외, “765kV 변전기기 예방진단시스템 개발,” 한전 전력연구원 보고서, pp.1~127, 2000
- [2] 권동진 외, “전력용 변압기 예방진단시스템 센서 적용기법,” 한전 전력연구원 보고서, pp.1~29, 1998
- [3] 田中-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.