

변압기 부분방전 상시 감시기법에 관한 연구

A Study on the on Line Monitoring Techniques of the Partial Discharge for Transformer

권동진*, 박재준**

(Dong-Jin Kweon*, Jae-Jun Park**)

Abstract

In order to apply the partial discharge measuring technique utilizing electrical pulse to the transformer at sites, this paper describes the measuring technique obtaining only the signals due to internal partial discharge in the transformer, but the noises due to external corona which has been a major problem so far.

At first, partial discharge and corona noise were simultaneously generated in the model transformer by using needle-plane electrodes and rod-sphere electrodes out of it in a high voltage laboratory, respectively. It was verified that only the partial discharge signals in the transformer could be measured by removing the noise signals from the superposed signals of partial discharges and noises on the grounding wire of the model transformer.

By application to a 345kV transformer in service, it was also confirmed that the partial discharge could be on-line monitored by removing the noise signals measured by the inductance sensor on the grounding wire of a 154kV lightning arrester from the superposed signals of internal partial discharge and external corona noise measured by bushing tap coupler of the transformer.

Key Words : transformer, partial discharge, corona, on line monitoring, noise removal technique

1. 서론

일반적으로 운전중인 변압기에서 부분방전에 의한 전기적인 펄스를 측정하는 기법은 내부 결함에 의한 부분방전과 외부 코로나의 구별이 불가능하여 현장적용이 쉽지 않은 것으로 알려져 왔다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 일본에서는 변압기 접지선에 로고우스키 코일을 삽입하여 전기적

인 펄스를 측정하고, 변압기 외함에서 초음파 신호를 측정하는 기법을 혼합하여 사용함으로써, 두 신호가 동시에 발생될 경우에는 변압기 내부의 부분방전으로 판단하고, 전기적인 신호나 초음파 신호가 개별적으로 측정될 경우에는 변압기 외부에서 발생하는 노이즈로 판단하고 있다.[1-4] 그러나, 변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 초음파 신호가 변압기 구조물에 의해 감쇄되어 측정되지 않거나[5, 6], 가공 송전선로와 같이 변압기 외부에서의 노이즈로 인하여 전기적인 펄스 및 초음파 신호가 동시에 측정될 경우에는 전기적인 펄스와 초음파 신호를 이용하여 변압기 내부의 부분방전을 판단하는 기법은 유용하지 못한 단점이 있다.

국내에서는 운전중인 변압기에서 부분방전을 측

* : 한전 전력연구원 전력계통연구소
(대전광역시 유성구 문지동 103-16,
Fax : 042-865-5844
E-mail : djkweon@kepri.re.kr)

** : 중부대학교 정보공학부
2001년 8월 1일 접수, 2001년 8월 17일 1차심사완료
2001년 10월 25일 2차심사완료

정하기 위한 전기적인 측정기법에 관해서는 아직까지 연구되지 않고 있는 실정이며, 초음파 측정기법에 대해서는 1980년대 후반부터 꾸준히 연구를 수행하여, 최근 부분방전에 의한 초음파 신호를 이산 웨이블렛과 신경망을 이용하여 분석하는 기법을 연구하고 있다.[7, 8]

따라서 본 연구에서는 부분방전에 의한 전기적 측정기법을 운전중인 변압기에도 적용하기 위하여, 현재까지 가장 큰 문제점으로 지적되어 온 외부 코로나에 의한 노이즈 신호를 제거하고, 변압기 내부의 부분방전에 의한 신호만을 측정하는 상시 감시기법을 연구하였다.

먼저, 외부 코로나에 의한 노이즈 신호 제거기법의 타당성을 확인하기 위하여, 실험실에서 모의 변압기를 이용하여 변압기 내에 침-평판전극으로 부분방전을 발생시키고, 동시에 공기 중에 봉-구전극으로 코로나 노이즈를 발생시켰으며, 모의 변압기 접지선에 설치한 인덕턴스 센서에서 측정된 내부 부분방전과 외부 코로나가 중첩된 신호로부터 변압기 외부에 설치한 캐패시턴스 센서에서 측정된 코로나 노이즈를 제거하였다.

또한 운전중인 345kV 변압기에서도 부분방전의 상시 감시가 가능함을 확인하기 위하여, 부싱 탭 결합장치에서 측정된 신호에서 방송파와 주파수 분석에 따른 협대역 필터를 적용하여 사인파 노이즈를 제거하고, 펄스형태의 노이즈는 154kV 피뢰기 접지선에서 측정하여 제거하였다.

2. 실험

2.1 부분방전 및 노이즈 측정센서

운전중인 변압기에서의 부분방전과 변압기 주위에서 발생하는 노이즈를 측정하기 위해서는 다음과 같은 센서를 이용할 수 있다.

2.1.1 인덕턴스 센서

그림 1과 같이 부분방전이 변압기 내부에서 발생하면, 변압기 중성점 접지선에 흐르는 과도전류 $I_E(t)$ 는 과도전압 $U_E(t)$ 를 발생한다.

$$U_E(t) = I_E(t) \times Z_W$$

여기서, Z_W 는 특성 임피던스이다. 부분방전을 측정하기 위해서는 이 과도전류 $I_E(t)$ 나 과도전압 $U_E(t)$ 를 측정하면 되며, 부분방전 전류 $I_E(t)$ 는 자장 $B(t)$ 를 야기하므로 인덕턴스(L) 센서로 측정할

수 있다. 일본에서는 이와 같은 원리로 변압기 접지선에 로고우스키 코일을 사용하였으나, 현장 적용의 관점에서 인덕턴스 센서는 접지선을 분리하지 않고 적용할 수 있으므로 편리하다.

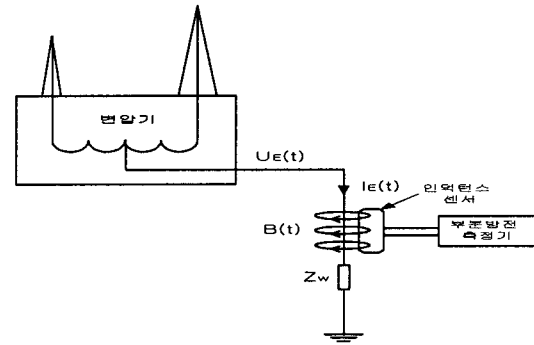


그림 1. 인덕턴스 결합의 등가회로.

Fig. 1. Equivalent circuit with inductive coupling.

2.1.2 캐패시턴스 센서

일반적으로 변전소의 경우는 고전압 도체의 코로나 방전으로 인하여 전자 차폐된 실험실의 약 10~100배에 달하는 노이즈가 발생하며, 이러한 변압기 외부의 코로나 노이즈는 그림 2와 같은 캐패시턴스(C) 센서를 이용하여 측정할 수 있다. 코로나에 의해 나타나는 급격한 과도전압은 고전압 단말과 캐패시턴스 센서 사이의 실효 표유용량 C_s 를 통하여 캐패시턴스 센서에 전달되므로, 고전압 단말과 캐패시턴스 센서 사이의 표유용량이 클수록 감도가 향상되므로, 센서의 면적이 클 수록, 도체

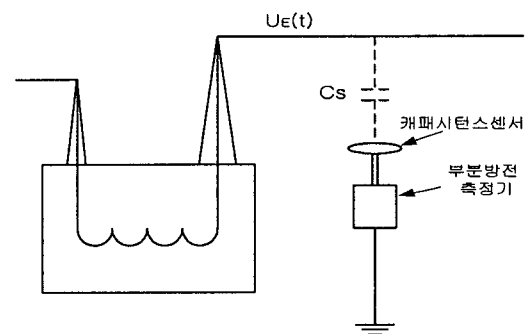


그림 2. 캐패시턴스 결합의 등가회로.

Fig. 2. Equivalent circuit with capacitive coupling.

와의 거리가 가까울 수록 측정감도가 증가한다. 이 캐패시턴스 센서는 측정물의 어느 부분에도 센서가 직접 접촉하지 않으므로, 가공선 및 금구류 등에서의 코로나를 측정하기에 편리하다.

2.1.3 부싱 탭 결합장치

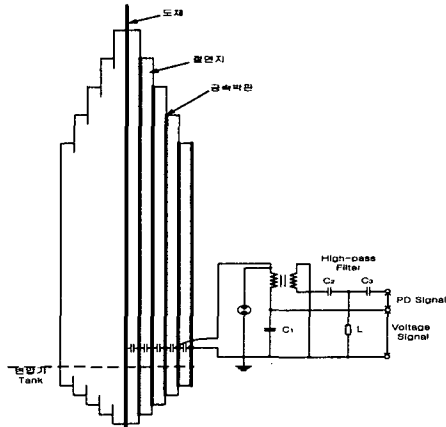


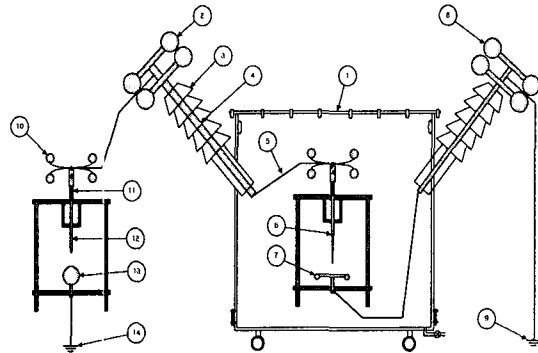
그림 3. 부싱 시험단자 및 매칭 임피던스.
Fig. 3. Bushing test terminal and matching impedance.

일반적으로 154kV 이상의 변압기에는 콘덴서형 부싱이 사용되고 있다. 콘덴서형 부싱은 그림 3과 같이 도체 주위에 절연지를 원통 형태로 감고, 정해진 직경마다 캐패시터 박판을 절연지 층 사이에 삽입한다. 이 콘덴서형 부싱의 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. 이 방법은 공장에서의 부분방전 검출방법과 같이 감도적으로 아주 우수하다. 부싱 탭 결합장치에서 부분방전을 측정하기 위한 센서의 주파수 대역은 50Ω의 매칭 임피던스에서 30MHz까지 측정할 수 있다.

2.2 모의 변압기에서의 실험장치 구성

모의 변압기에서의 실험장치는 그림 4와 같이 크게 고전압 발생장치, 모의 변압기, 내부 부분방전 발생장치, 외부 코로나 발생장치, 부분방전 측정장치로 구성하였다. 모의 변압기 내부에는 침-평판전극이 절연유에 함침되어 내부 부분방전을 발

생하며, 변압기 외부에는 봉-구전극에서 코로나 노이즈가 동시에 발생한다. 변압기 내부의 침-평판전극의 침전극 구경은 10[μm]로 하였으며, 침전극과 평판전극 사이의 간격을 25[mm]로 설치하였다. 특히 전극 이외 부분에서의 부분방전은 실험실 환경의 노이즈 레벨인 4[pC] 이하가 되도록 제작하였다. 봉-구전극은 침-평판전극과 형태는 같으나, 절연유 내에 함침되는 침-평판전극과 같은 전압에서 코로나를 발생시킬 수 있도록 봉의 직경을 10[mm], 구전극의 직경을 35[mm]로 제작하였으며, 봉전극과 구전극의 간격을 40[mm]로 설치하였다.



①Model Transformer ②Corona ring ③High Voltage Insulator, ④Conductor ⑤High Voltage Lead Wire ⑥Needle Electrode ⑦Plane Electrode ⑧Corona ring ⑨Earth Terminal ⑩Corona ring ⑪Micrometer ⑫Rod Electrode ⑬Sphere Electrode ⑭Earth Terminal

그림 4. 모의 변압기에서의 실험장치 구성도.
Fig. 4. Test arrangement with the model transformer.

모의 변압기에서는 인덕턴스 센서를 모의 변압기 접지선 ⑨에 설치하여 부분방전을 측정하는 용도로 사용하였으며, 이때 변압기 접지선 ⑨와 봉-구전극의 접지선 ⑭는 서로 연결되어 있으므로, 인덕턴스 센서에는 변압기 내부의 부분방전과 변압기 외부의 코로나 노이즈가 동시에 측정된다. 또한 캐패시턴스 센서를 봉-구전극에서 2[m] 거리에 설치하여 코로나에 의한 노이즈 신호를 별도로 측정하도록 하였다.

인덕턴스 센서나 캐패시턴스 센서는 교정기(calibrator, 1~10,000pC, Pulse duration : 약

50ns)를 이용하여 측정감도를 설정할 수 있다. 캘리브레이션은 교정기의 출력단자에 루프를 이용하여 전하량을 발생시키고, 센서와 부분방전 측정장치에서 측정된 전하량을 교정기에서 발생하는 전하량과 일치시킨다. 그림 5는 인덕턴스 센서를 이용하여 측정감도를 설정한 것으로, 모의 변압기에 인가한 23.3[kV]에서 발생하는 부분방전 및 코로나 노이즈의 전하량과 유사한 범위인 2,000[pC]을 인가한 경우이다. 그림 5에서 6개의 펄스는 교정기에서 인가한 펄스이며, 2,000[pC]에서의 가로 선은 측정감도를 설정한 레벨을 나타낸다.

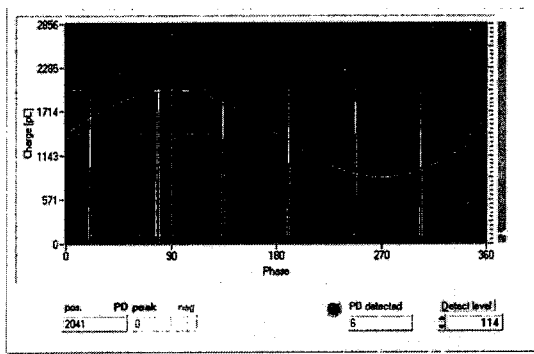


그림 5. 2,000pC으로 교정한 화면.

Fig. 5. Calibration figure by 2,000pC.

2.3 운전중인 변압기에서의 실험장치 구성

그림 6은 운전중인 변압기에서 부분방전을 측정하기 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실

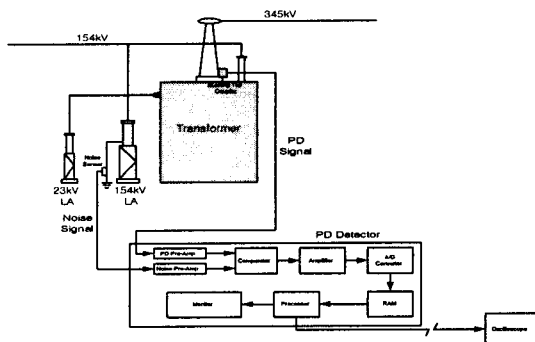


그림 6. 운전중인 변압기에서의 실험장치 구성도.

Fig. 6. Test arrangement at the operating transformer.

험장치는 크게 운전중인 345kV 변압기, 154kV 피뢰기, 부상 탭 결합장치, 부분방전 측정장치 및 오실로스코프로 구성하였다.

운전중인 변압기에서의 중성점 접지선은 보조 모선을 통하여 3상이 연결되어 방화격벽 사이로 접지되어 있으므로 실험실용 모의 변압기에서와 같이 인덕턴스 센서를 이용하여 부분방전을 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 345kV 부상의 시험단자에 부상 탭 결합장치를 설치하여 부분방전과 인가전압을 측정하였다. 또한 변압기와 연결된 선로 중에서 부상 탭 결합장치에서 측정되는 신호 형태와 가장 유사한 154kV 피뢰기의 접지선에 인덕턴스 센서를 설치하여 노이즈를 측정하였다.

현장에서 운전중인 변압기에서의 캘리브레이션은 변압기의 운전을 정지시키고, 부상 탭 결합장치의 부분방전 측정단자와 접지단자에 교정기를 연결하여 전하량을 주입하고, 부분방전 측정장치에서 측정된 전하량을 교정기에서 주입한 전하량과 일치시켜 측정감도를 설정한다.

2.4 부분방전 측정장치

부분방전 측정장치는 독일 LDIC사에서 제작한 LDWD-6로[9], 하드웨어는 그림 6과 같이 부분방전 측정센서, 노이즈 측정센서, 센서에서의 신호를 신호처리기에 필요로 하는 레벨로 증폭하기 위한 프리앰프, 부분방전과 노이즈를 비교하여, 변압기 내부에서 발생한 부분방전 신호만을 측정하기 위한 부분방전-노이즈 비교기, A/D Converter에서 처리할 수 있는 수준으로 증폭하기 위한 최대 93dB(3dB step)의 증폭기(upper limited frequency: >30MHz), 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 12bit resolution의 A/D Converter, 방송파 신호를 제거하기 위한 RIV 필터(100~400[kHz]) 및 신호처리기로 구성되어 있다. 부분방전 측정장치의 측정 가능한 전하량은 최소 1pC, 최대 5nC 이상이며, 측정감도는 1pC 이상이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모의 변압기에서의 부분방전 측정

본 연구에서는 부분방전 측정장치를 운전중인 변압기에 적용하기에 앞서, 실험실에서 모의 변압기를 이용하여 변압기 내부의 부분방전과 변압기 외부의 코로나를 임의로 발생시키고, 두 신호가 중

침되었을 경우에 변압기 외부의 코로나를 제거하는 기법의 타당성을 확인하였다.

3.1.1 모의 변압기 내부 부분방전에 의한 신호

그림 7은 침-평판전극을 이용하여 모의 변압기 내부에서만 부분방전을 발생시킬 경우에 모의 변압기 접지선에 설치한 인덕턴스 센서를 이용하여 측정된 것이다. 이때 인가전압은 23.3[kV]이며, 이 전압은 외부 코로나 및 내부 부분방전과 외부 코로나가 동시에 발생할 경우에도 항상 일정하게 유지하였다.

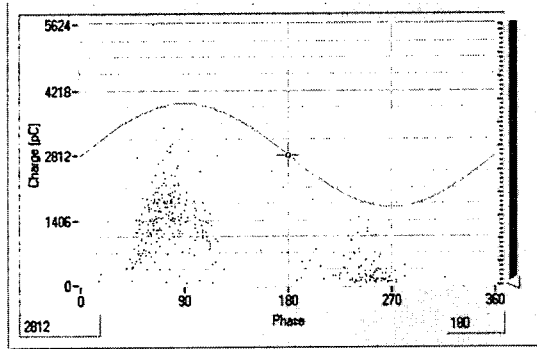


그림 7. 내부 부분방전에 의한 방전 신호.

Fig. 7. Discharge signal caused by the internal partial discharge.

그림 7에서 수직 축은 부분방전 결보기 방전전하량[pC]을 표시하며, 수평 축은 AC 시험전압의 위상각을 나타낸다. 또한 각각의 점(point)은 위상각에 대한 부분방전 펄스를 나타낸다. 따라서 그림에서 점의 밀도는 부분방전의 발생빈도를 나타내며, 그림 7을 포함한 본 연구에서의 데이터는 60[sec] 동안 발생한 부분방전 신호를 누적시켜 분석한 것이다.

모의 변압기의 절연유에 함침된 침-평판전극에서 발생한 부분방전 신호는 인가전압의 위상각 90도를 전후한 영역에서 약 3,000[pC]까지의 전하량과 위상각 270도를 전후한 영역에서 약 1,500[pC]까지의 전하량이 발생하였다. 또한 인가전압의 양의 주기가 음의 주기보다 큰 신호가 많이 발생하였으며, 음의 주기에서는 크기가 작은 신호가 주로 발생하였다.

이러한 부분방전 신호의 패턴은 변압기 절연유 중에서 침-평판 전극 형상에 의해 고전압측 전극이 불평등 전계인 경우에 발생하는 전형적인 부분

방전 극성효과를 나타낸 것으로, 본 연구에서의 침전극과 평판전극간의 거리 25[mm]에서의 부분방전 개시전압 약 17[kV] 부근에서는 인가전압 주파수의 음의 주기 최대치에서 작은 부분방전이 발생하기 시작하였다. 인가전압이 증가함에 따라 음의 주기에서의 부분방전은 방전전하량이 크게 발생되었으며, 부분방전이 발생하는 위상각도 음의 주기 최대치에서 인가전압의 0 부근으로 확대되었다. 또한 인가전압이 증가함에 따라 양의 주기에서도 부분방전이 발생하기 시작하였다. 인가전압의 양의 주기에서 발생하는 부분방전은 음의 주기에서 발생하는 부분방전에 비해 상당히 큰 방전전하량을 나타내었으며, 부분방전이 발생하는 위상각은 전원 주파수의 90도를 전후하여 나타나기 시작하였다.

3.1.2 외부 코로나에 의한 신호

그림 8은 봉-구전극을 이용하여 공기중에서 코로나 노이즈만을 발생시킬 경우에 캐패시턴스 센서를 이용하여 측정된 것이다. 그림 8과 같이 공기중에서 코로나가 발생할 경우의 신호는 인가전압의 위상각 90도를 전후한 영역에서 그림 7의 내부 부분방전에 비하여 아주 큰 약 7,000[pC]까지의 전하량이 발생하였다. 이와 같이 인가전압 23.3[kV]에서 외부 코로나에 의한 부분방전 전하량은 거의 절연과피 전압에 근접한 상태였다.

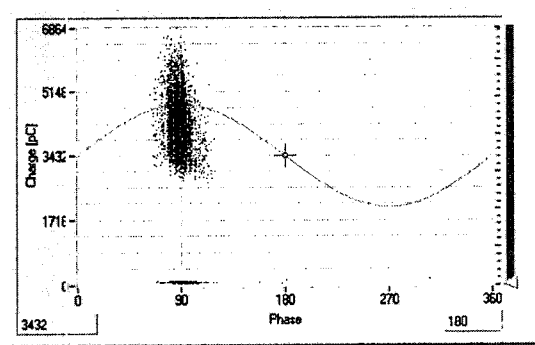


그림 8. 외부 코로나에 의한 방전 신호.

Fig. 8. Discharge signal caused by the external corona.

이는 모의 변압기 내부에서 절연유에 함침된 침-평판전극에서 발생하는 부분방전 신호와는 상당히 다른 패턴이다. 따라서, 본 연구에서의 실험장치에서는 그림 7의 모의 변압기 내부 부분방전에 의한 신호패턴과 그림 8의 외부 코로나에 의한 신

호패턴이 중첩되어도 쉽게 구별이 가능하며, 본 연구에서의 노이즈 제거기능의 성능시험에는 아주 적합한 신호패턴으로 생각된다.

3.1.3 내부 부분방전과 외부 코로나에 의한 신호

그림 9는 침-평판전극을 이용하여 모의 변압기 내부에서 부분방전을 발생시키고, 봉-구전극을 이용하여 모의 변압기 외부에서 코로나 노이즈를 동시에 발생시킬 경우에 모의 변압기 접지선에서 인덕턴스 센서를 이용하여 측정된 것이다.

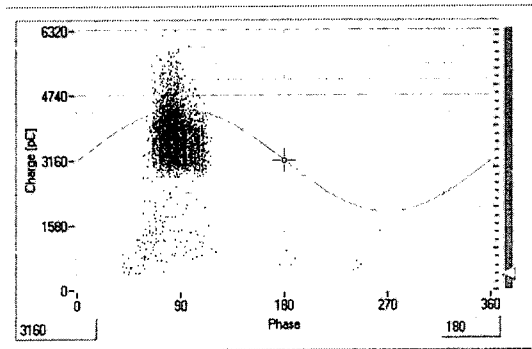


그림 9. 내부 부분방전과 외부 코로나의 중첩에 의한 방전 신호.

Fig. 9. Discharge signal superimposed the internal partial discharge and the external corona.

이때 측정된 신호는 그림 7의 내부 부분방전에 의한 신호와 그림 8의 외부 코로나에 의한 신호가 중첩된 형태임을 알 수 있으며, 인가전압의 위상각 90도를 전후하여 발생한 약 3,000[pC] 이상의 큰 신호는 외부 노이즈에 의한 부분방전 신호이며, 인가전압의 위상각 90도를 전후한 영역의 3,000[pC] 이하의 신호와 위상각 270도를 전후한 영역에서 발생한 신호는 내부 부분방전에 의한 신호이다.

그림 9와 같이 모의 변압기 접지선에 설치한 인덕턴스 센서에는 모의 변압기 내부의 부분방전과 외부의 코로나 노이즈가 동시에 측정되며, 이는 현장에서 운전중인 변압기에서 내부의 부분방전과 가공선에서의 코로나가 동시에 측정되는 것과 같은 상황이다. 이와 같이 두 신호가 중첩되어 나타난다면 기존의 부분방전 측정기법으로는 변압기 내부에서의 부분방전 신호와 변압기 외부에서의 코로나 신호를 구별하기 곤란할 것이다.

3.1.4 외부 코로나 노이즈를 제거한 신호

그림 10은 그림 9와 같이 모의 변압기 내부의 부분방전과 외부의 코로나가 동시에 발생될 경우, 인덕턴스 센서를 이용하여 측정된 신호에서 캐패시턴스 센서를 이용하여 측정된 노이즈 신호를 제거하여 나타낸 것이다. 본 연구에서는 외부 코로나 노이즈 신호를 제거하기 위하여, 캐패시턴스 센서에서의 노이즈 신호가 발생될 경우에 인덕턴스 센서에서 측정되는 신호의 전달을 일시(70[μ s]) 차단하는 방법을 사용하였으며, 이를 노이즈 게이팅(noise gating) 기법이라 하였다. 이와 같은 노이즈 게이팅 기법은 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하는 노이즈 신호에서는 게이트가 계속 동작하여 부분방전 신호가 전혀 나타나지 않을 수 있으므로 적용이 어려우나, 코로나 노이즈와 같이 임의의 위상각에 걸쳐 일시적으로 발생하는 펄스형태의 노이즈 제거에는 적용이 유용하다.

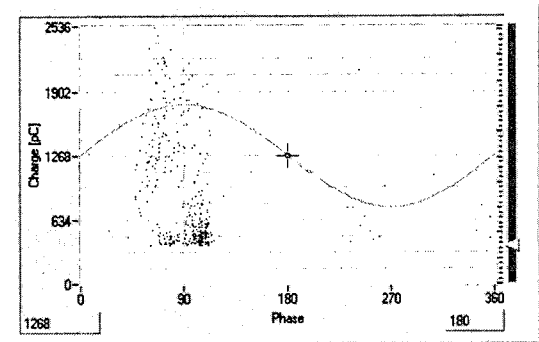


그림 10. 외부 코로나를 제거한 부분방전 신호.

Fig. 10. Partial discharge signal removed the external corona.

그림 10과 같이 노이즈 신호를 제거하면, 그림 9에서 외부 코로나에 의한 인가전압의 위상각 90도를 전후한 영역에서 발생한 약 3,000[pC] 이상의 큰 부분방전 신호는 제거되고, 그림 7과 같이 인가전압의 위상각 90도를 전후한 영역과 위상각 250도를 전후한 영역에서 발생한 내부 부분방전 신호만을 측정하고 있음을 나타내고 있다.

이와 같이, 이제까지 부분방전 측정기법을 현장에 적용하는데 가장 큰 문제점이었던 변압기 내부에서의 부분방전과 변압기 외부에서의 코로나 노이즈가 동시에 발생되어도, 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 제거하고 변압기 내부의 부분방전만을 측정할 수 있음을 실험실에서 모의 변

압기를 이용하여 확인할 수 있다.

3.2 운전중인 변압기에서의 부분방전 측정

3.2.1 부싱 탭 결합장치에서의 신호

운전중인 345kV 변압기의 부싱 탭 결합장치에서 측정된 신호는 전 위상각에 걸쳐 약 3,800[pC] 정도의 신호가 지속적으로 발생하고 있었으며, 이는 부싱 탭 결합장치에는 변압기 내부의 부분방전 뿐만 아니라, Radio Interference Voltage(RIV) 등의 방송파 노이즈와 가공선로나 금구류 등에서의 코로나 노이즈가 동시에 측정되기 때문이다

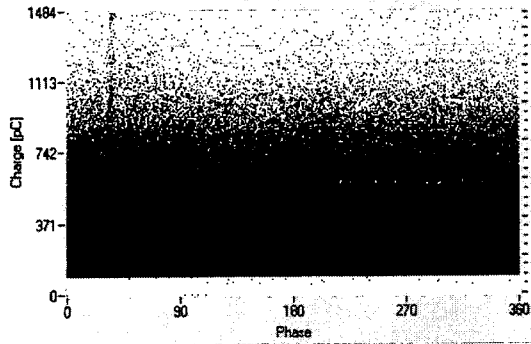


그림 11. RIV 노이즈를 제거한 부싱 탭 결합장치에서의 신호.

Fig. 11. Signal at the bushing tap coupler removed RIV noise.

그림 11은 부싱 탭 결합장치에서 측정되는 신호에서 방송파 신호를 제거한 것으로, 전 위상각에 걸쳐 약 1,500[pC]까지 신호가 측정되고 있다. 그림 11에서 100[pC] 이하의 신호가 나타나지 않는 것은 측정 한계레벨을 100[pC]으로 설정하였기 때문으로, 100[pC] 이하의 신호는 기본 노이즈로 처리하여 부분방전 측정장치의 데이터 처리 부담을 경감하기 위한 것이다. 그림 11에서와 같이 방송파 노이즈를 제거하여도 아직까지 상당히 큰 노이즈가 남아 있으며, 신호의 발생 위상각이 전대역에 걸쳐 지속적으로 발생하고 있으므로, 이는 변압기 내부의 부분방전으로 보기 어려운 형태이다.

그림 12는 그림 11의 신호를 시간과 주파수 영역(FFT)으로 분석한 것으로, 상단의 신호는 시간에 따른 신호이며, 하단의 신호는 이를 주파수 분석한 것이다. 발생신호는 사인파 형태의 노이즈로 주파수는 170[kHz] 대역 부근과 260[kHz] 대역 부

근에서 크게 나타났다.

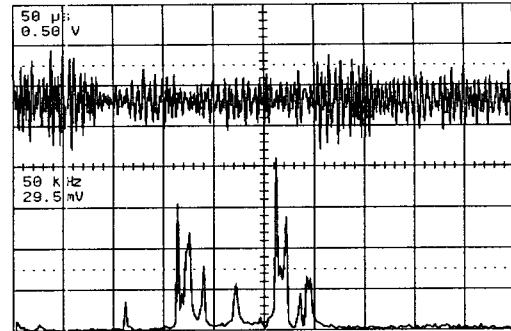


그림 12. 부싱 탭 결합장치에서의 신호 FFT.

Fig. 12. FFT of the signal at the bushing tap coupler.

그림 12와 같은 신호는 측정 대상물 주위에서 지속적으로 발생하는 것으로, 방송파 등의 100~400[kHz] 이의 대역의 신호를 제거하는 RIV 제거 기능으로는 제거되지 않는 노이즈이다. 이와 같이 전 위상각에 걸쳐 지속적으로 나타나는 노이즈는 특정 대역의 band-pass 필터를 사용하여 제거하는 것이 바람직하다.

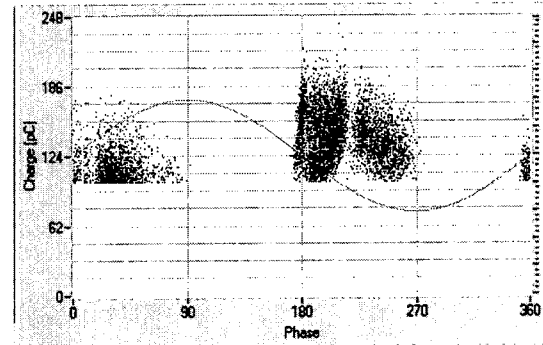


그림 13. 필터를 사용한 후의 신호.

Fig. 13. Signal after using of the filter.

그림 13은 그림 12의 노이즈 신호 주파수 대역에 맞도록 중심주파수 170kHz 및 260kHz 대역의 협대역 필터를 사용하였을 경우에 측정된 신호이다. 그림 13은 그림 12에서 전 위상각에 걸쳐 지속적으로 나타나는 노이즈가 제거되고, 위상각 45도 부근과, 위상각 220도 부근에서만 약 250[pC] 이하

의 신호가 측정되었다.

3.2.2 변압기 외부 노이즈 신호의 측정

변전소의 경우 변압기와 연결된 가공선 및 금구류 등에서 코로나가 발생하며, 이러한 코로나는 전기적으로 연결된 부분에는 동시에 측정되어 진다. 따라서 그림 13의 신호는 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 신호와 변압기 외부에서 발생하는 펄스형태의 노이즈 신호가 중첩된 것으로 보아야 하며, 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 측정하여 제거하여야 한다.

그림 13의 신호에서 변압기 외부에서 발생하는 노이즈를 제거하기 위하여, 시험대상 변압기에 연결된 선로에서 접지선이 인출되어 있는 154kV T/L측 피뢰기, 23kV 구내선로용 모선의 피뢰기, 154kV 변압기측 피뢰기, 345kV 변압기측 피뢰기, 345kV CPD 및 345kV T/L측 피뢰기의 접지선에서 인덕턴스 센서를 이용하여 노이즈 신호를 측정하였다.

이중 154kV T/L측 피뢰기 접지선에서의 노이즈 신호는 위상각 전대역에 걸쳐 약 2[pC]의 미약한 신호가 측정되었다. 23kV 구내선로용 모선의 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호는 RIV 제거기능을 Off 하였을 경우에는 전대역에 걸쳐 약 350[pC]의 신호가 측정되나, RIV 제거기능을 On하였을 경우에는 신호가 거의 측정되지 않았다. 154kV 변압기측 피뢰기에서는 그림 14와 같이 위상각 45도 부근과 위상각 220도 부근에서 약 20[pC]의 신호가 측정되었다. 345kV 변압기측 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호는 전대역에 걸쳐 3[pC] 정도로 아주 미약한 신호가 측정되었다. 345kV CPD에는 도체의 접촉을 위한 단말 코로나 링이 없어 코로나 가청음이 변전소 중에서 가장 심하게 발생하였다. 이 부분에서의 신호는 전대역에 걸쳐 약 30[pC], 위상각 120도에서 100[pC]이 발생하였다. 그러나 345kV CPD에서의 신호는 변압기 부상 시험단자에서의 신호패턴과 상당히 다르게 나타났다. 345kV T/L측 피뢰기에서 측정된 노이즈 신호는 전대역에 걸쳐 약 6[pC] 정도로 미약한 노이즈 신호가 발생하였다.[10]

따라서 본 연구에서는 그림 14와 같이 신호의 크기는 작으나 신호의 패턴이 부상 탭 결합장치에서의 신호와 거의 유사하게 나타난 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 측정된 신호를 변압기 부상 탭 결합장치에서의 노이즈 신호를 제거하는 용도로 사용하였다.

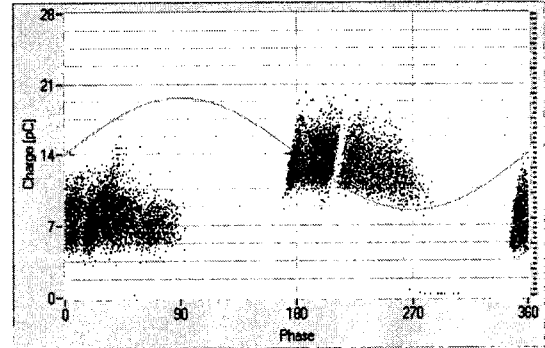


그림 14. 154kV Tr측 피뢰기에서의 노이즈 신호 (RIV On).

Fig. 14. Noise signal at the 154kV Tr Side LA(RIV On).

3.2.3 외부 노이즈를 제거한 부분방전 신호

그림 15는 변압기 외부에서 발생하는 코로나 노이즈를 154kV 변압기측 피뢰기의 접지선에서 인덕턴스 센서를 이용하여 측정하고, 부상 탭 결합장치에서 측정된 신호에서 이 외부 노이즈를 제거한 것이다. 그림 15와 같이 노이즈를 제거한 후의 신호는 전대역에 걸쳐 약 90[pC]의 전하가 가끔 발생하며, 위상각 80도 부근에서 약 190[pC] 정도의 신호가 많이 발생하고 있다.

변압기에서 부분방전 상시 감시의 주요 관점은 부분방전에 의한 위협의 정도를 판별하는 것이며, 이때 부분방전 측정회로의 결합상태에 따라 부분

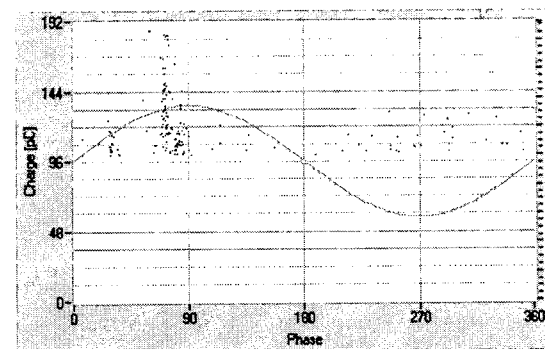


그림 15. 펄스형태의 노이즈를 제거한 부분방전 신호.

Fig. 15. Partial discharge signal removed pulse shaped noise.

방전 전하량의 절대적인 크기는 상당히 영향을 받을 수 있다. 따라서 측정되는 부분방전 전하량의 절대치를 평가하는 것보다는 절연열화의 경향(trend)을 지속적으로 감시하는 것이 더욱 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 그림 15의 위상각 80도 부근에서 발생하는 부분방전 신호를 지속적으로 감시한다면 변압기 부분방전의 상시 감시에 유용한 정보가 될 것이다. 향후 본 시험대상 변압기에서의 부분방전은 지속적으로 데이터를 측정할 예정이며, 절연유 중의 가스분석 결과와 비교하여 이상진단 기준치 등을 설정할 예정이다.

4. 결 론

본 연구에서는 부분방전에 의한 전기적 측정기법을 현장에서 운전중인 변압기에도 적용하기 위하여, 현재까지 가장 큰 문제점으로 지적되어 온 외부 코로나에 의한 노이즈 신호를 제거하고, 변압기 내부의 부분방전에 의한 신호만을 측정하였다.

실험실에서 모의 변압기를 이용하여 변압기 내부에서의 부분방전과 변압기 외부 코로나 노이즈를 동시에 발생시킬 경우의 신호는 외부 코로나에 의한 신호가 내부 부분방전에 의한 신호에 비하여 상당히 크게 나타났으며, 이 상태에서 캐패시턴스 센서를 이용하여 측정한 외부 노이즈를 제거하여 내부 부분방전만을 측정할 수 있음을 확인하였다.

또한 운전중인 345kV 변압기에 적용하여 방송파를 제거하고, 주파수 분석에 따른 협대역 필터를 적용하여 사인파 노이즈를 제거하고, 154kV 피뢰기 접지선에서 펄스형태의 노이즈를 측정하여 제거하여 약 190[pC] 정도의 부분방전을 상시 감시할 수 있음을 보였다.

이와 같이 전기적인 부분방전 측정기법을 노이즈 처리기법을 적용하여 현장에서 운전중인 변압기에 적용하면, 현재 유증가스 분석기법에만 의존해 있는 변압기 진단기술을 한 단계 향상시킬 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] 河村達雄 外, “高電壓電力設備の絶縁診断と監視技術,” 日豪科學技術, pp.16-139, 1984.
 [2] H. Kawada and M. Honda, “Partial discharge automatic monitor for oil-filled power

transformer,” IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. 103, No. 2, pp.422-428, 1984.

- [3] T. Watanabe, et. al., “Partial Discharge Detector for Substation Predictive Maintenance System,” The Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol. 116-B, No. 1, pp.65-73, 1996.
 [4] 久保義昭 外, “變壓器部分放電自動監視裝置の開發とフィールド試験,” 일본전기학회 방전연구회 논문집, Vol. 82, No. 26, pp.11-15, 1982.
 [5] 권동진 외, “초음파 신호 수의 이동평균에 의한 전력용 변압기의 예방진단,” 대한전기학회 논문지, Vol. 45, No. 3, pp.432-437, 1996.
 [6] E. Howells and E. T. Norton, “Detection of Partial Discharge in Transformers Using Acoustic Emission Techniques,” IEEE Trans. PAS, Vol. 97, No. 5, pp.1538~1549, 1978.
 [7] 박재준 외, “이산 웨이블렛 분석과 신경망을 이용한 변압기 열화의 진단,” 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp.645-650, 2000.
 [8] 박재준 외, “음향 방출신호에 대한 이산 웨이블렛 변환기법의 적용,” 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp.585-591, 2000.
 [9] E. Lemke, “User’s Manual of the Partial Discharge Measuring System LDS-6,” LEMKE Diagnostics GmbH, pp.5-79, 2000.
 [10] 권동진 외, “온라인 부분방전 측정기법,” 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp.38-42, 2001.