

결합별 절연유중 부분방전 측정 연구

선중호, 이상화, 김광화
전기연구원

PD Measurement in oil with defects

J.H.Sun S.H.Yi K.H.Kim
KERI

Abstract - Since partial discharges in power transformers weaken their insulation performance, the detection of partial discharge is very important for prevention of fatal incidents. This study describes use of electromagnetic coupler for measurement of partial discharge of transformers. Spiral antennas of which bandwidth is 0.5GHz to 3GHz were used as coupler and setup in chamber for partial discharge tests. Test results showed that output amplitudes are increased with PD increase and frequencies of signal measured by these antennas are mostly distributed below about 800MHz.

1. 서 론

변압기가 장시간 운전되면 인가전계가 임계강도를 초과하여 고체절연물의 열화나 수분, 불순물 같은 결함들이 변압기내에 발생된다. 이러한 결함을 기점으로 해서 부분방전이 발생하고, 방치하면 치명적인 고장으로 이행된다.

최근 전력기기 진단을 위한 부분방전 측정기술이 OFF-Line에서 ON-Line으로 이동하고 있다. RF 전류나, 초음파, 부상탐을 이용한 기술이 변압기에서의 ON-Line으로 부분방전을 측정하기 위하여 사용되고 있다. 그러나 전자파 커플러를 이용한 기술은 설치나 방송 잡음, 감도 등의 문제로 거의 사용되지 않고 있다.

본 연구에서는 전자파를 이용한 변압기에서의 부분방전 측정을 검토하기 위하여 기본적인 연구가 수행되었다. 모델 변압기가 설계 제작되었으며 스파이럴 커플러가 사용되었다. 전자파 진행에 방해가 주는 변압기 내부 구조물을 모의하여 커플러의 출력크기와 주파수 스펙트럼이 분석되었다.

2. 전자파 검출 이론

부분방전에 의한 전자파의 발생, 전파 과정은 어떤 전류원으로부터 시작된 전자파의 방사에 대한 맥스웰 방정식의 해로부터 나타낼 수 있다. 절연물질 내부의 전류원에 의해 만들어진 전자계 분포를 설명할 때 자계 \vec{A} 와 전류밀도 \vec{J} 은 맥스웰 방정식으로부터 방정식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 \vec{A} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{A} = \mu \vec{J} \quad (1)$$

에서 μ : 투자율, ϵ : 유전율 ω : 각주파수

벡터 자계 \vec{A} 는 다음 방정식으로 표현 될 수 있으며 이식은 식(1)의 해가 된다.

$$\vec{A} = \int \int \int \mu \vec{J} \frac{e^{-j\beta R}}{4\pi R} dV' \quad (2)$$

V' : 전류의 체적

R : 발생원과 측정점까지의 거리

식(2)에 있는 자계 벡터 \vec{A} 로부터 해당 위치에 대한 자계 분포를 구할 수 있다. 전계 \vec{E} 는 식(3)과 같다.

$$\vec{E} = -j\omega \vec{A} - j \frac{\nabla(\nabla \cdot \vec{A})}{\omega \mu \epsilon} \quad (3)$$

커플러는 식(3)과 같은 유도 전계를 측정할 수 있는 전류나 전위로 변경시킨다.

3. 실험

3.1 모델 챔버 제작

변압기에서 발생하는 전자파 특성 분석을 위한 부분시험을 수행하기 위하여 전력용 변압기를 무의한 부분방전 시험용 챔버를 그림1과 같이 제작하였다. 그림1에서와 같이 챔버는 부상을 통해서 전압을 인가하기 위한 고전압 전극과 전자파 커플러를 설치하기 위한 3개의 맨홀, 관측창, 전자파 진행을 방해하는 권선이나 코아를 모의한 내부가 비어있는 직육면체형의 방해물, 배유구 등으로 구성되어 있다.

3.2 전자파 커플러

부분방전에 의해서 발생하는 전자파를 측정하기 위한 커플러로서 등각 스파이럴형 안테나가 설계 제작 되었으며 그림2는 맨홀을 통해서 챔버내부에 삽입된 사진을 보여주고 있다. 커플러의 설계 주파수 대역은 0.5에서 3GHz이며 50Ω 동축 케이블을 통해서 신호를 보내기 위하여 발룬(Balun: Balance to unbalance transformer)이 커플러의 출력 터미널에 연결된다. 주파수에 대한 커플러의 반사계수 특성을 Network analyzer(HP 8753D)를 이용해서 분석되었다. 그림3은 반사계수 특성을 보여주고 있으며 500kHz 이상에서 10dB이상의 반사계수를 보여주고 있고 또한 200~300MHz에서도 사용이 가능한 특성을 보여주고 있다.

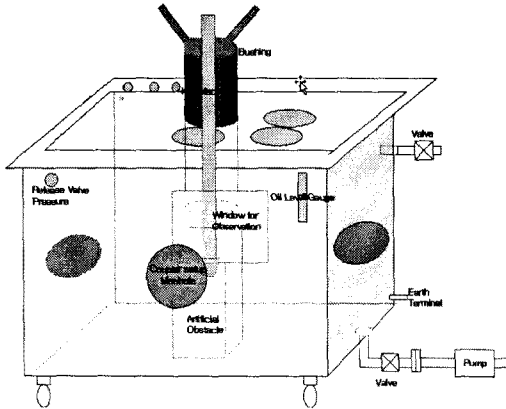


그림 1. 부분방전 시험용 챔버의 구성도

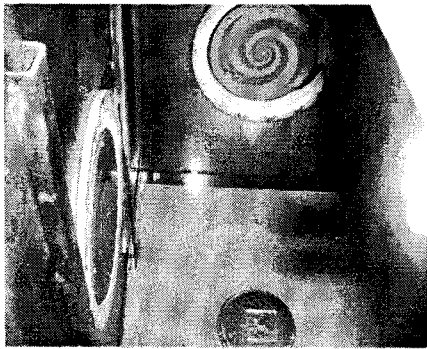


그림 2. 동각 스파이럴 안테나의 설치

3.3 부분방전 실험

두개의 커플러가 챔버의 옆면과 뒷면에 설치되었다. 커플러가 절연유에 충분히 잠길 때 까지 절연유가 채워졌다. 그림4는 실험회로도를 보여주고 있다. 이 그림에서와 같이 부분방전은 IEC60270에 의한 것과 커플러에 의한 것의 2가지로 측정되었다. IEC60270에 의한 것은 부분방전 측정기로서 걸보기 부분방전량을 측정하였고 2GHz 오실로 스코프로서 커플러의 출력크기를 측정하였다. 또한 스펙트럼 분석기(9kHz~3GHz)를 사용하여 신호의 주파수 스펙트럼이 분석되었다. 그림5는 부분방전을 발생시키기 위한 전극구성을 보여주고 있다. 전극사이에 절연지가 삽입되었다. 실제의 설치에서 커플러는 변압기 내부의 공기 중에 설치될 수 있고 공기는 절연유와 전파 특성이 다른 것을 고려하여 다음의 4가지 조건에 대하여 부분방전 실험을 실시하였다. 그러나 본 연구에서는 4가지 중 첫 번째와 두 번째 조건에 대하여 논하고자 한다.

- ① 방해물 없이 부분방전을 발생시키고 유중에 안테나를 설치하는 경우
- ② 방해물 안에서 부분방전을 발생시키고 유중에 안테나를 설치하는 경우
- ③ 방해물 없이 부분방전을 발생시키고 기중에 안테나를 설치하는 경우
- ④ 방해물 안에서 부분방전을 발생시키고 유중에 안테나를 설치하는 경우

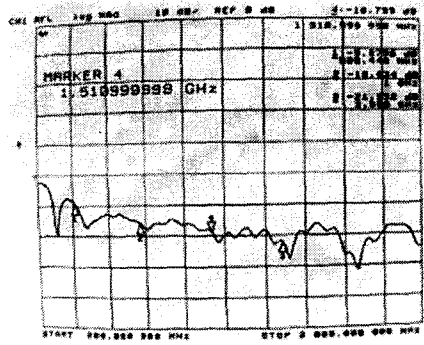


그림 3. 커플러의 반사계수

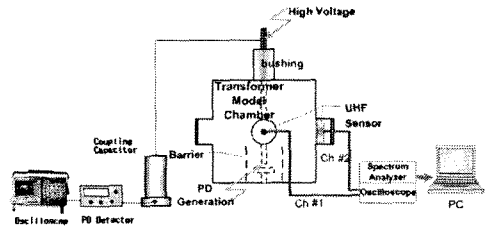


그림 4. 실험회로

4. 실험결과

두 가지 조건에 대한 부분방전 실험으로부터 다음의 결과를 얻었다.

4.1 부분방전양과 출력 크기

그림6은 부분방전에 의한 커플러에서 추정된 출력 파형을 보여주고 있다. 이러한 파형의 피크-피크 전압으로부터 출력크기가 얻어졌다. 그림7은 부분방전양에 대한 커플러 출력의 관계를 보여주고 있다. 출력은 방해물 유무에 관계없이 부분방전양과 비례하는 것으로 나타났고 전 시험 부분방전에서 방해물이 있을 때와 없을 때보다 출력이 더 큰 것으로 나타났다.

감도면에서 두 가지 시험조건 커플러는 10pC이하의 부분방전에서 5~10mV의 크기를 나타냈기 때문에 수pC까지 부분방전을 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

방해물이 없을 때 출력은 PD증가와 함께 증가하지만 없을 때 출력은 30mV 정도에서 포화하는 경향을 나타내고 있다. 그러므로 가능하면 커플러는 변압기 내부에 있는 권선이나 철심, 그 외의 구조물에 의해서 전자파의 진행이 방해 받지 않도록 설치되어야 한다.

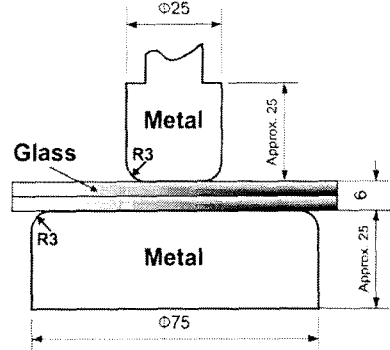


그림 5. 전극의 구조

4.2 주파수 스펙트럼

그림4에서 방해물이 있을 때 Ch#1에 위치한 커플러의 출력신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 100pC 이상의 부분방전이 연속적으로 발생할 때, 3분 동안 측정되었다. 그림8은 방해물이 없을 때 분석된 전자파의 주파수 스펙트럼이 분석된 결과를 보여주고 있다. 그림8과 같이 방해물이 없으면 입력신호의 주파수 스펙트럼은 9kHz와 500MHz사이에서 고르게 분포하며 500MHz이상에서는 감소해서 700kHz 이상에서는 나타나지 않는다.

그림9는 방해물이 있을 때의 주파수 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림9에서처럼 방해물이 있으면 출력신호의 주파수스펙트럼은 600MHz까지 고르게 분포하며 500MHz이상에서는 나타나지 않는다. 그림8과 그림9의 결과에서 절연유내에서 전과된 전자파의 주파수 스펙트럼은 방해물의 유무에 따라 약 100MHz의 적은 차이를 보이지만 유사한 분포특성을 보이는 것으로 나타났다.

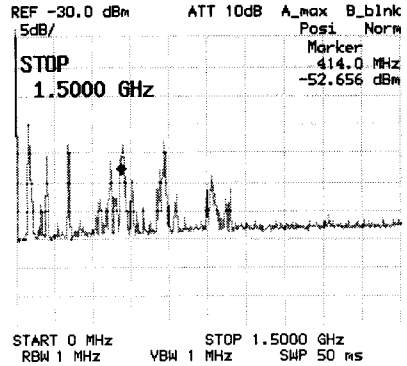


그림 9. 방해물이 있을 때의 주파수 스펙트럼

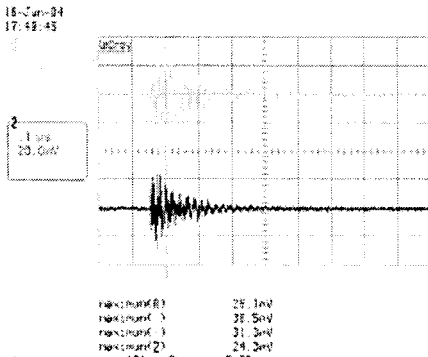


그림 6. 커플러의 출력신호

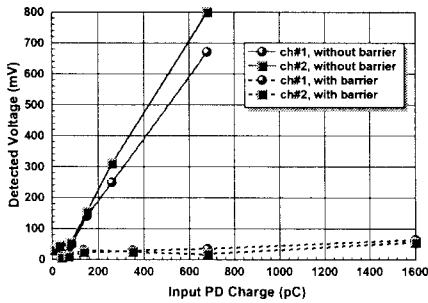


그림 7. PD크기와 커플러 출력과의 관계

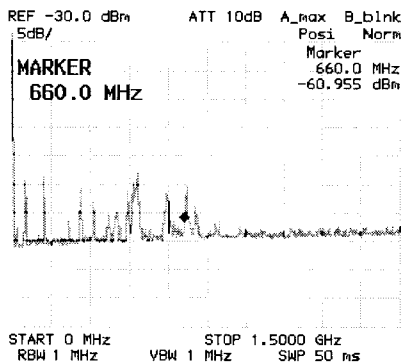


그림 8. 방해물이 없을 때의 주파수 스펙트럼

5. 결 론

절연유속에서 발생된 부분방전에 의한 전과를 측정하였으며 UHF 광대역 커플러를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 방해물의 유무와 관계없이 PD량의 증가에 따른 커플러의 출력이 증가하였지만 방해물이 약 30mA에서 포함된다.
2. 수pC정도의 부분방전량이 전자파 커플러를 이용하여 측정에 가능한 것을 확인하였지만 권선이나 철심과 같이 전과방해물은 감도를 낮추는 것으로 나타났다.
3. 방해물의 유무에 따라 주파수 스펙트럼은 약 100MHz의 작은 차이를 보였지만 유사한 특성을 부여하였다.
4. 절연유속에서의 부분방전은 UHF커플러를 이용하여 측정이 가능한 것을 확인하였지만 방해물에 대한 감도향상과 출력의 선형성 유지, 잡음 제거와 같은 연구의 지속적인 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sang-Hwa Yi et al. "Detection Characteristics of a Novel Coupler for GIS PD Detection", KIEE International Transactions on EA, Vol. 3-C, No. 6, pp. 224-229, 2003
- [2] H. Debruyne, "About the Significance of PD Measurements in Liquids", IEEE Trans. on DEL, Vol. 10, No. 3, June 2003
- [3] "High-voltage test techniques-Partial discharge measurements", IEC Pub. 60270, 2000
- [4] Antenna theory and design, John WILEY & SONS, INC., second edition, pp. 16-20