

변압기에서 전자파를 이용한 부분방전측정 기초연구

선종호, 이상화, 김광화
한국전기연구원

Basic Research of Electromagnetic Wave Method for PD Detection in Power Transformers

Jong-Ho Sun, Sang-Hwa Yi, Kwang-Hwa Kim
KERI

Abstract - 변압기의 고체절연이 열화 되거나 불순물 및 수분이 혼입되어 그러한 결합부분에 임계치 이상의 고전계가 인가되면 부분방전이 발생한다. 현재 변압기에서 부분방전을 검출하기 위하여 부싱탭을 이용하거나 전류센서, 초음파센서 등을 이용하여 부분방전을 검출하고 있지만 전기적인 부싱탭이나 전류센서를 이용한 검출방법은 주변 잡음의 영향을 많이 받고 초음파법은 감도가 낮다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 단점을 보완할 수 있는 방안으로서 전자파를 이용한 부분방전 측정에 대한 기초연구를 실시하였으며, 변압기운전중에 전자파측정에 의한 부분방전감시가 가능한 것으로 나타났다.

였다.

2. 본 론

2.1 부분방전에 의한 전자파의 발생과 측정이론

전력기기 내부에서 부분방전이 발생할 때 전자파가 생성, 전파, 측정되는 과정의 수식화는 임의의 전류 소스로부터 발생하는 전자파 방사 문제에 대한 맥스웰 방정식의 해를 구하는 데서 출발 할 수 있다. 일반적인 매질 내에서 소스전류로 인한 전자계 분포를 설명할 때 자계 벡터전위(\vec{A})와 전류밀도(\vec{J})와의 관계는 맥스웰 방정식으로부터 아래와 같이 결정된다.

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

(μ :매질의 투자율, ϵ :매질의 유전율, ω :전파의 각속도)

이 미분방정식을 \vec{A} 에 관하여 풀면 결정된 \vec{J} 로부터 \vec{A} 를 구할 수 있으며, 일반적인 좌표계에서의 해는 다음과 같다.

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

(v' : 전류소스볼륨, R :측정위치와 소스위치와의 거리)

이러한 자계벡터전위 \vec{A} 로부터 해당위치의 전계(\vec{E})분포는 아래와 같이 쉽게 찾을 수 있다,

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

커플러나 안테나 등의 센서는 이렇게 유도된 전계를 전위차나 전류로 변환해 주는 역할을 하여 측정될 수 있는 신호의 형태로 만들어주게 된다. 실제의 변압기 등의 전력기기 내부의 경우, 부분방전 소스로부터 측정 위치까지의 사이에 여러 가지 전기적인 장애물과 매질변화가 존재하고, 전류소스가 되는 부분이 부분방전이 일어나는 결합부분 자체 뿐 아니라 부분방전에 의해 전류가 유도되는 코일에서부터 부싱까지의 전체 도체가 되기 때문에 측정 파형이나 스펙트럼을 예측하기는 매우 어렵다.

2.2 변압기 모델 챔버 제작

부분방전에 의해 발생하는 전파의 변압기 내부 분포 특성을 측정하기 위하여 그림.1과 같은 변압기 모델 챔버를 설계 제작하였다. 전극이 부싱을 통해 챔버 내부로 들어가게 되어 여러 가지 결합 모델에 고전압을 인가하여 부분방전을 일으키게 할 수 있는 구조이다. 챔버 내부에 절연유를 주입할 수 있게 설계되었으며, 여러 가지 전자파의 상황을 모의 할 수 있게 하기 위해 전극의 위치, 장애물의 위치 및 크기, 관측하는 센서의 위치 등을

1. 서 론

유입식 변압기의 절연은 크게 광유에 의한 액체절연과 셀룰로오스계 고체절연물로 구성되어 있다. 변압기의 고체절연이 열화 되거나 액체절연에 불순물 및 수분이 혼입되고 기포가 발생하여 그러한 결합부분에 임계치 이상의 고전계가 인가되면 부분방전이 발생한다. 부분방전의 측정은 전원을 제거하여 실시하는 사선방식과 운전 중 측정방식이 있다. 부분방전에 의한 변압기의 고장을 효율적으로 예방하기 위해서는 실시간으로 변압기의 부분방전을 상시 감시할 수 있는 운전 중 측정방식이 효율적이다. 부분방전은 전기적인 신호와 더불어 음파, 빛, 전자파 등이 발생한다. 현재 변압기에서 발생하는 부분방전을 운전 중 실시간으로 측정하기 위하여 부싱탭이나 전류센서 등을 이용한 전류신호를 검출방식과, 음파 센서를 이용하여 부분방전을 측정하는 초음파방식 등이 있지만 전기적인 부싱탭이나 전류센서를 이용한 신호검출법은 주변 잡음의 영향을 많이 받고 초음파법은 감도가 낮다는 단점을 가지고 있다.

전자파를 이용한 부분방전측정에서 감도를 향상시키고 잡음 등을 제거하기위하여 대상전력기기의 전자파에 대한 주파수 특성이나 전파특성 등이 분석되어 안테나 주파수 특성이나 신호처리방식이 결정되어야 한다. 하지만 현재 전자파를 이용하여 부분방전을 운전 중에 감시하는 방식은 GIS나 배전반에서 주로 연구되고 있다. 그러나 이러한 적용 전력기기는 전자파 생성의 원인이 되는 전류필스의 주파수 대역이 변압기와 같이 액체절연에서 발생하는 것과는 크게 다른 것으로 알려져 있기 때문에 변압기에서 전자파를 이용한 부분방전측정 방식을 적용하기 위해서는 이에 대한 기초연구가 필요하다.

본 연구에서는 유입식변압기를 대상으로 전자파를 이용한 운전 중 부분방전 측정의 가능성을 검토하기 위하여 기초연구를 실시하였다. 그 연구 내용으로서 변압기에서 부분방전을 모의하여 전자파를 측정하기 위한 변압기 모델 챔버를 제작하였고, 기초 실험용 안테나 센서를 제작하였으며, 부분방전실험을 통하여 액체절연에서의 부분방전에 대한 주파수대역을 분석하였으며, 부분방전 크기에 대한 전파 센서의 출력 크기특성 분석을 실시하

변화시킬 수 있게 하였다.

2.3 기초 실험용 센서 특성

본 실험에서 알고자 하는 것은 변압기 내부에서 일어날 수 있는 여러 가지 부분방전의 메카니즘과, 발생위치 및 측정위치가 달라짐에 따라 검출되는 전자파의 특성이 다. 그러므로 기초 실험용 전파 센서는 최대한 넓은 주파수에서 동작할 수 있어야 하며, 부분방전의 방향에 따

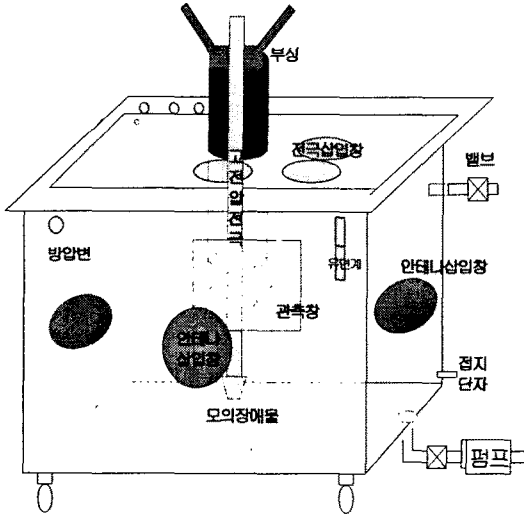


그림 1 실험용 변압기 모델 챔버



그림 2. 기초실험용 전파센서(등각스파이럴 패치안테나)

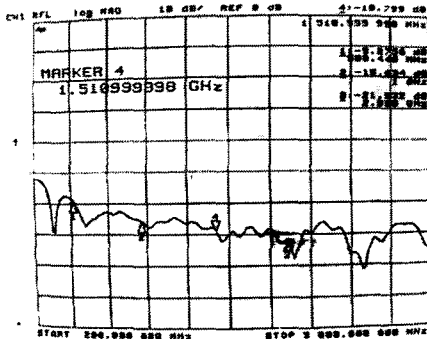


그림 3. 센서의 반사계수 특성

라 신호의 크기가 변화가 없는 원형편파의 특성을 지니면 편리할 것이다. 이러한 조건에 가장 부합하는 센서로서 등각스파이럴 안테나를 그림 2와 같이 설계, 제작하였다. 설계한 동작 주파수는 500MHz~2GHz이며, 50Ω 동축 케이블로 급전하기 위하여 자체 제작한 발룬(balun:balance to unbalance transformer)을 취부하였다. 그림 3은 네트워크 분석기(NP 8753D)로 측정된 센서의 반사계수 특성이다. 설계 한 대로 500MHz 이상에서 10dB이상의 반사계수 특성을 나타내고 있으며, 그 이하의 200MHz~300MHz대역에서도 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

2.4 부분방전 기초 실험

이와 같이 설계, 제작된 변압기 모델 챔버와 센서를 이용하여 부분방전 기초 실험을 실시하였으며 그림 4는 실시한 실험의 장치도이다. 실험은 차폐된 한국전기 연구원의 고전압 홀에서 실시하였으며 실험실시 동안에 수차례 외부노이즈 상황을 체크하여 그에 대한 영향을 최소화하였다. 일정한 전하량의 부분방전을 지속적으로 일으키기 위하여 그림 5와 같은 전극에 3mm 두께의 유리판을 장착하였으며 부분방전량은 IEC 60270 시험법을 통하여 실험과 동시에 측정하였다. 2개의 동일한 센서를 챔버 전면 및 측면에 동시 장착하였으며 각각의 센서로부터 5m의 고주파 동축케이블을 스펙트럼분석기(Advantest, R313A, 9kHz ~ 3GHz)와 오실로스코프(LeCroy, wavePro 960, 2GHz / 16GS/s, 16Mpts)에 연결하였다. 변압기 모델 챔버 내부에 절연유가 없는 상태에서, 전극 주위에 도체 장애물을 설치했을 경우와 하지 않았을 경우 각각의 채널에서 주파수 스펙트럼과 파형을 측정하였다.

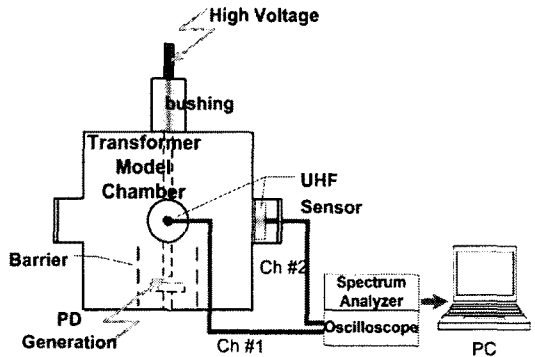


그림 4. 실험장치도

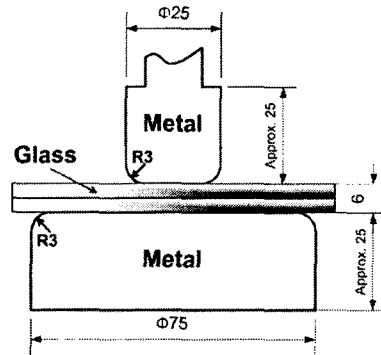


그림 5. 모의부분방전 발생 전극

그림 6은 430pC의 부분방전이 발생할 때 장애물을 넣지 않고 측정된 스펙트럼이다. 300MHz~900MHz의 넓은 대역에서 큰 부분방전 신호가 검출되었고, 그 외의 주파수 대역에서도 간헐적으로 측정되었다. 이러한 경향은 장애물이 있을 때에도 유사하게 나타났다. 그림 7은 220pC의 부분방전이 있을 때의 파형이다. ch#1의 신호가 ch#2보다 조금 더 크게 나타났으며, 이것은 챔버의 구조상 전면센서와 부분방전전극사이의 거리가 측면센서와의 그것보다 조금 더 가깝고, 부분방전이 사각의 유리를 통한 연면방전이기 때문에 지표와 평행한 방향의 전류 성분이 발생하여 전후 좌우성분의 전계에 크기 차이가 발생했기 때문이라고 생각된다. 이것은 전극사이의 시료의 모양과 방향을 바꾸는 등의 추가적인 실험과 추후에 실시할 전자파 해석 등을 통하여 규명할 예정이다.

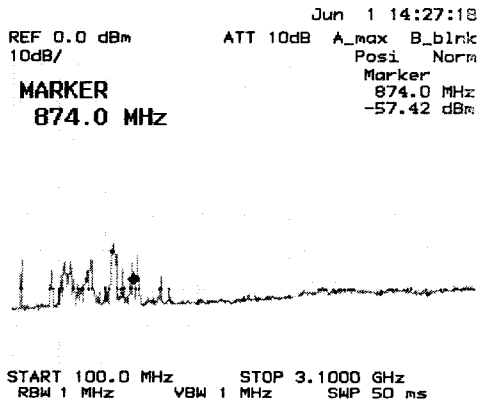


그림 6. 스펙트럼(ch#2, 430pC, 장애물 없음때)

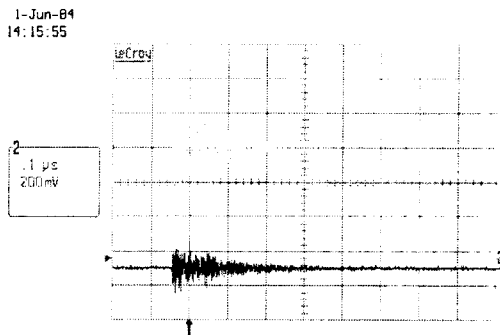


그림 7. 측정파형(입력전하량: 220pC, 장애물 있을때)

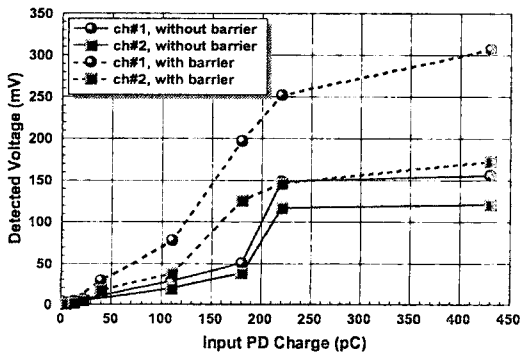


그림 8. 조건별 입력전하량 대 측정파형의 크기 그래프

그림 8은 이러한 여러 조건별 측정 파형 첨부 전압의 그래프이다. 장애물이 있을 때가 없을 때 보다 더 큰 신호가 측정되었다. 이것은 제작한 모의 장애물이 사각기둥 모양이므로 전극과 센서사이에서 직사각형 도파관 역할을 하기 때문이다. 또한, 직사각형 도파관 내부 전계는 도파관의 짧은 변 방향 성분이 우세하므로 이와 방향이 일치하는 전면부 센서로의 검출이 측면부보다 용이하다. 이러한 이유로 장애물이 존재할 때 두 채널간의 크기 차이가 벌어진 것으로 보인다. 그리고, 200pC 이상의 전하량에서 측정신호가 포화하는 경향도 관찰 되었으며, 이러한 현상을 설명하기 위한 추가적인 실험과 해석이 필요하다.

3. 결 론

변압기의 부분방전을 전자파를 통해 진단하기 위한 기초실험을 실시하기 위하여 변압기 모델 챔버와 측정용 센서를 제작하였다. 제작한 센서는 500MHz~2GHz의 넓은 주파수 대역에서 동작하는 것을 확인하였다. 기중 챔버 내부에서 부분방전을 발생시킨 후 신호를 측정할 결과 300MHz~900MHz의 넓은 대역에서 부분방전 신호가 검출되었고, 도파관 역할을 하는 장애물이 있을 때가 없을 때보다 큰 신호가 측정되었다. 센서의 위치별 측정신호 크기의 비교로 부분방전의 방향성 및 위치판별의 가능성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. Debruyne, "About the Significance of PD Measurements in Liquids", IEEE Trans. on DEI, Vol. 10, No. 3, June 2003
- [2] "High voltage test techniques Partial discharge measurements", IEC Pub. 60270, 2000
- [3] R. H. DuHammell and D. E. Isbell, "Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures", IRE Intern. Conv. Record, pp.119-128, 1957.
- [4] Y. Mushiake, "Slef-Complementary Antennas", Springer Verlag, Berlin, 1996.
- [5] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, "Antenna Theory and Design 2nd Edition", Canada, John Wiley & Sons, 1982
- [6] C. A. Balanis "Advanced Engineering Electromagnetics", John Wiley & Sons, 1989. IEC 60243-1
- [7] 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