2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

다중대역 전자파 측정법에 의한 변압기 부분방전의 위치탐지

이상화, 선종호, 김광화
한국전기연구원

Detection of PD Location in Transformer Using the Multiband Electromagnetic Method

Sang-Hwa Yi, Jong-Ho Sun, Kwang-Hwa Kim
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract - 변압기의 진단을 위한 부분방전 측정방법 중 전자파를 이용한 방법은 실시간측정이 가능하고 감도가 좋으며 외부노이즈에 강한 장점이 있어 매우 유망하다. 이러한 상황에서 단순한 부분방전의 측정뿐 아니라 나아가 변압기 내부의 부분방전 위치를 탐지 할 수 있다면, 변압기의 신속한 유지보수에 기여할 수 있을 것이다. 하지만 도체로 이루어진 변압기 외함 및 내부 구조물에 의한 공진 현상과, 결함에 따라 다른 스펙트럼의 부분방전 신호로 인하여 단일대역의 전자파 센서로는 위치탐지의 신뢰성이 떨어진다. 이에 본 논문에서는 위치 탐지용 다중대역 센서를 개발하였으며, 변압기 내부의 구조물 유무 및 부분방전 위치에 따른 신호를 분석하였다.

1. 서 론

유입식 변압기의 절연은 크게 광유에 의한 액체절연과 셀룰로즈계 고체절연물로 구성되어 있다. 변압기의 고체절연이 열화 되거나 액체절연에 불순물 및 수분이 혼입되고 기포가 발생하여 그러한 결함부분에 임계 치 이상의 고전계가 인가되면 부분방전이 발생한다[1]. 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. 현재 사용되고 있는, 변압기의 운전 중 측정방식으로는, 부싱 탭이나 전류센서 등을 이용한 전류신호를 검출방식과 음파 센서를 이용하여 부분방전을 측정하는 초음파방식 등이 있지만 전류신호검출법은 주변 잡음의 영향을 많이 받고 초음파법은 감도가 낮다는 단점을 가지고 있다[2, 3, 4]. 그러나 부분방전에서 발생하는 전자파를 무선으로 측정하는 방법은 실시간측정이 가능하고, 전기적으로 차폐된 변압기의 특성상 감도가 좋으며 외부노이즈에 강한 장점이 있어 매우 유망하다. 이러한 상황에서 단순한 부분방전의 측정뿐 아니라 나아가 변압기 내부의 부분방전 위치를 전자파를 이용한 방법으로 탐지 할 수 있다면, 변압기의 신속한 유지보수에 기여할 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 전자파를 이용한 변압기 유중 부분방전의 위치탐지의 적절한 방법을 모색해 보고, 그 방법에 맞게 설계 제작된 센서를 제안하며, 개발된 센서를 이용한 위치 탐지 실험결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전자파법을 이용한 부분방전 위치탐지에서 다중대역 센싱의 필요성

기중에서 발생하는 부분방전의 스펙트럼이 수 GHz대역까지 분포하는 것과 달리, 변압기 유중에서 부분방전에 의해 발생하는 전자파의 스펙트럼은 수백 MHz이하 대역에 주로 분포하는 것으로 알려져 있으며, 전자파의 특성도 변압기 내부 구조물의 영향을 많이 받는다. 이러한 유중 부분방전의 특성과 절연유의 유전율을 고려한 전자파센서의 최대 크기를 생각하여 측정대상이 되는 주파수를 200~800MHz로 결정하였다.

그림 1과 같이 변압기를 모의한 차폐된 직육면체 도체 내부에 변압기 코일을 모의하여 도체 장애물을 설치한 후, 내부 공간은 절연유에 해당하는 유전체로 채운 상태에서 전자계 해석을 실시하였다. 도체장애물의 전면 좌측 모서리에 PD를 모의한 5kV의 임펄스를 발생시킨 후 센서가 설치될 변압기 네 모서리에서 센서가 측정할 인자인 상하방향 전계를 200MHz, 400MHz, 800MHz에서 계산하였다.

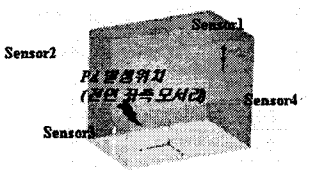

그림 1. 부분방전 발생위치 및 센서위치
(네 모서리에서 상하방향 전계크기해석)

표 1의 결과를 살펴보면, 반드시 부분방전 발생위치에서 가장 가까운 센서3에서 가장 큰 전계가 검출 되는 것이 아님을 알 수 있고, 그 크기도 측정되는 주파수 별로 달라지는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 도체로 이루어진 변압기 외함 및 내부구조물에 의한 공진 현상이 주파수에 따라 다르게 나타나기 때문이며, 위치탐지를 위한 부분방전 신호 검출 시 단일 주파수 성분만 측정한다면 오차가 발생할 수 있음을 의미하는 것이다. 그러나 표1의 결과에서 세 주파수 성분을 모두 고려해 보면, 센서3의 위치가 다른 센서에 비해 전체적으로 큰 전계가 측정되는 경향을 보이고 있으므로, 측정 센서를 단일 주파수 대역이 아닌 다중대역으로 설계할 경우 위치 탐지가 가능할 것으로 보인다. 또한 모의 해석의 경우, 차폐된 구조의 변압기 내부에서는 전자계 손실성분이 매우 적어서 경로에 따른 전계 차이가 미미하게 나타났을 우려가 있으므로, 실제 절연유의 손실성분을 고려한다면 다중 대역 센서의 위치 분해능은 좀 더 나아질 것으로 보인다.

표 1. 센서위치에서 주파수별 상하방향 전계분포

주파수(MHz)	전계크기 (dBV/m)				크기순서
	sensor1	sensor2	sensor3	sensor4	
200	29.5	19.8	26.7	32.5	4 > 1 > 3 > 2
400	40	40.5	49	46.3	3 > 4 > 2 = 1
800	50.7	62.5	58.9	50.8	2 > 3 > 4 =1

2.2 다중 대역 센서의 설계 및 제작

센서는 개방된 절연유에서 200MHz, 400MHz, 800MHz에서 동작하도록 폴디드 다이폴(Folded Dipole)로 설계하였다. 폴디드 다이폴은 일반적인 다이폴에 비해 광대역특성을 갖고 있으며[5], 변압기 모서리에 취부 할 수 있게 세로로 긴 모양이지만, 센서 끝단이 날카롭지 않으므로 고전계에도 잘 견딘다.

센서의 급전부는 동축케이블과의 매칭을 위해 전체 센서 대역에서 동작하는 광대역 발룬을 설계하여 취부 하였다. 그리고 그림 2, 3과 같이, 센서를 변압기 모서리에 장착하는 동시에 회전할 수 있게 센서 고정부를 설계 제작하였으며, 센싱된 신호가 발룬을 통해 변압기 챔버 상판으로 나올 수 있게 케이블을 연결하였다.

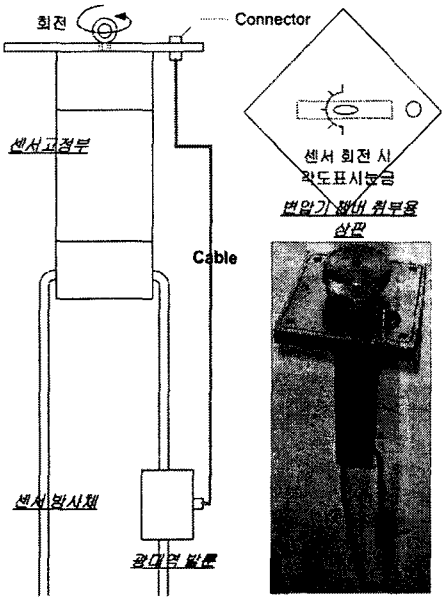

그림 2. 센서 및 센서 고정부 구조 및 사진

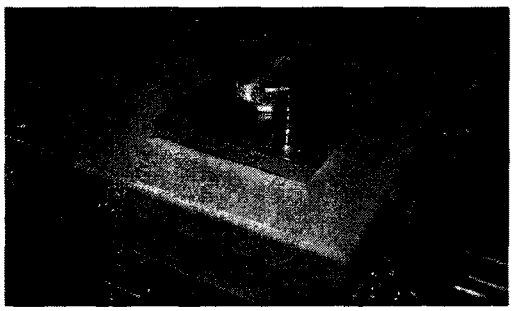

그림 3. 센서를 변압기 챔버에 장착한 사진

그림 4는 개방된 공기중에서 네트웍분석기(Agilent E8358A)를 이용하여 측정한 제작한 센서의 반사계수이다. 10dB기준으로 269MHz~367MHz, 700MHz, 950MHz에서 동작하는 것으로 나타났으며, 절연유의 비유전율을 감안하면 개방된 절연유 내부를 기준으로 설계한 주파수를 어느 정도 만족하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5는 센서를 절연유를 채운 변압기 챔버 내부에 설치한 후 측정한 반사계수 특성이다. 개방된 공간의 특성과는 많은 차이를 나타내고 있지만, 대상 주파수인 수백 MHz대역 중 여러 주파수대역에서 상당히 넓게 동작하고 있다.

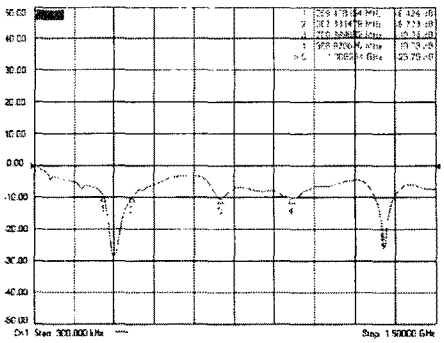

그림 4. 기중에서 다중대역 센서의 반사계수

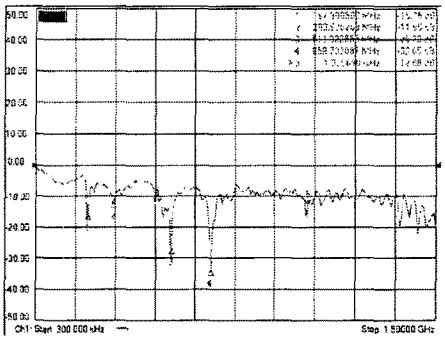

그림 5. 변압기 챔버 내부 유중에서 다중대역 센서의 반사계수

2.3 센서위치에 따른 부분방전신호 측정결과

실험용 변압기 챔버는 그림 6과 같이 가로 0.9m, 세로 0.6m, 높이 0.9m의 차폐된 직육면체 도체판으로 제작되었으며, 내부에 변압기 코일을 모의한 가로 0.2m, 세로 0.3m, 높이 0.6m의 도체 장애물을 설치하였다. 변압기상부 판의 네 모서리 중 세 곳에 제작된 그림 2의 센서를 취부 하였으며, 각각의 센서는 수평방향으로 회전이 가능하다. LEMKE LDIC-5/UHF 교정용 펄스발생기로부터 부분방전을 모의한 신호를 발생시켜 그림 6의 세가지 위치에서 오실로스코프 (Lecroy wavePro960 /2GHz /16GS/s /16Mpts)를 이용하여 측정하였다.

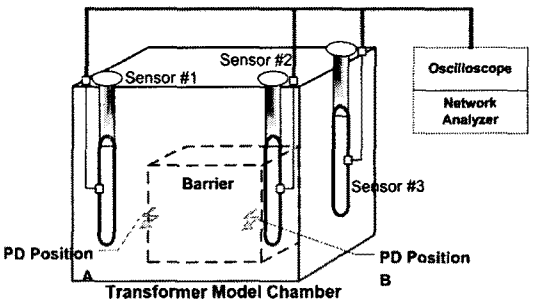

그림 6. 실험 장치 구성도

그림 7은 변압기 챔버 내부에 절연유를 채우지 않은 상태로 PD Position A에서 부분방전을 모의하여 측정한 파형이다. 최초 신호의 시작 시간으로 어느 정도 위치를 파악할 수 있지만, 신호의 크기는 센서별로 큰 차이가 없었다.

그림 8은 같은 조건에서 실제 변압기와 같이 절연유를 가득 채운 상태에서 실험을 실시한 결과이다. 기중에서와는 달리 부분방전위치에서 가까운 센서1 에서 측정한

결과가 이외의 센서에 비해 두 배 이상 큰 최대전압을 보여주고 있다. 그림 9는 부분방전의 위치를 PD Position B로 하고 유중에서 측정한 파형으로, 역시 가장 가까운 센서2에서 타 위치보다 두 배 이상 최대전압의 신호를 보여준다. 이것은 변압기 절연유의 손실성분이 전자파 신호전달 경로에 큰 영향을 끼쳤기 때문으로 생각되며, 이러한 특성을 부분방전의 위치파악에 이용할 수 있을 것이다.

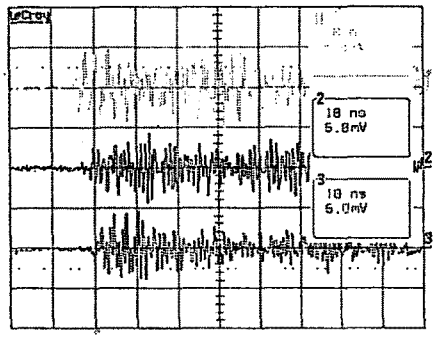

그림 7. 유중, 위치A PD발생 시 파형

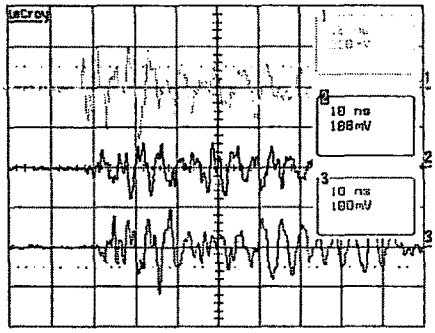

그림 8. 유중, 위치A PD발생 시 파형

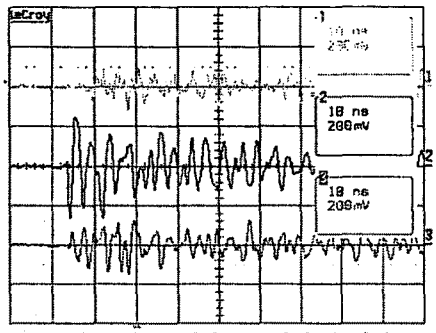

그림 9. 유중, 위치B PD발생 시 파형

표 2는 유중, 위치A에서 PD발생 시 센서의 각도를 변화시킨 후 측정한 신호의 최대값들이다. 센서가 변압기의 중심방향으로 세로로 서 있을 때를 0°의 기준으로 잡았다. 센서2 와 센서3의 회전 시 편차가 작은 것에 비해, 부분방전 발생 위치와 가까운 센서1의 결과는 각도에 따라 세 배에 가깝게 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 일반적인 다이폴과 달리 센서의 near field에서의 전계 패턴이 수평 회전방향으로 대칭이 아닌, 폴디드 다이폴의 특성 때문이다.

측정된 파형의 최대전압(mV)					
센서 번호	센서의 각도				
	-90°	-45°	0°	45°	90°
1	240	450	240	170	160
2	70	80	70	80	80
3	65	80	80	70	80

표 2. 센싱 각도에 따른 센서별 측정된 파형의 최대전압(유중, 위치A PD발생)

3. 결 론

전자파를 이용한 변압기 유중 부분방전의 위치탐지를 위한 다중대역 센싱의 필요성을 전자파 해석을 통하여 확인하였다.

절연유가 주입된 변압기 내부 환경에서, 수백 MHz를 대상으로 다중대역으로 동작하는 센서를 설계 제작하였다.

설계한 센서와 변압기 모델 챔버를 이용한 위치탐지 실험에서, 기중에서와는 달리 유중에서는 부분방전원에 가까운 센서에서 확연히 더 큰 신호가 측정되는 것으로 나타났다.

설계한 센서로 측정 시 부분방전원에 가까운 센서에서 그 외의 센서에 비해 센싱각도에 따른 편차가 큰 것으로 나타났다.

이러한 결과를 이용한다면 전자파법의 부분방전 위치탐지가 가능할 것이다.

[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 yechniques-Partial discharge measurements", IEC Pub. 60270, 2000

[3] L. E. Lundgaard, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations; A Theoretical and Experimental Basis", IEEE/PES 1990 Winter Meeting, pp. 1-8, February 1990.

[4] D. F. Binns, A. H. Mufti and N. H. Malik, "Optical Discharge Detection in SF6-insulated Systems", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 25, No. 2, pp. 405-414, April 1990.

[5] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, "Antenna Theory and Design 2nd Edition", Canada, John Wiley & Sons, 1982.