

변압기용 부분방전 측정기술개발

김광화, 이상화, 선종호  
한국전기연구원

Development of PD Measurement Technology for Power Transformers

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

**Abstract** - 본 논문은 변압기 내부에서 부분방전에 의한 전자파 시뮬레이션을 위하여 200MHz, 400MHz, 800MHz에 대해서 전자파의 세기 분포를 계산 하였다. 하나의 주파수에서는 거리와 세기의 관계가 없는 것으로 보였지만 3개의 주파수를 종합하면 거리와 세기가 관계 있는 것으로 평가되었다. 이와 같은 부분방전측정에 알맞은 폴딩드 다이폴 센서를 설계하였고 모델 변압기에서 모의 펄스를 사용하여 측정을 하였다.

각하여 측정대상이 되는 주파수를 200-800MHz로 결정 하였다.

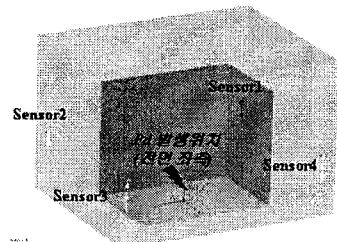


그림 1. 부분방전 발생위치 및 센서위치

1. 서 론

유입식 변압기의 절연은 크게 광유에 의한 액체절연과 셀룰로오스계 고체절연물로 구성되어 있다. 변압기의 고체 절연이 열화 되거나 액체절연에 불순물 및 수분이 혼입 되고 기포가 발생하여 그러한 결함부분에 임계치 이상의 고전계가 인가되면 부분방전이 발생한다[1]. 부분방전의 측정은 전원을 재거하여 실시하는 오프라인(Off-line)방식과 온라인(On-line) 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 변압기 탱크 내부에 전자파 센서를 설치하여 부분방전에서 발생하는 전자파를 측정하는 방법은 실시간측정이 가능하고, 전기적으로 차폐된 변압기의 특성상 감도가 좋으며 외부 노이즈를 어느 정도 차폐하는 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.

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. 도체 장애물의 전면 좌측에 PD를 모의한 5kV의 임펄스를 발생시킨 후 센서가 측정할 인자인 상하방향 전계를 200MHz, 400MHz, 800MHz에서 계산하였다.

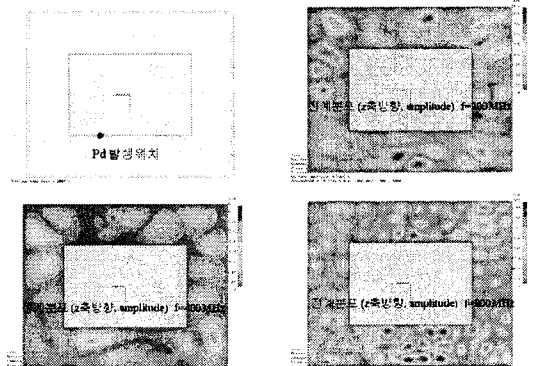
그림 2는 여러 위치에서 살펴 본 주파수별 계산된 전계 분포이며, 표 1의 결과는 센서위치에서의 주파수별 z방향 전계크기를 나타내는 것이다. 특정한 하나의 주파수만 살펴본다면, 센서위치와 부분방전 위치사이의 거리가 반드시 전자파 센서의 감도에 비례하는 관계가 아니라는 것을 확인할 수 있다. 그러나 전자파 진행 경로에서 감쇄작용이 일어 날 수 있는 실제 절연유를 사용하고, 여러 주파수 성분들을 모두 고려하여 측정한다면 부분방전의 대략적인 위치를 예상 할 수 있을 것이다. 그러므로 센싱 시스템 설계 시 동작주파수를 하나로 한정하지 말고 다중주파수로 설계하면 좋을 것이다.

따라서 본 논문에서는 전자파를 이용한 변압기 유증 부분방전의 위치탐지의 적절한 방법을 모색하기 위하여 시뮬레이션 범에 의한 변압기 내에서 전자파의 분포특성과 이의 측정에 알맞은 센서의 해석 설계 결과를 소개하고자 한다.

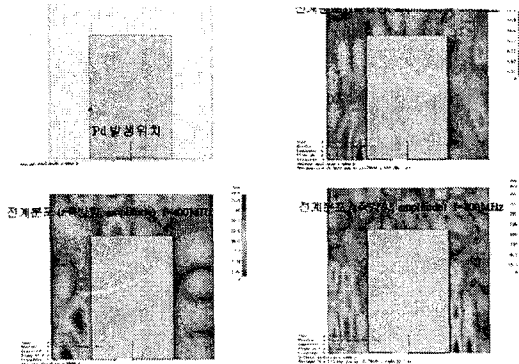
2. 본 론

2.1 변압기 내부의 전자파 분포

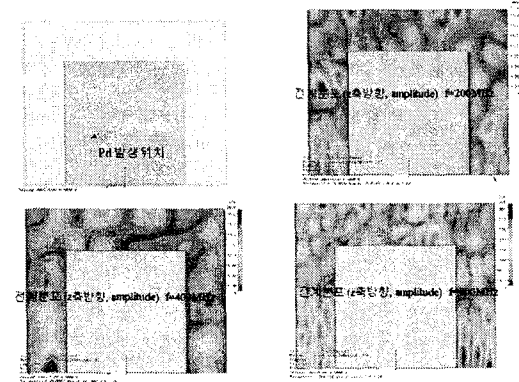
특정조건에서 발생하는 부분방전의 스펙트럼이 수 GHz대역까지 분포하는 것과 달리, 변압기 유증에서 부분방전에 의해 발생하는 전자파 스펙트럼은 수백 MHz 이하 대역에 주로 분포하는 것으로 알려져 있으며, 전자파의 특성도 변압기 내부 구조물의 영향을 많이 받는다. 이러한 유증 부분방전의 특성과 절연유의 유전율 그리고 전자파 잡음 등을 고려한 전자파센서의 최대 크기를 생



(a) z축에 수직인 평면



(b) x축에 수직인 평면



(c) y축에 수직인 평면

그림 2. 부분방전 발생위치 및 센서위치

표 1. 센서위치에서 주파수별 z방향 전계크기

| 주파수(MHz) | 전계크기 (dBV/m) |         |         |         | 크기순서    |
|----------|--------------|---------|---------|---------|---------|
|          | sensor1      | sensor2 | sensor3 | sensor4 |         |
| 200      | 13.7         | 11.7    | 21.54   | 17.7    | 3>4>1>2 |
| 400      | 14.1         | 13.9    | 7.7     | 14.5    | 4>1>2>3 |
| 800      | 29.4         | 47.3    | 52.5    | 40      | 3>2>4>1 |

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

그림 3은 설계된 센서의 시뮬레이션 된 주파수별 azimuth 방사패턴이다. 세 가지 동작 주파수에서 방사패턴이 동일하지 않으므로 다중대역에서 측정되어야 할 것이다.

## 2.2 부분방전 신호 측정결과

실험용 변압기 챔버는 그림 4과 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 고정용 펄스발생기로부터 부분방전을 모의한 신호를 발생시켜 그림 6의 세가지 위치에서 오실로스코프 (Lecroy wavePro960 /2GHz /16GS/s /16Mpts)를 이용하여 측정하였다.

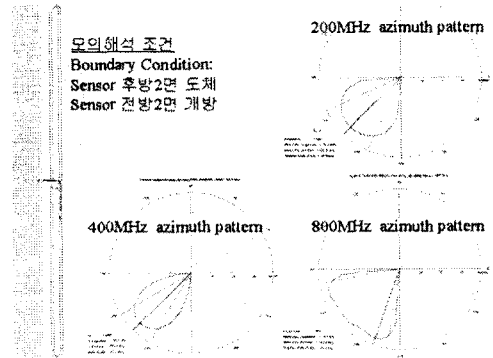


그림 3. 설계한 센서의 유증 azimuth 방사패턴

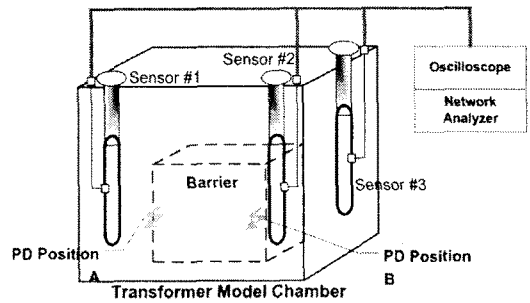


그림 4. 실험 장치 구성도

그림 5는 실제 변압기와 같이 절연유를 가득 채운 상태에서 실험을 실시한 결과이다. 부분방전위치에서 가까운 센서1에서 측정된 결과가 이외의 센서에 비해 큰 결과를 보여주고 있다. 그림 6은 부분방전의 위치를 PD Position B로 하고 유증에서 측정된 파형으로, 역시 가장 가까운 센서2에서 타 위치보다 큰 전압의 신호를 보여준다. 이것은 특정주파수만을 필터링 하지 않고 전적으로 센서의 특성에 의존하여 측정된 것이기 때문인 것으로 사료된다.

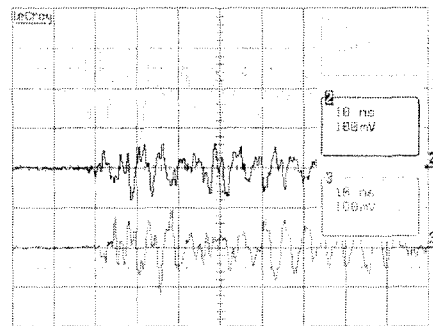


그림 5. 유증, 위치A PD발생 시 파형

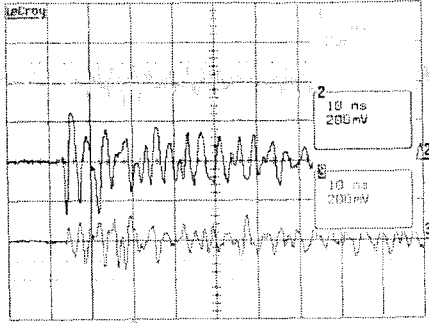


그림 6. 유중, 위치B PD발생 시 파형

### 3. 결 론

본 연구에서 수행된 변압기 부분방전 발생에 따른 전자파 방사특성의 시뮬레이션에서는 하나의 특정주파수에 대해서는 거리와 세기와의 관계가 없는 것으로 보이나 3개의 특정주파수에 대하여 평가하면 거리와 세기가 관계 있는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 방식에 가장 적합한 센서는 폴딩 다이폴 센서인 것으로 평가되었으며, 이 센서로 실측하여 부분방전 위치추적의 가능성을 보여주었다. 향후 더 많은 연구를 통하여 변압기 부분방전 측정기술을 개발할 예정이다.

#### [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] 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 2<sup>nd</sup> Edition", Canada, John Wiley & Sons, 1982