

전력변압기 부분방전 진단을 위한 UHF 센서 개발

류은태*, 황경록, 정재룡, 양항준
 *(주)효성 중공업연구소

DEVELOPMENT OF UHF SENSOR FOR
 PARTIAL DISCHARGE DIAGNOSIS OF POWER TRANSFORMER

Eun-Tae Ryu*, Kyung-Rok Hwang, Jae-Ryong Jung, Hang-Jun Yang
 Hyosung Corporaton Power & Industrial system R&D Center, KOREA

Abstract - 변압기의 고체 절연이 열화 되거나 불순물 및 수분이 혼입되어 임계치 이상의 고전계가 인가되면 결합부분에서 부분방전이 발생한다. 현재 변압기에서 부분방전을 검출하기 위해서는 부싱탭을 이용하거나 전류센서, 초음파센서 등을 이용하여 부분방전을 검출하고 있지만 전기적인 부싱탭이나 전류센서를 이용한 검출 방법은 주변 잡음의 영향을 많이 받고 초음파법은 감도가 낮다는 단점을 가지고 있다.

이에, UHF 방식을 이용한 부분방전 검출 기술이 전력기기의 초기 고장진단을 발견하는 효과적인 방법으로 인식되고 있다. 최근에는 이러한 UHF 진단방식의 높은 감도, 외부노이즈에 대한 적은 영향, 온라인 측정의 가능성의 장점으로 전력용 변압기에도 적용되고 있다.

본 논문에서는 전력 변압기에서 PD 진단에 적합한 UHF 센서의 개발에 대해서 소개한다. 제안된 UHF 센서는 광대역(500 ~ 1,500MHz)에서 측정할 가능하며 감도가 우수하며 특정 대역에서 공진점을 가지는 다중공진 모노폴 안테나 타입이다. 안테나 시뮬레이션 및 해석을 통해 유종 부분방전을 모의하여 감도 측정을 실시한 결과 제안된 UHF 센서가 전력용 변압기의 부분방전 측정에서 높은 감도를 나타냈으며, 기존 측정 방식의 단점을 보완할 수 있는 방안으로서 전자파를 이용한 부분방전 측정에 대한 기초연구를 실시하여 변압기 운전중에 전자파 측정에 의한 부분방전 감시가 가능한 것으로 나타났다.

1. 서 론

전력수요가 증가함에 따라 전력설비는 대용량, 초고압화가 되고 있으며 변전소는 무인화되는 추세이다. 이와 같이 대용량화된 전력설비에 사고가 발생하면 그 파급효과가 광범위하게 수용가에 미치며 복구에 장시간이 소요되므로 전력설비의 사고를 미연에 방지할 수 있는 절연진단의 필요성이 증가하고 있다. 변압기의 중대사고 요인인 내부절연이상은 대부분 부분방전을 수반하고 부분방전과 변압기의 절연수명은 깊은 상관관계가 있으므로 변압기내의 부분방전을 측정함으로써 변압기 절연사고를 미연에 방지할 수가 있다. 유입식 변압기의 절연은 크게 광유에 의한 액체 절연과 셀룰로오즈계 고체 절연물로 구성되어 있다. 변압기의 고체 절연이 열화 되거나 액체 절연물에 불순물 및 수분이 혼입되고 기포가 발생하여 임계치 이상의 고전계가 인가되면 결합부분에서 부분방전이 발생한다. 변압기내의 부분방전 검출을 위한 방법은 초음파 측정법, 유증가스 분석법, 진동 측정법, 전기적 측정법, tan δ, 전자파 측정법이 있다. 전자파를 이용한 부분방전 측정에서 감도를 향상시키고 잡음 등을 제거하기 위하여 대상전력기기의 전자파에 대한 주파수 특성이나 전파 특성 등이 분석되어 안테나 주파수 특성이나 신호처리 방식이 결정되어야 한다. 하지만 현재 전자파를 이용하여 부분방전을 측정하고 감시하는 방식은 GIS나 배전반에서 주로 연구되었다.

그러나 이러한 전력기기는 전자파 생성의 원인이 되는 전류펄스의 주파수 대역이 변압기와 같은 액체 절연에서 발생하는 것과는 다른 것으로 알려져 있다. 절연과피에 의하여 변압기 내부에 사고가 발생하면 이것은 대형사고로 진전될 가능성이 높고 사고원인의 추정이나 복구 작업이 매우 어렵다. 따라서 변압기의 사고를 예방하기 위하여 원인별 부분방전을 검출하고 부분방전의 원인을 진단하기 위한 기초 연구가 필요하다. 그러나 기존의 IEC60270에 따른 PD 측정은 주변환경의 제약과 외부 잡음으로 부분방전 측정이 어렵기 때문에 전력기기 운전중 부분방전 측정에서 잡음의 영향을 적게 받고 환경적인 제약이 적은 전자파 방식의 부분방전 진단이 해외에서 널리 연구 개발되고 있다. 그 중에서도 가스 절연 개폐기의 부분방전 진단 방식으로 널리 활용되고 있는 UHF 방식은 높은 감도와 외부 잡음에 대한 적은 영향과 온라인 측정의 가능성을 가지고 있다.

또한 전력기기의 결합 유무 뿐만 아니라 결합의 종류, 결합의 위치, 결합의 위험 상태까지 분석할 수 있다. 최근에는 이러한 UHF 방식이 전력용 변압기의 PD 진단방식으로 적용되고 있다.

이점에 주목하여 본 논문에서는 전력 변압기에서의 UHF 센서 적용 시

고려해야 할 조건을 검토하여 전력 변압기의 PD 진단에 적합한 UHF 센서의 개발에 대해 소개한다. 개발된 두가지 Type의 센서는 다중공진을 이용하여 광대역(500 ~ 1,500MHz)의 공진 특성을 가지도록 설계된 모노폴 안테나 타입 UHF 센서와 일반 Cone 안테나 타입 UHF 센서이다. 제작된 두 가지 Type UHF 센서의 감도를 측정하여 센서의 성능을 검증하고 그 결과를 나타내었다.

2. 본 론

2.1 UHF 센서 디자인

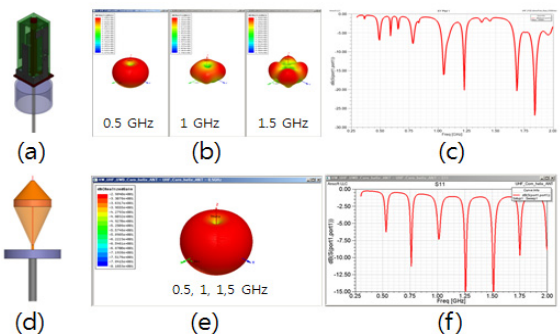
도체 외벽으로 둘러 쌓인 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 전자파 신호를 측정하기 위해서는 센서가 변압기 내부와 통하는 외벽에 장착되어야 한다. 기존 설치/운전중인 변압기의 내부에 UHF 센서를 설치하는 방법으로 변압기 외벽의 Drain Valve를 통해 UHF 센서를 장착하는 방법이 주로 사용된다.

이와 같이 좁은 Drain Valve 내부에 UHF 센서가 장착되기 위해서는 Drain Valve의 내경 및 길이에 맞게 UHF 센서가 설계되어야 한다. 또한 변압기 내부 도체 구조물에 대한 감쇄가 크므로 설계된 UHF 센서는 변압기 임의의 위치에서 발생한 부분방전 신호를 측정할 수 있도록 충분한 수신감도를 가지도록 설계되어야 한다.

이러한 조건을 만족하는 UHF 센서를 설계하기 위해서 다양한 형태의 안테나에 대한 설계 검토를 수행한 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 센서 동작을 최적화 하였으며 해석을 통해 성능을 검증하였다.

2.2 UHF 센서 모델링

실제 변압기의 Drain Valve 장착 조건과 동일한 환경에서 센서를 모델링 하여 센서의 성능을 검증하고 최적화를 수행했으며, 시뮬레이션 해석을 통해 다중 공진 특성을 가지는 두 가지 Type의 UHF 센서를 설계하였다. 그림 1은 두 가지 Type UHF 센서의 모델링 결과를 보여주고 있다.



<그림 1> UHF 센서 모델링(모노폴/Cone Type)

첫 번째 Type은 다중공진이 가능하도록 전극의 패턴을 변형한 모노폴 안테나 Type UHF 센서이다. 긴 전송전로의 접지선이 “-” 전극의 역할을 하여 UHF 대역을 만족하는 센서로 동작하도록 디자인 되었다. Monopole 안테나 Type UHF 센서는 소형화 및 광대역 안테나 특성을 구현하기 위해 절연체를 센서 전극의 몸체로 활용하였으며 500 ~ 1,500MHz 대역에서 다중공진이 발생하도록 절연체의 4면에 각각 긴 패턴과 짧은 패턴의 “+” 전극을 조합하여 수신주파수 대역에 해당하는 1/4λ의 물리적 안테나의 길이를 갖도록 설계 하였다.

두 번째 Type은 Cone 안테나 Type UHF 센서이다. 이 Type 역시 긴 전송전로의 길이 변경, 센서 전극의 형태 및 직경을 조절하여 센서를 최적화 하였다.

그림 1-(b)와 (c)는 모노폴 안테나 Type UHF 센서의 Radiation Pattern 및 반사손실을 나타내며 580MHz, 840MHz, 1,125MHz, 1,370MHz 대역에서 4개의 공진 주파수를 가진다. 그림 1-(e)와 (f)는 Cone 안테나 Type UHF 센서의 Radiation Pattern 및 반사손실을 나타내며 530MHz, 770MHz, 1,020MHz, 1,260MHz 대역에서 4개의 공진 주파수를 가지고 있음을 알 수 있다. Cone 안테나 Type UHF 센서는 500MHz, 1,000MHz, 1,500MHz 대역에서 모두 동일한 Radiation Pattern 을 보이지만 모노폴 안테나 Type UHF 센서는 대역별로 다른 Radiation Pattern을 보이고 있다. 그러나 두 Type 모두 센서의 전방향 및 측방향으로 방사사가 이루어짐을 확인할 수 있었다.

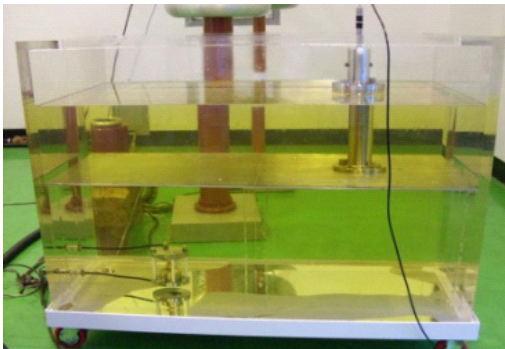
2.3 시험장치

본 논문에서는 부분방전원을 모의하기 위하여 그림2와 같이 PD Source를 포함한 시험 챔버를 제작하였다. PD 발생장치는 변압기 내부의 금속이물에 의한 부분방전을 모의한 Free Particle Type의 PD 발생장치로서 두 전극 사이에 지름 1.5mm인 Stainless Steel 구를 삽입한 후 절연유를 채워서 제작하였다.

개발된 UHF 센서의 감도 측정을 위해 그림 2와 같이 모의 챔버를 제작하였다. 모의 챔버는 PD Source에 의해 발생하는 PD 전자과 신호의 반사를 최소화하기 위해 1200*600*800mm 크기의 아크릴 재질로 제작하였다. UHF 센서가 변압기 내부에 동작하는 것과 동일한 조건에서 동작할 수 있도록 Drain Valve와 주변 실제 변압기의 외벽 도체 Boundary의 효과를 내기 위해 도체 알루미늄 판을 사용하여 넓은 도체면에 센서가 취부 되도록 구성하였다.

모의 챔버 내부에 PD Source을 위치시키고 변압기 절연유를 센서가 취부된 Drain Valve에 가득 채웠다. 센서는 실제 변압기 Drain Valve에서 취부 조건과 동일하게 알루미늄판 벽면에 일치하도록 취부 하였다. 설치된 PD Source의 인가 전압을 결정하기 위하여 IEC 60270에서 제안하는 측정법에 따라 ERA 장비로 측정 하였다. ERA 측정 결과 AC Power Supply로 PD Source에 인가하는 전압이 11.5kV일 때 PD Source에서 56pC의 전자과 신호가 발생함을 확인하였다.

센서의 성능을 검증하기 위한 성능 파라미터로써 오실로스코프(TDS-6404)와 Spectrum Analyzer(E4401B)를 이용하여 각각 10회씩 센서 출력을 측정하였다.

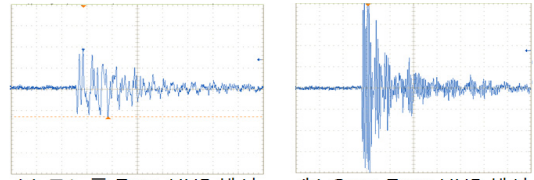


〈그림 2〉 시험장치 구성도

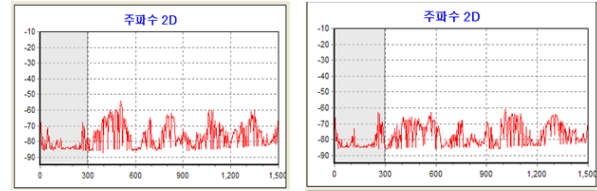
2.4 시험 결과

그림 3은 두 가지 Type의 UHF 센서의 오실로스코프 시험 결과를 나타낸다. 측정결과 모노폴 안테나 Type UHF 센서는 유중 모의 PD Source가 56pC의 부분방전 전자과 신호 발생 시 최대값 평균 37mV의 측정 감도를 나타내었으며 Cone Type UHF 센서는 최대값 평균 91mV의 측정 감도를 나타내었다. Cone Type UHF 센서가 모노폴 Type UHF 센서에 비해 측정 감도가 우수하였다. 또한 Cone Type UHF 센서에서 측정된 오실로스코프 Pulse가 모노폴에 비해 rise time 이 짧고 신호 변동 주기도 짧게 나타났다.

그림 4는 두 가지 Type의 UHF 센서의 300 ~ 1,500MHz 대역에서 측정이 되었다. 측정 결과 Cone Type UHF 센서의 최대값 평균은 -61.77dBm이고 모노폴 Type UHF 센서의 최대값 평균은 -54.51dBm이다. 두 가지 Type 모두 다중공진이 발생하는 주파수 대역 주변에서 부분방전 측정이 두드러지는 것으로 나타났다. 그러나 Spectrum Analyzer 시험 결과가 오실로스코프 시험 결과와 상반되는 결과를 보이는 것은 두 가지 Type의 UHF 센서가 대역별 수신 감도가 서로 상이하기 때문에 나온 결과이다.

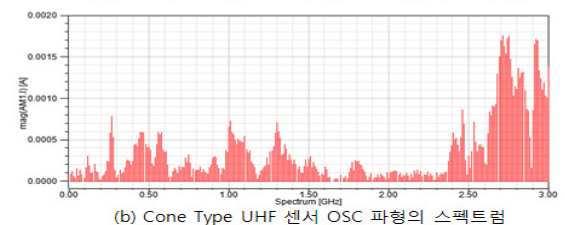
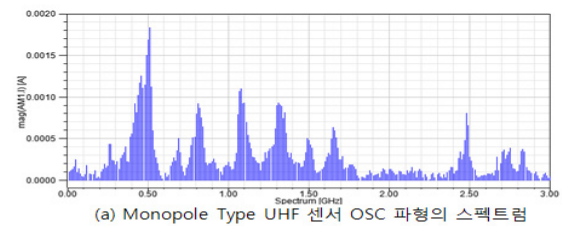


(a) 모노폴 Type UHF 센서 (b) Cone Type UHF 센서
〈그림 3〉 센서 Type 별 UHF 신호의 오실로스코프 파형 (a) 모노폴 Type UHF 센서 (b) Cone Type UHF 센서



(a) 모노폴 Type UHF 센서 (b) Cone Type UHF 센서
〈그림 4〉 센서 Type 별 UHF 신호의 주파수 스펙트럼 (a) 모노폴 Type UHF 센서 (b) Cone Type UHF 센서

그림5는 이를 검증하기 위하여 두 가지 Type의 UHF 센서로 측정된 각각의 오실로스코프 측정 파형을 주파수별 파워로 분석한 결과를 나타낸다. 모노폴 Type UHF 센서는 낮은 주파수 대역에서 수신 감도가 높은 반면 Cone Type UHF 센서는 Spectrum Analyzer가 측정하지 못하는 높은 대역에 대해 수신감도가 높다는 것을 알 수 있으며 이러한 이유로 인해서 상반되는 결과가 나타났음을 알 수 있다. 결과적으로 두 가지 Type의 센서 모두 Drain Valve 내부에서 UHF 대역에서 PD 신호 측정이 가능하였다.



(a) Monopole Type UHF 센서 OSC 파형의 스펙트럼 (b) Cone Type UHF 센서 OSC 파형의 스펙트럼
〈그림 5〉 센서 Type 별 UHF 신호의 오실로스코프 파형 스펙트럼 비교 (a) 모노폴 Type UHF 센서 (b) Cone Type UHF 센서

3. 결 론

본 연구에서는 변압기 Drain Valve에 취부 가능한 UHF 대역의 광대역 특성을 만족하는 두 가지 Type 센서에 대해 설계하였으며 시물레이션 결과와 유중 모의 PD 발생장치에 대한 감도 측정 결과를 비교 검토하였다. 그 결과 두 센서 모두 광대역(500MHz ~ 1,500MHz)에서 높은 수신 감도로 부분방전 신호를 측정함을 확인할 수 있었다. 이는 실제 변압기내부에서 발생하는 50pC 이하의 부분방전 신호의 측정이 가능함을 보여준다. 향후 실 변압기에 센서를 적용하여 실제 센서 감도에 대한 연구를 진행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] M. Hinow, W. Hauschild, E.Gockenbach: "Lightning Impulse Voltage and Overshoot Evaluation Proposed in Drafts of IEC 60060-1 and Future UHF Testing"; IEEE TDEI, Vol. 17, No. 5, pp. 1628-1634,2010
[2] MD. Judd, B.M. Pryer, S.C Kelly, B.F.Hampton: "Transformer Monitoring Using the UHF Technique", High Voltage Engineering Symposium, London, U.K. Conference on, Pub. No.467, 1999