

# 산소 공장 전력용 변압기에서의 HFPD 특성분석

유 권 중, 김 서 영, 김 이 곤\*

여수대학교 전기공학과\*

## HFPD Characteristic Analysis of Power Transformer in Oxygen Plant

Kweon Jong Yoo, Seo Young Kim, Yi Gon Kim,\*

The Dept. Electrical Engineering

Nat'l Yosu University

### Abstract

변압기에서 발생하는 부분방전은 변압기의 운전중 절연열화에 대한 정보를 가장 잘 나타내고있으나, 현장에서 부분방전을 측정하는에는 주변 환경적인 문제인 노이즈로 인해 측정의 어려움과 측정된 데이터의 정확한 판독에 어려움이 따른다. 이에 본 연구에서는 노이즈를 완전히 해결하지 못하는 기존방식을 벗어나 높은 영역에서 주위의 노이즈를 덜 받는 HFPD 측정법을 적용하여 평양제철 산소공장에서 데이터를 취득하여 부분방전을 분석하였다. 본 논문에서는 HFPD의 변압기적용과 강인한 현장환경에 따른 영향을 최소화하여 제안한 방법이 변압기의 부분방전 시험에 유용하게 사용할 수 있음을 보였다.

### 1. 서 론

변압기의 중대사고 요인인 내부 절연이상은 대부분 부분방전을 수반하므로 부분방전의 측정은 변압기의 양부를 평가하는 유효한 측정기법으로 인정되어왔다. 최근에는 변압기의 건전성을 운전중에 상시 감시하기 위한 예방진단 기술에 관심이 고조되고 있으며, 신호 측정 및 처리기술이 발달하여, 기존의 많은 진단기법이 새로운 시각에서 접근되고있다.[1] 최근의 부분방전에 관한 연구는 절연열화 상태 진단으로 구분되는 전력기기의 초기결함을 발견하려는 연구와, HFPD를 이용한 활선상태에서 열화진단을 수행하는 시스템구축이 주류를 이루고 있다. 측정주파수가 1[MHz]이상으로 고주파수 영역에서는 주위 노이즈의 영향을 적게 받고, 감도 향상의 장점을 갖고 있기 때문에 고주파 부분방전 측정법이 널리 이용되고 있다 [2].본 연구에서는 평양제철 산소공장 154[KV]/11[KV] 변압기의 열화현상으로 발생하는 VHF/UHF PD를 EMC 분석기로 실시간으로 계측하고, 변압기에서 발생하는 PD신호를 안테나를 이용하여 측정하고, EMC분석기를 이용해 측정된 신호의 각각의 주파수에서 나타나는 피크치 값들의 주파수 스펙트럼을 조사하여 현장 변압기 절연열화정도를 분석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 HFPD 측정 이론

부분방전으로부터 발생하는 전자파 방사와 안테나 계측원리를 요약하면 다음과 같다.

그림1에는 방전원을 등가적으로 근사하여, 방전원로부터 일정거리 떨어진 곳에서의 전계와 자계를 측정 한 예를 나타낸다.

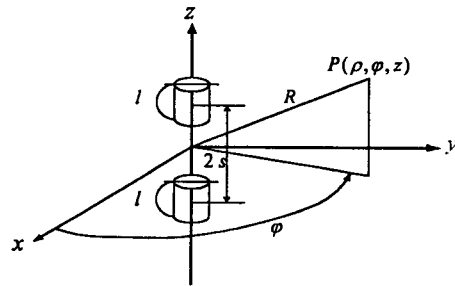


그림1 미소 간격 방전의 다이폴 모델

그림1을 Wilson & Ma의 모델, 혹은 NIST의 모델이라는 이름으로 알려진 것으로, 미소 다이폴에 전류  $i$ 가 흐를 때 시간  $t$  에 의존하는 방사 전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구해진다.

$$E_p(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0 R^2} \left( \frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{c^2 R} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad (1)$$

$$E_z(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \left[ \left( \frac{3z^2}{cR^3} - \frac{1}{cR^2} \right) i(u) + \left( \frac{z^2}{c^2 R^3} - \frac{1}{c^2 R} \right) \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right] \quad (2)$$

$$H_\phi(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi R} \left( \frac{i(u)}{R^2} + \frac{1}{cR} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad (3)$$

여기서, R은 방전원으로부터 관측점(ρ, z, t) 까지의거

리이며  $R = \sqrt{z^2 + \rho^2}$ 이다.  $u = t \cdot R/c$ 이며,  $c$ 는 광속이며,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율을 나타낸다. 이상과 같이 안테나를 이용한 절연체로부터 방사되는 전자파의 측정이 가능함을 알 수 있다[3].

### 2.2 HFPD 측정시스템

실험장치는 그림2. 와 같이 구성하였다. 안테나는 30MHz에서 1GHz 까지 측정 할 수 있는 HP11966P Broadband Ant를 사용하였다. 안테나에서 수신된 미약한 신호는 대역폭이 30MHz에서 26GHz인 Pre-AMP HP8447F에서 증폭된 후 동축케이블을 통해 HP8591EMC Analyzer 입력된다. 입력된 신호로부터 변압기의 부분방전으로 발생된 전자파를 분석한다. 분석된 데이터는 GPIB Cable을 통하여 컴퓨터에 전송되었으며, 컴퓨터에서 특정데이터를 분류할 수 있도록 신호분석을 수행 할 수 있도록 구성하였다.

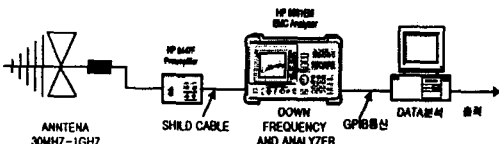


그림2. 전자파 측정장치 구성도

### 3. 현장 측정 및 분석

#### 3-1 측정요소

코로나 방전 및 부분방전에서 발생하는 전자파 신호 대역폭은 20MHz-3GHz이고, 준신뢰 대역은 2Hz-20MHz로 측정요소를 잡았다.

##### 3-1-1 전자파

전자파는 공간을 타고 가는 전기적, 자기적 파동현상 즉 전계(Electric field)와 자계(Magnetic field)라는 두 파가 상존해 있는 파로, 파원의 근방과 원방에서의 전파방향이 다르다. 파원에서 파장의 1/3 정도 내의 근방계에서는 파원의 종류에 따라 전계 혹은 자계가 강하고 거리의 2승, 3승에 역비례하여 전자파라 하기보다는 전자계공간, 파원에서 1/3파장 이상의 공간을 원방계라 하는데 원방계에서는 전계와 자계의 강도가 거리에 반비례하며 전계와 자계의 비는 일정하고 전자파의 에너지 밀도를 나타내는 전력밀도(전계×자계)는 파원으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 파장이 10[M]이상은 자계성 혹은 전계성이다. 주파수가 수 [GHz]이상이고 파장은 약 1[m]이내이면 전계환경으로서 원방계로 취급한다.

##### 3-1-2 코로나 방전

방전은 전계에 의하여 가속된 전자의 충돌, 전리 작용에 기인된 기체의 절연 파괴인데 대전 전하에 의한 전계강도가 절연파괴 전계강도에 달했을 때 일어난다. 보통 대기압에서 공기의 절연파괴 전계강도는 약  $3 \times 10^6$  V/m 이상이며 강한전계가 국부적으로라도 형성되면 방전이 생긴다. 이때 에너지 방출이 행해지는데, 그 대부분은 열로 소비되지만 일부는 압력, 빛, 소리, 전자파로 변환된다. 방전은 주로 전자물체와 접지된 도체간에 생기며, 발광형태에 따라 불꽃방전, 코로나 방전, 표면 불꽃방전으로 나뉘어진다. 불꽃방전은 수 kV로 대전한 도체에 접지도체가 수mm까지 접근했을 때

일어나는 전로(全路)방전이다. 이 경우에 대전 전하의 대부분이 방전하며, 그 에너지 밀도도 높으므로 가연성의 기체, 증기뿐만 아니라 본체를 인화시킬 수 있으며, 그 밖에 인체에 대한 전기적인 충격이나 전자기기, 부품의 파괴, 전자파에 의한 통신장애 등의 방전장해를 일으키기 쉽다. 그 중에서 특히 코로나 방전은 수 kV이상으로 대전한 물체의 뾰족한 부분 등 곡률 반경이 작은 끝부분에서 전계강도가 국부적으로 절연파괴 전계강도에 달했을때 일어나는 전기적으로 완전회로가 구성되지 않는 부분방전이다. 이때 전자파가 소리와 전자파를 발생시킨다.

#### 3-2 전자파 측정범위 및 목적

##### 3-2-1 측정 범위

본 측정은 변압기 내, 외에서 발생하는 전자파를 원방계에서 계측하였다. 측정주파수 범위 파장  $\lambda = 15$ m 이하, 주파수  $f = 20$  MHz이상, 20MHz이상의 주파수를 갖는 전자파를 측정하여 dBmV/Cm로 표시하였다.

##### 3-2-2 측정목적

측정의도는 변압기내, 외에서 발생하는 전자파를 일정 조건하에 넓은 대역에 걸쳐 일괄 계측, 계측된 데이터들을 간단한 서로 간의 비교를 통해 대상 변압기의 전자파 발생유무 및 일정이상의 전자파를 발생하는 변압기의 유무를 판정하였다.

전자파 발생원으로는 변압기의 인입 및 출력부에서 발생하는 부분방전 및 코로나방전 발생 유무와 변압기내, 외부에서 부분방전과 코로나 방전 발생 유무를 판별하고자 하였다. 이상유무판단의 근거로는 작업환경 원거리내에 평균 분포 전자파의 측정량을 기저(Basis)로 하여 일정이상의 전자파를 발생하는 변압기를 선별하고자 하였다.

##### 3-2-3 측정대역별 특징

- (1) 50 - 수십 kHz이내(그림 3)  
계통주파수 및 유도기기, Arc방전으로 발생하는 전자파이며, 국부적으로 전계 및 자계원 계측방법 측정이 가능하다. 이 경우는 순간적 변화 강도가 큰 경우이므로 인체 및 기기에 치명적 영향을 줄 수 있다 (100mV/m이상, 1000Pc이상/C=1mF).
- (2) 수십kHz - 수십 MHz이내(그림 4)

코로나 방전에서 발생하는 주파수는 수 kHz에서 수 GHz대역에 분포된다. 전자파의 전파경로에 따라 측정되는 전자파의 대역은 크게 2개로 분류 할 수 있다. 기기의 내부에서 발생하여 계통을 매체로 하여 전달되는 전자파의 경우는 계통의 전달 함수에 의해 대역폭이 제한되어 수십kHz에서 수GHz 분포되어 나타나지만 주파수가 높으면 측정거리가 제한을 받게 된다. 따라서 상용AM주파수 대역과 부분방전 코로나방전에 의해 발생하는 전자파, 일반적으로 이 대역 안에서는 변압기 내부의 코로나 방전과 부분방전을 계측하는 대역으로 전류파 측정과 안테나를 이용한 신호를 분석하여 절연열화진단 및 코로나 방전상태에 대한 정보를 얻을 수 있다.(수십mV, 1000Pc/C=1mF)

(3)수십MHz-1GHz(그림 5,그림 6,그림 7)

부분방전 및 코로나 방전에서 발생된 전자파가 계통을 통과하여 수신되는 경우와 직접 방사된 전자파들로 미세한 세기이므로 측정이 어렵지만, 다른 외부 방해 전자파가 없는 경우이므로 유용한 신호원을 얻을 수 있는 대역이다. 이 대역의 신호를 분석하여 코로나 방전, 부분방전의 유무와 이상 상태 판정이 가능하다.(수 mV/m.100Pc/C=1mF)

(4)1GHz 이상(그림 8)

부분방전이나 코로나 방전의 빈도수가 높아지지만 신호의 강도가 적어지는 구간으로 측정이 어려운 대신에 이상 상태 판정에 대단히 중요한 대역 구간이다.

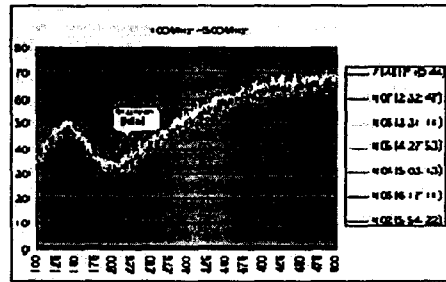


그림6. 100MHz ~ 500MHz 측정결과

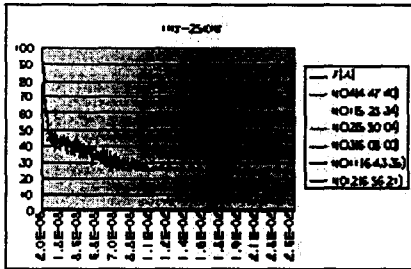


그림3. 1Hz - 25kHz 측정결과

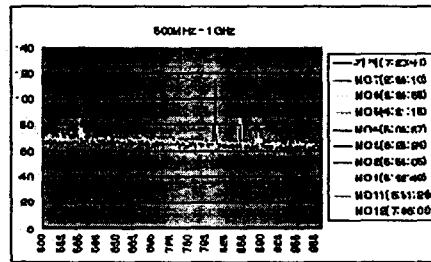


그림7. 500MHz ~1GHz측정결과

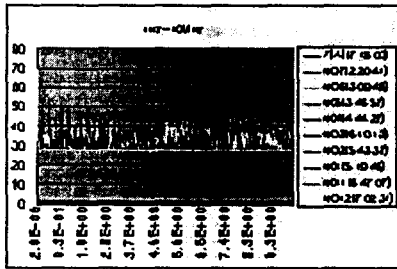


그림4. 1Hz - 10MHz 측정결과

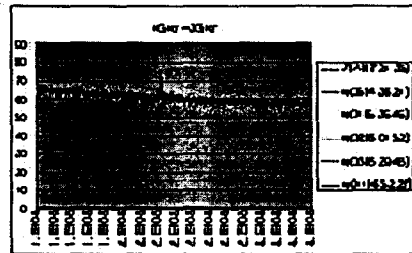


그림8. 1MHz ~ 3GHz 측정결과

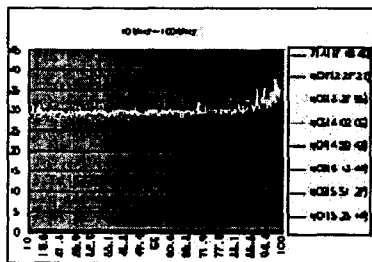


그림5. 10MHz ~ 100 MHz 측정결과

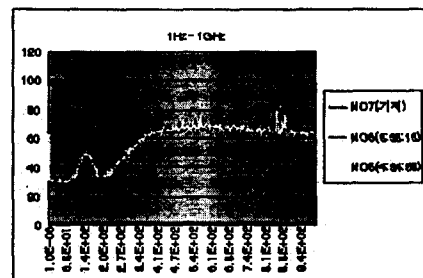


그림9. 30MHz ~ 1GHz 측정결과

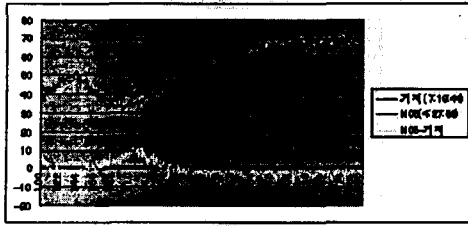


그림10. NO-5 변압기의 이상부분 전자파분포 현상

대한 전기학회지, pp24 - 30, 2000, 2월호.

[3] 이상훈, 박광서, 김충년, 김기채, 이광식, 이동인, "기중 방전에 대한 방사전자파 측정과 분석" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 2028 - 2030, 1999.

#### 4. 결론

실험결과 전자파분포(공간적으로 개방된 지역에서 서로간의 간섭이 없는 특정지역을 선택하여 측정된 전자파 데이터)와 비교하여 전자파강도 및 분포추이를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 25kHz 대역 이하의 경우 특징적인 분포를 발견하지 못하였다. 주변의 유도성 전기기기 장애가 없다는 결론을 얻었다.
2. 25kHz-10MHz대역의 경우는 상업용 주파수 및 코로나 방전등으로 인한 비주기적인 전자파 발생이 많음을 확인하였으나 전자파세기를 분석한 결과 특정지역과 같은 패턴임을 확인하였으며 세기는 기존의 상용 주파수 대역의 신호에 비하여 적은 것으로 사료되어 이상을 야기할 원인으로는 판단하기가 어렵다.
3. 10MHz - 100MHz대역의 경우 부분방전과 코로나 방전에 의한 전자파성분이 기존의 백색 잡음과 함께 나타나고 있으며, 균일한 분포를 갖고있음을 확인하였다. 세기 및 분포의 형태가 기저 분포와 거의 일치함
4. 100MHz - 500MHz대역의 경우는 직접 방사되는 코로나 및 부분방전에 의한 전자파 대역이 우세한 대역으로 NO-5의 변압기의 경우, 150 - 250MHz영역에서 비교적 이상적으로 발생하고 있으나, 세기의 경우 이상 초래 수준은 아니라고 판단됩니다.
5. 500MHz - 3GHz영역은 빈도가 높고 세기는 약한 부분방전 및 코로나 방전으로 발생하는 전자파대역으로 전체 변압기 계측데이터가 기저부분과 같거나 오히려 감소하는 경향을 확인하였다. 단 감도 및 거리의 한계 등으로 데이터 취득 한계로 신뢰성이 낮다고 사료된다.

#### 감사의글

이 논문은 과학기술부, 과학재단 지정 지역 협력센터인 여수대학교 설비자동화 및 정보 시스템 연구개발센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

#### [참고문헌]

[1] "New Insulation diagnostic and monitoring techniques for in-service HV apparatus. D.M.Allan, et.al., International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, vol.1, pp.448-451

[2] 김정태, "최근 전력기기의 부분방전 진단 현황"