

## MOF 소손시 비오차 특성실험 및 분석

신동열\*, 김석곤, 박창호  
한전 전력연구원

### Experiments and analysis of CT Ratio Error for the damage cause of MOF

Dong-Yeol Shin\*, Seok-Gon Kim, Chang-Ho Park  
KEPCO Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 본 논문에서는 MOF 소손시 비오차 발생으로 인한 전력사용량에 미치는 영향을 분석하기 위해 비오차를 측정하였다. 현재 MOF 고장건수는 전체과급고장의 약 10%이상 발생되고 있으며, 현장 순회시험을 통해 2009년 68건, 2010년 156건을 적출하였다. 이러한 MOF의 고장은 대부분 내부 CT 권선소손에 의해 발생되며, CT의 1차코일 또는 2차코일 단락시 유형별로 실험을 통해 비오차를 분석하였다. 특히 3상 수전고객은  $\Delta$ -Y결선방식으로 MOF 정상시 불평형 전류는 중성선의 전류가 발생되지 않으나, MOF 이상시 중성선에 이상전류가 발생된다. 따라서 중성선의 이상전류를 측정하여 MOF 이상유무 판정 및 과부족 계량오차 판정을 하기 위한 자료로 활용하였다.

그림 2의 좌측사진은 소손된 MOF의 내부 PT와 CT의 모습이고, 우측사진은 A상 CT가 2차 코일이 소손된 확대사진이다.

전기설비 기술기준 23조에 의하면 MOF 과전류강도는 단락전류 발생시 기계적 강도에 견디어야 하나, 아래 CT의 소손형태를 보면 기계적 충격에 의해 1-2차코일이 이탈하게 되고, 이때 철심 또는 외함에 접촉되어 비오차가 발생된다.[2] CT의 1차 코일은 고전압이 인가되기 때문에 절연처리가 잘되어 있어 코일이 이탈되어도 단락소손이 발생되지 않게 설계하고 있으나, 2차코일 5 V이하로 별도의 절연처리를 하지 않기 때문에 대부분 2차 코일에서 단락되는 현상이 발생된다.

### 1. 서 론

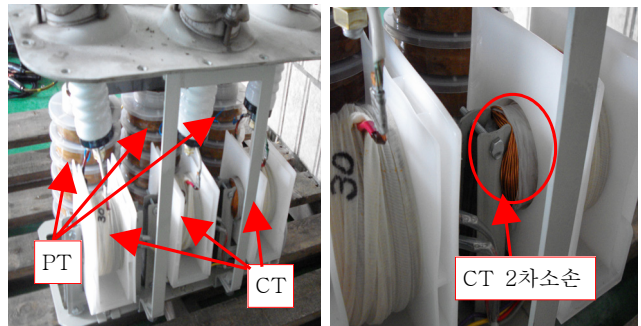
고전압 또는 대전류를 사용하는 고객은 직접 계량할 수 없기 때문에 계기용 변압변류기(MOF)를 설치하여 전력을 계량하고 있으며, MOF(Metering Out Fit)의 내부에는 PT(Potential Transformer)와 CT(Current Transformer)로 구성되어 있다.

MOF의 내부 CT소손시 계량오차가 발생되며, 이러한 현상이 즉시 발견되지 않아 장기간 오차누적으로 인한 요금민원이 발생된다. 또한 MOF의 오차에는 비오차와 위상각오차가 있으며, 각 적용규격에 따라 여러 가지의 오차계급이 있고 그의 허용한계가 결정되어 있다.[1] 본 논문에서는 상기와 같은 요금민원이 발생된 MOF(0.5급, 30/5)에 대해 비오차를 측정하였다. 또한 유형별로 CT의 1차코일 또는 2차코일 소손시 실험을 통해 1-2차 전류비와 위상각을 측정하였으며, CT의 1-2차코일 단락시 단락저항과 CT 2차 부담저항에 따라 계량오차에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 MOF 구조 및 소손유형

그림1과 같이 MOF의 내부에는 변압기(PT)와 변류기(CT)가 절연유속에 설치되어 있고, 1차측 붓심과 2차 단자함으로 구성되어 있다. MOF의 소손유형을 보면 PT는 대부분 낙뢰, 개폐 썬어지에 의해 소손되며, CT는 고장전류에 의해 소손이 된다. PT소손시 2차측 전압이 발생되지 않기 때문에 쉽게 확인이 가능하나, CT는 완전하게 소손되지 않고 비오차만 발생되기 때문에 별도의 측정 장비로 비오차를 측정하지 않으면 확인이 어렵고, 장기간 계량 오차발생으로 인한 요금정산에 어려움이 많다. CT의 비오차 발생원인은 고장전류에 의해 2차코일이 기계력을 받아 철심 또는 외함에 혼촉되어 계량오차가 발생된다.



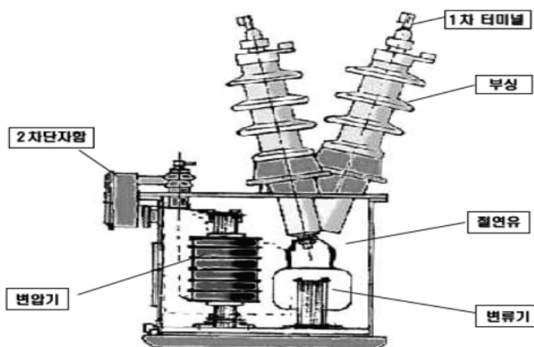
〈그림 2〉 CT 2차 고장 유형

#### 2.2 MOF소손시 비오차 측정

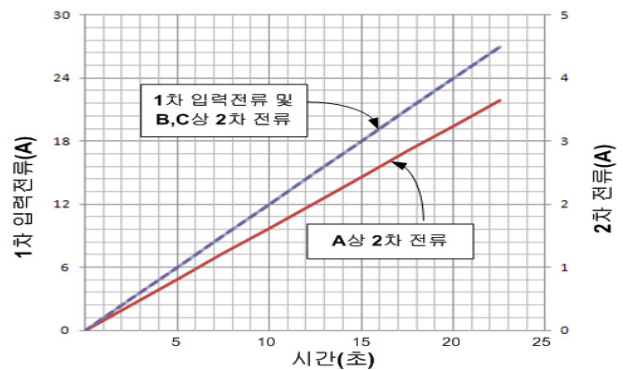
측정결과 그림 3과 같이 CT 1차 입력전류 증가시 CT의 2차 B, C상 전류도 일정한 비율로 증가하므로 정상이다. 이와 다르게 A상 CT 2차 전류는 비오차가 발생하기 때문에 정상전류보다 낮게 전류가 발생되었다. 1차 입력전류가 18 A 일 때, B,C상 전류는 3.0 A가 발생되고, A상 전류는 2.43 A가 발생된다. 이때 A상 CT의 오차율을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{오차율} = \frac{(\text{측정값} - \text{기준값})}{\text{기준값}} \times 100\%$$

$$A\text{상 오차율} = \frac{(2.43 - 3.00)}{3.00} \times 100 = -18.9\%$$

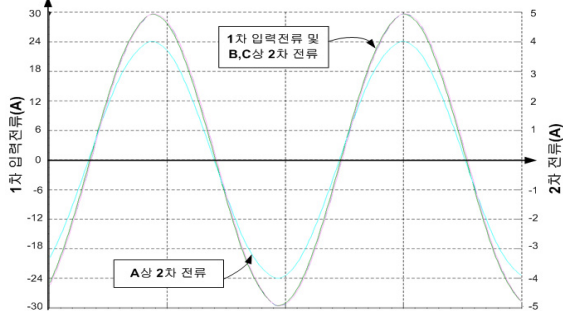


〈그림 1〉 MOF 구조



〈그림 3〉 A상 CT 소손시 1-2차 전류비

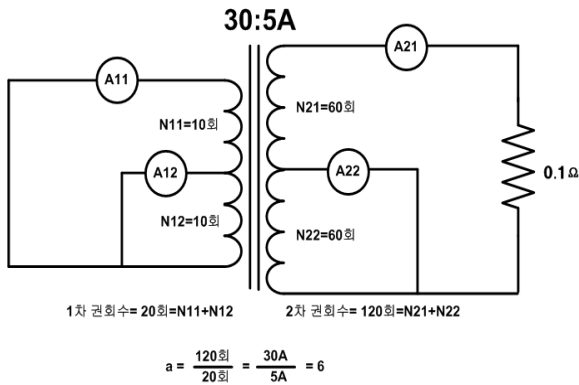
그림 4에서 MOF내부 CT소손시 1-2차측 전류의 크기와 위상각을 측정된 파형이다. CT비가 30/5로 설정을 하면 정상시 1-2차의 크기와 위상이 일치한다. 따라서 1차 입력전류 및 BC상 2차 전류는 일치하나, A상 2차 전류는 정상 전류값 보다 낮게 발생하며, 위상은 동위상으로 일치하였다.



〈그림 4〉 A상 CT 소손시 1-2차 순시파형

### 2.3 MOF의 소손 유형별 비오차 실험

그림 5와 같이 실험회로를 구성하고 CT 1차 권선 단락 및 2차권선 단락시 오차율을 측정하였다. CT비는 30/5, 1차권선 권회수는 20회, 1차권선 단락지점 권회수는 10회(50%지점), 2차권선 권회수는 120회, 2차권선 단락지점 60회(50%지점), CT의 2차 부담저항 0.1Ω을 기준으로 실험하였다. 실험1은 1차측 또는 2차측 권선에서 단락이 없는 정상상태일 때 오차율을 측정 하였으며, 실험2는 1차권선 50%지점에서 단락이 발생 하였을 때 오차율을 측정하였고, 실험3은 2차권선 50%지점에서 단락일 때 오차율을 측정하였고, 실험4는 1차 및 2차권선 모두 각각 50% 지점에서 단락시 오차율을 측정하였다.



〈그림 5〉 CT 소손시 오차측정 회로도

표 1은 CT 1차 또는 2차 소손시 오차율 측정결과이다. 실험1은 1차 전류(A11) 9.0 A 입력시 2차 전류(A22) 1.5 A가 측정되었다. 이론적으로 1-2차 권수비로 계산하면 2차 전류는  $9.0 \times 20\text{회}/120\text{회} = 1.5\text{ A}$ 로 측정값과 일치하였다. 실험2의 측정결과는 0.70 A, 오차율 -53.33%가 발생하였다. 이론적으로 계산한 결과  $9.0 \times 10\text{회}/120\text{회} = 0.75\text{ A}$ 로 계산되지만 실측결과 0.70 A로 낮게 발생하였다. 실험3의 측정결과는 2차 전류(A22) 1.00 A, 오차율 -33.3%로 측정되었다. 이론적으로 계산한 결과 2차 전류는  $9.0 \times 20\text{회}/60\text{회} = 3.0\text{ A}$ 로 계산되지만 실측결과 1.00 A로 낮게 발생되었다. 실험4의 측정결과는 0.50 A, 오차율 -66.67%가 발생하였다. 이론적으로 계산한 결과  $9.0 \times 10\text{회}/60\text{회} = 1.5\text{ A}$ 로 계산되지만 실측결과 0.50 A로 낮게 발생하였다.

표1의 실험결과에 따르면 CT 1차코일 또는 2차코일 단락시 정상전류보다 낮게 -오차율이 발생하였다. 즉 1차 또는 2차코일 단락시 단락위치에 상관없이 CT의 자속밀도 포화로 무조건 부족계량이 되는 것으로 확인되었다.

〈표 1〉 CT 1차 또는 2차 소손시 오차율 측정결과

구분	1차 전류 (A11)	2차 전류 (A21)	오차율 (%)	1차단락 전류(A12)	2차단락 전류(A22)	비 고
실험1	9.00 A	1.50 A	-	-	-	정상
실험2	9.00 A	0.70 A	-53.33	9.70 A	-	1차 단락
실험3	9.00 A	1.00 A	-33.33	-	0.885 A	2차 단락
실험4	9.00 A	0.50 A	-66.67	9.50 A	0.439 A	1-2차 단락

### 2.4 1차 또는 2차 코일 단락시 비오차 분석

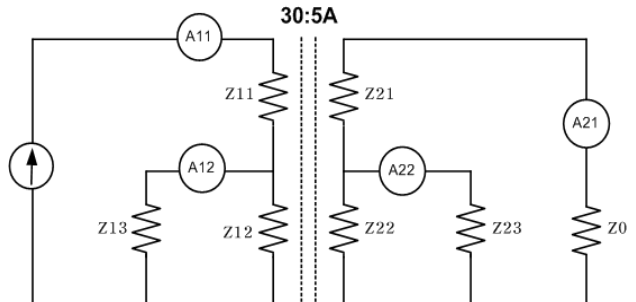
그림6은 CT의 1차코일 또는 2차 코일 단락시 비오차 발생원인을 분석하였다. 1차측 코일저항 Z11+Z12, 2차측 코일 저항 Z21+Z22, 1차측 단락저항 Z13, 2차측 단락저항 Z23, CT 2차 부담저항 Z0로 등가회로로 표시하였다.

CT는 1차코일보다 2차코일의 권수비가 크기 때문에 변압기와 다르게 1차저항 (Z11+Z12) 보다 2차저항(Z21+Z22)가 높다. 또한 단락저항(Z13, Z23)은 코일이탈시 철심 또는 외함에 접촉되어 발생하는 저항이며, CT의 부담저항(Z0)은 CT의 2차 단자간에 접속되는 부하가 정격 주파수의 2차전류 하에서 소비하는 피상 전력을 말하고, CT의 용량에 의해 결정된다. 예를 들면 CT용량이 25 VA인 경우 2차 정격전류가 5 A이므로 부담저항은  $1 \Omega (R=25/5^2)$ 으로 계산 할 수 있다.

따라서 부담저항은 CT 2차 전선의 굵기와 길이에 따라 부담저항이 결정되며, CT의 정격 부담보다 사용부담이 클 경우에는 변류기의 오차 특성이 나빠진다.

앞서 설명한 바와 같이 실험1은 비오차 측정값과 CT 권수비 계산 값이 일치하였으나, 실험2~4는 측정값과 계산 값이 달랐다. 그 이유는 상기 설명과 같이 1-2차 단락시 단락저항, 코일저항, 부담저항의 차이로 비오차가 다르게 발생 하였다. 실험2에서 CT 1차코일 단락시 단락전류 A12=9.70 A로 1차 전류A11=9.00 A 보다 크게 발생 하였다. A12에 흐르는 전류는 Z11과 Z12에 흐르는 합성전류가 발생되었다. 특히 실험3에서 2차 단락고장시 A11=9.00 A, A21=1.00 A, A22=0.85 A, 오차율=-33.33%로 부족계량 되었다. 그러나 현장에서 단순 권수비로 계산하면 A22=3.0 A, 오차율=+200%로 과다계량 되는 것과 심한 차이가 있다. 그 이유는 CT의 코일의 저항(Z11, Z12, Z21, Z22)과 단락저항(Z13, Z23), 부하부담저항(Z0)에 의해 비오차가 결정되기 때문에 단순 권수비의 계산값과 다르다.

특히, CT 2차 전류 A21=1.00 A로 감소하는 이유는 단락전류 A22=0.885 A가 발생되어 Z21의 코일과 Z22의 코일이 자속이 서로 상쇄되기 때문이다. 즉 Z22에 흐르는 전류를 점점 증가시킬 경우 어떤 한도를 초과하면 변류기의 자속밀도가 포화되어 여자전류가 급격하게 증가되는데 이때에는 비오차가 - 쪽으로 증가한다. 이러한 현상은 부담저항(Z0)의 저항이 크면 단락전류(A22)가 크게 발생되고, 비오차는 심하게 증가하는 것으로 분석되었다.



〈그림 6〉 CT 소손시 등가회로

### 3. 결 론

단락고장시 고객측 MOF 내부 CT가 기계적 과전류강도에 의해 대부분 2차 코일이 이탈되어 철심 또는 외함에 접촉되어 비오차가 발생되며, 이때 소손된 MOF의 비오차 특성을 측정하여 분석하였다. 측정결과 1-2차의 위상각을 일치하였으나, 소손시 단락저항(Z13, Z23) 낮고, CT의 2차 부담저항(Z0)이 크면 비오차는 증가하였다. 특히 CT의 1차 또는 2차 권선 소손시 유형별 비오차를 실험하였으며, 분석결과 단순권수비로 계산한 값과 다르게 실험값은 1-2차의 단락 위치와 관계없이 CT가 포화되기 때문에 무조건 - 비오차가 발생되었다. 이는 MOF 소손시 전력사용량은 무조건 부족계량 된다는 의미이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 배전처, “변압변류기 관리지침”, 1999
- [2] 한전, “전력수급계기용 변압변류기”, 한전표준규격, ES-5950-004, 2009