

대형변압기 절연상태 평가

김희동, 공태식, 이영준, 박재준*

한전 전력연구원, 중부대학교*

Assessment of Insulation Condition in Large Transformers

Hee-Dong Kim, Tae-Sik Kong, Young-Jun Lee, and Jae-Jun Park*

Korea Electric Power Research Institute, Joong Bu University*

Abstract

In order to detect of insulation problems an early, transformer has to be performed the several tests. The ac current and $\tan\delta$ of transformer winding insulation were investigated by Schering bridge. Partial discharge(PD) tests are used to evaluate the insulation condition of transformer. The moisture content measurement was conducted using RVM(recovery voltage meter). The RVM test can show that the problem is affecting the paper insulation of transformer. The value of moisture content was 2.3% in main transformer. The insulations of four transformers were judged to be in good condition.

Key Words : transformer, insulation condition, partial discharge, moisture content, RVM

1. 서 론

일반적으로 변압기의 수명은 30~40년 정도로 보고 있으나 운전조건에 따라 변수가 많이 작용하기 때문에 주기적인 절연특성 시험을 통해 열화 정도를 사전에 확인할 필요가 있다. 절연특성 시험은 절연저항 측정, 유전정접 측정, 유증가스 분석, 절연유 성능시험, 부분방전 시험 및 정전용량 측정 등이 있다[1]. 유전정접을 측정하여 절연물의 흡습, 오손 및 열화 등을 분석하고 부분방전 시험은 절연물의 방전크기를 측정하여 이상유무를 확인한다.

변압기 권선에서 절연열화가 발생할 때 나타나는 주요한 인자는 절연유와 절연지의 특성치 변화이다. 절연유는 산소와 물의 존재로 산화열화가 발생하면 화학적 및 전기적 성질을 저하시킨다. 화학적 성질은 유기산의 전량을 나타내는 전산가이고, 전기적 성질은 절연파괴전압, 체적저항률 및 유전정접 등의 변화를 발생한다. 절연지는 권선에 감겨져 있어 가장 높은 온도에서 운전됨으로 열화에 의한 특성 저하에 영향을 받기 쉽다. 따라서 절연지에 대한 중요한 특성은 전기적으로는 절연파괴 전압이며, 기계적으로는 인장강도의

변화이다[2].

본 논문은 발전소에서 운전중인 대형변압기 권선의 절연상태를 평가하기 위해 정지중에 교류전류, 유전정접, 부분방전 및 절연지 수분함량 시험을 수행하고 결과를 분석하였다.

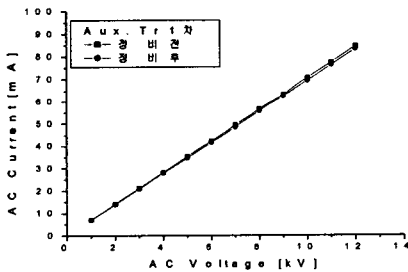
2. 시험방법

본 논문은 4대의 대형변압기 절연상태를 평가하기 위해 정지중 시험을 수행하였다. 정지중에 변압기 권선의 교류전류, 유전정접 및 부분방전 시험을 위해 셰링브리지(Schering Bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 부분방전 측정기(partial discharge detector : PDD, Tettex Instruments TE 571)를 사용하였다. 셰링브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283), 브리지(Bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(rsonating inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 변압기 권선에 셰링브리지(Tettex Instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유니트(coupling unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보내어 증폭한

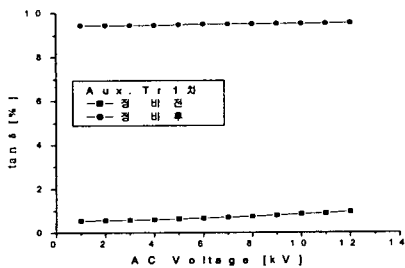
후 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 측정하였다. 부분방전 측정기의 주파수 대역폭은 40~400kHz 이다. 또한, 변압기 권선 절연저항의 수분함량을 분석하기 위해 RVM(recovery voltage meter, Tettex Instruments Type 5462)를 사용하였다.

3. 시험결과 및 고찰

20년 이상 운전된 보조변압기(30MVA, GEC) 1차측(22kV, 1,575A)과 2차측(6.9kV, 2,510A)에서 정비전과 정비후에 정밀절연진단을 수행하였다. 변압기 1차측과 2차측 권선의 정전용량은 각각 18.7nF과 693nF으로 측정되었다. 2차측 권선은 케이블을 포함하고 있어 정전용량이 크게 나타났다. 절연저항은 정비전에 200MΩ에서 정비후에는 8MΩ으로 현저하게 감소하였다. 그림 1(a)에서 알 수 있는 바와 같이 정비전후에 교류전류-전압 특성을 측정하여 비교한 결과 거의 일치하였다. 그러나 그림 1(b)에서 나타난 바와 같이 정비전후에 tanδ-전압 특성을 측정하여 분석한 결과 정비전보다 정비후에 오히려 tanδ가 증가하였다.



(a) 교류전류-전압 특성

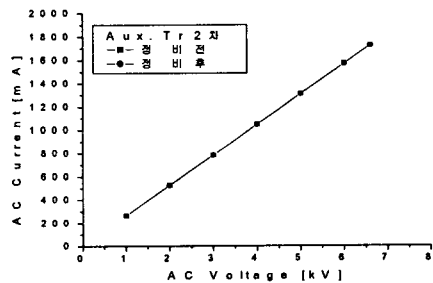


(b) tanδ-전압 특성

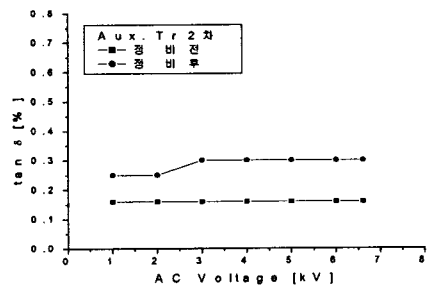
그림 1. 보조변압기 1차측

부분방전은 정비전에 12kV에서 16,600pC이며, 부분방전개시 전압도 7.5kV이고 부분방전패턴은

도체표면방전으로 나타났다. 절연유를 빼내고 내부를 점검한 결과 탭절환기에서 탄화가 발생하여 정비를 수행하였다. 또한, 정비후에 부분방전은 12kV에서 900pC로 크게 감소하였으며, 부분방전 패턴은 정비전과 동일한 도체표면방전을 나타내었다. 앞에서 설명한 바와 같이 기존에 사용하던 절연유를 신유(BS 148 코드)로 교체한 후에 절연저항은 감소하고 tanδ값이 현저하게 증가함에 따라 다시 다른 신유(KS 1종 4호)로 교체한 결과 1차측 절연저항이 1,000MΩ으로 양호하게 측정되었다. 신유(BS 148 코드)에서 다시 다른 신유(KS 1종 4호)로 교체한 이유는 신유(BS 148 코드)에서 절연저항을 측정할 때 15MΩ으로 다른 신유에 비해 현저하게 낮게 측정되었기 때문이다.



(a) 교류전류-전압 특성



(b) tanδ-전압 특성

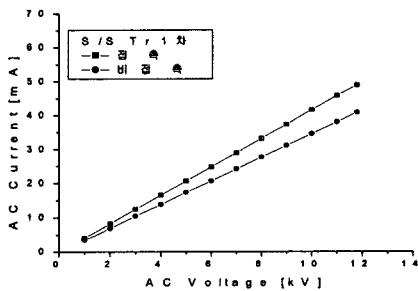
그림 2. 보조변압기 2차측

변압기 2차측에서도 1차측과 마찬가지로 절연유를 신유(BS 148 코드)로 교체한 후에 절연저항이 교체전 391MΩ에서 교체후에는 32MΩ으로 현저하게 감소하였다. 그림 2(a)와 그림 2(b)에서 나타난 바와 같이 교류전류와 tanδ-전압 특성을 측정하여 비교한 결과 1차측과 유사하게 나타났다. 정비전후에 모두 부분방전은 발생하지 않았으며, 다시 다른 신유(KS 1종 4호)로 교체한 결과 2차측 절연저항이 400MΩ으로 양호하게 측정되었

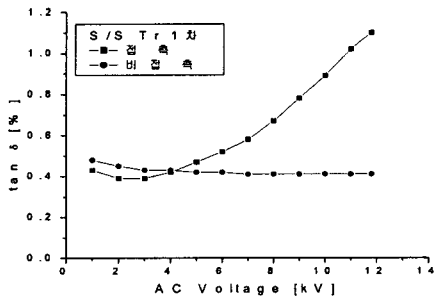
다.

따라서 절연저항 감소와 절연유 문제점 발견시에 교류전류-전압 특성보다는 $\tan\delta$ -전압 특성이 크게 변화하는 것을 알 수 있으며, 일반적으로 변압기에서 $\tan\delta$ 가 1%이하이면 양호하게 판정하고 있다. 1992년부터 변압기 절연유의 특성을 분석하여 트렌드로 관리한 결과 CO가 지속적으로 증가하고 있으며, 원인은 내부 권선 절연지의 열화로 추정되었다. 그러나 신유(KS 1종 4호)로 교체한 후에 절연저항도 양호하고 CO도 현저하게 낮아져 정상이며, 현재 안정적으로 운전되고 있다.

기동용 변압기(59.4MVA, GEC) 1차측(154kV)에서 정밀절연진단을 위해 붓싱에 리드선을 연결하였으며, 리드선이 변압기 외함에 접촉과 비접촉되었을 때 차이를 분석하였다. 변압기 1차측의 정전용량은 11nF으로 측정되었으며, 주위온도 18°C, 습도가 49%로 나타났다. 그림 3(a)와 그림 3(b)에서 알 수 있는 바와 같이 접촉과 비접촉할 때 교류전류와 $\tan\delta$ -전압 특성을 측정하여 비교한 결과 리드선이 외함에 접촉했을 때가 비접촉되었을 때 보다 높게 나타났다. 접촉되었을 때 부분방전은 5kV에서 2,200pC, 12kV에서 36,300 pC으로 증가하였으며, 부분방전개시 전압도 4.2 kV이고 부분방전패턴은 도체표면방전으로 나타났다. 비접촉시에는 부분방전이 거의 발생하지 않았다.



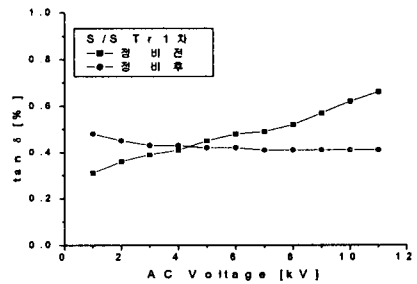
(a) 교류전류-전압 특성



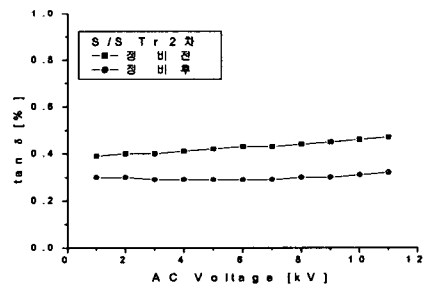
(b) $\tan\delta$ -전압 특성

그림 3. 기동용 변압기 1차측

그림 4(a)와 그림 4(b)에서 알 수 있는 바와 같이 정비전-후에 $\tan\delta$ -전압 특성을 측정하여 분석한 결과 정비후에 $\tan\delta$ 가 정비전에 비해 약간 감소하였다. 절연유를 빼내고 내부를 점검한 결과 이상이 없었으며, 기존에 사용하던 절연유를 재사용하기 위해 여과하였다. 따라서 $\tan\delta$ 의 감소는 절연유 여과와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.



(a) 1차측



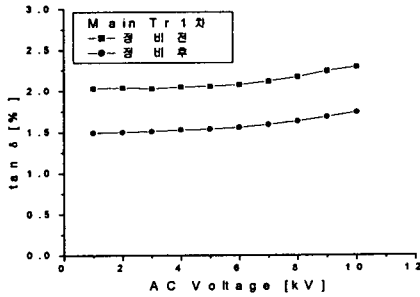
(b) 2차측

그림 4. 기동용 변압기의 $\tan\delta$ -전압 특성

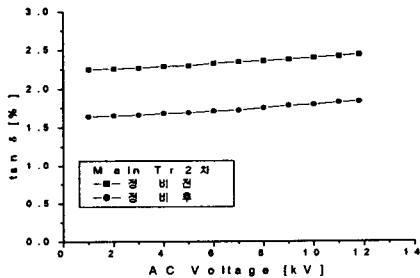
주변압기(800MVA, GEC) 1차측(22kV)과 2차측(345kV)에서 정밀절연진단을 수행하였다. 그림 5(a)와 그림 5(b)에서 알 수 있는 바와 같이 정비전-후에 $\tan\delta$ -전압 특성을 측정하여 분석한 결과 정비후에 $\tan\delta$ 가 정비전에 비해 약간 감소하였다. 절연유를 육안으로 점검한 결과 탄화 흔적이 발생되었으며, 기존에 사용하던 절연유를 재사용하기 위해 여과하였다. 따라서 $\tan\delta$ 의 감소는 절연유 여과와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료되며, $\tan\delta$ 값이 1%이상을 초과함으로 주의가 요망된다. 절연유는 열화에 의해 유기산을 시작으로 각종의 물질을 생성하기 때문에 체적저항율은 저하하고 유전정점은 커진다[2].

30년 이상 운전된 주변압기(154/16.2kV, 170 MVA, GE)에서 RVM을 사용하여 절연지 수분함량을 측정된 결과 2.3%로 나타났다. 154kV 변압

기의 수분함량 기준이 2.8%임으로 변압기의 수분 함량은 양호하게 분석되었다[3]. RVM를 통해 수분함량 뿐만 아니라 충전시간, 회복전압 및 임계 온도를 측정할 수 있다. 참고적으로 충전시간은 64.28sec, 회복전압은 346.3V 및 임계온도는 80℃로 측정되었다.



(a) 1차측



(a) 2차측

그림 5. 주변압기의 tanδ-전압 특성

4. 결 론

보조변압기는 정비전 부분방전 크기가 12kV에서 16,600pC이며, 부분방전패턴은 도체표면방전으로 나타났다. 절연유를 빼내고 내부를 점검한 결과 탭절환기에서 탄화가 발생하여 정비를 수행한 후에 900pC으로 크게 감소하였으나, 부분방전패턴은 정비전과 동일하게 나타났다. 기동용 변압기를 정밀절연진단 하면서 리드선을 변압기 외함에 접촉과 비접촉할 때 차이를 분석하였다. 접촉과 비접촉할 때 교류전류와 tanδ-전압 특성을 측정하여 비교한 결과 리드선이 외함에 접촉했을 때가 비접촉되었을 때 보다 높게 나타났다. 접촉되었을 때 부분방전은 5kV에서 2,200pC, 12kV에서 36,300pC으로 증가하였으며, 부분방전개시 전압도 4.2kV이고 부분방전패턴은 도체표면방전

으로 나타났으나 비접촉시에는 부분방전이 거의 발생하지 않았다. 주변압기에서 정밀절연진단을 수행하여 정비전 후에 tanδ-전압 특성을 측정하여 분석한 결과 정비후에 tanδ가 정비전에 비해 약간 감소하였다. 30년 이상 운전된 주변압기에서 RVM을 사용하여 절연지 수분함량을 측정한 결과 2.3%로 양호하게 분석되었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 변압기 예방보전기술의 현황과 그 전망, 일본 전기학회기술보고(II부) 제344호, pp. 5~8, 1990.
- [2] 전력용 유입변압기 보수관리, 대한전기학회 전력용변압기워킹그룹, pp. 256~259, 2004.
- [3] Alexander G. Schlag, "The Recovery Voltage Method for Transformer Diagnosis", Tettex Instruments Manual, pp. 72~73, 2004.