

유전손실계수를 이용한 고전압설비의 절연특성 분석

오봉근*, 이광호, 최형철, 변두균, 임기조**
한국수자원공사*, 충북대학교**

Analysis of Insulation Characteristics for Highvoltage Facilities using Dissipation factor

Bong-Keun Oh*, Kwang-Ho Lee, Hyeong-Cheol Choi, Doo-Gyoon Byun, Kee-Joe Lim**
K-water*, Chungbuk National University**

Abstract - 고전압설비의 열화상태를 분석하기위해 현장에서 실시하는 대표적인 절연진단시험으로 절연저항, 성극지수, 유전정접, 부분방전시험이 수행되고 있다. 이들 시험중에 부분방전시험은 국부적인 열화진단이 가능하여 현재 가장 신뢰성 있는 진단방법으로 이용되고 있지만, 변압기와 케이블의 경우 우수한 절연특성으로 부분방전 발생량이 미소하고, 현장의 주변노이즈로 인하여 효과적인 측정이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 현장진단에 적용 할 수 있고, 일반적인 절연물의 열화정도분석이 가능한 유전정접시험을 이용하여 실제 산업현장에서 측정된 고전압 변압기와 케이블의 유전손실계수의 경향성을 분석하였다.

1. 서 론

고전압설비 절연시스템의 절연상태는 전기적인 시험에 의하여 가장 잘 평가 되기때문에 전기적 절연진단방법은 오랜기간 연구되어 왔다. 고전압설비에 사용되는 절연시스템에 대한 이러한 시험들은 크게 두가지 방식으로 절연내력시험과 절연물의 특성을 측정하는 절연진단시험으로 구분할 수 있다. 절연내력시험은 정격전압보다 높은 교류 또는 직류전압을 대상기에 인가하여 절연과피 유무를 판정하는 것으로써 사용가능여부를 판정하는 시험이지만 절연물의 절연상태를 알 수는 없다. 반면, 절연진단시험의 경우 절연물의 오손, 흡습, 미소공극, 박리현상등과 같이 절연물을 열화시키는 현상들을 알 수 있다. 현재 일반적으로 산업현장에서 사용하고 있는 절연진단시험으로는 절연저항시험, 성극지수시험, 유전정접시험, 부분방전시험이 있다. 이러한 방법중 직류전압을 인가하여 시험하는 절연저항시험 및 성극지수시험의 경우 절연물의 오손 및 흡습특성을 알수 있지만, 측정환경에 의한 영향을 받기쉽고 일반적으로 교류시험전 절연물의 건전성을 파악하기 위한 시험으로 수행되고 있다. 교류시험전압을 인가하여 시험하는 부분방전시험의 경우 절연물내 공극등과 같은 결함부에 고전계가 형성되어 국부적인 절연과피에 의해 발생하는 펄스신호를 측정하여 절연물의 국부적인 열화상태를 분석할 수 있다. 고전압 회전기의 경우 다양한 시험방법이 제안되었고 그 효과가 입증되어 실제 산업현장에 적용되고 있다. 특히 부분방전시험은 회전기의 경우 현재 유용한 데이터로 활용이 가능한 반면, 정지기인 변압기와 케이블의 경우 전기적인 절연시험을 통하여 절연상태를 분석할 수 있는 방법은 한계가 있다. 그 이유중의 하나는 절연물의 구조가 회전기의 절연구조와 비교하여 상당히 양호하여 절연물에서 발생하는 부분방전신호가 현장측정시 주변 노이즈에 의해 열화의 진전상태분석에 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 실제 산업현장에서 사용중인 변압기와 케이블을 대상으로 하여 절연물의 일반적인 특징을 나타내는 유전정접시험을 통하여 유전손실계수를 측정하고 각 설비의 유전손실계수 값에 대한 경향성을 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시험대상설비 특성

시험대상시료는 표 1과 같이 실제 산업현장에서 사용중인 고전압 유입식 및 건식변압기와 케이블을 이용하였다. 변압기는 1차전압이 6.6 kV급 이상인 설비를 대상으로 유입변압기 29대와 건식변압기 28대로 구성하였고, 케이블은 국내에서 일반적으로 사용하는 XLPE 케이블로 정격전압이 6.6 kV급 이상인 설비를 대상으로 83조를 선정하여 유전손실계수를 측정하였다.

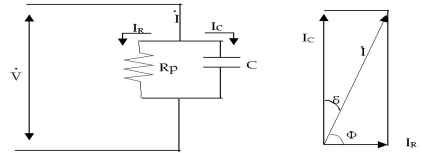
2.2 시험방법

유전정접에서 사용되는 유전손실계수(Dissipation Factor, tanδ)는 절연물의 특성값이며 절연물의 전기적 손실정도를 나타낸다. 절연물이 완전할 경우 유전손실은 인가전압이 상승하여도 증가하지 않는다. 하지만, 절연물에 결함이 발생하여 절연물에 고전압이 인가되면 이 결함위치

<표 1> 시험대상설비특성

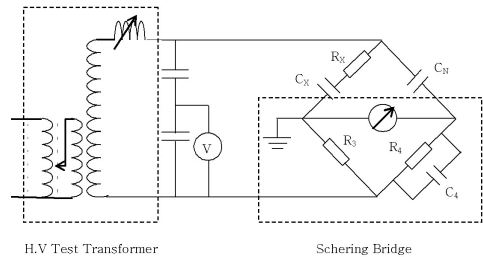
구 분	시료수	시료온도(℃)	설치년도
유입변압기	29 대	9-60	1975-2001
몰드변압기	28 대	11-42	1991-2001
XLPE케이블	83 조		

에서 부분방전이 발생하고 결국 유전손실도 증가하게 된다. 유전손실계수는 인가전압에 따라 그림 1과 같이 용량성전류와 손실전류의 비율을 측정하는 것으로 이 값은 대상절연물의 평균 유전손실을 알 수 있다.



<그림 1> 절연물의 등가회로 및 전압-전류 벡터도

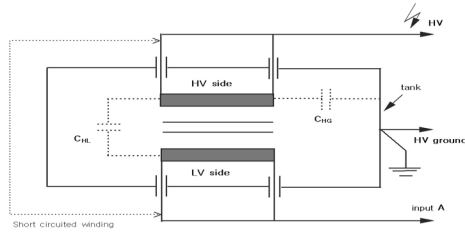
유전손실계수와 커패시턴스의 측정에 가장 많이 적용되는 방법이 웨링브리지(Schering bridge)에 의한 것이다. 그림 2는 표준커패시터로 웨링브리지를 구성하여 유전손실계수를 측정하기위한 회로도를 설명하는 것으로 측정대상 절연물을 Rx와 Cx로 표시하고, 표준커패시터 Cn, 가변저항 R3과 가변콘덴서 C4를 이용하여 웨링브리지를 구성한다. 유전손실계수 측정은 H.V Test Transformer를 이용하여 교류 고전압을 인가한 후 가변저항과 가변 콘덴서를 조절하여 검류계에 전류가 흐르지 않을때의 R3과 C4를 통해 시험대상의 유전손실계수와 커패시턴스를 계산하게 된다. 일반적으로 시험대상 절연물의 유전손실로 인해 전류는 전압에 비해 90도보다 조금 작은 위상각으로 나타나게 되며, 최종적으로 도출된 유전손실계수 tanδ는 ωRx/C4로 표현될 수 있다.



<그림 2> 웨링브리지에 의한 유전정접시험 회로도 (Rx, Cx:측정대상절연물, Cn:표준커패시터 R3:가변저항, C4:가변콘덴서)

2.2.1 유전손실계수 측정

변압기의 경우 고압측과 저압측으로 구분되어 있어 그림 3과 변압기의 유전손실계수는 3가지의 모드로 측정하여야 한다. 표 2에서 설명하는 것과 같이 UST A mode는 1차권선과 2차권선사이의 유전손실계수를 측정하며 GSTg A+B mode는 1차, 2차권선과 대지간의 유전손실계수를 측정하고 GSTg A mode는 1차권선과 대지간의 유전손실계수에 대한 측정값을 보여준다. 변압기의 시험전압은 1차 전압기준으로 정격전압 10 kV 급 이하 변압기는 정격전압까지 시험전압을 인가하고, 10 kV 급 이상 변압기는 시험전압 10 kV에서 각 모드별 유전손실계수를 측정하였다. 케이블의 경우 권선과 대지간에 시험대상시료에 해당하는 정격전압까지 시험전압을 인가하고 유전손실계수를 측정하였다.



〈그림 3〉 변압기의 유전손실계수 측정모드
(C_{HG}:고압측과 대지, C_{HL}:고압측과 저압측)

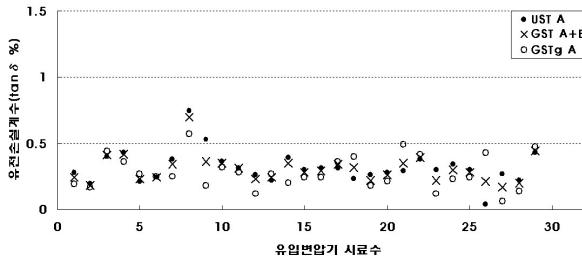
〈표 1〉 유전손실계수의 측정모드

Mode	측정위치	유전손실계수 측정부
UST A	C _{HL}	1차권선/2차권선
GST A+B	C _{HG} +C _{HL}	1차권선+2차권선/접지
GSTg A	C _{HG}	1차권선/접지

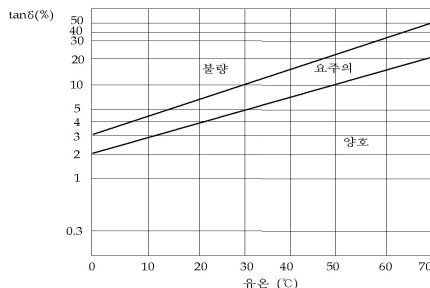
2.3 측정결과

2.3.1 유입변압기

그림 4는 시험대상 유입변압기에 대하여 2.2.1절에서 설명한 각 모드별로 유입변압기 시료수(x축)는 제작년도가 오래된 변압기를 기준으로 배열한 유전손실계수의 측정 데이터를 보여준다. 시험결과에서 보듯이 설치년도 및 본 논문에서는 제시하지 못하였지만, 시험대상변압기의 용량, 전압과도 관계없이 8번 변압기에서 측정된 유전손실계수를 제외하고 모두 0.5 % 이하의 값을 나타내었다. 8번 변압기는 권선온도가 측정 당시 60°C 로 다른 시험대상 변압기와 비교하여 온도가 높고, 유전손실계수도 온도상승에 따라 증가하는 특성이 있으므로 이러한 점들을 고려하면 주위온도 조건에서 유입변압기의 경우 0.5 %의 범위를 크게 벗어 나지 않는 것으로 분석되었다. 각 모드별로 유전손실계수를 분석해보면, 29개의 시료중 20개의 시료에서 UST A, GST A+B, GSTg A 순으로 측정값이 작아진 것으로 나타나 UST A에서의 유전손실이 다른 모드와 비교하여 큰 특징을 보였다. 국제규격에서는 유전손실계수가 0.5 % 이하를 허용값으로 제한하고 있으며^[1], 그림 5는 일본전기학회보고자료에서 유온을 고려한 유전손실계수의 기준값을 제시하는 자료로 금번 수행한 측정데이터와 비교하여 상당히 높은 여유값을 유지하고 있는 것으로 나타났다^[2].



〈그림 4〉 유입변압기의 측정모드별 유전손실계수

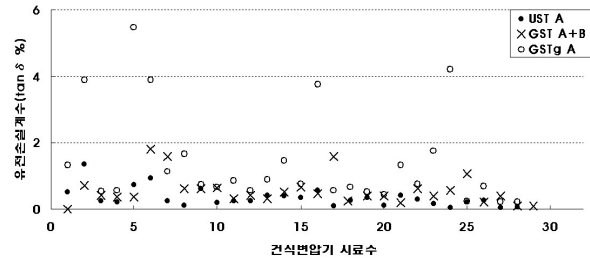


〈그림 5〉 유온을 고려한 유입변압기의 유전손실계수 제한값

2.3.2 건식변압기

그림 6은 시험대상 건식변압기에 대하여 2.2.1절에서 설명한 각 모드별로 건식변압기 시료수(x축)는 제작년도가 오래된 변압기를 기준으로 배열한 유전손실계수의 측정 데이터를 보여준다. GSTg A 모드의 경우 시험대상 변압기중 5개의 시료에서 4 % 이상의 큰 값이 나타나, 1차 고압권선과 대지간에 절연손실이 크게 나타난 반면, UST A, GST A+B 모드에서는 모두 2 % 이하이고, 이중 90 % 이상은 1 % 이하의 안정적

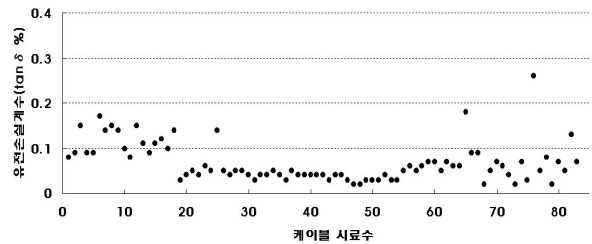
인 값을 나타내었다. 각 모드별 유전손실계수는 유입변압기와 다르게 GSTg A, GST A+B, UST A 순으로 측정값이 작아진 특징이 나타났다. 건식변압기의 경우 국제규격에서는 유전손실계수에 대한 허용 기준 값을 제시하고 있지 않으며 주기적 시험을 통한 경향(trend)관리를 권장하고 있다^[3]. 금번 측정데이터의 경우 GATg A에서 측정된 큰 값들에 대해서는 다음시험시 데이터의 경향분석이 필요한 것으로 판단된다. 다른 두개의 모드에서는 유전손실계수가 안정적인 경향을 나타내고 있으므로 건식변압기의 잠재적인 절연상의 문제점을 분석하는데 용이할 것으로 사료된다.



〈그림 6〉 건식변압기의 측정모드별 유전손실계수

2.3.3 XLPE 케이블

그림 7은 케이블에 대한 유전손실계수를 보여주는 것으로, 케이블 시료중 1-18번 시료는 15 kV급 케이블이고, 19번 시료부터는 6.6 kV급 케이블이다. 84개의 시료중 1개의 시료를 제외하고 0.2 % 이내의 값을 나타내고 있으며 이중 13개 시료를 제외한 전체시료의 약 85 %는 0.1 % 이내의 값을 나타내었다. 15 kV급의 유전손실계수가 6.6 kV급의 유전손실계수보다 다소 큰 것을 알 수 있지만, 케이블의 절연물이 XLPE로 절연특성이 우수하여 유전손실계수가 변압기의 것과 비교하여 상당히 작은 것을 알 수 있다. 케이블의 경우도 국제규격에서는 유전손실계수에 대한 허용범위를 제시하고 있지 않으며 일본학회에서 발표된 논문의 경우 6 kV급은 0.5 % 이상 22 kV 급은 1.0 % 이상을 주의가 필요한 것으로 제시하고 있다. 금번 측정값과 비교하면 모두 허용범위내에 포함 된것을 알 수 있다^[4].



〈그림 7〉 XLPE 케이블의 유전손실계수

3. 결 론

고전압 설비 가운데 유입 및 건식변압기와 XLPE 케이블에 대한 현장 절연진단시험에 있어 이들 설비의 절연특성이 우수하고, 주변노이즈 등에 의하여 정밀한 열화상태를 분석하는데 어려움이 있어 본 논문에서는 산업현장에서 운영중인 대상설비에 대하여 일반적인 절연특성의 열화상태를 분석할 수 있는 유전정접시험을 수행하였고 유전손실계수를 측정하여 설비별로 구분하여 경향성을 분석하였으며, 그 결과 유전손실계수가 유입변압기는 0.5 %이내 건식변압기는 2 % 이내, XLPE 케이블에서는 15 kV급은 0.2 %, 6.6 kV급은 0.1 % 이내에서 안정적인 분포를 갖는 것으로 나타나 유전정접시험을 통한 유전손실계수의 경향분석은 고전압 변압기 및 케이블의 열화특성을 분석하는데 활용도가 높을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std 62-1995, "IEEE Guide for Diagnostic Testing of Electric Power Apparatus", 1995
- [2] 電氣設備診断・更新技術調査専門委員会, "更新技術に関する調査報告", 日本電氣學會技術報告(II号) 第376号 1991.7
- [3] IEEE Std C57.12.91-1995, "IEEE Std Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers", 1995
- [4] 絶縁材料の劣化と機器・ケーブルの絶縁劣化判定調査専門委員会, "絶縁材料の劣化と機器・ケーブルの絶縁劣化判定の實態", 日本電氣學會技術報告) 第752号 2000.1