

표준형 지상변압기 개발에 관한 연구

A study on development of the standard PAD-mounted type Transformer

조국희*, 김광화
한국전기연구소
Kook-Hee Cho
Kwang-Hwa Kim

양태권, 홍원식, 조양섭, 김양태
동방전기공업(주)
Tae-Kweon Yang, Won-Sik Hong
Yang-Seob Cho, Yang-Tae Kim

Abstract

As underground distribution systems to be operated in downtown have more merits than overhead distribution system, underground distribution systems are being increased.

But when pad-mounted transformers have troubles, ruptures and fires can be occurred. We think that this makes accidents and power failures of bulidings and generates malaise and a great economic loss.

In order to increase the reliability of pad-mounted transformers, we have investigated operating condition of pad-mounted transformers and understood their failure mechanisms. Therefore, we would have objectives and necessities of this study to improve quality and operating condition and install switches to be able to check and maintain transformers and optimize protection devices and increase cooling effect in pad-mounted transformers.

1. 서론

대도시를 중심으로 주로 설치되어 운용되고 있는 지중배전계통은 가공시스템에 비하여 도시미관, 공급루트확보, 설비안전 및 공급신뢰도 향상 등의 장점을 가지고 있으므로 꾸준히 증가되고 있으며, 앞으로 이러한 추세는 계속 될 전망이다.

그러나 지상변압기는 사람의 왕래가 빈번한 지역에 설치되어 있으므로 변압기의 고장발생 시 절연유 분출·화재 등을 수반하면 인명피해를 발생시키거나, 불안감을 유발할 수 있는 원인을 가지고 있으며, 주변의 인구밀집 건물 등에 정전을 일으켜 보안 취약 및 경제적 손실을 가져올 우려가 있다. 지금까지 지상변압기에서 발생한 절연유 분출 및 소손고장이 대부분으로 이와같은 고장은 지상변압기에서 근본적으로 발생하지 않도록 하거나, 발생하더라도 안전사고로 이행을 억제할수 있어야 한다. 따라서 선진외국에서는 변압기의 과부하에 의한 수명시험 및 내부단락에 의한 절연유 분출시험 등을 행하여 특성을 파악하고, 적정보호장치의 개발 및 신제품 개발과 고장예방에 관한 지속적인 대책연구를 행하고 있다.

그러나 국내업체의 변압기 제작기술은 어느 정도 확립되어 있는 것으로 사료되나 지상변압기의 사용조건에 따른 열해석, 보호장치의 적정성 등을 종합적으로 고려한 연구는 거의 전무한 실정이므로, 지상변압기의 사용조건 제정립과 적절한 보호장치 및 개폐장치 선정을 하고 지상변압기의 신뢰도 향상과 효율적인 점검 및 정비를 하기 위해서는 현재까지 지상변압기에 대한 고장 및 운전특성을 조사분석하고, 평가하는 연구가 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 지상변압기의 신뢰도를 향상시키기 위하여 현재의 변압기 운용조건을 검토하고 고장기구(mechanism)를 분석 규명후 지상변압기의 취약부분에 대한 제작

업체의 품질개선 유도과 변압기 운용조건 개선으로 지상변압기의 고장을 감소시키며, 또한 변압기의 보호, 절연유 분출·화재방지 및 점검,정비를 편리하게 하기 위한 보호장치의 적정성과 개폐장치의 부착방안을 검토하고, 방열효과의 증대를 통한 설비의 이용을 향상을 도모하는데 목적이 있다.

2. 지상변압기의 구조 및 고장원인분석

우리나라에서 지상변압기가 도입되어 사용된 것은 1979년부터이며 처음으로 서울에 4대가 설치되었고 1986년 이후 사용이 급속히 확대되었으며 1994년에는 전국적으로 분포되어 13,000대에 이르고 있다. 지상변압기가 속해있는 배전용 변압기는 설치형태에 따라 표 1과 같이 구분되고 있으며, 지상설치형과 지중설치형은 다음과 같은 장단점을 가지고 있다.

표 1. 설치형태별 장단점 비교

구분	장점	단점
지상설치형	·경제적 ·보수,점검용이 ·기기열발산, 방수용이 ·기기조작용이	·설치 공간 확보 곤란 ·외부 충격 발생 우려 ·도시미관 저해 요인 ·주기적 도색 필요
지중설치형	·도시미관 개선	·지하 대규모 구조물 제작 ·기기 열발산, 방수, 방청처리 ·기기단가 고가

지상변압기는 한국전력표준규격에 의해 제작되고 있으며 내부구조 및 보호장치는 그림 1과 같이 구성되어 있고, 구성도에서 살펴보면 케이블로부터 변압기로의 전원은 붓싱 다음에 CL Fuse, Bay-O-Net Fuse를 통하여 변압기 권선에 공급된다. 그리고 변압기에서는 전압을 조정할 수 있는 탭절환 장치가 부착되어 있고, 절연유의 유면을 확인할 수 있는 유면계와 변압기 호흡작용에 의한 내부압력 상승시 이를 해제할 수 있는 방압밸브로 구성되어 있다. 지상변압기에 사용되고 있는 구성품들의 특성은 표 2와 같다.

또한 지상변압기의 고장원인을 분석하여 보면 외상사고를 제외하고 가장 많았던 고장은 붓싱 엘보 고장이고, 대부분 고장발생 원인 특

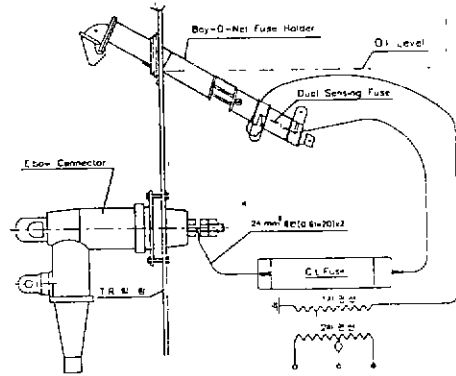


그림 1. 지상변압기의 구성도

표 2. 지상변압기 구성품의 특성

구성품	용도
붓싱	케이블로 부터 변압기 탱크내부로 전원 인입
엘보	케이블 말단에서 변압기 붓싱과의 접속역할
Bay-O-Net Fuse	변압기 2차측 과부하에 대한 변압기보호
C.L. Fuse	변압기 내부 및 2차측 사고의 후비보호
Tap Changer	계통전압에 따라 1차측 전압조정용
본체	배전계통전압을 부하에 필요한 전압으로 변환

성은 전압 혹은 과전압에 의한 절연고장인 것으로 추정할 수 있다. 이상의 사고분석 결과에 의하면 지상변압기의 고장원인은 그림 2와 같은 것으로 추정된다. 그림 2는 2차측 고장이거나 부하변동에 의해 권선이 기계적 힘을 받아 손상되면서 아크 및 가스를 발생하여 인접된 붓싱단자에서 발생된 가스가 절연유를 밀어내고, 여기에 아크 또는 고온의 가스로 인하여 붓싱의 터미널 부분에서 지락을 발생시키는 것으로 사료된다.

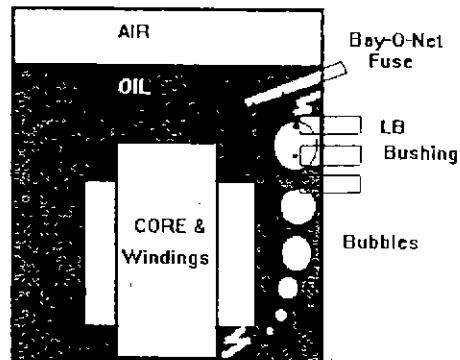


그림 2 지상변압기 고장발생 추측개념도

3. 변압기 고장 모의시험 및 개선사항

변압기 고압측에서의 내부단락 사고는 변압기 절연유 분출의 주된 원인이 되기 때문에 이 경우의 변압기 압력상승 현상을 파악하는 것은 절연유 분출보호 대책을 강구하는데 선행되어야 한다. 고압측 아크발생 사고모의를 위한 인위적 아크발생은 붓싱부에서 탱크면으로 아크유도를 위한 가는 도체를 그림 3과 같이 연결하여 전원 투입과 함께 도체선이 용융되면서 이 부분에서 발생되도록 한다.

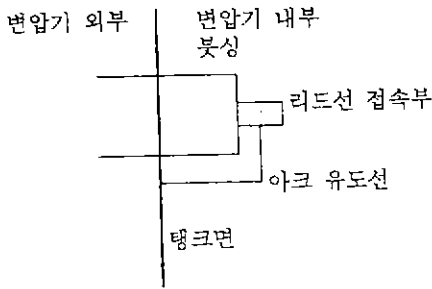


그림 3. 아크 유도선 결선

그리고 아크에 의한 변압기 내부압력 크기는 사고전류 크기와 통전시간 및 아크 전압에 의해 결정 되어진다. 아크발생 길이는 변압기에 설치되어 있는 붓싱설치 조건으로 부터 붓싱의 리드선 결선부분에서 탱크면까지의 최단거리로 선정한다.

이와 같이 모의시험을 하고 변압기는 다음과 같이 개선하였다.

- C.L 휴즈 위치를 왼쪽외함 벽면에 45° 각도로 취부고정하였다.
- C.L 휴즈와 Bushing Well과의 거리를 밀착시킴으로서 진동을 최소화 하였다.
- Bushing Well과 C.L 휴즈와의 접촉부분에 절연캡을 사용하였다.
- C.L 휴즈가 변압기와 별도로 취부하여 권선의 이상시 C.L 휴즈는 지장을 받지 않는다.
- Bushing Well에 연결동대 취부후 절연캡으로 보호 하였다.
- C.L 휴즈와 Bushing 연결은 동판으로 처리

하여 거리를 최소화 하였다.

·각 상별로 권선에서 탭리드를 탭절환기 중앙으로 이동하여 탭절환기에 연결하였다.

변압기 저압측 단락사고는 한류휴즈 및 Bay-O-Net휴즈의 보호협조관계를 알아야 하며, 단락전류에 대한 기계적 강도에 대해서는 변압기 개발시험시 실시되는 방법을 적용하는데 단락강도 및 내 아크 시험이다.

일반적으로 Bay-O-Net휴즈의 최대 차단용량은 수 kA정도로 고장전류가 이보다 큰 경우인 변압기 내부 고압측 고장에 대해서는 부족하므로 변압기 보호를 CL휴즈가 담당하도록 하고 있다. 따라서 CL휴즈의 보호성능 확인이 필요하다.

변압기 내부의 고압측에서 절연파괴로 인한 아크가 발생할 경우 아크 에너지에 의해 절연유가 분해되어 가스가 발생하게 되고 따라서 변압기 내부압력이 상승하게 된다. 이러한 압력상승은 변압기 임의의 압력 취약부분을 통해 외부로 분출하게 되는 결과를 가져오기 때문에 이의 외부적 영향을 최소화하기 위해 아크 발생시의 압력과 가스발생량 및 탱크 파열압력 등을 측정하고, 적절한 대책을 강구하는 것이 필요하다. 아크발생 시험회로는 그림 4와 같으며 그림 5에서 보는바와 같이 아크 시험 결과는 시험전류 8.5[kA]의 크기로 14.5[cycle]이 통전되었음을 보여주고, 압력은 통전후 1.5[cycle] 지점에서 3.25[kg/cm²]의 압력크기로 최대치를 기록하고 있음을 보여준다. 이는 최대압력지점에서 변압기 탱크가 파열되고 압력이 하강하기 시작함을 뜻하며, 이로부터 변압기 탱크의 동적 내압특성을 알 수 있다.

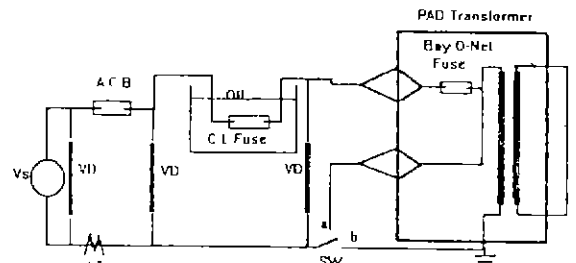


그림 4 아크 시험회로 구성도

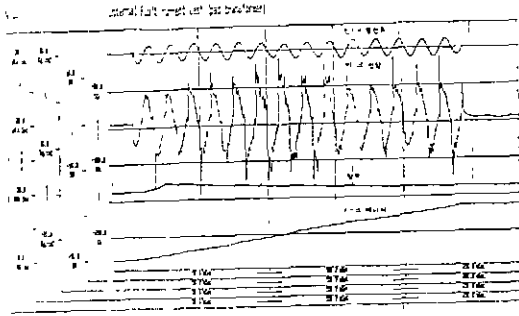


그림 5. 변압기 본체 내의 아크시험결과

그리고 2차측 단락에 대한 영향 평가 시험으로 변압기 단락강도 시험 및 LVI시험을 행하였다. 변압기가 Y결선일 때 LVI시험은 중성점에 임펄스를 인가하여 각상에 대한 파형을 측정하여 단락강도 시험전에 측정된 결과와 시험후의 측정결과를 비교하여 권선의 상태를 비교한 후 변압기를 해체하여 권선상태를 육안으로 관측, 검증하는 것이며 단락강도 시험은 임피던스의 변화를 파형으로 분석하는 것이다.

4. 결론

이외에도 반환 부하법 및 단락법에 의한 열분포 시험, 온도상승시험 및 휴즈의 특성시험으로 부품배치와 절연설계에 따른 변압기의 결과를 나타내면 다음과 같다.

1) 지상변압기 절연유 분출고장의 원인은 2차측 부하고장 또는 부하급변이며, 이로 인한 고장파급으로 1차권선 또는 2차권선에서 단락 또는 지락이 일어나고 여기서 아크와 절연유 분해가스 발생으로 붓싱 연면에서 절연고장이 발생하는 것으로 조사되었다.

2) 1차 붓싱에 절연캡을 취부하여 이 부분에서 발생할 수 있는 절연파괴를 방지할 수 있도록 하였다.

3) C.L 휴즈의 전원측 부분단자에 절연캡을 취부하여 절연파괴를 방지할 수 있도록 하였다.

4) Tap Changer의 리드선은 상별로 구분하여 정리하고, 상별간에 일정 절연거리를 유지할 수 있도록 절연 스페이서를 설치하였다.

5) 지상변압기의 절연단락 및 특성시험한 결과 현재의 지상변압기와 동등이상의 특성이 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] W.J. Huber, "Transformer Inrush Considerations for Current Limiting Fuses", IEEE PES Summer Meeting, July 1974
- [2] 배전 신기술 조사전문위원회, "배전신기술의 동향", 일본전기학회기술보고 제 401호(2부), 1992
- [3] John G. Leach, "Current-Limiting Fuse Technology", Hi-Tech Fuses R-27-92, 1992 4.
- [4] ANSI C57. 109, "IEEE Guide for Liquid-Immersed Transformer Through Fault Current Duration", ANSI 1993.
- [5] 지중배전기술동향 조사전문위원회, "지중배전의 기술동향", 일본전기학회 기술보고 제 343호 (2부), 1990.
- [6] 한류휴즈의 신뢰성 향상 조사전문위원회, "한류휴즈의 현상과 신뢰성", 일본전기학회 기술보고(II) 제155호, 1983.