

# 3상 변압기의 손해 예방

김 동 일  
(위험관리부 과장)

알리안스 기술센터(AZT ; Allianz Zentrum Für Technik, Allianz Center for Technology)는 독일의 알리안스 보험 회사가 설립한 시험연구소로서 재산보험 분야의 손해 예방과 손실 경감에 관한 연구, 개발 업무를 수행하고 있다.

본고는 기술보험에 있어서의 손해 예방 지침을 다룬 AZT의 손해예방핸드북(Allianz Handbook of Loss Prevention) 가운데에서 “3상변압기”에 관한 사항을 요약, 정리한 것이다. 이후 “내연기관, 공업용 로, 터빈발전기, 3상 전동기”등에 대하여서도 같은 방법으로 게재할 계획이다. <편집자>

## 1. 3상 변압기의 손해 원인과 손해 개소

### 가. 손해의 원인

전체 손해 원인의 약 반수가 제품의 결함으로 나타났고, 이의 상당수가 3차코일의 용량 부족에 인한 것이었다. 운전 결함은 주로 개폐 조작의 잘못에 의한 것이며 보수 불량은 많지 않았다. 외래요

<표 1> 변압기의 손해 원인 및 손해 개소 비율

손해 원인	비율(%)	손해 개소	비율(%)
제품 결함(Product Fault)	48	코일과 철심	54
운전 결함(Operational Fault)	15	탭 및 탭 절환기	34
외래 요인(External Loss)	20	부싱	12
노화(Aging)	7		

1979년부터 1982년 사이에 발생한 32MVA 이상 대용량 변압기의 사고 통계임.

인으로는 과전압이 주원인으로서 계전기의 보호 범위와 기후 조건의 영향이 많았다. 설비의 노화가 원인이 된 것은 코일의 열화뿐만 아니라 고정접점과 가동접점의 탄화, 부싱 표면의 절연 파괴 등으로 나타났다.

### 나. 손해 개소

변압기 손해의 54%가 코일 또는 철심에서 발생하였다. 철심의 손해는 대개 코일의 손해 발생에 기인한다. 철심의 과열에 의한 사고는 많지 않다. 철심이 과열되면 가스를 발생하고, 이 가스는 부츠홀츠(Buchholz) 계전기를 작동시키기 때문이다. 탭 절환기의 사고는 탄화된 오일의 점점을 마모시켜 발생하는 경우가 많다.

탄화 현상이 유중 가스 분석 등에 의하여 조기에 발견, 제거되지 않는다면 이 사고는 훨씬 많아질 것이다.

## 2. 3상 변압기의 손해 예방

### 가. 설치와 시운전

일반적으로 변압기는 직접 사용될 수 있는 형태로 납품된다. 그러나 팽창탱크나 라디에이터를 분리하여 납품된 경우에는 오일을 재충전할 때 합성 절연액이 광유와 혼합되지 않도록 주의하여야 한다. 또 라디에이터는 환기가 잘 될 수 있어야 한다.

변압기를 수평으로 설치하기 위하여 모든 부착점이 하나의 수평면이 되도록 유의한다. 이때 변압기 내부에 소량의 가스가 발생하더라도 가스의 기포가 신속히 계전기에 전달될 수 있도록 1% 정도의 경사를 두고 설치한다.

다만, 부츠홀츠 계전기가 중앙에 있는 대용량 변압기의 경우에는 수평으로 설치하여야 한다.

수냉식 변압기의 냉각기는 물의 출구측에 부착되도록 하고 오일이 보일 수 있도록 한다. 또, 냉각기의 물은 어떤 곳에서도 오일의 압력보다 높게 되지 않도록 수압을 조절하여야 한다. 입구측에 적당한 높이의 오버 플로우관을 설치

하는 방법을 이용할 수 있다. 변압기를 사용하기 전에 반드시 접지를 하고, 부싱의 불꽃 보호캡을 확인하여야 한다. 전압이 조정될 수 있는 경우에는 바른 전압 탭을 선택하여야 한다.

병렬 운전의 경우 결선된 시스템 사이에 전압차가 있는지를 측정에 의하여 확인하여야 한다. 오일의 절연 파괴 전압은 소량의 수분에 의하여서도 크게 저하하기 때문에 스위치를 넣기 전에 반드시 이를 검사하여야 한다.

1) 보호 장치

대용량 3상변압기에 사용되는 보호 장치는 부츠홀츠 계전기, 자동식 계전기, 과전압 계전기, 절환 개폐기 보호 장치, 실리카 겔 흡습 호흡기 및 고전압 운전에 있어서 부싱의 압력 감시 장치가 있다. 변압기 사고의 주요 원인이 되는 과전압은 보호 장치의 바른 설치에 의해 해결할 수 있다.

낙뢰와 같은 대기의 과전압은 피뢰기(Lightning Arrestor)를 설치하여 보호할 수 있다. 피뢰기는 변압기와 충분히 이격, 설치하여야 한다. 예를 들어 110 시리즈

(표3) 변압기의 보호 장치

보호대상	보호장치
내부 단락	비용차용 계전기 과전류 계전기 또는 전력 퓨즈 부츠홀츠 계전기 충격압력 계전기
	지락(1차) 및 1차 2차 혼촉
지락(2차)	지락 과전압 계전기
과부하 및 2차 외부 단락	과전류 계전기 2차 전압인 경우는 배선용 차단기 또는 퓨즈

에 있어서는 변압기 1차측 단자에서 15~20m 이격된 부분에 설치한다.

변압기와 가공전선을 케이블에 의해 접속하는 경우 케이블 길이의 2배 이상의 거리를 두고 피뢰기를 설치하여 뇌(雷)의 직접 충격 등으로부터 보호한다.

피뢰기는 가능한 한 가공전선 근처에 설치한다. 승압 변압기 및 단권 변압기의 직렬 코일에도 과전압 보호가 필요하다.

또하나의 중요한 보호 장치는 실리카 겔 흡습 호흡기로서 이것은 팽창 탱크와 대기와의 사이에 부착된다. 당연한 일이지만 실리카 겔 흡습 호흡기는 팽창 탱크의 각 실마다 설치하여야 한다. 오일의 온도 상승에 의한 체적의 변화에 따라 팽창 탱크에 들어가는 공기는 호흡기를 경유할 때 건조된다.

나. 운전 중의 감시

변압기는 통상 오버 홀을 실시하지 않는 반면, 운전 중의 감시가 무엇보다도 중요하다.

운전 중 감시를 필요로 하는 부분은 다음과 같다.

- 탱크 및 팽창 탱크
- 냉각 장치

(표2) 변압기의 용도별 분류

종 류	용 도
전력용 변압기	발·변전소 또는 배전선에서 전압을 바꾸어 전력을 공급할 목적으로 사용된다. 배전용 변압기도 이 일부이다.
절연 변압기	복수의 계통간을 절연할 목적으로 사용된다. 타이트랜스라고도 한다.
저소음 변압기	소음 레벨을 낮게 제작한 변압기
이동용 변압기	긴급 대책용으로 차량에 적재하여 용이하게 이동시킬 수 있는 변압기로 간단한 변전설비를 시설한 것
접지 변압기	전력 계통에 중성점을 설치하여 직접 또는 적정 임피던스를 통해 접지할 목적으로 사용된다.
부하시 전압 조정기	회로의 전압을 조정할 목적으로 사용하며, 직렬 변압기와 부하시 탭 전환장치를 결합한 장치이다.
전기보용 변압기	전기료에 전력을 공급하는 변압기로서, 전기료의 종류에 따라 종류가 많다. 보통 2차측은 대전류이다.
정류기용 변압기	정류기·SCR 등의 전원 변압기로, 정류법에 따라 종류가 많다. 정류기와 일체된 것도 있다.
선박용 변압기	선박 내의 배전에 사용하는 특수 변압기로서 승인이 있어야 한다.
방폭형 변압기	법규에 준거하여 폭발 가연성 분위기에서 사용하는 변압기로 국가검정기관의 승인이 있어야 한다.
기동용 변압기	대용량 전동기의 기동전류를 제한할 목적으로 사용하는 변압기이다.
차량용 변압기	교류 전기차량에서 급전 전압을 전동기 회로 전압으로 강압하는 변압기로 경량으로 제작된다.
시험용 변압기	주로 고전압 또는 대전류 시험 전원으로 사용되는 변압기이다.
성전류 변압기	직렬 점등방식 등의 전원에 사용되는 변압기로 2차 회로와 각 등과의 사이는 포화변압기로 절연된다.
누설 변압기	내온관 등의 방전관, 아크용접 등 저항 특성을 갖는 부하에 공급하는 전원에 사용한다.
리 액 터	변압기는 아니지만 뒤진 무효전력을 취할 목적으로 사용되며 직렬, 분로, 중성점 리액터 등이 있다.

(표4) 변압기 수리 지침

고장난 곳	고장 종류	수리의 방식			
		분 류	긴급도	설 명	
본 체 내 부 의 부	철 심	중간 절연 불량 조임볼트 절연 불량 조임볼트 헐거움	변압기 교체 또는 제작자 공장 수리	빠른 시기에 점검일을 정 해 수리	전철심이 신제품일 때는 낡은 변압기 는 신제품과 교체하 는 편이 유리
	권 선 배 선 탭 전환기	절연과괴 또는 불량 권내 단락 권선 변형 국부 과열 열열화, 흡습	변압기 교체 또는 제작자 공장 수리	즉시 수리	도체 손손으로 인 한 금속가류 탄화 물은 전체에 비산 되기 때문에 전체 청소 또는 권선의 교체가 필요
	절연유	열열화 물 혼입 가연성 가스의 용해	현지 수리 또는 교체	조기에 점검 일을 잡아 여 과 또는 교체	전문업자에게 맡기 는 것이 편리
	외 함 방열기 부속 부품	조임부분 헐거움 오일의 누설 부속부품의 불량 도장 열화	현지 수리 또는 교체	중요 부품 이 외는 다음번 정기 점검시 수리	부식 등의 주요 부 품의 불량은 정도 에 따라 즉시 교체
계 기 보호 계전기 류	지시, 정정 불량 동작 불량 접촉 불량, 절연 불량	현지 수리 또는 교체	당일 또는 수 일 내에 수리 또는 교체	직업 운전애 지장 을 주시는 않지만 방치해 두면 만일 의 경우 중대 사고 가 된다.	

- 부상/접속함
- 탭 절환기
- 개폐 장치함

오일이 누설되면 유막을 형성하여 대기 중의 분진 입자를 흡착하기 때문에 표면 절연 저항이 감소하여 플래시 오버에 이를 수 있다. 또 스파크가 발생했을 때 인화할 위험성이 있다. 변압기 탱크의 페인트가 과도하게 훼손되면 유출 자속에 의하여 과도한 온도 상승을 나타내고 또한 변압기의 효율도 저하시킨다. 온도계에는 최고 허용 온도를 표시하여 둔다.

전동기 구동에 의해 탭 절환이 되는 변압기에서는 구동부 오일의 양도 검사 하여야 한다. 실리카 겔 흡습 호흡기가 있는 경우에는 건조제의 푸른 층이 변화하였는가에 유의한다.

건조제를 적절한 시기에 교환하지 않으면 수분이 변압기 내의 절연유에 침투된다.

1) 가스의 발생

운전 중에 전기식 또는 기계식 보호장치가 작동하여 개로(開路)가 되면 대지간의 절연이 파괴된다. 이때 트립된 장치에 의하여 그 장소를 알 수 있다.

보호 장치의 작동에 의하지 않고 계전기의 경보만 있을 경우에는 변압기 내부의 트러블에 의한 가스 발생 여부를 조사하여야 한다. 이때 특정 가스가 발견되면 "유중 가스 분석"이 필요하다.

2) 유중 가스 분석

최근 유중 가스 분석 방법의 진보로 부츠헤르 계전기만이 트립된 때의 고장 평가에 큰 역할을 하게 되었다. 검출된 값에 의하여 그 가스를 발생시킨 원인을 알아낼

수 있게 된 것이다. 예를 들면 수소와 아세틸렌이 메탄과 에틸렌을 수반하여 존재하고 있는 경우에는 오일 내부에서 아크가 있었음을 나타낸다.

다. 보수

보수 작업은 계획을 세워 행한다. 보호 및 감시 장치는 적어도 연간 1회의 기능 시험을 실시하여야 한다. 냉각 시스템은 1~2년 간격으로 크리닝을 실시하되 공기와 냉각수가 심하게 오염된 경우는 보다 자주 실시하여야 한다.

1) 오일의 검사

절연유는 다음의 수치를 초과하거나 혹은 낮아지면 안전하게 사용할 수 없으므로 오일의 처리 또는 새로운 오일과 교환하여야 한다.

중화가: NZ > 0.5mg KOH/g 오일

경화가: VZ > 1.5mg KOH/g 오일  
절연과괴전압:  $U_n < 30KV \sim U_n < 50KV$

2) 오일의 처리

과괴 전압이 한계치에 달하여 있어도 중화가, 경화가 등이 한계치 이내인 절연유는 필터 프레스에서 기계적으로 청정화하여 재사용하면 재사용할 수 있다.

1MVA 이상의 대용량 변압기는 설치 장소에서 이동식의 장치로 제습하여도 좋지만 그 이하의 변압기는 운반하여 처리하는 쪽이 경제적이다.

3) 탭 절환기

변압기 손해의 34%가 탭 또는 탭 절환기에서 발생하였다. 그러나 지금까지 사용되던 동/황동 접점이 은도금 접점으로 개선되어 이로 인한 사고는 감소되고 있다.