

변압기의 내외부 점검 및 예방진단 (I)

글/한국전력공사 정비기획실 부처장 전 만 호

[차 례]

I. 변압기 내외부 점검

- 1. 점검보수의 종류 및 내용
- 2. 점검상의 판정기준

II. 변압기의 사고와 그 원인

- 1. 자기회로에서의 고장
- 2. 전기회로에서의 고장
- 3. 절연회로에서의 고장
- 4. 기타

III. 변압기 예방진단 기술

- 1. 유중 용해가스 분석에 의한 변압기 이상상태 판정
 - 가. 검지 가능한 내용
 - 나. 변압기 유지 절연재료의 발생 가스

다. 유기 절연재료의 종류

- 라. 가열 시험에 의한 발생 가스
- 마. 유중 가스 분석 및 판정기준
- 바. 이상 변압기의 내부점검 우선 순위
- 사. 이상 판정의 방법
- 아. 이상 진단의 방법
- 자. 종합 진단

2. 최근의 이상상태 진단기술

- 가. On-Line 유중 가스 분석
 - 나. 분석장치
- 다. 유입 변압기의 휴대용 절연열화 검출기
- 라. 유입 변압기의 진존수명 예측
- 마. 유입 변압기의 내부이상검출 연구동향

변압기 내외부 점검

변압기는 전력공급에 있어 필요 불가결한 전력기기로, 한번 고장이 나면 복구에 장시간이 걸리고 비용 또한 많이 들므로 사고방지를 위해 점검, 보수가 중요하다.

변압기는 제조자에 따라 여러 종류가 있으므로 취급 설명서 등에 의해 그 원리, 구조 등을 숙지한 후 점검, 보수에 임해야 하며 특별히 안전확보에 신경을 써야 한다.

1. 점검, 보수의 종류 및 내용

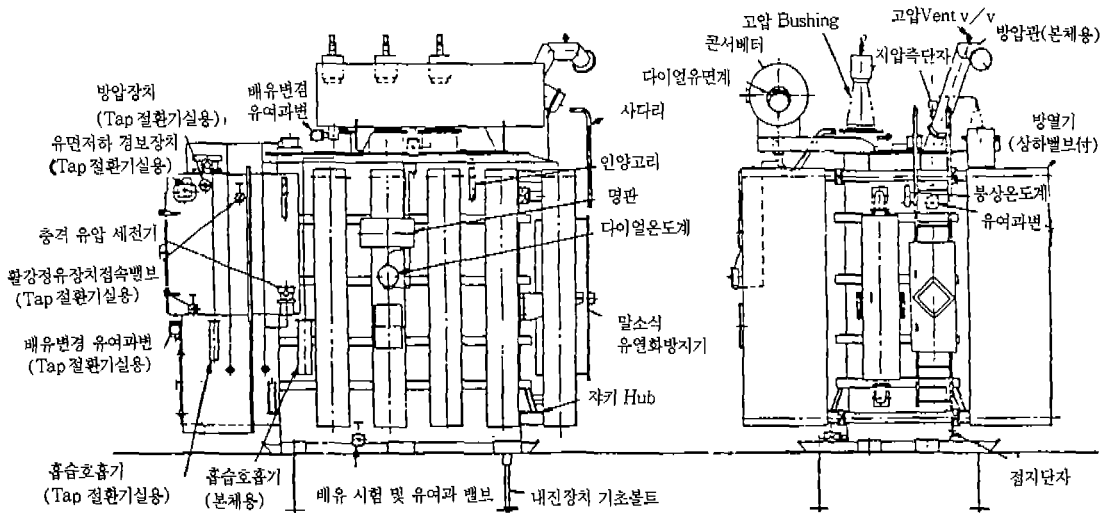
점검, 보수는 그 실시 내용에 의해 다음과 같이 분류된다.

- 가. 일상점검 보수
- 나. 정기점검 보수(보통점검 보수, 정밀점검 보수)
- 다. 임시점검 보수
- 라. 각종 시험

가. 일상점검

운전상태의 변압기에 대해 부속계측기 및 계 감각을 통해 이상유무를 감시하며 간단한 보수도 시행한다.

점검개소	점검항목	점검내용 및 설명
본체	외부전반 (外部全般)	상온, 녹발생, 도장상태(도막의 균열, 박리, 부풀음 등) 누유, 이취, 체결볼트, 너트의 헐거움 유무
	이상음	정상시의 여자전등음을 기억해 놓았다가 탱크에 귀대고 그것과 상이한 음 청취 ○ 철심체결, 접지 불량에 의한 방전음 등 ○ 소음미터로 주기적으로 소음측정 및 변화상태 감시
	누유 (Oil Leak)	밸브, 패킹, 용접부 등의 불량 * 오일 탈기후는 질소가스가 유증으로 용해 가스압이 저하하여 누유와 혼동되는 경우가 있으므로 때때로 가스 보급하며 결과감시하여 누유여부 판단
	온도 (溫度)	시험성적표, 부하, 주위온도 고려하여 점검



<그림 1> 부하시 Tap 전환 3상변압기 외형도

점검개소	점검항목	점검내용 및 설명
본체	온도 (溫度)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다이얼, 알콜, 저항, 권선온도계 ○ 2종 이상 사용시는 온도 지시차 유무 * 유온의 급격한 저하로 내압이 급히 저하했을 경우 유종의 질소가스가 과포화가 되면서 유리되어 계전기에 보이는 일이 있으므로 고장에 의한 것인지 유리 가스인지 판단해야 하며 이때는 다음 사항을 점검한다. ① 유온 및 내압의 급격한 저하 유무 ② 흡습 호흡기, 질소배관, 밸브의 막힘 유무 ③ 내부 이상음 유무 ④ 발생가스 채집분석 및 유증가스 분석
	유면 (油面)	<ul style="list-style-type: none"> 유면 이상시는 유면계 이상유무 점검 ○ 오일이 현저하게 착색되어 있으면 신유로 교체 ○ 유량이 과다하면 흡습제로 침입, 호흡작용, 방해 * 오일 포트(oil Pot)의 유면은 온도에 따라 변화함. 그러므로 이것에 의해 호흡 정상여부 판단가능
	호흡장치	<ul style="list-style-type: none"> 흡습제의 흡습, 착색상태 점검 * 실리카겔, 활성알루미나는 청색 → (흡습) → 분홍색으로 변색되며 이때는 교체하거나 100~140°C에서 청색으로 돌아올 때까지 가열 재생한다.
	질소봉입	<ul style="list-style-type: none"> 질소 봉입압력 정상 유무, 불변 또는 가스누설 여부 점검
부싱	외부전반 (外部全般)	<ul style="list-style-type: none"> 애관표면의 손상유무, 오손정도, 염분 부착에 의한 코로나 유무, 오일의 유출유무
		단자의 과열 여부(Thermo Label

점검개소	점검항목	점검내용 및 설명
부싱	단자의 과열	<ul style="list-style-type: none"> 부착) * 태풍 등에 의해 부싱표면이 심하게 오손되었을 때 활선세정 실시하면 플래시-오버되는 수가 있으므로 미리 자주 세정한다. * 애관 표면의 오손이 심하거나 코로나를 발생할 때는 운전정지하고 물로 닦거나 암모니아나 4염화탄소를 천에 적서 청소한다.
냉각장치	방열기	파이프에 Sludge 누적 유무
	송풍기, 송유펌프	이상음, 회전상태
	기타	Water & Oil Flow 지시계의 지시상태
계측기 및 경보장치	다이얼 온도계	표준기와 비교 오차측정, 내부에 수적, 녹 유무
	유면계	누유 유무, 지시상태
	가스 압력계	손상 유무
경보장치	경보장치	간단한 것은 연동시험 실시
Tap	부하시 Tap	전환조작기 조작중, 이상음 유무
전환장치	전환기	각 베어링의 급유상황 등
환경		취, 땀, 새집 등

- 건식 변압기의 일상점검

권선 철심	권선 철심의 외관, 접속선, 철심의 변색, 손상, 부식, 진에 부착 여부
코로나	권선, 접속선, 부싱 등에서 코로나음 발생유무 점검 및 점검시는 발생위치 표정
냉각공기	필터, 송풍기 - 풍량 정상여부 점검(풍량계 이용) * 냉각공기 출구온도로 풍량감소 검출 가능
주위환경	<ul style="list-style-type: none"> 변압기실 온도, 습도, 공기 성분조사 * 건식변압기는 절연물의 표면 조건에 의해 플래시-오버 가능성이 있다. 진에가 심하게 부착되어 있을 땐 건조한 압축공기로 불어내고 깨끗한 소창적으로 닦아내며 큰 균열, 손상, 바니쉬 탈락이 있을 땐 제작사에 연락 보수 * 충전부에 수분, 진에 부착하면 부분적으로 코로나 발생하여 절연물을 열화시켜 수명을 단축시킴

* 물드럼은 타 변압기에 비해 여러 장점(간단한 보수점검, 난연성, 소형·경량, 저 전력손실, 저소음 등)을 갖고 있는 변압기이나 물딩되어 있어 내부를 볼 수 없는 구조이므로 점검에 있어서는 전식과 같이 전기적인 절연시험외 육안점검으로 이상음, 변색, 변형, 연기 그리고 후각적으로 이취발생여부 등을 주안점으로 하여 유지·관리하면 되며 절연물이 외부 환경에 노출되어 있어 그 영향을 받기 쉬우므로 흡습, 진애 부착 등에 주의해야 한다.

나. 정기점검

운전상태나 정지중에 주기적으로 일상 점검보다 상세하게 각부의 이상유무를 조사하며 측정기로 내부진단 또는 성능시험을 행한다.

점검 항목	점검 주기	점검내용 및 설명
외부일반		일상점검 참조
절연저항 측정	1년	권선-대지간 권선 상호간 ※1000또는 2000V 메가로 측정 제어회로-대지간 부싱-대지간
유전정질	3년	변압기 본체(권선-대지간) 부싱 * 변압기 근처에 고압급전선 있으면 큰 측정오차 발생
절연유 시험	1년 6월	산가 내압시험(고유저항 측정) * 이상이 있으면 계 특성 측정 판단
질소봉입	1년 6월	순도측정-광학식 가스분석 -오르사트 가스분석 기타 : 취급설명서에 의해서 점검
콘서베터 (개방형)	5년	Sludge 발생여부 수분의 혼입여부
부싱	2년	컴파운드 충전형 부싱은 흡습검사 (소량을 가열된 철판위에 놓았을

점검 항목	점검 주기	점검내용 및 설명
부싱	2년 1년	때 피식하는 소리를 내면 흡습) 유입개방형은 절연유 교체하거나 오일시험 실시 슬러지가 많을 땐 분해 청소 * 밀봉형은 누유 등 외부점검으로 족함.
냉각장치	1년 1년 3년	송유펌프 냉각 팬 점검 -입력, 절연저항에 이상이 있으면 분해 냉각수 유량 측정 냉각수 배관 점검 청소
계측기 경보장치	1년 1년	오차측정(표준 계측기와 비교하여 측정) 간단한 것은 실 동작시험 실시
Tap 전환기	약 2000회 마다	OLTC 개폐실 오일여과 또는 교체
	리액터식 Tap 전환기 보증치의 약 1/2회 마다	OLTC Tap 전환기의 접촉부 점검
	회전식 Tap 전 환기 5년 또는 70,000회 마다	구동 기구만 점검

다. 정밀 점검

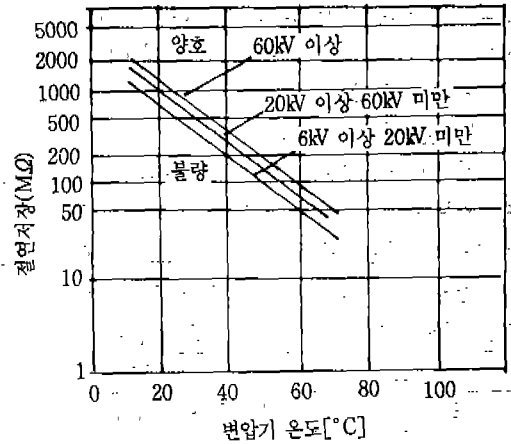
변압기를 정지하고 각부를 분해하여 세심하게 점검, 보수한다. 또한 측정기를 사용하여 내부 진단 및 성능시험도 행한다. 정기점검 내용에 다음 항목(뒷면 참조)을 추가하여 점검한다.

라. 임시점검

변압기의 이상이 확인되었거나 사고가 발생했을 때 행한다.

일상, 정기, 정밀점검에 준해 시행하는 경우와 간단히 응급적인 점검만 하는 경우가 있다.

점검항목	도통	N.봉인 밀봉형	점 검 항 목
내부점검	7년		부식 분해점검 방열기 분해점검 안전변 분해점검 콘서베이터 분해점검 냉각관 분해점검 각부의 패킹 교체 절연유 교체 또는 여과 산가만 나쁠 땐 여과하고 산가, 내압, 고유저항이 나쁠땐 재생 또는 교체
	4년 10년	4년 10년	냉각펌프, 냉각 팬 분해점검 ○ 코일 - 절연물의 손상, 변형, 변색 유무 - 체결부의 느슨함 유무 : 필요시 체결 - 슬러지(Sludge)가 심할 때 절연유로 세척 - 부상 단자부와의 접촉 상태 - Bus Bar의 변형, 변색유무 ○ 철심 : 철심체결상태, 녹발생 유무, 층간단락 또는 과열 흔적, 접지 불안전 여부 ○ 리드 및 지지 받침목 : 체결느슨함, 손상유무 * 리드선 취급에 주의 요함 ○ 부부하 Tap 전환기 : 접촉상태, 과열여부 ○ 기타 : 고정 구조물의 변색, 변형유무 · 탱크내 오일 슬러지 및 이물질 잔존여부 · 탱크내벽 과열, 변색여부



나. 절연유

절연유는 호흡작용 등에 의해 산소와 접촉하면 여러 산성물질이 생성되며 이중 수용성 저분자량산(대부분 이에 해당)은 다른 절연물이나 금속재료를 부식시키고 비 수용성인 고분자량 산은 금속 비누(Metallic Soap)를 만들어 유중에 분산시켜 절연유나 이의 함침재료의 Tanδ를 나쁘게 하며 이것에 물이 혼합되면 Tanδ가 급증한다.

더 산화가 계속되면 고행 슬러지를 생성(제한치 최대 0.10%) 탱크내면, 코일 절연물 표면, 절연유 통로에 침적되어 변압기 냉각을 극히 방해하며 더 진전되면 변압기 사고의 원인이 된다.

1) 산가(酸價)

산가는 절연유 1g중의 산성물질을 중화하는데 필요한 수산화 칼륨(KOH)의 mg수로 표시하며 산가 0.5 정도에서 슬러지가 석출되기 시작하므로 0.2~0.3을 절연유 사용한도로 정하고 있다.

구 분	산가도(酸價度)	판 정	비 고
신유(新油)	0.02	-	0.02mg KOH/g
사용중의 오일	0.2 이하	양 호	기회보아 교체 조속히 교체
	0.2~0.4 미만 0.4 미만	요주의 불 량	

2. 점검상의 판정기준

가. 권선의 절연저항

2) 유전정점(Tanδ)

절연유의 열화에 따라 증대되며 흡수에 대해 비

교적 민감하다. $\tan\delta$ 의 좌우인자는 이온전도, 공간 전하가 열거되며 그 대소는 체적 저항률의 대소를 나타낸다(그림 2).

3) 절연유 고유저항(at 80°C)

체적저항률(고유저항)의 인자로서는 불순물로 존재하는 수분, 유기산, 전해질, 용해가스 또는 절연유 자신의 이온화를 열거할 수 있으며 따라서 이들 인자들의 혼입상태, 온도에 따라 복잡하게 변한다. 고유저항은 수분함유 판정의 자료가 된다.

양 호	$1 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$ 초과
요 주의	$1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$
불 량	$1 \times 10^{11} \Omega \text{cm}$ 미만

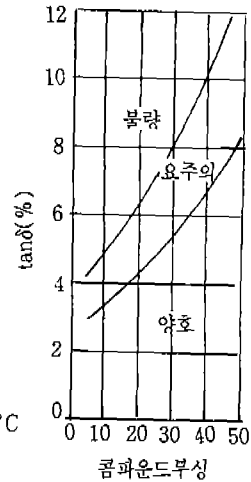
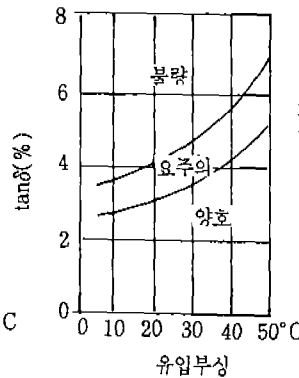
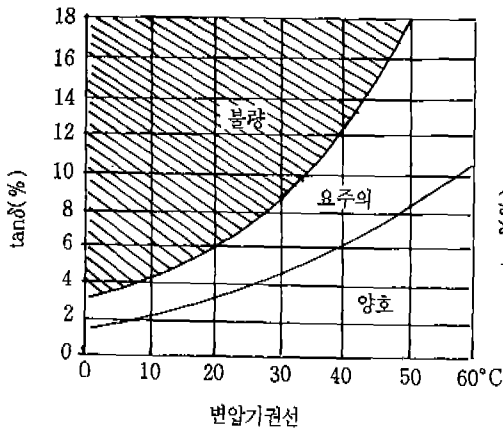
4) 절연유 내전압

절연유중에 수분, 전해질, 섬유 등 이물질이 존재하면 절연과파 전압이 급격히 저하한다.

○ 절연내력의 판정

구 분	절연과파전압	판 정	비 고
신유(新油)	30kV 이상	양 호	-
사용중의 오일	20kV 이상	양 호	-
	15kV 이상 ~20kV 미만	요 주의	기회보아 여과 또는 교체
	15kV 미만	불 량	조속히 교체

* 60kV급 이상으로서 질소봉입 등 열화방지가 있는 것은 35kV 이상으로 규정한 것도 있다.



<그림 2>

II. 변압기의 사고와 그 원인

변압기는 여러가지 원인에 의해 사고로 진행되어 가나 그 70~80%는 층간단락으로 연구 보고되고 있다. 그리고 그 원인을 고찰할 때는 변압기를 구성하는 주요부품별로 생각해 보는 것이 편리하다.

변압기의 구성은 크게 자기회로, 전기회로, 절연매체, 탭전환기와 외부 냉각장치로 구성되어 있으며 이에서 발생될 수 있는 고장으로의 주요 요인을 기

술하면 다음과 같다.

1. 자기회로에서의 고장

철심(Leg & Yoke Core) 및 주변 고정 구조물

1) 내철형의 경우 철심 관통 볼트 주위에서의 절연과파

관통볼트와 철심에 의해 국부적인 폐회로 구성 시 강한 와전류에 의해 고장이 발생할 수 있으며 만약 2개 이상의 볼트가 Break Down되면 큰 순환전류가 볼트를 통해 흘러 고장 급진전.

2) 제작과정중 남은 Core Puncher로 계속 철심절단시 Burr 발생하여→Local Short Circuit→Local Eddy Current→철심국부 과열 야기

3) 철심 중간층에 자성체 이물체(줄밥, 선반칩 등)가 존재할 때 그것에 Local Eddy Current가 흘러 철심에 과도한 국부과열 야기

4) 설계보다 얇은 철심 사용시 과여자되어 큰 자화 전류와 높은 철손발생으로 고장 야기

5) 과전압 인가에 의한 과자속 밀도→철심과열로 고장 야기

2. 전기회로에서의 고장

가. 층간 단락(Layer Short)

1) 보통 고압 권선의 도체에 Sharp Edge 존재 시 운전시의 전자진동, 단락, 개폐 등에 의한 전자쇼크를 받으면 Sharp Edge가 절연지 자르고 턴간 Short 야기

2) 외부단락 고장에 의한 전자 기계력으로 1~2개 이상의 턴이 이동하여 있다가 변압기 진동(전자진동, 철심고정불량 진동, 전자쇼크)에 의해 인접 코일간에 상대운동을 일으켜 절연지가 마모되어 고장 야기

3) 절연지에 습분침투→층간단락 야기

* 습분 : 전기적 특성상 2% 이하는 문제가 없으나

345kV급 이상 TR. : 0.5% 이하

154kV~345kV급 TR. : 1.0% 이하

154kV급 미만 TR. : 2.0%로 관리하고 있다.

나. 코일간, 단자 Lead간 용접불량→부하운전시 과열 또는 균열발생 과열 야기로 절연과파

다. 연속 과부하 운전하면

1) 절연물 Brittle 해져, 경우에 따라서는 벗겨져 떨어져나가 단락 고장 야기

2) Dosit 발생 코일절연물 표면 등에 침적→Blanket Effect→Coil/Core 과열(좁은 오일 덕트는 과열축진 작용함)

라. Bolted 도체 접촉부

1) Slight Vibration

2) DSS(일일 기동정지) 등에 의한 수축, 팽창으로 도체 접촉저항 증가→과열, 고장 야기

3. 절연회로에서의 고장

1) 호흡작용에 의해 오일 속으로 습기침투→절연내력 저하→절연과파

2) 과부하 계속→과도한 Oil Temp.→Sludge, Water, Acid 생성(Bare Bar or Lead 존재시 위험상 생성축진)

3) Sharp 도체 Edges }에서 코로나 발생
Small Dia. 도체

4) 좁은 오일 덕트→Coil 절연물 Brittle 해져→층간단락·고장야기

5) 얼마간의 오일이 Evaporation, Oxidation으로 없어져 적당한 Working Level 이하로 저하→변압기 과열 고장야기

6) 터미널 받히고 있는 충분히 건조 안된 Wooden Cleat→흡습하면 Tracking 유도→Tracking Lead간 단락야기

7) 절연유 속에 이물질 존재하면 강한 전계내에 모여 Bridge 역할하여 Fault 유발

4. 기 타

1) 구조물이 폐회로 구성시 전자유도 작용에 의해 순환전류가 흘러 고장야기

2) 구조물에 Eddy Current가 흘러 이상발생

3) 터미널 Lead 받침 불충분하면 외부단락 등

에 의한 전자기계력에 의해 코일이 변형되어 고장 야기

4) 부상표면에 Deposit가 쌓이거나 Salt Spray에 의해 Bushing Flash-over.

5) % Imp. 턴 Ratio 다른 변압기 병렬운전하면 어느한 TR.이 과부하되어 Burn-Out 야기

6) 유입 TR. 탱크상부에 폭발성 가스가 있을 때 Naked Light대면 폭발→변압기 손상, 사람 다치

는 사고발생

7) 수냉각 변압기에서

가) Water Tube 막히면 변압기 온도상승으로 고장 야기

나) 물이 오일로 새어들어가 고장 야기

다) 수관주위에 응축수 생겨 오일로 침투→고장 야기

<다음호에 계속...>

알려드립니다

지난 2월호에 게재된 '95년도 전기부분 표준품셈 개정내용중 정·오 사항을 다음과 같이 알려드리니 업무에 참고하시기 바랍니다.

- 다 음 -

항 목	오	정
1-3(본문)	직접재료비(전선관, 배관자재비)	직접재료비(전선과 배관자재비)
5-14-1(해설 18)	본품	이품
6-7(해설 5)	경완철	접완철

3월의 문화인물



문화체육부는 스포츠 외교가로 우리나라 체육 발전에 큰 자취를 남긴 체육인 정월터(사진·한국명 정범택·1904~1983)를 3월의 문화 인물로 선정했다.

정월터는 하와이 이민 1세의 아들로 태어나 한국이민위원회의 공식 로비스트로 활동했다. 50년 2월 귀국한 뒤 대한상공회의소 선임고문이 되는 한편 대한올림픽 위원회 명예총무로 한국스포츠 외교의 일익을 담당하기 시작했다. 이후 30여년 동안 그는 스포츠 외교를 통해 역대 우리나라 국제올림픽위원회(IOC) 위원 피선과 서울올림픽 유치에 활약하는 등 국제스포츠사회에서 한국의 지위를 향상시키는데 크게 기여했다.

◇ 기념행사 △ 추모강연회=7일 오후 2시 프레스센터 회의장 △ 전시회=6~31일 국립중앙도서관 1층 △ 추모비·홍상 제막=3월중 올림픽공원

