

電力用 變壓器의 維持 · 管理 對策



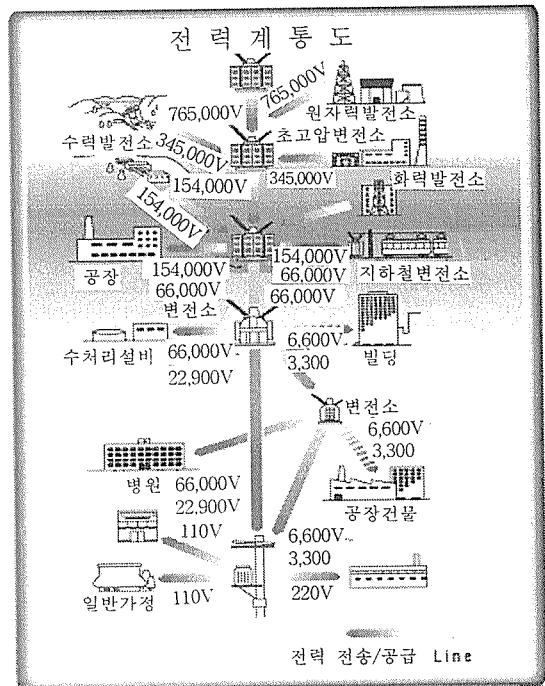
韓電電力研究院
研究管理室 産業技術部
課長 李 承 學

1. 서 론

변압기는 전기 기기중에 제일 많이 또한 제일 널리 사용되고 있는 기기이며, 송전(送電)계통이나 배전(配電)계통의 일부로서 교류전압을 승압(Step-Up)하거나 강압(Step-Down)하므로써 경제적인 전력운송을 가능하게 하며, 산업설비나 공장 혹은 가정에 필요한 전력을 공급하는 용도로 사용된다.

즉, 발전소(수력, 화력 및 원자력등)로부터 사용 장소에서 요구되는 크기의 전압, 전류를 직접 보낸다는 것은 여러가지 어려운 문제가 대두된다. 왜냐하면 낮은 전압으로 대전력을 생산하는 대형 발전기를 제작할 수 없을 뿐만 아니라 대전류를 수백 km까지 떨어진 전기사용 장소까지 보내기 위해서는 수많은 전선 혹은 큰 면적을 갖는 전선을 이용해야 하기 때문이다. 이 외에도 여러 가지 문제들이 있다. 이러한 방법으로 전력을 원격지까지 운송한다는 것은 현실적으로 실현 불가능 할 뿐만 아니라 가능하다 하더라도 매우 비경제적이다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위한 최적방

안이 발전장소에서 전기 사용장소까지 장거리에 걸쳐 전력계통 전압크기를 여러단계로 나눌 필요가 있으며, 전압크기 변환단계마다 대형변압기가 이러한 역할을 담당하게 된다.



우리나라에서 일반적으로 채택하고 있는 각 단

계별 변압기로는, 발전소의 발전기에 의해 11~25kV급의 전압을 발생시키며, 이 전압은 발전소용 채승변압기(Step-Up Transformer)로 66kV나 154kV 또는 345kV로 승압하여 필요한 지역으로 송전선을 통하여 송전된다.

승압된 송전전압은 전기 사용장소 인근 변전소에서 채강변압기(Step-Down Transformer)를 이용하여 154kV 혹은 23kV급으로 강압시켜 전기 사용장소에 직접 공급하거나 배전선로를 통하여 공장 및 빌딩, 각 가정에 전력을 공급하게 된다. 이와 같이 각 전압별 변환단계에서 여러 종류

의 크고 작은 용량의 변압기가 사용된다.

2. 변압기의 분류

2-1 변압기의 내부 구조에 의한 분류

항 목	분 류
상 수	단상, 3상
철심형태	내철형(Core-Form), 외철형(Shell-Form)
철심각수	2각, 3각, 4각, 5각 및 7각
권 선 수	단권(單卷), 2권선(卷線), 3권선, 다권선

2-2 냉각방식에 의한 분류

냉 각 매 체	냉 각 방 식	기 호
공 기 (Air)	자냉식(自冷式)	AN
	풍냉식(風冷式)	AF
절 연 유 (Oil)	유입자냉식(油入自冷式)	ONAN(OA)
	유입풍냉식(油入風冷式)	ONAF(FA)
	송유자냉식(送油自冷式)	OFAN
	송유풍냉식(送油風冷式)	OFAF(FOA)
절 연 유, 물 (Oil, Water)	유입수냉식(油入水冷式)	ONWF(OW)
	송유수냉식(松油水冷式)	OFWF(FOW)
SF ₆ Gas	가스자냉식(自冷式)	GNAN
	가스풍냉식(風冷式)	GNAF
	송가스풍냉식(送가스風冷式)	GFAF

주) 기호 및 설명

AN : Air Natural

AF : Air Forced

ONAN(OA) : Oil Natural Air Natural

ONAF(FA) : Oil Natural Air Forced

OFAN : Oil Forced Air Natural

OFAF(FOA) : Oil Forced Air Forced

ONWF(OW) : Oil Natural Water Natural

OFWF(FOW) : Oil Forced Water Forced

GNAN : Gas Natural Air Natural

GNAF : Gas Natural Air Forced

GFAF : Gas Forced Air Forced

2-3 Tap 절환방식에 의한 분류

절환방식	표 기	특기사항
무부하시 탭절환방식	N.L.T.C (or D.E.T.C)	통 전 상태에서 절환 불가능
부하시 탭절환방식	O.L.T.C (or U.L.T.C)	통 전 상태에서 절환 가능

2-4 절연유열화(劣化)방지 방식에 의한 분류

열화 방지 방식	명 칭
질소봉입식	가스 오일실(Oil Seal) 탱크형
	질소 봄베이식
	질소봉입식
무압밀봉식	고무막 또는 고무백(bag)식
개 방 식	호흡기 부착식

2-5 용도에 의한 분류

가. 전력용 변압기

주로 대용량을 필요로 하는 발전소, 변전소 및 제철, 제강공장 등의 전력 공급용으로서 주로 154kV급 이상의 정격을 갖고 있으며, 발전소에서 발전(發電)된 전력을 장거리 송전을 위한 승압용과 송전된 전압을 배전선로와의 연계를 위한 강압용으로 사용되는 주변압기이다.

나. 배전용 변압기

배전선로에 사용되는 변압기로서 주로 22.9kV, 6.6kV 및 3.3kV급의 정격을 갖고 있으며, 송전선로의 말단에 위치한 변전소로부터 강압된 전력을 부하에 공급할 목적으로 설치되는 변압기이다.

다. 주상용 변압기

가정용 또는 공장용 저전압 부하를 담당하며, 단상 변압기로서 전주상에 설치 운영되며 최근 지중선로화 추세에 따라 차츰 지상으로 내려오는 경향이 두드러진다.

라. Amorphous Core Transformer(22.9kV 이하)

변압기 내부 자로(磁路) 형성을 위하여 사용하고 있는 고투자율 방향성 규소강판 대신 비정질 자성재료인 아몰퍼스 합금을 사용한 변압기로 자체 무부하손실(철손)을 현재의 1/3 ~ 1/4 정도로 감소시킬 수 있는 저손실, 고효율 변압기로서 에너지 절감 및 송전손실을 감소에 기여할 수 있는 독자개발 차세대 변압기이다.

마. 몰드변압기

진공 주형 방식으로 제작되며 용량 50kVA~10,000kVA의 3상 및 단상 변압기로서 3kV~50kV까지의 전압 Class에 사용되며, 특징으로 고진공상태에서 고·저압 Coil 모두 주형하므로 기포 및 습기가 완전히 제거되어 절연 내력이 크다. 또한 수지층 두께가 1.5~2.5mm로 얇기 때문에 권선 내·외부 온도편차가 2~3℃로 매우 적어 열적, 기계적 충격에 의한 Crack현상을 방지할 수 있다.

바. 로용(爐用) 변압기

ARC로나 유도로에 전원을 공급하는 변압기이다.

사. PAD 변압기

23kV 이하의 전압과 2,000kVA 이하의 용량을 지닌 지하 케이블로 송전되는 도심, 학교, 공장지

대 등에 사용하기 적합한 구조로서, 전원부의 외부 노출이 없어 안전하며 1, 2차측에 적절한 보호장치를 부착할 수 있는 구조로 제작되어 가로변에 설치한 지상 거치식 변압기이다.

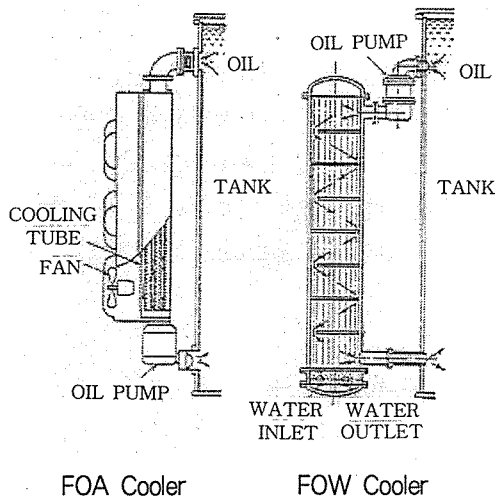
3. 변압기 부속품 및 보호장치

3-1 절연유

변압기 절연유는 절연 및 냉각매체의 역할을 하도록 사용되는 아주 중요한 재료이다. 초고압 변압기에는 일반적으로 표준 절연유인 KSC 2301의 1종 4호 광유(Mineral Oil)를 주로 사용하고 있으며, 옥내 지하변전소나 대형빌딩 등 화재 발생 시 인명피해가 우려되는 특수한 곳에는 Silicone Oil, Non-Flammable Oil, SF₆ Gas 등을 사용하는 변압기도 개발되고 있다.

3-2 방열기/냉각기(Radiator/Cooler)

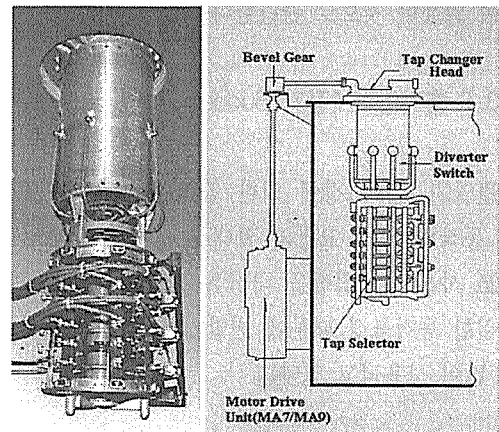
변압기의 냉각측면에서 절연유의 순환을 통하여



변압기에서 발생하는 열을 방열시킬수 있도록 방열기(또는 냉각기)를 취부하고 있다. 대용량 변압기에는 자냉식의 자연대류에 의하여 충분하게 방열처리를 못할 때 또는 의도적으로 방열효과를 높여서 전기적 용량을 크게 할 목적으로 방열기에 송풍기(Fan)를 부착하여 강제 송풍시키거나, Oil Pump를 취부하여 절연유를 강제 순환시킴으로써 냉각효과를 높이고 있다.

3-3 부하시 탭절환장치(O.L.T.C)

부하시 탭절환기는 부하 사용중 빈번히 발생하는 전압변동에 대비하여 일정한 전압이 공급될 수 있도록 하기 위하여 사용되는 장치이다. 이 탭절환기는 변압기의 1차 또는 2차권선의 권수(Turn 수)를 바꿔주는 역할을 하며, 부하가 걸린 상태에서 전압조정이 가능하기 때문에 무부하 탭절환기(N.L.T.C)와 구별된다.



3-4 붓싱

붓싱은 변압기 권선으로부터의 리드를 선로와 연결시키기 위하여 탱크밖으로 끄집어내는 절연단자이며, 초고압 변압기에서는 아주 높은 전압의

리드를 탱크와 절연시키면서 인출하는 것이므로 변압기에서는 대단히 중요한 절연상의 부속품이다. 붓싱의 외각은 우산모양의 자기로 만들어져 있고, 그 내부 절연구조는 다음 3종류로 구분된다.

- 단일형 붓싱 : 25kV 이하에 사용
- 유입(油入) 붓싱 : 절연내력이 낮은 배전용 변압기에 사용
- Condenser 붓싱 : 초고압 변압기에 사용

3-5 방압 안전장치(Pressure Relief Device)

이상압력(0.7kg/cm² 이상)이 되면 격막이 자동적으로 열리어 탱크내의 압력을 변압기 외부로 방출시켜 탱크내의 압력을 경감시키고, 일정압력 이하에서 원상태로 복귀하는 기능을 갖고 있으며, 일반적으로 경보요소로 사용하는 접점을 내장하고 있다. 이 장치가 작동되면 변압기 내부에서 큰 고장이 발생한 것으로 판단한다.

3-6 충격압력계전기(Sudden Pressure Relay)

변압기 내부고장에 의한 압력변화율이 매우 클 때 동작하여 큰 고장의 확대를 방지하며 트립 요소로 사용하는 접점을 내장하고 있으며, 신속하고 확실한 동작특성 때문에 변압기 주 보호용으로 가장 많이 사용되고 있다.

3-7 브호홀쯔 계전기(Buchholz Relay)

변압기 본체 탱크와 콘서베이타 사이의 연결파이프 중간에 설치되고 경미한 고장에 의해서 발생한 가스 충전(약 325cc)에 1단(경보)접점 동작과 큰 고장에 따른 유속에 의하여 일정 속도(약

1m/sec) 이상이 되면 2단(트립)접점이 동작되며 충격압력 계전기와 같은 목적의 변압기 내부사고 보호용 계전기로 사용된다.

3-8 권선온도계(Winding Temperature Indicator)

권선의 최고온도를 지시하며 탱크상부 최고 유온부에 취부되어 있으며, 변류기에 의한 가열코일(Heating coil)에 붓싱변류기의 2차 전류가 가해져 절연유에 대한 권선의 온도를 보상한다. 셋팅된 온도에 따라서 송풍기 및 펌프의 기동 및 제어, 과열시 경보 및 트립 등에 사용할 수 있는 접점이 내장되어 있다.

3-9 유온계(Oil Temperature Indicator)

탱크 상부측 내부 절연유의 최고 온도를 지시하며, 권선온도계와 같이 냉각장치 기동 및 제어, 경보, 트립 등에 사용할 수 있는 접점이 내장되어 있다.

3-10 유면계(Oil level gauge)

변압기유가 적당한 위치까지 충전되어 있는가 여부를 관찰하기 위하여 설치되며, 일반적으로 다이알형 유면계가 많이 사용되고 있다. 이 방식은 자외선에 의한 절연유 열화방지 및 유리파손에 의한 누유방지에서도 유리하며, 경보접점을 둘 수도 있다.

3-11 유류계(Oil Flow Indicator)

강제송유방식으로 냉각시키는 변압기에서 절연

유의 흐름이 제대로 형성되는가를 감시하며, 동작하지 않을 때 동작하는 접점을 내장하고 있다.

3-12 피뢰기(Lightning Arrester)

이상 돌입 전압이 변압기에 침투되기 전에 선로에 연결된 이 피뢰기를 통해서 방전되도록 하여 변압기를 보호해 준다.

4. 운전중인 변압기의 유지·관리

4-1 유중 가스 분석

(단위 : ppm)

판정항목	판정	요주의	이 상	위 험
H ₂		400이상	800이상	
CO		300	800	
C ₂ H ₂		20	100	
CH ₄		250	750	
C ₂ H ₆		250	750	
C ₂ H ₄		250	750	
CO ₂		4,000	1,000	
TCG		700	1,800	
경시증가량		250/년 이상	100/월 이상	300/월 이상
대 책		추적조사 3~6개월 1회	추적조사 종합검토 1~2개월 1회	내부점검 1주~1개월 1회

- 주) 1. 시료 채취시 오차요인이 발생하므로 3회 이상 실시하여 비교
2. 상기의 판정기준은 이상유무의 판정에 이용하는 것이며, 이상내용의 판정은 별도방법에 의함

변압기 내부에 이상이 발생하면 그 자리에 과열이 발생하게 되고, 절연재나 절연유가 열에 의해 분해되어 Gas가 발생하게 된다. 그러므로 운전중인 변압기의 절연유를 일부 채취하여 용해된 가스를 분석함으로써, 추출된 가스의 종류 및 그 양을 측정하여 아래 표와 같이 변압기의 상태를 판단할 수 있다.

4-2 정기검사

일정한 기간을 두고 아래와 같은 검사를 하여 그 결과를 기록 유지하는 것이 좋다. 검사항목 및 검사 주기는 아래와 같다.

검 사 항 목	검 사 주 기
주위 온도	매시간
유온도	
권선 온도	
부하 전류	
전 압	
탱크 압력	
유 면	
절연유	
경보 및 콘트롤 회로	매 월
접지 저항	3~4개월
절연유 여과	
질소 가스 압력	매 일
질소병 압력	
질소압 저하 경보기	
탭 절환 장치	3개월
송풍용 모터	매 월

4-3 붓싱(Bushing)

- 1) 붓싱은 1개월에 1회씩 청소하는 것이 좋다. 그러나 먼지가 많은 지역이나, 공기중에 염분을 많이 함유한 산성의 증기가 발생하는 지역에서는 청소의 기간을 더 단축하는 것이 좋다. 붓싱 청소시에 변압기 운전을 중지해야 하며, 맨손으로 만지면 안된다.
- 2) 주기적으로 유면계를 통해 붓싱의 유면을 검사해야 한다. 유량이 적으면 전문가에 의뢰하여 절연유를 재 주입해야 한다.

4-4 도장(Painting)

- 1) 도장은 1년 1번씩 검사를 하여야 한다. 특히 해변가에 설치된 변압기는 1년에 2회 검사하는 것이 좋다.
- 2) 용접 부위를 따라 도장이 가장 쉽게 벗겨지기 쉬우므로 용접 부위와 도장이 벗겨지면 즉시 변압기를 사양서 등에 명기된 색상으로 재도장하여야 한다.

4-5 브리자(Breather : 공기 흡습기)

- 1) 브리자의 색깔이 2/3 이상 변색하면 브리자내의 방습제를 갈아 주어야 한다. 변색한 방습제는 건조하면 재사용이 가능하다.
- 2) 브리자 하부에 채워진 절연유통에 적정량의 절연유가 채워져있어야 한다. 절연유가 많아 방습제에 절연유가 스며들거나, 절연유가 적으면 브리자의 동작 상태를 확인할 수 없다.

4-6 접지 상태의 점검

- 1) 부스덕트(BUS-Duct) 및 변압기 탱크는 3개월마다 한 번씩 점검하여야 한다.
- 2) 기후와 날씨 등의 영향으로 접지 상태가 나빠질 수 있기 때문에 각 리드선들의 피뢰기를 통한 접지 상태와 가공지선의 접지 상태 등도 확인하여야 한다.

4-7 브레이스(Brace)

브레이스 내부에 누유나 혹은 습기가 침입한 흔적이 있으면 패킹볼트와 용접상태를 점검하여 이상이 있으면 즉시 수리하여야 한다.

4-8 절연유(Insulating Oil)

- 1) 절연유는 변압기의 운전을 개시한 후부터 처음 1년 동안은 매월, 1년 후에는 해마다 검사를 행해야 한다.
- 2) 탱크 하부의 샘플링 밸브를 이용 절연유를 채취하여 이물질이 섞여 있는지의 여부를 확인한 후 검사실로 보내어 최소한의 내전압 시험은 꼭 하여야 한다. 행할 필요가 있는 절연유의 시험 항목은 아래와 같다.

① 내전압 시험 (절연 내력 시험)

② 수분 측정

③ 산가 측정

④ 유중 가스분석

- 3) 시험 결과에 따라 필요한 때는 무가압 상태에서, 기준서에서 제시하는대로 절연유를 여과 또는 교체해야 한다.

4) 절연유 여과

여과기의 인입구를 하부 여과 밸브에 연결하고 유출구를 상부 여과 밸브에 연결 시킨후 질소

가스압력을 0으로 유지한 후 3회 이상 여과해야 한다.

4-9 탭 절환 장치 점검

1) 무부하시 탭 절환장치(NLTC)

- ① 무부하시 탭 절환장치는 변압기의 전원이 차단되어 있을 때 수시로 점검한다.
- ② 탭의 위치를 변환시키며 변압기의 1차측에 3상 평형 전압을 인가한 후 1차측 전류, 2차측 전압이 각상 평형인가를 확인한다.

2) 부하시 탭 절환 장치(OLTC)

- ① 모타 구동장치를 이용하여 탭을 변환시켜 이상의 발생 유무를 확인한다.
- ② OLTC의 동작 회수가 제한회수에 도달하지 않았더라도, 변압기를 4년이상 사용하였을 경우에는 내부 유격실의 절연유를 점검해야 한다.
- ③ 절환 스위치 유닛은 동작회수 70,000회마다 정기적인 검사를 실시해야 한다.
- ④ 유격실 내부의 보수는 전문가의 입회없이 행하여서는 안된다.

4-10 냉각 장치

1) 송풍기(Fan with Motor)

- ① 매월 1회씩 송풍기의 청결상태를 점검하고 1kV 메가를 사용하여 절연저항을 측정해야 하며, 절연저항은 10M Ω 이상이어야 한다.
- ② 모타의 습기 함유를 방지하기 위하여 습도가 높은 날에는 계속 모타를 구동시켜두는 것이 좋다.
- ③ 송풍기 모타의 베어링은 2년에 한번씩 점검

하고 6000시간 이상 동작한 경우 월 1회씩 점검한다.

- ④ 모타를 구동한 채 그리스를 주유해서는 않으며, 그리스를 주유 할 때는 송풍기 날개를 손으로 서서히 돌려가며 주유한다.

2) 방열기(Radiator)

- ① 방열기는 물을 뿌려 세척한다. 모타의 구동을 중지시킨후 모타에 물이 들어가지 않도록 모타 후면에서 물을 뿌려 세척한다.
- ② 청소 후엔 반드시 송풍기 모타의 절연 저항을 측정해야 한다.

3) 유 펌프(Oil Pump with Motor)

- ① 유 펌프의 모타 부분에 있는 절연유는 베어링의 윤활유 역할을 한다.
- ② 베어링의 소음이나 모타의 진동 여부를 점검하여, 비정상이면 분해 점검 해야 한다.
- ③ 유펌프의 배관이나 외함 부위의 누유상태를 검사한다. 만일 누유부분이 있으면, 볼트를 더 조이거나, 가스켓을 교체해야 한다.

4) 유 냉각기(Cooler)

외부의 도장 상태, 배관 연결 부위의 누유 및 누수를 점검하는 외에 특별한 유지, 보수가 필요없다.

4-11 방압 안전 장치(PRD)

- 1) 방압안전장치는 0.7kg/cm² 내외의 압력에 의하여 동작하며, 일단 이 장치가 동작하면 변압기를 다시 점검해야 한다.
- 2) 방압안전장치가 동작한 후 방압안전장치 밑의 복귀 스위치를 수동으로 복귀시켜야 콘트를 접점이 복귀된다.

4-12 충격 압력 계전기(SCR)

- 1) 이 계전기는 변압기 내부의 소손이나 단락시 가스 발생으로 인하여 변압기 내부의 압력 상승이 일어날때, 이 압력상승을 감지하여 변압기를 보호하도록 접점이 차단기에 연결되어 있다.
- 2) 이 계전기의 마이크로 스위치를 동작시키는 압력은 0.12kg/cm²이며, 실제동작은 0.10kg/cm²/sec ± 25% 이다.

4-13 감온부(RTD)

감온부에 이상이 생기면 원격지시 권선온도계에 오차가 발생하거나 원격지시가 불가능 해지므로 1년에 한번씩 감온부 저항의 단선 여부를 확인해야 한다.

4-14 가스 검출 계전기(GDR)

- 1) 가스검출계전기는 변압기 내부의 이상 상태로 인하여 발생하는 가스를 검출하여 변압기 내부의 결함을 사전에 경고해 주는 계전기이다.
- 2) 서서히 발생한 가스는 변압기 상부단에 설치된 파이프를 통하여 계전기에 포집되고, 200cc 이상의 가스가 계전기 챔버에 축적되면 경보를 울리게 되어 있다.
- 3) 변압기 전면 하부에 가스를 샘플링하여 변압기 이상 유무를 분석하기 위한 시험용 밸브 및 페트코크(Petcock)가 있다.
- 4) 정기적으로 계전기내의 가스 집적량을 점검해

야 하며, 경보 시의 가스를 배출후, 다음 경보 시까지의 반복되는 주기를 관찰하면 변압기 내부 결함의 파악에 좋은 참고가 된다.

4-15 탭절환기 보호 계전기(OLTC Protective Relay)

- 1) 탭 절환기 보호 계전기는 절연유가 탭 절환기 유격실로부터 1 ± 0.2m/sec로 콘서베이터로 역류할 때에만 동작한다.
- 2) 이 보호 계전기가 동작하면 부하시 탭 절환장치 유격실 내부에 고장이 있는 것으로 생각하고, 반드시 전문가의 입회하에 탭 절환장치 유격실을 검사해야 한다.

5. 결 론

지금까지 변압기의 기능, 분류, 구조, 유지보수 방안에 대해 간략히 살펴보았다. 변압기가 설계수명까지 고유의 기능을 충분히 발휘하기 위해서는 운전자의 전문지식과 정성이 중요한 요소이다. 뿐만 아니라 근래에 이르러 변전설비 무인운전 및 운전자동화 추세에 따라 변압기 운전에 관한 새로운 지식들이 많이 개발되고 있는 실정이다. 그 대표적인 예가 변압기 On-Line 진단기술의 개발 및 적용이다. 이러한 기술의 적용은 변압기 이상을 미리 진단하여 조치를 취하므로써 사고를 미연에 방지할 수 있을 뿐만 아니라 운전비용감소, 변압기 사용수명 연장 등의 효과도 기대할 수 있다. 운전자는 이러한 관련 신기술 등에 꾸준히 관심을 가지고 설비운전에 임할 필요가 있다.