

전기설비 사고 조사 지침

- 제1부 : 변압기



KESG - VII - T - 42 - 2015


심 의 : 전기안전기준 심의위원회

	성 명	근 무 처	직 위
(위원장)	김 두 현	충북대학교	교 수
(위 원)	민 경 원	산업통상자원부 에너지안전과	사 무 관
"	남 택 주	산업통상자원부 기술표준원	연 구 관
"	이 종 호	원광대학교	교 수
"	신 석 하	SH 공사	처 장
"	안 상 필	한국전기연구원 선임시험본부	실 장
"	최 우 정	한국전기공업협동조합	팀 장
"	강 대 철	한국전기안전공사 안전기획단	단 장
"	김 권 중	한국전기안전공사 재난안전부	부 처 장
"	최 효 진	한국전기안전공사 고객지원부	부 처 장
"	김 명 수	한국전기안전공사 전력설비총괄부	부 처 장
"	조 세 익	한국전기안전공사 전기안전연구원	부 원 장
"	김 성 주	한국전기안전공사 검사부	부 장
"	김 진 태	한국전기안전공사 기술진단부	부 장
"	정 용 욱	한국전기안전공사 점검부	부 장
"	최 병 우	한국전기안전공사 국제협력부	부 장
(간 사)	백 호 준	한국전기안전공사 안전기획단	차 장


제 정 자 : 한국전기안전공사


제 정 일 : 2015년 12월 10일


개 정 : 년 월 일


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	목적, 적용범위, 용어의 정의	참고자료
	<p>1. 목적</p> <p>이 지침은 전기설비 사고 발생 시 이와 관련된 모든 과정에서 그 피해의 정도, 피해의 파급에 대한 조사절차 및 방법 등에 관한 세부적인 사항을 정함을 목적으로 하며, 사고와 관련된 사실을 근거로 하여 이의 근본 원인을 분석·규명하고 그 과정을 기록하여 향후 유사사고 재발 방지 및 예방대책을 수립하는데 활용하고자 한다.</p> <p>2. 적용범위</p> <p>이 지침은 전기사업법에 규정하는 전기설비를 운전함에 있어 인명의 사상이나 재산상의 피해가 발생한 사고로서, 다음의 어느 하나에 해당하는 사고의 조사에 대하여 적용한다.</p> <p>a) 감전사고(사망 2명 이상 또는 부상 3명 이상 발생한 경우)</p> <p>b) 전기설비사고</p> <p>1) 공급지장전력이 30,000 kW 이상 100,000 kW 미만의 변압기 고장으로 공급지장 시간이 1시간 이상인 경우</p> <p>2) 공급지장전력이 100,000 kW 이상의 변압기 고장으로 공급지장 시간이 30분 이상인 경우</p> <p>3) 국가 주요 설비인 상수도·하수도 시설, 배수갑문, 다목적댐, 공항, 국제항만, 지하철의 수전설비·배전설비에서 사고가 발생하여 3시간 이상 전체 정전을 초래할 경우</p> <p>4) 전압 100,000 V 이상인 자가용 전기설비의 변압기에서 사고가 발생하여 30분 이상 정전을 초래한 경우</p> <p>5) 1,000세대 이상 아파트 단지의 변압기에서 사고가 발생하여 1시간 이상 정전을 초래한 경우</p> <p>c) a), b)에도 불구하고 고객이 요청하는 경우</p> <p>3. 용어의 정의</p> <p>3.1 전기설비</p> <p>전기에너지의 생산 및 사용, 즉 발전·송전·변전·정류·제어·저장·측정 또는 사용에 관련된 제반설비를 말한다.</p> <p>3.2 전기사고</p> <p>전기안전관리대행 및 일반용계약점검 고객의 전기설비에서 발생한 화재·감전 및 설비사고(이하 “계약고객 전기사고”라 한다)와 그 밖의 전기설비에서 발생한 화재·감전 및 설비사고(이하 “일반고객 전기사고”라 한다)를 말한다.</p> <p>3.3 사고조사</p> <p>안전사고와 전기사고의 현장조사, 증거물에 대한 학술·과학적 분석과 경험적 지식을 활용하여 사고의 원인을 규명하는 것을 말한다.</p>	<p>전기사업법 시행규칙 제50조의3(중대한 사고의 통보·조사) 별표19</p>

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	목적, 적용범위, 용어의 정의	
<p>3.4 이해관계자</p> <p>전기설비의 사고와 관련하여 그 원인이나 결과로 인해 일신상 또는 재산상의 유·불리가 초래될 수 있는 자연인이나 법인을 말한다.</p> <p>3.5 사고관계자</p> <p>사고설비의 소유자, 점유자, 관리자와 사고목적자, 통보자, 초동대응자 및 기타 사고와 관련하여 직·간접적으로 관련된 모든 사람을 말한다.</p> <p>3.6 전문가</p> <p>전기설비 사고조사와 관련하여 해당분야의 경력, 전문지식 등의 자격기준을 만족시키고 사고의 원인과 인과관계를 과학적인 방법으로 해결하며, 지속가능한 전문성을 확보할 수 있는 자를 말한다.</p> <p>3.7 자격기준</p> <p>전기설비 사고조사와 관련하여 해당분야의 경력, 전문지식 등이 주어진 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되는 자가 갖추어야 할 규정된 기준을 말한다.</p> <p>3.8 현장조사</p> <p>전기설비 사고 발생 시 직접 사고현장에 출동하여 사고 실태와 발생상황 등을 조사하는 것을 말하며, 필요 시 목격자와 이해관계자들로부터의 진술을 확보할 수 있고 유관조직의 협조를 얻어 사고와 관련된 제반 정보를 입수하는 일체의 행위를 포함한다.</p> <p>3.9 사고 속보</p> <p>전기설비 사고 발생 후 24시간 이내에 사고현장에 출동하여 사고상황과 초동대응 내용 등의 주요항목을 정리한 간이보고를 말한다.</p> <p>3.10 사고 상보</p> <p>전기설비 사고 발생시 사고설비의 종류 및 장소, 상황, 대책 등에 대한 상세한 보고를 말한다.</p> <p>3.11 현장보존</p> <p>전기설비 사고현장에는 사고의 결정적인 증거들이 유류되어 있으나 자연적인 요인이나 인위적인 요인에 의해 훼손될 수 있으므로, 현장을 사고 당시 그대로 보존하기 위한 일련의 조치를 말한다.</p> <p>3.12 사고 흐름도</p> <p>전기설비의 사고를 체계적으로 분석하기 위해 사고를 유발했을 것으로 추정되는 원인으로부터 사고의 결과에 이르는 사고 진행상황과 이의 진행과정에 작용했을 것으로 추정되는 사고 메카니즘을 도해한 것을 말한다.</p>		


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	목적, 적용범위, 용어의 정의	참고자료
<p>3.13 재연실험</p> <p>전기설비 사고조사 시 원인분석 과정에서 사고와 관련된 이론이나 문헌 등을 참고할 수 없을 경우나 참고하더라도 실험을 통해 입증해야 할 필요가 있을 경우 사고현장 또는 사고환경과 최대한 유사한 사고환경을 조성하여 사고에 이르는 과정을 연출하기 위한 실험을 말한다.</p> <p>3.14 리드선(lead wire)</p> <p>변압기의 고·저압권선의 권선 말단부터 전압이 충전되는 고·저압 단자에 이르는 전선을 말한다.</p> <p>3.15 혼촉(混觸)</p> <p>전기회로에서 전압레벨이 서로 다른 전선끼리 서로 단락되는 현상을 말한다.</p> <p>3.16 계통분석</p> <p>전기설비 사고 발생 시 사고 당시의 물리적 상황이나 전기설비가 사고에 이르는 환경을 파악하기 위한 분석을 말한다.</p> <p>3.17 열화(劣化)</p> <p>전기설비의 성능이 점차 저하되어 가는 현상을 말한다.</p> <p>3.18 바니시(vernish)</p> <p>변압기의 권선이 단락기계력과 같은 외력에 의해 형태가 바뀌는 정도를 줄이기 위해 권선과 절연지를 함께 함침·경화시키기 위한 일종의 접착제를 말한다.</p> <p>3.19 초킹(chalking)</p> <p>도료가 경년열화되는 과정에서 도장된 표면에 미분이 생성되는 현상을 말한다.</p> <p>3.20 발청(發錆)</p> <p>금속의 표면에 녹이 스는 현상을 말한다.</p> <p>3.21 폴푸랄(furfural)</p> <p>절연지의 중합도를 파악하여 열화 정도를 판정하는데 사용되는 분자식 $C_2H_2O_2$의 무색 액체를 말한다.</p> <p>비고 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 전기사업법, 산업안전보건법 및 동법 시행령과 시행규칙, 안전보건규칙에서 정하는 바에 따른다.</p>		


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	
4. 변압기 사고 조사 절차 및 방법		33100 안전 관리규정 - 한국전기안 전사고 상보
변압기 사고가 발생한 경우 관계기관에 그 사실을 통보하여야 하며, 조사는 다음과 같은 절차와 방법에 따른다.		
1단계 사고 발생보고 접수	⇨ 전기설비 운용자/소유자 또는 목격자	
2단계 사고 조사조직 구성	⇨ 사고조사단 구성	
3단계 현장 출동 및 조사	⇨ 관계기관 협조 의뢰 안전장구 휴대 및 착용/사고조사도구 휴대 후 현장 이동	
4단계 초동대처사항 결정	⇨ 필요 시 현장보존 고객/전기사업자/시공업체 등 관계기관 협의로 초동대처	
5단계 사고 속보 작성	⇨ 사고 발생 후 24시간 이내 작성	
6단계 시험 및 분석	⇨ 전기설비 사고분석기관 의뢰	
7단계 사고조사보고서 작성 (안전권고사항 포함)	⇨ 분석분야별 결과 통합 작성 필요 시 재연실험, 관련 근거 제시 공정성, 객관성, 타당성 확보	
8단계 전문가 의견 수렴	⇨ 일정 기한 내 수렴	
9단계 사고 상보 제출	⇨ 지휘계통에 따라 사고 발생 10일 이내에 전기설비 사고 원인분석 사고 상보 제출 (보고기일 지연 시 지연사유 첨부하여 중간보고)	
그림 1 - 변압기 사고 조사 절차		


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<p>4.1 사고 발생보고 접수</p> <p>a) 사고발생 사실은 유·무선전화나 문자메시지보다는 내용 파악이 용이한 메일이나 FAX로 접수한다.</p> <p>b) 사고 발생과 관련하여 다음 사항을 파악한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 사고 종별 및 규모 2) 관계자 합동조사 여부 파악 및 인력 동원 3) 사고 조사범위 추정 <p>4.2 사고 속보 작성</p> <p>사고 발생 후 24시간 이내에 그 내용과 현장도면, 최근 점검기록표를 첨부한 사고 속보를 작성하여야 한다.</p> <p>4.3 사고 조사 개시</p> <p>a) 변압기 사고에 대한 원인분석은 현장에서 사고 발생 후 되도록 빠른 시간 내에 실시하는 초동조사와 현장에서 규명하기 곤란한 항목에 대해 전문분석기관에서 실시하는 정밀분석에 의한다.</p> <p>b) 각 조사 및 분석기관은 사고 발생 후 지체없이 증거보존 등 사실규명에 필요한 조치를 취하여야 하며, 조사절차 및 방법 등은 본 지침에서 정하는 바에 따른다.</p> <p>4.3.1 전기설비 사고 조사조직</p> <p>a) 이해관계자들로부터의 독립성 및 객관성이 보장되어야 하며, 사고원인 분석과 관련된 인원의 개인정보가 누출되어서는 안된다.</p> <p>b) 전기설비 사고조사의 특성상 해당분야의 경력, 전문지식 등의 자격기준이 요구되며, 지속적인 전문성 확보방안이 마련되어야 한다.</p> <p>c) 전기설비 사고 조사조직은 팀 지휘자, 조사관리자, 안전성 전문가, 운영자, 기술자, 전문조사원으로 구성된다.</p> <p>4.3.2 사고 조사조직 구성</p> <p>a) 사고 규모에 따라 필요할 경우 사고 조사조직을 구성하되, 소형 또는 중형사고 시 2인 1조 또는 3인 1조, 대형사고 시 사고 규모에 따라 적정인원으로 구성(조사팀장, 분야별 전문요원, 사진 촬영 및 피해조사요원 등 각 분야별 전문가 5~7명)한다.</p> <p>b) 사고와 관련된 내·외부 전문가로 구성한다.</p> <p>c) 회의, 시험 등에 관한 모든 자료를 작성·보관한다.</p> <p>4.4 사고 현장조사</p> <p>4.4.1 현장조사 절차</p>		<p>33100 안전관리규정 제12조(안전사고 보고)-한국전기안전공사</p>


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<p>a) 현장 출동</p> <p>b) 현장 확인</p> <p>c) 사고상황 정보수집</p> <p>d) 사고 당시 관계기관으로부터 사고 관련 자료 입수</p> <p>4.4.2 현장조사 시 유의사항</p> <p>a) 사고조사 시 피해자 또는 관계자를 정중하게 대한다.</p> <p>b) 사고현장 출입 시 신분을 명확하게 밝힌다.</p> <p>c) 사고조사에 적합한 복장과 용구를 갖춘다.</p> <p>d) 사고조사과정에서 지득한 설비 및 인원 관련 사항 중 비밀사항을 누설하지 않는다.</p> <p>e) 사고 관련 민사상 다툼에 대해 직무 상 개입하지 않는다.</p> <p>f) 주위 사람들의 언동에 현혹되지 않는다.</p> <p>g) 언론 등에 대한 발표에는 신중을 기한다.</p> <p>4.4.3 사고정황 수집방법</p> <p>a) 사고원인을 과학적으로 규명하기 위해서는 사고 발생시점 이전부터 사고 수습 및 처리에 이르는 일련의 과정을 관계기관과 공유한다.</p> <p>b) 사고현장에 출동한 관계기관의 전문가들은 사고와 관련된 전문지식과 경험이 많으므로 이들로부터 사고정황 및 사고원인 추정내용을 청취하는 것은 신뢰도가 높다.</p> <p>c) 사고현장을 직접 목격하거나 사고를 수습하는 자로부터 수집한 사고정황은 사고조사 시 중요한 자료가 되므로 다음과 관련된 내용은 신중을 기해 수집한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 사고장소(건물, 층, 실, 지붕 등) 2) 사고 발생 및 진행상황, 화재 발생 유무, 이음(방전음 또는 폭발음 등), 이취(인화성 위험물, 화학물질 등의 특이한 냄새 등) 등의 특이사항 3) 불꽃이나 파편의 발생, 비산 방향, 날씨(우천이나 풍향 등) 4) 연기의 색(백색, 황색, 흑색 등), 절연유 분출 시 색(연한 황색, 갈색, 흑색 등) 5) 사고 확대경로 및 방향 6) 전기설비 설치장소로 진입하는 출입구, 창, 셔터, 자물쇠의 시건상태 7) 소화기, 소화전, 소화설비의 작동상태 8) 인명피해 발생 시 현장상황(자세, 위치, 손발의 방향 등) 		<p>33100 안전관리규정 - 한국전기안전공사</p> <p>전기화재공학 pp. 146-152</p>


<div>KEPCO</div>	<div>전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기</div>	참고자료
<div>VII-T-42-2015</div>	<div>변압기 사고 조사 절차 및 방법</div>	
<div>4.4.4 사고 현장조사 방법</div> <div>a) 사고원인을 조사하기 위해 구비해야 할 장비로는 안전장구, 물증이나 분석용 시료 발체를 위한 장비, 기록도구, 조명장비, 감정도구 등을 들 수 있으며, 각각의 사고상황에 적합한 장구를 구비하여야 한다. 아래에서 설명한 장비 이외의 정밀분석장비는 5장에서 상세히 설명한다.</div> <div>1) 안전장구 : 개인보호구, 방호구 등</div> <div>2) 물증이나 분석용 시료 발체를 위한 장비 : 시료 채취도구(자외선 차단용기, 지퍼백, 비닐 장갑 등), 펜치, 드라이버, 니퍼, 삽, 괭이, 사다리, 현장보존 장비, 빗자루, 밀가루, 기타 공구류</div> <div>3) 기록도구 : 카메라, 분필, 노트, 필기구, 자, 표찰류(출입금지, 스티커 등), 줄 등</div> <div>4) 조명장비 : 손전등, 휴대용 축전지, 방폭형 이동조명, 발동발전기 등</div> <div>5) 감정도구 : 핀셋, 확대경, 테스터, 절연저항계 등</div> <div>b) 조사요원의 복장은 사고 물증 발체작업 등의 현장작업에 적합하여야 하며, 낙하물, 비래물, 못 등의 돌출물 등에 의한 사고를 예방할 수 있어야 한다. 또한, 다른 사람들이 사고조사요원이라는 것을 쉽게 알아볼 수 있는 복장을 착용하는 것이 바람직하며 작업모, 안전모, 안전단화, 안전장화, 우의, 방진마스크, 완장, 기타 기상조건에 따른 방한복 등을 준비하여야 한다.</div> <div>c) 사고 현장조사 순서</div> <div><div>사고현장의 주변 상황 등 전체적인 상황 관찰</div><div>↓</div><div>사고관계자로부터 사고정황 정보 수집</div><div>↓</div><div>최초 사고부위 추정</div><div>↓</div><div>사고 파급경로 추정</div><div>↓</div><div>사고 물증 수집</div><div>↓</div><div>사고 현장보존/수습여부 결정 및 현장 기술지원</div></div> <div>그림 2 - 사고 현장조사 순서</div> <div>1) 사고 현장조사 시 추가 사고 가능성을 판단하여 현장 인원의 안전을 최우선 고려한다.</div> <div>2) 기록장치는 봉인조치한다.</div> <div>3) 현장보존 조치 및 사진·동영상 촬영, 녹음, 시료 발취 등에 의한 물증을 수집한다.</div> <div>4) 사진은 원거리에서 근거리로, 근접촬영 순서로 진행한다.</div>		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
	<p>d) 사고 현장은 모든 현상과 상태에 대해 과학적, 전문적 지식에 근거하여 논리 타당하도록 다음에 설명하는 방법으로 조사되어야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 주관적이고 추상적인 방법은 배제하고 가시적 근거에 따른 방법으로 가설을 세운다. 2) 사고원인 추정과 관련된 모든 가설은 과학적으로 입증할 수 있어야 한다.(필요 시 재연실험이 가능할 것) 3) 사고 현장에서는 가능한 많은 물증을 수집한다. 4) 조사요원은 사고 현장 도착 시 바로 현장 안으로 들어가지 말고 인근 건물의 옥상 등 높은 위치에 올라 현장 전체를 관찰한다. 5) 사고 현장 외곽에서 중심부로 전체적인 사고 상황을 상하, 전후, 좌우측을 입체적으로 주의 깊게 관찰한다. 6) 사고의 정도가 약한 부분에서 강한 부분으로 관찰한다. 7) 건물 구조재의 파손 상황을 통해 사고 파급의 방향을 추정한다. 8) 낙하물, 붕괴물이 많은 장소는 도괴방향, 파편의 비산방향을 관찰하고 건물의 구조를 파악한다. 9) 사고원인으로 작용할 수 있는 특이사항을 관찰한다. 10) 파손된 부분은 복원적인 관점에서 관찰한다. 11) 정밀조사가 실시되기 전에는 물증이 될 수 있는 것들을 가급적 청소나 기타 사유로 손대거나 이동시키지 말아야 하며, 현장에서는 흡연을 삼가고 발화성 물질을 버려서는 안된다. <p>e) 현장보존</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 사고 현장에는 사고의 잔해 등이 소실되어 재나 소손형태로 남아있는 경우가 많으므로 사고원인을 조사하기 위해 이들을 가급적 그대로 보존하여야 한다. 2) 사고 현장의 모든 물증은 정확한 사고원인을 조사하기 위해 주변 정리 또는 사고 수습 차원에서 처분되어서는 안되며, 초동대응 이후의 현장 상황이 그대로 보존되어야 한다. 3) 사고조사 상 필요한 부분을 한정하여 출입금지 구역을 설정하고 관계자 이외에는 출입을 금지시킨다. 4) 훼손되기 쉬운 현장은 사진이나 동영상으로 기록하여 둔다. <p>f) 사진 촬영은 다음의 항목에 대해 촬영하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 소손 물증의 전경 2) 모든 파손부 및 용융부 3) 복원상태 	

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<p>4) 추정 사고원</p> <p>5) 사고 파급경로로 추정되는 부위</p> <p>6) 피해상황(인명피해, 재산피해)</p> <p>7) 기타 사고원인 분석에 필요한 사항</p> <p>g) 필요 시 도면을 작성하여야 하며, 이때 사고설비의 위치, 소손 부위나 구조 등을 명확히 나타낼 수 있도록 작성한다. 도면의 종류는 다음과 같다.</p> <p>1) 사고설비 및 현장 배치도</p> <p>2) 사고현장의 평면도</p> <p>3) 사고설비의 단선결선도 및 배분전반 사진 촬영</p> <p>4) 사진 촬영위치 표시</p> <p>5) 기타 필요한 사항</p> <p>h) 사고관계자로부터 사고정황을 청취하는 것은 매우 중요하며, 다음의 상황에 대해 질의한다.</p> <p>1) 사고 발견 당시 목격 상황</p> <p>2) 건물(또는 전기실)과 설비의 구조 및 배치</p> <p>3) 전기설비의 단선결선도 및 배분전반 촬영</p> <p>4) 기타 사고 발생 전후 상황 등</p> <p>i) 질의요령 및 질의 시 주의사항은 다음과 같다.</p> <p>1) 사고조사자의 신분을 밝히고 상대방의 감정을 자극하는 언동을 삼간다.</p> <p>2) 질의시기, 장소 등을 고려하여 답변자의 임의 진술을 얻도록 한다.</p> <p>3) 질의 시 일문일답식으로 진행하며, 얻어내고자 하는 답변을 유도하는 질문은 일체 삼간다.</p> <p>4) 질의내용은 미리 준비하여 체계적으로 실시한다.</p> <p>5) 짧고 간결하게 요점만 질의한다.</p> <p>6) 말을 너무 많이 하지 않는다.</p> <p>7) 예, 아니오 라고만 대답할 수 있는 질의는 피하고 목격 당시의 상황 등에 대하여 질의한다.</p> <p>8) 사고원인에 대한 조사자의 견해를 밝히지 않는다.</p> <p>9) 진술내용은 신속하게 기록하고 녹취할 경우 당사자의 승낙을 얻는다.</p> <p>10) 꼭 알고 싶은 사항은 그 사실을 직접 경험한 사람의 진술을 확보한다.</p>		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<p>j) 진술자에게 질의하여야 할 항목은 다음과 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 진술자의 인적사항(성명, 연령, 직업, 주소 등) 2) 사고 목격상황(발견, 신고 등) 3) 발견 후 행동(초동대응상황 등) 4) 목격시간, 장소 등의 상황 5) 사고 전 상황(건물이나 전기설비 운전상황 등) 6) 사고원이 될 수 있는 것들의 배치 및 사용관리 상황 7) 피난상황 등 <p>k) 사고 당시 관계기관 또는 변전소로부터 사고 관련 자료를 입수한다.</p> <p>l) 사고조사자를 파견한 기관의 장은 사고 상보를 작성하여 통보한다. 다만, 사고 상보에 첨부하여야 하는 서류는 다음과 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 단선결선도 2) 사고현장 도면과 사진 등 3) 시체검안서 또는 진단서 1부 4) 전기설비 점검기록표 사본 1부 5) 피해자측의 각서 또는 합의서 1부 6) 경찰조서 사본 1부 7) 본인 및 작업책임자의 진술서 각 1부 8) 안전관리책임자 의견서 1부 9) 안전교육일지 사본 1부(사고와 관련된 안전교육내용과 시간이 명시된 최근 3개월간 교육일지) 10) 보험사고사실 확인원, 현장도면 및 사진 <p>m) 사고현장에서 수거한 물증 및 시료는 첨단장비를 활용한 정밀분석을 위해 연구·분석·시험기관으로 발송하여 결과를 얻는다.</p> <p>4.4.5 변압기 사고현장 초동조사</p> <p>변압기 사고조사자는 변압기 사고현장에서 다음의 사항에 대한 초동조사를 실시한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> a) 사고가 발생한 변압기의 제원(정격전압·전류, 극성, %Z 등), 변압기의 결선, 운전환경, 기타 특징 및 사고에 영향을 줄 수 있다고 고려되는 사항을 정확하게 확인하여 기록한다. b) 유입변압기의 경우에는 외함의 부식 및 누유 여부와 방압밸브의 이상 여부, 건식 변압기의 		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	
<p>경우에는 절연재의 균열 여부를 확인하고 영상 촬영 및 특징을 기록한다.</p> <p>c) 염분, 먼지 등으로 인한 부상의 오손, 파손 및 아크흔 여부와 부상 절연캡의 이상 여부 등을 확인한다.</p> <p>d) 절연유의 색상과 점도를 파악하고 외함 바닥에 가라앉은 침전물의 종류, 양 및 특징을 기록한다.</p> <p>e) 유입변압기의 경우 흡습제(실리카겔)나 호흡기의 상태 등을 확인하여 기록한다.</p> <p>f) 변압기의 접속상태, 접지상태, 충전부와 다른 물체와의 이격거리, 국부 절연파괴 흔적, 절연저항, 권선저항 등, 현장에서 측정을 실시하고 측정 관련 내용과 결과를 기록한다.</p> <p>g) 현장에서 분석이 곤란한 정밀분석사항은 현장에서 시료를 채취하여 전문분석기관에 최대한 빠른 시간 내에 보내어 분석한다.</p> <p>4.5 변압기 사고원인 정밀분석 절차 및 방법에 따른 원인분석</p> <p>a) 확보된 시료에 대한 종합 분석, 전문가 자문 및 관련 자료 검색, 사고 변압기 구성품에 대한 기술적 분석(전기적, 기계적, 화학적, 열적 분석 등)을 통해 직접 원인분석을 실시한다.</p> <p>b) 사고 당시 운전기록, 인적 요인, 계통도, 제품 사양 등의 기록 분석 등, 간접 원인분석을 실시한다.</p> <p>c) 근원적인 원인을 분석하고 원인분석 중 나타나는 문제점을 기록 및 유지한다.</p> <p>d) 사고 흐름도를 작성하고 관계자 간 토론을 실시한다.</p> <div><div><div>외관 육안검사</div><div>↓</div><div>변압기 내부 육안검사</div><div>↓</div><div>중신 해체</div><div>↓</div><div>중신 내부 육안검사</div><div>↓</div></div><div><div><ul style="list-style-type: none">• 유입 : 외함, 부상, 방압밸브, 오링, 개스킷, 기타 특이사항 등• 몰드 : 절연체, 리드단자, 철심, 프레임 등</div><div><ul style="list-style-type: none">• 유입 : 절연유, 절연지, 수분, 권선, 프레임, T/C 등• 몰드 : 내부 크랙, 용융물, 트래킹 등</div><div><ul style="list-style-type: none">• 몰중신을 빼낼 때 절연유가 묻어 떨어뜨릴 수 있으므로 특히 주의 요망</div><div><ul style="list-style-type: none">• 권선, 절연지, 바니쉬, 오일덕트, 스플릿바, 권취장력 등</div><div><div>몰드는 생략</div></div></div></div>		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료

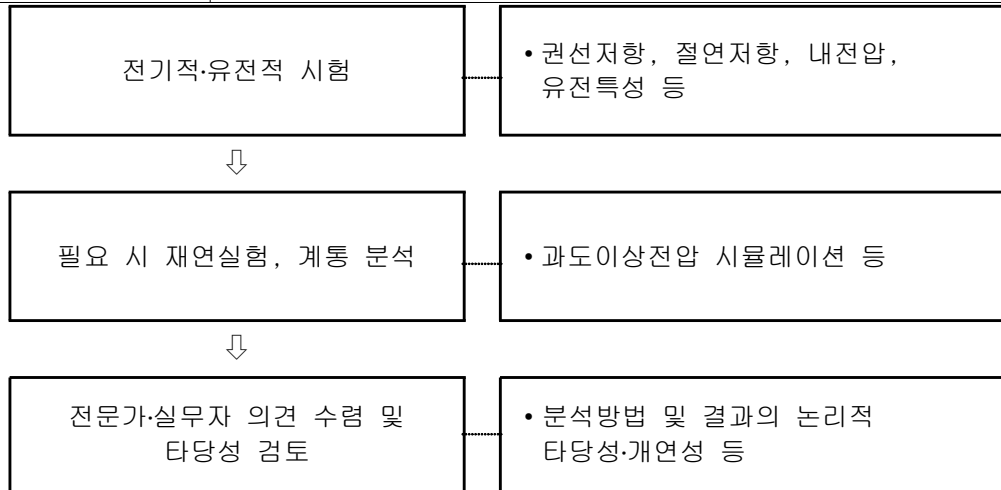


그림 3 - 변압기 사고원인 정밀분석 절차

4.5.1 시료 준비

- a) 변압기 사고 발생 시 원인분석을 위한 시료는 그림 4를 참조하여 각 구성품별로 발취하되, 사고발생부위는 일정 기간 보존 후 해당 변압기 제공자(또는 소유자나 사고원인분석 의뢰자)의 동의를 얻어 폐기 또는 반납한다.(또는 사고원인 분석 의뢰 당시 일정기간 경과 후 폐기를 명기하여 폐기 또는 반납한다)

Fault Analysis and Expert System
Construction of Pole Transformers, 정종욱

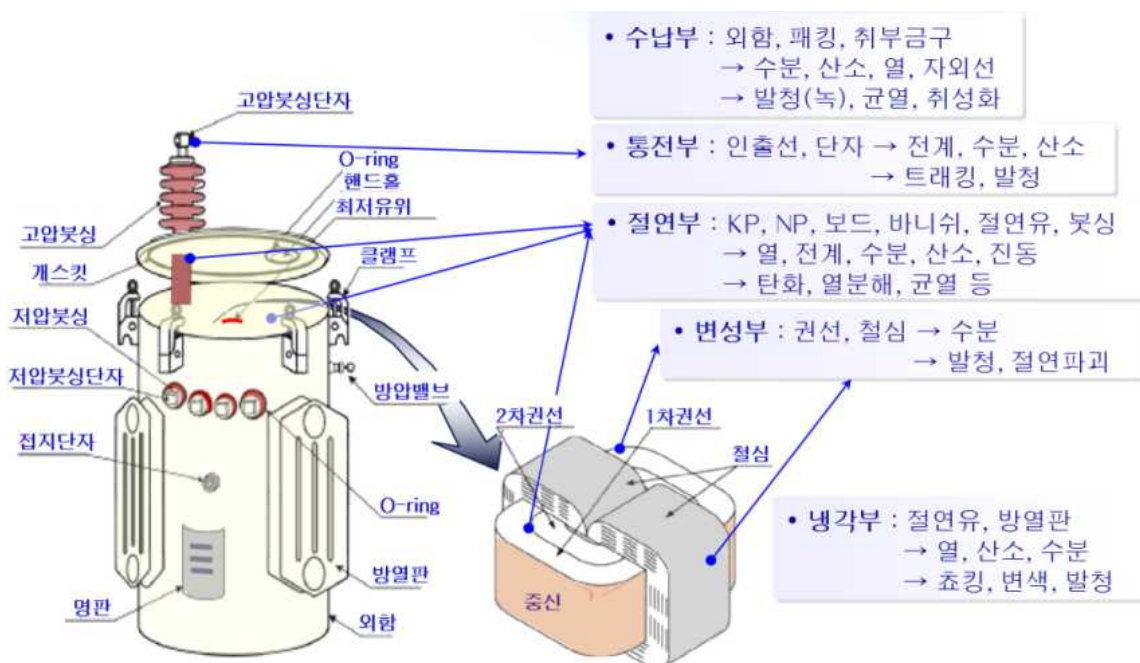


그림 4 - 변압기의 일반적인 구조 및 열화모드

- b) 변압기 내부 구성품은 절연유에 함침되어 있어 중심을 들어내거나 시료를 발취할 때 안전에 최대한 유의해야 하며, 외함 덮개 개방 시 절연유의 변색, 수분 침입 흔적, 이취 여부, 유위의 변화 등을 면밀히 관찰하여 그 결과를 기록한다.

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	

(a) 절연유 변색

(b) 외함 바닥 수분 여부

(c) 유위 변화

그림 5 - 변압기 외함 덮개 개방 시 육안검사 사항

c) 수납부에 대해서는 외함의 이상 여부, 누유 흔적, 방압밸브의 상태, 부식 및 패킹 상태 등을 관찰하여 이상 및 특징을 기록한다.

(a) 변압기 외함 누유

(b) 방압밸브 이상 유무

그림 6 - 변압기 외함 육안검사 사항

d) 통전부에 대해서는 인출선 및 단자 이상 관찰, 저항 측정 및 권선 변형 여부와 정도 등을 실시하여 결과를 기록한다.

그림 7 - 변압기 권선 및 절연지 탄화

e) 절연부에 대해서는 절연지나 절연유의 변색 상태, 탄화 여부, 이취 등을 현장에서 관찰하여 그 결과를 기록한다. 절연유는 실험실의 분석장비를 활용해야 할 경우를 위해 갈색 유리병

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	
<p>또는 금속제 통 등의 자외선을 차단할 수 있는 용기에 필요한 만큼의 양을 채취하되, 가능한 외함의 바닥부분에서 채취하여 용기에 가득 채운 후 마개를 단단히 닫아 외기와 차단한다. 또한, 부상의 이상이 의심될 경우에는 의심 부위만을 파쇄하여 발취하거나 현장에서의 파쇄가 곤란할 경우에는 통째로 수거한다. 이 때 부상-외함 간 및 부상-고·저압단자 간의 오링이나 개스킷을 관찰하여 미소크랙이나 변형 등의 특이점이 발견될 경우 같이 수거한다.</p> <div data-bbox="143 582 1311 925">  </div> <div data-bbox="169 963 1284 996"> <div>(a) 변압기 고압부싱 균열</div> <div>(b) 고압부싱 파손</div> <div>(c) 고압부싱용 오링 크랙</div> </div> <p style="text-align: center;">그림 8 - 변압기 부상 관련 이상</p> <p>f) 중신은 절연유에 함침되어 미끄럽고 무거우므로 조심스럽게 외함으로부터 꺼내어 외관을 관찰한다. 오일덕트 등의 막힘 여부나 바니시 함침 경화상태, 탄화흔이나 권선 모서리 부위의 고압권선이 과도하게 꺾이지 않았는지 등을 주의 깊게 검사한다.</p> <div data-bbox="143 1247 1311 1702">  </div> <div data-bbox="229 1740 1270 1774"> <div>그림 9 - 중신 오일덕트의 막힘</div> <div>그림 10 - 권선 모서리의 과도한 곡률</div> </div> <p>g) 변성부에 대해서는 권선저항을 측정하여 그 값을 기록하고, 권선저항이 정상값보다 높을 경우에는 권선이 탄화 또는 단선되었는지 관찰한다. 권선 내부에서 탄화 또는 단선이 발견되었을 경우 반드시 보안경을 착용한 후 그라인더로 이상 부위까지 세로로 절단하여 해당 부위를 촬영하고 수거한다.</p>		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	참고자료
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	
<div><div></div><div></div></div> <div><div>(a) 변압기 고장 부위</div><div>(b) 그라인더로 절단한 고압권선</div></div> <div><p>그림 11 - 변압기 고장 부위 권선 절단</p><p>h) 절연유가 육안검사에 의해 별다른 특이사항이 검출되지 않을 경우에는 절연파괴전압과 미소수분량을 측정하고 그 값을 기록한다.</p><p>4.5.2 고장원인 분석 방법</p><p>a) 육안검사</p><div><p>1) 육안검사는 전기설비 사고 발생 시 고장원인 분석을 위한 가장 중요한 기본작업으로서 사고 부위의 손상 정도, 손상의 형태, 손상 특징 등을 면밀히 관찰하여 기록한다.</p><p>2) 보다 정확한 육안검사를 위해 현미경, SEM(전자주사현미경) 등을 활용할 수 있으며, 이를 위해 현장에서 시료를 발취할 수 있다.</p></div><p>b) 절연파괴전압 측정</p><div><p>1) 가능할 경우 현장에서 채취한 절연유에 대해 절연파괴전압을 측정한다.</p></div><p>비고 변압기 절연내력 판정기준은 부속서 A.4를 참고한다.</p><div><p>2) 절연유 내압시험을 위한 전극은 직경 12.5 mm의 구전극 2개를 2.5 mm 간격으로 이격시킨 후 절연유를 부어 함침시키고 0 V부터 3 kV/s의 속도로 전압을 상승시켜 절연파괴전압을 측정한다. 시험은 10회 반복하여 최대값과 최소값을 제외한 8개 값의 평균을 취해 절연파괴전압으로 결정한다. 단, 매 시험 간에는 절연파괴된 절연유의 안정화를 위한 시간을 두며, 스테링바를 이용하여 절연유의 국부 절연파괴 부위를 제거한다.</p></div></div>		

	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<div data-bbox="459 349 987 801" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="549 842 908 878" data-label="Caption"> <p>그림 12 - 절연유 내압시험기</p> </div> <div data-bbox="134 909 252 945" data-label="Section-Header"> <p>c) 염색법</p> </div> <div data-bbox="150 974 1321 1160" data-label="List-Group"> <ol style="list-style-type: none"> 1) 부상의 기계적 강도를 파악하기 위해 부상을 몇 개의 조각으로 파쇄하여 흑신용액이 들어 있는 가압챔버 내에서 100기압으로 4시간 함침시킨 후 꺼내어 다시 파쇄한다. 이 때 파쇄된 단면에 흑신용액이 침투되어 있으면 경도가 약한 것으로 판정한다. 2) 시험 중 주위 또는 의복에 흑신용액이 튀지 않도록 주의한다. </div> <div data-bbox="459 1189 995 1644" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="475 1680 983 1715" data-label="Caption"> <p>그림 13 - 염색법에 의한 부상 정도 시험</p> </div> <div data-bbox="134 1744 603 1780" data-label="Section-Header"> <p>d) FTIR(적외선 분광스펙트럼) 분석법</p> </div> <div data-bbox="150 1809 1321 1995" data-label="List-Group"> <ol style="list-style-type: none"> 1) 절연체의 열화에 의한 분자사슬의 변형 정도를 파악하기 위해 절연유에 대해 FTIR 분석을 실시한다. 2) FTIR 측정 시 센서 냉각용 액체질소 취급에 특히 유의해야 하며, 보다 높은 측정감도 향상을 위해 센서는 30분 이상 냉각시킨 후 사용한다. </div>		



그림 14 - FTIR spectroscopy

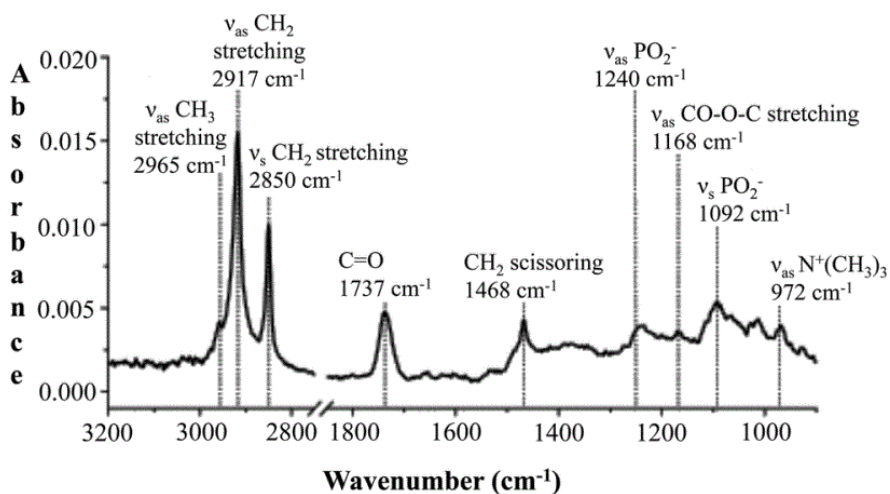




그림 15 - FTIR 분광 스펙트럼에 의한 열화판단 기준


e) 폴푸랄 검출


절연지의 폴푸랄 성분을 검출하기 위해 절연유를 수거한다.

f) 미소수분량 측정

절연유나 절연지에 포함된 수분의 정도를 파악하기 위한 시험이다.


	전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기	
VII-T-42-2015	변압기 사고 조사 절차 및 방법	참고자료
<div data-bbox="442 349 1015 804" data-label="Image">  </div> <div data-bbox="549 842 908 878" data-label="Caption"> <p>그림 16 - 미소수분량 측정기</p> </div> <div data-bbox="132 907 670 943" data-label="Section-Header"> <h4>4.6 사고원인 분석결과에 대한 전문가 자문</h4> </div> <div data-bbox="132 974 909 1072" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> a) 해당 사고와 관련된 내·외부 전문가로 자문단을 구성한다. b) 전문가 간 이견이 있을 경우 재연실험 등을 통해 검증한다. </div> <div data-bbox="132 1104 402 1137" data-label="Section-Header"> <h5>4.6.1 사고 상보 작성</h5> </div> <div data-bbox="132 1169 1324 1612" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> a) 사고 상보는 사고 특징에 따라 개요, 원인, 조사사항, 결론, 재발 방지대책 순으로 정리하고 필요 시 사실관계 문서를 첨부한다. b) 사고 예방대책을 강구한다. <ul style="list-style-type: none"> 1) 단기 대책은 즉시성으로 종결한다. 2) 사고와 관련하여 유사업무 및 타부서에도 사고사례를 전파하고 예방교육을 시행한다. 3) 중기 및 장기대책은 진행상황을 지속적으로 관리한다. c) 주기적(분기) 검사, 종합안전도 평가, 심사 등의 점검사항을 포함하며, 모든 대책의 종결 유무에 대하여 문서관리를 시행한다. </div>		

		전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기		
VII-T-42-2015		CHECK LIST		
5. CHECK LIST				
5.1 변압기 사고조사 점검서식				
구 분		점검항목	판정	참고자료
조사 전 안전고려 사항	일반사항	- 사고조사 구역 내 사고로 인한 전기적 위험요인이 남아있지 않은지 확인하고 출입한다.		
		- 사고구역 출입제한 조치 및 표식 부착을 확인한다. (출입통제 표식 설치, “감전주의” 등 안전표지 설치)		
		- 사고현장 내 차단기 및 접지 실시상태를 확인한다.		
		- 사고구역이 밀폐공간일 경우 출입 전에 산소농도를 측정한다.		
	안전 보호구 및 용구	- 사고조사자의 안전용구(안전모, 보안경, 보안면, 작업복, 고압용 절연장갑, 고압용 절연장화) 착용상태를 확인한다.		
		- 조작용구(조작봉, 접지용구)의 휴대를 확인한다.		
		- 검전용구(개인검전기, 활선검전기, 검측봉)의 휴대를 확인한다.		
		- 작업용구, 측정기, 수량 및 사고조사 투입인원을 확인한다.		
		- 사고조사절차 및 조사를 위한 안전교육(감전방지, 조작에 안전용구 취급 요령 등)을 실시한다.		
조사 전 준비	- 사고 변압기의 계통도, 점검·측정기록부 등, 조사에 필요한 공·기구를 확인한다.			
	- 공·기구, 사고조사 자재를 준비한 후, 성능과 규격을 확인한다.			
	- 사고조사장비의 검·교정 필증 및 유효기간을 확인한다.			
	- 불필요 자재·공구의 반입 여부, 공·기구의 상태를 확인한다.			
	- 현장 분해부품의 취급요령을 숙지 및 확인한다.			
	- 사고조사인원 간의 통화, 통신상태를 확인한다.			
	- 필요 시 현장감독의 승인 하에 정전을 실시하고 정전상태를 반드시 확인한 후 조사한다.			
	- 정전 후 조작 금지를 위한 Red Tag의 설치를 확인한다.			
	- 정전구간에 대해 검전기로 정전을 확인한다.			
	- 단락용구(또는 접지용 단로기)를 이용한 단락접지 및 단락점의 시건조치를 확인한다.			
	- 작업구간의 검전을 시행한다.			
	- 출입통제용 펜스 및 출입금지 테이프의 설치를 확인한다.			

		전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기		
VII-T-42-2015		CHECK LIST		
구 분		점검항목	판정	참고자료
변압기 시험 중	공통사항	- 분해 부품용 임시포장 및 간이포장용 비닐시트를 확인한다.		
		- 밀폐공간 내 조사 중에는 주기적으로 산소농도를 측정하여 필요 시 환풍기를 가동시켜야 한다.(비상용 산소호흡기 비치)		
		- 작업 중 감시자를 배치하고 내부 작업자와 비상연락체제를 확보한다.		
	변압기 시험	- 변압기에 대한 현장시험이 필요할 경우 차단기와 단로기가 개방되었는지 다시 확인한다.		
		- 각종 시험장치의 정확한 사용을 위해 필요 시 항상 매뉴얼을 확인하여야 한다.		
		- 고전압 시험 중 변압기 및 전원인가용 제어장치에 감독자가 각각 배치되어 있는지 확인한다.		
		- 변압기 측정 및 점검시험은 아래와 같다. • 권선-외함간, 권선 간 절연저항 및 권선저항 측정 • 절연유/절연지 절연내력 시험 또는 유전정접 시험 • 변압기 접지상태 점검 • 몰드변압기의 경우 파편 내 이물, 보이드 검사 등		
		- 변압기 시험 후에는 단락접지를 제거하고 재 방전작업을 확인한다.		
	조사 후 조치 사항	- 조사 종료 후 조사를 위해 실시했던 모든 작업이 조사 전으로 원위치되었는지 확인하고 조사 간 발견된 문제점은 반드시 현장책임자의 확인을 통해 시정조치한다.		
		- 작업 종료 후 Red Tag을 반납하고 조사 종료를 통보한다.		
- 전원 측 단락접지를 제거하였는지 확인한다.				
- 조사구간을 단로기, 차단기 순으로 정상상태와 같이 복구하였는지 확인한다.				
- 조사구간의 조사인원 및 도구, 측정기, 장비 수량을 확인한다.				
- 시건상태의 정상 여부를 확인한다.				
- 통전허가 확인 및 정상 통전상태를 확인한다.				
- 조사 종료 후 정리정돈 상태를 확인하고 안전펜스를 제거한다.				
		- 조사 종료를 통보하고 확인한다.		

5.2 주변압기, 단권변압기

구 분		점검항목	판정	참고자료
변압기 본체 (외함)	유온	- 사고 발생 이전까지 주위온도와 부하량 및 온도계의 지침이 주기적으로 기록되어 있는지 확인한다.		안전보건공단 변압기보수지침
		- 과여자, 내·외부 조임의 이완 또는 유중방전의 흔적 등을 확인한다.		
		- 필요 시 기록을 확보하여 변압기 내부이상, 냉각기의 능력 저하, 온도계의 지시 불량 등의 이상 여부를 확인한다.		
	누유	- 콘서베이터 연결부, 부상, 방압장치 등의 누유 여부를 육안으로 점검한다.		
		- 패킹의 열화, 이완, 용접부의 균열 여부를 점검한다.		
흡습 호흡기	호흡상황 점검	- 실리카겔의 변색, 기포의 발생상황, 외관의 이상을 확인한다.		
부싱단자	누유	- 애자의 변색, 파손 또는 부상부의 누유를 점검한다.		
		- 패킹의 열화, 이완을 점검한다.		
	과열 균열	- 부싱단자의 균열상태를 확인한다.		
		- 부싱단자 조임개소의 이완, 과부하 또는 외부 원인이 있었는지 확인한다.		
		- 정밀분석을 통해 진애, 염분부착도, 코로나 발생 유무를 확인한다.		
방압장치	누유 방압판 균열	- 방압판의 균열, 방출안전장치의 작동 유무, 방압판의 이완에 의한 누유를 점검한다.		
콘서 베이터	유면	- 절연유 온도와 유면의 관계를 유면계와 비교하여 기록한다.		
		- 누유, 빗물 침입, 유면계 지시 불량을 확인한다.		
절연유	유색 내압 산가	- 육안점검으로 유색의 변화를 확인한다.		
		- 절연유가 공기 중의 산소와 수분 흡입 여부, 내부 권선의 부분방전으로 인한 절연파괴로 절연유의 열화로 진행되었는지 추정한다.		
		- 정밀분석을 통해 내압 및 산가의 이상 여부를 판정한다.		
접지단자	조임, 이탈 여부	- 접지단자의 조임 상태, 접속불량 또는 소손 여부를 확인한다.		
브호출뜨 계전기	유면	- 계전기 내부에 이상가스로 인한 유면의 변화를 확인한다.		

		전기설비 사고 조사 지침 - 제1부 : 변압기		
VII-T-42-2015		CHECK LIST		
5.3 유입변압기(소형)				
구 분		점검항목	판정	참고자료
변압기 본체 (외함)	유온	- 사고 발생 이전까지 주위온도와 부하량 및 온도계의 지침이 주기적으로 기록되어 있는지 확인한다.		안전보건공단 변압기보수지침
		- 과여자, 내·외부 조임의 이완 또는 유중방전의 흔적 등을 확인한다.		
		- 필요 시 기록을 확보하여 변압기 내부이상, 냉각기의 능력 저하, 온도계의 지시 불량 등의 이상 여부를 확인한다.		
	누유	- 콘서베이터 연결부, 부상, 방압장치 등의 누유 여부를 육안으로 점검한다.		
		- 패킹의 열화, 이완, 용접부의 균열 여부를 점검한다.		
흡습 호흡기	호흡상황 점검	- 실리카겔의 변색, 기포의 발생상황, 외관의 이상을 확인한다.		
부싱단자	누유	- 애자의 변색, 파손 또는 부상부의 누유를 점검한다.		
		- 패킹의 열화, 이완을 점검한다.		
	과열 균열	- 부싱단자의 균열상태를 확인한다.		
		- 부싱단자 조임개소의 이완, 과부하 또는 외부 원인이 있었는지 확인한다.		
		- 정밀분석을 통해 진애, 염분부착도, 코로나 발생 유무를 확인한다.		
절연유	유색 내압 산가	- 육안점검으로 절연유 색상의 변화를 확인한다.		
		- 절연유가 공기 중의 산소와 수분 흡입 여부, 내부 권선의 부분방전으로 인한 절연파괴로 절연유의 열화로 진행되었는지 추정한다.		
		- 정밀분석을 통해 내압 및 산가의 이상 여부를 판정한다.		
접지단자	조임, 이탈 여부	- 접지단자의 조임 상태, 접속불량 또는 소손 여부를 확인한다.		
퓨즈	퓨즈상태	- 과부하로 인한 퓨즈의 용융상태를 육안으로 점검한다.		
1차, 2차 접속부	접속조임 상태	- 1차 접속부, COS 접속부, 2차 접속부의 접속상태를 확인한다.		

5.4 몰드변압기

구 분		점검항목	판정	참고자료
변압기 본체 (외함)	진동	- 사고 발생 이전까지 주위온도와 부하량 및 온도계의 지침이 주기적으로 기록되어 있는지 확인한다.		안전보건공단 변압기보수지침
		- 과여자, 내·외부 조임의 이완 또는 방전의 흔적 등을 확인한다.		
		- 필요 시 기록을 확보하여 변압기 내부이상, 냉각기의 능력 저하, 온도계의 지시 불량 등의 이상 여부를 확인한다.		
부상단자	과열 균열	- 부상단자의 균열상태를 확인한다.		
		- 부상단자 조임개소의 이완, 과부하 또는 외부 원인이 있었는지 확인한다.		
		- 정밀분석을 통해 진애, 염분부착도, 코로나 발생 유무를 확인한다.		
접지단자	조임, 이탈 여부	- 접지단자의 조임 상태, 접속불량 또는 소손 여부를 확인한다.		
퓨즈	퓨즈상태	- 과부하로 인한 퓨즈의 용융상태를 육안으로 점검한다.		
		- 과부하, 정격용량 미달 등의 문제점이 없는지 확인한다.		
1차, 2차 접속부	접속조임 상태	- 1차 접속부, COS 접속부, 2차 접속부의 접속상태를 확인한다.		

6. 점검서식

6.1 전기설비 사고조사 기록표

전기설비 사고조사 기록표

구 분	내 용		비 고
고 객 명			
사고일시	년 월 일 시 분		
조사일시	년 월 일 시 분		
사고 및 파급정도	인명피해 부상 명, 사망 명 / 재산피해 : 원(잠정) 정전피해 : 범위 , 정전피해 : 원(잠정)		
사고변압기 명세	변압기 명세	종류/냉각방식 :	
		제작사/제작년도 :	
		기타 :	
	수전전압 : V 배전전압 : V/ V, Hz 변압기 용량 : 변압기 : ϕ KVA \times 대		
사고내용			
조사내용	계통도 확보 및 분석/시공방법 :		
	계전기 작동상태 :		
	설치·운용환경/사고 시 운전상태/사고 후 현장보존 상태 :		
	사고 후 주요 조치내용 :		
	외관점검	누유/절연유 변색	
		부식 및 방압밸브 상태	
		접지저항 및 상태 : Ω	
		권선저항 및 상태 : Ω	

문제점 및 대책

항 목	문 제 점	대 책	관련기준

조사결과

6.2 전기설비 사고 상보

전기설비 사고 상보

전기설비 사고 상보			
① 사고 발생설비의 종류		② 사고 발생일시	년 월 일 시 분
③ 발생장소			
④ 사고 상황			
⑤ 사고 원인			
⑥ 사고 발생 시 각부 안전 장치의 지시 또는 작동			
⑦ 발생 전의 관련 전기설비의 상태			
⑧ 사고복구일시(예상)	년 월 일 시 분		
⑨ 가. 공급지장의 종류 나. 공급지장을 받는 고객 또는 구역 다. 공급지장전력 라. 공급지장 지속시간 마. 응급처치(계통복구 조작 또는 사상자 조치)			
⑩ 재발방지대책			
⑪ 복구비용	자산상 손해금액	공급지장으로 인한 손해금액	손해금액 계
참고사항 : ⑦, ⑧, ⑪항은 감전사상사고의 경우는 제외한다.			

부속서 A(참고)

변압기 보수 지침

A.1 참고자료

한국산업안전보건공단 변압기보수지침

A.2 주변압기 탭 조정

변압기의 탭은 전압강하나 수전측 전압의 상승 등으로 2차측 전압의 정격을 벗어날 경우 조정한다. 변압기의 탭절환 방법에는 부하 시 탭절환방식과 무부하 시 탭절환방식의 2가지가 있다.



그림 A.1 - 주변압기(154 kV)의 무부하 탭절환기

A.2.1 일반사항

- a) 그림 A.1에 주변압기(154 kV)의 무부하 탭절환기를 나타내었다. 그 구조는 탭절환기 판, 구동축 및 구동장치로 나눌 수 있다.
- b) 탭 판은 변압기의 탭에 접속되는 주석으로 된 고정접점과의 접속을 위한 은도금된 가동접점 및 구동축에 연결된 기어로 구성되어 있으며 이러한 부품은 탭 내의 코일에 인접된 마이카타판에 모두 조립되어 있다.
- c) 3상 변압기는 각 상에 탭판이 있으며, 각 탭판은 동일한 구동축으로 작동된다. 구동축은 각 상에 연결되는 마이카타 튜브로 구성되며 한쪽 끝이 고정되고 다른 쪽에 슬립조인트가 있다.
- d) 모든 축의 단부 연결은 둥근 모양의 조인트로 되어 있다.
- e) 조작핸들에 테이퍼핀을 이용하여 축의 외부 및 단부를 고정시킨다.
- f) 제네바 기어는 조작 핸들에 접속되며 위치 지시 및 작동을 멈추는데 이용된다.
- g) 스프링으로 늘려진 잠김판은 탭절환기의 오작동을 막기 위해 제네바 기어에 달려 있다.
- h) 변압기 사용상 적당한 위치에 조작 핸들이나 위치 지시판을 부착하기 위해 베벨기어를 사용한다. 작동

시키는 방법은 우선 무부하 탭절환방식이므로 2차측 차단기의 개방 또는 1차측 차단기의 개방 확인으로 변압기의 부하가 걸리지 않았음을 확인한다. 만약 부하 중에 탭절환기를 작동시킬 경우 접촉자가 소손되어 변압기의 큰 손상이나, 최악의 경우 변압기의 폭발까지도 유발할 수 있다.

A.2.2 조작방법

- 핸들 중심의 바로 위에 있는 록킹핀을 뽑는다.
- 록킹핀을 뽑은 후 핸들을 5°~10° 정도 돌린다.
- 록킹핀을 푼다.
- 핸들을 완전히 1회전 시킨다.
- 고정 위치에 록킹핀을 둔다.
- 탭절환기를 작동시킨 후 지시판을 검사한다. 그 다음, 탭을 변동시킬 때 필요한 만큼 같거나 반대방향으로 다시 작동시킨다. 최고나 최저 탭 위치에서 탭절환기는 탭의 개방을 막기 위하여 기계적으로 멈추게 되어있다. 만일 최고 탭이나 최저 탭에서 핸들을 약 5/6 회전해서 기계적인 저항이 있으면 원위치 시키고 반대방향으로 돌려 탭을 변동시킨다.

위의 작동순서에 따라 작동을 시키면 모든 탭절환은 끝이 나지만 탭을 절환한 후에는 각별한 주의를 필요로 한다. 변압기의 수리나 어떤 사정으로 인하여 무전압이 된 경우에 탭절환기 접점의 접촉 표면을 닦기 위하여 하나 또는 두 개의 탭 위치를 왕복회전 시키는 것이 좋다.

조작핸들을 오일함과 분리할 경우에는 기어박스과 톱니바퀴는 잘 보관해야 한다.

A.2.3 무부하 탭절환기의 해체 및 보수방법

- 항상 변압기를 무부하로 한다.
- 외부 위치 지시판과 탭절환기 접점 위치가 틀림없이 일치해야 한다.
- 만일 핸들이나 구동함과 베벨기어 축으로부터 핀이 빠지면 축을 탱크 안으로 밀어 넣어서는 안된다. 만일 내부 오일함을 수선할 필요가 있을 경우, 구동장치 밑까지 절연유를 빼고 구동장치를 탱크에서 제거한다. 구동장치를 제거하는 동안 탭절환기의 축을 돌리지 않는다.

재조립할 때는 축 슬립조인트를 원위치시키기 위하여 탭절환기와 구동장치 사이에 둔다. 만일 탭판을 수선할 필요가 있으면, 구동장치를 탱크에서 제거하며 이 과정은 아주 중요한 절차이다.

표 A.1 - 주변압기 탭 위치

SCOTT 결선 변압기				
1차권선			2차권선	
전압(V)	전류(A)	탭위치	전압(V)	전류(A)
F161000	108	1	55,000	273
R154000	112	2		
F147000	118	3		
F140000	124	4		

A.3 질소가스 보충

- a) 주변압기, 단권변압기 등 변전소의 대용량 변압기는 유입변압기로 그 안에는 절연유가 채워져 있다. 절연유의 수명연장과 오랜 시간동안 안전하게 변압기를 사용하기 위해 콘서베이터 내부의 공기가 들어있는 공간에 질소가스를 봉입함으로써 대기 중의 산소나 습기가 변압기 내부로 침입하지 못하도록 하여 절연재의 열화를 방지하므로 각종 절연물의 절연내력이 항상 제작 시의 상태와 동일하게 장기간 안전하게 유지된다.



그림 A.2 - 단권변압기 질소가스 보충

b) 가스 보충방법

- 1) 우선 질소가스통과 연결된 고무호스 속에 들어있는 공기를 빼내기 위해 질소가스통의 밸브를 연다.
- 2) 호스 속의 공기가 빠지면 AT 질소가스 주입구에 고무호스를 연결하고 AT의 질소가스 주입밸브를 연다.
- 3) 가스압력계를 확인하면서 서서히 질소가스를 주입한다.
- 4) 가스곡선에 맞도록 양을 조절한다.

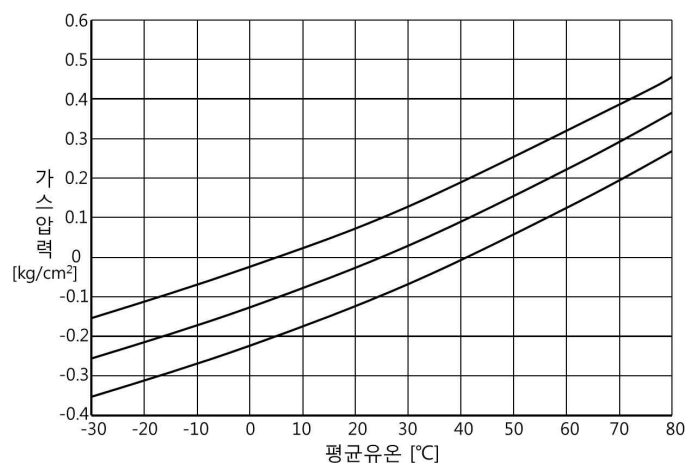


그림 A.3 - 유온-압력곡선

- 5) 질소가스 주입을 마친 후에는 비누거품을 이용하여 누기되는지 세밀하게 검사한다. 이와 함께 변압기의 커버와 부싱이 부착된 부분 등 절연유의 누유 여부도 세밀하게 검사한다.

A.4 절연유 내압 측정

- a) 유입변압기에서 절연유는 절연과 냉각이라고 하는 중요한 역할을 수행하고 있다. 유입변압기의 보수, 즉 절연유의 보수라고 할 정도로 항상 좋은 상태로 유지하는 것이 중요하다. 절연유는 광물계의 것이 일반적으로 사용되며, 그 절연성능은 공기의 4~6배라고 알려져 있다. 변압기의 이상징후를 검사하는데는 많은 방법이 있다. 그 중 현장에서 가장 많이 하는 검사가 산가 측정과 내압 측정이다.
- b) 내압 측정이란 변압기의 절연유에 고압을 걸어 절연유의 열화진단을 측정과 함께 얼마만큼의 절연내력을 지니는지 검사하는 방법이다. 측정하는 방법은 우선 아래의 그림과 같이 변압기의 절연유를 50 cc 정도 채취한다. 이때 플라스틱과 같은 다른 성분이 절연유에 녹아들 염려가 없어야 하며 먼지, 수분 등이 혼입되지 않도록 한다. 절연유 채취용 용기는 미리 아세톤, 벤젠 등으로 잘 세척한 후 건조시킨 용기를 사용한다.



그림 A.4 - 변압기 절연유 채취

c) 절연내압 측정순서

- 1) 먼저 시험기의 갭은 2.5 mm로 맞춘다.
- 2) 컵을 시료유로 세정하고 전극의 상단이 유연하고 20 mm 정도의 위치가 되도록 시료유를 넣어 약 2~3 분간 방치하여 유중의 기포가 제거되고 침전물이 완전히 가라앉은 후에 시험을 실시한다.
- 3) 시험전압은 0 V부터 3,000 V/s 정도의 속도로 상승시키면서 절연파괴가 발생할 때의 전압을 기록한다. 이 시험은 동일 변압기에서 2개의 시료를 채취하여 각 시료에 대하여 5회씩 합계 10회의 측정을 행하여 각기의 첫회의 절연파괴전압은 버리고 8회의 값을 평균하여 구한다.



그림 A.5 - 절연유 내압 측정

- 4) 최초의 파괴에 의하여 시험기의 차단기가 작동하면 약 1분간 방치하여 유중에 발생한 기포나 부유물 등이 제거된 후 다시 측정한다.

표 A.2 - 변압기 절연유 양부 판정기준

구 분	절연파괴전압	판 정		비 고
		50 kV 미만 기기	50 kV 이상 기기	
신유	30 kV 이상	적합	적합	* 요주의 : 여과 또는 교체 * 부적합 : 시급히 여과 또는 교체
사용 중인 절연유	20 kV 이상	적합	적합	
	15 kV 이상 20 kV 미만	적합(요주의)	부적합	
	15 kV 미만	부적합	부적합	

A.5 절연유 산가 측정

- a) 산가의 정의는 절연유 1 g 중에 포함되는 전 산성성분을 중화하는데 필요한 적정액인 수산화칼륨 (KOH)(mg) 수를 말한다.

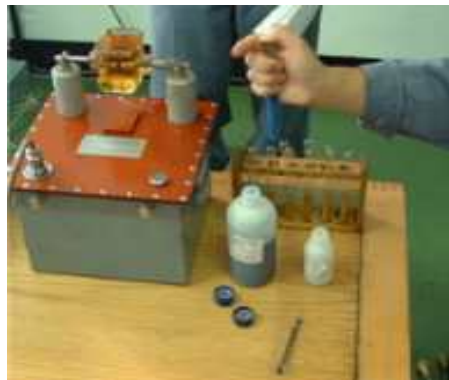


그림 A.6 - 절연유 산가 측정

- b) 절연유가 공기와 접촉하면 산소와 반응하여 산화물이 생성되며 산가가 증가한다. 산가가 0.2 이상이 되면 산화물이 슬러지화하여 변압기의 성능과 냉각에 좋지 않은 영향을 미치게 된다.
- c) 내압 측정의 경우 내압이 좋지 않을 경우 절연유를 여과하면 되지만 산가는 판정기준 미달 시 절연유를 즉시 교체해야 한다.
- d) 산가 측정방법
- 1) 우선 절연유 채취용 용기를 잘 세척한 후 내압측정과 동일한 방법으로 시료를 채취한다.
 - 2) 채취한 시료를 측정 시험관에 5 cc 넣는다. 만약 절연유의 온도가 높다면 절연유의 온도가 10~30 °C로 저하될 때까지 기밀 냉각시킨 후 시험한다.
 - 3) 동일한 시험관에 같은 양의(5 cc) 산 추출액을 넣어 잘 섞이도록 1분간 130회 정도 시험관을 흔든다.
 - 4) 절연유와 산 추출액이 섞인 시험관을 2~3분 가량 방치해 절연유와 산 추출액을 분리시킨다.

- 5) 주사관에 산 적정액을 넣고 시험관에 조금씩 주입하면서 잘 흔들어 시험관의 색이 적갈색으로 변하는 지 관찰한다.
- 6) 시험관의 색이 적갈색으로 변하면 주사관의 눈금에서 시험관에 주입된 산 적정액의 양을 읽는다. 이때의 값이 산가를 나타낸다.

표 A.3 - 변압기 절연유 산가 판정기준

구 분	산가도 [mg KOH/g]	판 정	비 고
신유	0.02 이하	적합	
사용 중인 절연유	0.2 이하	적합	
	0.2 초과 0.4 미만	적합(요주의)	빠른 시일 내 교체
	0.4 이상	부적합	즉시 교체

A.6 변압기 유중가스 분석

- a) 절연유를 절연매체로 사용하는 유입기기의 절연유 중에 용해되어 있는 가스를 검출·분석하여 가스별 농도 및 가스 조성비로부터 기기 내부의 이상 여부를 점검·진단하는데 활용한다.

b) 판정기준

가스 발생량이 요주의 기준치를 초과하는 설비에 대하여 가스 패턴, 조성비, 증가량에 따른 분석대상으로 선정한다.

1) 가스 발생량에 의한 분석(운전 초기 변압기)

운전 개시 전 변압기는 전 가스의 총량이 10,000 ppm 이하일 경우에 운전을 개시하며, 운전 개시 후에는 아래 판정기준을 따른다.

표 A.4 - 초기 운전 변압기의 유중가스 판정기준

(단위 : ppm)

항 목 \ 판 정	정 상	요 주 의	이 상
H ₂	200 이하	201~400	400 초과
C ₂ H ₂	0.5 이하	0.5 초과	
C ₂ H ₄	100 이하	101~200	200 초과
C ₂ H ₆	200 이하	201~350	350 초과
CH ₄	150 이하	151~250	250 초과
C ₃ H ₈	150 이하	151~250	250 초과
가연성가스 총량(TCG)	500 이하	501~1,000	1,000 초과

항 목 \ 판 정	정 상	요 주 의	이 상
가연성가스 증가량	-	「정상」 상태에서 100 ppm/월 이상	「요주의」 상태에서 200 ppm/월 이상
CO	200 이하 (400 이하)	201~400 (401~800)	400 초과 (800 초과)
CO ₂	2,500 이하 (5,000 이하)	2,500~5,000 (5,001~7,000)	5,000 초과 (7,000 초과)

* 가압운전 후 3년 이내 변압기에 적용.[단, CO 및 CO₂는 1년 이내 변압기에만 적용하되 1년이 경과된 변압기는 ()값을 적용]

* 가연성가스의 총량(Total Combustible Gas: TCG) : H₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, CH₄, C₃H₈의 가스총합을 말한다.

2) 가스 발생량에 의한 분석(중·장기 운전 변압기)

표 A.5 - 중·장기 운전 변압기 유증가스 판정기준

항 목 \ 판 정	정 상	요 주 의 I	요 주 의 II	이 상	위 험
H ₂	200 이하	201~400	401~800	800 초과	-
C ₂ H ₂	10 이하	11~20	21~60	61~120	120 초과
C ₂ H ₄	100 이하	101~200	201~500	500 초과	-
C ₂ H ₆	200 이하	201~350	351~750	750 초과	-
CH ₄	150 이하	151~250	251~750	750 초과	-
C ₃ H ₈	150 이하	151~250	251~750	750 초과	-
가연성가스 총량(TCG)	500 이하	501~1,000	1,001~2,500	2,501~4,000	4,000 초과
가연성가스 증가량	-	「정상」 상태에서 100 ppm/월 이상	「정상」 상태에서 200 ppm/월 이상	「요주의」 상태에서 200 ppm/월 이상	「이상」 상태에서 300 ppm/월 이상

3) 절연열화성 가스

표 A.6 - 절연열화성 가스의 판정기준

(단위 : ppm)

항 목 \ 판 정	정 상	요 주 의 I	요 주 의 II
CO	800 이하	801~1,200	1,200 초과
CO ₂	5,000 이하	5,001~7,000	7,000 초과

A.7 브흐홀쯔 계전기 작동 시 복귀 방법

- a) 브흐홀쯔 계전기는 유입변압기의 탱크와 콘서베이터 사이의 연결관에 취부되어 내부에서 발생하는 가스를 빼내고 가스의 발생상태가 경미한 경우에는 경보를 울려주고 심한 경우에는 차단시켜 변압기 내부 고장으로부터 보호하는데 사용된다.
- b) 브흐홀쯔 계전기의 구조는 알루미늄 케이스 내에 2개의 Float가 지지축 중심으로 회전하면 접점이 연결되도록 되어있다. 케이스의 양쪽에는 유리(발생가스 지시계)가 있어서 발생가스량과 절연유의 색을 관찰할 수 있고 상부에는 가스밸브가 취부되어 있어 그곳으로 가스를 빼내게 되어 있다.



그림 A.7 - 브흐홀쯔 계전기

- c) 계전기의 작동에는 제1단(경고장)과 제2단(중고장)이 있는데 제1단은 경보이고 제2단은 차단기 트립에 사용된다.
- d) 변압기 내부의 절연유, 유기질, 구조재가 소손 또는 절연유가 미소아크에 의하여 분해되어 발생한 가스가 상부로 올라가 케이스 내에 모인다. 가스량이 일정량 이상이 되면 제1단용 Float의 위치가 점차로 내려와 접점이 연결되어 경보장치를 작동시킨다. 간혹 추운 겨울에 온도차가 급격해지면 절연유의 밀도차에 의해서 브흐홀쯔 계전기가 작동하기도 한다.
- e) 그림 A.8은 브흐홀쯔 계전기의 작동 시 가스를 배기시키는 방법으로 브흐홀쯔 계전기 상단 부분의 가스밸브를 열어 브흐홀쯔 계전기를 복귀시키는 장면이다. 계전기 안의 이상 가스를 빼내는 것이다. 이상가스를 다 뺀 후 절연유가 브흐홀쯔 계전기 상부에 꽉 차게 되면 밸브를 잠근다.



그림 A.8 - 브흐홀쯔 계전기 작동 시 가스 배기방법

A.8 절연저항 측정

- a) 절연저항 측정은 오래 전부터 절연열화 검출법의 하나로써 기기의 보수점검 시에 널리 행해진 시험이다. 원리적으로는 직류절연 특성시험의 하나이다.
- b) 절연저항은 절연저항시험기(메거)로 측정을 하는데 전원으로 발전기를 사용한 것과 전지를 사용하는 것의 2종류가 있다.
- 1) 발전기식 : 교류발전기에서 교류를 발생시킨 후 정류하여 정전압 회로에서 직류의 정전압으로 출력을 발생시키는 방식
 - 2) 전지식 : 인버터에서 교류를 발생시킨 후 다시 정류하여 정전압 회로를 거쳐 직류를 발생시키는 방식
- c) 변압기의 절연저항시험은 모든 시험에 앞서서 열화 경향을 파악하는 하나의 요소로 되지만, 정확한 판정을 하는 것은 곤란하다. 절연저항치는 흡습이나 오손 등의 상태에 따라 크게 변화하기 때문에 절연저항의 절대치만으로 절연의 양부를 판단할 수 없으며, 경년변화, 사용환경 등을 고려하여 종합적으로 판단하는 것이 중요하다.
- d) 측정방법
- 1) 취급설명서를 읽어 사용방법을 숙지하고, 전지식 절연저항계의 경우, 사용 전에 전지의 사용가능 여부를 검사한다.
 - 2) 측정리드선은 가능한 짧게 하며 대지에 대하여 절연이 좋은 전선을 사용한다. 사용 전에 반드시 리드선의 선단을 단락하여 0이 되는가, 또 리드선의 양단을 개방하여 ∞를 지시하는가를 확인한다.
 - 3) 측정하려는 변압기의 선로 단자의 충전 여부를 확인하고, 변압기 단자에 연결된 각종 리드선과 피뢰기 등을 분리한다.
 - 4) 부식과 애관을 잘 청소하여 누설전류에 의한 절연저항 측정의 오차요인을 제거한다. 오차가 생긴다고 판단될 때에는 가이드링을 부착하여 측정하면 된다. 대용량인 경우 충전전류로 인하여 최초의 지침이 '0'을 가리키는 경우도 있으나, 이런 경우에는 단락시와 달리 일정한 시간이 경과 후에 올바른 값을 지시하게 된다.
 - 5) 절연저항은 측정 대상의 온도에 영향을 받으므로, 변압기의 경우 정전 직후 유온이 가장 높은 시점, 유온이 어느 정도 떨어진 시점, 주위온도와 비슷한 시점 등 적어도 3번 이상은 측정하여야 하며, 측정 시 주위온도, 습도, 날씨 등을 기록 유지하여 전 측정치와의 비교를 통하여 절연물의 상태를 알 수 있도록 하여야 한다.
 - 6) 측정 시 회로에 유도전압이 발생하여 지침이 진동할 때에는 그 평균치를 읽어 판단한다. 변전소 소내와 같이 유도전압이 심하게 발생하는 곳에서는 발전기식 절연저항계를 사용하는 것이 좋다. 절연저항의 최저한도는 운전 시 최고온도 상승 후 최저안전 절연저항은 다음과 같이 구할 수도 있다.

$$\text{최저허용치}(M\Omega) = \frac{\text{정격전압}[V]}{\text{정격용량}[kVA] + 1,000}$$

- 7) 전력용 변압기의 최저한도 안전 절연저항은 표 A.4와 그림 A.9를 참고한다.

표 A.4 - 변압기의 최저 안전 절연저항치

[단위 : MΩ]

유온 [°C]	20	30	40	50	60
변압기 정격전압 [kV]					
66 이상	1200	600	300	150	75
22 ~ 44	1000	500	250	125	65
6.6 ~ 19	800	400	200	100	50
6.6 이하	400	200	100	50	25

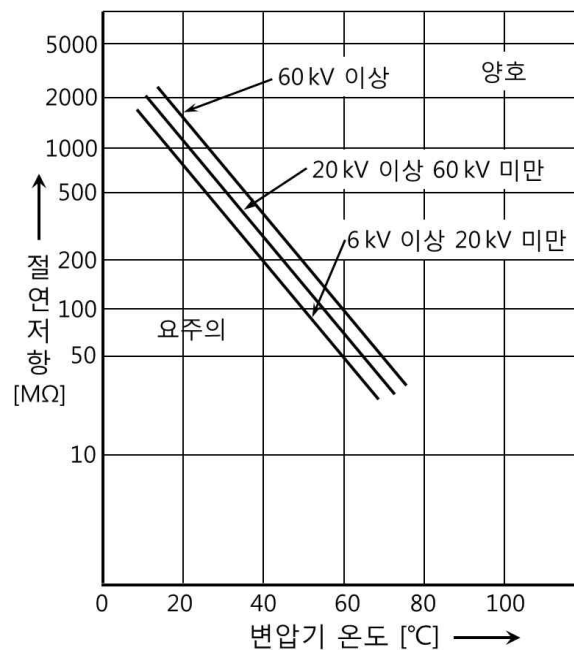


그림 A.9 - 변압기 온도와 절연저항과의 관계