특집 : 전기설비의 예방보전 · 진단기술

電氣設備의 診斷技術

庾 相 鳳 〈쌍용안전기술사업단 설비진단팀장 / 기술사〉

1. 서 론

전기설비는 각종 기계나 장치에 전력에너지를 공급하는 중요한 역할을 담당하고 있으며, 전기사용량의 증가와 전기사용시설의 대형화 및 복잡화로 인해 전기설비에서의 고장으로 인한 화재가 표 1에서와 같이 약 40[%]를 차지하고 있으며, 전기계통 사고발생시 정전으로 인한 工程異常 및 생산량 감소등 막대한 경제적 손실을 가져온다.

건축 및 토목분야는 최근 2년사이에 성수대교 및 삼풍백화점 붕괴 사고로 막대한 인명 및 재산피해를 내고, 안전관리의 중요성에 대한 국민적인 공감대가 형성되어 '95년 1월5일 '시설물의 안전관리에 대한 특별법'이 제정 공포되었으며, 이에따라 시설물의 기능 및 안전을 유지하기 위한 안전점검과 재해예방과 안전성 확보를 위하여 정기적인 정밀 안전진단 실시를 의무화 하였다.

그러나, 눈에 보이지 않는 전기는 일찍부터 그 위험성과 안전에 관한 중요성이 인식되어 전기사업법 제34조에 의한 사용전검사 및 제37조에 의한 정기검사제도를 시행하고 있으나, 전기계통을 System的 思考에 의하여 보호방식 및 Relay Coordination 검토, 기기성능평가등을 실시하는 고도의 전문성 및 경험, 학문적인 지식이 요구되는 정밀진단에 대해서는 설비보호 측면 및 파급사고 방지등 그 중요성이 매우 큰 데도 불구하고 필요성에 대한 사회적인 인식이 아직까지 부족한 실정이다.

표 1. 전기화재 발생건수

구 분	총 화 재 (건)	전기화재 (건)	점 유 율 (%)
'91	16,487	6,160	37.4
'92	17,458	6,422	36.8
'93	18,747	7,153	38.2
'94	22,043	8,619	39.1

표 2. 설비진단의 필요성

- ● 기존설비의 노후화
- ● 신 · 증설 개조에 따른 설비의 복잡화
- ● 최신 설비의 고도화, 대용량화

↓

- ● 고도의 보전기술 요구
  - — 전문인력 부족
- ● 정전불가
  - — 사고시 피해 막대

↓

- ● 설비진단의 필요성 대두
  - — 정확한 수명예측 및 계획보전 실시
  - — 효율적인 운용 합리화
  - — 파급사고방지 : 설비기기의 수명연장
- ☞ 전문기술진의 Know-How+최신진단장비+해석 · 평가용 Software 이용

표 2는 설비진단의 필요성을 간단히 요약해 보았으며 일상적인 유지보수는 자체 필수인원만으로 실시하고, 진단은 전문기술자의 Know-How, 고가의 진단장비, 해석·평가용 Software가 필요하기 때문에 외부전문가에 의뢰하여 실시하는 것이 타당하다고 본다.

참고로 설비진단업무의 외주현황을 일본 Plant Maintenance 협회 통계자료에 의하면 약 85[%]가 외주로 설비진단을 실시하고 있음을 알 수 있으며, 정기적으로 몇 년마다 설비진단을 받고 있다고 한다.

근래에 기존설비의 노후화, 신증설·개조에 따른 설비의 복잡화, 최신설비의 고도화, 대용량화에 따라 더욱 더 가혹한 조건에서 전기설비의 신뢰성이 요구되고 있다. 이에 따라 진단 기술에 대하여는 개념만 이해하는 정도로 쉽게 설명하고, 현실태, 진단효과 및 향후 진단기술의 추세등에 대해서도 기술해 보고자 한다.

2. 검사(점검)와 진단의 차이

앞에서 이미 말한 바와 같이 진단에 대한 사회적인 인식이 부족하여 검사 또는 점검과 진단에 대한 차이점을 명확히 구분하지 못하고 검사 또는 점검으로 설비의 안전성 및 결함등 모든 문제가 해결되는 것으로 믿고있는 실정이다.

시설물 안전관리에 관한 특별법 제2조(정의)의 일부를 인용하면, 안전점검은 경험과 기술을 갖춘자가 기술기준에 적합여부를 육안 또는 점검기구등에 의하여 검사를 실시함으로써 설비에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위로 정의할 수 있으며, 정밀(안전)진단은 안전점검을 실시한 결과 설비의 재해예방 및 안전성 확보등을 위하여 필요시, 또는 안전성 및 결함의 원인등을 조사·측정·평가하여 보수·보강 등의 합리적인 방법을 제시하는 것이라고 나름대로 정의할 수 있다.

표 3. 설비진단의 외주현황

외주안함	전부외주	일부외주	계
15.3%	3.3%	81.4%	100%

〈'93년 7월 일본 Plant Maintenance 협회 통계자료〉

표 4는 점검과 진단의 차이를 점검 또는 진단 항목을 기준으로 하여 개략적으로 구분하여 보았다.

3. 현 실태

최근 몇 개 공장 및 빌딩을 대상으로 검사(Inspection) 또는 진단을 실시한 결과 일부 공장 및 빌딩에서 공통적으로 아래와 같은 주요 문제점이 나타났으며, 특히 전기설비의 신·증설에 따른 설계용역 발주시 대부분 보호협조 및 Relay Coordination에 대해서는 용역에서 제외되어있기 때문에 보호계통의 근원적인 문제점을 안고 있었다. 또한, 최근 고조파발생부하의 증가에 따라 고조파로 인한 케이블 발열이나 공진현상에 의한 진동이 나타나는 것을 종종 볼 수가 있었다.

3.1 지락보호방식 미비

- 지락사고시 보호계전기 동작 불확실
- 접지형 계기용 변압기(GPT) 설치대수 및 부담, 한류저항(CLR)용량, 선택접지계전기(SGR) 극성 및 결선등의 문제

표 4. 점검과 진단범위 대비

구분	안전점검(검사)	정 밀 진 단
항목	-변압기, Cable등의 절연저항 측정 -접지저항 측정 -계전기 시험 -기타 진단항목중 일부가능 (고조파측정 및 적외선 열화상 시험 등)	-전기설비 계통해석 (단락 및 지락고장계산, 고조파분석, 전력조류 및 전압강하, 접지방식 등) -보호협조검토 -계통구성 및 용량검토 -기기성능평가 (활선 및 비파괴시험) -NOISE원인분석 -기타 안전관련 진단 및 평가 등
소요기간	단시일(통상 1~2일)소요	설비규모에 따라 통상1~2개월(또는 3~4개월) 소요

표 5. 지락보호방식 잘못 적용例

구 분	지락보호방식 기준	현 실 태
다중접지	Y잔류회로+OCGR	GPT.ZCT+SGR
비접지	GPT.ZCT+SGR	Y잔류회로+OCGR (또는 DGR)

• GPT+SGR의 상호 불균형
• ZCT와 GPT의 설치위치 문제

3.2 보호협조 문제

– 보호계전기 정정 및 협조 미비→말단사고시 Main Trip→사고범위 확대

• 보호장치 부동작으로 변압기, 케이블 등 기기소손 우려

• 계기용 변류기(CT) 비율 부적합 및 차단기 용량 부족

• 대형 전동기 기동시 변압기 보호계전기(87 Relay) 오동작

⇨ 고장전류 상정 재계산(Computer Software 이용), 보호계전기 정정기준 재설정 및 정정치 변경 필요

– 대형전동기 보호방식 미흡

• 전동기 소손의 우려

• 3E Relay 사용 : 지락보호 불가

→Motor Protection Relay(MPR) 적용 검토

– 저압선로에 ACB, MCCB 사용시 문제

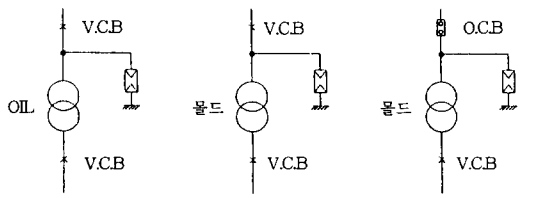
→용량과다시 미보호범위 발생 및 상위계통 파급

3.3 접지방식 및 Surge 보호

– 일반 동력접지(변압기 2차측 중성점, 전동기 외함 등의 접지)와 신호용 접지 공용사용

→누전 및 Noise 발생시 신호용 접지선에 직접적인 영향

→기판 소손, Data변환오류, Memory Clear 등의 문제 발생



• 건식일때는 절연 레벨이 낮기 때문에 설치
• 유입 변압기의 BIL은 매우 높다.
→일반적으로 S.A 설치 불필요

그림 1. Surge Absorber

– PLC 및 저압 Control line에 Surge Absorber, Noise Filter 또는 Arrester 등의 미설치

→낙뢰 및 Surge 침입시 Data 소멸 및 Program Step에 악영향

→빈번한 순시동작으로 인한 시스템의 오동작 및 CPU 부품고장

– 건식변압기 2차측에 Surge Absorber 미설치

→절연 레벨이 낮기 때문에 Surge 침입시 소손우려

– 변압기 2차측 계통접지방식 : 비접지→고저항접지방식 적용검토 · 과도이상전압 발생억제 및 연속공정에서의 가동율 향상

3.4 고조파 및 Noise 발생

– 대용량의 D.C Motor 및 변환장치 다수 사용, 빌딩의 전산실 UPS 사용→고조파 발생

• 콘덴서, 변압기, 케이블 등 전력기기의 과열, 진동, 소음 및 소손 우려

• 고조파가 Noise원으로 작용→PLC 제어계통 오동작, Memory 소거

– 대형 용접기등 고조파 발생부하→Noise 발생→오동작 및 전력기기 소손

– 3ϕ4 ω식에서 중성선에 과대한 불평형전류 흐름→중성선의 과열, ACB Trip, 유도장애 원인

기타 전기사용합리화를 위한 수요관리문제 및 설비용량 부적절 등 여러항목을 들 수가 있다.

4. 주요 진단기술

전기에너지는 생산과 동시에 소비라는 특수성 때문에 다른 분야와는 달리 전기계통을 하나로 묶어 System적인 사고에 기초를 두어야하며, 사고발생시 파급사고로 확대되지 않도록 사고를 최소화시켜야 하고, 이에따라 대형 전기설비일수록 반드시 보호협조를 충분히 검토하여야하며, 연속공정 또는 가동중단시 막대한 지장을 초래하는 공정일수록 보호방식 검토 및 보호계전기 정정협조가 매우 중요한 사항이라고 할 수 있겠다.

또한 운전상태에 있는 전기설비의 사고나 수명은 그의 전기적인 절연성능에 따라 지배되며 전기설비의 절연열화 진단에 대한 중요성이 증가하

고 있다. 이러한 기기성능평가는 주로 최신장비를 이용하여 생산 또는 업무에 지장이 없도록 활선상태에서 이루어지며, 비파괴시험이 주류를 이루고 있다.

전기설비의 주요 진단기술을 소개하면 다음과 같으며, 개개의 항목에 대한 상세한 내용은 지면관계상 생략하였다.

4.1 전력계통 진단 및 해석

4.1.1 고장계산

계통의 3상 단락전류 및 1선 지락전류를 계산하여

- 전기기기의 단락용량 결정
- 전기기기의 기계적 강도 결정
- 케이블 용량 결정
- 보호계전기 정정 및 보호협조 검토

등에 활용하며, 이러한 고장계산은 복잡한 계통에서 직접계산으로 할 경우 계산오류 및 막대한 시간소요로 최근에는 주로 전력계통 해석·평가용 Software를 이용하여 편리하고 다양하게 여러가지 필요한 항목을 빠르게 구할 수 있다.

1) 단락고장

대칭사고중 3상 단락사고전류가 가장 크므로 3상 단락전류에 대하여 계산하고, 2상 단락전류는 3상 단락전류의 $\sqrt{3}/2$를 곱하여 산출한다.

가) Momentary Fault Current

- 단락고장전류는 초기 1/2 cycle에서 가장 크며, 이때의 고장전류 값을 Momentary Fault Current라 한다.
- 케이블의 굵기검토, 차단기 정격, 변압기 정격검토, 보호계전기 순시 Tap Setting 등에 사용된다.

나) Interrupting Fault Current

- 차단기 접점이 개리(開離)되는 시점인 3~8cycle구간에 대한 단락고장전류를 Interrupting Fault Current라 한다.
- 보호계전기 한시 Tap Setting에 사용된다.

특히, 차단기의 선정에 있어 차단시에 포함되는 직류분을 고려한 차단전류 비대칭치에 만족하는 정격차단전류의 것을 선정하면 되나, 차단기의 정격투입전류는 차단기가 투입되는 회로에 크게 좌우되기 때문에 최악의 조건(고장회로 투입 등)을 상정하여 회로의 단락전류를 구할 필요가 있다. 즉, 수용가 설비 회전기 부하의 기여(寄與)전류를 고려한 단락순시의 비대칭분을 포함한 최대치가 그 차단기의 정격투입전류 이하가 되도록 선정해야 한다.

2) 지락고장

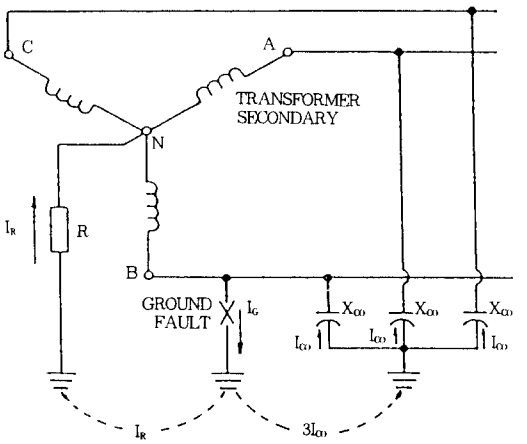
1선지락전류는 접지방법과 접지계통 운영에 의해 결정된다. 일반적으로 전력계통의 고장사고는 3상단락에 비해 1선지락사고가 대부분 차지하고 있으며(전체사고중 약 70[%]이상을 차지), 적절한 접지를 통해 대지전압의 이상상승을 억제하고, 보호 계전기에 의한 지락고장전압 전류를 검출, 고장구간을 자동선택 차단하여 전력기기의 손상과 사고파급을 방지하고 있다.

계통접지는 중성점 접지방식에 따라 비접지, 직접접지, 저항접지 등으로 나눌 수 있으며, 직접접지인 경우 1선지락고장시에는 비교적 건전상의 전압이 낮고 이상전압의 발생이 적으며, 지락보호계전기가 확실한 동작을 할 수 있지만 반면에 지락전류가 커서 통신선에 전자유도장해를 일으키거나 설비사고를 일으킬 수 있다.

고저항 접지방식 :

앞에서 말한 바와 같이 직접접지 방식에서는 지락사고시 대전류의 고장전류가 흘러 설비사고를 일으킬 우려가 많으며, 지락사고시 5~10[%]의 순간전압강하가 10~20sec정도 지속되면 정밀기기에 Memory의 손실, 오제어등의 장해를 유발할 수 있다.

또한 비접지로 운전되는 계통에는 단순히 생각하면 지락사고가 나도 지락전류가 흐르지 않아야 되지만, 실제에 있어서는 전력 케이블과 대지간에 존재하는 정전용량으로 인하여 충전전류가 흐르며, 케이블 길이의 장단에 따라 충전전류의 크기가 서로 다르나 이 충전전류와 부하에 의해서 가변되는 인덕턴스 성분 전류사이에 공진현상을 일으켜 매우 짧은 시간에 대단히 큰 과도이상전압을 유기시킨다. 이것은 주로 차단기의 개폐시나 아크지락사고시에 발생되며, IEEE Std 242에 의하면 정상전압의 6~8배의 높은 Surge전압이



I_R=GROUND RESISTOR CURRENT
I_G=GROUND FAULT CURRENT
$3I_{co}$=TOTAL CAPACITANCE CHARGING CURRENT
R=HIGH RESISTANCE GROUNDING RESISTOR
X_{co}=INHERENT SYSTEM CHARGING CAPACITANCE

그림 2. 고저항 접지계통

유기되어, 전기설비중에서도 절연내력이 가장 취약한 기기에 침입하여, 절연을 열화시켜 수명을 단축시키고 소손사고를 일으켜 생산공정을 중단시키며, 심지어는 2~3대의 전동기가 동시에 소손되기도 한다.

고저항 접지방식의 개념은 지락사고시 변압기의 중성점을 통하여 돌아오는 지락사고전류를 제한하는 것인데, 지락사고 전류가 총 충전전류와 같거나, 조금 크게 흐르도록 제한을 한 전력계통이라고 정의할 수 있다.(그림 2 참조)

$$R \leqq \frac{X_{co}}{3}$$

$$I_R \geqq 3I_{co}$$

따라서 과도이상전압 억제 및 큰지락전류를 배제할 수 있는 고저항 접지방식을 잘 이용하면 지락사고시에도 조업중단이 되지 않으며, 전기불꽃에 의한 화상을 최소화하는 등 전력설비 유지보수에 많은 잇점을 가져다 주므로 연속공정의 대규모 공장에 적용시 매우 유리한 접지방식이라 할 수 있다.

4.1.2 보호협조

보호계통 구성 및 보호방식이 적정한가를 검토하고 각종 보호계전기 정정 및 그 정정값의 전위·후위 보호계전기간 협조가 되도록하여 설비사고의 최소화 및 사고시 정전의 최소화를 기하기 위함이며, 일반적으로 과전류계전기(OCR)의 정정기준은 다음과 같다.

1) 수전설비

수전설비 보호계전기는 한전 변전소와 협조를 고려하여 한전에서 정정하므로 이 값을 그대로 적용한다.

2) 변압기

변압기의 여자돌입전류는 전부하전류의 8~12배이며, 그 지속시간은 0.1sec로 가정하여 적용한다.

또한, 변압기에 대한 Thermal Limit는 일반적으로 ANSI Point로 표현되며 정격전류대 시간의 배수로 나타낸다. 일반적으로 변압기의 Self Cooled Rating(OA Rating)에서 단위전류제곱초당 1,250배까지 변압기가 견딜 수 있다.(I^2t=1,250)

가) 한시요소

NEC, IEEE등 여러가지 기준이 있으나 한전기준을 적용하여 OA기준 150[%]에 정정한다. 이 경우 변압기의 Thermal Limit Point인 ANSI Point 및 돌입전류(Inrush Current)를 고려한다.

나) 순시요소

순시요소의 정정은 변압기 여자돌입전류에 동작하지 않도록 해야 하며, 또한 변압기 2차측 단락전류에 동작하지 않도록 정정한다.

3) 전동기

가) 한시요소

1HP이상 전동기의 과부하에 대한 보호는 Service Factor 1.15이상이거나 전동기 정격온도상승이 40[℃]를 넘지않는 경우에는 전부하 정격전류의 125[%]로, 기타의 경우에는 115[%]에서 동작하도록 정정하되 Lever를 조정하여 기동전류에 Pick-up되지 않도록 한다.

나) 순시요소

과전류 계전기의 순시요소는 다음과 같은 비대칭전류가 발생하는 경우에 Trip되지 않도록 충분히 높게 정정해야 한다.

- 전동기 기동시의 기동전류
- 외부회로 고장시의 Motor Contribution

4) 전력용 콘덴서

가) 한시요소

고압용 코덴서는 직렬리액터가 있는 경우 정격

전류의 120[%]까지 견딜 수 있도록 제작되므로 이 값에 맞게 정정하며 콘덴서 돌입전류에서 동작하지 않도록 Lever를 선정한다.

나) 순시요소

고압 콘덴서는 계통의 말단이므로 최소고장전류에도 동작하도록 하되 콘덴서 돌입전류를 고려 정격전류의 500[%]이상에서 동작하도록 정정한다.

5) 협조시간(ANSI/IEEE Std. 242-1986)

가. 한시 : 0.3~0.4[sec]

- 차단기 동작시간 : 0.08[sec]
- 계전기 특성오차 : 0.10[sec]
- CT오차, Setting오차등 : 0.12~0.22[sec]

나) 순시 : 0.15~0.25[sec]

4.1.3 고조파 분석

최근 Power Electronics를 이용한 기술이 다양화되고 그 응용범위가 확대됨에 따라 산업현장에 많이 사용되고 있다. 이러한 Power Electronics 응용기기들은 전력 계통의 가장 중요한 고조파 발생기기로서 전압, 전류 파형의 왜곡 원인이 되고 있다. 계통에서 전압, 전류 왜곡이 확대되면

- 전력기기의 과열·소손
- 기기의 이상소음·진동
- 전력계통의 공진
- Thyristor 응용기기의 제어기능 불안정 및 오동작
- 통신유도 장해
- Noise 원으로서 각종 장해

등의 원인이 되며 산업의 자동화, 첨단화의 비중이 클수록 이에 대한 피해도 커지고 있다. 한전 전기공급 규정에서 고조파 관리기준은 표 6과 같다.

여기서 종합 고조파 왜형율(THD : Total Harmonics Distortion)은 고조파 전압 실효치와 기본파 전압 실효치의 비로서 나타내며, 고조파 발생의 정도를 나타내는데 많이 사용되고, 등가방해전류(EDC : Equivalent Disturbing Current)는 근접 통신선에 영향을 주는 고조파 전류의 한계를 나타내는 규제치이다.

표 6. 고조파 관리기준

구분 / 전압	지중선로만 있는 S/S에서 공급		가공선로만 있는 S/S에서 공급	
	전압왜형율(%)	등가방해전류(A)	전압왜형율(%)	등가방해전류(A)
66kV이하	3	—	3	—
154kV이하	1.5	3.8	1.5	—

고조파 억제 대책으로는

- 정류기의 다상화
- 직렬 리액터 설치
- 계통분리, 단락용량 증대
- 고조파 내량 증가
- Filter 설치

등으로 구분할 수 있으며, 일반적으로 Filter는 Single-Tuned Filter를 많이 적용한다.

4.1.4 전력조류 및 안정도 분석

전력조류 계산은 주로 대전력 수용가 및 열병합 발전계통에서 유효전력·무효전력의 흐름 및 전력손실, 전압강하등을 계산하여 변압기용량, 전압강하대책 및 케이블 굵기 등을 검토하며, 안정도는 계통 병렬운전시 내부 계통사고 및 외부전압외란의 영향, 대형부하차단시 전압의 시간적인 변화, 주파수·위상각의 변화등을 파악할 수 있다.

4.2 기기성능 평가

기기성능 평가는 하나의 시험만으로 판단 한다는 것은 곤란하므로 수종의 시험 결과에서 종합적인 판단을 하는 방법을 취하고 있다. 종래에 일반적으로 이용되는 진단 방법에는 여러종류가 있는데 크게 대별하면, 비파괴 시험 및 파괴시험으로 구분할 수 있으며, 주로 생산활동에 지장이 없도록 활선진단으로 이루어 지고 있다.

충격전압 시험법은 전동기 권선의 절연 결함을 진단하는데 좋은 방법이나 이 시험법은 새롭게 제작된 장비 혹은 재생한 장비에만 주로 적용하며, 비록 충격신호의 에너지가 적을지라도, 순간적인 충격 전압의 상승치는 전기기기에 손상을 줄 수 있기 때문에 진단방법으로는 이용되지 않고 있다.

기기성능평가를 위한 주요한 진단기술로는 다음과 같다.

4.2.1 적외선 열화상 진단

적외선 카메라는 생물 또는 무생물에서 발생되

표 7. 판정기준

(단위 : ppm)

구 분	정 상	요주의	이 상
H_2	400이하	400이상	800이상
CO	300이하	300이상	800이상
C_2H_2	20이하	20이상	100이상
CH_4	250이하	250이상	750이상
C_2H_6	250이하	250이상	750이상
C_2H_4	250이하	250이상	750이상
CO_2	4,000이하	4,000이상	7,000이상
TCG	700이하	700이상	1,800이상

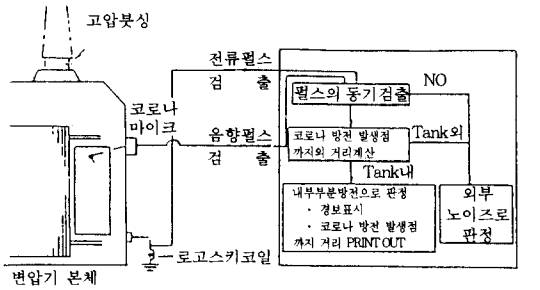


그림 3. 부분방전시험 원리

는 열을 2차원 영상으로 변환한다. 그리하여 촬영된 영상은 대상물체와 그 주위의 온도 분포를 나타내게 되며 높은 온도일수록 흑백으로 밝게 나타난다.

전기설비를 지속적으로 촬영하여 정상적인 열이 없다거나, 비정상적인 열이 발생하는 등의 문제를 위치 및 온도값까지 조기에 검출할 수 있으므로 전기설비를 정지시키지 않고 운전중에 검사할 수 있다. 이론적으로, 적외선 카메라는 電磁氣 스펙트럼(electromagnetic spectrum)의 2~14[㎛]의 파장에 대해 민감하여 이 파장의 열 에너지를 가시적으로 바꾸어 모니터에 도시한다.

이 영상을 숙달된 운전원이 해석하거나 전산화하여 자동 해석이 가능하다. 이 장치를 이용하여 전기설비에 대한 보전업무를 실시하는 가장 큰 장점은 비접촉, 연속성 보전이 가능하고 발열점의 위치 확인이 즉각적이라는데 있으며, 그리고 Bus Duct, 차단기 접점부위, 심지어 기계 Shaft 및 Bearing 부위까지도 비접촉으로 검사할 수 있다.

4.2.2 유중가스 분석

유입변압기의 내부이상현상은 주로 절연파괴와 국부과열에 의한 발열을 동반한다. 이러한 발열원에 접하는 절연유, 절연지, 프레스보드 등의 절연물은 분해반응하여 탄화수소계 가스를 발생한다. 이 발생가스의 대부분은 절연유 중에 용해되므로 변압기에서 절연유를 채유하여 유중의 가스를 분석하고, 그 가스량 및 가스조성비에 의해 변압기의 내부이상의 유무, 이상의 종류를 추정한다.

추출된 가스는 혼합가스이므로 이것을 화학분석장치를 이용하여 정량분석한다. 분석 장치로는 가스크로마토그래피가 많이 사용된다. 일반적으로 분석대상가스는 O_2, N_2, H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2, CO, CO_2등 9종류의 가스이다. 통상 가스분석에 의한 변압기 내부의 이상진단은 특정가스나 가연성가스의 총량에 따라 결정된다. 현재 한국전력에서 적용하고 있는 판정기준은 표 7과 같다.

4.2.3 부분방전 시험

부분방전 시험은 피측정물에 사용전압에 가까운 상용주파 교류전압을 인가시 절연물 중의 보이드(공극), 균열, 이물혼입 등의 국부적 결함의 원인으로 발생하는 부분방전을 정량적으로 측정하여 절연물의 열화상태를 측정하는 것으로, 변압기 내에서 발생하는 부분 방전을 검출할 수 있는 방법으로는 로고스키 코일(rogowski coil)을 이용하여 부분방전에 의한 전류펄스를 검출하거나, 변압기 외함에 초음파 탐촉자를 설치하여 초음파 신호를 검출하는 두가지 방식이 있으며, 또한 이것을 조합하여 노이즈의 제거와 두 신호간의 시간차를 이용하여 부분방전의 발생위치를 추정할 수 있다.

4.2.4 케이블 누설전류 측정

전력케이블의 기능은 통전중에 절연파괴 사고를 일으키지 않도록 하는것이 중요한 과제중 하나이다. 케이블의 일반적 수명은 20~30년의 수명이 요구되고 있으나 전기적, 열적, 화학적, 기계적, 생물학적 요인에 의하여 수명을 저하시키고 있다.

선로에서 상정되는 CV 케이블의 열화요인과 열화형태를 표 8에 든다. 실제 케이블이 사용되

표 8. CV케이블의 열화요인과 열화형태

	열 화 요 인	열 화 형 태
1	전기적 요인 (운전전압, 과전압 써지, DC 등)	○ 부분방전 열화 ○ 수(水)트리 열화 ○ 전기트리 열화
2	열적 요인 (이상온도 상승, 열신축 등)	○ 열 열화 ○ 열기계적 손상, 변형 (전기적 요인과 복합 열화)
3	화학적 요인 (기름, 화학약품 등)	○ 화학적 손상, 열화 ○ 화학적 트리
4	기계적 요인 (외상, 충격, 측압 이상 등)	○ 기계적 손상, 변형 (전기적 요인과 복합 열화)
5	생물적 요인	○ 충해 ○ 쥐에 의한 피해

고 있는 환경에서는 케이블의 열화요인이 여러 종류이고 이 여러 열화요인이 중첩된 복합 열화 조건하에서 노출되고 있는 것이 사실이다.

케이블 열화의 경향을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 선로 운전중에 절연진단을 행하는 직류중첩 누설전류법, 활선유전정접법등이 실용화 되어져 있으며, 직류중첩누설전류법은 접지용변압기 GPT의 중성점을 열어 콘덴서C에 교류접지하고 직류 전압 E_{dc}을 중성점과 접지극간에 인가하는 것에 의해서 교류운전전압통전중의 케이블 절연체중에 직류전류I를 흘려 금속과 케이블접지극간에 삽입한 측정기에 의해서 I를 검출한다. E_{dc}/I에 의해서 직류누설저항 R_i를 구하여 E_{dc}를 50〔V〕로 할 때의 R_i의 값이 1,000~2,000〔MΩ〕 정도이하에 있으면 수트리가 상당하게 진전되고 있다고 판정하고 있다.

또한, 활선유전정접법은 피측정 케이블에 상용주파 교류전압을 인가하여 분압기를 통하여 측정기에 도입하고, 또 충전전류를 접지선에 설치한 CT를 통해 도입하여 이것을 신호의 위상차를 자동 배런스 회로에서 검출하여 tanδ를 측정한다. 이 tonδ를 통하여 열화진단을 한다.

4.2.5 초음파 탐상시험

초음파 탐상시험은 장비에서 발생시킨 전기적 신호를 기계적 진동으로, 기계적 진동을 전기적 신호로 에너지 변환을 시키는 초음파 탐촉자를 통하여 시험체에 초음파를 투사시킨다. 이때 시험체에 보내어진 일정 주파수의 초음파는 시험체 내의 물리적 특성 및 결함유무에 따라 투과 또는 반사되어 에너지의 변환 및 전달시간의 변화등이 발생하는데 이러한 변화정도를 분석 평가함으로써 시험체의 물리적·기계적 특성 및 결함존재 위치와 크기를 평가하는 비파괴시험 방법의 하나이다.

4.2.6 방사선투과시험

방사선 투과시험은 물질을 투과할 수 있는 짧은 전자파(파장 10〔Å〕이하)를 재료에 투과하여 시험체의 물리적 특성 및 결함 존재 유무에 따른 에너지의 변화(투과방사선량)를 관찰함으로써 시험체의 물리적 특성 및 결함존재 여부 및 위치를 평가하는 방법으로서, 사용되는 전자파는 X-선 또는 감마선을 주로 사용하며, 투과에너지의 변화는 방사선의 감광작용을 이용하여 필름을 사용하게 된다.

4.2.7 기타

진동과 소음 시험이 있으며, 변압기에서 발생되는 진동과 소음원으로 일반적으로 전압강하시 소리와 빛을 수반한 방전이 발생되는 현상인 코로나 방전과 변압기에서 발생되는 열을 처리하기 위한 냉각장치 등의 작동에 의한 소음원이 있다.

진동을 분석하기 위해서는 중요하다고 판단되는 각 지점에 진동 가속도계를 부착한 후, Data Recorder 및 FFT Analyzer를 이용하여 주파수 분석이 가능하고, 소음은 소음원 주위에 Microphone을 설치하고 Sound Level Meter를 이용하여 소음을 측정할 수 있다.

5. 진단효과

진단효과는 우선 정전 및 사고의 최소화로 설비기기의 수명을 연장할 수 있으며, 또한 정확한 수명예측에 의한 계획보전이 가능함을 들을 수 있겠다. 이를 종합하여 간단하게 표현하면 다음과 같이 구분하여 나타낼 수 있다.

- 사고의 최소화로 인적, 물적손실 경감·사고 복구시간 절약 및 파급사고 방지
- 기기 수명예측 및 안정성 평가·내부열화상태 검출(활선 및 비파괴 시험)

표 9. 진단효과 파악

진 단 효 과	회답건수	구성비(%)
사고의 사전방지	126	26.4
설비의 신뢰성 확보 · 향상	100	20.9
교체주기의 연장	53	11.1
보전비의 저감	52	10.9
생산성의 향상	37	7.7
점검 · 정비의 삭감	25	5.2
감산 Demerit의 방지	20	4.2
TPM 활동의 추진	19	4.0
제품품질의 향상	13	2.7
설비초기 Trouble의 방지	13	2.7
안전성의 향상	12	2.5
省 자원	3	0.6
기 타	5	1.0
계	478	100.0

주 : 3개항목까지 복수응답

〈'93년 7월 일본 Plant Maintenance 협회 통계자료〉

– 설비 유지 · 운용의 최적화 · 최신 고급진단 기술과 해석 Program이용

– 합리적인 보전계획 수립 가능 · 과학적인 유지, 운용에 필요한 자료확보

– 설비 신뢰성 확보 및 생산성 향상

– 사고 재발 방지 및 안전성의 향상

참고로 일본 Plant Maintenance 협회의 통계자료에 따르면 표 9와 같이 사고의 사전방지, 설비의 신뢰성 확보, 교체주기연장, 보전비의 저감 항목이 전체의 약 70[%]를 차지하고 있음을 알 수 있다.

6. 진단기술의 추세

고장을 미리 예측하고 감시하기 위하여 정기적으로 실시하는 진단기술에 한발 앞서 나아가 최근에는 정상운전중에 정지시키지 않고, 연속적으로 전기설비의 성능을 진단하고 절연상태를 감시할 수 있는 온라인 모니터링 시스템을 제시함으로써 예측보전(Predictive Maintenance)차원의 새로운 진단기술이 다방면으로 연구되고 있다. 특히 대용량 전력용 변압기는 전력의 안정 공급에 관련된 매우 중요한 설비로써 그 기능이나 성능을 충분히 확보하여야 하므로 사고를 예방하기 위한 보수관리 및 절연진단의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 최근에는 변압기의 이상징후를 운전상태(on-line)에서 상시 감시하여 장래에 일어날 사태 등을 예측하고 그것이 치명적이기 이전에 처리하는 예측보전기술 중심으로 변하고 있으며, 전동기의 온라인 연속감시 방법으로서, 역상전류에 의한 감시방법과 절연저항(IR)을 연속적 감시함으로써 초기에 고장으로 진전될 수 있는 상태를 감시하고 진단할 수 있는 방법이 제시되고 있다.

또한, 고압케이블의 절연열화 데이터의 처리를 완전 자동화하여 진단을 행하는 방법이 활용되고 있는데, 이는 케이블의 각종 상태를 측정하여 계측기기에서 일정한 주기로 여러 측정항목에 대하여 자동으로 측정을 행하고 이 결과를 상위 시스템 또는 중앙 제어실 컴퓨터로 전송하여 데이터의 기록과 평가등을 하여 사고의 예측 및 방지를 하는 것이다. 이들의 진단기술은 앞으로 이러한 Expert System을 더욱이 유용하게 하기 위하여 Fuzzy이론의 도입에 의해 측정정확도를 향상시키거나, 항시 감시장치로 부터의 정보를 On-line으로 취하며, 운전 데이터나 개 · 보수 데이터를 데이터 베이스화하여 Real time으로 처리하고, 센서기술과 노이즈 저감대책 및 컴퓨터 인공지능(AI)을 축으로 하는 시스템화 기술의 진보에 의해 보다 고도의 것으로 발전될 것이다.

이러한 On-line 진단 기술은 토목분야에 까지도 확산되어 교량의 각 부위별 구조적 Parameter(변형율 · 부하등)를 각종 Sensor로 부터 감지하여 통신 네트워크로 전송하여 Monitor 및 평가하는 교량유지관리 모니터링 시스템으로 발전되어 이미 실용화되고 있는 실정이다.

7. 결 론

전기설비는 특히 전력수요의 증가와 더불어 안전하게 유지하고 운전하기 위해 정기점검과 더불어 정밀진단이 반드시 필요하다고 본다. 그러나, 생산과 동시에 소비라는 전기의 특수성때문에 설비보호측면 및 파급사고 방지를 위하여 전기계통을 System적인 사고로 고도의 전문성 및 경험, 학문적인 지식이 요구되는 보호협조 검토 및

Relay Co-ordination 실시, 기기성능평가등을 위한 진단의 중요성에도 불구하고, 아직까지 사회적인 인식이 부족하여 정전 또는 파급사고의 최소화, 설비기기의 수명연장을 위한 진단에 대한 인식의 전환이 필요하다고 생각된다.

이에따라 일상적인 유지보수는 필수 최소인원으로만 실시하고, 설비진단은 외부전문가에 의뢰하여 시행하는 선진국과 같은 형태의 유지보전 및 진단시스템의 정착이 되리라고 본다.

또한, 향후 진단기술의 전망은 현재의 비파괴 시험 및 활선진단 방법이 꾸준히 발전할 것으로 예상되며, 새롭게 발전되는 각종 센서기술과 컴퓨터를 이용한 정확한 계측 및 진단기술이 확립되고, 시스템화기술의 진보가 예상된다. 그리고 통계적 데이터 처리기술을 응용하여 잔존수명을 정확히 예측하는 기술도 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

1) 電氣書院 編輯部編, "設備診斷テクニック", 電氣書院.
2) 電氣協同研究會編, "劣化診斷 マニュアル", 電氣書院.
3) 姜昌遠, "설계시 고려해야 할 기술적 사항", 서울유일엔지니어링, 1995. 12.
4) 韓國電氣安全公社, "電氣災害統計分析", pp.70, 1995. 9.
5) 김홍관, "고저항 접지장치", 그라텍 콘트롤스, 1996. 2.
6) 郭熙魯外, "절연진단기술 특집", 전기학회지 제45권4호, pp.3~44, 1996. 4.
7) 吳龍澤外, "특집 : 전기설비 최신기술", 조명·전기설비학회지 제9권5호, pp.12~29, 1995. 10.
8) 姜昌遠, "電氣設備 診斷技術 資料", 서울유일엔지니어링, 1995. 6.
9) 韓國電氣安全公社, "電氣設備 安全點檢結果 報告書", 1995. 3.
10) 下鄕太郎, "インテリジェント 設備診斷," オーム社.
11) 日本 プラントメンテメンス協會, "設備診斷技術に關する 調査報告書", 1993. 7.

◇著 者 紹 介◇

유 상 봉(庾相鳳)

1954年 10月 26日生. 1980年 釜山大學校 電氣工學科 卒. 1995年~ 現在 漢陽大 大學院 電氣工學科 博士課程. 1993~1995年 技術士(電氣安全, 發送配電, 建築電氣設備, 電氣應用). 雙龍洋灰工業(株) 勤務(1979年~). 現在 雙龍安全技術事業團 設備診斷팀長(部長).