

전기설비의 고장진단

전기설비를 운전·관리하는 전기 기술자는 설비가 안전한지 항상 마음을 쓰게 될 것이다.

전기설비를 장기간 안전하게 사용하는 것은 바람직한 일이지만 최근 그런 경향이 강해져, 과거에 시행했던 사후보전을 넘어서 예지보전의 요망이 점차 높아지고 있다.

이와 같은 전기설비의 예지보전을 목표로 고장진단기술에 관한 근본적인 고찰과 그 응용기술을 전기기술자에게 제공, 활용토록 하기 위하여 이번 호부터 그 내용을 연재하고자 한다.

<편집자주>

발전기의 고장진단 요령

1. 머리말

최근의 발전소는 원자력도 포함하여 화력, 수력 발전소 모두가 발전기의 대용량화, 신예화에 따르 그 제어방식, 보호방식도 다종 다양해지고 있다.

여기서는 극히 일반적인 터빈 발전기(수소냉각형), 수차발전기에 표준적으로 장비되어 있는 보호경보장치에 대하여 운전중에 고장 발생의 경보가 제어반에 표시되고 고장장소나 상태를 정확히 파악하기까지의 탐색을 차례로 해설한다.

송전계통보호, 여자장치보호 등에 대해서는 생략하고 여기서는 발전기 본체의 보호경보회로에 대해서만 설명하기로 한다.

2. 발전기의 보호경보회로

발전기의 보호경보회로는 터빈 발전기와 수차발전기와는 다소의 차이가 있다. 수차발전기에 비하여 터빈 발전기가 보다 많은 보호경보회로가 설치되고 있는 것이 일반적이다.

발전기의 보호경보회로는 그 설치된 목적에 따라 다음의 3종류로 분류된다.

(1) 발전기 전기회로의 고장 또는 이상을 검출하는 것

여기에는 전기자권선, 계자권선의 절연저하, 이상전압과 전류의 검출, 온도 높이의 검출 등이 포함된다.

(2) 발전기의 기계부분의 고장 또는 이상을 검출하는 것

발전기 베어링의 온도, 높이, 터빈 발전기의 경우의 베어링 또는 축진동 이상 등을 검출하는 것

(3) 기타 부속품의 고장 또는 이상을 검출하는 것

가스(공기) 냉각기의 이상, 터빈 발전기 경우의 수소제어, 실유계통의 고장, 이상의 검출, 대용량기의 경우의 고정자 수냉각장치의 고장, 이상 등을

검출하는 것이 포함된다.

그림 1에 발전기 전기회로의 표준적인 보호경보 회로를 들었다. 이밖에 경우에 따라서는 계자상실 계전기(#40), 주변압기와 구성한 비율차동 계전기가 설치된다.

다음에 이같은 보호경보장치가 고장발생을 검출하여 경보를 발했을 경우의 고장진단에 대하여 설명한다.

(1) 발전기 내부고장(비율차동계전기)...#87

(a) 동작 그림에서도 알 수 있듯이 발전기의 선로측과 중성점측의 전류(동상)의 차가 설정치 이상이 되었을 경우에 동작한다. 이것은 발전기 내부고장(전기자 권선의 이상)에 기인하기 때문에 발전불능이 되므로 경보와 동시에 유닛을 정지시키는 것이 일반적이다.

(b) 원인 원인으로서는 생각할 수 있는 것은 전기자 권선의 주절연(대지)의 절연열화에 의한 접지사고, 낙뢰 등의 외부에서의 이상 서지에 의

한 층간절연의 파괴, 단락, 보호구역내의 발전기 인출도체 또는 케이블의 절연저하에 의한 접지사고 등이다.

또한 극히 드물기는 해도 신설시 및 발전기의 권선을 갱신한 후에 권선의 접속을 잘못하여 CT 회로 배선의 실수(특히 CT극성의 착오) 등에 의해서도 경보가 작동하므로 주의한다.

(c) 진단 앞서서도 해설한 바와 같이 이 경우에는 자동적으로 발전기는 송전선에서 떨어져 정지된다. 따라서 이것이 동작하지 않은 경우에는 즉시 필요한 조치를 취해야 된다. 또한 접지 또는 층간단락의 경우에는 화재가 발생하는 수가 있으므로 소화장치가 없는 것에 대해서는 소화기 등으로 신속히 소화를 하는데 경우에 따라서는 주수(注水)하여 소화한다. 이 때에는 발전기가 전기적으로 차단되어 있는 것을 확인한 후에 주수하는 등의 주의가 필요하다.

이상의 처치가 완전히 취해진 것을 확인한 후에 다음의 순서에 따라 원인을 조사한다.

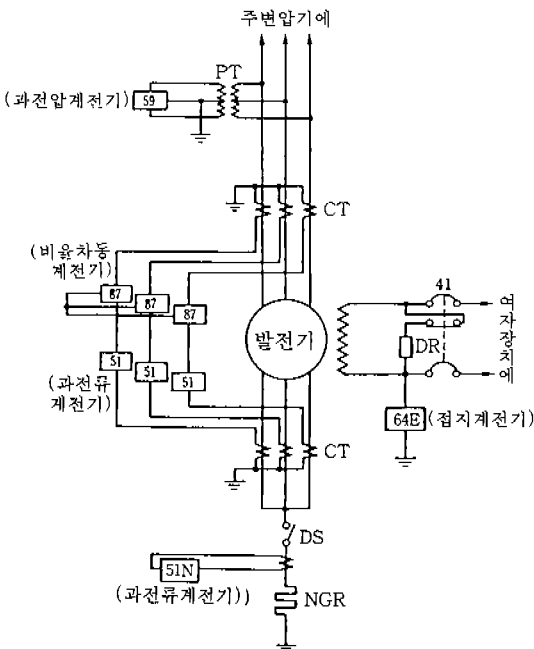
(i) 우선 발전기 회로를 대지 및 송전선에서 분리시킨다. 가능하면 주변압기, 소내(所內) 변압기 등과도 분리시킨다.

(ii) 다음에 1000V 메가를 사용하여 권선의 대지간 절연저항을 측정한다. 또한 눈점검, 후각에 의하여 변색, 변형장소, 이상한 냄새 유무를 조사한다. 의외로 육감적으로 이상이 판명되는 예가 많다.

(iii) 절연저항이 수 MΩ 이상이면 발전기 권선에는 이상이 없는 것으로 판단해도 되는데 그 이하의 경우에는 전기자 권선의 접지를 의심해 본다. 단, 직접 수냉각, 터빈 발전기의 전기자 권선의 절연저항은 일반적으로 1MΩ 전후의 경우가 많으므로 다음 식에 의하여 계산한 절연저항치보다 낮은 경우에는 발전기 권선의 절연저하를 의심해 본다.

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n K \cdot \frac{S_i}{l_i}$$

- 단, R : 절연접속판 전체의 절연저항치[MΩ]
- K : 20℃로 환산한 냉각수 전도도[μΩ-cm]
- S_i : 절연접속판의 단면적[cm²]
- l_i : 절연접속판의 길이[cm]
- n : 절연접속판의 개수



<그림 1> 발전기 전기회로의 보호



(iv) 절연저항이 $1M\Omega$ 이하인 경우 특히 권선이 금속접지로 수 Ω 으로 되어 있을 경우 그림 2의 회로와 같이 권선 단자간에 직류전원을 접속하여 전류를 흐르게 하고 대지간의 전위를 측정함으로써 접지점을 대체로 알 수가 있다. 즉, 접지점은 선로측 단자에서 $\frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$ 의 곳이라는 것을 알 수 있다.

또한 1상당의 권선이 N개 직렬이고 병렬회로수가 1인 경우에는 선로측 단자에서 $N \times \frac{V_2}{V_1 \times V_2}$ 번 째의 권선이 접지되어 있는 것을 알 수 있다.

분명히 접지되어 있는 것이 판명된 경우에는 운전이 불가능하므로 발전기의 분해를 하는 동시에 메이커에 연락하여 본격적인 수리를 해야 된다.

또한 절연저항이 없고 확실히 접지되어 있고 접지장소가 위의 방법으로도 판명되지 않을 때 또는 권선의 병렬회로가 그 이상이고 각 회로의 분리가 곤란한 경우에 접지점을 발견하는 방법으로서 내압시험회로 등을 사용하여 권선과 대지간에 전류를 흐르게 하고 발연, 불꽃방전을 시켜 접지점을 발견한다. 이 경우에는 발전기의 브래킷, 방풍판 등을 분해하여 권선의 상태를 볼 수 있도록 하면 좋다.

(v) 절연저항이 있고 접지가 검출되지 않는 경우에는 더블브리지 등을 사용하여 전기자 권선저항을 체크한다.

측정결과를 발전기 신설시의 시험기록에 비하여 차이가 있는지 검토한다. 이 경우 시험기록에는 20℃ 환산치가 기재되어 있는 경우가 많으므로 다음식에 의하여 환산한다.

$$R_x = \frac{2345 + 20}{2345 + t_1} \times R_{t_1} [\Omega]$$

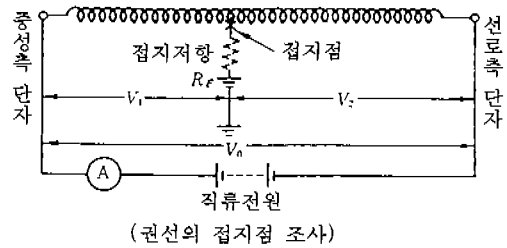
단, R_x : 20℃로 환산한 저항치[Ω]

R_{t_1} : 측정온도 t_1 ℃의 측정치[Ω]

t_1 : 측정권선온도[℃]

동시에 각 상마다의 저항치의 불균일을 체크한다.

측정치가 원래의 데이터(시험기록치)에 비하여 대폭적으로 증가되어 있을 경우 및 도통(導通)이 없는 경우에는 권선의 단선, 납땜 접속부의 과열



<그림 2> 권선의 접지점의 조사

에 의한 용단을 생각할 수 있다.

또한 원래의 데이터에 비하여 작아진 경우에는 권선의 층간단락을 생각할 수 있다.

여하간에 이 경우도 발전기의 코일엔드부를 점검할 수 있을 정도로 분해하여 눈으로 보는 점검이 필요하다.

(vi) 절연저항도 단자간 권선저항도 이상이 없는 경우에는 계전기의 오동작을 의심해 본다. 계전기 회로의 배선 체크, 계전기 단체의 동작시험을 하여 계전기의 설정이 당초보다 지연되고 있지 않은지 체크한다.

극히 드물기는 하지만 발전기 신설시 및 권선 갱신 후에는 권선접속의 실수, 중성점 및 선로측 인출의 착오, CT극성의 착오 등에 의하여 동작하는 경우가 있으므로 도면과 현물을 대조하여 체크한다.

또한 위의 방법으로도 원인을 파악할 수 없는 경우에는 CT의 고장을 의심해 본다. CT에 단선이나 레어쇼트가 있는지 또한 알루미늄 케이스에 수납한 CT의 경우 인접한 CT케이스가 서로 접촉하여 순환전류가 흘러 CT의 2차전류를 외관상 변화시키고 있는 경우가 있다.

(vii) 어떤 조사방법으로도 불량 개소를 발견할 수 없는 경우에는 메이커에 문의하여 조사결과에 누락이 없었는지 잘 검토한다.

또한 이에 앞서 필요에 따라 발전기 권선의 내압시험을 실시하여 그 후의 운전을 확실하게 하는 경우가 있다. 시험전압은 발전기의 운전연수, 경력 등에 따라 다르며 일률적으로 정할 수는 없는데 최저 상규 대지전압(정격단자전압의 $1/\sqrt{3}$)은 반드시 인가해 둔다.

(2) 발전기 과전류(과전류계전기)…#51, 51N

(a) 동 작 발전기에 계전기의 설정치 이상의 전류가 흘렀을 경우에 동작한다. 또한 중성점 과전류계전기(51N)는 중성점에 전류가 흘렀을 경우에 작용한다.

(b) 원 인 우선 발전기 부하가 과대해졌을 경우를 생각할 수 있다. 또한 송전선측에서 상간단락사고, 접지사고가 발생한 경우도 생각할 수 있다. 또한 발전기가 접지사고를 야기한 경우에는 중성점과전류계전기도 동작한다. 그밖에 계전기의 오동작도 생각할 수 있다.

(c) 진 단 앞에서 설명한 바와 같이 발전기 외부에 기인하는 경우가 많으므로 그 방면의 원인을 조사해 본다. 이 경우에 다른 보호장치도 동작하는 경우가 많으므로 그것을 검토하고 시퀀스 및 각 계전기의 설정치에서 어느 것이 최초로 동작했는지, 즉 어디가 최초의 사고점인지를 추정한다.

발전기에서 예상되는 것은 접지사고인데 이 경우에는 앞에서 설명한 순서에 따라 조사를 한다.

물론 계전기 회로의 체크, 동작시험, CT 2차권선의 체크, 발전기 권선의 절연저항, 권선저항을 체크하여 이상이 없다는 것을 확인해 두는 것도 중요하다.

또한 여자회로의 고장으로 과, 부족여자가 되어 발전기에 횡류가 흘러 과전류계전기가 동작하는 수도 있으므로 여자회로도 체크한다(이 경우 여자회로의 고장표시가 나타난다).

또한 일반적인 것은 아는데 가버너계통에 고장이 발생하여 발전기의 회전속도가 상승하여 과부하가 되는 수도 있다.

(3) 발전기 과전압(과전압계전기)… #59

(a) 동 작 발전기 전압이 계전기의 설정치보다 높아졌을 경우에 동작한다.

(b) 원 인 발전기 전압은 계통에 접속되어 있을 경우에는 송전선전압과 어느 정도 관련되어 변동하므로 원인으로서는 예상되는 것은 송전선전압의 상승이다. 또한 여자장치의 고장으로 인한 과여자계전기 고장으로 인한 오동작도 생각할 수 있다.

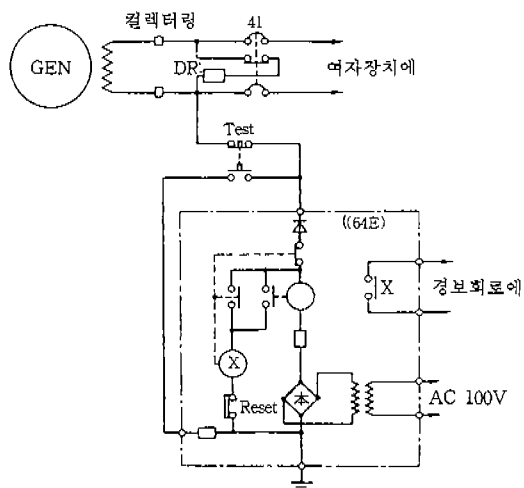
(c) 진 단 발전기 본체에서 원인을 생각할 수 없으므로 앞에서 해설한 원인 등을 추구한다. 발전기의 절연저항 측정 정도는 만일을 위해 실시해 둔다.

(4) 발전기 제자접지(접지계전기)… #64E

(a) 동 작 제자접지경보회로(계전기)의 일례를 그림 3에 들었다. 이 경우 계전기를 통하여 여자회로와 대지간에 직류전압을 인가하고 있으며 절연저항이 어떤 값 이하가 되었을 경우에 계전기가 동작하여 경보를 발한다.

(b) 원 인 발전기의 여자회로가 접지된 경우에 동작한다. 여자회로는 계자권선, 컬렉터브러시주위, 여자장치, 제자개폐기를 포함한 발전기와 여자장치 간의 회로로 분류되며 각각의 회로의 접지를 생각할 수 있다.

(c) 진 단 접지경보이므로 우선 각 회로를 구분하고 500V 메가로 각각의 절연저항을 측정한다. 접지점이 계자권선 이외인 경우에는 눈으로 보아 충분히 판단할 수 있는 것이 보통이다. 눈으로 판단할 수 없는 경우에는 절연변압기를 통하여 대지간에 교류수 100V를 인가하여 발연, 냄새 등으로도 판단할 수 있다. 또한 이때 회로에 포함되어 있는 정류기, 접지계전기 등은 단절시키고 실시한



<그림 3> 제자 접지계전기의 일례



다.

접지장소가 계자권선, 즉 컬렉터링보다 발전기 축에 있다고 판명되었을 경우에는 다음의 순서에 따라 접지장소를 찾는다.

(i) 계자권선 접지의 경우 회전중과 정지중에는 권선이 받는 원심력에 따라 접지가 나오거나 나오지 않거나 하는 수가 있다. 따라서 회전중과 정지중의 절연저항을 측정해야 된다.

(ii) 그림 2의 방법에 의하여 접지점을 찾는다. 이 경우에도 정지중과 회전중에 따라 접지점이 변화하고 있는지 여부를 본다. 같으면 발전기를 정지시키고 보다 상세히 조사할 수가 있다. 회전중에만 접지가 나오는 경우에는 회전중에서의 접지장소 추적을 그림 2의 통전전류를 수검 실시하여 접지장소를 좁혀 정지 후 추정장소를 중심으로 눈으로 점검을 한다.

(iii) 접지점이 컬렉터링에 가까운 경우(그림 2에서 V_1 또는 V_2 가 거의 0V인 경우), 접지점은 컬렉터링과 계자권선을 연결하는 인출도체간에 있다고 판단할 수 있는데 이 도체는 통상 주축의 축중심혈(軸中心穴)을 통과하고 있는 경우가 많으므로 도체와 권선의 접속부를 분해하여 접지축을 확인한다.

(iv) 접지점이 권선축에 있다고 판명된 경우에는 발전기를 분해하여 회전자를 인출하지 않고는 접지점을 분명하게 판정하기가 곤란하다. 부하상태에 따라서는 발전기를 장시간 정지할 수 없는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 1점접지인지 2점접지인지를 판단하여 1점접지이면 감시하면서 운전을 계속하는 것도 가능하며 기회를 보아 (v) 이하의 방법으로 접지점을 찾아 수리한다. 1점접지와 2점접지의 판단은 권선저항의 측정, 접지경

보를 발한 전후의 진동의 변화, 여자전류의 변화 등을 조사하여 결정한다. 즉 2점접지에서는 접지저항이 작은 경우에는 권선저항이 작아지며 진동, 여자전류는 증가하는 경향이 있다. 여하간에 메이커에게 연락을 한다.

(v) 회전자를 인출하여 조사할 경우에는 그림 4와 같이 컬렉터링간에 직류전류를 흐르게 하고 코일 표면과 대지간의 전위를 측정하여 그 극성이 반전하는 장소를 찾는다. 그 장소가 접지점이다. 터빈 발전기의 경우 회전자 표면 및 엔드링하의 통풍구에 탐색침을 삽입한다. 수차발전기의 경우에는 극간 접속부 또는 코일 표면의 절연(와니스)을 벗기고 탐색침으로 코일 표면의 단위를 측정한다.

또한 이 경우에도 메이커에 연락하고 발전기를 분해할 때는 접지점이 없어지지 않도록 조심(미소한 금속편이 원인인 경우에는 접지가 없어져 버려 나중에 원인을 찾는 데 지장을 초래하는 경우가 있다)해야 한다.

(vi) 접지저항치가 높은 경우 및 전기(前記)한 방법으로도 접지점이 판명되지 않는 경우에는 권선과 대지간에 전류를 흐르게 하여 발연, 냄새 등으로 접지점을 확인하는 방법이 있다.

(5) 발전기 계자상실(계자상실계전기)... #40

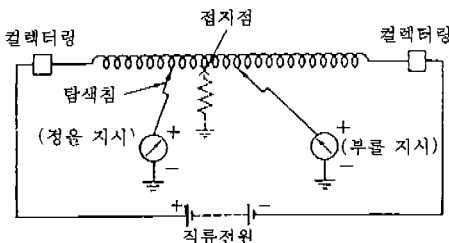
이 보호경보는 발전기에 따라서는 장비되어 있지 않는 경우가 있다. 여기서는 경보를 발한 경우의 원인과 탐색순서에 대해서만 설명한다.

(a) 원인 우선 생각할 수 있는 것은 여자장치의 고장으로 인한 계자상실이 있다. 이밖에 발전기 계자권선의 단선, 컬렉터링 주위 도체부의 선간단락을 생각할 수 있다.

계전기의 오동작도 의심해 본다.

(b) 진단 여자장치의 고장인 경우 여자장치 자체의 경보도 발할 수 있으므로 그것을 중심으로 조사하는데 계자권선은 권선저항, 절연저항을 측정하여 이상이 없다는 확인을 해준다.

여자장치 이외에 생각할 수 있는 고장은 계자권선의 단선인데 이것은 권선저항 측정으로 판단할 수 있는데 통전중의 단선은 통상 아크 용단(溶斷)



<그림 4> 계자권선 접지장소의 판정

이 되기 때문에 동시에 접지사고로 될 가능성이 높고 절연저항 측정으로도 확인할 수 있다. 특히 극간 접속부에서 용단되기 쉽다.

여자장치와 계자권선 공히 이상이 없는 경우에는 컬렉터링 주위, 여자장치와 발전기 사이의 도체를 체크한다. 컬렉터링 사이의 플레이 오버, 도체간의 선간단락의 경우에는 눈으로 확인된다. 모두 카본더스트 등 도전성의 진애, 금속성 이물, 국부가열이 원인이 될 수 있으므로 이같은 위험성이 있는 곳을 중점적으로 조사한다.

드물게 수차발전기 등의 컬렉터링 간을 관통하고 있는 스테드의 절연불량으로 선간이 단락되어 접지를 유발하지 않는 경우도 있다. 컬렉터링 간의 저항측정 외에 계자권선과의 연결을 끊고 절연저항을 체크해 본다.

(6) 발전기 권선 온도 높이
(경보접지불이 온도기록계)

(a) 등 작 미리 설정한 온도 이상이 되면 경보를 발한다. 온도관계는 통상 2단경보보호로 되어 있으며 제1단에서는 경보, 제2단에서는 주기정지로 되는 수가 많다.

(b) 원 인 전기자(계자) 권선의 온도는 발열불과 냉각량의 관계로 결정된다. 발열량은 전기자(자계)전류의 2승에 비례한다. 따라서 발전기 과부하(자계의 경우에는 과여자)가 있다. 냉각량에서는 냉각풍량의 감소, 가스(공기)냉각기의 고장 또는 외기온도의 상승 등으로 인한 냉각매체(H₂ 가스, 공기)의 온도상승을 생각할 수 있다. 고정자 수냉각의 대형 터빈 발전기에서는 냉각수(순수)의 단수, 유량감소, 온도상승이 있다.

(c) 진 단 발전기 과부하의 경우에는 운전기록, 반 계기의 지시로 판단한다. 이것은 부하를 정격 이내로 내리면 해결된다.

냉각량에 관계될 경우에는 발전기의 냉각형태에 따라 조사방법이 달라진다.

(i) 개방형의 경우 : 권선온도는 발전소 내 온도, 또는 외기온에 의하여 영향을 미친다. 따라서 외기온이 상승하면 권선온도도 상승한다. 또한 필터가 있는 경우에는 필터의 눈이 막히거나 필터가

없을 때에는 철심 통풍구의 눈이 막힘으로써 냉각풍량이 감소되어 결과적으로 권선온도가 상승한다. 따라서 이것을 눈으로 점검한다.

일반적으로 이 개방형에서 권선온도는 계절에 따라 변화하므로 경년적(經年的)인 온도상승을 조사하면 여름의 최고온도를 어느 정도 예측이 가능하다.

(ii) 폐쇄형의 경우 : 터빈 발전기에서는 수소냉각, 수차발전기에서는 공기냉각이 일반적인데 모두가스(공기)냉각기를 장비하고 있다. 따라서 냉각기 출구온도가 설정치 또는 그 이하로 조절되고 있는지 체크한다. 출구온도가 높은 때에는 냉각기 냉각수의 유량, 수온을 측정한다. 유량이 적으면 필터를 점검한다. 필터가 막혀 있는 경우가 많다.

또한 냉각기의 수냉관에 공기가 체류되고 있는 경우에는 냉각효과가 저하되므로 공기를 뺀다. 이때 냉각수 출구 밸브를 사용하면 공기가 잘 빠진다.

수소냉각 터빈 발전기의 경우 발전기내 가스압이 저하되면 역시 냉각효과가 떨어져 권선온도 상승이 높아진다. 따라서 기내 가스압을 체크한다.

송풍기(전동팬)를 가지고 있는 수차발전기에서는 송풍기의 고장으로 인한 냉각풍량의 감소도 생각할 수 있다.

(iii) 고정자 수냉각형 : 대형의 수소냉각 터빈 발전기에 채용되는 경우가 많다.

전기자 권선의 발열량은 대부분이 고정자냉각수에 의하여 제거된다. 따라서 권선온도 높이의 경보가 발해지면 동시에 고정자 냉각수의 제어반에도 고장표시가 나온다. 냉각수의 온도, 유량을 중심으로 조사한다.

계자권선의 냉각은 수소 또는 공기로 하므로 (i), (ii)의 방법과 같은데 원인이 과여자인 경우에는 여자장치의 고장도 예상할 수 있으므로 여자장치도 조사한다.

3. 기계부분의 고장진단

발전기의 기계부분 고장경보 보호는 베어링부에 집중되고 있으며 다른 부분은 경보장치 설치가 곤



관한 관계도 있어 거의 부착되어 있지 않다. 따라서 정기검사시, 분해점검시 등에는 충분한 점검, 조사가 필요하다.

베어링부의 경보보호는 온도, 진동, 유면, 유압에 관한 것이 주요부분이다.

(1) 베어링 고온도(온도계전기)

(a) 동작 베어링 온도가 설정치 이상이 되었을 경우에 동작한다. 수차발전기의 경우 다이얼형 온도계, 온도계전기, 터빈 발전기에서는 경보접점 부 기록계로 2단 경보가 되는 것이 많다.

(b) 원인 베어링 소손, 윤활유온의 상승, 유량의 감소, 베어링 진동의 증대 등을 예상할 수 있다.

(c) 진단 베어링 소손의 경우 윤활유의 흑화 오손, 베어링 진동의 대폭적인 증가를 수반하므로

기름의 조사, 진동기록의 조사를 한다. 또한 소손의 경우에는 베어링 온도는 단시간 내에 급상승하므로 이것도 온도기록지가 있는 경우에는 그것도 조사하면 판단이 용이하다.

베어링 소손 원인의 하나로서 축전류에 의한 경우가 있다. 이 경우 축전류방지 절연장소를 눈으로 점검하여 2중절연이 되어 있는 터빈 발전기 베어링, 수소가스 실부, 신에 수차발전기 등에서는 절연저항을 측정한다. 가능하면 무부하 정격전압으로 운전하고 축전압을 측정하면 절연의 양부가 판정된다(그림 5). 또한 축전류에 의한 소손의 경우에는 베어링면이 황손(荒損)된다.

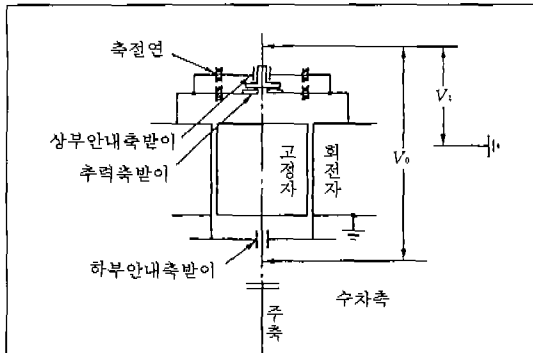
윤활유온의 상승, 유량의 감소, 진동의 증대가 원인인 경우에는 베어링 온도상승 경향이 비교적 완만하다.

윤활유온은 유온계의 기록을 조사하여 상승한 것 같으면 유냉각기를 조사한다. 냉각기의 공기배기, 냉각수의 유량, 냉각수온을 측정한다.

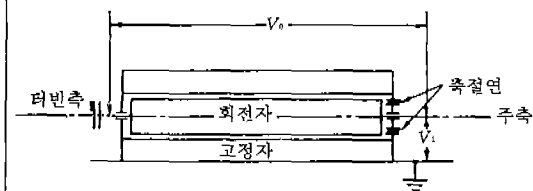
유량은 송유식의 것은 필터의 눈이 막혔는지 여부, 탱크식의 것은 기름누설 등을 체크한다.

진동은 진동계 등으로 체크하고 증대되고 있으면 원인을 조사하고 필요에 따라 밸런스 조정을 한다.

또한 수차발전기의 안내 베어링의 경우에는 주축의 축 진동을 체크한다.



(a) 수차발전기의 경우



(b) 터빈 발전기의 경우

V_0 또는 V_1 를 테스트 등의 고임피던스 계기로 측정

<그림 5> 축전압의 측정

(2) 발전기 진동 과대(경보접점불이 기록계)

고속회전기인 터빈 발전기에 장비되어 있다. 수차발전기에는 일반적으로 장비하지 않는다.

(a) 동작 베어링 및 주축의 진동을 검출하여 설정치 이상이 되었을 경우에 경보를 발한다. 이 경우에도 2단경보를 한다.

(b) 원인 진동과대의 원인은 여러가지가 있다. 주요원인을 들면

- (i) 밸런스 조정불량
- (ii) 진동 불량
- (iii) 커플링 직결불량
- (iv) 구조물의 공진
- (v) 러빙(정지부분과의 접촉)
- (vi) 계자권선 층간단락

<표 1> 터빈 발전기 진동진단

원 인	진동의 특징	대 측
1. 밸런스 조정불량	축의 각 부에 가지고 있는 고유진동수로 특히 증대된다.	특히 진동이 증대하는 고유진동수에 관계되는 하중부근의 밸런스 조정을 한다.
2. 진동불량	축에 영구적 굴곡이 있을 때 회전주기에서 발생한다. 커플링면의 진동이 있을 때 직결 후 진동이 나타난다.	재진동, 저널연삭(研削), 가열법, 해머링법 등이 있다.
3. 커플링 불량	토크에 비례하여 진동이 변화하는 수가 있다. 단체밸런스가 좋아도 직결하면 악화된다.	커플링부의 밸런스조정, 재커플링 리이마블트 피임조정, 재진동 커플링면 재가공
4. 구조물의 공진	주축의 진동은 비교적 적고 강도가 부족한 구조물의 고유 진동수가 회전수와 일치될 때 그 구조물의 진동수가 증대된다.	약한 부분을 보강하여 진폭을 감소시키는 동시에 고유진동수를 올린다. 구조물의 지지방법을 바꾸어 고유진동수를 바꾼다.
5. 러빙(유절 접촉)	특정한 주기로 진동이 증대된다. 진폭 모드를 조사하면 접촉부가 예측된다. 알루미늄계 치가 마모되면 소멸된다.	유절(油切)클리어랜스를 조사하여 축부상량을 예상동심(同心)으로 한다. 클리어랜스를 크게 한다.
6. 제자권선 층간단락	전압발생과 동시에 진폭증대, 여자전류의 크기에 비례하여 진동은 증가한다(열적 불평형으로 축이 굽어진다).	재절연
7. 회전자 쇄기 동풍불평형	온도가 불균일해지며 여자전류에 비례하여 축이 굽어지고 진동이 증가한다.	급기쇄기, 배기쇄기 일부 재가공
8. 급유량 부족 유압 부족	단속적인 소리를 발생한다. 메탈에 캐비테이션을 발생한다. 기름의 배유가 단속적으로 된다.	올리피스경을 올린다. 유압을 올린다. 급유구멍 크게 한다. 클리어랜스를 내린다.
9. 급유량 과대 유압 과대	회전수가 높아지면 급격히 증대한다. 축의 공유진동수로 진동한다. 회전수가 축의 고유진동수의 2배 이상에서 발생, 관성효과가 있다.	올리피스경을 내린다. 유압을 올린다. 유압을 내린다. 면압을 올린다. 클리어랜스를 올린다.

(vii) 회전자 쇄기 동풍불평형

(viii) 급유에 관계되는 것

(ix) 기타

가 된다.

(c) 진 단 각 원인으로 인한 진동의 현상과 대책을 표 1에 들었다. 그러나 진동의 원인을 판정할 때에는 때로는 매우 곤란한 경우가 많으므로 메이커에 연락하여 조사한다.

(3) 발전기 베어링 유면이상(유면계전기)

(a) 동 작 수차발전기의 유조를 가지고 있는 베어링에 장비되어 있으며 베어링 유면이 높거나 또는 저하되면 동작하며 경보한다.

(b) 원인·진단 유면이 높은 경우에는 유냉각기에서는 누수, 온도에 의한 기름의 팽창, 배관에 의 공기포의 혼입에 의한 오동작을 예상할 수 있다. 누수의 경우에는 냉각기를 수리하는 동시에

유허유를 교환한다.

유면저하의 경우 유조, 배관 등에서의 누유도 염려되므로 베어링, 배관 둘레를 점검한다.

또한 송풍기를 내장한 수차발전기에서는 송풍기를 운전했을 때와 정지했을 때에는 유면변동이 있으므로 경보설정을 할 때에는 주의한다.

또한 유면계전기의 설정치가 당초의 값보다 저연되는 경우도 있으므로 점검, 재조정도 필요하다.

(4) 발전기 베어링 유압 이상(압력계전기)

(a) 동 작 강제급유방식의 발전기에 장비되어 있다. 유압이 설정치를 벗어난 경우에 경보한다. 유압이 저하되었을 경우에는 동시에 비상용 또는 예비유 펌프를 가동시킨다.

(b) 원인·진단 기름펌프의 고장, 모터의 고장, 스트레이너의 막힘, 누유에 의한 유량의 저하 등을 예상할 수 있다. 각각의 장소를 조사한다.



4. 부속부품, 장치의 고장진단

이 중에는 가스(공기)냉각기, 유냉각기, 터빈 발전기의 수소, 실유(油)계통, 고정자 수냉각계통, 수차발전기의 스러스트 압상장치, 송풍기 등이 포함된다. 냉각기 관계에 대해서는 이미 설명하였으므로 여기서는 수소, 실유 계통에 대하여 해설한다.

수소, 실유 제어장치는 물론 수소냉각 터빈 발전기에 장비되어 있다. 경보는 수소가스 제어반에 집중 표시된다.

경보에는 기내 가스압 고저, 기내 가스온도 고, 수소 가스 순도 저, 실유 펌프 토출압 저, 실유 차압 저, 진공조 유면 고저, 발전기내 드레인 등이 있다.

(1) 기내 가스압 이상

(a) 동작 기내 가스압이 설정치에서 벗어나면 경보동작을 한다.

(b) 원인·진단 가스압이 높은 경우에는 수소 가스 압력조정밸브 불량 또는 고장 등의 원인이 되고 낮은 경우에는 이밖에 다량의 수소가스의 누설, 축실 유압의 저하 등의 원인이 있다.

다량의 수소 누설이 있을 경우에는 신속히 누설 장소를 조사하여 수리한다. 조사방법은 소리에 의하여 누설을 검지하는 방법, 수소검지기에 의한 방법, 비누물 도포에 의한 방법 등이 있다.

기내 가스압은 그 온도에 따라 변화하는데 1℃ 변화한 경우의 기내 가스압력의 변화량은 다음 식과 같다.

$$P' = \frac{B + P}{273 + t} \cdot [mmHg \text{ 또는 } kg/cm^2]$$

P' : 가스온도 1℃ 변화했을 때의 압력 변화량

B : 대기압력[mmHg 또는 kg/cm²]

P : 기내압력[mmHg 또는 kg/cm²]

t : 기내가스온도[℃]

(2) 기내 가스 고온도

(a) 동작 가스 냉각기의 출구측 온도가 설정치 이상에서 동작

(b) 원인·진단 발전기 과부하, 냉각수 고온도, 냉각수계통 등의 고장 등의 원인을 생각할 수 있다. 부하변동의 경우에는 수소압력과 출력곡선을 참조하여 처치한다.

냉각수 온도가 상승한 경우에는 담수냉각기에 이상이 없는지 점검하거나 또한 가스 냉각기 계통의 밸브류를 점검할 필요가 있다.

(3) 수소가스 순도 저하

(a) 동작 기내수소 가스 순도가 설정치 이하가 되면 경보한다.

(b) 원인·진단 순도저하 가스 분석기의 검출 장치의 고장, 습기, 경보장치의 고장 등이 원인이 된다.

보통 순도저하의 원인은 비상용 실유 계통을 운전하고 있을 때 미처리유가 실에 공급되고 있을 때이다.

검출회로의 습도상승에 의한 경우에는 건조기를 예비품과 대체하든지 재생이 끝난 건조제와 교환한다.

순도계, 계기 자체의 고장인 경우에는 점검, 조정을 한다.

(4) 실유 펌프 토출압 저하

(a) 동작 주 실유 펌프의 출구압력이 설정치 이하가 된 경우에 동작하여 비상용 실유 펌프를 구동시킨다.

(b) 원인·진단 전원 및 직결전동기의 고장, 조정변의 고장, 펌프 자체의 고장 등을 예상해 본다.

조정밸브이 고장인 경우에는 조정밸브 나사의 이완, 스프링의 절손을 조사한다.

펌프 자체가 고장인 경우에는 펌프 내부에 이물이 들어가 회전불능이 된 때 등이다. 모두 계통에서 분리시켜 점검, 조정이 필요하다.

(5) 실유 차압 저하

(a) 동작 실유 급유압력과 기내압력의 차가

설정치 이하가 되면 차압스위치가 동작하여 경보를 발한다.

(b) 원인·진단 유압조정밸브의 고장, 기름필터의 막힘, 다량의 누유 등을 원인으로 생각할 수 있다.

유압조정밸브의 고장인 경우 조정나사의 이완, 밸브 내부의 실린더와 피스톤에 먼지 등이 쌓여 동작을 방해하고 있거나 상처가 생겨 동작하지 않는 경우를 생각할 수 있다. 모두 점검, 조사한다.

(6) 진공조 유면 이상

(a) 동작 진공조 내 유면이 설정치에서 벗어난 경우에 경보한다. 고저의 양쪽에서 경보한다. 플로트 스위치가 사용된다.

(b) 원인·진단 플로트밸브의 동작불능 외에 유면이 높은 경우에는 시트면의 먼지의 부착, 수분의 혼입, 가스의 혼입 등을 생각할 수 있으며 유면이 낮은 경우에는 진공저하, 급유량의 급증 등의 원인을 생각할 수 있다.

플로트밸브의 동작불능은 밸브 기구의 손상, 플로트의 파손 등을 예상해 본다. 점검, 수리가 필요하다.

급유량의 급증은 실링의 손상, 급유계통의 다량의 누설을 생각할 수 있으며 점검, 조사한다.

(7) 발전기내 드레인

(a) 동작 경보기가 일정한 양의 드레인을 검지하여 동작한다.

(b) 원인·진단 주로 가스 냉각기의 냉각수관의 누수의 검지를 목적으로 하고 있는데 유계통의 고장으로 인한 기내의 누유도 검지한다. 또한

고정자 냉각수의 계통이 손상된 경우에는 기내 가스압이 냉각수압보다 낮은 때 기내의 누수도 검지한다.

시운전 당초에는 기내의 습기가 물방울이 되어 흘러드는 경우가 있는데 이것은 시간의 경과와 함께 감소되는데 대하여 냉각수관 또는 고정자 냉각수 계통에서의 누수는 지속되므로 판단할 수 있다. 수리를 요한다.

5. 맺음말

이상 해설한 사항은 극히 일반적이고 표준적인 것에만 한정시켰다. 이 밖에도 실제의 발전기의 보호경보장치는 그 제어방식, 운전계통에 적합한 것이 장비되어 있다.

모두가 발전기의 운전, 보수를 하는데 있어서는 발전기의 구조, 특성, 운전제어 계통 등을 충분히 파악해 두는 동시에 각종 경보가 가진 의의도 사전에 도면, 설명서 등으로 습득해 둔다. 또한 예방보전의 입장에서 발전기의 일상적인 점검을 충분히 실시하는 동시에 정기적으로 경보 테스트를 하여 고장이나 이상시에 정확히 경보보호가 작동하는 것을 확인해야 된다.

이렇게 함으로써 사고를 미연에 방지할 수도 있고 또한 사고가 발생하였을 때에도 손해를 최소한으로 억제하게 된다.

실제로 운전중에 경보동작을 한 경우에도 복수의 경보가 표시되는 것이 일반적인데 어느 경보가 주이고 어느 것이 종인가를 빨리 판단하여 사고(고장)점을 추구하는 데에도 일상적인 훈련과 습득이 유효하다.

뜻모아 효율 향상 힘모아 에너지 절약