

## 발전기의 전기보호 ②

글/전민호  
(주)에이스기술단



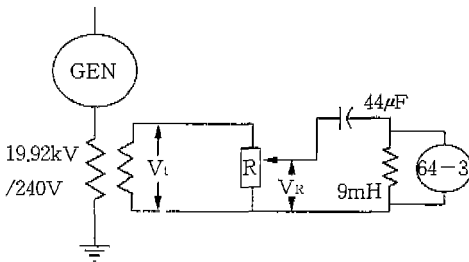
**발**전기도 여타 주요 전기설비와 마찬가지로 다중 보호되도록 하여 안전을 도모하고 있으며, 보호방법에 있어서는 유도원판형 등 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 발전, 변경되고 있지만 보호의 종류, 보호 목적 등에 있어서는 종전과 다를 바가 없다.

본지에서는 먼저 전체 접속도를 제시하여 발전기 보호계통 전체를 한 눈에 알아볼 수 있도록 한 뒤, 개별 계전기에 대해 보호 목적, 정정 방법, 정정시 고려할 사항 등을 이론보다는 실무 중심으로 쉽게 기술하고자 하였으니 바른 이해 있기 바라며, 많은 참고되길 바란다.

### (4)- 1. 제3 고조파 접지계전기(64-3)

- 발전기 중성점 부근에서 발생하는 지락사고 보호가 목적
- 지락 전류중에 많이 포함된 제3 고조파에만 감응 동작
- 64G로 94~95(%) 보호 가능, 64-3 채용하여 100(%) 보호 가능해 진다.

(가) 결 선



<그림 1> 제3 고조파 계전기의 접속도

(나) 정 정

저항 R에서의 유효 제3 고조파 전압은  $0.02V_t$  이므로,

$$V_t = \frac{22kV}{\sqrt{3}} \cdot \frac{240}{19.92kV} = 153V$$

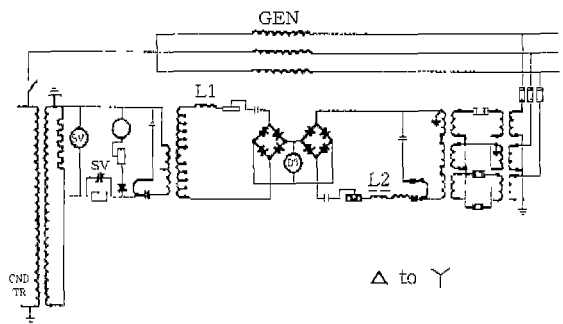
$$0.02 \times 153 = 3.06V$$

\* 정상시 3V 이므로 계전기는 이보다 낮게 정정한다.

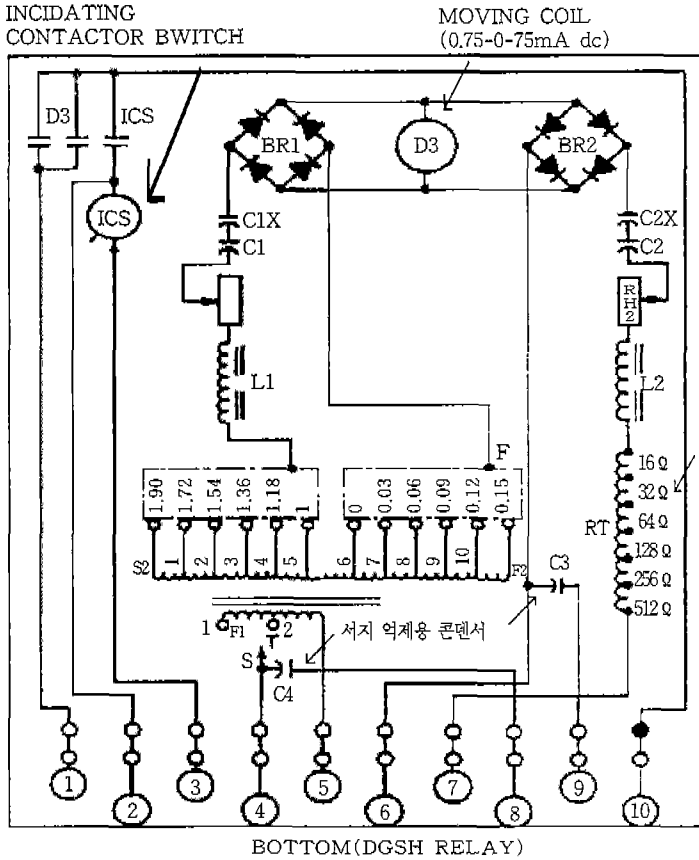
### (4)- 2. 제3 고조파 접지계전기(64-3)

고정자 권선 중성점 부근에서 발생하는 지락 고장을 검출하기 위한 것으로 권선의 선로측과 중성선측에 나타나는 제3 고조파의 차전압을 비교하여 동작한다. 이로써 고정자 권선의 100(%) 보호가 가능해 진다.

(가) 결 선(그림 2)



<그림 2> 제3 고조파 계전기 결선도



<그림 3> 제3고조파 접지계전기 내부 결선도

(나) 동작 원리

제3 고조파 Pass Filter를 갖고 있으며, 제 3 고조파에는 민감하나 여타 주파수에는 감응하지 않는다. 정상 운전중엔 양측 제3 고조파 전류가 평형되어 De-energizing 되어 있다가 발전기 접지회로가 Open 되거나 중성점 부근에서 지락이 발생하면 Energizing 된다.

(다) 정정 방법

○ 정정 방법

-  $R = 120(C+F)$

- S, C, F Tap은  $V_n/N_n$  또는  $3Vot/Nt$  중 적은 쪽의 값을 증가시키기 위하여 정정하는 것임. 적은 쪽의 값이  $S(C+F)$ 배 만큼 증가됨.

\*  $Vot =$  단자측 상당 3 고조파 전압,  $V_n =$  중성점측 3 고조파 전압

○ 정정 절차

- ① 발전기 권선의 Neutral 측 및 Terminal 측에서 모든 출력 범위에 대하여 3 고조파 전압을 측정한다.
- ②  $S(C+F) = V67/V45$ 가 되도록 S, C, F Tap을 결정한다.
- ③ 상기 Setting치에 상당하는 RT Tap을 Table에서 구하여 정정함
- ④ Right Hand 정지형 Contact을 0.25mA에 정정한다.
- ⑤  $V45$ 가 Zero이고  $V67$ 이 발전기 운전중 상당 최소 3 고조파 전압이 3배가 될 때 Right Hand Contact이 닫히도록 RH-2 값을 조정한다.
- ⑥ 상기 정정치에 대하여 Relay가 Balance 되도록 RH-1 값을 조정 한다.
- ⑦ 발전기가 정상적으로 가동하여 최대 3 고조파 전압에 이를 때까지 가동 접점이 움직이는지 관찰하여야 한다.

\* Right Hand 정지형 접점은 0.15mA 또는 가동코일의 오른 쪽으로 최대 편차 이상으로 조정해야 한다.

\* Left Hand 정지형 접점도 0.15mA 또는 가동코일의 왼쪽으로 최대편차 이상으로 조정해야한다.

◆ NT: 터미널 측 VT Ratio, Nn: 중성점측 VT Ratio

○ 정정 검토 결과(표 1 참조)

Data 중 양단의 3 고조파 전압비가 최대로 되는 값으로 정정하면,  $V_n/V_t \leq V_n$  이므로,

$$V_n/V_t = 2245(V)/1.743(V) = 1.288$$

정정 Table에서 Setting Value 및 Resistor Tap을 찾으면,

- Isolating/Matching Transformer

$$\text{Ratio} = 1: S(C+F) = 1: 1.27$$

$$S = 1, C = 1.18, F = 0.09, \text{Nom. Res. Ohms} = 293(\Omega)$$

<표 1> 보령 화력 #6 Gen. 3 고조파 실측 데이터

발전기 출력 (MW)	현재의 Relay 지시치 (mA)	Vn (V) (4-5번 단자)	Vt (V) (6-7번 단자)	Vn/Vt
50	좌 0.17	1.258	1.032	1.219
100	좌 0.24	1.665	1.453	1.146
150	좌 0.33	2.245	1.743	1.288
200	좌 0.36	2.596	2.055	1.263
250	좌 0.37	3.175	2.533	1.253
300	좌 0.38	3.365	2.693	1.250
350	좌 0.40	3.499	2.752	1.271
400	좌 0.42	3.954	3.320	1.191
450	좌 0.43	4.054	3.376	1.201
500	좌 0.45	4.148	3.431	1.209

- Copper Resistor(RT) Taps

Windings Used

= 32+256 (Ohms), Nom. Res. Ohms=288(Ω)

※ 주의 사항(중요함)

$V_t \leq V_n$  이므로,

6-7번 단자를 Neutral Transformer에 연결하고  
4-5번 단자를 Terminal 측 Y-open delta aux. VT  
에 연결하여야 한다.

### 다. 역상 과전류 계전기(46)

불평형 부하, 단상 부하 운전시는 고정자 권선에 역상전류가 흐르며, 이 역상전류에 의한 회전자계는 회전자 회전방향과 반대이기 때문에 2배 주파수의 와전류가 회전자 표면에 흘러 여자전류에 의한 온도 상승에 가해져 코일 절연물 소손, Wedge의 접속부나 코일 보지환 등에 국부과열을 일으킬 위험성이 있으므로 이를 검출, 보호한다.

#### (1) 역상 전류의 크기

(가) 선간 단락 사고시 :  $I_2 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$

(나) 1선 지락 사고시 :  $I_2 = \frac{E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$

(다) 2선 지락 사고시 :  $I_2 = \frac{-Z_0 E_a}{Z_0(Z_1 + Z_2) + Z_1 \cdot Z_2}$

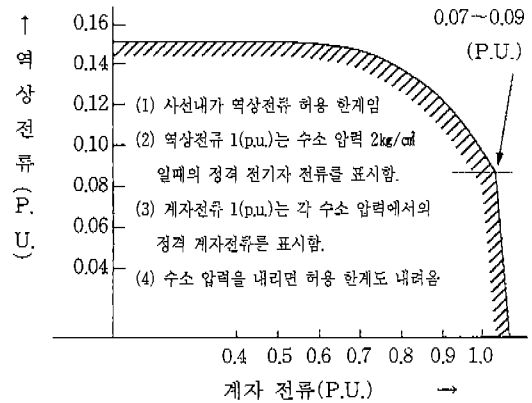
\*  $E_a$ : 고장 발생전의 1선 대지 전압(상전압)

$Z_0, Z_1, Z_2$ : 고장점에서 본 대칭 Imp.

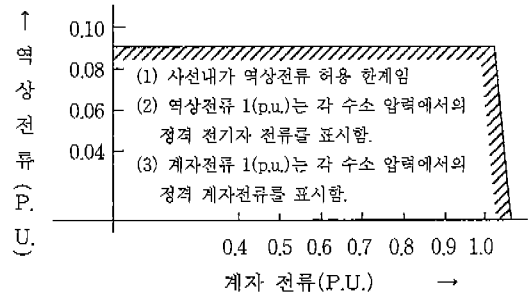
#### (2) 발전기의 불평형 허용 한계

##### (가) 연속 허용 한계

연속 허용 한계는 발전기 냉각 방식에 따라 다르며, 그림 4, 5와 같다.



<그림 4> 고정자 보통 수소 냉각 발전기



<그림 5> 고정자 액체 냉각 발전기

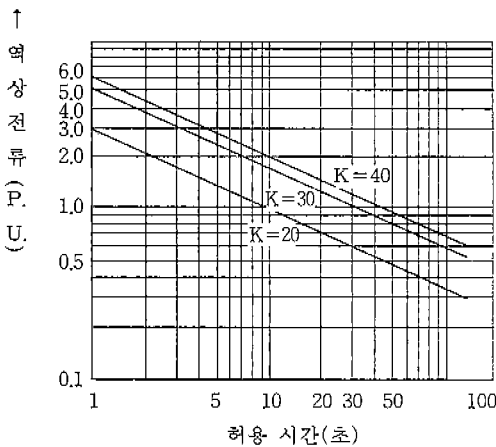
(나) 단시간 허용 한계

일반적으로  $\int I^2 dt = K$  가 한계로 표 2와 같이 규정되어 있다.

<표 2> 동기기 불평형 단시간 허용 시간

동기기의 종류	허용 $K=I^2 \cdot t(p.u)$
터빈 발전기(수소 냉각)	30
터빈 발전기(고정자 액체 냉각)	10
수차 발전기	40
디젤 발전기	40
동기 조상기	30
주파수 변환기	30

\* I: 역상 전류(P.U), t: 시간(초)



<그림 6> 동기기 역상전류 허용 시간

(3) 결 선(그림 7)

계전기는 역상 Network(역상분 검출회로)를 내장한 역상 과전류 계전기가 사용되며 일반적으로 0.63(PU) 이하에서는 경보 요소에 의해 경보하도록 되어 있으나 실제 동작은 발전기의 연속 허용 한계인 0.07~0.09(PU)이며, 0.63(PU) 이상에서는 유도 원판형 한시 과전류 요소가 동작하여 발전기를 비상정지 시킨다.

라. 계자 상실 보호계전기(40G)

- 10~20MW 이상 발전기에 채용
  - 계자 상실 원인 : Slip Ring의 Flash-over, AVR 여자 장치의 고장, 계자차단기의 오조작 등
- 발전기가 계자상실되면 계통에 대해 전력동요의 발생원으로 되어 Disturbance를 주며, 조상 용량이 부족한 경우는 계통전압 강하를 발생시키며 탈조의 원인이 된다.
- 또한 계통의 OCR이 오동작하는 경우도 있으며, 완전한 유도 발전기로 되지 않고 무효, 유효 전력을 주기적으로 발생만 하므로 회전자나 고정자 권선을 과열시켜 발전기에 손상을 주게 되므로 빨리 비상정지시켜야 한다.

(1) 결선 및 동작원리(그림 8, 9)

- 보호계전기는 계자 상실시의 임피던스 변화를 검출하는 off-set 임피던스계전기 사용
- P<sub>0</sub> 점은 계자 상실전의 부하 임피던스이며, 계자가 상실되면 급격히 리액턴스가 Inductive (+)에서 Capacitive(-)로 변화하며, 발전기 리액턴스로 접근한다.
- off-set 임피던스 계전기와 저전압 요소를 가미한 방향 계전기를 조합하는 방법도 있으며, 어떤 것이든 탈조 사고시의 임피던스 제지에 대해 오동작 않도록 고려해야 한다.

(2) 정정 계산(그림 9-1)

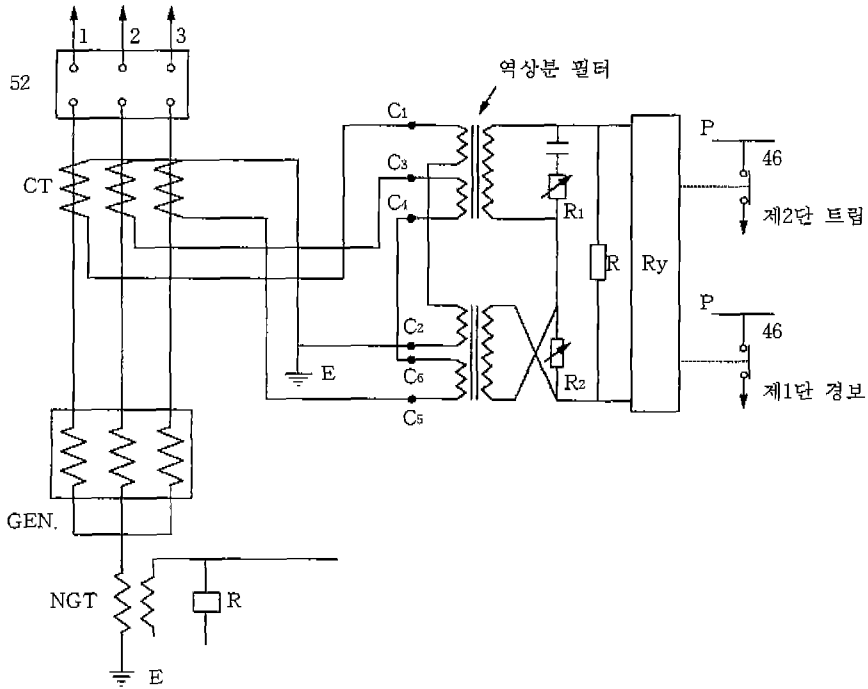
발전기가 무한대 계통에 접속되어 있는 경우 양전원 전압의 크기는 변화하지 않고 위상각만 벌어져 탈조된 경우의 발전기 최대 전류 I<sub>F</sub>는,

$$I_F = \frac{2E}{X_d'} = \frac{E}{X_d'/2}$$

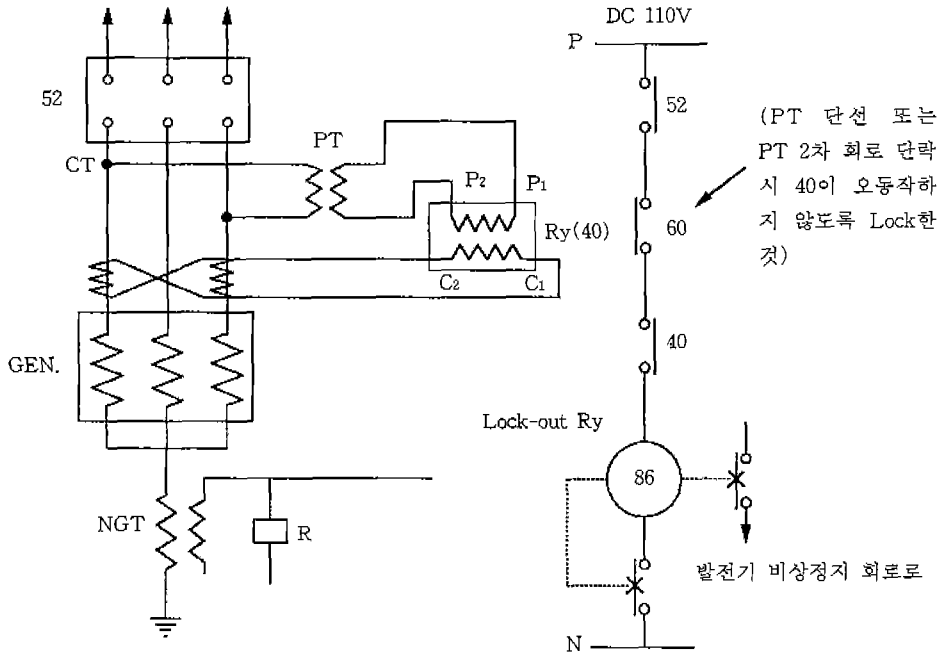
$$\therefore \frac{E}{I_F} = \frac{1}{2} X_d'$$

즉, 외전상 발전기 단자에서 본 최소 임피던스는 1/2 X<sub>d'</sub>이다. 그러므로 계자상실 이외의 탈조시에 오동작하지 않도록 1/2 X<sub>d'</sub> 이상 off-set시킨다.

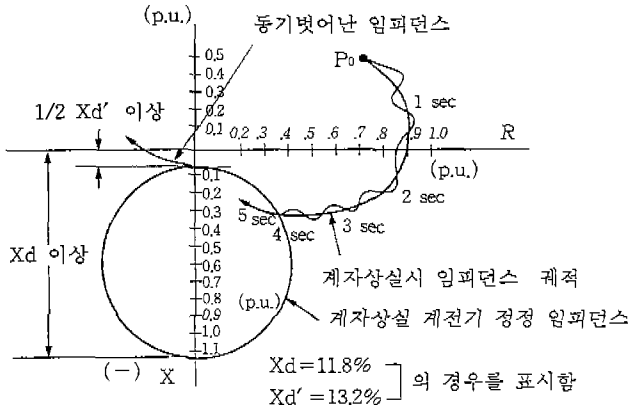
발전기 정태 임피던스는 X<sub>d</sub>이므로 X<sub>d</sub>를 최대



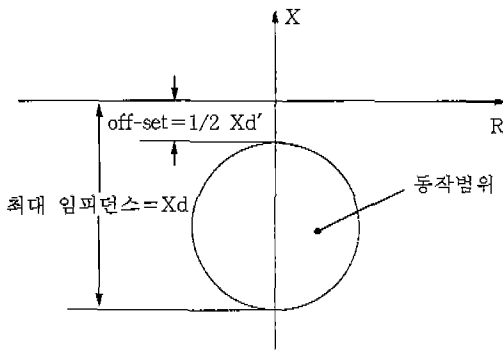
<그림 7> 역상 과전류 보호계전기 접속도



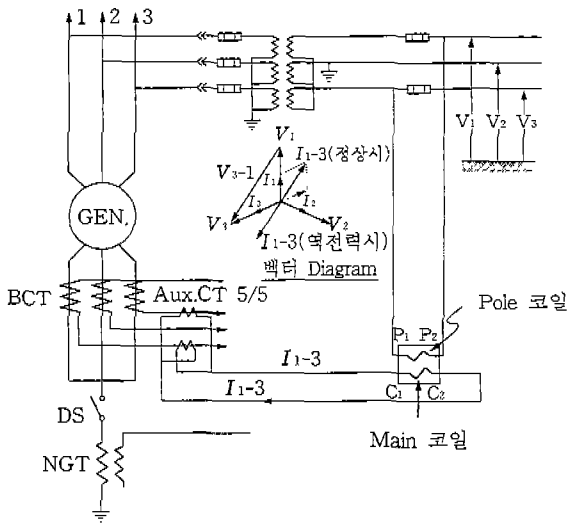
<그림 8> 발전기 계자상실 보호방식의 접속도



<그림 9> 제자상실 계전기의 특성



<그림 9-1>



<그림 10> 역전력 보호계전기 접속도

임피던스로 하여 정정한다(그림 9-1).

마. 역전력 보호계전기 (67G)

발전기가 계통에 병입된 상태에서 원동기 입력이 없다면 발전기는 동기 전동기로 되어 문제없으나 풍손에 의한 열을 제거하지 못해 터빈 Blade가 가열되어 위험하며 수차엔 유량 부족으로 Cavitation이 발생하기 때문에 발전기 Lead에서 전력의 방향을 모니터하여 경보 또는 Unit를 트립시킨다.

- (1) 원동기별 Motoring 되는 데 소요되는 전력(표 3)
- (2) 결 선(그림 10)
- (3) 정 정

발전기 동기 투입 또는 계통 동요에 의한 일시적인 전력 반전에 오동작하지 않고 발전기 및 터빈의 손실분(터빈, 발전기 제손실)에 상당하는 역전력에서 보호계전기가 동작하도록 정정한다. 즉,

$$I_{Loss} = \frac{\text{손실합계}}{\sqrt{3} \times \text{정격전압}} \times \frac{\text{정격 CT 2차 전류}}{\text{정격 CT 1차 전류}} \times \sqrt{3}$$

(결선이 Δ이므로)

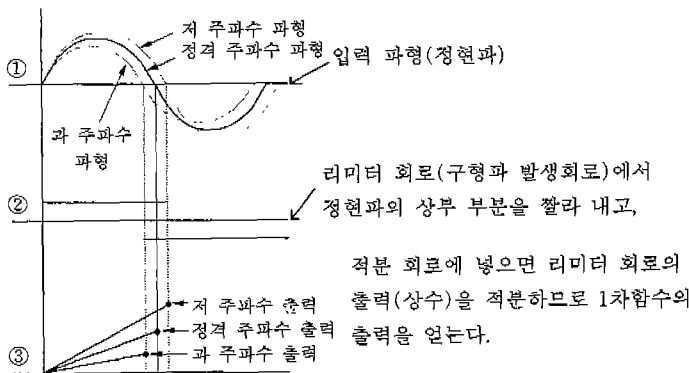
= ( ) (mA)

<표 3>

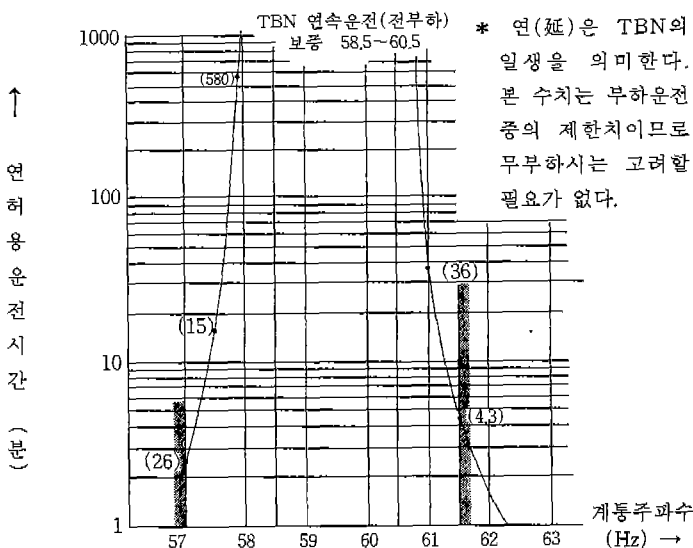
원 동 기 명 칭	진 동 기 화 전 력
Condensing 터빈	명판 정격의 3(%)
Non-Condensing 터빈	명판 정격의 3(%) 이상
디젤 엔진 터빈	명판 정격의 25(%)
가스 터빈	명판 정격의 50(%)
수력 터빈	명판 정격의 0.2~2.5(%)

<표 4>

주 파 수	연 운전 허용시간	주 파 수	연 운전 허용시간
57.6 ~ 58.2	1분	60.6 ~ 61.2	90분
58.2 ~ 58.8	12분	61.2 ~ 61.8	12분
58.8 ~ 59.4	90분	61.8 ~ 62.4	1분
59.4 ~ 60.6	No Limit		



<그림 10-1>



<그림 10-2>

### 바. 발전기 과(저)주파수 계 전 기

발전기가 과(저)주파수로 되는 상태는 터빈에 유입되는 증기량이 급증, 급감할 때 발생하며, 과(저)주파 운전을 계속하면 터빈에 악영향을 끼치므로 이를 검출하여 터빈 발전기를 보호하기 위해 사용된다.

#### (1) 동작 원리

발전기 출력 파형을 리미터 회로에서 상부 부분을 잘라내고 적분 회로에 넣으면 1차 함수의 출력을 얻게 된다. 이 출력의 대소에 의해 과(저) 주파수를 판정한다(그림 10-1).

#### (2) 주파수 변동시 허용 운전시간

- (가) 평택 #1, 2의 경우(히다찌사) (그림 10-2)
- (나) 삼천포 #1, 2 터빈의 경우(제너럴 일렉트릭사) (표 4)

● 다음호에 계속 됩니다