

# 火力發電所用 사이리스터 起動裝置

## 1. 머리말

· 최근 문제가 되고 있는 CO<sub>2</sub>에 기인하는 溫暖化에 대한 지구환경개선 및 에너지의 유효이용 등의 社會的 니즈로부터 發電設備 高 효율화의 욕구가 지금까지 이상으로 높아지고 있어 이 때문에 가스터빈을 사용한 콤파인드 사이클 發電이 급격하게 각광을 받게 되었다.

이와 같은 시장동향을 배경으로 하여 燃料溫度 高溫化 등에 의한 가스터빈의 대용량화 기술개발에 각자마다 격전을 벌이다시피 하고 있지만 가스터빈용 起動裝置도 대용량화되어 종래방식(예컨대, 전동기+토크 컨버터)에서는 토크 컨버터가 용량적으로 대응에 難題가 되어 왔다(그림 1(a) 참조).

이에 대응하기 위하여 미쯔비電機는 대용량의 가스터빈용 사이리스터 起動裝置를 개발하여 1992년 7월 일본에서는 최초로 실용화하는데 성공하여, 그후 순조롭게 가동되고 있으며 가스터빈 업계에서는 주목을 하게 되었다(그림 1(b) 참조).

사이리스터 起動方式은 가스터빈에 직결한 발

전기를 사이리스터로 저주파기동하는 방식이며, 하드웨어적으로는 揚水發電所, 高爐 블로어 등에서 쌓은 풍부한 경험을 기초로, 소프트웨어적으로는 三菱重工業과 三菱電機간의 긴밀한 협조하에 가스터빈 특유의 특성(예컨대, 착화후 가스터빈의 反抗토크가 대폭적으로 내려가는 것)을 충분히 살리는 방식으로서 경제성도 아울러 추구하였다.

## 2. 사이리스터 起動方式의 특징

사이리스터 起動方式은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

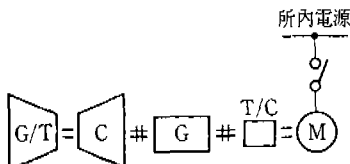
- (1) 기동장치의 대용량화가 가능하며 超大型 가스터빈(20만kW 이상)에도 대응이 가능하다.
- (2) 여러 대의 가스터빈에 대하여 1대의 기동장치를 교체하여 사용할 수 있어 경제적이다.
- (3) 기동용 전동기와 꼭 같은 동작으로의 起動이 가능하다.
- (4) 기동용 전동기 및 토크 컨버터가 불필요하

므로 軸方向 치수가 짧아진다(그림 1(b) 참조).

- (5) 이상과 같은 이유에 따라 발전 回轉子를 빼내는 작업이 간단하다.
- (6) 전동기 기동전류에 의한 電壓降下 등의 현상이 없고 전원계통 구성이 용이하다.
- (7) 出力의 증감(속도상승률의 증감)이 용이하여 制御性能이 보다 뛰어나다.

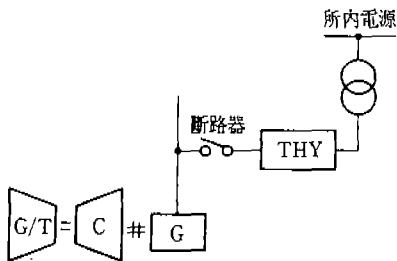
### 3. 基本原理

同期發電機를 同期電動機로 사용하여 사이리스터 起動裝置에 의하여 동기전동기를 낮은 회전수(터닝 회전수 3r/min)로부터 원활하게 저주파기



G/T : 가스터빈  
 C : 컴프레서  
 G : 발전기  
 T/C : 토크 컨버터  
 M : 모터

(a) 종래 방식



THY : 사이리스터 起動裝置

(b) 사이리스터 起動裝置에 의한 방식

<그림 1> 가스터빈 起動方式

동(속도상승)해 나간다.

또 저회전수 범위에서의 界磁를 확보하기 위하여 他勵磁方式을 채용할 필요가 있다.

사이리스터 기동장치(그림 2 참조)는 교류를 직류로 整流하는 컨버터, 平滑用直流 리액터, 직류를 저주파교류로 변환하는 인버터로 구성하고, 인버터는 동기전동기의 발생역기전압을 이용한 負荷轉流形 인버터(LCI)를 적용하였다.

동기전동기의 出力制御는 동기전동기의 단자전압 또는 입력전류중 어느 것이든 변화시켜서 할 수 있으며, 전동기 단자전압은 界磁制御에 의하여 행하고, 전동기 入力電流制御는 컨버터측 직류전압( $E_{dr}$ )을 높이고 낮추는 制御에 의하여 실시한다.

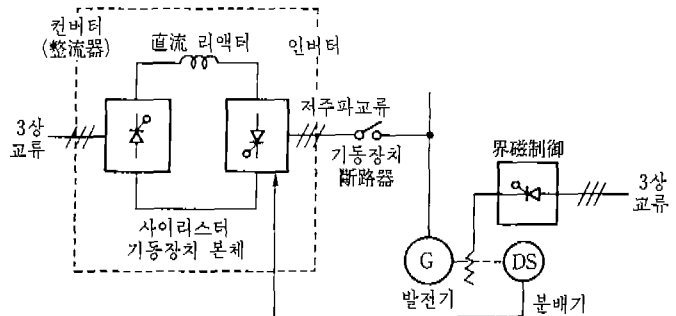
컨버터측 직류전압( $E_{dr}$ )은 인버터측 직류전압( $E_{di}$ )보다 直流通路의 抵抗 드롭 電壓分만큼 크게 制御된다( $E_{dr} \approx E_{di}$ ).

이 전압차  $\Delta V = E_{dr} - E_{di}$ 를 직류회로저항  $R$ 로 나눈 직류전류  $I_d$ 가 직류회로에 흐른다.

$$I_d = \frac{\Delta V}{R} = \frac{E_{dr} - E_{di}}{R} \quad (1)$$

인버터의 轉流制御는 발전기측에 달린 分配器(DS)의 출력에 同期된 點弧信號에 의하여 행하여진다.

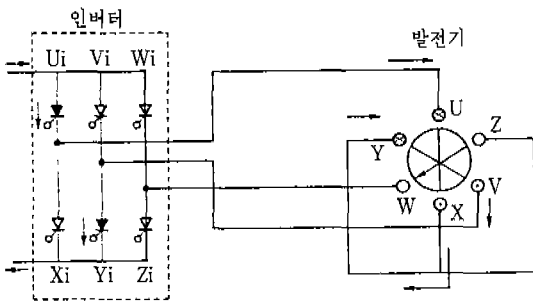
그림 3에 인버터 交流出力에 의하여 발전기에



<그림 2> 기본동작 機能

모 드	1	2	3	4	5	6
導 通	U <sub>i</sub>		V <sub>i</sub>		W <sub>i</sub>	
사이리스터	Y <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>		Y <sub>i</sub>	
전 류 방 향	U → X Y → V	U → X Z → W	V → Y Z → W	V → Y X → U	W → Z X → U	W → Z Y → V
回轉磁界의 方 向						

주) 사이리스터 轉流할 때마다 磁界는 60°씩 회전한다. 모드 1의 경우 通電모드 및 磁界의 방향을 그림에 표시한다.



<그림 3> 回轉磁界 발생원리

回轉磁界가 발생하는 메커니즘을 표시한다.

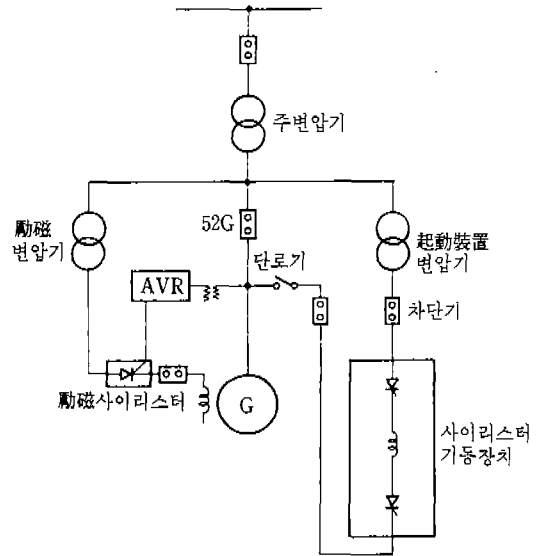
## 4. 가스터빈용 사이리스터 起動裝置

### 4.1 回路 構成

그림 4에 기동장치의 전원을 발전소 主回路에서 분기하고 또한 여자방식으로 사이리스터 勵磁方式을 채용한 回路의 일례를 나타낸다.

사이리스터 起動裝置 出口에는 발전기 주회로와 접속하기 위한 단로기를 설치한다. 가스터빈의 기동완료후 발전기 주회로에서 기동장치를 분리하지만 사이리스터의 게이트 차단후 회로에서 분리하므로 단로기로 충분하다.

장치 입구측에는 장치 내부 電氣事故遮斷 및 裝置



<그림 4> 回路構成

를 투입/차단하기 위하여 차단기를 설치한다.

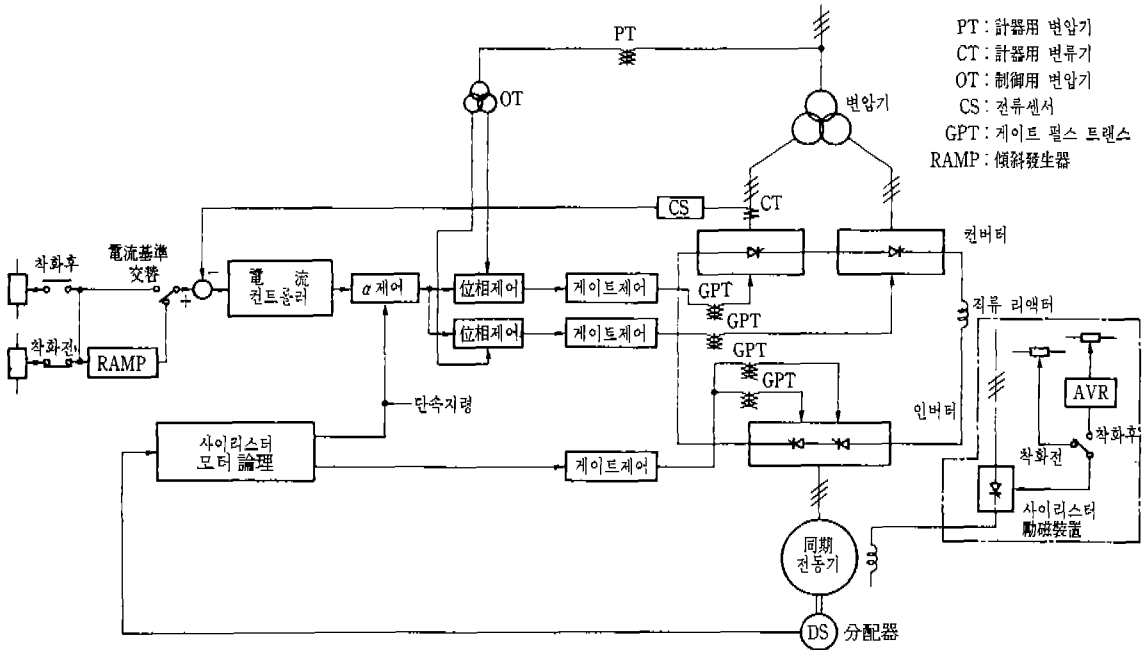
### 4.2 사이리스터 起動裝置 仕様

#### (1) 仕様・構成

- 入力變壓器 5000kVA 油入自冷  
12.5/1.25/1.25kV  
3상 3권선  
△/△/△
- 사이리스터 起動裝置 AC 2,300V  
AC 880V  
3,506kVA

또한 出力 kW는 동기발전기의 역률이 회전수와 함께 변동하기 때문에 정의는 할 수 없지만 가스터빈 開放速度(2,000r/min)에 있어서 2,300~2,380kW를 계측하고 있다.

- 直流 리액터 DC 2,600V  
DC 1,080A



<그림 5> 사이리스터 起動裝置制御 블록도

4mH(空心 리액터)

(2) 裝置의 정격은 다음에 의하여 결정

- 電 壓 : 2,300V  
 착화회전수를 600r/min로 하여, 발전기의 V/Hz를 일정하게 하기 위해서는  

$$\frac{12.5kV}{50Hz} \square \frac{12.5kV}{3,000r/min} = \frac{V}{600r/min}$$
 $V=2.5kV \Rightarrow 2.3kV$ 로 하였다.
- 電 流 : 880A(발전기측으로부터의 제한사항)

### 4·3 블록도

사이리스터 기동장치에의 制御 블록도를 그림 5에 표시한다.

基本制御는 電流一定制御이다. 다음에 설명하는 바와 같이 착화전과 착화후의 전류치가 다르

기 때문에 전류설정치는 2회로 교체로 되어 있으며 컨버터측 직류전압제어로 裝置 出力電流를 制御한다. 인버터측은 分配器 출력신호에 의해 點弧한다. 동기전동기의 회전수가 낮은 동안은 역기 전압도 낮아 負荷轉流形 인버터(LCI)가 轉流하지 않기 때문에 “사이리스터 모터 論理”부에 의해 판정하며, 컨버터측에서 강제로 전류를 차단해서 인버터측 轉流를 가능하게 한다(斷續轉流方式).

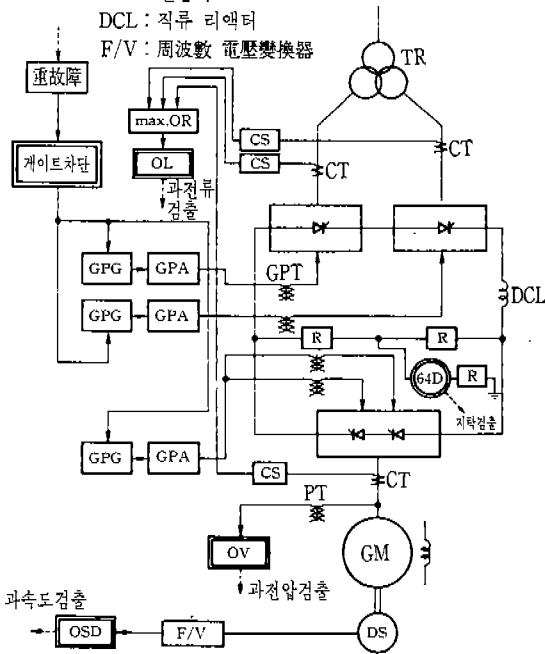
사이리스터 기동장치의 보호계통 블록도를 그림 6에 표시한다.

사이리스터裝置의 重故障 保護로서는

- (1) 과전압 OV
- (2) 과전류 OL(瞬時과전류 및 長限時)
- (3) 과속도 OSD(기동완료후의 裝置分離 실패)
- (4) 지락 64D

를 검출하고 있다.

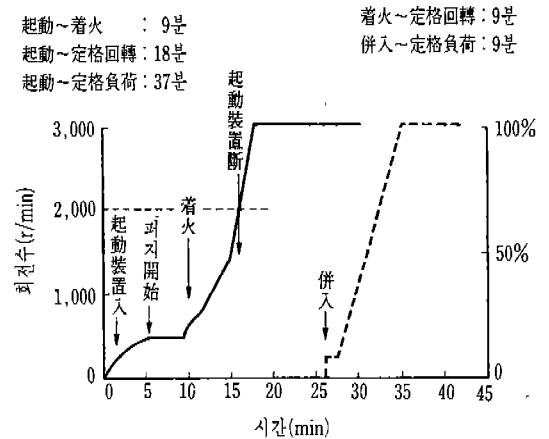
GPG : 게이트 펄스 발신기  
 GPA : 게이트 펄스 앰프  
 GM : 同期發電動機  
 TR : 변압기  
 DCL : 직류 리액터  
 F/V : 周波數 電壓變換器



<그림 6> 사이리스터 保護 블록도

을 이용하여 그림 8에 표시하는 것과 같이 착화 후의 기동장치 出力토크를 회전수의 상승에 맞추어 저하시켜(出力토크×회전수, 즉 裝置出力을 일정하게 유지), 기동장치의 정격출력을 최소로 하여 경제성을 추구하고 있다.

착화전의 가스터빈內 및 排氣系 퍼지 때문에



<그림 7> 가스터빈 昇速·昇負荷特性

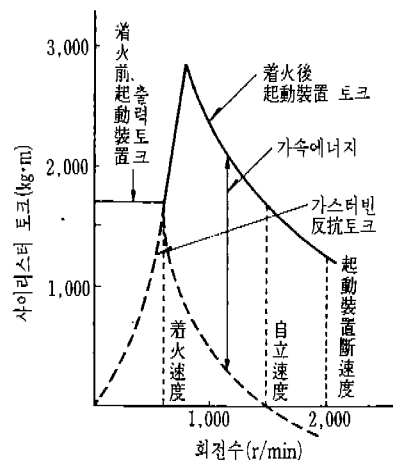
#### 4.4 가스터빈 起動特性

가스터빈 기동후, 전부하에 도달하는 시간은 비교적 단시간이며 그림 7에 표시하는 것과 같은 昇速·昇負荷特性이 설정되어 있다.

사이리스터 기동장치는 가장 섬세한 制御를 요하는 기동에서부터 착화후 自立速度에 도달할 때까지의 범위에 사용되고 있다.

이 裝置의 出力이 너무 크면 착화불안정, 연소 불완전 등을, 또 出力이 너무 적으면 승속시간 부족, 배출가스 온도상승(=터빈 入口 가스 온도상승) 등을 초래하므로 가장 주의해서 설계를 할 필요가 있다.

또한 착화후 가스터빈 反抗토크가 내려가는 것



<그림 8> 사이리스터 起動裝置 出力特性

<표 1> 사이리스터 起動裝置 出力特性

	출력특성	전 류	전 압	비 고
착화전	定토크	일 정	回轉數에 비례	착화회전수에 맞추어 電流를 조정. V/Hz를 일정하게 유지하기 위해 전동기 계자전류 일정
착화후	定出力	일 정 (착화전보다 약간 큼)	일 정	定出力(토크와 회전수를 곱한 것이 일정)이기 때문에 畚回轉數帶에서 전류×전압의 값이 일정(kVA 일정)해져 경제적

수분간 퍼지運轉을 실시한다. 이 회전수는 가스터빈 反抗토크가 동등해진 곳에서 행해지며 착화회전수에 맞추고 있다. 표 1에 사이리스터 기동장치 出力特性을 표시한다.

#### 4.5 가스터빈 起動 플로차트

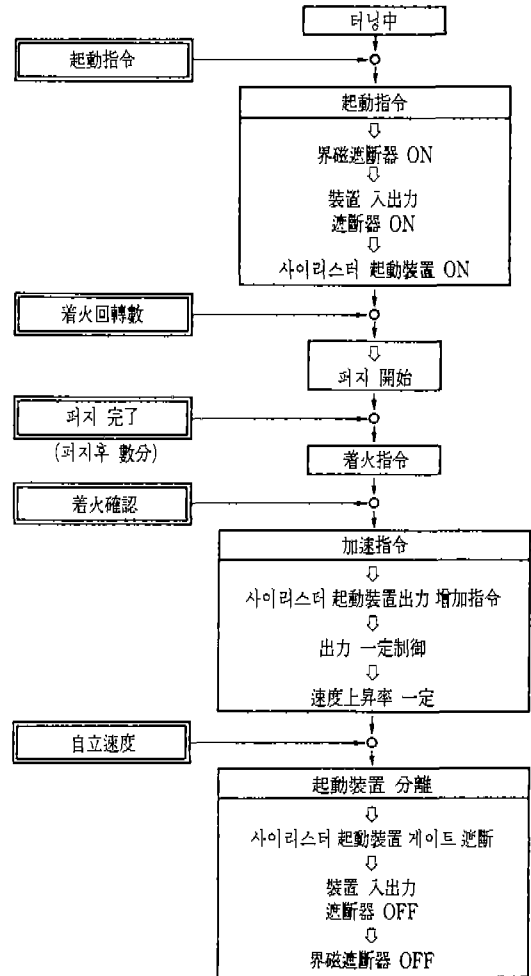
가스터빈의 昇速, 昇負荷는 完전자동화를 목표로 하고 있다. 이들 自動 시퀀스 制御裝置의 지시를 받아 그림 9에 표시하는 바와 같이 작동된다.

### 5. 試運轉 결과

사이리스터 기동장치를 大容量 가스터빈 및 발전기와 조합시켜서 實機檢證을 실시하여 트러블도 없고 순조롭게 가동중이지만 특기할 점을 열거하면 다음과 같다.

(1) 사이리스터 起動裝置 정격출력 過不足 검증 시운전 결과 및 그 후의 운전실적에 의하여 개발시의 餘裕值 25%는 불필요한 것을 확인했다.

(2) 시운전 조정이 옹이 전동기+토크 컨버터를 사용하는 재래방식에서는 착화회전수 調整을 위한 토크 컨버터의 오리



<그림 9> 가스터빈 起動 플로차트

피스 交換에 시간이 걸린다는가 승속 도중에 있어서의 토크의 증감이 불가능했으나 이들에 대한 배려가 불필요해졌다.

(3) 발전기 온도 上昇值

低回轉數에 있어서는 블로어 能力이 저하하여 회전자나 고정자권선의 냉각을 기대할 수 없다. 또 사이리스터 기동장치 出力에 포함되는 高周波 電流에 의해 회전자 표면에 渦電流損이 생기는

등으로 인하여 발전기내 온도상승이 예측된다. 전자에 대해서는 規格許容値의 1/4 이하를 실측하고 있으며, 후자에 대해서는 회전자 표면온도의 실측이 곤란하지만 주로 設計許容値의 약 1/2인 것을 확인하고 있다.

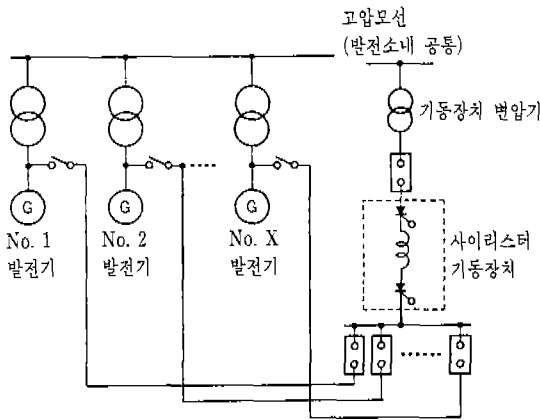
## 6. 기 타

### (1) 複數臺의 가스터빈 플랜트에서의 사이리스터 起動裝置 적용에

複數臺의 가스터빈에 대하여 그림 10의 回路圖 예시와 같이 1臺의 기동장치를 交替해서 사용할 수 있기 때문에 경제적이다.

### (2) 高周波가 전원계통에 주는 영향에 대하여

사이리스터 기동장치는 整流負荷이기 때문에 고주파를 발생하여 전원계통에 접속되어 있는 다



<그림 10> 複數臺 가스터빈 플랜트에서의 적용예

<표 2> 전원에서의 許容高周波 電壓歪率

電壓	$V_n$
154kV 라인	0.5%
66kV 라인	1 %

<표 3> 전류부하의 高周波電流 含有率

차 수	6 상	12 상	24 상
5	17.5	(2.0)	(2.0)
7	11.0	(1.5)	(1.5)
11	4.5	4.5	(1.0)
13	3.0	3.0	(0.75)
17	1.5	(2.0)	(0.2)
19	1.25	(0.5)	(0.15)
23	0.75	0.75	0.75
25	0.75	0.75	0.75

주) ( )안은 비논리 고주파

른 전기기계기구에 영향을 줄 가능성이 있다.

高周波에 의한 電壓歪率에 대한 허용치 규격은 없고 關係적으로 표 2와 같이 정해져 있다.

사이리스터 기동장치의 전원변압기 1차측에는 표 3에 표시하는 高周波電流가 발생하지만 이것에 전원계통측 임피던스를 곱해서 高周波電壓 및 電壓歪率을 구할 수 있다.

전원계통측 임피던스는 기동장치의 설치점에 따라서 다르며, 實證試驗 시점에서는 0.058%의 歪率이었다(0.5%의 許容歪率).

## 7. 맺음말

가스터빈의 大容量化에 수반하는 사이리스터 기동장치 실용화에 성공했지만 금후 기술향상에 의한 가스터빈의 大容量化와 함께 사이리스터 起動裝置의 수요도 증가할 것으로 확신한다.

실적을 중시하면서 더욱 검토를 해서 보다 大容量化, 고신뢰성 및 경제성의 확보를 위하여 노력할 생각이다.

本稿는 日本 三菱電氣(株)의 諒解下에 번역한 것으로서 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.