



키며, 배기 개스중의  $O_2$ 량이 줄어들어 보일며 저온부 금속의 부식을 억제하면 공해요소인  $NO_x$ ,  $SO_x$  생성을 억제하는 등 효과가 크다.

증기 과잉을 제어는 부하증가는 공기량증가를 선행시키고, 부하감박시는 역으로 연료량의 감소를 선행제어 한다.

즉 Air Rich 회로를 채용하고 있다.

○ 급수제어

드럼형 보일러는 드럼수위, 증기 및 급수유량으로 이루어지는 3요소식 급수제어 방식을 채용한다. 급수제어는 증기유량의 변화(부하변화)에 대하여 급수유량을 제어하고, 드럼수위를 설정수위와 비교, 그 편차에 의해보일러로 공급되는 급수량을 재조정 하는데 있다.

급수 펌프는, 전동기 구동 펌프와 터빈 구동 펌프 2종류가 있으며 전동기 구동 펌프는 기동시 또는 적부하시, 터빈 구동 펌프는 정상 운전시에 급수량을 공급한다.

○ 증기온도 제어

- 주증기 온도 제어

주증기 온도 제어는 응답이 늦기 때문에 온도 편차에 의한 제어로서는 증기온도를 규정치로 유지하기가 어려우므로 이 증기온도의 변화지표가 되는 증기유량을 더하고, 감온기에서 감온된 증기가 2차 과열기를 통과하는데 걸리는 시간지연을 고려하여 2차 과열기 입구 온도를 검출, 미분하여 이 온도의 변화율을 취하여 감온기를 제어한다.

- 재열증기 온도 제어

재열기 출구 온도를 규정치내로 유지하기 위하여 연소 개스 재순환량, 버니 Tilt, 개스분배 Damper 및 재열증기 Spray 를 조절하는 방식등을 병용하고 있다. 먼저 버니 Tilt 를 제어하고 버니 Tilt 가 규정위치에 도달하면 개스 재순환 및 개스분배 Damper 제어가 이루어지고 최종적으로 재열증기 Spray 변으로 제어되어 재열증기 온도를 제어하게 된다.

2. 터빈제어

터빈 조속기는 터빈의 부하변동에 따라 그 속도 및 출력을 제어한다. 터빈에 유입되는 입력조각이 일정할 때 부하가 변하면 터빈의 회전수가 변하게 된다. 따라서 회전수를 일정 변동폭 이내로 조정하기 위하여 속도 변화를 검출하여 입력량

을 가감하는 조속기를 Hardware 측면에서 분류해 보면 기계유압식, 전기유압식 및 전자유압식으로 분류된다. 여기서는 전자유압식 (EHC: Electronic Hydraulic Control)으로 된 증기터빈 조속기에 대하여는 하고자 한다.

○ EHC 의 구성

EHC 계통은 증기 조절밸브(9V), Intercept 밸브(ICV)등의 주증기 유입을 가감하는 제어부와 터빈의 위험상태를 검출하여 터빈을 정지시키는 보호부로 구성되어 있다. 제어부는 그림 2에서와 같이 속도 제어, 부하제어 및 밸브위치 제어로 나누어진다.

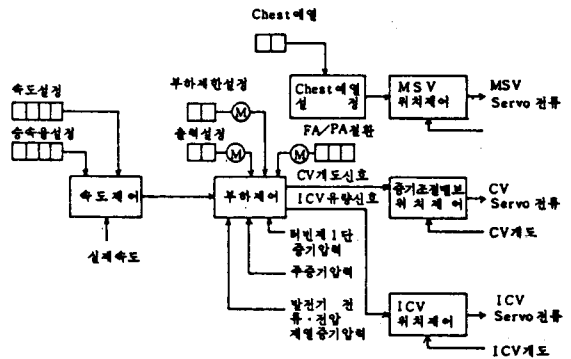


그림 2 EHC 제어연산부 계통도

○ 제어원리

속도제어는 속도 설정치와 실제속도와 의 편차, 승속을 설정치와 실제 승속과의 편차를 연산하여 부하제어로 출력한다. 그리고 부하제어 회로는 입력된 속도 편차 신호와 출력설정신호 및 부하 제한신호에 의하여 증기조절 밸브개도를 조작하는 신호와 ICV 유량신호를 연산하여 내보낸다.

또한 밸브위치 제어는 부하제어로 부하의 개도 및 유량지정 신호를 취하여 실제의 밸브개도와 의 편차신호를 연산하여 밸브개도를 조절한다.

4. Plant 제어

○ Plant 제어방식에는 보일러 추종 제어 터빈 추종 제어 및 터빈 - 보일러 협조제어 3가지로 구분된다. 보일러 추종 제어는 그림 3에서 보여준듯이 부하추종성이 뛰어난 반면, 보일러가 불안하여 터빈 추종 제어는 부하 추종성은 미흡하나 안정된 운전을 할 수 있다. 터빈 - 보일러 협조제어는 2방식의 장점을 삼된 운전방식이다.

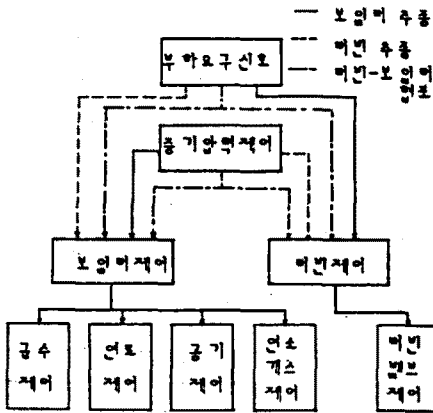


그림 4 Plant 제어도

○ 주파수 제어: 주파수 제어를 위한 부하제어는 그림 4에서 보여주는 바와 같이 부하변동의 크기에 따라

- 20분 이상의 장주기 부하제어는 ELD 운전
- 10분 내외의 주기는 자동제어발전(AGC) 운전
- 2분 이내의 단주기 변화는 Governor Free 운전
- 수십초 내의 단주기 변화는 기계적응동에 의하여 부하제어를 하여 주파수를 유지시킨다.

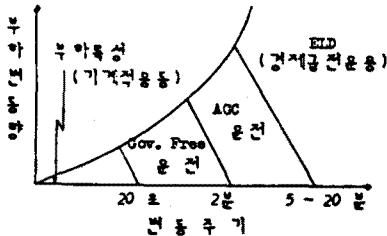


그림 5 제어분담 개략도

5. 조정시험 및 특성개선

5-1. 1983년에 전 발전소를 대상으로 시행한 주파수변화에 대한 발전기 출력응동 상태의 실측결과를 근거로, 제어설비의 특성이 불량한 제어설비를 재조정 시험하여 동특성을 개선하고 각 발전소

마다의 조속기 자동 운전상태를 양호하게 하여, 응동부하범위를 확정한 정격부하의 100 - 50%, 수력은 100 - 40% 까지 응동폭을 향상시키고자 한다.

연구항목

구분	항목	기준치			비고	
		수	화	원		
비인코더기	속도조정율(%)	3	4~5	60		
	불감대(Hz)	기계식	0.06	0.06	0.06	
		전기식	0.03	0.03	0.03	
	출력변동율(%/Min)		출용:4.5 혼소:3.0			
주파수변화에 대한 발전응동량(% MW/0.1 Hz)	1.0	1.0	1.0	계통정수 10%/Hz		
보일러 제어제동	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주증기 압력, 온도, 유량제어</li> <li>○ 드럼수위제어</li> <li>○ 급수유량제어</li> <li>○ 연료유량제어</li> <li>○ 공기유량제어</li> <li>○ Smoke density</li> </ul>				안전허용 범위이내 유지	

5-2. 조속기 정수 계산

○ 속도 조정율(SR: Speed Regulation): 각 부하별로 주파수변화와 그 변화에 대한 발전출력응동량을 측정하여, 주파수변화분 ΔF 과 출력변화분 ΔP를 산정, 아래 공식에 의해 계산한다.

$$SR = \frac{\Delta F}{F_N} \div \frac{\Delta P}{P_N} \times 100(\%)$$

여기서  $F_N$ : 기준주파수  
 $P_N$ : 발전기 정격출력

○ 불감대(DB: Dead Band): 주파수 변화에 대한 발전기 출력응동강도를 나타내는 수치로서 다음 공식에 의해 산정한다.

$$DB = \frac{\Sigma \Delta F}{N} \times \frac{1}{2} (\text{Hz})$$

여기서 ΔF: 임의 출력에서의 출력증가시와 감소시의 주파수 편차

N: 측정횟수

○ 주파수 대부하응동량(PF)

속도조정율 산출점에서 계통의 주파수 0.1 변화에 해당하는 출력변동량을 산출한 것으로 다음과 같이 계산한다.

$$PF = \frac{\Delta P}{\Delta F} \times \frac{0.1}{P_N} \times 100(\%)$$

여기서 ΔF: 주파수 변동량

ΔP: 출력 변동량

5-3. 보일러 자동제어계 특성 조정시험

○ 보일러 제어계의 최적조정

발전발전소 제어는 설정치가 정해지면 그 설정

지는 거의 변경되지 않는 정치제어가 사용된다.

제어계의 외란은 부하변동이라고 볼 수 있으며 제어계의 외란이 발생되었을 때 제어량이 설정치에 작도록 조절기의 조정량을 가감하여 최적제어가 되도록 한다.

이러한 최적제어 조정방법으로는 표 2와 3에 주어진 Ziegler - Nichols 의 실험식에 주로 따른다.

표 2 : 계단응답의 Ziegler-Nichols 의 조절계수

제어기 이득	K	$T_I$	$T_D$
P	$1/RL$		
PI	$0.9/RL$	$3.3L$	
PID	$1.2/RL$	$2L$	$0.5L$

\* R: Process 응답량 L: 불감시간(Hin)

표 3 : 한계 감도법

제어기 이득	K	$T_I$	$T_D$
P	$0.5 G_u$		
PI	$0.45 G_u$	$P_u/1.2$	
PD	$0.6 G_u$		$P_u/8$
PID	$(0.6-0.9)G_u$	$P_u/2$	$P_u/8$

$G_u$  : 진동시 제어기의 이득 설정치

$P_u$  : 제어량의 진동주기

## 6. 결 과

### 6-1. 화력 발전소

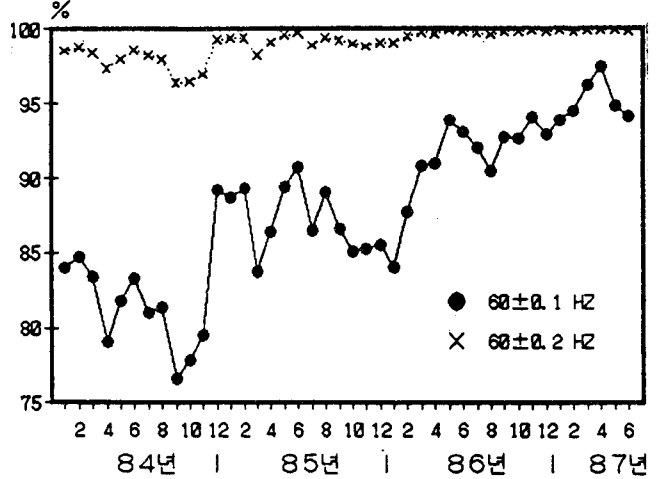
인천화력 제1호기의 16개 Unit 의 발전소에 대한 Governor Free 운전 및 동특성시험(Load Swing Test)을 통하여, 보일러 자동제어계의 동특성 개선과 제어설비의 개조·개선, 터빈 조속기의 성능을 개선함으로써 불감대를 줄이고 속도조정을 외 최적설정, Governor Free 운전가능 범위 결정 및 각 발전소별로 부하변동율을 설정하고, 설비상 운전한 계내에서 계통주파수 변화에 대해 발전기 부하응동량을 최대로 하였다.

### 6-2. 수력 발전소

판당수력 제1호기를 포함한 11개 Unit에 대하여 부하별 Governor Free 운전시험과 조속기회분해점검을 통하여 성능을 개선하였고 계통주파수 변화에 대한 출력응동량이 최대인 부하를 선정하여 운전하게 하고, 설비의 노후 및 특성상 Governor Free 운전이 불가능한 발전소에 대해서는 자동제어발전을 할 수 있도록 회로를 변경

하였다.

\*\* 계통주파수 유지실적(84.1-87.6) \*\*



## 7. 결 론

우리나라 발전제어 설비는 매우 다양하며 제어특성 또한 설비만큼 다양하며, 설비의 진단, 조정 시험 및 개조 개선에 많은 시간을 요하고 있다. 거의 모든 발전소는 에너지자립과 경제성만을 고려하여 부하 추종성이 불량한 기저부하(Base Load)용으로 건설되었으며, 더구나 부하주파수 제어성이 없는 원자력 발전에 의한 전력공급이 50%를 넘고 있다. 본 프로젝트를 시작하기전 주파수 유지실적(60 ± 0.1 Hz)이 약 80%에 머물렀었다. 연구가 시작되면서 대응량 유연한 발전소의 제어설비 개조, 개선 및 동특성 개선으로 Governor Free 운전, 일일정지-기동, 주말정지 등의 운전과, 수력발전소의 조속기 성능 개선에 따른 Governor Free 운전 및 AGC 운전 부하변위의 확대로 1987년 6월말 현재 주파수 유지실적이 97%에 이르고 있으며, 1990년대는 선진국 수준의 60 ± 0.05 Hz 이내의 편차로 양질의 전력을 공급할 수 있으리라 본다.