

창립

40주년학술대회

논문 87-C-20-5

제동 주파수 제어를 위한 발전제어 특성 개선

이 성광 송성일
한전 기술연구원 자동제어 연구실

The study of Line - frequency Control in performance improvement of plant Control system.

SUNG KHANG HUR SEONG IL SONG
Dept. of Automatic Control, KEPCO Research Center

Abstract

This study is concerned with the improvement of the Automatic Boiler Control and Turbine Governor system to maintain line - frequency within 60 ± 0.1 Hz. This describes the current problems of plant control system, the method and equipments to be developed for each plant based on the experimental test were carried out at field, and, lastly, the results of the study with the progress of it.

1. 서론

우리나라 전력수요는 국민의 생활여건, 노동조건 및 의식구조등의 변화로 선곡형으로 변하고 있다. 전력공급 또한 선진국 수준의 양질의 전력을 공급하기 위하여 계통의 주파수를 60 ± 0.1 Hz 이내로 개선·유지하고자 한다.

우리나라의 전력계통은 60년대 전원개발을 우선으로 수주 확장(水主火從) 시대, 에너지 부동으로 인한 탈수정책으로 대형석탄화력 및 원자력건설의 70년대 火主水從 시대를 거쳐 현재는 경제급전을 위한 原主火從 시대에 접어들었다.

이러한 추세로 전력계통을 운영함으로써 다음과 같은 문제점을 초래하게 되었다.

- 대용량 원자력 발전의 증가에 의한 기저부하 공급설비 증가 (주파수 제어 곤란)
- 경제급전으로 인한 주파수 제어가 원활한 유전소 발전의 강조
- 발전제어 설비의 노후 및 속응성 부족
- 주·야간 계통부하의 심한 변동

이러한 문제점을 해결하고 주파수질의 향상을 위해 기존 기저부하용 기력 발전소를 일일정지-

기동 및 주발정지 - 기동 방식으로 운전하고, 보일러 제어계의 최적조정, 급전지령소의 자동발전운전 및 자동주파수 제어운전의 범위를 확대하며, 특히 터빈 조속기 계통의 불감대를 축소하고, 부하증상 양상을 위한 자동주파수 제어기와 자동부하추종장치를 추가 설치하여 터빈 조속기의 속도조정율을 최적점에 설정·운전함으로써 계통의 주파수를 고정도의 주파수로 유지하고자 한다.

2. 보일러 제어

보일러 제어는 연소제어, 금수제어, 증기운도제어 및 압력제어 등으로 이루어지며, 터빈에서 요구하는 증기조건을 충분히 만족시킬 수 있도록 보일러를 제어한다. 보일러 제어계통의 입·출력양은 그림 1에서 보여준다.

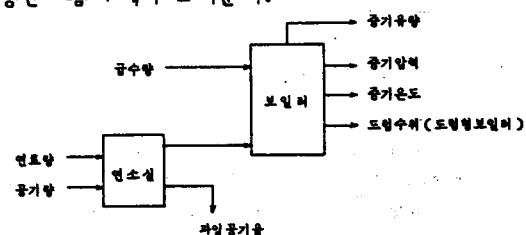


그림 1 보일러의 입·출력 관계

◦ 증기압력제어

도형형 보일러에서 압력제어계는 설정압력과 실제압력과를 비교하여 이 면차가 있도록 보일러 마스터를 제어한다. 증기유량의 변동이 생길 때는 그 변동분에 대하여 선형적으로 연료량을 변화시켜 증기압력의 변동을 미리 억제하도록 제어를 한다.

◦ 공기제어

보일러의 저공기 과잉을 예방하는 배기개스의 열손실을 저하시키고 보일러 효율을 향상시

이며, 배기 가스 중의 O_2 량이 줄어들어 보일 때 저온부 금속의 부식을 억제하며 공해요소인 NO_x , SO_x 생성을 억제하는 등 효과가 크다.

직공기 과잉을 제어는 부하증가시는 공기량 충가를 선행시키고, 부하감발시는 역으로 연료량의 감소를 선행하여 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 면차에 의해 보일러로 공급되는 급수량을 조정하는데 있다.

급수펌프는, 전동기구동 펌프와 터빈 구동 펌프 2종류가 있으며 전동기 구동 펌프는 기동·시 또는 체부하시, 터빈 구동 펌프는 정상 운전시에 급수량을 공급한다.

○ 증기온도제어

- 주증기 온도제어

주증기 온도 제어기는 응답이 늦기 때문에 온도 면차에 의한 제어로서는 증기온도를 규정치로 유지하기가 어려우므로 이 증기온도의 변화지표가 되는 증기유량을 더하고, 같은 기에서 강운된 증기가 2차 곡열기를 통과하는데 걸리는 시간지연을 고려하여 2차 곡열기 입구온도를 검출, 미분하여 이 온도의 변화율을 취하여 같은 기를 제어한다.

- 재열증기 온도제어

재열기 출구온도를 규정치내로 유지하기 위하여 연소가스 재순환량, 버니 Tilt, 개스분배 Damper 및 재열증기 Spray를 조절하는 방식 등을 병용하고 있다. 먼저 버니 Tilt를 제어하고 버니 Tilt 가 규정위치에 도달하면 개스 재순환 및 개스분배 Damper 제어가 이루어지고 최종적으로 재열증기 Spray변으로 제어되어 재열증기 온도를 제어하게 된다.

2. 터빈제어

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

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.

○ EHC의 구성

EHC 계통은 증기 조절밸브(GV), Intercept 밸브(ICV)등의 주증기 유입을 가감하는 제어부와 터빈의 위험상태를 검출하여 터빈을 정지시키는 보호부로 구성되어 있다. 제어부는 그림 2에서와 같이 속도제어, 부하제어 및 밸브위치 제어로 나누어 진다.

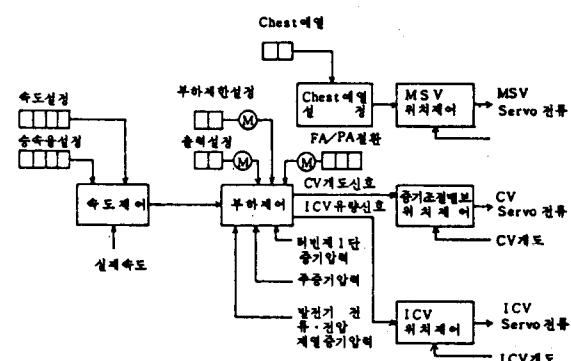


그림 2 EHC 제어연산부 계통도

○ 제어원리

속도제어는 속도설정치와 실속도와의 면차, 속도를 설정치와 실제 속도와의 면차를 연산하여 부하제어로 출력한다. 그리고 부하제어 회로는 입력된 속도면차 신호와 출력설정신호 및 부하제한 신호에 의하여 증기조절밸브개도를 조작하는 신호와 ICV 유량신호를 연산하여 내보낸다.

또한 밸브위치 제어는 부하제어로 부터의 개도 및 유량지정 신호를 취하여 실제의 밸브개도와의 면차신호를 연산하여 밸브개도를 조절한다.

4. Plant 제어

Plant 제어방식에는 보일러 추종제어 터빈 추종제어 및 터빈 - 보일러 협조제어 3가지로 구분된다. 보일러 추종제어는 그림 3에서 보여주듯이 부하추종성이 뛰어난 반면, 보일러가 불안하여 터빈 추종제어는 부하 추종성이 미흡이나 안정된 운전을 할 수 있다. 터빈 - 보일러 협조제어는 2방식의 장점을 살린 운전방식이다.

계통주파수 제어를 위한 발전제어 특성 개선

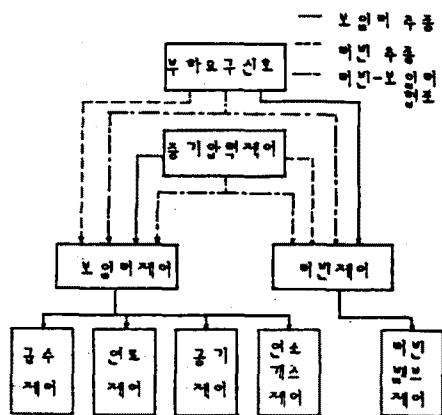


그림 4 Plant 제어도

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

- 20분 이상의 장주 기 부하제어는 ELD 운전
- 10분 내외의 주기는 자동 제어 발전(AGC) 운전
- 2분 이내의 단주 기 변화는 Governor Free 운전
- 수십초 내의 단주 기 변화는 기계적 운동에 의하여 부하제어를 하여 주파수를 유지시킨다.

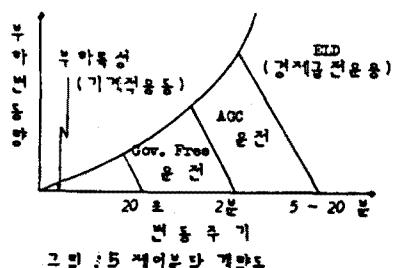


그림 5 제어분당 계약도

5. 조정시험 및 특성개선

5-1. 1983년에 전 발전소를 대상으로 시행한 주파수 변화에 대한 발전기 출력 운동 상태의 실험 결과를 근거로, 제어설비의 특성이 불량한 제어설비를 재조정 시험하여 동특성을 개선하고 각 발전소마다의 조속기 자동 운전상태를 양호하게 하여, 용동부하법위를 확역은 정격부하의 100 - 50%, 수역은 100 - 40% 까지 용동폭을 향상시키고자 한다.

구 분	항 목	기 준 치			비 고
		수 량	화 력	월자체	
제 동	속도조정률 (%)	3	4~6	0.06	
	물 강 대 (Hz)	0.06	0.06	0.06	
	전 기 속	0.03	0.03	0.03	
	출력변동률 (%/Min)		증율: 4.5 감소: 3.0		
	주파수변화에 대한 발전률(%) (% MW / 0.1 Hz)	1.0	1.0	1.0	제동정수 10%/Hz
보 일 터	제어제동	◦ 주파기 압력, 온도, 유량제어 ◦ 드릴수위제어 ◦ 금수유량제어 ◦ 연료유량제어 ◦ 공기유량제어 ◦ Smoke density			운전허용 범위이내 유지

5-2. 조속기 정수 계산

◦ 속도 조정률(SR: Speed Regulation) : 각 부하별로 주파수변화와 그 변화에 대한 발전률(%) 즉 출력변동률을 계산하여, 주파수변화분 ΔF 과 출력변화분 ΔP 을 산정, 아래 공식에 의해 계산한다.

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

여기서 F_N : 기준주파수
 P_N : 발전기 정격출력

◦ 물간대(DB: Dead Band) : 주파수 변화에 대한 발전기 출력 운동 강도를 나마내는 수치로서 다음 공식에 의해 산정한다.

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

여기서 ΔF : 임의 출력에서의 출력증가시와 감소시의 주파수 편차

N : 측정횟수

◦ 주파수 대부하운동량(PF)

속도조정률 산출정에서 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

화력발전소 제어는 설정치가 정해지면 그 설정

치는 거의 변경되지 않는 정치제어가 사용된다.
제어계의 외관은 부하변동이라고 볼 수 있으며
제어계에 외관이 발생되었을 때 제어량이 설정치
에 따르도록 조절기의 조정량을 가감하여 최적제
어가 되도록 한다.

이 어한 최적제어 조정방법으로는 표 2와 3에
주어지는 Ziegler - Nichols 의 실험식에 주로 따
른다.

표 2 : 계단응답의 Ziegler - Nichols 의
조절계수

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

* R: Process 응동량 L: 불감시간(H:m)

표 3 : 한계 강도법

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

G_u : 진동 시 제어기의 이득 설정치

P_u : 제어량의 진동주기

6. 결 과

6-1. 화력 발전소

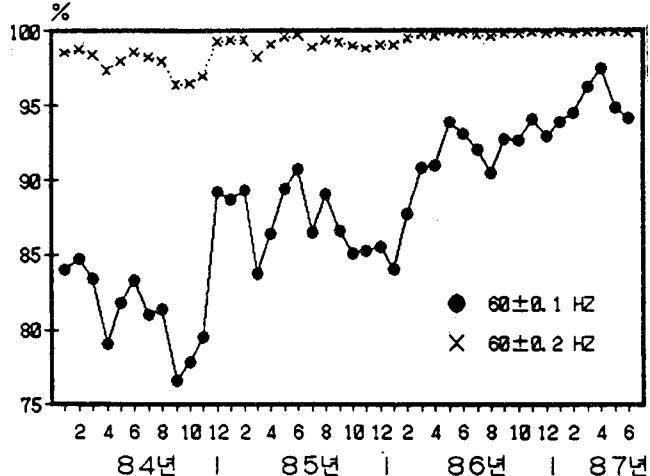
인천화력 제1호기의 16개 Unit 의 발전소에 대한 Governor Free 운전 및 통특성시험(Load Swinging Test)을 통하여, 보일러 자동 제어계의 동특성 개선과 제어설비의 개조·개선, 터빈 조속기의 성능을 개선함으로써 불감대를 줄이고 속도 조정을 위한 최적설정, Governor Free 운전 가능 범위 결정 및 각 발전소별로 부하변동율을 설정하고, 설비상 운전한 계내에서 계통 주파수 변화에 대해 발전기 부하응동량을 최대로 하였다.

6-2. 수력 발전소

수당수력 제1호기를 포함한 11개 Unit에 대해
여부에 따른 Governor Free 운전시험과 조속기의
분해점검을 통하여 성능을 개선하였고, 계통 주파
수 변화에 대한 출력 응동량이 최대인 부하를 산
정하여 운전하게 하였고, 설비의 노후 및 특성상
Governor Free 운전이 불가능한 발전소에 대해
서는 자동 제어발전을 할 수 있도록 회로를 변경

하였다.

** 계통주파수 유지실적(84.1~87.6) **



7. 결 론

우리나라 발전제어 설비는 매우 다양하여 제어
특성 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 제

어성이 없는 원자력 발전에 의한 전력공급이 50%
를 넘고 있다. 본 프로젝트를 시작하기 전 주파수
유지실적 ($60 \pm 0.1 \text{ Hz}$) 이 약 80%에 머물렀었
다. 연구가 시작되면서 대용량 유연탄 발전소
의 제어설비 개조, 개선 및 통특성 개선으로
Governor Free 운전, 일일정지 - 기동, 주말정지
등의 운전과, 수력발전소의 조속기 성능 개선에 따른
Governor Free 운전 및 AGC 운전 부하범위의 확
대로 1987년 6월말 현재 주파수 유지실적이 97%
에 이르고 있으며, 1990년대는 선진국 수준의
 $60 \pm 0.05 \text{ Hz}$ 이내의 편차로 양질의 전력을 공급할
수 있으리라 본다.