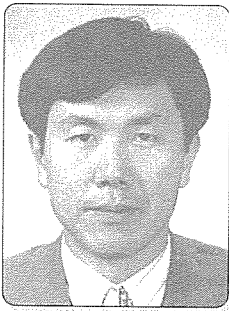


증기터빈 제어시스템의 구성과 기능

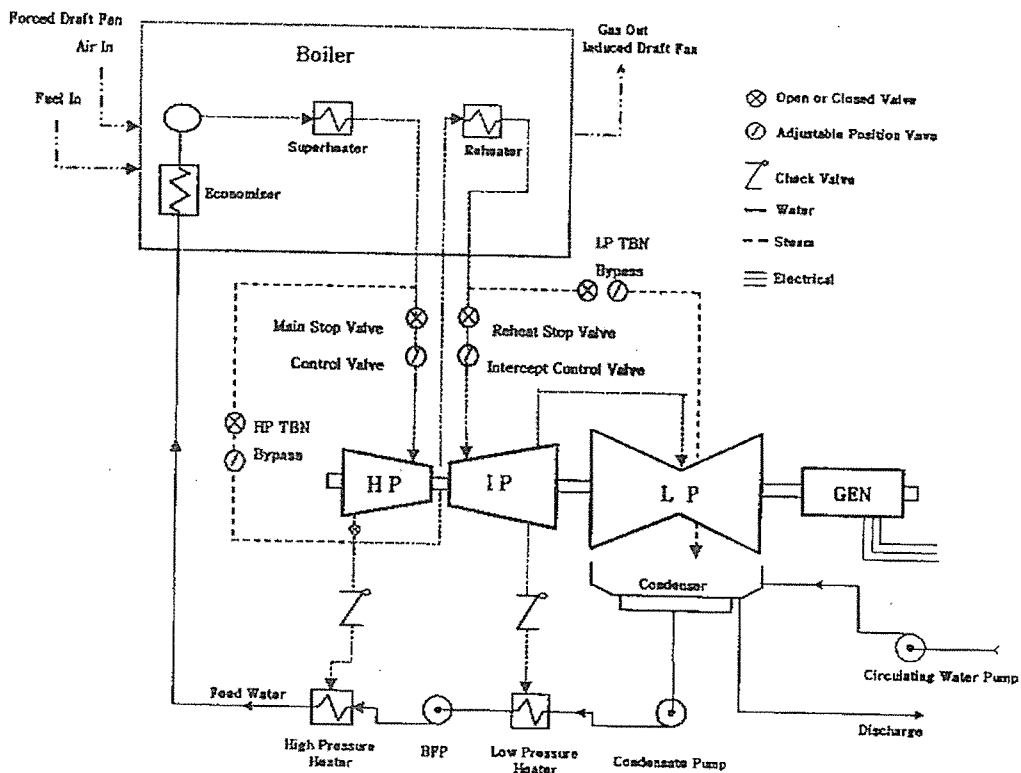
Control functions in the digital turbine control systems



한전전력연구원 발전연구실 발전계전그룹
 선임연구원 과장 김 중 안
 T : (042) 865 - 5252

1. 머리말

최근의 터빈제어시스템은 컴퓨터를 이용한 디지털 신호처리 시스템과 전기신호를 유압신호를 변환시키는 Electro-Hydraulic 서보밸브, 그리고 유압식 액츄에이터를 결합한 방식이 주로 채용되고 있다. 디지털 시스템에서는 복잡한 제어기능도 소프트웨어로 쉽게 구현할 수 있으므로 과거 기계-유압설비의 상당 부분을 대체하였으며, 제어기능의 신뢰성도 많이 향상되었다. 본고는 국내 화력발전소 증기터빈 제어시스템에 공통적으로 사용되는 기능을 위주로 구성 설비와 제어 알고리즘, 동작 원리 등을 살펴본 내용이다.



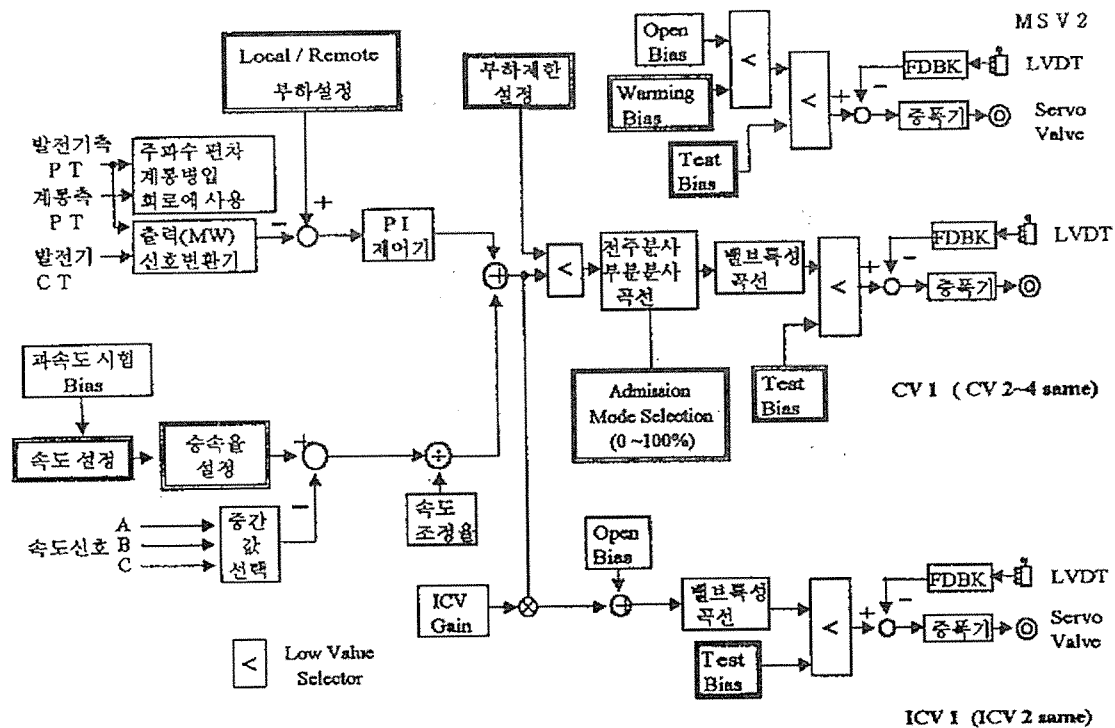
<그림 1 > 증기터빈 발전소 Flow Diagram

2. DEHC 터빈제어의 주요기능

터빈제어계통은 터빈에 유입되는 증기량을 조절하여 무부하 운전일 때는 터빈의 속도가 원하는 값이 유지되도록 하며, 발전기가 계통 병렬 운전 중일 경우는 원하는 출력을 내도록 한다. 또한 과속도 등 터빈에 위험한 상태가 발생할 시에는 증기 밸브들을 신속히 폐쇄하여 터빈을 정지시키는 보호기능을 수용한다.

터빈제어계통 주요 기능은 다음과 같이 4 가지로 크게 구분할 수 있다.

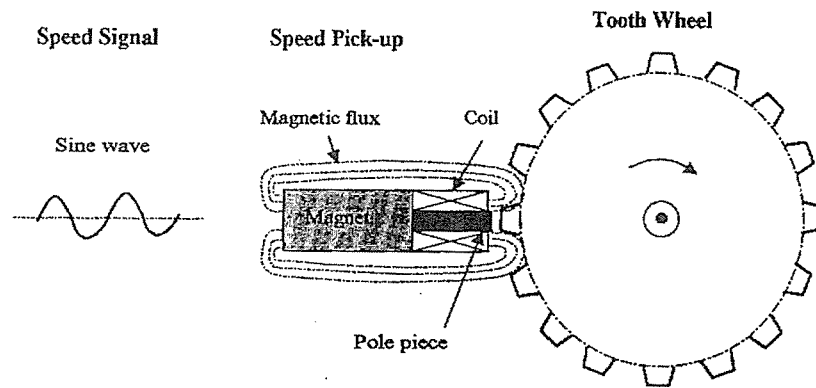
- 속도제어(Speed Control)
- 부하제어(Load Control)
- 증기유량제어(Flow Control)
- 보호 및 감시기능(Protection & Monitoring)



<그림 2> 터빈 DEHC 제어 일반 Block Diagram

3. 속도제어

터빈 Front Standard에 위치한 치차(Tooth Wheel)와 Magnetic Pick-up을 사용하여 Pulse를 검출하고 속도를 산출하는 기능을 갖고 있다. 일반적으로 이 속도 신호는 3 중으로 구성된 회로에서 서로 비교되어(Voting) 오신호가 있으면 제거시켜서 신호의 신뢰성을 확보한다. 신뢰성이 검증된 속도신호는 운전원이 설정한 Speed Target과 비교되어 Speed Error로 산출되고, 제어 알고리즘 작용에 의하여 이 Error를 '0'으로 만드는 방향으로 터빈 입구증기 유량을 조절하게 된다. 그러나, 발전기가 계통에 병렬로 운전되고 있을 때에는 이 Error 크기에 따라 터빈의 출력이 변하게 할 수 있지만 한 개의 터빈 작용으로 Error가 쉽게 '0'으로 회복되지 않는다.

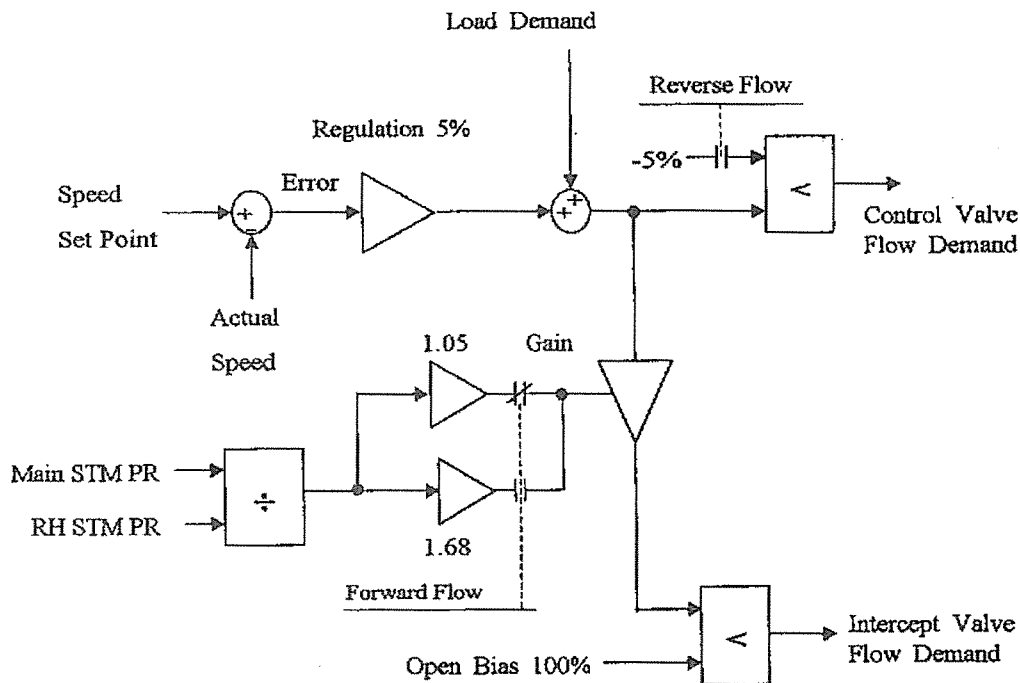


<그림 3> Magnetic Speed Pickup과 치차를 사용한 속도 검출방식

국내 화력발전소의 터빈 기동 시 승속율을 보면 제작사 별로 다소 차이가 있으며 다음 표와 같다.

발전소 명	MW	제작사	제어시스템	승속율(RPM/분)
삼천포 #3, #4 보령 #3~#6	560 500	GE	GE DCM	Very Low : 6 Slow : 72 Medium : 180 High : 360
서천 #1, #2	200	GE	GE MK-II	Normal(Cold) : 250이하 Fast(Warm, Hot) : 500이하
영동 #2	200	Hitachi	Bailey INFI-90	Slow : 120 Midium : 180 Fast : 360 Critical : 720
여수1발 #1, #2	280	Alstom	Bailey INFI-90	Slow : 120 Midium : 240 Fast : 360 Critical : 720

<표 1> 발전소 별 터빈 기동 시 승속율



<그림 4> Control Valve와 Intercept Valve의 속도제어 기능(With Turbine By-Pass System)

4. 부하제어

발전기 계통 병렬운전 중 운전원이 설정하는 Load Target, Loading Rate에 따라 Load Reference 산출되고 이어서 터빈 입구 증기 유량(또는 출력)이 결정된다. 또한 Unit 비상 상황인 Load Runback, Power Load Unbalance(PLU) 등의 보호기능 동작에 의해서도 부하제어가 지배를 받는다.

Governor Free 운전 Mode에서는 속도제어에서 나오는 Speed Error 신호도 터빈 출력을 변동시키게 되며, Speed Error 와 Load Reference가 합하여 증기 밸브 개도를 제어하는 Valve Reference(CVR, IVR 등)를 산출하게 된다.

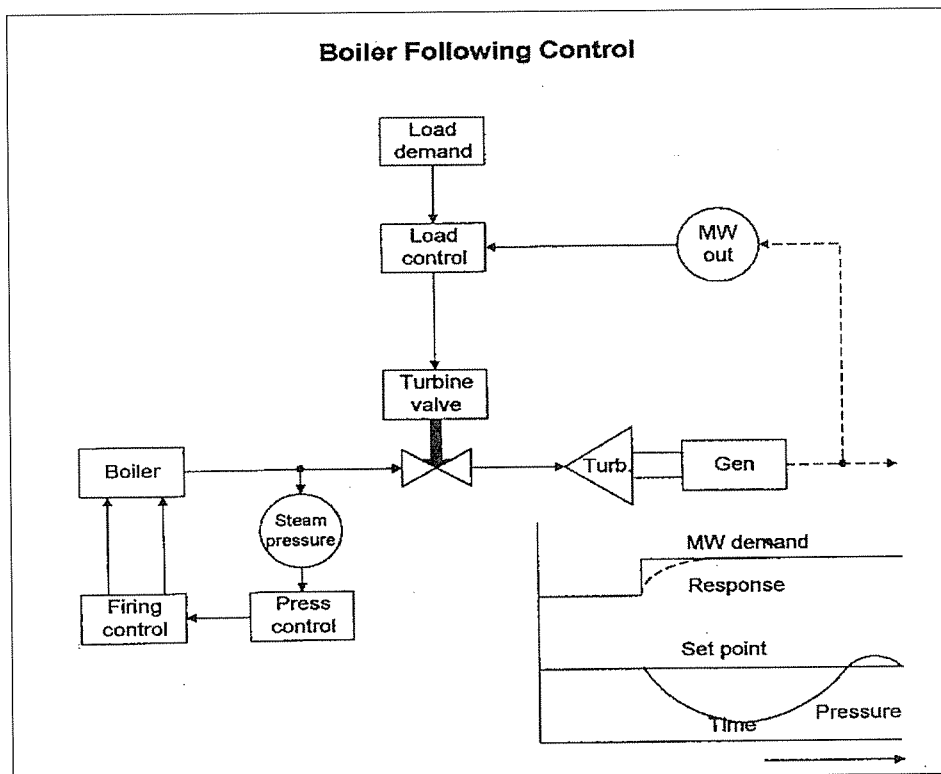
Unit의 부하를 제어하는 방식에 따라 다음 3 가지 방식으로 나눌 수 있다.

가. Boiler Following

부하 증감 요구 신호(Load Demand)가 먼저 터빈 Steam Control Valve의 개도를 제어함으로써 출력(증기유량)을 변동시키고, 이어서 나타나는 주증기 압력 변동에 따른 편차(주증기 압력-설정치)를 '0'으로 만드는 방향으로 보일러에 들어가는 연료량을 조절함으로써 Unit의 새로운 평형 상태를 만들어 가는 방식이다.

출력 요구에 대한 응답이 가장 빠르나 그 만큼 Unit는 쉽게 불안정하게 된다.

그러므로 보통 최대 출력 변동폭을 제한기능을 설정하여 사용한다.



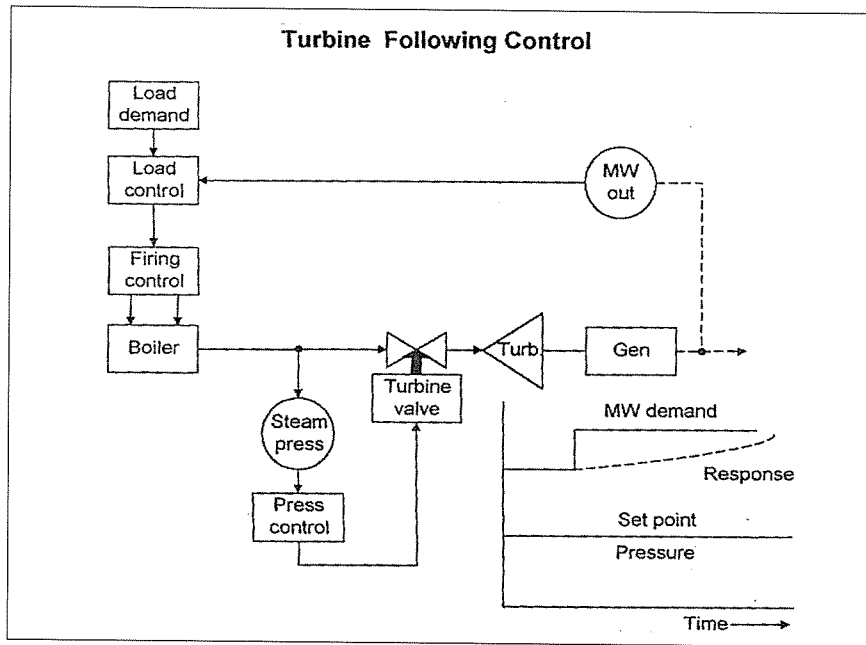
<그림 5> Boiler Following 운전 개요

나. Turbine Following

부하 증감 요구신호는 먼저 보일러의 연료 입력량을 제어하고 이어서 나타나는 주증기 압력 변동에 따른 편차를 '0'으로 만드는 방향으로 터빈의 증기유량을 제어하는 방식이다

주증기 압력이 감소하면 출력도 감소하고, 압력이 증가하면 출력이 증가하므로 주증기 압력제어가 쉽게 되어서 가장 안정한 Unit 운전형태가 이루어지나, 전력계통의 출력 요구에 대한 응답이 가장 느리다.

보통 발전소 비상운전 상황인 Unit Load Run Back 또는 Run Down 조건에서는 자동적으로 Turbine Following Mode로 전환되도록 제어 프로그램이 구성된다.

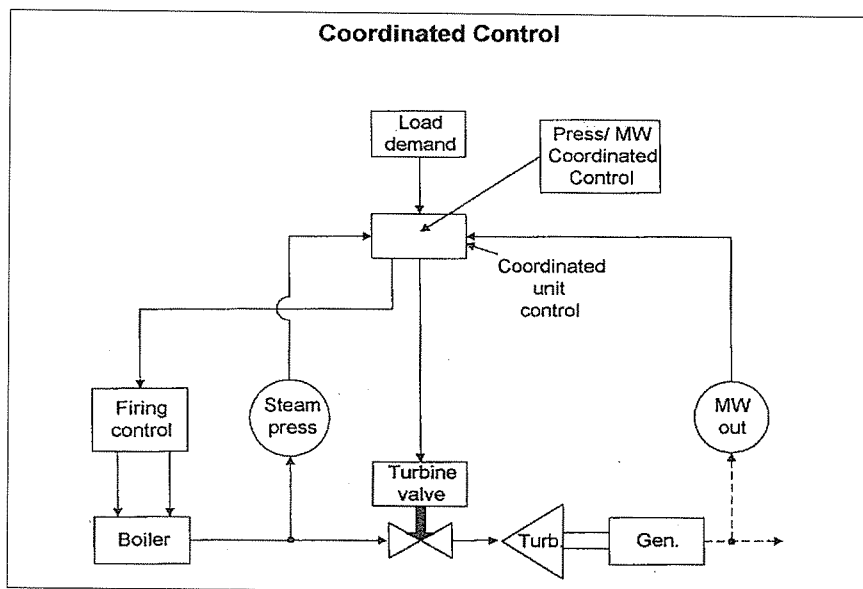


<그림 6> Turbine Following 운전 개요

다. 보일러-터빈 협조제어(Coordinated Control)

부하 증감 요구 신호에 대한 Boiler Following의 신속한 응답과 Turbine Following의 안정성을 최대한으로 수용하기 위한 출력 제어방식으로 제어회로가 약간 복잡하게 이루어진다.

출력 증감 요구 신호와 주증기 압력 편차 신호는 동시에 터빈 증기유량과 보일러 연료유량 제어계에 모두 작용한다. 그러나 주증기 압력이 정격 부근으로 유지되는 상태에서는 부하 증감 요구 신호가, 주증기 압력이 비정상일 경우는 주증기 압력 편차 신호가 지배적으로 터빈의 출력(증기유량)을 결정하게 된다.



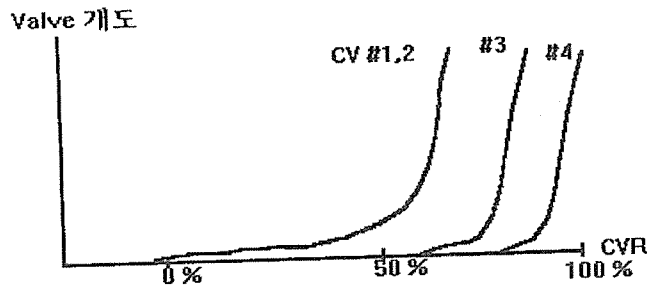
<그림 7> 보일러-터빈 협조제어 운전 개요

신규 대형 석탄 연소 발전소는 대부분 Coordinated Control Mode 운전을 사용하고 있다.

5. 증기 유량제어

부하제어에서 나오는 Valve Reference(CVR, IVR)를 받아 최종적으로 Valve 개도를 제어한다. 여기에는 Valve Stem Lift와 실제 증기유량의 비선형성을 보상하는 곡선(Algorithm), 전주분사(Full Arc)/부분분사(Partial Arc)를 선택하는 Admission Mode Selection(AMS) 곡선이 들어 있다. 증기밸브의 개도를 Feedback 제어하기 위해 보통 Linear Variable Differential Transducer(LVDT)를 사용한다.

터빈 기동과 저부하 운전 중에는 터빈 열응력 감소를 위해 주로 전주분사 운전을, 그리고 고 부하 운전에서는 열 효율 향상을 위해 부분분사 운전을 한다.



<그림 8> 터빈 Valve 부분부하운전 곡선의 예(3 Admission)

6. 보호(Protection) 및 감시(Monitoring) 기능

터빈제어의 중요한 기능 중의 하나가 터빈을 위험한 상태에서부터 보호하는 것이며 이를 위해서는 높은 신뢰성 갖 추어야 한다.

Protection 회로는 보통 설비(하드웨어) 3중화와 2 out of 3 Logic으로 구성된다.

보호기능은 다음 3 가지 요소가 직렬회로로 연결된다.

가. 터빈 현장 계기 등의 Input 신호원

예) 유회유압력, Exhaust Temp., 보일러 Trip 등

나. 제어 Panel 내 Processor와 I/O Module 등의 Hardware와 Software

다. 제어 Panel에서 나오는 신호(보통 릴레이 접점)를 받아 터빈 비상 정지 유압을 상실시키는 솔레노이드 밸브와 이에 연결된 유압장치(피스톤, 각 링크 등).

라. 보호 회로와 설비의 2중화 구성

동작 신뢰성을 향상시키기 위해 제어 Panel에서 나오는 Trip 신호 경로와 터빈 현장의 Trip 솔레노이드를 2중으로 구성하여 한쪽 경로의 설비에 고장이 나더라도 전체 기능을 상실하지 않도록 구성을 하는데 이를 Cross Trip이라 부른다. General Electric 터빈에는 Mechanical Trip Solenoid (24Vdc)와 Electrical Trip Solenoid (125Vdc) 2 개를 사용한다.

마. 대형 화력 발전소 터빈의 과속도 보호 기능

1) CV(Control Valve)와 ICV(Intercept Control Valve)의 속도제어 기능

CV의 속도 조정율(Speed Droop), 5%, ICV의 속도 조정율 2%

2) Power Load Unbalance(PLU)

터빈의 Mechanical Power(Reheater Pressure)와 발전기의 Load(3상전류)를 비교하여 $Power - Load \geq 40\%$ 조건과 부하 감소율 $100\%/35mS$ 의 조건을 만족하면 CV와 ICV를 급속히 닫는다.

3) ICV Trigger(IVT)

ICV Position - IVR $\geq 10\%$ 의 조건을 만족하면 ICV를 급속히 닫는다.

4) Early Valve Actuation(EVA)

송전 계통의 순간 Fault(지락 발생 등)으로 발전기 전력이 감소할 경우 ICV를 급히 닫아 1 초 후에 다시 열리게 한다. 동기탈조 예방을 목적으로 한 기능이다.

5) Trip Anticipator(TA)

○ Emergency Overspeed Trip 되었을 경우 터빈 최대 속도가 정격의 120%를 초과하게 되는 Unit에 적용한다.

○ 계통병입 상태에서 Overspeed가 되면 동작하며, 동작 설정치는 출력과 함수관계이다.

○ TA가 동작하면 Elcetrical Trip Solenoid에 Non-Latching Trip 신호를 보내 모든 밸브(MSV, CV, RSV, ICV)를 닫는다.

6) Emergency Overspeed Trip

Magnetic Speed Probe로 회전수를 검출하여 설정 값(112 % 부근)에서 터빈Trip 신호를 내보낸다.

7. 맺음말

터빈 제어설비는 터빈 구동 에너지원과 부하의 종류에 따라 기능이 다양하게 요구되나 디지털 시스템을 채용함으로써 설비구성은 비교적 단순하게 이루어진다. 그러나 터빈 운전 특성상 신호처리의 실 시간성 확보, 내 고장성 설계, 설비의 다중화 구성 등 고려해야 할 요소가 많이 있다. 전력연구원에서는 현재 터빈 전용 제어시스템을 국내 기술로 개발하고 있으며, 이 시스템은 2000년 상반기 서천화력 발전소에서 운전될 예정이다. 이 연구개발 프로젝트에는 터빈제어 기본 기능은 물론 터빈 로타 열응력을 고려한 기동제어(Start Up) 등 진보된 알고리즘이 구현된다. 여기에서 축적된 기술과 경험을 바탕으로 기존 터빈제어 설비의 개조는 물론 신규 터빈의 제어시스템 적용에도 진출할 예정이다.

회원사 동정

The State Of Major Affairs In Membership Companies

에너지 절약유공 수상을 축하합니다.

○ 1999. 12. 9 (정부과천청사)

○ 회원사 중 수상자

- 철탑산업훈장 : 에너지관리공단 홍 윤 호 부이사장
- 산업포장 : 제일제당 김포공장 서극수 공장장
- 대통령 표창 : 포항종합제철(주) 임근택 부장

- 대통령 표창 : 에너지관리공단 손학식 처장
- 국무총리 표창 : 한국지역난방공사 김승규 처장
에너지관리공단 임대준 부처장
이건산업(주) 박우찬 팀장
- 산업자원부 장관 표창 : 15명