

## 발전소 터빈 제어시스템과 여자시스템에 사용되는 센서 소개

신만수\*, 우주희\*, 김종안\*, 최인규\*  
KEPCO 전력연구원\*

### Introduction of Sensors in Turbine Control Systems and Excitation Systems

Man-Su Shin\*, Ju-Hee Woo\*, Jong-an Ho-Seon Ryu\*, Tae-Won Jeong\*\*  
KEPCO\*

**Abstract** - Turbine control system and excitation system have close relationship in the dynamic and real power system. Turbine control systems control the active power of generator and excitation systems control the voltage and reactive power of generator. The several sensors' characteristics in turbine control systems and excitation systems were reviewed.

#### 1. 서 론

전력계통의 상향변화에 따라 발전기에서 발생하는 전기적인 힘에 대하여 터빈의 기계적인 힘을 가감하여 두 힘의 평형상태를 유지시켜야 하는데, 이러한 전력계통의 전기적인 힘의 변화는 터빈-발전기의 회전 속도 변화로 나타난다. 이런 속도 변화가 나타났을 경우 일정하게 유지시켜주는 것이 조속기 또는 터빈 제어시스템의 책무이다. 이렇게 터빈 제어시스템과 발전기 제어시스템은 서로 뿔레야 뿔 수 없는 불가분의 관계를 지니고 있다. 터빈에서 만들어진 기계적인 에너지는 실시간으로 전기에너지로 변환되어지기 때문이다. 또한 발전기에서 생성되는 전기신호 즉 발전기 단자전압과 단자전류 등의 출력신호를 이용하여 터빈 제어시스템을 제어 및 감시하는 역할에 활용하기도 한다.

발전기 여자시스템에는 여러 가지 특수 신호를 계측할 수 있는 장비가 설치되어 있다. 이를 테면 발전기 단자전압, 단자전류, 계자전압, 계자전류, 때론 발전기 계자 온도 감지기 등이 있다. 반면 터빈 제어시스템에도 여러 가지 특수 신호를 계측할 수 있는 장비가 설치되어 있다. 예를 들면, 터빈 속도 감지기, 발전기 전압과 전류를 입력받아서 특수 신호로 변환하는 전력 변환기도 있다.

센서(sensor)는 외부 자극을 받아 이것을 전기신호로 변환하는 소자로 정의할 수 있는데, 여기서 외부 자극이란 우리가 검출 또는 측정하고자 하는 양, 특성 또는 상태를 의미한다. 센서가 외계의 정보를 변환할 때 에너지 형태를 대략 여섯가지로 구분할 수 있는데, 터빈 제어시스템에서는 유량, 속도, 압력 등의 기계적 에너지 형태와 온도 등의 열 에너지 형태를 주로 사용하는데 반해서 여자시스템에서는 전압, 전류, 저항 등의 전기 에너지를 사용한다.

센서가 갖추어야 할 기본 특성에는 감도, 직선성, 히스테리시스, 선택성이 좋아야 한다. 또한 센서는 동작 에너지 공급 유무에 따른 변조형 센서(수동형)와 자기발전형 센서(능동형)로 구분할 수 있으며, 출력신호 형식에 따른 분류에는 아날로그 센서와 디지털 센서가 있다. 시스템 설계시 가장 기초적으로 고려해야 할 요소 중의 하나이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 터빈 제어시스템에 사용되는 센서 소개

터빈 제어시스템의 운전 방식을 부하와 연계하여 고려할 경우 기동,

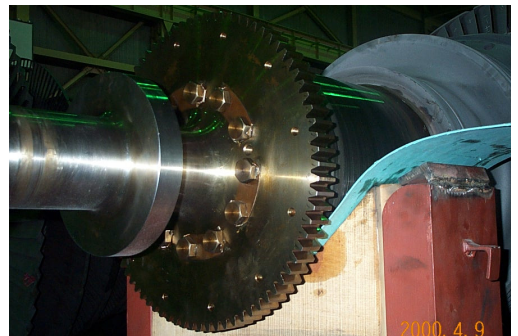
계통병렬 운전, 과속도로 대별할 수 있으며 이를 다시 속도 제어, 부하 제어, 유량 제어로 구분할 수 있다. 기동 과정에서의 제어는 정지시와 마찬가지로 밀접한 속도 제어의 개념으로 이루어진다. 계통병렬 운전 상태에서는 부하 제어의 개념이 주가 된다. 그리고 과속도의 경우에는 주로 설비 보호의 개념이 강하므로 별도로 구분하였다.

먼저 속도 제어의 경우에는 먼저 터빈 속도를 측정하는 것이 필요하며 그것과 속도 기준값과 비교하여 속도 제어를 한다. 부하 제어에서는 터빈 1단 압력 신호와 속도 편차 신호를 측정 및 계산하여 부하설정값과 비교하여 부하 제어를 한다. 유량 제어에서는 CV, IV의 유량 신호를 측정하여 부하제어부에서 나오는 CV, IV의 설정값과 비교하여 유량 제어를 한다.

##### 2.1.1 속도센서

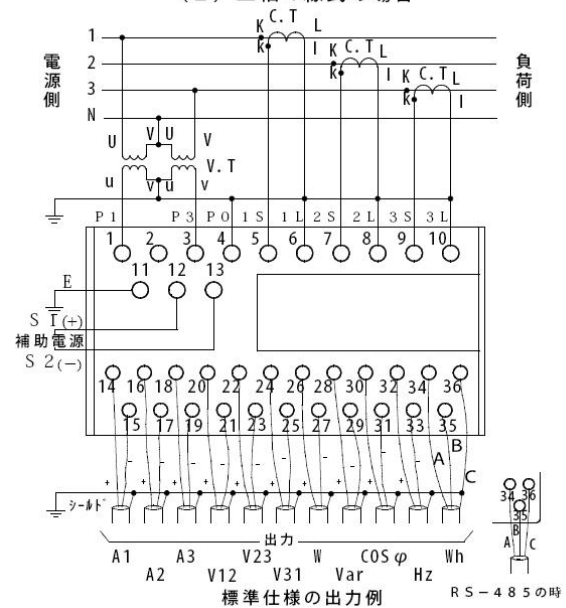
터빈 제어시스템의 속도 신호는 대개 터빈 축에 부착된 Toothed

Wheel 주변에 설치된 감지장치에 의해 생성되는 신호인데 그림 1과 같이 60개(60Hz, 3600rpm)의 치차로 되어 있다. 이것은 톱니바퀴식 회전속도 센서를 나타낸다. 자기 유도 센서라고



<그림 1> 치차

##### (2) 三相 4線式の場合



<그림 2> 전력용 멀티 트랜스듀서 결선

<표 1> 조속기 특성 비교

구분	기계식	전기식
회전수 검출	Fly Wheel Weight	Magnetic Pick-up
신호 전달	Lever	전기 신호선
신호 증폭	유압 계전기	IC Amplifier
조작부	유압 Servo-motor	유압 Servo-motor, Cylinder
궤환용 조작부 Stroke 검출	Lever	LVDT
유압 및 사용유	10-14kg/cm <sup>2</sup> , 터빈유	140kg/cm <sup>2</sup> , 불연성유

불리는 형식은 회전할 때 자속의 변화가 생겨 코일에 기전력이 유기된다. 자기 유도센서는 영구자석과 코일만을 사용하므로 전원이 불필요한 장점이 있으나 저속회전에서는 출력이 현저히 작아지는 결점이 있어서 홀 소자식을 사용한다. 속도 상실시 터빈을 트립시킨다.

과속도에 의한 비상정지회로는 독립적인 두 계통이 서로 후비 보호하도록 구성되어 있다. 기계적인 보호장치는 터빈 축에 장착되며 터빈 전면에 위치한 용수철이 부가된 편심환으로 구성되어 있으며 신속한 동작을 위해 유압 정지계통에 직접 작용한다. 전기적인 보호장치는 터빈 전면에 위치한 전기 솔레노이드에 의해 동작되며 기계적 과속도 장치 보다 약간 높게 설정되어 있다.

### 2.1.2 압력센서

부하 제어시 사용되며 고압터빈 제1단 압력과 주증기 압력을 측정하여 사용된다. 부하 제어의 출력 신호는 유량제어의 설정값으로 사용된다. 부하 제어시 밸브 개도를 조정하여 제어하며 압력은 터빈 주요 밸브 시험시 사용된다.

### 2.1.3 유량센서

유량 제어시 각 터빈 밸브의 개도를 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)에 의해서 감지하며 이 변환 신호들 중 어느 하나가 상실되어도 터빈 트립이 발생하지 않도록 되어 있다. 특이 사항은 유량 센서는 단순히 지시용으로 사용되며 유량 제어에는 밸브 개도 변환이 사용된다.

### 2.1.4 기타 센서

터빈 보호 회로 중의 PLU가 있는데 발전기 전류와 제열 증기압을 비교하여 그 편차가 40% 이상의 전기적인 에너지와 기계적인 에너지의 차가 발생할 때 동작한다. 이때 사용되는 것은 전류용 고속 트랜스듀서이다.

다음 그림 2는 발전기 PT와 CT를 입력받아서 발전기 주파수, 유무효 전력, 발전기 단자전압, 단자전류, 역률 등을 지시하기 위한 용도로 사용된 멀티 트랜스듀서 결선도이다. 이 밖에도 주증기 온도와 터빈 Chest 온도를 감지하는 열전대가 있다.

## 2.2 발전기 제어시스템에 사용되는 센서 소개



〈그림 3〉 입출력 신호처리시스템

발전기 제어시스템에는 교류 전기신호를 감지해 내는 PT와 CT가 있고, 직류 전기신호를 감지해 내는 Hall CT와 직류 PT가 있으며 이것을 입력받아서 다시 제어기의 표준 입력신호(0-10Vdc 등)로 출력하는 입출력 신호처리시스템이 있다. 이것이 없으면 이를 대체할 수 있는 특수모듈이 있어야 한다.

### 2.2.1 교류 전기신호 센서

발전기 제어시스템의 교류 전기신호를 감지하는 센서에는 PT와 CT가 있다. 그것을 기반으로 제어시스템의 표준 입력신호로 가공하는 장치인 입출력신호처리시스템이 그림 3과 같이 있다.

### 2.2.2 직류 전기신호 센서

직류 전압과 전류를 감지하여 제어시스템의 표준 입력신호로 가공하는 센서에는 자장 속에 반도체를 놓고 전류를 통하면 반도체의 단면에 전하가 발생하여 기전력이 생기는 현상을 이용한 Hall CT와 직류 PT가 있다. 또 다른 방법으로 감지해내는 방법으로는 트랜스듀서를 이용하여 직류 전압을 트랜스듀서를 바로 이용하여 표준신호로 변환하고 직류 전류를 측정하기 위해서 회로 중간에 낮은 저항을 넣고 저항 양단에 발생하는 전압을 측정하여 전류값을 알아내는 분로기(Shunt)와 트랜스듀서를 이용하여 표준신호로 변환한다.

### 2.2.3 기타 센서

계온도나 정류기 온도를 감지하는 센서가 있다. 이것은 직접 RTD 등을 이용하여 측정하거나 계자전압과 계자전류와 계자저항의 상관관계를 이용한 알고리즘 등의 방법이 있다.

## 3. 결 론

터빈 제어시스템과 발전기 제어시스템에 사용되는 센서류를 살펴보고 특히 비슷한 기능을 수행하는 특수 입출력 신호처리시스템과 상용의 다출력 전력 트랜스듀서를 표 2와 같이 비교하였다. 상용의 트랜스듀서를 보다 정밀하게 신속하게 만들 수 있다면 발전기 제어시스템을 보다 간단하고 저렴하게 제작할 수 있을 것이다.

〈표 2〉 다입력 다출력장치 비교

구분	입출력신호처리시스템 (발전기 제어)	멀티 트랜스듀서 (터빈 제어)
정확도(오차율)	높음(1%)	낮음(0.5-2.5%)
연산속도	빠름(1800Hz)	느림
지연시간 (응답시간)	작음	큼 (1초 이내)
구성 방법	복잡	간단
입력 신호	발전기 전압, 전류	좌동
제품 가격	아주 비쌌	저렴

## [참 고 문 헌]

- [1] 삼창기업(주), “영광 3호기 주터빈 제어시스템 도면”, 한국수력원자력(주), 2010
- [2] タケモトテソキ株式会社, “T-33000B 매뉴얼”, 2010
- [3] (주)이투에스(주), “여자시스템 신호변환장비”, www.e2s.co.kr, 2011
- [4] 원자력발전처, “원자력발전소 터빈 제어 현황”, 한국전력공사, 1997
- [5] 민남기, “센서전자공학”, pp 11-33, pp 320-322, 2003