

## 발전소 터빈제어기에서의 발전기 출력제한 기능 설계

우주희, 김종안, 최인규  
한국전력공사 전력연구원

### The Function Design of Control Valve Reference's Limiter at a Steam Turbine Power Plant

Joo-Hee Woo, Jong-An Kim, In-Kyu Choi  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 국내의 한 증기터빈 발전소의 터빈제어기를 개조하기 위해 발전기가 계통병입된 후 발전소 운전상태의 급변이나 다른 외부 조건에 의해 필요로 하는 각종 출력제한 기능을 구현하는데 필요한 알고리즘을 분석 및 제시하였다.

#### 1. 서 론

터빈제어시스템은 발전기가 계통병입된 후 계통 주파수 유지 및 발전기 출력 증감발에 관한 기능이 수행되어야 하며, 이를 위해 여러 가지 출력제한 기능이 구현되어 있다. 이러한 기능에는 운전원이 설정한 출력 요구값에 따라 터빈제어 기능이 동작하나, 운전중에 발생하는 주증기 압력의 급변 혹은 계통주파수의 급변에도 발전기의 안정적인 운전이 유지되어야 한다. 이를 위해 터빈제어 기능에는 여러 가지 출력제한 기능이 구현되어 있다. 본 논문에서는 500MW급 화력발전소의 출력제한 제어 알고리즘에 대해 현재 운용중인 제어 설비인 GE사의 "MARK V"에서 구현된 내용을 소개하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 터빈제어 기능 개요

일반적으로 발전소에서의 터빈제어 설비는 터빈 입구측에 설치된 주증기 제어밸브의 개도를 조절하여 터빈으로 유입되는 증기량을 조절함으로써 보일러로부터 공급되는 증기상태(압력, 온도, 유량 등) 변화에 따라 터빈속도 및 발전기 출력을 일정하게 유지하도록 한다. 정상운전인 상태에서 증기흐름은 그림 1과 같이 주증기 조절밸브를 통과하여 고압 터빈에 유입되어 일을 하면 압력과 온도가 낮아진다. 이 증기는 재열기에 유입되어 열에너지를 흡수하여 온도가 주증기 수준으로 높아진다. 이 증기를 재열증기라 하며 재열증기 조절밸브를 경유하여 중압터빈에 유입된다. 적용대상 발전소의 경우에는 주증기 차단밸브 2대, 주증기 제어밸브 4대, 재열증기 차단밸브 2대, 재열증기 제어밸브 2대로 구성되어 있다. 주증기 제어밸브를 제외한 밸브들은 보통 100% 용량을 구비하고 있어서 한 대를 단더라도 발전 출력은 감소되지 않고 연속운전을 수행할 수 있다. 또한 고압터빈 우회밸브와 저압터빈 우회밸브는 최근에 건설되는 관류형 보일러에서 기동 시간 단축 등의 목적으로 설치되는 증기압력 조절밸브이다[1].

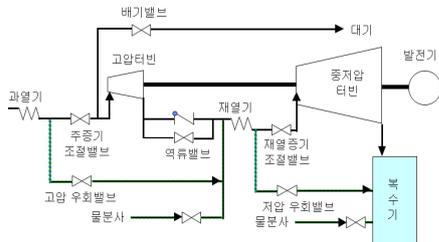


그림 1 적용 대상 발전소의 터빈 제어 관련 구성 개요도

터빈제어 밸브의 개도는 증기량 요구값이 결정되면 정해진 유량특성 곡선에 의해 결정되며, 터빈으로 유입되는 증기량 요구값 계산이 터빈제어에서 중요한 기능을 담당하고 있다. 이 증기량 요구값은 운전원의 발전기 출력 요구값에 의해 주로 결정되나[2], 발전소 운전 상태의 급변이나 다른 외부 조건에 의해 발전소의 안정적인 운전을 위해 출력제한 요

구값이 필요하다. 다음 절에서 발전기 출력 운전중에 발생하는 여러 가지 출력제한 제어 기능에 대해 500MW급 화력발전소에서 실제 적용되고 있는 제어로직을 분석하였다[3].

주증기 제어 밸브용 증기요구량을 결정하는 개요도는 그림 2에서 보여주고 있으며, 여기서 CVR (Control Valve Reference)은 주증기 제어 밸브용 증기요구량, DWR\_TAR\_CMD는 운전원이 설정하는 부하설정값, DWR\_TAR\_LT는 운전원이 설정하는 부하제한 설정값, DWR\_TAR2는 부하목표값, DWR은 부하기준값, Speed Ref는 속도기준값, Speed Actual는 실제속도, TN\_ERR3은 터빈 속도오차에 이득(TN\_DRP)을 반영한 값을 나타내고, CVR\_MSPLP, CVR\_MSPLR, CVR\_VPL 및 CVR\_VPL\_CTL 값은 발전기 출력운전중에 발생하는 여러 가지 제한상태에 의해 발전기 출력을 제한하기 위해 사용되는 값들로 다음 절에서 상세히 설명하고자 한다. 또한 그림 2에서 "Ramp" 블록은 정해진 기울기로 입력값을 증감시키고, "Sel" 블록은 입력조건이 참이면 참에 연결된 값을 출력하고, "<" 블록은 입력값중 최소값을 선택하는 기능을 가진다.

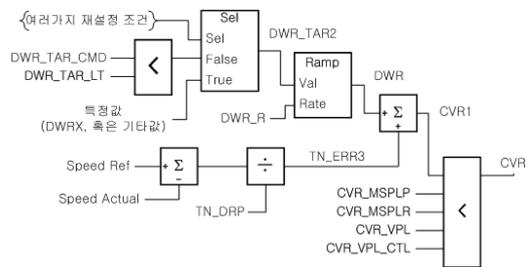


그림 2 주증기 제어밸브용 증기요구값 개요

##### 2.2 운전원 설정에 의한 부하제한 요구값

이 값은 운전원에 의해서만 설정되는 부하제한 요구값(DWR\_TAR\_LT)으로써 운전원이 목표값을 입력(범위 : -110 ~ 110%)하면 지정된 변화율에 의해 증감하며 다른 어떤 운전상태의 변화가 발생되어도 자동 변경되지 않으며 초기값은 110%로 지정되어 있다. DWR\_TAR\_CMD값도 운전원에 의해 설정된다는 점은 DWR\_TAR\_LT와 같은 기능을 하지만, DWR\_TAR\_CMD값은 발전소의 운전상태(계통병입후 초기부하 형성 직후, 발전기출력 제한제어 상태 동작 및 해제 순간, 부하제한 상태, 보일러-터빈 연계 제어방식 변경, 등)에 따라 그 값이 자동으로 재설정된다는 점은 서로 다르다.

##### 2.3 주증기 압력제한 요구값

주증기 압력이 과도하게 저하할 경우 터빈에 습분이 유입될 우려가 있으므로 주증기 조절밸브를 닫아서 압력을 적정치로 유지시키는 기능으로서 비례형과 비율형을 사용하고 있다. 먼저 비례형은 CVR\_MSPLP (MSPLP : MSP Limit Proportional Type)로 정의되며 아래 그림과 같이 구현되어 있다.

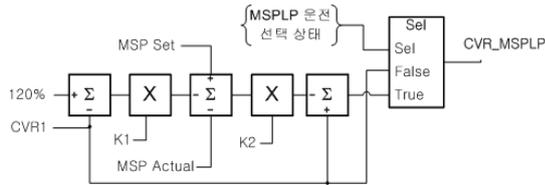


그림 3 비례형 주증기 압력제한 요구값(CVR\_MSPLP)의 결정

여기서 MSP Set은 운전원이 입력(범위 : 42~146%)하는 설정값이고 MSP Actual 실제 주증기압력이며, “MSPLR 선택상태”는 MSPLR 운전이 선택되지 않은 상태에서 운전원이 요구할 때 선택된다. 일반적으로 많이 사용되는 K1과 K2에 0.1과 10을 각각 대입하면 아래와 같으며 그림 3에서 표현된 CVR1은 실제 CVR\_MSPLP 결정에 반영되지 않음을 알 수 있다.

$$CVR\_MSPLP = 120 - 10 * (MSP\ Set - MSP\ Actual)$$

또한 그림 4을 보면 실제 주증기 압력이 설정값보다 10% 감소되면 주증기 요구값은 0%까지 감소함을 알 수 있으며, 바이어스 값이 120%여서 실제 주증기 압력이 설정값보다 2% 더 작아야지만 주증기 요구값이 100%에서 감소되기 시작함을 알 수 있다.

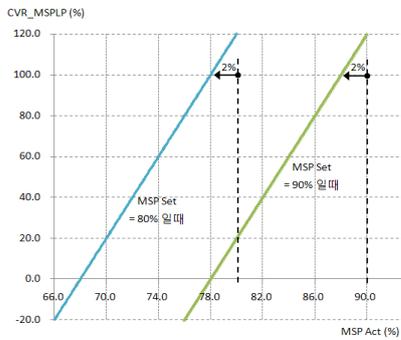


그림 4 비례형 주증기 압력제한 요구값(CVR\_MSPLP)의 동작 예

비율형 주증기 압력제한 요구값(CVR\_MSPLR : MSP Limit Rate Type)은 주증기 압력의 변화율이 설정치보다 더 빨리 감소되면 압력 감소율을 제한하기 위해서 주증기 제어밸브를 닫히도록 한다. 여기서 MSP Rate Set은 운전원이 입력(범위 : 0.017~0.167%/sec)하는 감소율 설정값이고 MSP Rate Actual은 실제 주증기압력의 변화율이다. “MSPLR 운전 선택상태”는 계통병입되고 MSPLR 운전상태가 아니고 발전기출력이 30% 미만에서 운전원이 요구할 때 혹은 Auto 상태에서 계통병입되면 선택되도록 구현되어 있다.

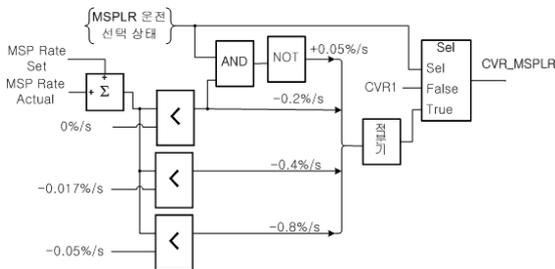


그림 5 비율형 주증기 압력제한 요구값(CVR\_MSPLR)의 결정

MSP Actual의 감소율이 설정값보다 크면 CVR\_MSPLR값은 CVR1 값에서 지정된 보상율에 의해 감소됨을 그림 5에서 알 수 있다. 또한 비례 및 비율형 주증기 압력제한이 동작하면 부하 목표값(DWR\_TAR2)을 2% 상위 값까지 감소시키는 기능이 있다.

## 2.4 밸브개도 제한기

계통주파수 변화로 인하여 급격한 출력변화시 갑작스러운 보일러 압력변화에 의한 증기유량을 제한하기 위해 주증기 제어밸브의 개도를 제

한하기 위한 것으로 수동형(Manual), 추종형(Tracking : CVR\_VPL) 및 제어형(Control : CVR\_VPL\_CTL)이 있으며, 이들은 동시에 선택할 수 없도록 되어 있다.

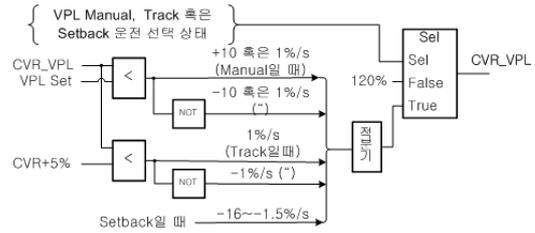


그림 6 추종형 밸브 개도 제한기(CVR\_VPL)의 결정

CVR\_VPL은 다음 세 가지 목적을 위해 사용되며, 주증기 압력제한 기능과 마찬가지로 CVR\_VPL에 의해 제한이 동작하면 부하 목표값(DWR\_TAR2)을 5% 상위 값까지 감소시키는 기능이 있다.

- 계통주파수가 급격히 감소하는 경우 CVR이 5% 증가까지만 급격히 응답하고 그 이상의 증가에 대해서는 1%/sec만 반영하며, 이러한 동작은 보일러 압력저하 방지 및 계통주파수 회복에 기여한다.
- 운전화면에서 운전원이 설정값(VPL Set)을 지정하면 선택된 변화율 (Fast:10%/sec, Slow:1%/sec)에 따라 증감된다.
- Setback (4가지 경우 있음)이 발생되었을 때, Tracking 상태는 자동해제되고 미리 정해진 Setback 설정값보다 2% 높은 값까지 지정된 기율기로 자동 감소된다.

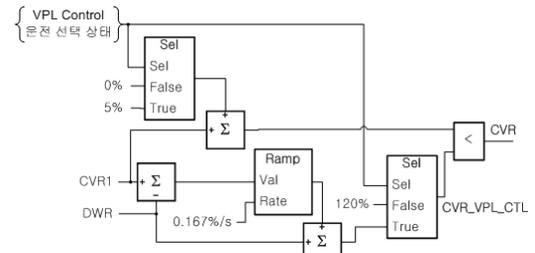


그림 7 제어형 밸브 개도 제한기(CVR\_VPL\_CTL)의 결정

CVR\_VPL\_CTL은 운전원의 요구에 의해 언제라도 선택될 수 있으며, 계통주파수의 변화에 따라 결정되는 TN\_ERR3가 5% 이내 혹은 5% 이상의 변화에 대해서는 TN\_ERR3 값의 0.167%/sec의 변화분만 반영한다. 특히 계통주파수의 급격한 상승으로 TN\_ERR3가 -5% 이하로 발생될 때 5% 이상의 변화만큼 CVR에 급격한 변동이 발생되고 나머지는 0.167%/sec의 변화분만 반영되어, 보일러 압력저하 방지 및 계통주파수 회복에 기여한다.

## 3. 결 론

국내의 한 증기터빈 발전소의 터빈제어기를 개조하기 위해 발전기가 계통병입된 후 발전소 운전상태에 따라 필요로 하는 각종 부하제한 기능을 구현하는데 필요한 알고리즘을 분석 및 제시하였다. 분석한 결과를 근거로 앞으로 터빈제어기를 구현하는데 필요한 기초자료로 활용할 계획이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 한국발전교육원, “발전운전제어”, 2004
- [2] 우주희 외, “운전데이터에 의한 증기터빈 발전소의 부하제어에 관한 고찰”, 1999 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1999
- [3] 한국서부발전, “MARK V Control Logic, 태안화력발전본부”, 2007