

운전데이터에 의한 증기터빈 발전소의 부하제어에 관한 고찰

우주희, 최인규  
전력연구원 발전연구실

A Study on Load Control in a Steam Turbine Power Plant using Acquired Data

Joo-Hee Woo and In-Kyu Choi  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - We acquired operating data in an existing steam turbine power plant using analog control system to investigate operation characteristics. We analyzed a load control logic to develop a digital turbine control system. The load control logic is constituted of load target, load reference, loading rate, load limit and admission mode transfer of valve. The result of this paper is utilized to implement a digital turbine control system.

위치 요구신호를 각각 나타내고, FP\_MSP\_PU는 주증기압의 100%값을 1.0으로 환산한 값을 나타내며 주증기압을 각종 설정치에 보상하는데 사용된다. "Ramp" 블록은 정해진 기울기로 증감시키고, "Min"은 나누기 연산자를 나타내고, "Min"은 입력값중 최소값을 선택하는 기능을 가진다.

1. 서론

국내에 오래전에 설치된 발전소의 주제어기는 주로 아날로그 전기회로로 구성되었고 오랜사용으로 노후되어 유지보수가 힘들게 되었다. 이러한 상황에서 급속한 기술발전이 힘입어 디지털 제어시스템으로의 개조에 대한 필요성이 제기되었다. 이러한 취지로 국내에서 아날로그 제어시스템을 사용하고 있는 증기터빈 발전소의 터빈 제어시스템을 디지털 제어시스템으로 변환하기 위해 기존의 제어시스템의 분석과 최신의 제어시스템에 대한 분석이 필요하다. 개조대상 발전소의 터빈제어시스템은 GE사의 MARK II이고, 아날로그 회로로 구성된 제어카드에 의해 제어로직이 수행된다.

본 논문에서는 발전기가 계통병입된 후 이루어지는 부하제어부분을 디지털 제어시스템으로 구현하는데 필요한 부하목표값, 부하기준값, 부하증감율 및 주증기압에 의한 부하제한값을 계산하는데 필요한 알고리즘을 소개하고자 한다. 또한 기존의 아날로그 제어시스템에서 운전데이터를 취득하여 개조대상 발전소의 운전특성을 분석하였다. 2장에서는 GE사의 MARK V를 사용하는 기존의 드림형 발전소에서 이루어지는 부하제어기능을, 3장에서는 개조대상 발전소에서 기능설계를 각각 설명하고 4장에서 결론을 맺고 있다.

2. 기존의 드림형 발전소에서의 부하제어 기능

여기서 소개하는 제어로직은 개조대상 발전소와 동일한 정격출력(200MW)을 가진 드림형 발전소에서 실제 적용되고 있는 GE사의 MARK V 제어로직을 분석한 결과이다. 예열은 주증기 정지밸브의 바이패스 밸브에 의해 이루어지고, 터빈속도 제어 및 부하제어는 주증기 제어밸브에 의해 이루어진다.

2.1 개요

터빈속도 및 부하제어를 위해 주증기 제어밸브의 위치를 제어하는데 필요한 요구신호를 결정하는 알고리즘들을 그림 1에서 보여주고 있다. 여기서 DWR\_TAR2는 부하목표값, DWR은 부하기준값, TN\_ERR은 터빈 속도오차, TN\_ERR3은 터빈 속도오차에 이득(TNK\_CVRG)을 곱한 값, CVR은 주증기 제어밸브의

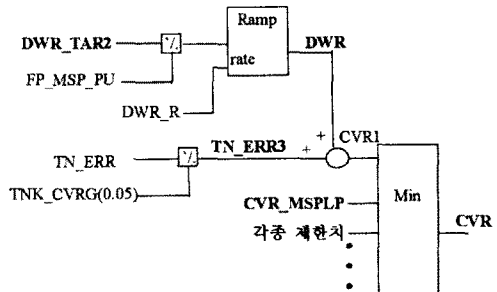


그림 1. 주증기 제어밸브 위치 요구신호

또한 주증기압의 갑작스런 감소시 주증기 제어밸브 개도요구신호를 작게 하여 터빈을 보호하기 위한 제한치로서 CVR\_MSPLP와 기타 각종 제한치를 나타내고, 주증기 제어밸브 최종 요구신호는 이들 값중 제일 작은 값이 선택된다. 본 논문에서는 개조대상 발전소에서 채택할 기능인 부하기준값과 CVR\_MSPLP의 구현 알고리즘에 대해서만 언급하고자 한다.

2.2 부하목표값(Load Target, DWR\_TAR2)계산

부하목표값은 부하기준값을 조정하는데 사용되는 설정값으로서 그림 2와 같이 결정되며, 시간흐름에 따른 부하목표값은 그림 3과 같이 변한다. 그림 3에서 구분된 각 구간은 그림 2에서 보인 여러 점점의 동작에 의해서 결정되며 그 결과는 다음과 같다.

- 기동 ~ A시점 : 터빈이 정격속도(100±7.1%) 도달 이전까지의 구간
- ~ B시점 : 계통병입 이전까지의 구간
- ~ C시점 : 계통병입 이후 20초 구간
- ~ D시점 : 정상적인 부하제어 구간
- ~ E시점 : 계통병해후 1초간 지속되는 구간
- ~ 정지

또한 부하목표값은 그림 2의 가, 나, 다, 라 경로중의 하나가 선택되며, 각 구간별로 선택되는 값은 그림 3에 나타내었다. "1"은 해당 점점이 활성화되면 입력신호를 출력으로 통과시키고, "1/1"은 해당점점이 활성화되지 않아야 입력신호를 출력으로 통과시키고, "SS"는 입력신호가 활성화되는 한 순간만 출력이 활성화되고, "1/Ts"는 상하한 제한치를 가지고 T초의 이득을 가진

적분기이고, 'X'는 곱하기 연산자를 나타낸다.

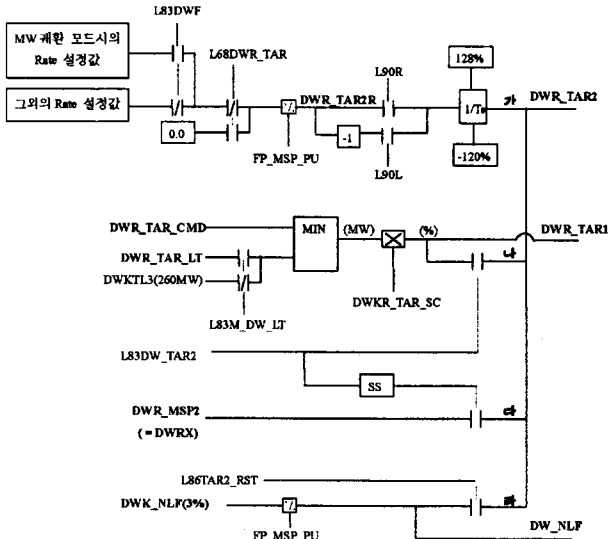


그림 2. 부하목표값의 결정

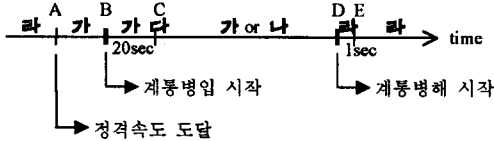


그림 3. 부하목표값의 시간흐름에 따른 값의 변화

- A시점이전까지는 미리 설정된 초기값(=DW\_NLF)을 가지게 된다(라).
- A시점부터 B시점까지는 계통병입을 위해 터빈속도가 일정주기로 진동되는게 필요한데(속도병합모드), 이를 구현하기 위해 L90R/L90L 접점에 의해 부하목표값이 일정한 율로 증감된다(가).
- 성공적으로 계통병입이 이루어지면 B시점부터 C시점까지 초기부하를 형성하기 위해 L90R/L90L에 의해 부하목표값이 빠른 기울기로 증가한다(가).
- C구간이 종료되자마자 한 순간동안(Single Shot, SS)에 부하목표값에 부하기준값이 강제 입력된다(나). 일반적으로 기동초기에 FP\_MSP\_PU의 값은 1보다 작으며 이로 인해 부하목표값이 5%보다 큰 값을 가질 수 있으며 이때 20초안에 부하기준값이 충분히 따라가지 못한다면 C시점에서 부하목표값을 이때까지의 부하기준값의 현재값으로 강제 입력시키는 역할을 해준다.
- 한 순간동안(SS)에 의한 동작이 끝나면, 다음 두 가지 값중 하나가 선택된다. 첫 번째는 계산되어진 부하제한 설정값(DWR\_TAR\_LT 혹은 최대부하)과 DWR\_TAR\_CMD 가운데 값이 부하목표값으로 입력된다(나). 두 번째는 적분동작에 의해 부하목표값으로 입력된다(가). 또한 이 구간에서 정출력제어 모드가 선택될 수 있으며, 이 모드가 선택되면 (가)경로에 의해 MW 케환시의 기울기 설정값이 선택되어 계산되고, MW 케환모드가 선택되지 않은 구간에서는 (나)에 의해 운전원의 설정값 증감 조작버튼에 의해 부하목표값이 조정된다.
- 계통병해후는 (라)경로에 의해 결정된다.

그리고 그림 3의 C시점부터 D시점사이에는 부하목표값

이 운전원의 설정값 조작버튼에 의해 증감되거나, 부하제한 설정값 조작버튼에 의해 증감되거나, MW 케환모드 설정에 따라 변화가 일어나면 DWR\_TAR\_CMD에 반영되어 부하목표값에 영향을 미친다.

부하목표값의 변화는 지정된 기울기(DWR\_TAR2R)에 의해 증감이 되는데 주로 과도적인 상황(속도병합모드 시, 계통병입후 짧은 시간동안, 타 시스템으로부터 설정값을 입력받을 때 혹은 정출력제어를 위한 케환모드일 때)에서 L90R/L90L 접점에 의해 이루어진다.

### 2.3 부하기준값(Load Reference, DWR) 계산

부하기준값은 부하목표값을 지정된 기울기로 추종하며, 이 값이 제어밸브의 위치를 제어하는 최종 요구신호가 된다. 그림 3에서 A시점이전이나 D와 E시점사이에는 그림 2의 DW\_NLF가 입력되고, 그렇지 않으면 그림 4의 DWRX가 입력된다. DWRX는 그림 3의 기동에서 A시점까지 혹은 D에서 E시점까지는 그림 4의 Ramp가 동작되지 않고 DWR\_TAR2X에서 결정되는 값을 그대로 받아들인다. 그 이외의 조건에서 부하목표값의 값에 Ramp가 적용된 값이 입력된다. 그림 4에서 "Clamp"는 입력에 대해 상하한 제한을 거쳐 통과시킨다.

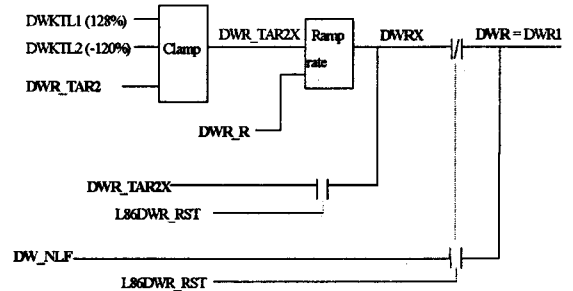


그림 4. 부하기준값의 결정

그리고 부하기준값의 기울기 설정값(DWR\_R)은 부하목표값의 기울기 설정값(DWR\_TAR2R)보다 작아서, 부하목표값이 더 빨리 변하고 이 값을 부하기준값이 추종하는 형태이다.

그림 2의 L68DWR\_TAR접점의 기능은 DWRX와 DWR\_TAR2X의 차이가 너무 크면 (0.5%기준), DWR\_TAR2R의 값을 0으로 지정하여 부하기준값의 요구신호인 부하목표값이 더 이상 증가되지 않게 한다.

### 2.4 주증기압 설정 제한치(CVR\_MSPLP)

주증기압이 설정치이하로 되면 제어밸브를 닫음으로써 터빈을 보호하는 기능을 한다. 운전자의 상황판단에 의해 언제라도 투입될 수 있다.

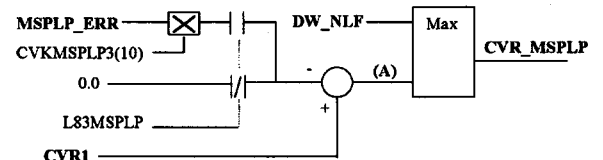


그림 5. 주증기압 설정 제한치 결정

CVR\_MSPLP는 그림 5에서와 같이 그림 2의 DW\_NLF와 (A)값중 최대값이 선택된다. (A)는 다음과 같은 알고리즘으로 계산된다.

그림 5의 (A)  
 $= CVR1 - 10 * MSPLP\_ERR$   
 $= CVR1 - 10 * [주증기압 설정값 - 0.1 * (105\% - CVR1) - 0.5\% \text{의 Deadband를 통과한 주증기압 실제값}]$   
 $= 105\% - 10 * [주증기압 설정값 - 0.5\% \text{의 Deadband를 통과한 MSPLP 실제값}]$

설정값은 초기에 105%를 가지다가 운전원의 증감버튼에 따라 설정값이 변화된다. 따라서 주증기압의 현재값이 설정값보다 낮으면 (A)의 값이 105%보다 작아지게 되어, CVR\_MSPLP가 그림 1의 CVR1보다 작아지게 될 가능성이 있으므로 CVR의 결정에 영향을 주게 된다 (만약 MSP의 현재값이 설정값보다 크면, (A)의 값이 105%보다 크게 되어 CVR1은 항상 CVR\_MSPLP보다 작은 값을 가지게 되어 CVR는 항상 CVR1의 값을 가진다.).

### 3. 개조대상발전소의 부하제어 기능 설계

#### 3.1 대상발전소의 운전 특성

적용 대상발전소는 무연탄을 주연료로 사용하는 증유혼소 발전소로서 200MW급 드림형이다. 사용되는 밸브는 주증기 정지밸브(Main Stop Valve, MSV) 2개, 주증기 조절밸브(Control Valve, CV) 6개, 재열증기 정지밸브(Reheat Stop Valve, RSV) 2개, 재열증기 조절밸브(Intercept Valve, IV) 2개가 설치되어 있으며, MSV 2개 중 1개는 바이패스밸브를 내장하여 터빈 속도제어 및 초기부하제어까지 담당한다. 개조대상 발전소의 터빈제어계통은 전기유압식(Electro Hydraulic Control, EHC)으로 GE사의 MARK II가 사용되고 있으며 제어로직은 아날로그 전기회로로 구성되어 있다. 각종 제어밸브의 위치는 EHC로부터 전해지는 신호에 따라 조절되어진다. 기존의 아날로그 제어시스템에 의해 운전되고 있는 상태를 정격속도 도달이후부터 약 50MW의 전기적 출력을 내고 있을 때의 상황을 그림 6에 나타냈다.

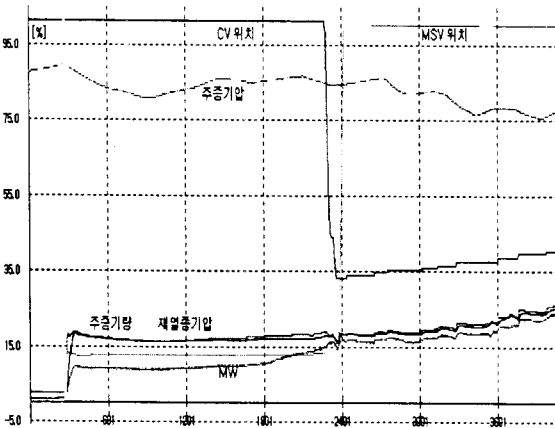


그림 6. 개조대상 발전소에서의 운전데이터 파형

x축은 시간(sec)을 나타내고 y축은 %단위를 나타낸다. 여기서 300초 근처에서 계통병입이 이루어지고 2400초 근처에서 전주분사모드에서 부분분사모드로 전환되고 있는 현상을 보여주고 있다. 처음에 CV의 위치는 100% 열려있으며, MSV의 바이패스 밸브에 의해 터빈속도제어 및 초기부하까지 담당하다가(전주분사 모드), 정해진 출력(약 15%)에 도달되면 CV를 서서히 닫기 시작하다가 출력의 감소가 발생되면 MSV를

100% 열고, 이후 CV를 서서히 열기 시작하면서 부하제어가 이루어지는 현상(부분분사 모드)을 보여주고 있다.

#### 3.2 대상발전소의 부하제어 구성

기존 아날로그 제어시스템의 디지털 제어시스템으로 구현은 대상 발전소의 운전특성을 고려하면서 2장에서 설명한 기능을 기준으로 하여 다음과 같은 기능을 갖도록 한다. 2장에서 설명한 부하제어 기능은 CV의 위치 요구신호였으나, 개조대상 발전소에서는 15%의 전기적 출력을 내기까지는 MSV내의 바이패스밸브의 위치요구신호로 사용되고, 그 이후의 부하제어는 CV의 요구신호로 사용되도록 구현한다. 발전기의 계통병입은 기존의 방식대로 수동으로 구현하고, 계통병입이 성공적으로 이루어지면 하나의 점점신호를 입력받아 초기부하를 형성하기 위해 빠른 부하증가율에 의해 부하설정치를 증가시키도록 한다. 어느 정도의 안정이 이루어지면 운전자의 조작버튼에 의해 부하설정치를 서서히 증가시켜 MSV의 바이패스 밸브의 개도를 증가시켜 전주/부분 분사의 전환시점까지 부하를 증가시킨다. 전환이 시작되면 CV의 위치는 일정한 율로 감소하고 출력의 변화가 발생하면 CV의 위치는 더 이상 감소시키지 않고 MSV의 위치를 100% 열어둔다. 이 이후의 부하설정치 증가는 운전자의 입력에 의해 증가되도록 구현한다. 부하설정치의 자동 증감은 계통병입후 짧은 시간동안이나 속도병합모드 시 혹은 타 시스템 으로부터 설정값을 입력받을 때이다. 또한 주증기압에 의한 부하제한 운전은 상황에 따라 운전원이 설정치를 조절할 수 있도록 구현한다.

#### 4. 결론

국내에서 아날로그 제어시스템을 사용하고 있는 증기터빈 발전소의 제어시스템을 디지털 제어시스템으로 변환하기 위해 발전기가 계통병입된 후 이루어지는 출력제어 부분을 부하목표값, 부하기준값, 부하증가율 및 주증기압에 의한 부하설정값을 구현하는데 필요한 알고리즘을 제시하였고, 기존의 제어시스템에서의 운전특성을 분석하였다. 분석한 결과를 근거로 앞으로 디지털 터빈제어 시스템을 구현하는데 필요한 기초자료로 활용할 계획이다.

#### (참고 문헌)

- [1] 한국전력공사, "기본운전지침서, 서천화력발전소", 1990
- [2] 한국전력공사, "MARK V Control System, 동해화력발전처", 1998
- [3] 한국전력공사, "MARK V Control System, 북제주화력 발전처"