

응동속도가 낮은 제어밸브에서의 가변이득을 이용한 증기터빈 발전소의 터빈 속도제어

우주희, 김종안
전력연구원 발전연구실

Turbine Speed Control at Steam Turbine Power Plant using control valve of long time constant

Joo-Hee Woo and Jong-An Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - We analyzed an existing turbine speed control logic in steam turbine power plant. If it is too late to respond a valve position demand signal, it is difficult to control turbine speed. In this paper we proposed a modified control logic and showed a good result by computer simulation.

1. 서론

증기터빈 발전소에서 전기적인 출력을 생산하기 위해서는 터빈을 정격속도로 유지시킬 필요가 있다. 현재 국내에서 운용중인 증기터빈 발전소의 터빈 속도제어는 P 제어에 정격속도를 유지하기 위한 상수값을 항상 더해주는 방법과 PI제어를 사용하는 방법이 사용되고 있다. 후자의 방식은 터빈 운전상황에 따라 적절히 I제어에 의한 값을 리셋시켜 주는 것이 필요하고, 일반적으로 전자의 방식이 현재 많이 적용되고 있다.

터빈속도 제어를 담당하는 밸브가 제어기에서 요구하는 신호에 대해 느리게 응답한다면 속도제어가 상당히 어려워지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 전자의 방식에 터빈 속도에 따른 가변이득을 적용하였다. 실제 증기터빈 발전소의 터빈제어계통을 모델링한 시뮬레이터를 사용하여 모의실험을 하였고, 그 결과 제시한 알고리즘을 사용할 경우 기존의 경우보다 더 나은 성능을 보여주고 있다.

2. 증기터빈 발전소의 터빈속도 제어로직 구현

2.1 개요

국내 증기터빈 발전소의 아날로그 터빈제어시스템을 디지털 제어시스템으로 개조하는 과정에서, 터빈속도 제어를 주로 담당하는 밸브는 바이패스 밸브가 내장된 주증기 정지밸브(Main Stop Valve, MSV)인데 응동속도를 그림 1과 같은 방식으로 측정하였다.

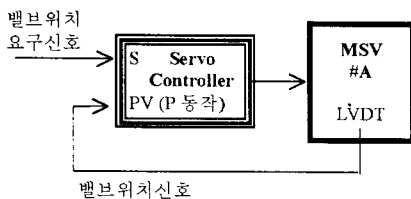


그림 1. 밸브 개도 특성 실험 구성도

밸브위치 요구신호를 0%에서 100%까지 혹은 100%에서 0%까지 단위계단 입력을 입력한 후 밸브가 완전히 열리거나 닫힐 때까지의 시간을 측정하였다. 그 결과 밸브가 완전히 열릴 때까지 약 52초, 완전히 닫힐 때까

지 약 24초의 시간이 소요되었다. 서보 제어기의 P이득을 조정하더라도 큰 차이는 없었다. 이러한 특성이 나오도록 터빈 시뮬레이터를 구성한 후 모의실험을 한 결과 터빈속도 제어가 제대로 되지 않았다. 본 논문에서는 발전기가 계통병입이전에 응동속도가 낮은 제어밸브를 사용하여 터빈속도 제어를 하는 상황만 관심을 가지고 언급하고자 한다. 이 결과는 3절에서 자세히 언급하고자 하며, 다음절에서 일반적으로 사용되는 터빈속도 제어로직과 이러한 문제를 해결하기 위해 제시한 제어로직에 대해서 설명하고자 한다.

2.2 기존의 터빈속도 제어로직

증기터빈 발전소에서 터빈속도 제어를 위해 일반적으로 사용되는 로직은 그림 2와 3과 같다. 3000RPM에서 공진을 회피하기 위한 Wobblulator 기능과 발전기가 계통병입된 이후 적용되는 Deadband 기능은 고려사항에서 제외하였다.

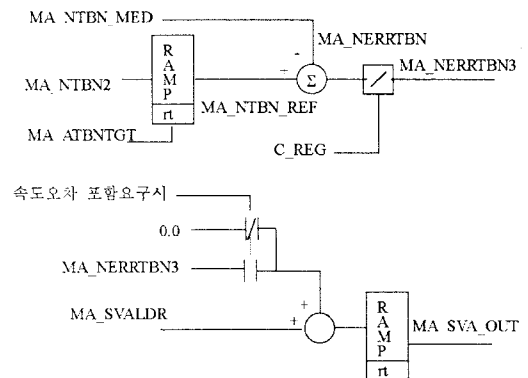


그림 2. 기존의 터빈속도 제어로직 (I)

그림에서 나타난, “ \neg ”는 해당 접점이 활성화되면 입력신호를 출력으로 통과시키고, “ \neg ”는 해당접점이 활성화되지 않아야 입력신호를 출력으로 통과시키는 것을 나타낸다. 또한 “RAMP”는 출력이 주어진 기울기(“rt”)대로 입력을 따라 가는 기능을 가지고 있다. MA_NTBN_MED는 실제 터빈속도이고, MA_NTBN2는 운전원이 설정한 터빈속도의 목표값이고, MA_ATBNTGT는 승속율을 나타낸다. MA_NTBN_REF는 터빈속도의 기준값으로 목표값을 지정한 기울기로 추종하는 값이고, MA_NERRTBN은 터빈속도 오차를 나타낸다. MA_NERRTBN3는 이득이 곱해진 속도오차를 나타낸다. MA_SVALDR은 부하요구값으로서 발전기가 계통병입이전에는 터빈이 무부하 정격속도를 유지하기 위한 상수값이 입력되어 진다(약 3%에 주증기압이 보상되어 반영된다). MA_SVA_OUT은 그림 1의 밸브위치 요구신호로 연결되어 지는 값

로서 MSV A의 위치요구신호가 된다. C_REG는 3200RPM까지는 0.1로 유지되다가 그 이후에서는 0.05까지 증가된다.

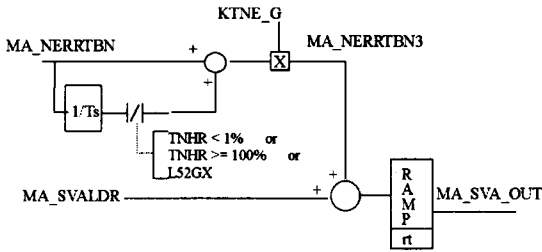


그림 3. 기존의 터빈속도 제어로직 (II)

터빈속도제어의 또 다른 형태가 그림 3에서 보여주고 있는데, T는 30초이고, KTNE_G는 항상 20이다. 여기서는 계통병입이전 터빈속도제어시의 MA_SVALDR은 0%이다. 여기서 L52GX는 계통병입 여부를 나타내는 변수이다.

그림 2와 3을 비교해보면, 터빈속도 제어를 하기 위해 그림 2는 바이어스항을 가진 P제어형태이고, 그림 3은 PI제어 형태를 가지고 있다. 그림 3은 운전원이 승속을 선택한 이후에야 I동작이 진행되도록 구성되어 있어 초기속도오차를 제거할 수 있으며, 그림 2에서 필요한 무부하 정격속도를 유지하기 위한 상수값이 I동작에 의해 자동으로 계산되어 진다.

2.3 제시한 터빈속도 제어로직

적용대상 발전소의 터빈제어 계통의 특성을 가진 시뮬레이터로 모의실험한 결과 저속도에서 터빈속도제어가 이루어지지 않음을 다음절의 내용에서 알 수 있다. 이를 해결하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 제시한다. 그림 2에서는 속도오차에 적용된 이득이 2가지였으나, 터빈속도에 따라서 그림 4와 같은 이득이 적용되도록 구성하였다.

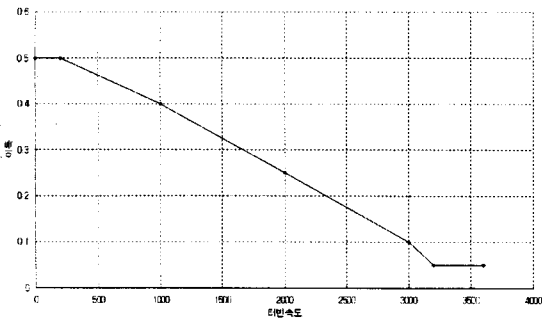


그림 4. 터빈속도에 따른 가변이득

저속도에서 속도오차에 대한 이득을 작게 함으로써 벨브가 진동하는 현상을 막을 수가 있다.

3. 모의실험 결과

적용대상 발전소의 터빈제어계통을 모델링한 시뮬레이터 및 터빈제어시스템의 구성은 그림 5와 같다[4]. 터빈제어시스템은 신뢰도가 검증된 삼중화 제어시스템인 미국의 Triconex사의 Tricon V9.4모형을 사용하였고[5], 시뮬레이터는 적용대상발전소의 운전데이터 및 현장특성을 반영하여 구성하였다. 그림에서 OIS는 사용자 조작

화면으로 Intelution사의 "FIX Dynamics"를 사용하여 구현하였고, EWS는 제어로직을 구현하여 제어시스템에 프로그램을 다운로드하는 기능을 가지고 있으며, 각각 IBM PC로 구현되어 있다.

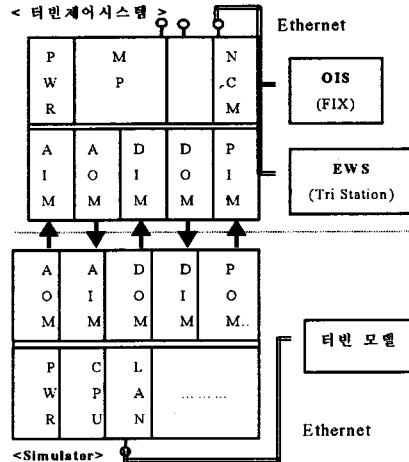


그림 5. 터빈제어 시뮬레이터 구성도

밸브의 응답속도는 IBM-PC로 구현된 그림 5의 "터빈 모델"에서 밸브의 열고 닫는 시간을 임의로 지정할 수 있도록 되어 있다. 밸브의 동작시간을 앞의 2.1절에서 측정된 시간(완전히 열릴때까지 약 52초, 완전히 닫힐 때까지 약 24초의 시간)을 시뮬레이터에 입력하고, 서보 제어기의 P이득은 동일하게 하여 모의실험을 하였다. 2.2절에서 설명한 기존의 방법으로 승속을 하면 초기(그림 6의 구간 X)에 작은 속도오차에 대해 큰 제어기 이득이 곱해지게 되고 밸브는 늦게 응답하므로 밸브 개도가 많이 현탕하여 승속을 할 수 없는 결과가 나타났었다. 이에 반해 제시한 2.3절의 로직을 적용하여 모의 실험을 하면 그림 6과 같이 초기에 속도제어가 이루어짐을 볼 수 있다. 이는 2.2절의 제어기 이득(0.1)에 비해 2.3절의 제어기 이득(0.5)이 5배 작은 값을 적용한 차이에 의한 것이다.

운전원이 3600RPM을 선택하면 ICV가 서서히 열리기 시작하여 완전히 열린 후, MCV가 서서히 열리기 시작하여 완전히 열리면, 속도기준값이 증가하여 속도제어를 담당하는 MSV A가 응답하여 터빈이 승속을 시작하게 된다. 그리고 임계속도(1036, 1896, 2300, 2822RPM)에서는 로직에서 자동으로 기본값인 250RPM/Min에서 500RPM/Min으로 변하여 승속하도록 되어 있어서 모의실험 결과에서도 동일한 결과를 보여주고 있다. 0RPM에서 속도가 증가되기 시작하는 순간에는 밸브의 Deadband특성에 의해 MSV A의 개도는 변하지 않는데 속도 기준값이 증가되므로 이 차이가 크면 ICV가 닫히도록 프로그램 되어 있어서 그림과 같은 결과가 나왔다.

4. 결론

발전소의 증기터빈을 정격속도로 유지하기 위해 사용되는 제어밸브의 응답속도가 느린 경우 기존의 제어로직을 사용하면 저부하대에서 속도제어가 어려워지는 현상을 모의실험을 통해서 확인하였고, 기존의 제어로직에 터빈속도에 따른 가변이득을 사용함으로써 속도제어가 가능함을 보여주었다. 서보 제어기의 이득은 같게 두고 모의실험 결과 실제로 대상발전소에 적용할 경우 기존의 성능을 충분히 만족할 수 있음을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, “서천화력 기본운전지침서(Ⅲ)”, 1990
- [2] 한국전력공사, “동해화력 MARK V 터빈제어 로직”, 1998
- [3] 한국전력공사, “북제주화력 MARK V 터빈제어 로직”, 1999
- [4] 한국전력공사, “터빈 DCS 검증용 시뮬레이터 개발”, 2000
- [5] Triconex, “Manuals for Technical Product Guide”, 1997

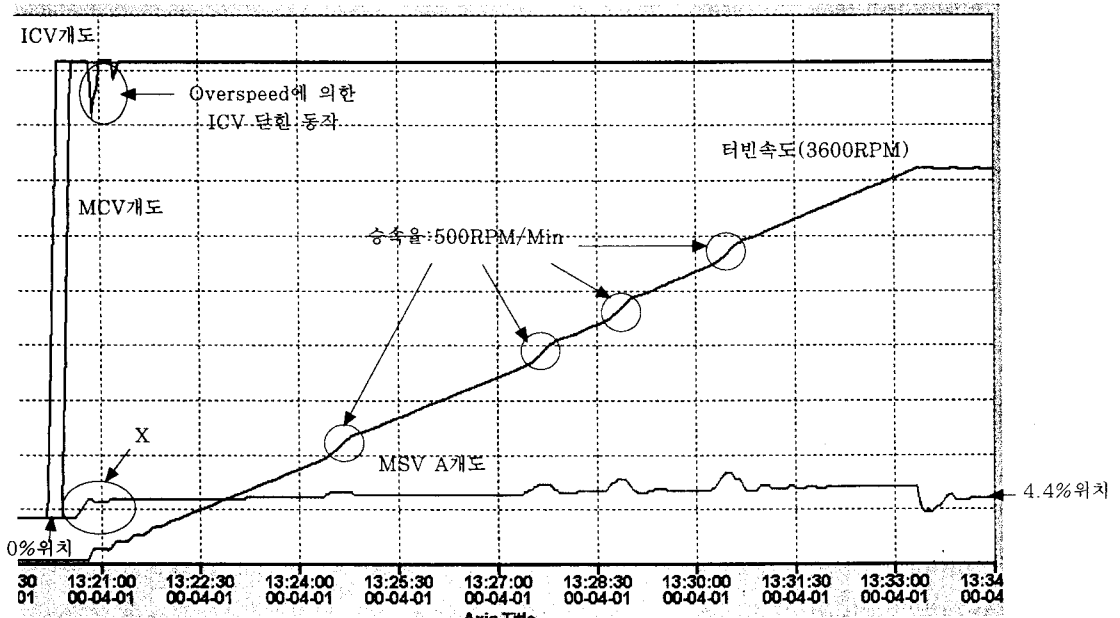


그림 6. 모의실험 결과