

증기터빈 발전소의 부하제어루프 모의실험

우주희, 정창기
전력연구원 발전연구실

Load Control Simulation of a Steam Turbine Power Plant

Joo-Hee Woo and Chang-Ki Jeong
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - We analyzed an existing analog and digital turbine control logic. We developed load control application program for steam turbine power plant. In this paper, we showed a similar result compared with an existing analog turbine control system by computer simulation.

1. 서론

국내에 오래전에 설치된 발전소의 터빈제어시스템은 주로 아날로그 전기회로로 구성되었고, 장기사용으로 노화되어 유지보수가 힘들게 되었다. 급속한 기술발전에 힘입어 90년대 초반에는 터빈제어시스템이 삼중화된 구조로 향상되었을 뿐만 아니라 고장포용, 자기진단 및 다양한 선택(Voting)로직을 이용하여 터빈이 보다 안정적이고 신뢰성 있는 운전이 될 수 있도록 터빈제어기술이 발달해 가고 있는 현실이다. 이러한 상황에서 디지털 제어시스템으로의 개조에 대한 필요성이 제기되어, 국내에서 아날로그 제어시스템을 사용하고 있는 증기터빈 발전소의 터빈 제어시스템을 디지털 제어시스템으로 변환하기 위해 기존 및 최신의 제어시스템에 대한 분석이 필요하게 되었다. 개조대상 발전소(200MW급)에서 사용된 터빈제어시스템은 GE사의 MARK II이고, 아날로그 회로로 구성된 제어카드에 의해 제어로직이 수행된다.

본 논문에서는 현재 타 발전소에서 사용되는 터빈제어 로직을 기본으로 하여 개조대상 발전소의 기존 운전방식에 적합하도록 부하제어로직을 구현한 결과에 대해서 언급하고자 한다. 발전소의 부하제어부분을 디지털 제어시스템으로 구현하는데 필요한 부하목표값, 부하기준값, 부하증감율 및 주증기압 및 복수기 진공도에 의한 부하제한값을 계산하는데 필요한 알고리즘을 소개하고자 한다. 또한 적용대상 발전소의 터빈계통을 모델링한 시뮬레이터를 사용하여 구현한 로직의 타당성을 검증하였다. 2장에서는 적용대상 발전소에 구현될 부하제어로직을, 3장에서는 모의실험 결과를, 4장에서 결론을 각각 설명하고 있다.

2. 적용대상 발전소의 부하제어 로직 구현

2.1 적용대상 발전소의 기존 부하제어 로직

터빈제어에 사용되는 주요 밸브는 크게 네 가지 종류가 있다. 주증기 정지밸브(Main Stop Valve, MSV)는 비상시나 정지시에 고압터빈에 공급되는 증기를 차단하거나, 내부의 바이패스 밸브를 이용하여 터빈 기동초기에 예열용 증기를 공급한다. 주증기 제어밸브(Control Valve, CV)는 고압터빈에 유입되는 증기량을 미세하게 조절하여 터빈속도 및 부하를 조절한다. 재열증기 정지밸브(Reheat Stop Valve, RSV)는 비상시에 중앙터빈에 유입되는 증기를 차단한다. 재열증기 제어밸브(Intercept Valve, IV)는 주로 재열증기 계통으로 인한 터빈 과속을 방지하기 위하여 설치하며, 정상 운전중 완전히 열려있다가 터빈정지시 닫히게 된다. 본

논문에서는 이들 제어밸브 가운데 부하제어에 주로 관련되는 주증기 정지밸브 및 주증기 제어밸브의 위치제어에 대한 내용이 주로 언급된다.

기존의 아날로그제어시스템은 아래 그림 1과 같이 연산증폭기, 저항, 커패시터등으로 아날로그 회로를 구성하여 고유의 제어기능을 발휘되도록 구성되어 있으며, 부하제어와 관련된 주요 제어로직은 다음과 같다.

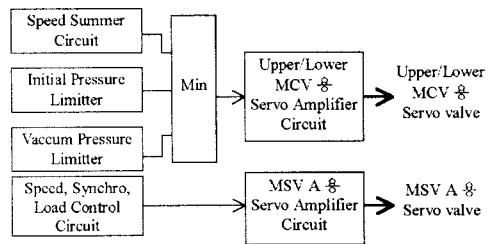


그림 1. 기존의 아날로그 제어시스템의 구성

"Speed Summer Circuit"는 고부하대에서 운전원에 의한 출력 증감발 운전이 이루어지거나 부하추종운전 기능이 구현되어 있고, "Initial Pressure Limiter"와 "Vacuum Pressure Limiter"는 주증기압 및 복수기 진공도가 설정치보다 작을 때 MCV의 위치를 제한하는 기능이 구현되어 있고, "Speed, Synchro, Load Control Circuit"는 터빈 속도제어 및 초기부하제어 기능이 구현되어 있으며, "MCV/MSV A용 Servo Amplifier"는 각각의 제어기에서 계산된 최종 밸브 위치 요구신호와 밸브의 현재위치 신호를 서로 비교하여 해당 밸브를 움직이게 하는 요구신호를 서보밸브에 보내는 기능을 가지고 있다. 이러한 제어기능을 디지털 터빈제어 시스템으로 구현하기 위해 필요한 제어로직을 다음 절에서 설명한다.

2.2 적용될 부하제어 로직

적용대상 발전소에 사용될 MSV A 및 MCV용 부하제어로직이 그림 2와 3에서 보여주고 있다. 그림에서 나타난 ---| 는 해당 접점이 활성화되면 입력신호를 출력으로 통과시키고, ---|/ 는 해당접점이 활성화되지 않아야 입력신호를 출력으로 통과시키는 것을 나타낸다. 또한 "RAMP"는 출력이 주어진 기울기("rt")대로 입력을 따라 가는 기능을 가지고 있다. 여기서 MA_SVA_OUT, MA_VIL_OUT, MA_VIU_OUT은 각각 MSV A용, Lower MCV용, Upper MCV용 서보제어기에 보내는 각 밸브의 위치 요구신호이다. 서보제어기는 위의 신호와 각 밸브의 현재 위치신호를 비교하여 해당 밸브를 움직이게 해준다. MA_SVALDR과 MA_VILDR은 운전원 및 로직에 의한 부하요구값(MA_SVALDTGT, MA_VILDRTGT)을 주어진 부하율(MA_ASVALDR, MA_AVILDR)에 의해 결정되는 값이다. 또한 MA_NLF는 터빈을 정격속도로 유지해 주기

위해 필요한 밸브 개도 요구량으로서, 주증기압에 의해 보상된 상수로 구현되어 있다. MA_NERRTBN3는 속도조절율이 고려된 터빈속도오차를 나타내며, 발전기가 계통과 연계운전이 시작되면 이 값은 각 밸브의 위치 요구신호에 제외되도록 되고, MCV가 부하운전중에는 운전원이 부하추종운전을 요구한다면 속도오차가 고려되도록 되어있다.

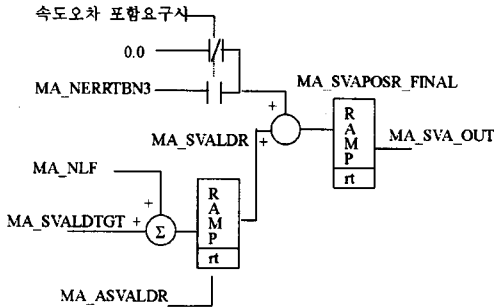


그림 2. MSV A용 부하제어 로직

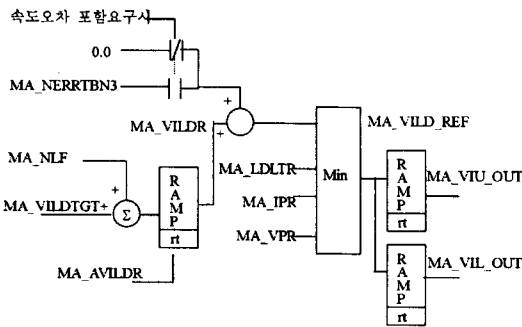


그림 3 MCV용 부하제어 로직

적용대상 발전소에서는 부하제어를 위해 전기적 출력신호를 제한하여 제어에 사용하지 않고 있으며, 최종 요구신호는 밸브위치를 요구하는 신호로 사용된다. 그리고 서보제어기는 P제어만 적용하였다.

MA_SVALDGT와 MA_VILDGT는 운전원에 의한 부하요구값만 아니라 상황에 따라 제어로직에서 자동으로 값이 변화하도록 되어 있는데 그 상황은 아래와 같다.

첫 번째 경우로 발전기가 계통병입될 때 초기부하를 형성하기 위해 주어진 시간동안 자동으로 MSV A의 개도를 현재위치에서 더 열어주도록 구현되어 있다.

두 번째 경우로 MSV A가 초기부하를 담당한 이후 MCV가 부하를 담당하기 위해 밸브전환을 할 때, 운전원이 전환을 요구하면 MCV는 자동으로 감소되게 하고, MCV가 출력을 제한하게 되면 MSV A가 100% 열리도록 구현되어 있다.

세 번째 경우로 주말정지를 위해 발전기가 계통으로 분리될 때 MCV용 부하설정값을 현재값에서 0%로 자동으로 낮추도록 구현되어 있다.

그리고 그림 3에서 부하운전중 MCV의 개도위치를 제한하는 로직이 MA_LDLTR, MA_IPR, MA_VPR에 의해 구현되어 있다. 여기서 MA_LDLTR의 결정 로직은 MA_VILDR 로직에서 MA_NLF가 생략된 것 과 같은 형태이다. 즉 MA_VILDR에는 상황에 따라 속도오차가 포함되지만, MA_LDLTR은 포함되지 않고 오직 운전원에 의해서만 결정된다.

그림 4에서 보여준 주증기압 및 복수기 진공도에 의한 부하제한 로직은 주증기압 및 복수기 진공도가 설정치이하로 되면 주증기 제어밸브를 닫음으로써 터빈을 보호하는 기능을 한다. MCV로 부하운전중에 운전자의 상황판단에 의해 언제라도 투입될 수 있게 하였다(이때 MD_IPLT_PRM, MD_VPLT_PRM이 동작됨).

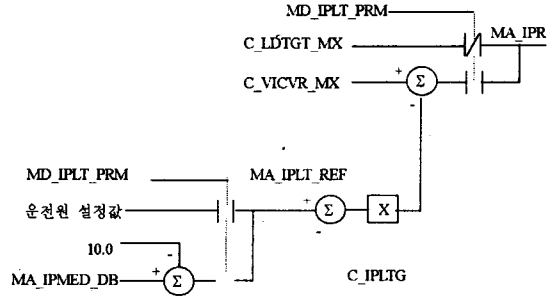


그림 4. 주증기압에 의한 부하제한 로직

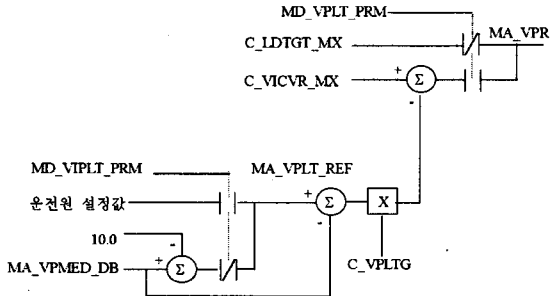


그림 5. 복수기진공도에 의한 부하제한 로직

설정값은 초기에 105%를 가지다가 운전원의 증감버튼에 따라 설정값이 변화된다. 따라서 주증기압의 현재값이 설정값보다 낮으면 재한되는 값이 105%(C_VICVR_MX)보다 작아지게 되어, MA_IPR 혹은 MA_VPR이 최소값으로 선택될 가능성이 있으므로 MCV의 개도결정에 영향을 주게된다. 여기서 이득 C_IPLTG와 C_VPLTG를 10.0으로 줌으로써 설정값보다 현재값이 약 10% 낮으면 MCV를 완전히 닫으라는 명령이 나오게 된다.

3. 모의실험 결과

적용대상 발전소의 터빈제어계통을 모델링한 시뮬레이터 및 터빈제어시스템의 구성은 그림 6과 같다. 터빈제어시스템은 신뢰도가 검증된 삼중화 제어시스템인 미국의 Triconex사의 Tricon V9.4모델을 사용하였고(5), 시뮬레이터는 적용대상발전소의 운전데이터 및 현장특성을 반영하여 구성하였다(4). 그림에서 OIS는 사용자 조작화면으로 Intelution사의 "FIX Dynamics"를 사용하여 구현하였고, EWS는 제어로직을 구현하여 제어시스템에 프로그램을 다운로드하는 기능을 가지고 있으며, 각각 IBM PC로 구현되어 있다.

터빈이 정격속도로 유지된 상태에서 발전기가 계통병입되어 출력운전을 하고 있는 결과를 그림 7에서 보여주고 있다. 속도제어를 담당하고 있던 MSV A의 위치가 계통병입순간 자동으로 약 3% 더 증가되어 초기부하(약 7MW)를 형성시켜주었고, 이후 30MW까지 운전원의 부하 증가요구에 의해 MSV A의 개도가 더 열리면서 출력이 증가되는 결과를 보여주고 있다.

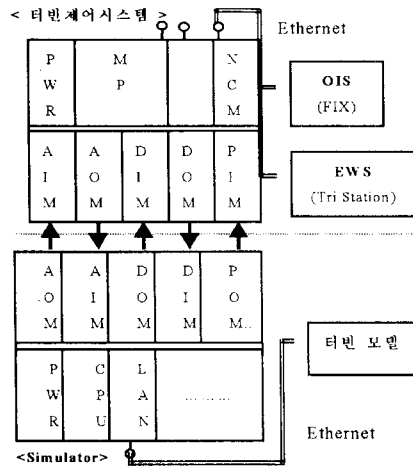


그림 6. 터빈제어 시뮬레이터 구성도

터빈 발전소의 제어시스템을 디지털 제어시스템으로 변환하기 위해 발전기가 계통병입된 후 이루어지는 출력제어부분을 부하목표값, 부하기준값, 부하증가율 및 주증기압 혹은 복수기 진공도에 의한 부하제한값을 구현하는데 필요한 로직을 제시하였고, 적용대상 발전소의 터빈계통 시뮬레이터를 사용하여 구현한 로직의 타당성을 보였다. 모의실험 결과 적용대상 발전소의 운전특성과 유사한 결과를 보여주었고, 실제로 대상발전소에 적용할 경우 기존의 성능을 충분히 만족할 수 있음을 보였다.

(참고 문헌)

- [1] General Electric, MARK II EHC User Manual
- [2] 한국전력공사, "서천화력 기본운전지침서(III)", 1990
- [3] 한국전력공사, "기력터빈 디지털 제어시스템 개발(2차 중간보고서)", 1999
- [4] 한국전력공사, "터빈 DCS 검증용 시뮬레이터 개발", 2000
- [5] Triconex, "Manuals for Technical Product Guide", 1997

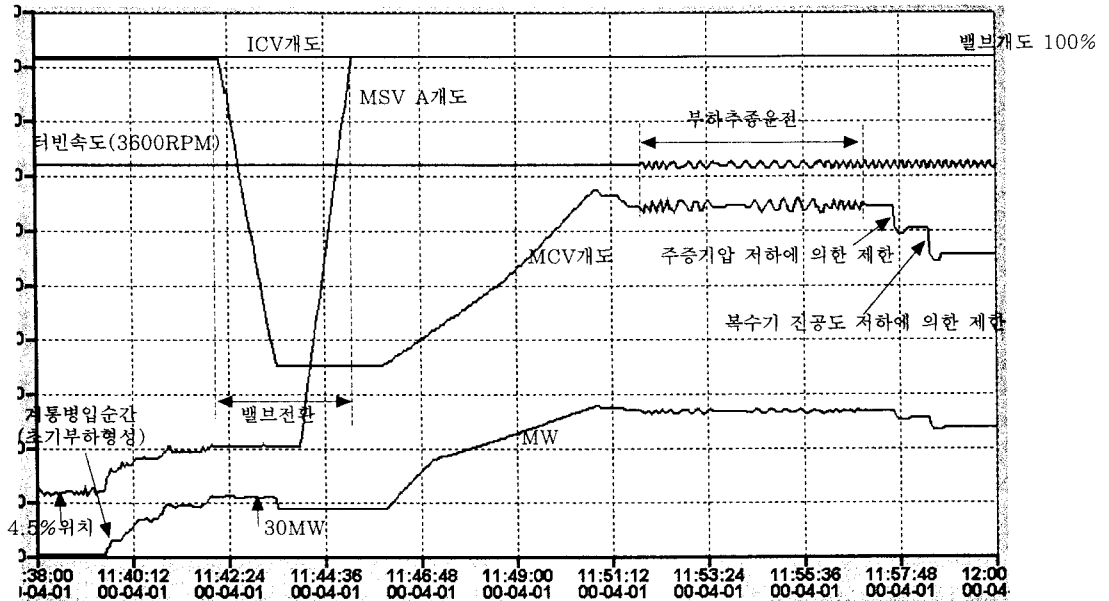


그림 7. 모의실험 결과

또한 운전원이 밸브전환을 요구하면, 제어로직에서 MCV위치가 자동으로 감소되다가 증기흐름을 제한할 때 더 이상 감소되지 않고 있다가 운전원이 밸브전환 완료를 선택하면 MSV A가 완전히 열린위치로 이동하게 된다. 이후 MCV가 운전원의 요구에 따라 부하운전을 담당하게 된다. 그리고 부하추증운전을 하기 위해 터빈모델에서 강제적으로 터빈속도를 흔들리게 하여 MCV가 추종하는 모습을 보여주었고, 주증기압 및 복수기 진공도 저하에 의해 MCV위치가 닫혀지는 결과를 보여주고 있다. 모의실험 결과 기존의 터빈제어시스템에서 운전되고 있는 형태와 유사한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

- [6] 우주희, 최인규, "운전데이터에 의한 증기터빈 발전소의 부하제어에 관한 고찰", 대한전기학회 하계학술대회, 1999

4. 결론

국내에서 아날로그 제어시스템을 사용하고 있는 증기