

기력발전소 조속기의 제어개선에 의한 발전기 부하추종성의 향상 (1)

이종하, 김태웅*
한국남동발전(주), *경상대학교

Improvement of Load Following Operation by Governor Control Logic Modification of the Thermal Power Plant (1)

Jong-Ha Lee, Tae-Woong Kim*
Korea South-East Power Co., *GyeongSang National University

ABSTRACT

The improvement of load following operation of the thermal power plant is influenced to the electrical quality. Analysis of boiler, turbine, and governor system, and the study of control algorithm are preceded. The thermal power plant is operated by various control systems. In the case of faulty governor system, it takes long days to solve the problem and impossible to repair the mechanism without outage. A non-planned outage is taken into consideration because of economical power production. In this paper, to clear the continuous swings of an old turbine governor system(YEOSU #1), the trend, the control logic, and the hydraulic mechanism are analyzed, and then the control circuit with ADAPT function and the 1st order lag circuit are inserted and modified. After that, the power plant comes to automatic governor control operation.

1. 서론

발전기의 부하추종성 향상을 위해서는 보일러와 터빈과 조속기 계통을 정확히 파악하고 또한 제어 알고리즘에 대한 연구가 선행되어야 한다. 발전소의 계통도는 그림 1과 같이 구성되어 있으며 발전소 제어계통은 다양한 제어기구들로 구성되어 있으며 이들의 유기적인 동작이 필연적이다. 전력계통의 품질은 계통전압과 주파수의 유지에 좌우된다. 설비의 노후화로 인해 제어계통의 조화가 어긋나고 조속기의 응답특성이 나빠 계통에 악영향을 미치는 여수화력 1호기의 제어시스템에 대한 운전상태를 정밀 분석하여 제어계통의 조정을 통해 문제점을 해결한 사례를 본 논문을 통해 보고하고자 한다.

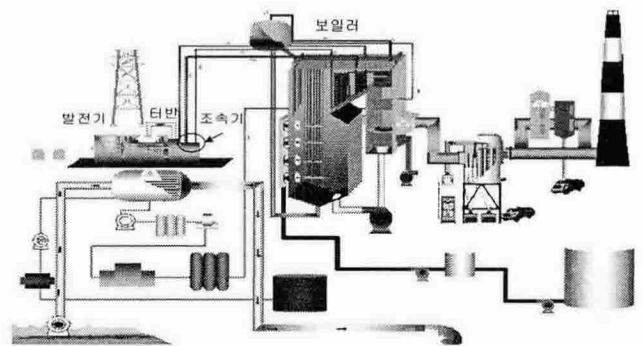


그림 1 발전소 계통도

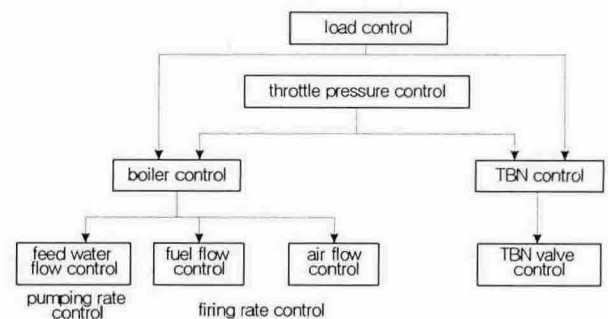


그림 2 협조제어모드

2. 발전소 제어

2.1 발전소 제어모드

발전소 제어모드에는 협조제어모드(CCM), 보일러 추종제어모드(BFM) 및 터빈 추종제어모드(TFM)등이 있다. 여수화력 1호기(#1)의 경우, 각 모드는 마스터제어의 운전모드에 대한 선택결과에 따라 결정된다.^[1] 협조제어방식은 그림 2에서 보여 주듯이 보일러와 터빈 마스터가 발전기 출력과 주증기압력을 동시에 제어하며 주증기압력과 발전기출력의 안정에 기여하는 제어모드이다. 보일러와 터빈 마스터는 주증기압력편차와 발전기출력 편

차신호에 의해서 동작하고 비율은 각각 다르다. 발전소 제어의 기본 조작대상은 터빈 측에서는 터빈 제어 밸브이고 보일러 측에서는 공기 및 연료유량이기 때문에 부하제어는 제일 먼저 터빈 제어 밸브와 연소용 공기와 연료와 급수유량제어의 선행신호가 보일러 측에 전달되고 제어량의 오프셋을 개환제어루프를 사용하여 기준치를 유지하게 한다.^[2]

2.2 PID 제어기와 이에 대한 변형

일반적으로 널리 사용되는 PID 제어기는 다음 식과 같이 구성된다.

$$u(t) = K_p(e(t)) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d e(t) \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

여기서 K_p , T_i , T_d 는 각각 비례게인, 적분시간, 미분시간을 나타내고, $u(t)$ 는 플랜트에 인가되는 제어입력, $e(t)$ 는 오차를 나타낸다.

검출시 노이즈가 많은 경우에는 미분 동작을 사용하지 곤란하기 때문에 귀환루프에 저역통과필터를 삽입하여 노이즈를 제거하며 이를 통해 난조방지 등에 유효하게 사용된다. 조정을 위하여 메이커에서 제공하는 각종 기능들을 적절하게 이용할 수 있는데 그 예로써는 그림 3에 보여준다. PID의 각 제어상수가 고정된 것이 아니라 F(x)에서 지정된 값과 ADAPT에서 지정한 사양번호에 따라 해당 PID의 제어상수가 대체됨으로써 동적인 PID 제어기를 구성할 수 있다.^[3]

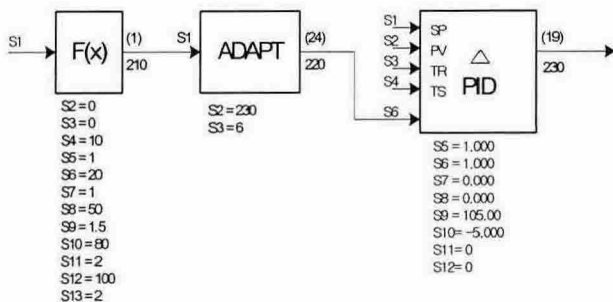


그림 3 가변제어상수 적용을 위한 함수

3. 기력발전소(중유) 조속기의 응답특성

3.1 현상개요 및 이력

여수화력 제 1호기가 정상운전 중 특정 부하대에서 조속기 밸브의 스윙(swing)으로 인한 출력 급변동현상이 발생하여 조속기의 자유운전과 자동발전제어운전을 제대로 운용되지 못하였다. 스윙현상을 억제하기 위해 터빈을 수동으로 절환하여 운전하고 있었다. 2003년 10월 27일부터 12월 12일의

기간에만 해도 총 58회의 스윙사례가 발생하였으며 특히 175~180MW 부근에서는 빈번히 발생되어 터빈운전모드를 수동으로 절환하여 운전하고 있는 실정이었으며 2004년 말까지도 미해결 상태이었다.

3.2 문제점 분석

3.2.1 추이분석

출력을 상승시키는 경우의 추이는 그림 4와 같으며 최초변동신호는 주증기유량과 조속기밸브의 서보모터오일압력이었다. 주증기유량이 변하면서 출력과 주증기압력이 변동되어 보일러마스터와 터빈마스터가 동요되었고 발산현상을 보였다. 특히, 특정 부하대인 130MW와 180MW의 부근에서 큰 동요현상이 발생하였다.

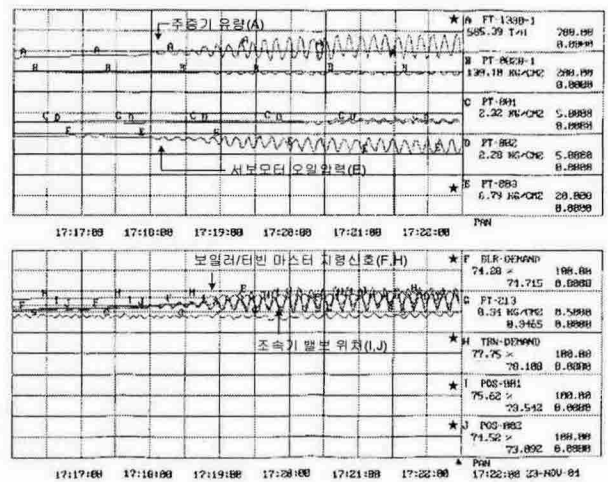


그림 4 여수화력 #1의 조속기에 대한 추이파형(상:주증기유량/오일압력에 대한 변동, 하:보일러/터빈마스터 지령신호에 대한 스윙)

3.2.2 조속기의 메커니즘 분석

그림 5에서 보여준 터빈조속기의 동작흐름도는 DEHC(Digital Electro-Hydraulic Control)의 출력신호에 따라 E/H컨버터를 거쳐 유압신호가 발생되고 조속기밸브를 동작시키도록 되어있다. 추정원인은 조속기의 노후화로 인한 특정부위의 링크나 시트마모로 인한 증기유량의 불균형을 들 수 있고 유압시스템에 있어서 가장 사고의 수가 많은 동작유성분불량에 의한 오동작과 E/H 컨버터의 난조로 인한 동작특성 불량을 들 수 있으나 정상운전 중에는 이것들에 대한 점검이 상당히 제한적이다.

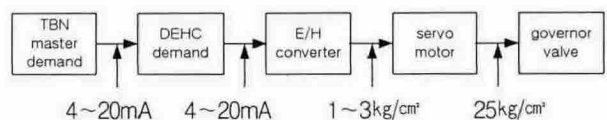


그림 5 터빈조속기의 동작 흐름도

3.2.3 제어로직 분석

협조제어모드의 경우에 보일러마스터 제어회로는 ULD(Unit Load Demand)에 따라 정해지는 주증기압력과 오차를 보상하도록 구성되어 있다. 터빈마스터 제어회로는 ULD와 ULD에 따른 주증기압력을 보정한 MW와의 오차를 PI제어로 터빈 조속기에 명령을 내보내도록 되어 있다. 터빈제어(DEHC) 신호는 보일러 제어시스템에서의 명령 신호와 현재 출력과의 차를 PID로 보상하고 주파수 오차를 보상하도록 구성되어 있다.^[4]

3.2.4 분석결과

특정 부하대에서 발생한 조속기의 스윙현상은 조속기의 노후화로 연유되었으나 제어기에서 외란에 대한 마스터간의 회로간섭으로 제어오차가 과다 발생하여 발산현상이 나타나는 것으로 분석된다. 이는 보일러 또는 터빈 운전모드를 수동으로 전환하여 운전한 경우에 안정됨을 확인하였다. 최초 시작점은 그림 4의 추이파형에서 보여주듯이 조속기계통의 메커니즘 문제로 주증기유량이 변하고 이로 인해 주증기압력과 출력이 변동되고 이에 따른 두 마스터회로의 명령들로 인하여 프로세스는 수렴하지 않고 발산되는 현상을 확인하였다.

3.3 개선방안, 결과 및 검토

터빈조속기에서의 스윙현상은 당장 개선하기 어려운 과제이므로 상호 간섭되는 스윙신호가 더 이상 발산되지 않도록 터빈마스터 제어기의 제어상수 I값을 "1"에서 "0.5"로 조정하였으나 스윙현상은 해소되지 않았다. 그리하여 그림 6과 같이 운전 중에 출력대별로 PI의 제어상수를 조정할 수 있도록 제어상수 가변제어회로를 추가하고 출력대별 오차에 1차 지연회로를 각각 적용(모든 출력 : 1초, 특정부하대 : 2초 지연)한 결과, 보일러와 터빈을 협조제어모드운전, 조속기자유, 자동발전제어운전모드로 운전이 가능해졌으며 출력에 대한 스윙현상이 상당히 개선되었음을 그림 7을 통해 확인할 수 있었다. 운전상태를 살펴보면 조속기의 서보모터오일압력이 특정출력대인 175MW에서 약간 흔들리고 있으나 터빈마스터 제어기의 입력오차신호의 지연으로 인하여 그림 4와 같은 스윙현상이 발산되지 않음을 그림 7에서 확인할 수 있다. 순간부하 추중성은 떨어지지만 특정 출력대(130MW와 180MW 부근)에서 스윙에 의한 발산현상을 억제함으로써 전력계통의 주파수외란을 방지할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 노후화된 조속기의 특성을 제어루

프의 조정에 대한 고려사항과 제어알고리즘 분석을 통해 제어상수 가변제어회로와 1차 지연요소를 적용하여 조속기의 스윙현상을 억제하는 가운데 자동발전제어운전이 가능해진 사례를 보고하였다. 기계적인 조속기 메커니즘에 대한 문제는 해결되지 않았으며 이는 장기 정비계획에 반영되어 개선되어야 할 사항이며 또한 추가적인 제어루프 조정이 필요하리라고 본다.

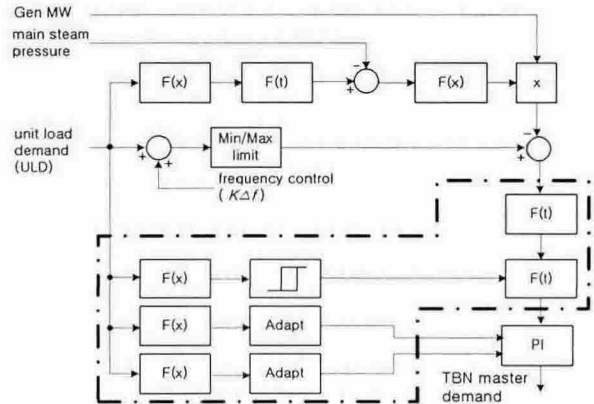


그림 6 여수화력 #1 터빈마스터의 개선된 제어로직

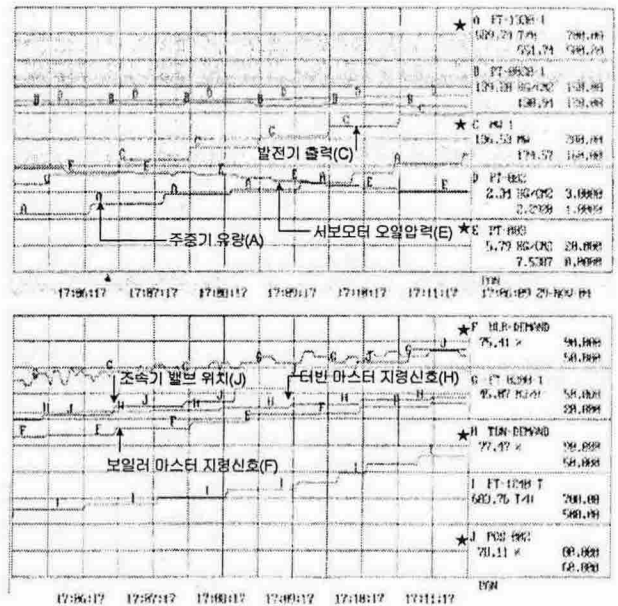


그림 7 여수화력 #1 터빈마스터의 개선된 제어로직을 적용하였을 때의 조속기에 대한 추이파형

참고 문헌

- [1] 한국남동발전(주), 기본 운전지침서(여수 1호기), 2004
- [2] 한국발전교육원, 보일러터빈제어, 1998
- [3] 이성엔지니어링(주), INFI-90 function logic code manual, 1992
- [4] 한국남동발전(주), 여수화력 ABC logic diagram, 2002