

발전소에서 터빈 제어밸브의 전환운전 알고리즘 개선

우주희, 정창기, 김종안, 김병철, 최인규
한국전력공사 전력연구원

Improvement of Valve Transfer Algorithm for Turbine Control Valve in Power Plant

Woo Joo-Hee, Jeong Chang-Ki, Kim Jong-Ahn, Kim Byung-Chul, Choi In-Kyu
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 증기터빈 발전소에서 터빈제어밸브는 운전중 적절히 개도를 조절하여 보일러에서 공급되는 유량을 조절하여 터빈속도 및 발전기의 전기적 출력을 제어할 수 있도록 해준다. 이러한 터빈제어밸브는 4개로 구성 되어 있으며, 운전중 최적의 발전효율을 얻기 위해 저부하에서는 4개의 제어밸브가 동일하게 조절되다가 밸브 전환운전을 완료한 후 4개의 밸브가 주어진 특성에 따라 각기 조절되어야 할 필요성이 있다. 대상 발전소에서 시행하고 있는 운전절차중 하나인 밸브전환 운전은 발전기 출력의 변화가 수반되며 이를 최소화하기 위해 고압터빈축의 1단 압력을 궤환하여 보상을 하는 알고리즘을 사용하고 있다. 사용중에 발전기 출력변화가 발생되어 이를 개선하기 위해 적용되는 알고리즘을 보완하여 실제 발전소 현장에 적용한 결과를 소개하고자 한다.

그림에서 $K \cdot \Delta f$ 는 터빈 속도오차(Δf)에 이득(K)을 곱한 값이고, Load Ref는 운전원 조작시스템(HMI : Human Man Interface)에서 운전원의 증감(INC : Increase 및 DEC : Decrease) 누름단추에 의해 Load Set이 결정 되면 정해진 기울기 (RAMP 블록)에 의해 자동 증감되어 결정된다. Load Limit Ref도 Load Ref와 유사하게 동작하여 운전원의 설정값에 의해 발전기 출력을 제한하는 기능을 가지며, 이외에 기타 부하 요구값으로는 주증기 압 저하에 따른 부하제한 등이 있다. 여기서 CV를 부하요구값은 이를 가운데 작은 값(LVG : Low Value Gate) 선택기능에 의해 결정되며, 이 값이 밸브전환 알고리즘을 거쳐서 4개 CV의 개도 요구값을 결정하게 된다.

1. 서 론

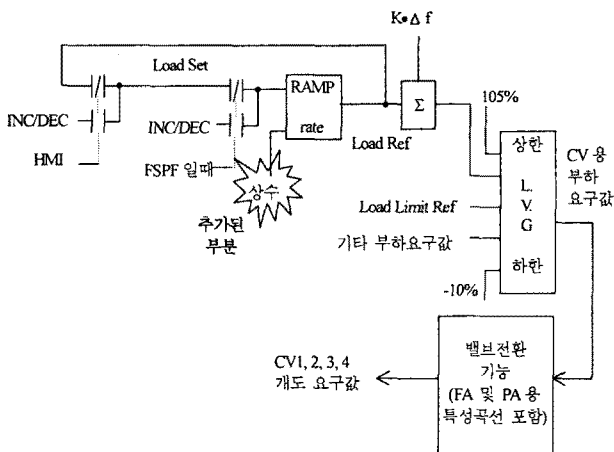
발전소용 터빈제어시스템은 운전중 보일러에서 공급되는 증기량을 조절하여 터빈속도 및 발전기의 전기적 출력을 제어할 수 있도록 하기 위해 4개로 구성된 주증기 제어밸브(Control Valve, CV)의 개도를 제어하게 된다. 터빈에 유입되는 증기의 온도변화는 주증기 배관, 고압터빈 케이싱 및 CV 체스트 등 두꺼운 금속에 열응력을 발생시키는 원인이 되며, 이러한 열응력의 누적은 터빈수명을 단축시킨다. 따라서 가동 및 터빈 기동시 MSV(Main Stop Valve)를 전개하고 4개의 CV를 동시에 조절하여 운전(전주분사 운전 : Full Arc Admission, FA)함으로써 터빈을 일정하게 가열하고 온도변화를 감소시켜 국부적인 열응력 발생을 최소화하기 위해 CV의 열고 닫는 동작은 두 가지 방식에 의해 이루어진다. 저부하대에서는 4개의 제어밸브가 동일하게 조절되는 전주분사(Full Arc admission : FA) 방식과 고부하대에서는 미리 정해진 특성에 따라 각각 조절되는 부분분사(Partial Arc admission : PA) 방식이 있다. 발전기 운전중에 이 두 방식의 전환운전이 필요하며 이때 발전기 출력 등의 변화는 최소로 되게 터빈제어시스템이 동작되어야 한다. 이를 위해 국내 한 발전소는 고압터빈 1단 압력을 궤환받아 발전기 출력을 보상하는 제어알고리즘을 사용하고 있으며, 전환운전의 증기압력 상태 등에 따라 발전기 출력 보상이 느리거나 진동하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 밸브 전환운전시 터빈제어시스템의 제어성을 향상시키기 위해 궤환받는 신호의 오차에 비례하여 발전기 출력 보상을 하는 제어 알고리즘을 구현하고 실제 발전소 현장에 적용한 결과를 소개하고자 한다.

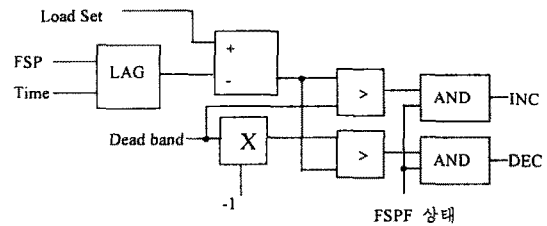
2. 본 론

2.1 기존의 밸브전환 알고리즘 개요

기존 발전소의 터빈제어 알고리즘을 밸브전환 운전과 관련된 부분 위주로 간략히 소개하면 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 CV용 개도 요구값 계산 개요

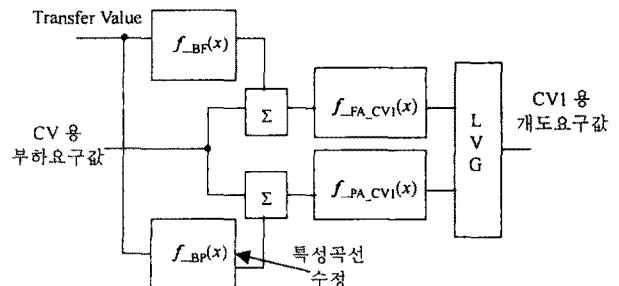


〈그림 2〉 FSPF에 의한 Load Ref 증감 신호 발생 개요

저부하에서는 FA상태로 운전하며 이때는 CV1, 2, 3 및 4가 동일한 개도로 열려 있게 되고, 운전원이 전환을 요구하면 선택된 시간(Slow:20분, Medium:10분, Fast:5분) 동안에 CV4가 먼저 닫히고, 완전히 닫히게 되면 CV3이 닫히게 된다. 이렇게 CV3 및 4가 닫히면서 발전기 출력변화가 생기며 이를 보상하기 위해 CV1 및 2는 더 열리는 제어동작이 자동으로 이루어져야 한다.

밸브전환시 4개의 CV를 열고 닫음에 의해 발전기 출력보상을 위해 기존의 발전소에서 적용되는 알고리즘은 고압터빈 1단 압력 (FSP : First Stage Pressure)을 사용하며, 그림 2에서와 같이 밸브전환 운전이 시작되면 FSPF (FSP Feedback) 상태가 자동으로 투입되며, 시작될 때의 FSP 값을 Load Set에 입력시켜 FSP가 시작될 때의 값보다 더 작아지면 INC가 동작되어 Load Ref 값을 증가시키도록 하고, FSP가 시작될 때의 값보다 더 커지면 DEC가 동작되어 Load Ref 값을 감소시키도록 하여 CV용 부하요구값을 변화시키도록 한다. 변화되는 폭은 Load Ref축의 RAMP 블록의 고정된 하나의 기울기에 의해 결정된다[1].

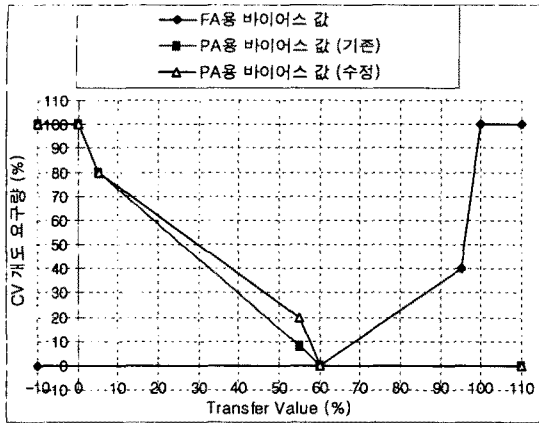
또한 그림 1에서 FSPF 제어상태가 되면 Load Ref는 앞에서 설명한바와 같이 Load Set에 의해 결정되지 않고 그림 2에서 결정되는 INC 및 DEC 점점에 의해 미리 정의된 하나의 기울기에 의해 증감되는 구조이며, Load Set은 FSPF 상태가 시작될때의 FSP 값을 그대로 유지하여 그림 2의 INC 및 DEC 점점이 결정되는 설정값으로만 동작한다.



〈그림 3〉 CV1용 개도요구값 계산 개요도

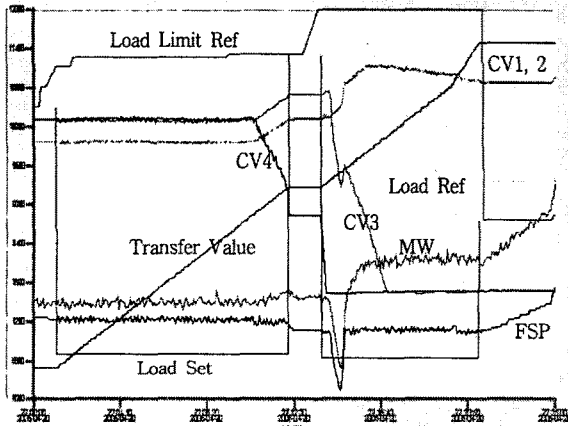
그림 3은 그림1에서 "밸브전환 기능"이라고 표시한 블록의 기능을 자세히 표현한 것이다. Transfer Value는 변환되는 정도를 0에서 100% 사이의 값을 가지며 0%는 FA이고 100%는 PA 상태를 나타낸다. 그림 4의 FA용 바이어스 값 ($f_{BF}(x)$) 및 PA용 바이어스 값 ($f_{BP}(x)$)을 각각 CV용 부하요

구값에 더하여 FA 및 PA일 때의 각 CV의 특성곡선($f_{FA_CV}(x)$ 혹은 $f_{PA_CV}(x)$)을 통과하면 각 CV의 개도요구값이 결정되어 밸브제어가 이루어지게 된다.



〈그림 4〉 CV용 부하요구값 계산 개요도

기존의 알고리즘에 의해 발전소 실제 운전중에 두 번의 시운전 기회가 있었으며, 첫 번째 시운전 결과에 의해 최적으로 선택된 기울기 (0.17%/sec = 51MW/min)를 선택하여 80MW, FSP 19kg/cm에서 변환을 Slow(밸브전환 운전이 20분 소요됨)으로 시작한 결과는 그림 5와 같았다. 첫 번째 보다는 안정적인 결과를 보여주었지만 발전기 출력의 변화폭이 최대 10MW까지 변동되었으며, CV3이 닫히는 과정에서 FSP가 급격히 감소되는 결과를 보여주었다.

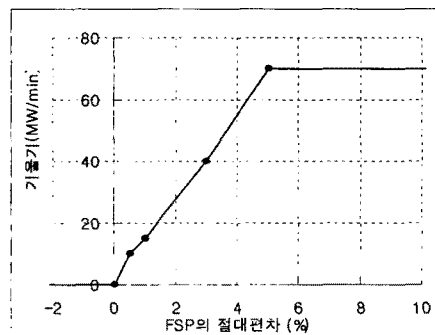


〈그림 5〉 기존 알고리즘에 의한 시운전 결과 트렌드

기존의 알고리즘을 살펴보면 밸브전환시 FSP의 변동이 발생되면 이를 보상하기 위한 증감 펄스(INC 및 DEC)가 발생되고, FSP의 변동폭에 무관하게 미리 지정된 하나의 기울기에 의해 Load Ref에 보상이 이루어진다. 이런 원인으로 만약 FSP에 큰 변화가 발생되면 보상이되는 정도는 동일하므로 정상으로 복귀되기 위해서는 더 많은 시간이 필요로 하는 단점이 있다.

2.2 개선된 밸브전환 알고리즘

이러한 단점을 보완하기 위해 FSP의 설정값과 현재값의 절대편차에 비례하여 기울기를 가변시키는 알고리즘을 그림 1에서와 같은 위치에 추가하였으며, 초기 설정값은 그림 6과 같다.

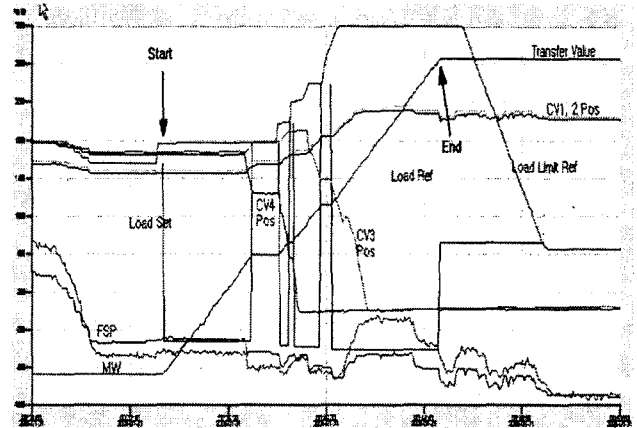


〈그림 6〉 밸브전환 운전시 적용될 기울기의 가변 곡선

또한 그림 5의 시운전 결과를 보면 Transfer Value가 55% 근처에서 급격한 부하변동이 발생되었는데 이의 영향을 줄이기 위해 PA용 바이어스 값의 변화를 그림 3에 표시한 부분에 그림 4에서와 같이 완만하게 변화도록 수정하였다.

보완된 알고리즘에 의해 발전소 운전중에 한 번의 시운전 기회가 있었으며, 그 결과는 그림 7과 같다. 92MW, FSP 22.3kg/cm에서 변환을 Medium(밸브전환 운전이 10분 소요됨)으로 시작하였고, 발전기 출력은 최대 5MW(FSP는 최대 2kg/cm)정도 변화였다. 변환 도중에 Load Limiting 상태가 되어 여러 번 변환이 자동으로 Hold되었다가 다시 진행되었는데, 이는 운전원이 미리 Load Limit Set 값을 크게 설정하여 변환운전을 시작하면 된다.

개선전의 상태와 발전소 운전상태가 똑같지 않으므로 정확한 비교는 어렵겠지만, CV3이 닫힐때와 발전기 출력변화폭만 비교한다면, 수정정보보다 빠르게 밸브전환운전을 시행하여도 개선전보다 더 좋은 결과를 보여주고 있다. 하지만 시험결과를 더 개선하기 위해 위 수정된 로직에서 FSP 편차가 작은 구간에서 좀더 보상값을 크게 할 필요가 있을 것으로 판단된다. 아래 표 1은 그림 5와 7의 x축 및 y축 설정상태를 표시하였다.



〈그림 7〉 보완된 알고리즘에 의한 시운전 결과 트렌드

〈표 1〉 그림 5 및 7의 x축 및 y축 범위

태그 명칭	그림 5	그림 7	태그 색
발전기 출력 (MW)	60 ~ 120	84 ~ 144	녹색
FSP (kg/cm)	15 ~ 35	19 ~ 39	흑색
Load Set (%)	10 ~ 70	10 ~ 70	갈색
Load Ref (%)	"	"	황색
Load Limit Ref (%)	"	"	적색
CV1 개도 (%)	-10 ~ 30	-10 ~ 30	청색
CV2 개도 (%)	"	"	연청색
CV3 개도 (%)	"	"	보라색
CV4 개도 (%)	"	"	흑색
Transfer Value (%)	-10 ~ 110	-10 ~ 110	청색
트렌드 시간 (x축)	총 25분	총 25분	

3. 결 론

발전소에서 시행하고 있는 운전절차중 하나인 밸브전환운전에서 반드시 따르게 되는 발전기 출력의 변화를 최소화하고자 고압터빈축의 1단 압력을 제한하는 알고리즘을 개선하여 발전소에 실제 적용하였다. 제어오차에 비해 한 가변 기울기를 사용하고 바이어스값의 변화율을 조정하여 보상한 결과 수정전의 결과보다 양호한 상태를 보여주었다. 또한 이 알고리즘을 발전소 운전중에 실시하는 CV 시험에도 동일하게 적용하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 우주희 외, "발전소에서 터빈 제어밸브의 전환운전 알고리즘 구현 및 적용", 대한전기학회 하계학술대회, 2005
- [2] 한국전력공사 발전교육원, "터빈운전실무", 1998
- [3] 한전전력연구원, "기력 터빈 디지털 제어시스템 개발"(최종보고서), 2002
- [4] 한전전력연구원, "500MW급 화력발전소 증기터빈 디지털 제어시스템 개발" (최종보고서), 2005