

기존 발전소의 광역 및 협역 터빈속도 제어 알고리즘의 개발 및 적용

우주희, 김종안, 최인규
한국전력공사 전력연구원

Application of Turbine Speed Control Algorithm in a Wide and Narrow Range

Joo-Hee Woo, Jong-Ahn Kim, In-Kyu Choi
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 국내 발전소의 기존 아날로그 제어설비에 구현된 광역 및 협역 터빈 속도 제어기능을 분석하고, 디지털 제어설비에 적용할 수 있는 제어 알고리즘을 제시하였다. 또한 이 알고리즘이 적용된 디지털 제어설비를 발전소 현장에 적용하였으며 양호한 결과를 보여 주었다.

1. 서 론

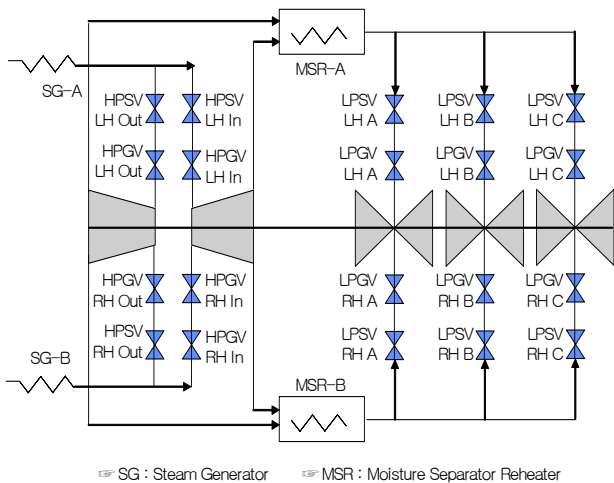
터빈 조속기는 발전을 계통에 병입하기 전에는 터빈의 속도를 제어하고, 계통병입 후에는 터빈 부하를 제어하는 장치이다. 적용 대상 발전소의 기존 아날로그 조속기는 장기사용으로 인하여 제어카드의 노후화 및 신뢰성 저하, 예비품 예산 과다소요 및 생산 중단 예상, 단일 제어루프의 고장으로 인한 발전운전의 불안정과 같은 문제점이 상존하고 있어 제어설비의 성능 개선 필요성이 절실히 요청되고 있어 최신의 디지털 제어설비로 교체하고자 한다. 발전소 현장에 성공적인 교체를 위해서는 기존 제어 알고리즘의 정확한 변환이 중요하다.

조속기의 핵심 기능인 터빈의 속도나 발전기 출력제어는 터빈에 유입되는 증기량의 조절로써 이루어지는데, 이는 터빈속도 신호와 운전원 요구신호를 서로 비교한 후 밸브 개도 요구신호로 변환하여 각 밸브 제어기에 보냄으로써 터빈에 공급되는 증기량을 조절한다. 이때 속도 검출 및 제어를 위해 기존 제어기는 광역(Wide Range) 제어기와 협역(Narrow Range) 제어기에 의하여 수행된다. 최근의 제어설비에서는 이러한 두 가지 구성으로 이루어지지 않고 하나의 속도제어기에 의해 이루어진다.

본 논문에서는 기존 제어설비가 가지고 있는 광역 및 협역 속도제어 기능을 분석하고 이와 유사한 기능을 구현할 수 있는 디지털 제어설비에서의 제어 알고리즘을 제시하고, 발전소 현장에 실제 적용한 결과를 보여주고자 한다. 본 논문은 계통병입 이전의 정상적인 터빈 속도제어 기능에 대해서만 관심을 가지며 그 이외의 과속도 보호기능 및 발전기 출력제어 기능은 논외로 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 적용 대상 발전소의 터빈 제어 개요



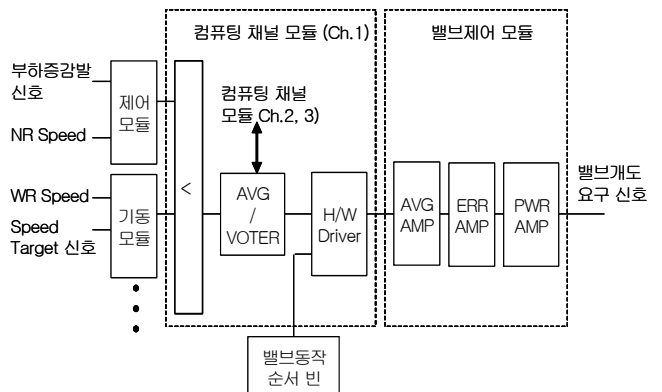
SG : Steam Generator MSR : Moisture Separator Reheater
<그림 1> 터빈제어 밸브 구성 개요도

적용 대상 발전소는 그림 1과 같이 고압터빈(HP) 1대, 저압터빈(LP) 3대가 동일 축상에 직렬로 연결되어 있다. 터빈속도 및 보호를 위한 제어밸브로는 고압터빈 정지밸브(HPSV : HP Stop Valve) 4개, 고압터빈 조속밸브(HPGV: HP Governor Valve) 4개, 저압터빈 정지밸브(LPSV: LP Stop Valve) 6개, 및 저압터빈 조속밸브(LPGV: LP Governor Valve)가 6개 각각 설치되어 있다. 터빈의 승속 운전은 저속에서는 HPSV에 의해 이루어지고, 고속에서는 HPGV에 의해 이루어진다.

2.2 기존 조속기에서의 터빈 속도제어 개요

기존의 조속기는 아날로그 제어시스템으로 영국 GEC사에서 설계 제작하였으며, 영국 FISHER CONTROL사의 각종 제어카드를 사용하며 그림 2와 같은 구성을 가진다.

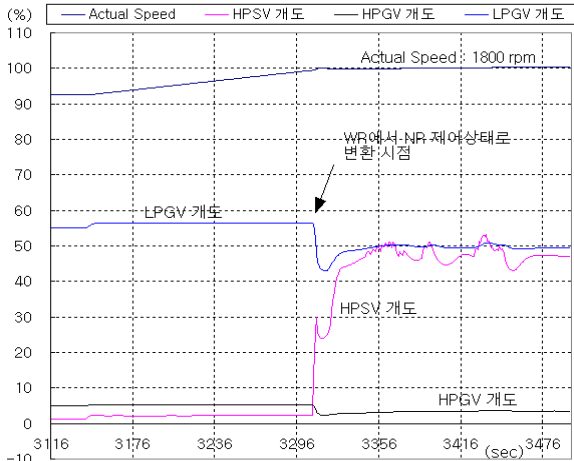
그림에서 “제어모듈”은 부하 증감발 신호와 협역 (Narrow Range Speed) 속도신호를 입력받아 속도편차를 계산하는 다른 모듈로 연결하는 기능을 가진다. “기동모듈”은 광역 (Wide Range) 속도신호와 운전원의 속도 설정값(Speed Target : 0~1800rpm)을 입력받아 속도 편차신호를 계산하고, 이 편차신호를 “컴퓨팅 채널 모듈”로 전달하여 정격속도의 94%까지 터빈을 제어할 수 있도록 한다. “컴퓨팅 채널 모듈”은 기준 속도(1800rpm)와 실제속도를 비교하여 속도 편차신호를 발생하여 터빈 속도에 맞는 증기량 요구신호 (Steam Demand)를 계산한다. “AVG/VOTER” 기능은 삼중화로 이루어진 컴퓨팅 채널 모듈 (Ch 1, 2, 3)의 최저 신호 선택기 출력 신호 3개를 평균 혹은 선택하고, 이 신호를 각각의 밸브제어 계통과 연계되는 “H/W Driver”로 전달되어 각 “밸브 제어 모듈”로 보내진다. “밸브제어 모듈”은 다중화된 채널의 밸브개도 요구값을 평균(AVG AMP)하고, 각 밸브의 개도신호를 피드백 받아서 편차(ERR AMP)를 구하고, 그 신호를 증폭(PWR AMP)하여 현장의 2 밸브 제어계통으로 신호를 최종적으로 보내게 되어 있다. “밸브동작 순서 빈”은 각 밸브에 고정 바이어스를 공급하여 밸브의 개방순서 및 동작 특성곡선을 결정해 주는 기능을 가지고 있다. 그림에서 $\lt;$는 입력되는 신호 중 가장 작은 값을 선택하는 기능을 표시한다.



<그림 2> 기존 조속기 제어모듈 개요도

즉, 광역 제어기는 정격속도의 94%까지 터빈속도를 제어하고, 협역 제어기는 93%에서 정격속도에 도달할 때까지 터빈속도를 제어하며, 발전기가 계통에 병입된 후에는 터빈 부하를 제어한다. 그림 3은 기존 조속기를 사용하여 실제 운전중에 취득한 그래프이다. 터빈속도가 저속에서는 터빈으로 유입되는 증기량이 HPSV에 의해 이루어지고, 고속(약

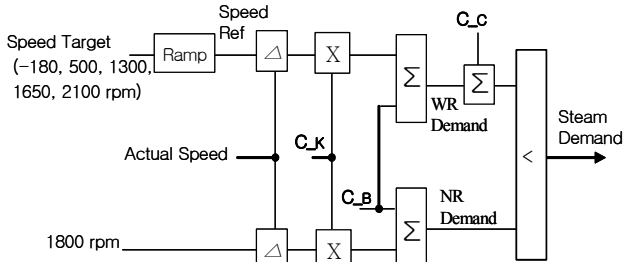
94% 이상)에서는 HPGV에 의해 이루어짐을 볼 수 있다. 변환되는 시간은 약 20여초 정도 소요되었으며, 이때 터빈속도의 변화없이 자연스럽게 1800rpm 까지 증가되었다. 새로이 구현될 제어알고리즘도 이러한 성능을 만족시켜야 한다.



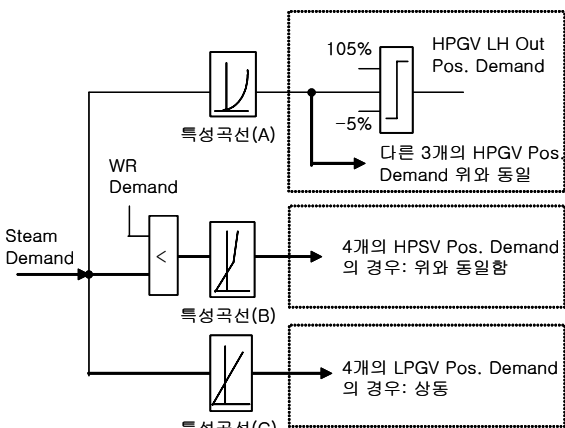
〈그림 3〉 기존 조속기에서의 제어 결과 트렌드

2.3 신규 조속기에서의 터빈 속도제어 알고리즘

기존의 아날로그 제어알고리즘을 아래 그림 3 및 4와 같이 구현하였다. 그림에서 **Ramp**는 주어진 입력신호를 목표로 지정된 기울기로 서서히 변화하는 기능을 표시하고, **△**는 빼기, **X**는 곱하기, **Σ**은 더하기 기능을 각각 표시한다.



〈그림 4〉 증기량 요구값 계산 알고리즘



〈그림 5〉 밸브개도 요구값 계산 알고리즘

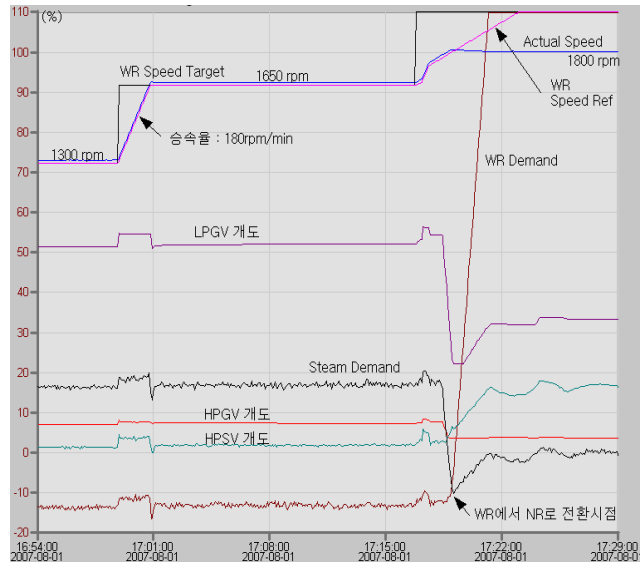
WR Demand는 운전원이 선택하는 미리 지정된 속도 설정값 (Speed Target)을 선택하면, 그 값을 목표로 지정된 기울기로 서서히 변해 Speed Ref가 결정되며 이값이 실제 속도와 비교하여 편차가 계산되며 이 편차와 지정된 이득(C_K)으로 곱하여져 결정된다. NR Demand는 운전원의 속도 설정값과 상관없이 항상 정격속도와 비교되어 편차가 계산된다. 또한 WR 및 NR Demand에는 상수값(C_B)가 공통으로 더해지는

때 이 값은 비례제어기에서 정상상태(1800rpm에서의) 오차를 제거하기 위한 바이어스 값이다.

증기량 요구값(Steam Demand)은 NR Demand와 WR Demand에 상수값(C_C)이 더해진 값중 작은 값으로 결정된다. 이 상수 C_C 는 발전소의 밸브 특성곡선(A, B, C)에 의해 결정되며, 협역제어 중 일때 HPGV가 터빈으로 유입되는 증기량을 제한하지 않을 정도로 설정하여 HPGV의 개도가 HPSV의 개도보다 크도록 설정하면 된다.

Steam Demand가 결정되면 각 밸브마다 지정된 고유의 특성곡선을 거치고 이 값은 상하한 제한 (-5 ~ 105%)을 받아서 최종 밸브 개도요구값이 결정된다. 특이한 점은 HPSV인 경우 WR Demand와 Steam Demand중 작은 값으로 결정되는데 이는 광역제어 범위 (저속일 때)에서는 Steam Demand의 영향을 받지 않도록 하고, 협역제어 범위 (고속일 때)에서는 Speed Target이 2100rpm이 선택되므로 WR Demand 값이 영향을 받지 않도록 한다.

아래 그림 6은 신규 조속기에 제안한 알고리즘을 구현한 후, 발전소 현장에 실제 적용한 결과이다. 제어 상수는 각각 $C_B=3\%$, $C_K=20$, $C_C=30\%$ 로 하였다. 실제 속도가 1800rpm 이전에서는 WR Demand 값에 30%를 더한 값에 의해 HPSV 개도가 제어되었으며 이때 HPGV의 개도가 더 높은 위치에 있음을 보여주었다. 또한 전환시점에서는 터빈속도의 큰 변화없이 자연스럽게 HPGV에 의해 증기량이 제어되고 있음을 보여주었다. 이는 WR의 Speed Ref 값이 1800rpm 이상에서 증가하게 되어 WR Demand값이 NR Demand 값 보다 더 커지기 때문이다. 따라서 기존 및 신규 조속기에서의 각 밸브의 동작은 서로 유사한 결과를 보여주었다.



〈그림 6〉 실제 발전소 적용 시운전 결과 트렌드

3. 결 론

국내 발전소의 기존 아날로그 제어설비에 구현된 광역 및 협역 터빈 속도 제어기능을 분석하고, 신규 제어설비에 적용하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 새로운 알고리즘에서 조정할 필요가 있는 제어변수는 세 가지가 있으며, 이 중에 두 개(C_K , C_B)는 바이어스를 가진 비례제어기 형식을 가지며 일반적으로 사용되고 있는 값을 사용하면 되고, 나머지 한 개(C_C)는 현장에 설치된 각 밸브 고유의 특성곡선에 따라 결정해 주면된다. 새로이 제시된 알고리즘을 사용하여 현장 적용한 결과 기존 조속기에서 보여주는 운전 결과와 유사한 결과를 보여주고 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 원자력발전처, "터빈 조속기 제어 계통 (고리 3,4호기, 월성 1호기)", 1997
- [2] 우주희 외, "발전소 터빈제어시스템의 성능시험을 위한 모의시험 및 현장 시운전 적용", 2007 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2007