

증기터빈 발전소의 자동 부하 증감발 운전(AGC) 제어로직 구현 및 적용

우주희, 김종안
한국전력공사 전력연구원

Application of Automatic Generation Control Logic for a Thermal Power Plant

Woo Joo-Hee, Km Jong-An
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 국내 한 증기터빈 발전소의 출력증감발 운전을 중앙급전 명령에 의해 가능하도록 하는 제어로직을 구현하였다. 이는 중앙급전으로부터 증감발 펄스 신호를 입력받아 발전기 출력 설정치를 변경함으로써 이루어지고, 증감되는 양은 펄스의 지속시간에 의해 이루어지며 여러 가지 운전상황에 대해 원활한 운전전환이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 이를 구현하기 위해 제어로직 및 운전원 조작 화면의 구성을 소개하고자 한다.

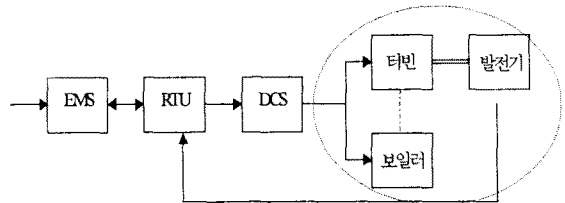


그림 1. AGC 신호 전달 과정

1. 서 론

자동 부하 증감발 운전(AGC : Automatic Generation Control, 자동발전제어)은 시시각각 변동되는 전력수요에 대응하여 전력계통 주파수의 정밀조정과 경제적으로 발전기 출력을 자동 배분하는 기능으로 전력거래소 중앙급전 사령실에 설치되어 운용중인 급전종합 자동화 설비(EMS : Energy Management System)의 중추적인 기능이다. 현재 EMS의 AGC기능은 발전기 출력제어 신호로 펄스에 의한 단위 출력 증감발 방식으로 수력이나 중유전소 화력발전기 출력제어에 많이 적용된다. 또한 전력산업 구조 개편에 따른 경쟁체제하에서의 전력품질 유지 서비스의 효율적인 운용은 매우 중요하다. [1]

국내 한 증기터빈 발전소에서 AGC 운전 기능을 구현할 필요성이 제기되었다. 본 논문에서는 AGC 제어로직을 구현하기 위해 대상 발전소의 기존 부하제어 로직을 분석하였고, 현재 운전상태에서 가장 적합한 제어 알고리즘을 제시하고 운전원 조작화면을 구성한 결과에 대해서 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 자동 부하 증감발 운전의 개요

서론에서 소개한 AGC의 목적을 실현하기 위하여 실제 전력계통상에서 발전을 담당하는 각 발전기들은 중앙에 설치된 EMS와 통신망으로 연결되어 유기적으로 운용되도록 되어 있다.

AGC 신호는 본사에 설치된 EMS의 원격통신 마스터를 통하여 각 발전소에 설치된 원격 단말장치인 RTU에 디지털 통신방식에 의해 전송되고, 이 RTU에서 수신된 디지털 AGC 명령은 RTU 내부의 AGC신호 변환부에서 발전기의 출력증감 지시량에 해당하는 가변값이름을 가지는 펄스신호로 변환되어 각 발전 유닛의 제어시스템에 전달된다. 그러면 조속기의 속도조정기가 동작하여 새로운 출력제어명령을 만들어 내어 기계적인 출력이 제어되고 이것이 터빈에 직결되어 회전하는 발전기에서 최종적인 전기적 출력으로 변환되어 계통으로 전달된다. 아래 그림 1에 AGC 신호전달 과정을 보여주고 있다.

[1]

이러한 AGC 운전의 목적을 달성하기 위해 국내 한 증기터빈 발전소에서 AGC 운전 기능을 구현할 필요성이 제기되었다. AGC 제어로직을 구현하기 위해 대상 발전소의 기존 부하제어로직을 분석하고, 현재 운전상태에서 가장 적합한 제어 알고리즘을 제시하고자 한다.

2.2 대상 발전소에서의 부하제어 로직 분석

적용 대상 발전소는 국내단 등 저열량의 무연탄을 중유와 혼소하는 발전소이나 주파수 추종운전 등 순간적인 출력 변동 요구에도 신속하게 응답하는 형태의 운전을 하고 있다. 터빈 기동시의 속도제어와 계통병입후의 출력제어는 삼중화된 디지털 제어시스템에 의해 이루어지고 있다. 적용 대상 발전소의 터빈제어에 사용되는 주요 밸브는 크게 네 가지 종류가 있다. [2] 주증기 정지밸브(Main Stop Valve, MSV)는 비상시나 정지시에 고압터빈에 공급되는 증기를 차단하거나, 내부의 바이패스 밸브를 이용하여 터빈 기동초기에 예열용 증기를 공급한다. 주증기 제어밸브(Main Control Valve, MCV)는 고압터빈에 유입되는 증기량을 미세하게 조절하여 터빈 속도 및 부하를 조절한다. 재열증기 정지밸브(Reheat Stop Valve, RSV)는 비상시에 중압터빈에 유입되는 증기를 차단한다. 재열증기 제어밸브(Intercept Valve, IV)는 주로 재열증기 계통으로 인한 터빈 과속을 방지하기 위하여 설치하며, 정상운전중 완전히 열려 있다가 터빈정지시 닫히게 된다.

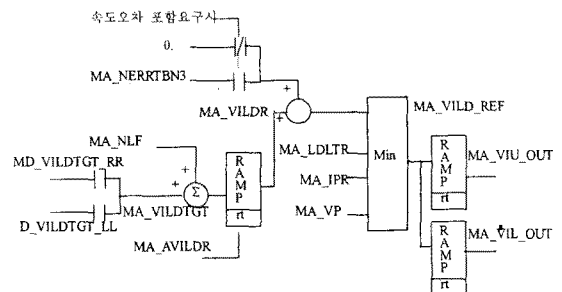


그림 2. MCV용 부하제어 로직

본 논문에서는 이들 제어밸브 가운데 AGC 운전시 주로 적용되는 제어밸브인 주중기 제어밸브의 위치제어에 관한 것을 중심으로 설명하고자 한다.

그림 2에서 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_VIL_OUT, MA_VIU_OUT은 각각 Lower MCV용, Upper MCV용 서보 제어기에 보내는 각 밸브의 위치 요구신호이다. 서보 제어기는 위의 신호와 각 밸브의 현재 위치신호를 비교하여 해당 밸브를 움직이게 해준다. MA_VILDR은 운전원 및 로직에 의한 부하요구값(MA_VILDGT)을 주어진 부하율(MA_AVILDR)에 의해 결정되는 값이다. 또한 MA_NLF는 터빈을 정격속도로 유지해 주기 위해 필요한 밸브 개도 요구량으로서, 주중기압에 의해 보상된 상수로 구현되어 있다. MA_NERRTBN3는 속도조절음이 고려된 터빈속도오차를 나타내며, 발전기가 계통과 연계운전이 시작되면 이 값은 각 밸브의 위치 요구신호에 제외되도록 되고, MCV가 부하운전중에는 운전원이 부하추중운전을 요구한다면 속도오차가 고려되도록 되어있다. 주중기압 및 복수기 진공도에 의한 부하제한 로직(MA_IPR, MA_VPR)은 주중기압 및 복수기 진공도가 설정치이하로 되면 주중기 제어밸브를 닫음으로써 터빈을 보호하는 기능을 한다.

2.3 자동 부하 증감발 운전 기능의 구현

2.3.1 제어로직의 구현

앞 절에서 살펴본 기존의 제어로직에 AGC 운전을 가능하도록 하기 위해 다음과 같은 방식으로 구현하였다. EMS에서 오는 부하 증감발 신호는 터빈 제어시스템에 할당되어 있는 2개의 증가 및 감소 점점입력으로 직접 연결되어 있으며, 제어알고리즘은 아래와 같은 개념으로 구현하였다.

- 기존의 제어로직 구조를 최대한 활용하고, 여러 가지 운전상황에 대하여 원활한 전환이 이루어져야 함
- 터빈의 운전상태는 계통병입된 상태이고, 부분분사 운전 모드이어야 함
- 터빈제어시스템의 운전모드가 "Remote" 이어야지 AGC 운전이 가능함
- 다음과 같은 경우의 EMS 점점신호는 이상 신호로 간주하여 운전모드가 "Semi-Auto"로 자동 절환됨
 - 증가 및 감소 점점입력 신호의 상태가 5초 (발전소에서 조정 가능) 이상 지속될 때
 - MCV 위치요구신호가 40% (발전소에서 조정 가능)보다 작을 때
 - 주중기 및 복수기 진공도 저하에 의한 MCV 위치제한 동작이 작동될 때
- 운전원에 의해 AGC 운전가능한 상한 설정값(Set Max, Set Min)을 운전원 조작반에서 입력가능하도록 하여 운전상태에 따라 발전기 출력의 변동폭을 제한함.
 - AGC 상한 운전원 입력값의 범위
 - MA_VILDR ~ MA_LDLTR
 - 만약 Set Max는 MA_LDLTR보다 더 큰 값을 운전원이 입력하면, 자동으로 MA_LDLTR로 입력되도록 구현
 - 만약 Set Max는 MA_VILDR보다 더 작은 값을 운전원이 입력하면, 자동으로 MA_VILDR로 입력되도록 구현
 - MA_VILDR > MA_LDLTR일 때, Set Max는

- 자동으로 MA_LDLTR를 추종하도록 구현
- AGC 하한 운전원 입력값의 범위
 - : 40%(발전소에서 조정 가능) ~ MA_VILDR
 - 만약 Set Min은 MA_VILDR보다 더 큰 값을 운전원이 입력하면, 자동으로 MA_VILDR로 입력되도록 구현
 - 만약 Set Min은 40%보다 더 작은 값을 운전원이 입력하면, 자동으로 40%로 입력되도록 구현
- AGC의 출력 증감 점점신호에 의해 MA_VILDR이 MD_VILDGT_RR과 MD_VILDGT_LL에 의해 증감됨. 그리고 정상적인 AGC 출력증감신호가 입력되더라도 다음과 같은 경우에는 MA_VILDR이 증감되지 않고 계속 유지됨
 - MA_VILDR > MA_LDLTR or Set Max
 - MA_VILDR < 40% or Set Min
- Remote 운전상태에서도 Rapid Unload 조작버튼 및 MA_LDLTR의 Lower/Raise 조작버튼이 동작될 수 있음. 그러나 MA_VILDR의 Lower/Raise 조작버튼은 동작되지 않음

아래에 구현된 제어로직의 일부를 보여주고 있으며, 적용대상 발전소에서 사용되는 제어로직 작성기는 IBM PC호환에서 동작되는 Triconex사에서 제공하는 "TS1131"라는 응용프로그램을 사용하고 있다. [3]

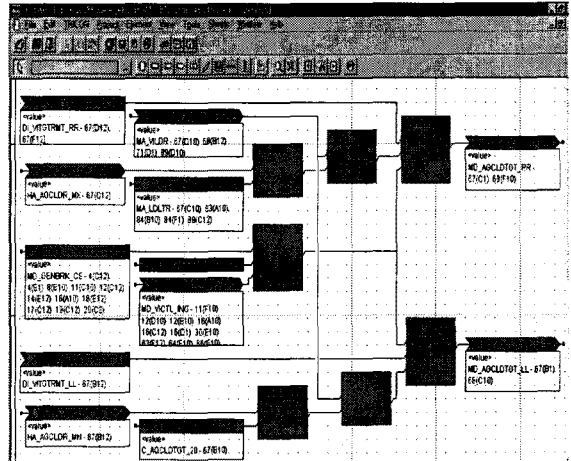


그림 3. 구현된 AGC 제어로직 일부

2.3.2 운전화면의 구현

운전원들이 사용할 조작 화면을 다음과 같이 구현하였으며, 적용대상 발전소에서 사용되는 화면 그래픽 작성기는 IBM PC호환에서 동작되는 Intellation사에서 제공하는 "iFix"라는 응용프로그램을 사용하고 있다. [4] 화면에서 붉은 색으로 표시된 값은 운전원이 키보드로 직접 수치입력이 가능한 창을 표시하고, 파란색으로 표시된 값은 읽을 수만 있도록 되어 있다. 값의 표현 및 입력 상태는 다음과 같다.

- 그림의 "가" 영역 : 터빈과 관련된 프로세서의 현재 운전값 및 상태를 표시
 - MSY A개도위치 등 각종 밸브의 현재 위치(%) 와 터빈 속도(RPM), 발전기 차단기 투입 상태 (Closed/Open)를 표시
 - 운전모드 (Local, Remote, ...)를 표시
- 그림의 "나" 영역 : Load Control : MCV에 의한 부하제어 상태 및 조작버튼을 표시, MA_VILDR과 관련된

- MCV Mode : 부하제어를 MCV가 담당하고 있음을 보여주는 램프
- MCV로 부하제어를 하기 위한 조작 버튼
 - . Set Target(%) : 현재 부하제어를 하기 위해 필요한 MCV의 개도 요구량의 설정값을 표시하거나 입력할 수 있음
 - . Set Rate(%/min) : 부하율을 표시함
 - . Ref(%) : 위의 Set Target에서 설정한 값에 따라 자동 추종되는 값을 표시함
 - . Set Target의 RAISE 및 LOWER : 이 버튼을 누르고 있는 동안 Set Target의 값을 증감시킬수 있음
 - . Set Rate의 RAISE 및 LOWER : 이 버튼을 누르고 있는 동안 Set Rate의 값을 증감시킬수 있음

개도 요구값을 가변시킬 수 있는 상하한 범위 (Set Min, Set Max)
 ○ 그림 "바" 영역 : 현재 운전모드 상태를 표시함

3. 결 론

AGC 운전의 목적을 달성하기 위해 국내 한 증기터빈 발전소의 기존 부하제어로직을 분석하였고, 기존의 운전 방식에서 가장 적절한 부하제어 로직을 구현하고 운전원 조작화면을 구성하였다. 현재 발전소에서 사용한 결과 양호한 결과를 보여주고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 전동훈, "자동발전제어(AGC) 운용개선 (중간보고서)", 전력연구원 기술보고서, 2000
- [2] 우주희 외 1명, "증기터빈 발전소의 부하제어루프 모의실험", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 125~127, 2000
- [3] Triconex, "TriStation 1131, Developer's Workbench, User's Guide", 1997
- [4] Intellution, "iFix User's Manual", 1996

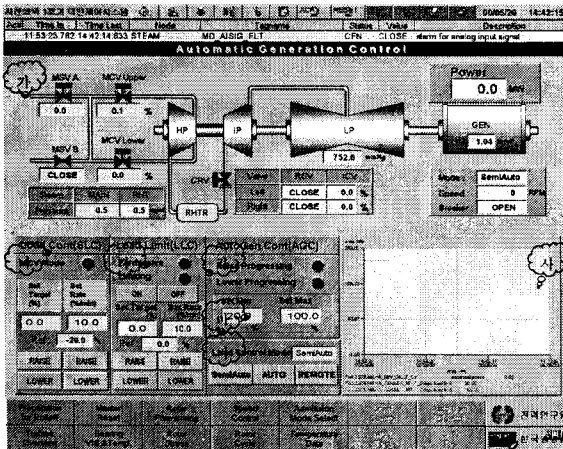


그림 4. 운전원 AGC 조작 화면

- 그림의 "다" 영역 : Load Limit (LLC) : 부하제한 제어 상태 및 조작버튼을 표시
 - LLC의 운전상태를 표시
 - . Permissive : LLC 운전이 MCV에 영향을 미칠수 있음을 나타내는 램프
 - . Limiting : 현재 LLC 운전에 의해 MCV 개도를 제한하고 있음을 나타내는 램프
 - LLC 운전조작 버튼
 - . ON 버튼 : Permissive에 램프가 켜지도록 하는 조작 버튼 (LLC 운전 투입)
 - . OFF 버튼 : Permissive에 램프가 꺼지도록 하는 조작 버튼 (LLC 운전 제거)
 - . Set Target : LLC 운전을 위해 MCV의 개도 설정값을 입력하는 창 (%)
 - . Ref : 위의 Set Target에서 설정한 값에 따라 자동 추종되는 값을 표시함
 - . Set Rate(%/min) : 부하율을 표시함
 - . Set Target의 RAISE 및 LOWER : 이 버튼을 누르고 있는 동안 Set Target의 값을 증감시킬 수 있음
 - . Set Rate의 RAISE 및 LOWER : 이 버튼을 누르고 있는 동안 Set Rate의 값을 증감시킬수 있음
- 그림 "라" 영역 : AGC Control
 - . Raise Progressing : AGC 신호에 따라 MCV 개도가 더 증가되는 상태
 - . Lower Progressing : AGC 신호에 따라 MCV 개도가 더 감소되는 상태
- 그림 "마" 영역 : AGC운전에 의해 운전원이 MCV