

원격 급전소에서 발전소 출력을 제어하기 위한 시스템 연구

김종안, 신윤오
전력연구원 발전연구실

A study on the remote MW control of a steam turbine

Kim Jong An, Shin Yoon Oh
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The electricity demand has been in the trend of increase for the past 30 years except last year due to economic crisis. The central electrical power dispatch center anticipates each and every hour's electricity demand and dispatch every power plant's output(MW) taking into account of the costs, frequency regulation abilities, locations, reliabilities and so on. to meet the demand as quickly as possible. The large portion of the power plants' output is controlled automatically by the AGC(Automatic Generation Control) function which is a part of the EMS(Energy Manage System) computer in the dispatch center. To receive the electrical power dispatch signal from the EMS, a power plant should have a remote MW control feature in the turbine control system or unit master control system. We investigated the AGC function and a power plant's remote MW control configuration.

료가 미리 입력되어 있어야 한다. 다음은 우리나라 전력계통에서의 발전원 탈락 시의 과도상태 자료를 분석하여 주파수와 전력량의 관계를 검토한 내용이다.

2.1 전력수급 불균형 발생에 따른 주파수 변동, 복귀
아래 그림 1은 전력수급 평형상태에서 갑자기 대용량의 발전기가 탈락했을 때의 우리나라 전력계통의 과도상황(99년1월)을 나타낸 것이다. 발전기가 탈락하면 통상 다음과 같은 발전력 조정 절차가 발생하여 새로운 평형상태를 만들어 간다(전력계통 운용부서 분석보고서 내용).

- 1)탈락 후 10초 이내: 부하의 자기제어 및 발전기의 관성과 응동이 빠른 터빈 조속기의 Governor Free 운전에 의해 과도상태 초기의 발전력 및 주파수 유지
- 2)탈락 후 10초~60초 구간: 응동이 늦은 터빈 조속기 Governor Free 운전에 의한 발전력 및 주파수 조정
- 3)탈락 후 1분~3분 구간: AGC에 의해 운전중인 수력, 복합 등의 발전기 출력 조정
- 4)탈락 후 3분 초과: 정지되어 있는 발전기 기동

1. 서 론

전기는 다른 상품과 달리 저장이 불가능하기 때문에 생산과 유통, 소비가 일치되어야 하는 특성을 가지고 있다. 전력계통의 주파수는 전력의 수요와 공급의 상황에 따라 실시간으로 변동을 하며, 고품질 전력을 필요로 하는 고객요구를 충족시키기 위해서 전기사업자는 주파수가 일정하게 유지되도록 다양한 형태의 노력을 하고 있다. 그러나 고객의 전기수요(부하)를 정확히 예측하는 것은 상당히 어려우며, 특히 수 분 이내의 단기적인 부하변동은 예측이 거의 불가능하다고 볼 수 있다. 따라서 발전, 송전, 배전계통을 포함한 전체 계통의 운전상황을 신뢰도가 높은 통신망을 사용하여 실시간(real time)으로 감시, 제어, 운전하고 있으며, 이러한 시스템을 Energy Manage System(EMS)라고 한다. 연속적으로 변하고 있는 전력 수요에 대응하여 공급(발전)량을 제어하기 위해서는 몇가지의 전형적인 발전기 출력제어 방법이 사용되고 있으며, 이 중 대표적인 방법이 EMS 컴퓨터에 의해 각 발전소의 출력요구신호가 자동적으로 계산, 송출되어 원격발전소 출력을 제어하는 Automatic Generation Control (AGC) 방식이다. 본론에서는 발전기 출력제어의 일반적인 사항을 먼저 살펴보고, 이어서 실제 발전소에 AGC 회로를 구성하여 시험하였던 내용에 대하여 고찰한 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

EMS의 목적을 크게 두가지로 구별한다면 하나는 전력의 수요에 공급을 실시간으로 평형되게 하여서 주파수를 일정하게 하는 것이고, 다른 하나는 경제적인 급전이 되도록 최적 부하 분담이 이루어 지도록 하는 것이다. 따라서 EMS에는 전력계통에 연결되어있는 발전기의 부하 추종 속도, 추종용량 및 발전비용 등 계산에 필요한 자

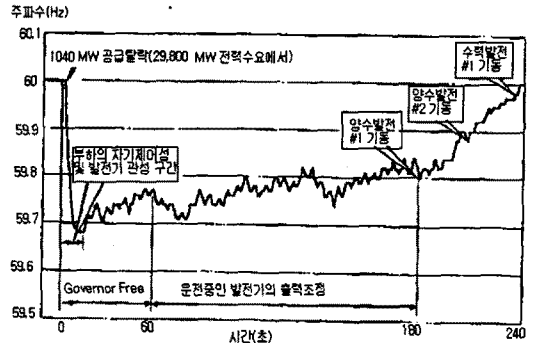


그림 1. 전력수급 불균형 발생시 전력량-주파수 관계

2.1.1 초기 과도상태 주파수 변동과 계통정수 검토
그림 2는 그림 1에서의 초기 1분간의 운전 상황이다.

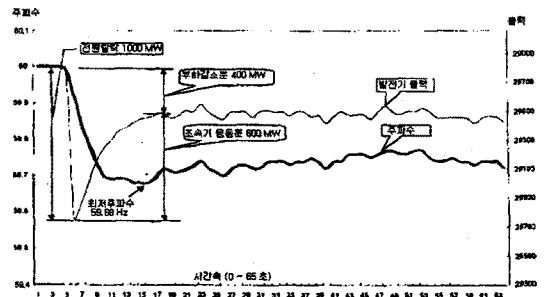


그림 2. 전력수급 불균형 발생초기 과도현상

그림 2를 참고로 하여 전력계통의 수급 불균형에 의해 나타나게 되는 주파수 변동량과 과부족 전력량의 상관관계를 나타내는 관계식들을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta MW &= G_L - \Delta G = \Delta L \\ G_L &= (\Delta G + \Delta L) = (K_G + K_L)\Delta F \\ \Delta G &= K_G \cdot \Delta F, \quad \Delta L = K_L \cdot \Delta F \end{aligned}$$

여기서, ΔMW =과도상태를 극복하고 초기 안정상태에 진입한 시점에서 본 발전원 탈락전과 전력량 차이(MW)
 G_L = 발전원 탈락량(MW)
 ΔF = 주파수 변동량(Hz), ΔG =발전량 변동분(MW)
 ΔL = 부하의 자기제어성에 의한 변동 분(MW)
 K_G = 주파수 변동에 의한 발전력 정수(MW/Hz)
 K_L = 주파수 변동에 의한 부하의 자기제어 정수(MW/Hz)

그림 2에서의 자료($\Delta F=60-59.68=0.32$, $G_L=1000MW$, $\Delta L=400MW$, $\Delta G=600MW$)를 근거로하여 K_G , K_L 를 구해보면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta MW &= 29,800 - 29,400 = 400MW = \Delta L \\ G_L(MW) &= 1000MW = (\Delta G + \Delta L) \\ &= (K_G + K_L)\Delta F = (1875 + 1250) \cdot 0.32 \end{aligned}$$

여기서, $K_G = 1875(MW/Hz)$, $K_L = 1250(MW/Hz)$ 로 나타났지만, 당시 전력 수급량인 29,800 MW를 100%로 환산한 단위를 사용하면, $\%K_G = 0.061(\%MW/Hz)$, $\%K_L = 0.042(\%MW/Hz)$ 인 것을 알 수 있다.

K_G , K_L 값은 전력계통의 용량, 발전기의 특성, 부하의 특성에 따라 시시각각 다르게 되나, 전력계통에 연결되어있는 발전원의 특성이나 부하의 특성이 비교적 일정하다고 가정하면 $\%K_G$, $\%K_L$ 값을 사용하여 주파수 변동과 총 발전량, 총 수요량 변동의 관계를 예측할 수 있다. Governor Free 운전을 하는 터빈발전기가 계통에 많이 연결되어 있을수록, 속도조절율이 낮을수록 $\%K_G$ 는 크게 되고, 부하측에는 진동기 부하가 많을수록 $\%K_L$ 이 크게 되는 특성을 갖는다. 향후 우리나라 전력계통의 운용자료를 더 많이 확보하게 되면 통계를 구하여 $\%K_G$, $\%K_L$ 값이 어떠한 편차를 가지는지 확인해보고자 한다.

2.2 원격 급전소 EMS에 의한 발전소 AGC 운전
 전력회사의 중앙급전소에 있는 EMS에서 멀리 떨어진 각 발전소의 출력을 자동으로 제어하는 AGC(Automatic Generation Control) 운전 시스템 구성은 간단하게 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

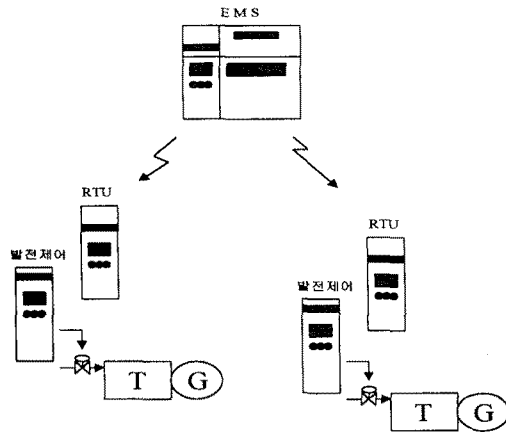


그림 3. 원격 급전소 EMS와 발전소 AGC 시스템

EMS : Energy Management System
 RTU : Remote Termination Unit
 T : Turbine, G : Generator

2.2.1 RTU와 발전제어 시스템

RTU(Remote Termination Unit)는 급전소 EMS에서 나오는 발전소 제어 신호를 마이크로 웨이브 또는 광섬유 등의 통신방식을 통하여 신호를 받아서 발전제어 시스템에 전기 신호로 전달하며, 반대로 발전소 여러가지 운전자료를 접수하여 통신신호로 변환, EMS에 전달하는 중개자 역할을 한다.

2.2.2 보일러-터빈 협조제어 방식에서 AGC 신호

발전기의 출력은 발전기를 구동하는 터빈의 증기(가스 터빈의 경우 연료) 밸브에 제어되며, AGC 운전회로 구성은 Unit Master 또는 터빈 제어시스템에 구성할 수 있다. 아래 그림 4와 같이 보일러-터빈 협조제어 방식을 사용하는 발전소에서는 EMS 출력요구신호(Load Demand)가 Press/MW Coordinated Control(Unit Master)를 경유하여 터빈과 보일러에 동시에 나가므로 발전소 안정운전에 큰 장점을 가지게 된다.

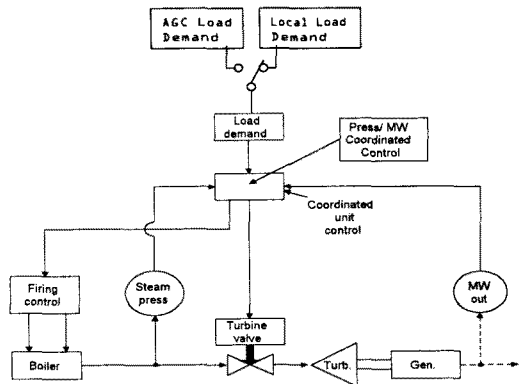


그림 4. 보일러-터빈 협조제어 방식에서 AGC 신호

2.2.3 터빈제어 시스템에서 AGC 신호 수용

터빈제어시스템에서만 출력제어가 이루어지는 발전소에서는 EMS 출력요구신호(AGC Load Demand)가 직접 터빈 제어시스템에 들어가 출력제어를 한다. 아래 그림 5는 이 방식의 원리를 나타낸 것이다.

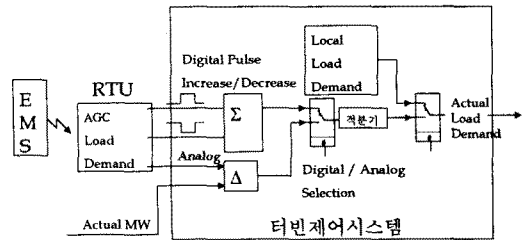


그림 5. 터빈제어 시스템에서 AGC 신호 수용

2.2.4 RTU-터빈제어시스템 신호 인터페이스 및 고장 발생시 안전 대책

RTU에서 제공하는 출력요구신호 전송 단자(Terminal)에는 디지털(릴레이 접점을 이용한 펄스)신호 단자와 아날로그 신호 단자가 있으며, 사용자가 둘 중 하나를 선택하여 사용할 수 있다. RTU-터빈제어시스템 사이의 AGC 관련 설비가 모두 정상 동작할 경우 두 신호 사용의 차이는 없다. 그러나 설비에 고장이 발생한다고 가정하는 경우에 나타날 수 있는 현상을 정리해보면 다음과 표 1과 같다.

표 1. RTU-터빈제어시스템 간 신호전송 고장검토

고장발생 내용(가정)	디지털 신호	아나로그 신호
출력신호 회로단선	출력변동 없음	무부하
출력신호 회로 단락	출력상한 또는 하한 까지 변동	무부하
RTU 전자카드 오동작	출력 증가 또는 감소	출력 증가 또는 감소

위 표 1에서 가정된 3가지 고장의 경우 중 회로 단선의 경우에 아나로그에서는 출력이 무부하(또는 하한 값)까지 감소되지만 디지털 신호를 사용하는 방식에서는 출력증가가 없이 고장 직전의 출력을 유지하게 된다. 단 AGC로 출력증감발이 되지 않게 되므로 이 때에는 발전소 운전원이 Local Mode로 출력을 조절하면 별 문제가 되지 않는다. 나머지 2가지 경우에는 양 쪽 모두 장 단점을 분별할 수 없다. 종합적으로 보면 디지털 신호를 사용하는 방식이 좀더 안전하다고 할 수 있다. 실제 계통에도 디지털 신호방식이 널리 사용되고 있는 실정이다. 디지털 신호사용 방식에 고장이 발생하는 경우 대책은 다음과 같이 고려해 볼 수 있다.

표 2. 신호전송 회로 고장에 대한 대책 검토

고장발생 내용(가정)	출력제어 에 상 문제점	대책
출력신호 회로 단선	AGC 운전으로 출력변동 없음	-출력 변동이 없어 안전하나 별도 대책은 없음. -유비보수 요원이 단선 위치를 찾아 복구
출력신호 회로 단락	출력상한 또는 하한 까지 계속 변동	-출력제어 상하한 값을 설정하여 제한 -펄스신호의 길이가 최대치를 초과하면 AGC운전 자동 취소
RTU 전자카드 오동작	출력 증가, 감소 또는 무변동	-위향과 같은 대책이 필요 -RTU의 자기고장 진단기능

2.3 실제 발전소에 적용한 EMS에 의한 AGC 회로
다음 내용은 실제 발전소에 적용한 시스템에 대하여 기술한 것이다. 이 발전소에서는 이미 수년 전에 AGC운전을 목적으로 일부 설비를 설치한 상태였으나 다른 설비의 조건이 만족되지 않아 AGC운전 하지 못했던 상태였으며, 이 상태를 개선하여 완전한 AGC 운전이 되도록 하기위하여 시험한 내용을 정리하였다. 여기서는 그림 5와 같이 EMS의 AGC 신호가 RTU를 거쳐 터빈제어시스템으로 들어가는 구조로 되어있다.

2.3.1 RTU 펄스 신호 시간 길이(Duration) 검토
RTU에서 터빈 출력제어 요구 신호로 보내는 디지털 펄스 신호의 길이는 조정이 가능하며(500mS ~ 32S, 500mS 단위로 조정), 출력 요구신호량은 크기에 따라 1 ~ 7단계의 구분된 펄스 길이로 터빈제어시스템에 전송되고 기본 설정은 매 1단계가 1초의 펄스 길이를 갖도록 되어있다.

출력 요구량 1 단계 : 펄스 길이 1 초
출력 요구량 2 단계 : 펄스 길이 2 초

출력 요구량 7 단계 : 펄스 길이 7 초

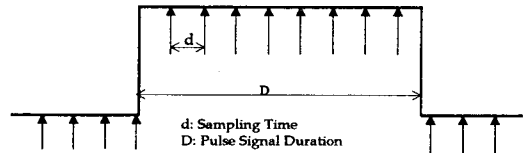


그림 6. RTU 펄스신호와 제어시스템 Sampling

2.3.2 터빈 제어시스템의 Sampling time과의 관계

터빈 제어시스템은 디지털 제어 시스템으로서 주 제어 모듈이 입출력 신호 읽기, 쓰기와 제어 프로그램 실행 동작을 일정 시간 간격으로 수행하며, 발전기 출력(MW) 요구 신호도 약 250mS 주기로 읽어들이 터빈 증기 유량 제어를 하게 된다. 그러므로 RTU에서 발생하는 펄스 길이를 터빈 제어시스템이 읽어 들일 때 전체 길이를 완벽하게 읽지 못하는 현상이 발생한다. 즉, 터빈제어시스템은 일정한 주기로 Sampling하기 때문에 Sampling 주기(그림 6에서의 d) 중간에서 상태 변화를 하는 출력요구 신호에 대해서는 인식을 하지 못하며, 이에 따른 신호 손실 또는 위상 지연이 발생하게 된다. 따라서, 좀더 완전한 신호 재생을 위해서는 Sampling 주기를 아주 짧게 하거나 또는 출력요구 신호의 펄스 길이를 아주 길게 해야 된다. Sampling 주기는 주 제어 모듈에 들어있는 마이크로 프로세서의 성능(Throughput)과 터빈 제어프로그램 크기에 지배를 받기 때문에 임의 변경하기 곤란하며, 출력 요구신호 펄스 길이는 일정 범위 내에서 조정하여 최적의 신호 전송 효율을 갖도록 해야 한다. 여기서 신호의 재생율만 고려하면 펄스 길이를 최대인 32초로 하는 것이 가장 좋겠으나, EMS에서는 수시로 변하는 전력계통의 전력수급 상황을 반영하여 AGC 신호를 산출, 전송하므로 EMS 신호 전송주기를 고려하여 주기의 이내에서 RTU 펄스 길이가 최대가 되도록 설정할 필요가 있다.

이 발전소 시험 중에는 펄스의 길이를 단계별 기본 설정치인 17 초를 그대로 사용하였었으며, 이 값은 다른 발전소 평균의 100~700mS의 10배 길이에 해당한다.

표 3. RTU-터빈제어시스템 간 출력신호 전송시험

펄스길이(초)	1	2	3	4	5	6	7
출력 증가	0.92	1.33	2.08	2.75	3.50	4.17	4.75
출력 감소	0.67	1.34	2.0	2.75	3.42	4.17	4.75

위 표는 RTU-터빈제어시스템 간의 모의 시험 결과이며, 여기서 터빈 제어에 접수된 출력요구신호(ΔLoad Ref. [%]) 변동 속도는 실제 발전기 출력의 변동속도 보다 10배 정도 크므로 이 차이를 수용하기 위해 터빈제어시스템 내에 부하변동을 제한 기능을 적절히 설정하여 사용한다.

3. 결론 및 향후 보완사항

원격 급전소에서 발전소 출력을 자동으로 제어하는 회로에는 여러 가지 고려를 해야하나 그 중 중요한 것은 발전소의 출력제어 추종능력과 디지털 제어시스템-RTU 간의 신호 인터페이스 한계를 먼저 고려해서 최적의 성능이 나타나도록 해야 한다. 이 논문 내용의 대상 발전소에서는 AGC 회로 구성 후 발전설비 공사 사정 때문에 EMS의 신호를 실제 수신하여 발전기 출력을 제어하는 시험까지는 하지 못하였고, RTU에서 터빈제어시스템 사이의 출력신호 전송시험은 완료한 상태이다. 발전설비 운전 조건이 허용하면 완벽하게 실제 시험을 시행하고 운전 자료를 취득하여 본 내용을 보완예정이다. 끝.