

발전기 고장시 주파수 안정회복을 위한 AGC 개선방안

오창수, 이윤기, 최영민, 이주호
 전력거래소, 전력거래소, 전력거래소, 전력거래소

A Study on Improvement of EMS AGC Operation for Stable Frequency recovery
 in case of Generator Disturbance

Chang Soo Oh, Yun Ki Lee, Young Min Choi, Joo ho Lee

Korea Power Exchange, Korea Power Exchange, Korea Power Exchange ,Korea Power Exchange

Abstract - Adequate Co-ordination between Generator Speed Governor and AGC plays major role in maintaining a Frequency Stability. Recently frequency instability cases were recorded when power system was unbalanced between generation and demand in Korea. The paper deals with the concept of Generator frequency control logic & AGC algorithm for determining generator output target. Consequently the paper presents the improvement of EMS AGC control for stable frequency recovery in case of generator disturbance

기 제어는 병렬 운전중인 발전기의 회전수를 정속도로 유지시키는 역할을 하는 단순한 비례제어로서 계통 주파수를 정격 주파수(60Hz)로 유지시키기 위해서는 AGC의 2차 적분제어(Supplementary Integral Control)가 추가로 필요하다. AGC는 정격주파수 유지를 위한 발전기별 출력 목표값을 계산하여 발전기에 송출하며, 발전기 제어 시스템에서는 이 목표값을 추종하여 터빈, 보일러 계통을 제어하게 된다.

1. 서 론

대용량 발전기의 불시 정지로 주파수가 저하되면, 조속기 응답에 의한 출력증가로 과도한 주파수 저하를 억제하게 되고, AGC 신호에 의한 지속적인 출력 증가로 주파수를 수 분 내에 정상으로 회복시키게 된다. 그러나, 최근 주파수 저하시 조속기 응답으로 증가된 발전기 출력이 지속되지 않고 오히려 감소됨에 따라 주파수 회복이 지연되어 계통이 불안정한 사례가 발생되고 있다. 주파수 회복 지연시에는 전기 품질 저하는 물론 추가적인 발전기 정지 등 계통 불안정으로 이어져 정전 발생 우려가 높아지게 된다. 본 논문에서는 AGC와 관련된 발전기 제어 로직과 EMS의 AGC 알고리즘을 분석하여 주파수 저하시 발전기의 출력감발 원인을 규명하고, AGC 목표값 제어방식의 변경을 통해 전력계통 주파수 안정성 향상을 도모한 AGC 운영개선 방안에 대해 논하고자 한다.

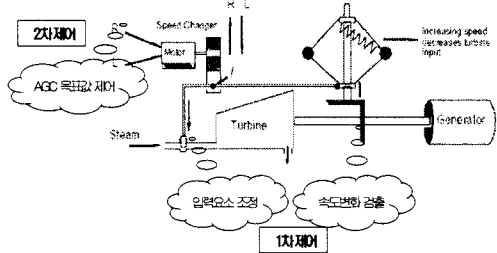
2. 본 론

2.1 주파수 제어

전력계통의 주파수 안정도는 발전기 고장시와 같은 전력수급의 증대한 불균형시 주파수를 정격 운전범위에서 안정적으로 유지하는 능력을 말한다. 주파수 안정성을 평가하는 주요 지표는 주파수 불균형시 계통에 운전중인 전체 발전기의 고장 대응능력이다. 외국과 같이 별도의 연계계통 없이 단독계통으로 구성된 우리나라의 경우 주파수의 과도한 저하 없이 단시간 내에 회복시키도록 하는 발전기의 효율적인 제어가 더욱 중요하다 할 수 있다.

2.1.1 조속기와 AGC의 제어

주파수 제어는 발전기에 설치된 조속기(Speed Governor)와 전력거래소 EMS의 AGC(자동발전제어) 기능에 의해 이루어진다. 첫째로, 조속기는 그림1과 같이 발전기의 회전수 변화량을 검출하고 그 변화를 억제시키기 위해 정해진 비율대로 Control Valve를 제어, 터빈의 입력요소인 증기량 등을 조정한다. 이를 조속기의 1차 비례제어(Primary Proportional Control)이라 하며, 조속



[그림1 : 조속기 제어개요]

2.1.2 조속기와 AGC의 제어량

발전기는 주파수 편차시 자체 조속기의 속도조정률(통상, 복합4%, 기력5%)에 따라 출력이 변화한다. 속도조정률이 5%인 기력 발전기의 경우, 주파수가 5% 변화시 Control Valve의 개도가 최대가 되어 발전기 출력이 정격 최대출력까지 변화하게 된다. 반면, AGC는 발전소 1차 계통의 안정적인 출력변화 능력인 자체 증감발률(통상, 복합 20MW/분, 기력 10MW/분)에 따라 발전기 출력이 서서히 변화한다.

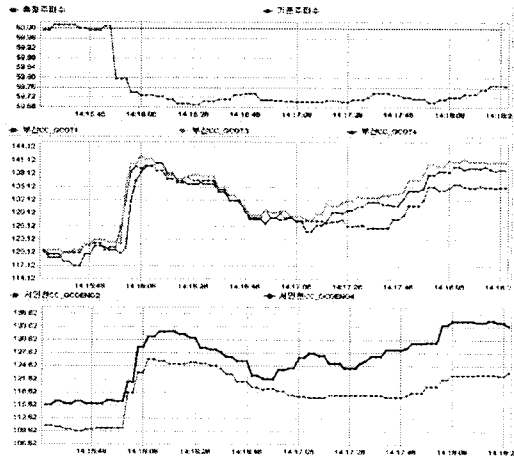
예를 들어 대용량 원자력 발전기의 고장으로 약 5초만에 주파수가 60Hz에서 59.8Hz로 변화했다면, 속도조정률 5%인 500MW 기력발전기의 출력은 5초만에 약 33MW(3Hz:500MW=0.2Hz:33.3MW)가 증가하게 된다. 이와 같이 조속기의 제어는 AGC의 분당 증감발률 제어와 비교할 때 발전기의 급격한 출력변화를 초래한다고 할 수 있다.

2.2 현상 및 문제점

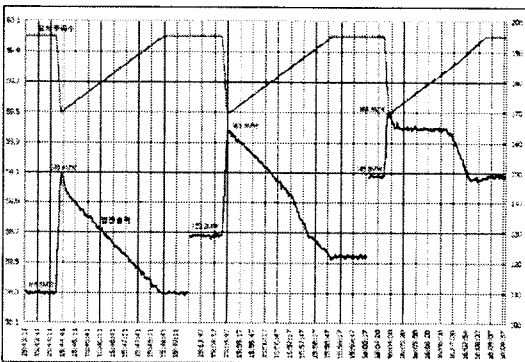
최근 3년간 우리 계통에서는 발전기 고장시 주파수가 59.5Hz 이하로 과도하게 저하되는 현상이 6회 있었으며, 특히 2003년도에는 1997년 이후 최초로 20만kW의 부하가 정전되는 사고도 발생하였다. 그림2와 같이 계통 주파수 저하시의 발전기 출력추이를 살펴보면, 주파수가 정상 회복되기도 전에 발전기 출력이 감발되는 등, 발전기의 주파수 특성이 대체적으로 불량한 것을 알 수 있다.

당시 원인분석을 위해 '05년 3월 국내 최초로 발전기 조속기의 모의주파수 특성시험 절차를 마련하고 현장 시험을 통해 개별 발전기의 주파수 특성을 검증하였다. 그

리나 실제 발전기 시험 결과, 개별 발전기 조속기의 속도조정을 특성은 그림3과 같이 대단히 양호한 것으로 나타나, 발전기의 출력감발을 초래하는 또 다른 새로운 원인을 도출해야 할 필요성이 제거되었다



[그림2 : 주파수 저하시 발전기 응답특성('05.1월)]

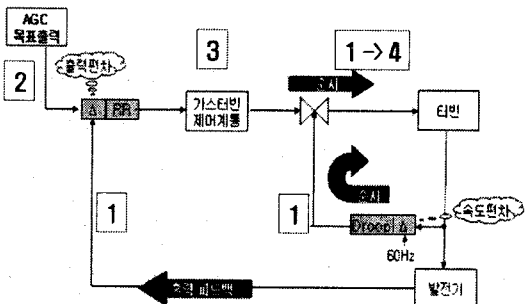


[그림3 : ***복합 **G/T 시험결과('05.3월)]

2.3 원인규명

2.3.1 발전기의 AGC 관련로직 검토

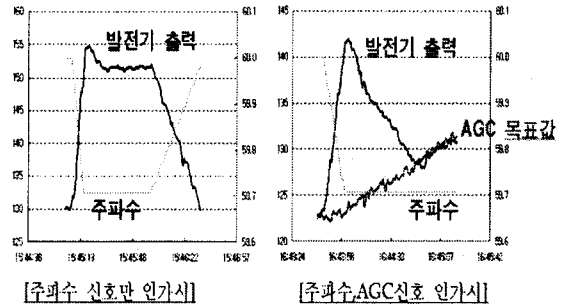
발전기의 주파수 특성은 조속기와 AGC의 원활한 협조제어가 중요하나, 그림4와 같이 복합 발전소의 가스터빈 발전기는 조속기에 의해 증가한 발전기 출력이 AGC 신호에 의해 오히려 감소되어, 주파수 저하시 발전기 응답특성이 불량할 수 밖에 없다는 것을 알 수 있다.



[그림4 : 가스터빈 주파수제어 로직]

- 1: 속도감쇠신호는 Droop 특성에 따라 발전기 출력을 크게 증가
(변화된 발전기 출력은 AGC 목표값과 비례를 위해 피드백)
- 2: EMS에서 송출된 AGC 목표출력은 Ramp Rate에 따라서 서서히 증가
- 3: AGC 목표출력이 발전기 출력이 낮으므로 출력을 감소 신호 발생
- 4: 조속기에 매 증된 발전기 출력이 신호에 의해 오히려 감소

실제 시험을 통해 가스터빈 발전기의 제어특성을 검증한 그림5의 그래프를 보면, 주파수 신호만 있을 경우에는 발전기 출력이 양호하게 제어되나, AGC 신호가 추가될 경우에는 주파수 회복 이전에 발전력이 크게 감발되는 것을 알 수 있다.



[주파수 신호만 인가시]

[주파수AGC신호 인가시]

[그림5 : 주파수/AGC 신호에 따른 발전기 응답특성 (**복합 *G/T, '05.7월)]

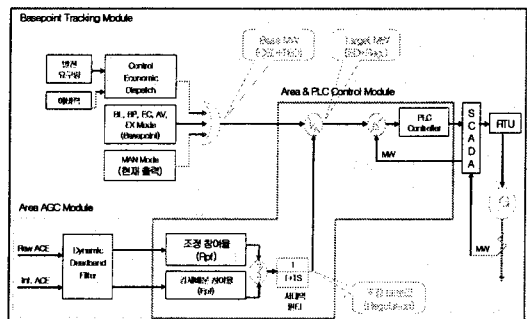
2.3.2 대안 도출

이와 같은 가스터빈 발전기의 제어문제점을 해결하기 위해서는 계통상황에 관계없이 AGC 목표값만을 단순히 추종하는 가스터빈 발전기의 제어 문제점을 개선하는 것이 필요하다. 발전기 제어의 주요 기능인 주파수 제어 로직의 변경을 수반하고, 제작업체 보증범위 제한 등으로 실제 발전회사에서는 “제어로직 변경”이라는 개선안 수용이 어려운 형편이다. 이에 따라 EMS 제작사가 튜닝하여 적용중인 AGC의 신호생성 알고리즘을 자체 기술로 분석하여 개선방안을 마련하고자 하였다.

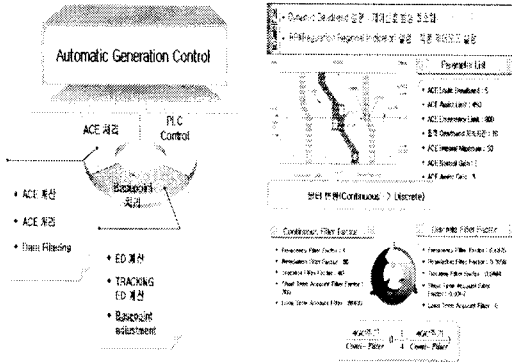
2.4 개선방안

2.4.1 AGC 제어알고리즘

AGC에서 발전기 출력을 생성하는 절차는 그림 6과 같으며, 발전 연료비의 경제성과 높은 주파수 품질유지라는 기본 기능에 충실하면서, AGC의 과도한 출력제어로 발전기가 불안정상태가 되지 않도록 그림7과 같이 각종 시정수와 필터, 발전기 출력 피드백 연산과정을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다.



[그림6 : AGC 제어개념도]

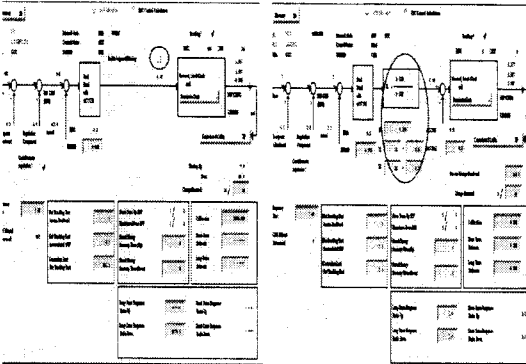


[그림6 : AGC 알고리즘]

- 프로그램 소스 분석
 - ACE(Area Control Error) 계산 및 처리
 - 데이터 필터링, Basepoint/Regulator 처리
 - 발전기 참여율 계산 및 PLC Controller 처리
 - 최종 목표값 생성 및 신호송출 등 다수

2.4.2 AGC 목표값 제어개선

AGC 알고리즘 분석 중 발전기가 송출받는 AGC의 최종 출력목표값 생성에는 두가지 방식이 있으며, 각 방식의 차이를 규명, 개선방안을 도출할 수 있었다.



[그림7 : Direct 방식]

[그림8 : Filter 방식]

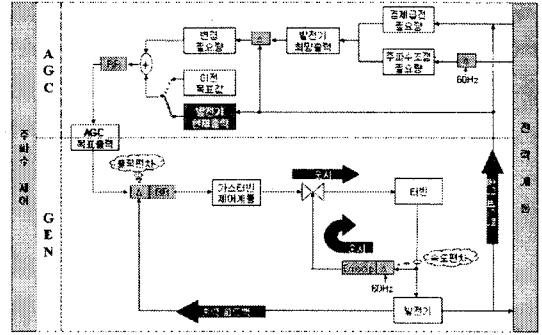
즉 그림7의 Direct방식은 과거부터 사용되고 있는 방식으로서 이전 목표값에 변경량을 배분하고, 그림8 Filter방식의 경우에는 발전기의 현재출력에 변경량을 배분한다는 것을 규명하였고,

- 변경전/후 비교(예) [단위:MW]

구분	발전기 출력		새로운 목표출력	발전기 목표값
	정상시	조속기 응답후		
변경전	450	470	452	이전목표값 + 조정량
변경후	450	470	472	현재출력 + 조정량

[표1 : 변경전후 AGC 목표출력 변화]

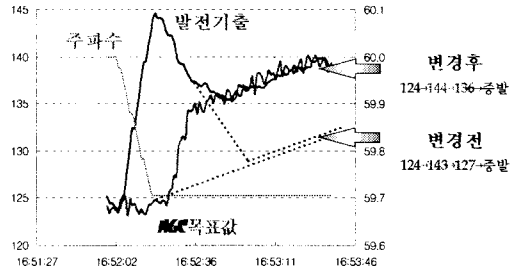
그림 9와 같이 발전기 출력제어를 Filter방식으로 변경 시에는 주파수 저하시 발전기 출력감발 문제점 해소는 물론 조속기의 주제어에 이은 AGC의 2차 제어가 이상적으로 동작한다는 것을 규명하였다.



[그림9 : 개선후 가스터빈 주파수 제어로직]

2.4.3 개선효과

AGC 제어변경에 따른 발전기 출력개선 효과를 살펴 보기 위하여 그림 10과 같이 가스터빈 발전기에 0.3Hz의 주파수 편차를 인가하였다. 이 때 발전기는 주파수 저하 초기 조속기의 응답으로 약 20MW를 증발하나, 이후 AGC 목표값 수신에 따라 출력응동에 큰 차이가 나타난다. 즉, AGC 제어방식을 변경후에는 조속기가 응답한 현재출력을 반영하여 목표값을 송출함으로써 변경전 제어방식에 비해 발전기의 출력감발 영향을 크게 완화시켰다.



[그림10 : AGC제어 변경전/후 발전기 출력응동 개선효과(**복합 *G/T, '05.7월)]

3. 결 론

일반적으로 주파수 안정도 문제는 설비 및 보호시스템의 부적절한 협조에 의해 발생되며, 본 연구를 통해 최근 우리 계통에서 발생한 주파수 불안정 현상의 주요 발생원인과 그 대안을 발전기 조속기와 AGC의 상호 협조 제어 틀 속에서 확인할 수 있었다. 특히 AGC 제어능력 강화 및 가스터빈 발전기의 주파수 응답특성 개선은 기력발전기의 예비력 대체효과로 이어져 막대한 경제적인 효과와 주파수 안정성 향상을 기할 수 있을 것으로 판단된다.

향후, 현재 단편적으로 운용중인 주파수 유지관련 규정을 단독계통 특성을 맞도록 세분화하고, 주파수 제어 예비력 확보량의 산정기준도 정립하는 등 예비력 운용관점에서 접근하여 본 연구결과를 극대화될 수 있도록 후속 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] "EMS application, operation manual, Alstom Esca co. ltd