

제주 EMS의 자동발전제어 기능의 설계

이정호, 문영환, 김필석, 김영환, 이원상, 장시호*
 전기연구원, *LG산전, **전력거래소

Design of Automatic Generation Control for Jeju EMS

J.H. Lee, Y.H. Moon, P.S. Kim*, Y.H. Kim**, W.S. Lee**, S.H. Jang*
 Korea Electrotechnology Research Institute, *LG Industrial Systems, **Korea Power Exchange

Abstract - 본 논문은 제주도에 신설되는 제주급전소 EMS/SCADA 기능의 일부인 자동발전제어(AGC) 기능의 설계 내용을 제시한다. 제주 EMS의 자동발전제어(Automatic Generation Control(AGC)) 기능은 지역으로 구분된 계통에서 전력수요를 만족시키기 위해 지역 내의 발전소 유효전력 출력을 제어하는 계통급전센터의 온-라인 응용 소프트웨어이다. 본 논문에서는 제주 EMS에 적용된 AGC 기본 알고리즘과 운영자 편의를 위한 MMI 설계를 보여준다.

1. 서 론

계통운영의 불확실성, 즉 부하의 지속적 변화, 계통 내 사고 등의 외란으로 인하여 예측된 부하 및 계통상태에서 발전력과 부하의 균형을 맞추도록 전력계통의 일정 주파수 유지는 전력계통 제어의 주요 목표이다. 전력 수요와 공급의 균형을 맞추기 위한 자동발전제어(AGC) 방법이 개발되어 전력계통에 적용되어 왔으며 전력계통의 수요와 공급이 균형을 이루었는지의 결과는 계통주파수로 나타난다. 자동발전제어는 지역으로 구분된 계통에서 지역 내의 발전소 제어를 위한 급전제어센터의 온-라인 응용 소프트웨어로서 제주 급전자동화시스템(EMS)의 실시간 응용 소프트웨어 중에서 발전기 MW제어를 위한 중요한 도구이다. AGC의 목적은 실제 전력용량(Interchange Power)(제주에서는 직류송전 연계선 전력(HVDC)임)을 전력용량 계획값으로 유지하고 실제 계통 주파수를 목표주파수 값으로 조정하도록 발전기 출력을 제어한다.

제주 급전자동화 시스템 측면에서, 자동발전제어는 주파수와 전력용량의 페루프 피드백 제어를 구현한 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다. 발전기 출력, 연계선 전력, 주파수가 측정되어 설정값과 비교되어 제어출력은 주파수와 용량전력 편차를 조정하도록 조정된다. AGC 수행을 위해 현장 발전기의 입출력 신호를 급전제어센터와 통신할 수 있도록 RTU 및 통신선로 등이 기존에 설치되어 있으며, 페루프 피드백제어를 위한 하드웨어는 기존에 설치된 상태이므로 제주 급전자동화 시스템은 자동발전제어 소프트웨어에 의해 생성된 발전 제어량을 RTU에 전송한다. AGC는 발전기 출력 수준을 부하 변화에 따라 조정하며 주요 기능으로서 부하 주파수 제어(Load Frequency Control(LFC)), 주파수 계획 등이 있다.

LFC를 위한 발전기 출력 설정값은 모든 발전기의 한계비용이 동일한 점에서 각 발전기가 출력을 내도록 하는 경제급전 프로그램에 의해 발전기 출력을 계산하여 경제적 운영을 수행하여 왔으나 경쟁 체제하에서의 도매 경쟁시장 전력공급은 수요-공급입찰에 의하여 결정된 값을 사용하게 된다.

2. 본 론

2.1 부하주파수 제어

계통주파수와 발전기 부하 배분에 가장 크게 영향을 미치는 것은 조속기에 의한 발전기 출력제어이다. 전력 수요와 발전의 균형을 맞추기 위하여 조속기가 제어되는 것을 주제어(Primary Control), 용량전력 및 계통주파수를 목표값으로 유지시키는 것을 보조제어(Supplementary Control)라 하며 이 보조제어가 부하 주파수 제어(LFC)에 해당한다.

부하 주파수 제어(LFC)는 지역제어오차 (Area Control Error(ACE))에 응답하여 제어지역의 발전량을 변경한다.

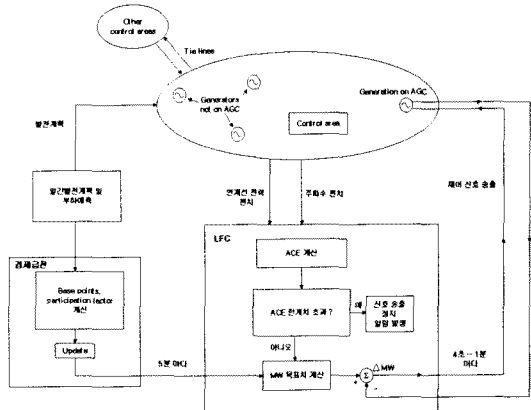


그림 1. AGC 구성도

2.1.1 ACE 계산

순 전력용량(Net Interchange)의 목표값과 실제 전력용량의 편차, 주파수의 목표값과 실제 주파수의 편차는 제주지역에서 발전과 부하가 균형을 나타내는 기준으로 사용된다. 이 편차는 MW(유효전력)로 표현되고 지역제어오차(ACE)라 칭하며 제어지역(Control Area)의 제어 목표값을 도출하는데 사용된다.

ACE는 각 제어지역(Control Area)에서 다음과 같이 정의된다:

$$ACE = \text{전력용량 오차} + Bf * \text{주파수 오차}$$

파라미터 Bf는 주파수 편향(Frequency Bias)이라 하며, 정상상태해석에서 제어지역 내에 부하변동 또는 전력용량 목표값(Interchange Schedule)을 보상할 때 AGC가 정상상태 발전량을 변경하도록 Bf값을 찾을 수 있다. ACE의 실제 계산은 온-라인 AGC 수행시 다음의 LFC 모드에 의존한다.

- (1) 정 주파수 모드 (Constant Frequency Mode)
- (2) 정 전력용량 모드 (Constant Net Interchange Mode)

(3) 연계선로 편향 모드 (Tie Line Bias Mode)

불필요한 제어를 피하기 위하여 AGC의 ACE 필터링은 매우 중요하며, ACE는 부하의 불규칙 변화에 해당하는 불규칙 요소를 많이 가지고 있고, 불규칙 요소의 ACE 변화에 대한 영향을 줄이기 위해 간단한 smoothing function을 사용한다.

ACE는 급전원이 선택한 연계선로 편향(Tie-Line Bias), 정 주파수(Constant Frequency) 혹은 정 전력용량(Constant Net Interchange) 제어 모드 중에서 한가지를 선택하여 이용한다. ACE가 ACE한계치를 초과하면 AGC는 운전정지 된다.

2.1.2 Basepoint 및 참여율 계산

경제급전 프로그램의 결과인 Basepoint 및 참여율이 AGC의 입력이 된다. Basepoint는 주어진 계통 부하를 만족하는 각 발전기의 경제적 운영값이며 각 발전기의 참여율은 다음의 식을 통해서 계산된다.

$$\Delta P_i / \Delta P_{load} = (1/F_i) / \sum(1/F_i)$$

ΔP_i = i번째 발전기 출력 조정량
 ΔP_{load} = 부하 변화량
 F_i = i번째 발전기 비용함수 이차계수

LFC MW목표값은 경제급전 결과를 이용하여 각 발전기의 발전제어 목표값을 결정한다.

2.2 MMI

본 논문의 AGC MMI는 다음 표와 같은 Tab으로 구성되어 있으며 각 Tab의 기능을 아래에 표시하였다.

표 1. AGC MMI 기능

Tab	기능
전체정보	계통 전체에 대한 발전 상황 감시
발전기 출력	각 발전기 별 계속 상태 및 출력 감시
경제 급전	각 발전기 별 Base Point 및 참여율 감시
제어 성능	주파수 제어 및 경제급전에 따른 발전기 제어 응답량 감시
설정	주파수 제어 및 경제급전에 대한 계산 Parameter 설정
주파수 계획	특정 시간에 대한 운전 주파수 변경 Scheduling

2.2.1 MMI 기능

그림 2는 AGC 전체정보로서 현재 제주계통 상황을 보여준다. 각 기능별로 운영자는 Tab을 이동하여 AGC 관련 화면을 볼 수 있다. 좌측의 주파수 정보, LFC정보 및 경제급전 정보는 Tab의 이동과 관계없이 지속적으로 현재 정보를 나타낸다.

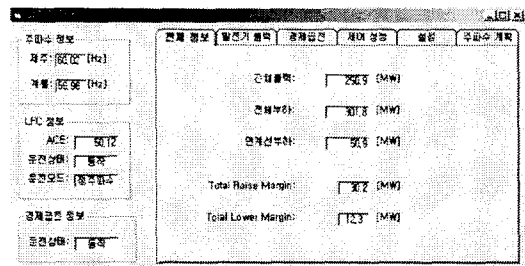


그림 2. AGC 전체정보

그림 3은 AGC 설정화면이며 여기에서 AGC 운영을 위한 각종 설정값을 정할 수 있다. AGC 계산주기 및 제어신호 송출주기, ACE 한계치, LFC 운전모드, parameter 값 (ACE deadband, Bias factor, 연계선전력 목표치 등)을 지정할 수 있다. 또한 경제급전 운전 주기 및 발전기 deadband 값을 입력할 수 있다. 운영자는 급전 운전모드로써 중앙연계, 자체운전, 수동운전, 외부연계 운전 중 한 모드를 선택할 수 있다. 중앙연계는 NEMS의 발전기 Basepoint와 참여율 데이터로 발전기별 출력을 조정한다. 자체운전은 제주 급전소에서 발전기별 Basepoint와 참여율을 계산하여 발전기별 출력을 조정한다. 이 때 운영자는 경제급전 수행 주기를 운영자 목적에 맞게 설정할 수 있다. 수동운전에서는 운영자가 발전기별 Basepoint 및 참여율을 수동입력하며 외부연계 운전모드에서는 발전기별 Basepoint 및 참여율을 MOS(시장운영시스템)로부터 전송받아 발전기를 제어한다.

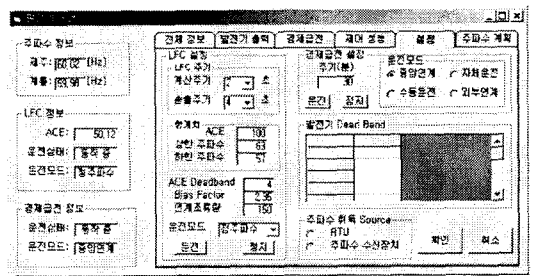


그림 3. AGC 설정 화면

그림 4는 AGC 주파수 계획 화면으로서 이 화면을 통해 계통상황에 따라 주파수 제어의 목표값을 변경하고자 하는 경우 새로운 목표값으로 적용하고자 하는 기간과 함께 정의할 수 있다.

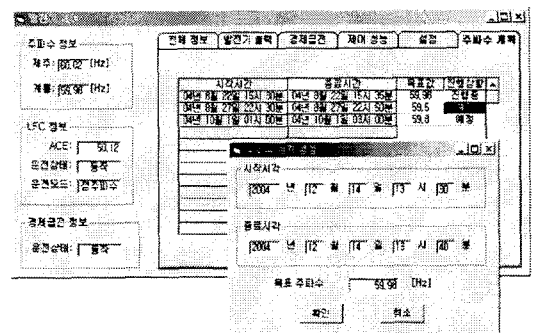


그림 4. AGC 주파수 계획 화면

그림 5는 발전기 출력 화면으로서 이 화면을 통해 현재 발전기의 출력 및 발전기 제어 모드(운전상태 : 자동제어, 수동제어, 현상제어, 계통분리)와 데이터 취득 상태를 확인할 수 있다. 계속상태는 각 발전기 출력에 대한 통신상태이며 현재출력은 각 발전기별 출력을 표시하며 현재 출력을 감시할 수 있다.

그림 6은 제어성능을 보여주는 화면으로서 AGC 제어신호에 대하여 각 발전기의 응답량과 함께 실제 응답량과 송출량의 비율인 응답율을 4분간의 이동평균으로 하여 표시한다. 운전상태에서 표시되는 자동제어는 발전기

를 자동발전제어 운전하며 입력된 상하한치 범위 내에서 LFC 로 제어한다. 수동제어는 급전원이 급전제어센터에서 지시한 값으로 발전소를 수동으로 운전한다. 현장제어는 발전소에서 직접 제어하며, 계통분리 상태는 발전기가 전력계통에 접속되어 있지 않은 상태이다.

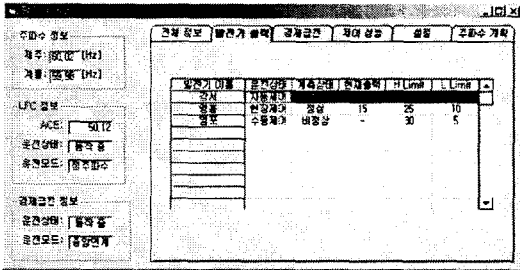


그림 5. 발전기 출력 화면

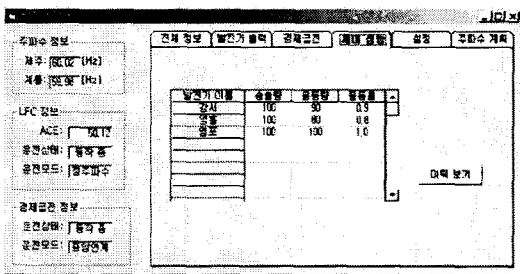


그림 6. 제어성능 화면

그림 7은 경제급전 화면으로써 각 발전기의 Basepoint 및 참여율을 표시하며 주기적으로 계산되는 경제급전 외에 운영자의 판단에 따라 ED실행 버튼을 선택하여 임의의 시간에 경제급전 기능을 수행할 수 있다.

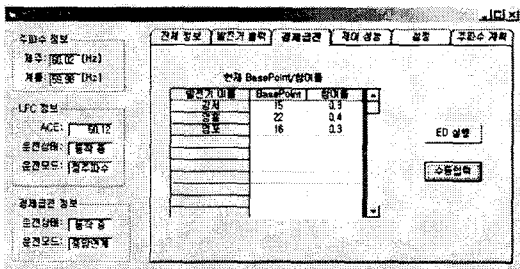


그림 7. 경제급전 화면

그림 8에서와 같이 경제급전 운전모드가 수동운전인 경우, 운영자가 “수동입력” 버튼을 선택하여 각 발전기 별 Basepoint 및 참여율을 직접 입력할 수 있다.

EMS/SCADA 서버(Server)에서 내보내는 AGC 및 경제급전과 관련된 주요 경보(Alarm)는 다음과 같다.

- AGC 계산주기 / AGC 신호송출주기 변경 / AGC 운전모드 변경
- 발전기 출력계측 실패/발전기 제어상태 변경/발전기 운전모드 변경
- 연계선로 전력계측 실패

- 주파수 계측 실패
- 주파수 취득소스 변경

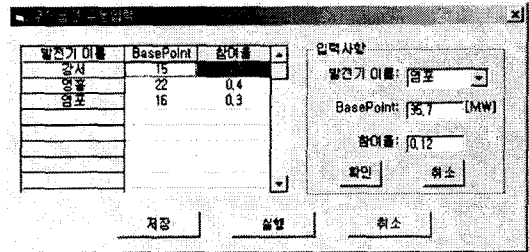


그림 8. 경제급전 수동입력 화면

- LFC 운전 정지
- ACE 계산 결과 한계치를 초과하는 경우
- 주파수 취득값이 한계치를 초과하는 경우
- 주파수계획 변경 (목표값, 시작, 종료)
- Raise / Lower margin 부득
- 발전기 운전 상 / 하한치로 운전
- AGC high / low limit으로 운전
- 발전기 최대 / 최소 용량으로 운전
- 발전기 응답불량
- 경제급전 운전 정지
- 경제급전 주기 변경
- 경제급전 수동실행
- 운전모드 변경

3. 결 론

본 논문에서는 제주도에 신설되는 제주급전소 EMS 기능 중 일부인 자동발전제어(AGC) 기능의 설계 내용인 AGC 기본 알고리즘과 운영자 편의를 위한 MMI 설계를 제시하였고 AGC가 구현된 사례를 보였다. 본 논문에서 제시한 AGC는 국내에서 개발되어 처음으로 실계통에 적용된 사례이며 향후 EMS 국산화에 기여할 것으로 기대된다. 개발된 AGC는 LG산전 SCADA 시스템에 통합되어 전력거래소의 제주급전소에서 운영될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. J. Wood, B. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [3] J. J. Grainger, W. D. Stevenson, Jr., "Power System Analysis", McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [4] 한국전력거래소, "제주급전자동화 설비 구매시방서", 2003.
- [5] 한국전력거래소, "EMS 운영 지침서", 2002.