

한국형 EMS용 자동발전제어(AGC) 프로그램 개발

박민수* 전영환* 이정호** 민상원** 오태규** 이진수*** 이효상*** 서은성***
홍익대* 전기연구원** 한국전력거래소***

AGC(Auto Generation Control) Program Development in K-EMS

Min Su Park* Yeong Han Chun* J.H.Lee* S.W.Min** T.K.Oh** J.S.Lee*** H.S.Lee*** E.S.Seo***
Hongik Univ.* KERI** KPX***

Abstract - AGC (Automatic Generation Control) is supplementary tool for area frequency control in EMS(Energy Management System). This paper addresses the key features of AGC function in KEMS which is under development.

1. 서 론

전력 시장 개설 이후 전력 시장 체제에서 자동발전제어에 의한 계통 주파수 제어가 계통운용의 기본이 되었기 때문에 조속기와 AGC(자동발전제어)를 활용한 주파수 협조 제어체제가 매우 중요하게 되었고[1] 또 AGC 시스템은 발전소의 연료변화에 관한 직간접적인 관련으로 인하여 발전기의 수명, 그리고 유지보수에도 영향을 미치게 된다.[2] 경제적이고 균형있는 전력 공급을 통한 효율적인 에너지 시장을 만들기 위해서는 계통 보조 서비스 시장이 필요하며 AGC 시스템은 빠르고 지속적으로 변화하는 부하에 신뢰성이 있는 전력을 공급으로 주파수를 제어함으로써 중요한 역할을 하게 된다.[3]

AGC가 계통 운용의 기본이 되는 상황에서는 계통 운영자의 개입없이 각 발전기 특성을 고려한 설계가 중요하며 현재 에너지 관리시스템(EMS:Energy Management System)의 성능 개선이 필요하다. 현재 대한민국 에너지 관리 시스템(K-EMS: Kore-Energy Management System)이라는 주제로 산학협동을 통한 순수 우리나라 기술을 통한 에너지 관리 시스템 구축을 위한 연구 활동이 이루어진다.

본 논문에서는 현재 개발하고 있는 AGC 프로그램에서 구현하고자 하는 기능과 고려하는 사항들, 적용 기법 등에 대한 이야기를 통해서 현재 이루어지고 있는 K-EMS의 AGC 프로그램 개발을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 AGC Function

AGC는 EMS에 속해있는 주파수 계통 보조서비스로 EMS 제어 지역 내의 발전을 모니터링하고 또 제어하는 기능을 수행한다. AGC의 주 기능은 LFC로, 경제급전(ED)의 출력, 지역간 거래 (interchange transaction), 주파수 계획(frequency scheduling), 예비력 계산(reserve computation)의 결과를 입력으로 받아들이 이러한 요소들을 고려한 최종 제어 신호를 발전기의 제어부로 전달하고, 발전기 제어부에서는 각 발전기의 특성을 고려한 제어 신호를 각 발전기 단위로 SCADA를 통해서 펄스 혹은 기준점 형태로 전송한다. 또한 발전기, 제어지역(area), 발전기 제어부 등의 상태 등을 모니터링 하면서 급전원에게 경고 메시지를 보내는 기능도 포함한다.

AGC는 각 발전기가 아닌 GUC(Generating Unit Controller)와 상호작용을 한다. 일반적으로 GUC는 하나의 발전 unit을 제어하고 AGC 제어 신호와 발전기는 1:1 관계를 가지고 있지만 GUC가 여러개의 발전 unit을 제어하는 경우도 존재하며 (열병합 발전등) 이 경우 AGC 여러개의 발전기를 등가화한 하나의 발전기로 인식을 하고 AGC의 제어 신호를 정해진 비율에 따라 배분하여 출력량을 결정한다.

AGC의 실행 주기는 일반적으로 2-4초이며 이것은 SCADA의 scan rate 기초하고 있다. 이 주기는 사용자에게 의해서 변경이 가능하며 변경된 주기는 SCADA scan rate의 배수가 되어야 한다.

2.2 AGC input data

AGC는 SCADA를 통해서 필요한 데이터를 받아들이고 이를 이용해 AGC 기능을 수행한다. AGC의 input 데이터는 해당 OPA (Operating Area), Tie-line, GUC, Unit 데이터들이다. K-EMS에서는 데이터 특성에 따라 분류하였는데, 데이터 구별을 위한 index, 특성상 데이터 값의 변하지 않는 Static data, 특정 지역의 Local 데이터, dynamic한 데이터 중 사용자 입력값인 User Input, SCADA를 통해 얻은 Dynamic/SCADA, 해당 프로그램의 결과값 Dynamic/Value로 분류하였다.

2.2.1 Data Checking

AGC에서 사용되는 모든 데이터는 SCADA를 통해서 갱신되고 처리된다. AGC는 SCADA로부터 받은 데이터의 상태가 어떤 것인지 판단을 해야한다. 어떤 데이터들은 AGC 기능 수행의 결정하기도 하기 때문에 이러한 데이터 확인작업은 AGC 기능 수행에 중요한 역할을 담당하게 된다. 예를 들어 해당 OPA의 주파수에 따라 AGC는 Paused 상태를 또는 Suspended 상태로 운전하기도 한다. AGC는 이런 이유로 현재 취득된 데이터가 좋은(good) 데이터인지 아닌 나쁜(bad)데이터인지 체크를 해야한다. 공학적인 제한값 범위를 넘어섰거나 telemetry 데이터 측정에 실패한 경우가 bad 데이터의 예이다. bad data 상태의 자료가 취득된 경우 그에 따라 사용자의 수동 입력값으로 대체하거나 AGC를 Paused 또는 Suspended 상태로 전환하기도 한다. AGC의 상태변환은 2.3.2 paused and suspended data에 설명하였다.

2.2.2 AGC input data 종류

AGC에서 사용하는 데이터는 위에서 언급한 OPA, Tie-line, GUC, Unit의 데이터 들이다. 이 데이터들은 hierarchical(계층적) 구조를 가지고 있고 데이터 특성에 따라 분류하였다.

(a) OPA 데이터

- 해당 지역의 현재 주파수 및 주파수 Deviation,
- ACE 계산에 사용될 사용자가 입력한 Gain 값들
- Data Filtering에 쓰이는 time Constant
- AGC 연산에 쓰이고 필요한 여러 Deadband값 및 Limit값들

(b) Tie-line 데이터

- 해당 Tie-line에 흐르는 조류량
- 해당 Tie-line에 송전 그리고 수전 한계값
- 이전 시간 동안 Tie-line에 흐른 조류량 적산값
- Schedule된 Tie-line 조류 계획값 및 그 시간

(c) GUC 데이터

- GUC의 setpoint feedback값
- GUC의 Local/AGC 상태값
- GUC의 Control Status(AUT/ OFF / MAN)
- ED fuction을 통해서 얻은 GUC의 CED값
- GUC의 control type(Setpoint/ Pulse)
- GUC의 PI Controller Gain 값
- GUC의 regulation 참여 모드

(d) Unit Data

- 발전기의 MW Output
- 발전기의 MVar Output
- 발전기 LFC Max와 Min
- 발전기 단에서 측정된 주파수
- 발전기의 AGC/Local 상태값
- 발전기의 Regulation and Economic Participation Factor

2.3 AGC Area 제어 실행

2.3.1 AGC Control Status

AGC 프로그램의 사용자는 AGC 제어 상태를 다음 중에 하나를 선택할 수 있다.

- On Control: 실시간으로 SCADA를 통해서 자료가 갱신되고 처리되어 계산을 수행하고 AGC Control Signal을 전송한다.
- Monitor : 실시간으로 SCADA를 통해서 자료가 갱신되고 처리되어 계산을 수행하나 AGC Control Signal을 전송하지 않는다.
- OFF : 실시간으로 SCADA를 통해서 자료가 갱신되고 처리되어 계산을 수행하나 AGC Control Signal을 전송하지 않는다. AGC가 Suspended를 상태에 머무르는 경우 정해진 주기 이내에 그 상태를 해지하지 않는 경우 OFF 상태로 전환해야 한다.

2.3.2 Paused and Suspended State

AGC가 on Control 상태에서 비정상적인 조건이 발생한 경우 paused 또는 Suspended 상태로 전환하게 된다. AGC가 Paused 또는 Suspended 상태에 있을 경우 AGC 계산은 수행되나 Control Signal은 전송되지 않는다. AGC가 Paused 상태로 전환된 경우 정해진 시간(일반적으로 1분)내에 비정상적인 condition이 해결되면 다시 일반적인 operation을 재개하게 된다.

(a) Paused State 조건

- ACE 계산에 주파수가 사용되지만 OPA 주파수 측정값이 사용이 불가능한 경우
- ACE 계산에 조류값이 사용되지만 Tie-line 측정값이 사용 불가능한 경우
- Tie-line의 조류 변화량이 한계치를 넘어선 경우
- AUT 상태에 GUC가 존재하지 않는 경우
- OPA의 ACE 값이 trip limit값을 넘어선 경우

(b) Suspended State 조건

- AGC가 Paused 상태가 정해진 시간(보통 1분) 이상 머무른 경우
- 연속된 2번의 주기동안 주파수가 trip limit을 넘어선 경우
- AGC가 계통 분리된 지역이 탐지된 경우

AGC는 이와 같은 변화를 체크하여 탐지하고 state의 변화시 알람을 통해 사용자에게 보고한다.

2.3.3 Tie Line Status

Tie-line의 상태는 프로그램 사용자가 임의로 다음의 하나를 지정할 수 있다.

- Telemetry

: 정상적인 상태로 SCADA를 통해서 측정된 자료가 사용된다.

- Substituted

: Telemetry 정보가 사용 불가능한 경우 이를 통해서 manual로 입력한 데이터가 사용된다.

- Off

: Tie-line 사용되지 않는 상태. 이 상태의 Tie-line의 데이터는 AGC Paused state 체크에서 고려되지 않는다.

Tie-line의 조류량이 송전,수전 한계값을 넘어선 경우 또는 조류의 변화치가 한계치를 넘어선 경우 알람을 통해서 알려주게 된다.

2.3.4. Area Generation and Load

AGC는 각 발전기의 발전량과 Tie Line의 조류량을 통해 다음을 계통에 Load값과 발전량을 계산한다. 계산되어진 값들은 discrete한 system에 적용하기 위해 필터링된다.(2.3.5Data Filtering(LPF))

(a) Area Load

Area Load의 계산은 다음과 같이 행해진다.

$$AreaLoad = \sum \text{각 발전기 발전량} + \sum \text{전력 거래량} \quad (1)$$

(b) Area Generation

$$AreaGen = AreaLoad + Int_S + Int_D - \sum Gen_MAN + \sum Gen_Etc - Gen_Misc \quad (2)$$

Int_S: Scheduled Interchange Int_D: Dynamic Interchange

Gen_MAN: MAN mode 상태의 발전력

Gen_Etc: CED mode 상태가 아닌 GUC 발전력

Gen_Misc: 측정되지 않은 기타 소수력

2.3.5 AGC mode

AGC는 ACE 계산을 함에 있어서 AGC mode에 의해서 방법이 달라진다. AGC는 다음의 3가지를 가진다.

- Tie-line Bias Control (TLBC)

: ACE의 계산에 주파수와 Tie line의 전력 조류량을 사용한다.

- Constant Net Interchange Control (CNIC)

: ACE의 계산에 tie line의 전력 조류량만을 사용한다.

- Constant Frequency Control (CFC)

: ACE의 계산에 OPA 주파수만을 사용한다.

2.3.6 LFC(Load Frequency Control)

AGC는 다음의 세부항목을 통해서 계통 주파수를 제어한다.

(a) ACE Calculation

ACE의 계산은 다음과 같이 행해진다.[4]

$$ACE = 10 \times B(F - F_s - TE) + (Int - IntS - IntD) \quad (3)$$

위 식 ACE 계산에서 계산 앞부분은 주파수에 의한 ACE 부분, 뒷부분이 전력 거래량에 의한 ACE 값이다. ACE 계산은 앞에서 설명한 AGC mode에 따라 ACE의 계산을 달리한다.

(b) TED (Tracking Economic Dispatch)

AGC와 ED의 계산 주기는 2초와 1분(in KEMS). 이러한 계산 주기의 차이로 인해 다음 ED값이 전송되는 주기 동안의 부하 변화를 고려하기 위해 basepoint tracking 기능을 수행한다. AGC가 계통에서 담당해야

하는 발전력과 ED의 basepoint값의 차이를 Economic participation factor에 따라 발전기에 배분 시켜주는 것이다. 이 기능을 통해서 ED 주기 동안의 부하 변화를 부드럽게 추종할 수 있다.

(c) Desired Generation

LFC를 위한 발전기의 Desired Generation값은 다음과 같이 정해진다.

$$DG = GBP + (NRPF \times ACE) + (NEPF \times \Delta AG) \quad (4)$$

DG: 발전기의 Desired Generation값 GBP: 발전기의 Basepoint

NRPF : 발전기 Normalized Regulation Participation Factor

NEPF : 발전기 Normalized Economic Participation Factor

ΔAG : AGC의 계통 발전량 변화량(ED 주기 사이)

2.3.7 Data filtering (LPF)

AGC는 노이즈를 제거하고 제어 시스템의 안정화와 random 부하 변동에 반응하지 않게 하기 위해서 first-order term의 LPF(Low-Pass Filter)를 이용하여 data를 필터링한다.

$$X_{in} \rightarrow \frac{1}{1+sT} \rightarrow X_{out} \quad (5)$$

SCADA에 의해 취득된 계통 주파수, 계산된 Area Load, Desired Generation의 각 발전기의 ACE 배분값과 TED 배분값 등이 항목별 특성에 알맞은 Time Constant가 적용되어 필터링 된다.

- Bilinear Transform

AGC에서 사용되는 데이터들은 비연속적인 discrete한 데이터들이다. 위에서 사용된 LFP의 식은 연속적인(continuous) 시스템으로 적용할 수가 없기 때문에 알맞은 형식의 Transform이 필요한다. K-EMS의 AGC에서는 discrete 시스템에 제어의 효과적인 Bilinear transform을 사용할 것이다.

Bilinear Transform은 위에서 사용한 s-plane을 discrete 시스템에 적용하기 위해서 z-plane으로 변환하는 transform으로 식은 다음과 같다.

$$z = \frac{1 + (T/2)s}{1 - (T/2)s} \rightarrow s = \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1} \quad (6)$$

T: sampling Time

위와 같은 Transform을 이용하여 식(3)을 식(2)에 적용하여 정리하게 되면 다음과 같다.

$$X_{filt}(t) = \frac{2T-Ts}{2T+Ts} X_{filt}(t-1) + \frac{2T}{2T+Ts} X_{in}(t) + \frac{2T}{2T+Ts} X_{in}(t-1) \quad (7)$$

$X_{filt}(t)$: 필터링 되어 나온 값 $X_{filt}(t-1)$: 이전 주기 필터링 값

$X_{in}(t)$: 현재 입력값 $X_{in}(t-1)$: 이전 주기 입력값

위 식에 알 수 있듯이 discrete한 데이터를 제어하기 위해 현재 주기의 입력, 그리고 이전 주기 필터링값과 입력값이 필요하다.

3. 결 론

AGC는 계통의 주파수 제어를 통한 계통 운용의 기본이 되었고 효율적인 에너지 시장을 위한 계통 보조 서비스에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다. AGC가 계통의 운용의 기본이 됨으로서 각 발전기 특성을 고려한 EMS 성능 개선이 중요하며 현재 연구가 진행되고 있는 K-EMS는 순수 우리나라를 통한 기술을 통한 에너지 관리 시스템 구축을 위한 연구 활동이다. 본 논문은 현재 시행되고 있는 K-EMS의 AGC 프로그램 연구에서 고려하고 있는 AGC의 기능과 구현 방법 및 기법 등을 설명하였고 이를 통해 AGC 프로그램 연구에 대한 이해를 도울 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nasser Jaleeli, Louis S. Vanslyck, Donald N.Ewqr, Lester H.Fink "Understanding Automatic Generation Control", IEEE, Transactions on Power System, Vol 7.No.3, August 1992, pp.1106-1122
- [2] Louis S. Vanslyck "a Comprehensive Shakedown of an AGC Process", IEEE, Transactions on Power System, Vol 4. No.2 May 1989, pp.771-781
- [3] Mohammad A.우무 Sujun, "Towards The Real Time Monitoring Of AGC", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Science - 2000, pp.1-5
- [4] Allen J.Wood, Bruce F. Wollenberg "Power Generation and Control", John Wiley & Sons, Inc 1996, pp.346-360

한국형 EMS 개발은 산업자원부의 전력산업연구개발사업으로 수행중인 사업입니다.