

자동발전제어(AGC) 최적튜닝에 관한 연구

오창수 송석하 이은희
한국전력거래소

Optimal AGC Control Parameter Tuning

Oh, Changsoo, Song, Sukha, Lee, woonhee
KPX (Korea Power Exchange)

Abstract - Co-optimization of Gen. Speed Governor & AGC are essential to control proper Frequency control & Economic Dispatch. Improper AGC control result in the decrease of Electricity frequency quality & Generator Life cycle by over-regulating each Generator. This paper presents a number of AGC Area/PLC parameter tuning technique & better performance results. This optimal tuning was studied & implemented by System Operation Dept, Korea Power Exchange in 2007

주파수는 발전기 조속기와 전력거래소 EMS AGC의 협조제어 체계가 적절하여야 안정적인 운영이 가능하며, 과도한 주파수 조정은 경제급전을 저해함은 물론 발전기의 수명단축을 초래하기 때문에 AGC 최적튜닝은 필수적이다. 본 논문에서는 '07년도에 거래소 계통운영처에서 수행한 AGC 제어 파라미터 튜닝방법 및 효과에 대해 논하고 있으며, 학계는 물론 동종업계에도 AGC 관련 기술개발시 업무추진에 도움이 되었으면 한다.

1. 서 론

자동발전제어(AGC: Automatic Generation Control)는 전력계통의 주파수 품질 유지 및 발전 연료비의 경제성을 유지하기 위해 전력거래소에서 운영 중인 에너지 관리 시스템(EMS: Energy Management System)의 핵심기능이며, 전산 및 통신기술의 발달과 함께 전 세계적으로 계속 발전을 이룩하고 있는 분야이다. 현재까지 우리나라는 일본 도시바사, 미국 알스톰사 등 선진국 EMS 개발업체의 제품을 도입하여 활용하고 있으며, 2006년 기술자립을 위해 전력거래소 주도한 한국형 EMS (KEMS) 개발을 위한 산학연 협동체계를 구축하여 새로운 도약을 준비하고 있다

본 논문에서는 현재 운영중인 알스톰사 EMS의 AGC내에 설정된 각종 제어 파라미터의 개념 및 적절한 동작을 보장하기 위한 튜닝을 위한 제어변수의 기능 및 튜닝방법 개발내용을 소개하고 있으며, 2007년 11월 실 계통 적용시험을 거쳐 현재까지 운영중인 성과에 대해 논하고자 한다.

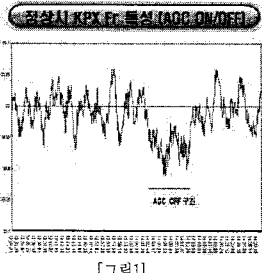
2. 본 론

2.1 주파수 일반

발전기의 조속기는 비례제어기로서 주파수 변화시 미리 정해진 양만큼 순시 응동하여 주파수 변동을 억제하는 역할을 하므로 통상 1차제어로 칭하며, 조속기에 이어 동작하여 2차 제어로 통칭되는 AGC는 정적 주파수 유지(적분제어기를 통해 60Hz 유지를 위한 발전기 출력을 계산, 처리) 및 경제적인 발전력 배분(적정한 주파수 조정 예비력 확보 및 연료비 경제성 실현을 위해 사전에 발전기의 적정 출력 목표값을 계산, 처리)을 위해 AGC 운전중인 발전기의 출력을 자동으로 제어하게 되는데, 정밀한 제어를 위해 AGC 파라미터에 대한 최적 튜닝이 요구된다 하겠다.

2.1.1 AGC의 역할

그림1은 우리 전력계통에서 AGC의 효과성을 보여주는 흥미로운 그림이다. AGC OFF 구간(그림 중간의 약 10여분)에서는 주파수가 정격인 60Hz 이하에서 계속 유지되는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 조속기가 정격주파수 유지기능이 없고 단순히, 주파수 편차에 따라 비례 제어만을 수행함으로써, 주파수가 낮아진 상태이더라도 주파수 변동이 없으면 별도의 제어를 하지 않기 때문이다. 즉, AGC의 정적주파수 유지를 위한 적분 제어 기능은 경제적이고 안정적인 계통운영을 위해 필수적이라 하겠다.



[그림1]

AGC Parameter는 개별 발전기의 특성에 따라 설정되는 PLC Parameter(발전기변수)와 전체 전력계통 특성에 따라 설정되는 Area Parameter(계통변

수)가 두가지로 분류된다.

2.2 전력계통 변수(Area Parameter)의 튜닝

전력계통의 함수로 표현되는 AGC 전력계통 변수는 나라마다 틀리나, 그 튜닝을 위한 적용방법은 EMS Vendor가 Alstom 등 수개에 불과하므로 그 연산로직을 분석하면 유사하다고 할 수 있다. 튜닝의 키가 되는 주요 AGC 계통변수는 주파수 특성정수, ACE 제어영역 한계, 필터 시정수 등 30여개가 있으며, 전력거래소는 AGC 연산로직 분석 및 파라미터 조정에 따른 실증시험을 통한 자체 튜닝기술을 확보하고 있다.

2.2.1 주파수 특성정수 (FBIAS : B)

□ ACE = 10 × B × (F현재 - F정격 - Time Error Offset)

○ B = 615 (MW/0.1Hz)

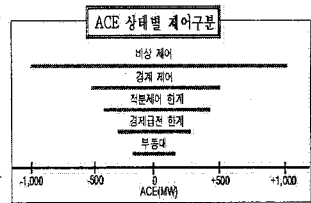
○ Time Error Offset : 최대 0.02Hz [우리계통은 정주파수 제어방식] 주파수 0.1Hz 변동시 계통의 주파수 응답량[MW]을 말하며, 발전기 AGC 제어를 위한 ACE 계산에 활용되는데, 대부분의 나라에서는 AGC 주파수 바이어스 값을 실계통 응답특성보다 높게 설정하여 AGC 조정량 부족 (Under Regulation)에 의한 주파수 안정성 악화를 방지하고 있다. 각 나라의 주파수 바이어스 값(2007년 기준)은 다음과 같다.

구분	PJM	ISO-NE	NY-ISO	Ontario	ERCOT	Cal-ISO	KPX
최대전력	65,489	25,735	31,800	26,560	59,080	44,380	61,500
FBIAS	655	257	318	307	562	444	615

주파수 특성정수는 운전중인 발전기 대수/출력수준 및 부하의 기여량에 따라 실시간 변화하는 비선형적인 특성을 갖고 있어 이론적으로 도출하는 것이 어려우므로 위와 같이 대부분 ISO에서 최대부하의 1% 수준을 적용중이고, 급전훈련 시뮬레이터(DTS)를 이용하여 주파수 변동시 오버슈트 또는 언더슈트 등을 간접적으로 비교, 점검 후 튜닝하는 것이 일반적이다.

2.2.2 ACE 제어영역 한계

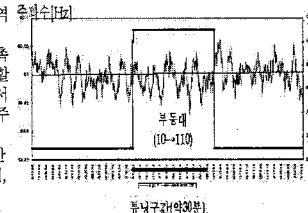
주파수 특성정수(B) 및 현재 주파수에 따라 결정되는 ACE값은 계통내 발전력의 과부족을 나타내는 지표로서 ACE 크기에 따라 발전기를 제어함으로써, 경제급전 및 주파수 안정이라는 두가지 목적을 효율적으로 달성하게 된다. ACE 제어는 정상시 제어(부동대,경제급전, 적분제어 한계)와 발전기 탈락 등으로 주파수가 저하된 유사시 제어(경계 및 비상제어 한계)로 구분되는데, 주파수 바이어스 55MW/0.1Hz를 기준으로 그림2의 부동대-비상제어 한계값은 10/30/35/45/75MW의 순서로 적용하도록 권장하고 있으며, 계통특성에 따라 그 양을 미세 조정하고 Gain(이득)을 조정하게 된다.



[그림2]

2.2.3 부동대

부동대의 최적튜닝은 발전기 자체의 부동대와 연계하여 AGC에 의한 발전기 목표값 조정체여 송출빈도를 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다. AGC로 발전기를 과다조정시에는 발전기 노화속진 및 경제급전 악화를 초래할 수 있기 때문이다. [그림3]에서는 최적의 부동대 설정으로 주파수 표준편차를 크게 감소시키고, 부동대 영역의 운전구간 증가로 발전기 과다조정 억제, 주파수 영점동파비를 확대로 주파수 안정유지에 탁월한 효과가 있다는 것을 확인할 수 있다.



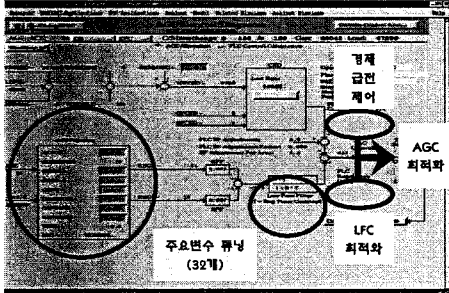
[그림3]

2.2.4 ACE 제어 이득

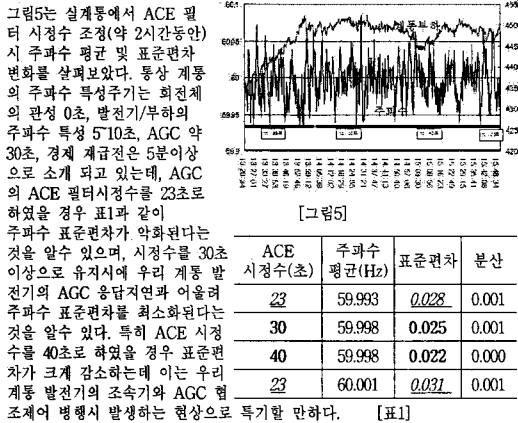
정상/경계/비상상태 영역의 이득은 그 한계 설정과 더불어 매우 중요한 튜닝요소로, 이득이 과다할 경우에는 주파수 오버슈트를 초래하므로 실 계통에서 운영에 큰 지장을 초래할 수 있다. 제어이득 튜닝방법은 주파수 외란의 필터링, 계통 자체의 관성과 조속기 응답 지연 현상, 예비력 확보기준 등을 종합적으로 고려하고, 실증시험을 통해 영향 분석 후 우리 계통에 적용 중이다. 즉, 따라서 정상영역 이득은 주파수 외란성분을 고려하여 $ACE \times 0.95$ 의 이득을 적용하여 불필요한 제어신호 발생을 최소화 시키고 있다. 또한 경계/비상상태 제어이득은 우리계통의 주파수 예비력 운영기준(100만kW) 및 발전기 조속기 특성을 고려하여, 1, 1.1, 1.3배 수준으로 적용중에 있는데 ACE 계산식 [$10 \times B \times (F\text{현재} - F\text{정적} - \text{Time Error Offset})$]에서 100만kW 원자력발전기 고장으로 0.2Hz 주파수 저하시 ACE는 160만kW가 발생하므로 현재 운영중인 주파수 예비력을 고려시 AGC에 의한 신속한 2차 주파수 제어에 문제점이 없다는 것을 알 수 있다.

2.2.5 필터 시정수

AGC는 EMS의 SCADA, RTU를 통해 수집된 모든 타당한 계측/계산 데이터를 필터링 후 ACE 알고리즘에 적용하고 발전기 제어를 시행하는데, 크게 주파수, ACE 필터, 경제급전 필터로 분류되는데, 특히 ACE 필터는 실제 계통에 접속되어 있는 발전기의 AGC 출력용동 지연시간을 고려하여야 하므로 그 선택에 주의해야 한다. 즉, ACE 필터는 주파수 조정 목표값을 발전기별로 배분(그림4)시 ACE MW량을 필터링하는데, 이때 ACE를 추적하기 위해 충분히 작고, 외란을 필터하기에 충분히 크게 튜닝되어야 한다.



[그림4]



[표1]

2.2.5 계통변수 튜닝 종합

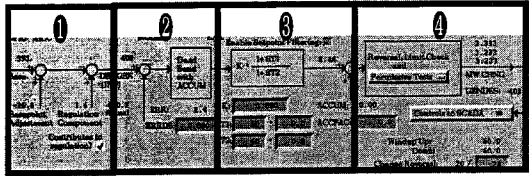
앞에서 살펴본 변수의 AGC에는 계통특성과 관련한 기타 변수가 다수 있다. ACE 적분 제어 한계값과 Time Error 온전의 상관관계 설정, Scheduled Frequency 조정 등 안정적인 주파수 운영을 위한 큰 부분이라 하겠다. [표2]는 '07년도 증집 시행한 AGC 변수 튜닝 결과인데, 우리계통에 문의한인 외국기술자에 의해 설정된 잘못된 파라미터 값을 상당부분 수정, 개선하였고, 자체적인 로직분석으로 기술 능력이 전진보 할 수 있었다.

구분	변수명	원래값	현재값	비고
AGC	AGC 제어이득	1.0	0.95	정상영역 이득을 주파수 외란성분을 고려하여 0.95배로 조정
	AGC 적분 한계	10000	10000	
	AGC 적분 속도	0.1	0.1	
	AGC 적분 지연	10	10	
	AGC 적분 상한	10000	10000	
	AGC 적분 하한	-10000	-10000	
	AGC 적분 초기값	0	0	
	AGC 적분 필터	10	10	
	AGC 적분 지연	10	10	
	AGC 적분 상한	10000	10000	
LFC	LFC 제어이득	1.0	1.0	
	LFC 적분 한계	10000	10000	
	LFC 적분 속도	0.1	0.1	
	LFC 적분 지연	10	10	
	LFC 적분 상한	10000	10000	
	LFC 적분 하한	-10000	-10000	
	LFC 적분 초기값	0	0	
	LFC 적분 필터	10	10	
	LFC 적분 지연	10	10	
	LFC 적분 상한	10000	10000	

[표2]

2.3 발전기 변수(PLC Parameter)의 튜닝

앞 절에서 다른 계통변수에서 도출된 주파수 조정필요량은 발전기로 최종 전달전에 AGC PLC 블록을 거치며, PLC 각 블록의 기능 및 연산논리는 다음과 같이 요약할 수 있다.



[그림6] EMS AGC PLC 제어화면

- PLC 제어기 입력: MOS에서 계산된 경제급전값과 정격주파수 유지를 위해 EMS에서 계산된 주파수 조정분의 합계출력을 PLC(Plant Controller) 제어기의 입력이 됨
- PLC 1차 목표값 결정: ● 블럭의 PLC 제어기 입력값과 발전기 현재 출력과의 차이(MW Error)가 불감대 이상일 경우, 조속기의 응답량을 제한한 AGC 2차 제어필요량을 계산, PLC로 전달
- PLC 제어기 필터링: ● 불목의 AGC 2차 제어필요량은 PLC 제어기 필터를 통해 신호 송출 강도를 조정하는데, 펄스식과 설정점식 PLC의 필터링 방법이 서로 다름
 - 1 펄스식 제어기: 발전기 과다제어 방지를 위해 부하수준별 반복시험을 통해 이득 및 진지상 보상, 응용시정수를 결정
 - 2 설정점식 제어기: Enable Setpoint Filtering 터튼의 On/Off에 따라 PLC 제어기 출력이 달라지는데, On 경우, Pulse 제어기와 같이 발전기의 출력변화를 고려하여 이득 및 진지상 필터링이 가능
- Limit 를 고려한 송출량 결정: PLC제어기를 거쳐 전달되는 목표값은 발전기 보호를 위해 발전기 증감발출을 고려하고 불필요한 제어동작 억제 위한 각종 Test를 거친후 RTU로 전달
- RTU를 통한 최종 목표값 송출
 - 1 펄스 방식: PLC에서 계산된 MW Error를 펄스 인가시간으로 환산 (펄스 환산개수 적용)하여 펄스식 발전기에 전달
 - 2 설정점 방식: 설정점식은 간단히 이전/변경 목표값 편차의 불감대 체크 후 최종 목표값 송출
- PLC 응용시험: PLC 출력 응답량을 수시 점검하여 발전기 추종량이 지정% 이하일 경우, 경보 후 PLC가 정지(Suspend)됨

위에서 살펴본 바와 같이 PLC 변수의 튜닝은 발전기의 자체 특성(발전기별 속도조정을, 분당 증감발출, 조속기 제어 불감대)을 정확하게 반영하는 것이 중요하며, 특히 우리나라 대부분의 발전기가 채용하고 있는 설정점 방식 발전기의 경우, 발전기의 출력과 AGC의 목표값이 크게 차이가 날 경우 발전기 측에서 자체보호를 위해 AGC를 자동 OFF시키므로, 해당 편차가 발생하지 않도록 Windup Limit의 설정 및 주파수 변화시 조속기 응답을 고려한 Setpoint Filtering 기능을 적용하는 것이 중요하다. (상세내용은 참고문헌 [1] 참조)

- SetPoint Filtering Off 경우에는 발전기 출력변화에 관계없이 단순하게 이전 목표값에서 변동량을 추종하므로, 정상/주파수 저하시 AGC 목표값과 발전기 출력간 편차가 존재할 경우에는 발전기 출력용동 지연을 초래
- SetPoint Filtering On 경우, Windup Limit를 정하는데 이는 AGC 목표값과 발전기 실제 출력간 최대편차로서 발전소 현장조각을 반영하여 설정

3. 결 론

본 논문에서는 우리계통에서 시행하였던 AGC 최적튜닝의 주요 요소를 간단히 살펴보았다. AGC 파라미터 튜닝의 효과는 "합리적인 AGC 제어변수 설정으로 발전기 조속기와의 협조제어 체계 확립" 및 "AGC 부하주파수 제어(LFC: Load Frequency Control) 최적화로 AGC 경제급전(ED: Economical Dispatch) 효과의 증진"이다. 쉬운 예로, 주파수 안정상태일에도 주파수 조정을 위해 발전기를 불필요하게 제어한다면, 그만큼 AGC의 경제급전(중분 연료비 우선순위에 따라 가장 경제적인 발전기가 활용되도록 하는 기능으로, 쉽게 말하면 두 발전기가 운전중일때 비싼 발전기로부터 싼 발전기로 발전력을 전환한다는 의미임) 달성률은 낮아질수 있으며, 또한 발전기의 불필요한 제어는 발전설비의 안정운전을 저해하고 설비 수명을 단축시킬 수 있다

AGC 제어 파라미터 튜닝은 위 두 마리 토끼를 잡을 수 있는 방안으로 지속적인 최적화 및 판단분야 기술개발이 필요하다 하겠다.

[참 고 문 헌]

- 곽윤희, 오창수 "On-line 발전기 주파수 응답시험 개발 및 적용에 관한 연구", 대한전기학회, 2006년도 하계 전기학회, 2006. 7
- P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc., 1994
- GE, "Power System Engineering Course", 2006~2007