

EMS AGC 그룹제어 알고리즘 소개

최영민, 이건웅
한국전력거래소

Introduction of EMS AGC Group Control

Young-Min Choi, Gun-Woong Lee
Korea Power Exchange

Abstract - 최근 들어 전력 계통은 점차 복잡해지고 계통의 규모 역시 빠른 속도로 성장하고 있다. 한국전력거래소는 전력계통의 안정적, 경제적 운영을 담당하고 있는 기관으로 '01년 현재의 에너지관리시스템(EMS)를 도입하여 실시간 전력계통에 대한 정확한 판단을 기반으로 전력계통의 안정성과 경제성 확보에 주력하고 있다. EMS의 대표적인 기능이라 할 수 있는 AGC(Automatic Generation Control)은 실시간으로 변화하는 전력수요를 맞추기 위해 전력 계통에 병입된 AGC 제어 대상 발전기의 출력을 가장 경제적이면서 안정적으로 조정하는 것을 담당한다. 이 때 전력수요와 발전기 출력의 차이를 나타내는 것이 주파수인데 현재 주파수와 정규 주파수(60Hz)의 편차를 줄이기 위해 개별 발전기의 특성인 분당 증감발출을 사용하여 개별 발전기에 제어량을 배분하게 된다. 본고에서는 먼저 현재 운영중인 EMS에 구현된 알고리즘을 소개하고 기존 알고리즘의 개선방안인 그룹제어 방식에 대해 소개하고자 한다. 그룹제어 방식은 여러 대의 발전기를 특정 그룹으로 정해 제어신호를 최소화하는 기법으로 과도한 제어신호로 인한 발전기의 피로도를 저감하고 전력계통의 요동을 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

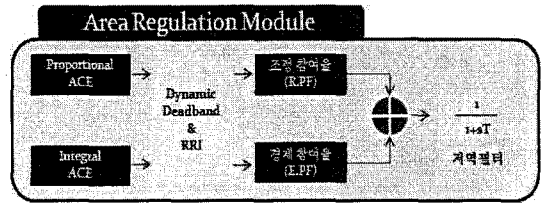
1. 서 론

EMS에서 수행하는 AGC는 크게 주파수 조정, 경제급진, 발전기 제어 등 3가지 모듈로 구성되어 있고 이 밖에 예비력 또는 전력생산비 계산 등 부가적인 내용들이 서로 유기적으로 얽혀진 매우 복잡한 프로그램이다. 현재 이 모든 계산은 2초단위로 수행되고 있으며, 발전기에 대한 제어는 4초단위로 수행하고 있다. 이중 수초마다 변화하는 수요-발전의 균형을 유지하기 위한 주파수 제어는 AGC의 핵심 기능 가운데 하나이다. 발전기 제어의 1차 제어 요소는 조속기(Governor)가 담당하지만 정상상태 에러를 보정하기 위해 AGC의 주파수 제어는 2차 제어로서 작용한다. 또한 AGC의 주파수 제어는 제어신호를 최소화하기 위한 많은 기법들을 사용하고 있는데 불감영역 설정이나 여러 필터들을 사용하여 샘플링의 오차를 보정하고 순간적 변화에 대응하는 것이 아닌 방향성을 지닌 제어요소로 작용할 수 있게 한다. 즉 제어신호를 최소화 하면서 수요-발전의 균형을 유지할 수 있게 하는 것이 AGC의 핵심 철학이라 할 수 있다. 본고에서는 이러한 AGC의 동작원리에 좀 더 충실할 수 있는 그룹제어 방식에 대한 기본 알고리즘을 제공하여 AGC 기반기술이 진보할 수 있는데 도움을 주고자 한다.

2. 본 론

2.1 EMS 주파수 조정 모듈

EMS의 주파수 조정 모듈은 <그림1>과 같이 구성되어 있다.



<그림 1>

$$\text{Proportional ACE} = 10 \times \text{계통정수} \times (F_{\text{diff}} - \text{시각오차보정})$$

F_{diff} : 현재 주파수 - 규정 주파수 (60)

시각오차보정 : 시각오차 × 보정계수 (0.01)

$$\text{Integral ACE} = \sum \text{Proportional ACE}$$

Dynamic Deadband & RRI : 제어신호 최소화용

R.PF_i : Proportional ACE × (Ramprate_i / \sum Ramprate(1..i))

i : i 번째 발전기

E.PF : 작은 값으로 설명 제외

상기 내용 중 R.PF는 조정 참여율로 발전기의 분당증감발출(Ramprate)로 결정되는 것을 알 수 있다. 그러나 매우 적은 증감발출 특성을 지닌 발전기나 혹은 주파수 제어 총량(Area Control Error 이하 ACE) 자체가 적은 경우엔 미소 신호만이 발전기에게 배분 될 수 있는 한계를 지니고 있다. 물론 이러한 부분을 해결하기 위해 여러 불감영역을 적용하지만 이 또한 배분해야 할 ACE값을 왜곡시키는 결과를 초래할 수도 있기 때문에 다음에서 논의할 그룹제어 방식 도입 필요성이 절실하다 하겠다.

2.2 그룹제어 방식

그룹제어 방식의 정의는 발전기의 그룹을 사전에 또는 실시간으로 지정하여 ACE를 우선 순위(Priority) 그룹별로 순차적으로 배분하는 방식을 의미한다.

2.2.1 실시간 참여그룹 결정

그룹 제어를 위해 가장 먼저 수행해야 할 내용은 발전기별 그룹을 정의하는 것이다. 주파수 조정용으로 용동이 빠른 복합발전기군을 하나의 그룹으로 정의하거나 연료비 등을 고려하여 여러 발전원의 발전기를 하나의 그룹으로 정의하는 것 등이 가능할 수 있다. 이것은 발전기의 고유특성과 주파수 조정범위 설정 등 매우 오랜기간의 튜닝이 필요하다. 그러나 본고에서는 이렇게 사전 설정한 발전기별 그룹을 실시간에서 어떻게 재정의해야 하는지를 다루고자 한다. 즉, 실시간에서는 사전에 정의한 발전기가 사고로 인해 전력계통에서 병해되었을 경우나 또는 급전원이 수동으로 발전기의 그룹을 지정할 수도 있으며, 계통사고로 인해 계통의 안정성을 우선 고려하여 주파수를 제어해야 하는 경우도 있기 때문이다. 아

래의 <표1>은 실시간으로 재정의한 예를 다루고 있다.

발전기	#1	#2	#3	#4	#5
사전정의 그룹	2	0	4	3	3
실시간 정의 그룹	1	0	3	2	2

<표1>

- 0그룹 : 주파수 제어 미참여
- 1그룹 : Top Priority

2.2.2 위험상황 반영

전력계통은 항상 상정사고에 대비해야 한다. 주파수 제어 역시 마찬가지다. 그룹별 배분방식 역시 이에 대비하기 위해서 "위험시 임계 그룹값"을 운영한다. 이것은 ACE가 위험값에 도달시 임계 그룹값 이하의 우선순위 그룹을 임계 그룹값으로 강제 지정하여 순차적 배분에 따른 시간 지연을 방지하고 신속히 전력계통의 안정성을 회복시키기 위함이다. <표2>는 "위험시 임계 그룹값"을 2로 설정했을 때의 예를 보여준다.

발전기	#1	#2	#3	#4	#5
실시간 정의 그룹	1	0	3	2	2
위험시 정의 그룹	1	0	2	2	2

<표2>

2.2.3 그룹별 순차 배분 알고리즘

2.2.3.1 발전기별 사전조정참여율 결정

사전조정참여율(preRPF)은 주파수 제어에 참여하는 모든 발전기의 분당증감발출의 합계에 대한 자신의 분당증감발출의 비율로 구해지며, 이것은 전체에 대한 자신의 비율을 고유의 값으로 유지하기 위함이다.

$$preRPF(i) = \frac{Ramprate(i)}{\sum_{i=1}^n Ramprate}$$

단, n은 주파수제어참여 발전기 대수

2.2.3.2 발전기별 상(하)한 조정가능량 결정

상(하)한 조정가능량(Max(Min)Reg)는 발전기별 주파수 제어가 가능한 조정량의 최대(최소)값을 결정하는 과정으로 주파수 저하시엔 상한값을 반대인 경우엔 하한값을 결정한다. 또한 이 때에는 "조정량 배분시간 한계" 값을 설정하는데 이것은 전력계통에서 AGC 응답시간을 나타내며 통상 2분으로 설정한다. 이와 더불어 상(하)한 조정가능량을 산정하기 위해서는 발전기의 "LFC(Load Following Control)의 상하한"과 경제급전과정에서 계산한 "발전기 기준출력(BaseGen)" 등을 고려하여 보다 안정적인 값을 취하게 된다. 이것을 아래의 수식에 나타내었다.

$$tempMaxReg(i) = Ramprate(i) \times \text{조정량배분시간한계}(2\text{분})$$

만일 ACE > 0 이면,

$$MaxReg(i) = \text{Min}(BaseGen(i) + tempMaxReg(i), BaseGen(i) + \text{현재출력}(i), LFC \text{ Max}(i))$$

2.2.3.3 그룹별 조정참여율 결정

그룹별 조정참여율(grRPF)은 그룹에 속한 발전기별 배분율을 결정하는 과정이며 2.2.3.1에서 결정한 사전조

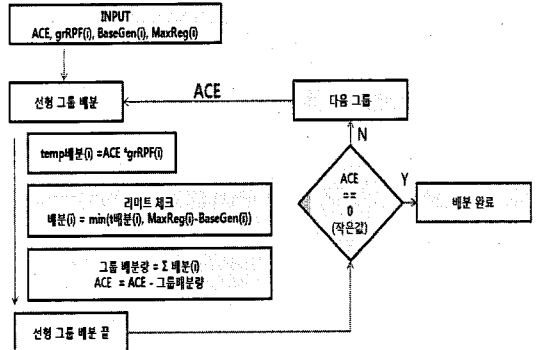
정참여율을 기반으로 결정한다.

$$grRPF = \frac{preRPF(i)}{\sum_{i=1}^n \text{해당그룹 발전기의 preRPF}(i)}$$

단, n은 해당그룹의 발전기 대수

2.2.3.4 그룹별 순차 배분

그룹별로 순차배분하는 방식은 주파수 제어량인 ACE와 상(하)한 조정참여율(MaxReg), 그룹별 조정참여율(grRPF)을 입력으로 하여 순차적으로 선형적으로 배분하게 된다. 아래 <그림2> 배분 알고리즘을 표시하였다.



<그림2>

2.2.3.5 그룹별 순차 배분 예

아래 <그림3>에 상기의 알고리즘에 따라 배분한 예를 나타내었다.

	#1	#2	#3	#4	#5	합계
	1	1	2	2	3	10
	160	140	80	90	100	10
	80/90	80/90	70/80	50/45	85/90	
	30	10	20	20	5	85
	0.35 (=30/85)	0.11 (=10/85)	0.24 (=20/85)	0.24 (=20/85)	0.06 (=5/85)	
	60(=30*2)	20(=10*2)	40(=20*2)	40(=20*2)	10(=5*2)	
	140	100	80	85	95	
	(=140-150)	(=100-110)	(=80-100)	(=85-95)	(=95-100)	
	0.75	0.25	0.5	0.5	1	
	75	25				
	(=100*0.75)	(=100*0.25)				
	60	20				
				10	10	
				(=20*0.5)	(=20*0.5)	
				10	10	
						ACE : 0 (=20 - (10+10))

<그림3>

2.3. 기존 대 그룹제어 방식 비교

기존 방식과 그룹제어 방식의 비교는 미소신호 발생이나 불필요한 신호를 억제하여 발전기의 피로도를 감소시키고 과제로 인한 전력계통의 요동을 최소화 할 수 있는 점에서 의미를 찾을 수 있으며 아래 <그림4>에 비교표를 나타내었다.

기존 대 그룹제어 비교	#1	#2	#3	#4	#5	합계
	30	10	20	20	5	85
	35	11	24	24	6	100
	60	20	10	10	0	100

<그림4>

3. 결 론

AGC는 발전기 최적제어를 통해 전력계통의 안정적 운영 뿐 아니라 경제적인 운용을 담당한다. 상기에서 소개한 내용은 그룹제어에 대한 개념을 설명하고 있지만 한국전력거래소는 여기에 더해 최소의 비용으로 주파수를 제어할 수 있는 추가 알고리즘을 개발중에 있다. 아직 실제 계통에 적용 운전하고 있지는 않지만 좀 더 정밀한 시뮬레이션과 보완과정을 거쳐 적용예정이다. 한해 발전연료비용이 20조원에 달하는 점을 감안해보면 본 고에서 소개한 내용과 같이 발전기 제어 효율을 조금만 올려도 막대한 에너지 비용이 절감될 수 있다. 한국전력거래소는 외국의 최신 논문 뿐 아니라 EMS의 선진 제작사와의 긴밀한 협조 등을 통해 끊임없는 기술개발에 열중하고 있으며 앞으로도 국민에게 안정적이고 신뢰성 있는 전력서비스 제공에 만전을 기할 것이다.

[참 고 문 헌]