

## 자동발전제어(AGC) 제어 성능 개선을 위한 비례적분제어기의 도입 및 튜닝

고동욱\*, 김정우, 전영환  
홍익대학교 전기정보제어공학과

### Introduction of Integral Controller and Its Tuning for the improvements of AGC performance

Dong-Wook Ko\*, Jung-Woo Kim Yeong-Han Chun  
Hong-Ik University

**Abstract** - Conventional AGC controller implemented by considering ACE and bias factors always contains error terms due to inaccuracy of bias factors. To improve this steady state AGC performance, PI controller can be introduced to the ACE processing and plant controller part.

Even though more rigorous inspections are required, a simple application shows that it can be very useful for the improvements of AGC performances.

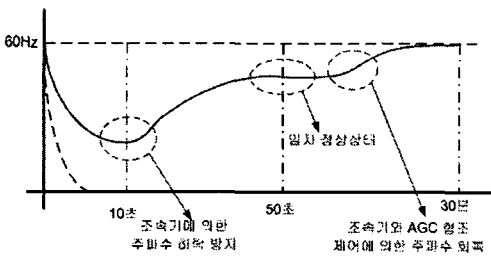
#### 1. 서 론

전력시장 개설 이후 계통의 자동제어에 의한 주파수 제어가 전력시장 제에서 계통운용의 기본이 되기 때문에 조속기와 AGC를 활용한 주파수 협조 제어가 매우 중요하다[1]. 또한 AGC에 의한 주파수 제어 기여도를 조속기와 별도로 평가하여 보조서비스 비용을 지불하도록 CBP 시장 규칙이 관 개선될 전망이다. AGC에 의한 주파수 제어가 각 발전기의 특성을 고려하여 제대로 설계하는 것이 매우 중요하게 되었다. 이러한 상황에서 기존의 EMS 시스템의 기능을 최대한 활용하여 성능을 개선하는 것이 무엇보다도 시급한 과제라 하겠다.

본 논문에서는 현재의 EMS 시스템이 제공하는 제어 블록, 즉 ACE의 적분값을 이용하는 블록과 각 발전기 제어기(PLC)의 lead/lag 제어 블록을 PI 제어기로 구현하는 방법을 검토하였다. 검토 결과, 이러한 제어 블록은 앞으로 발전기의 주파수 제어 성능 향상에 큰 기여를 할 것으로 보인다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 조속기와 AGC의 주파수 제어 기능 분석

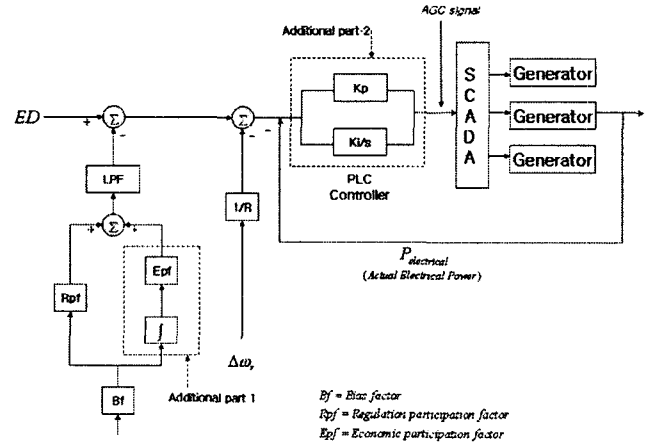


〈그림 1〉 조속기 및 AGC에 의한 응답특성

그림 1에서와 같이 상정사고 발생 직후에는 빠른 응답 특성을 지닌 조속기가 주파수의 하락을 방지하는 주된 역할을 담당하며 최저 주파수까지 이르는 시간은 약 10초가 된다. 10초 이후는 주파수 하락을 정지, 회복하는 단계로 1차 정상상태 회복까지 1-2분이 소요된다. 이후 2차 응답에서는 발전기의 경제성을 고려한 출력 배분이 필요하므로 2차 응답 시기에 충분한 발전 출력을 보장할 수 없는 조속기만의 제어 보다는 AGC를 이용하여 경제성을 고려한 출력 조정이 필요하다.

##### 2.2 AGC제어의 개선

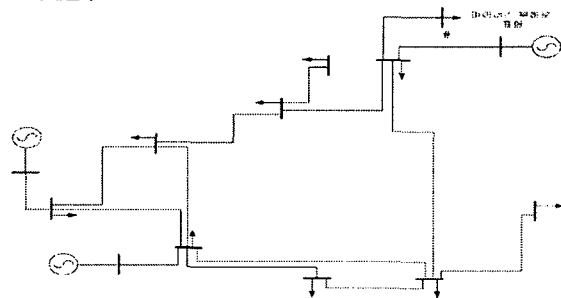
종전의 AGC제어는 Bpf와 Rpf를 도입하여 LFC(Load Frequency Control)를 LPF로 표현한 제어방식 이었다. 본 논문에서는 EMS에서 제공하는 제어 블록을 기본으로 하여 기존의 AGC제어를 개선, 향상시키기 위해 그림 2에서 보이는 점선부분을 추가로 모델링을 하였으며, 이는 ACE의 적분값을 이용하는 블록(Additional part1)과 Actual Electric Power 신호의 Feed Back, 그리고 각 발전기 제어기(PLC)의 lead/lag 제어(PI 제어기(Additional part2)) 블록으로 구성하였다. Rpf와 Epf는 경제급전을 통해 구할 수 있으며 Bf는 식(1)에서와 같이 구할 수 있다. 또한, PLC의 Kp와 Ki는 시뮬레이션을 통한 사례연구에서 언급 될 것이다.



〈그림 2〉 EMS 발전기 모델에 대한 추가 부분

$$Bf = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} + D \quad (i = \text{index}, n = \text{발전기 대수}) \quad \text{----- (식1)}$$

#### 3. 사례연구



〈그림 3〉 사례연구 계통 (발전기는 모두 표현하지 않았음)

그림 3은 사례연구에 사용한 27모선 계통이며 표 1,2는 계통 데이터이다. 27번 모선(#표시부분)의 부하 측 -160은 27번 모선이 160MW를 발전도중 발전기 탈락 시뮬레이션 하기위한 데이터이다. 그림 4는 27번 모선의 부하량이 -160MW에서 -80MW로 급변함을 표현함으로써 발전기가 탈락한 상황을 시뮬레이션 하였다. 즉, 80MW급 발전기의 탈락을 상정사고로 설정하여 각각의 제어 방식 및 주파수 변화를 비교하였다. (a)는 제일 아래 점선 부분으로 조속기만 제어하는 경우로써 Oscillation 발생이후 59.812Hz에서 정상상태가 되었다. (b)는 제일위의 점선 부분으로 그림 2에서 Additional part 추가전의 AGC 신호(Peacelectrical feed back도 없음)의 경우로, Oscillation 발생과 0.17%의 Overshoot가 일어나며 59.982Hz로 회복하는 것을 볼 수 있다. (c)는 가운데 실선 부분으로 기존의 AGC에 ACE의 적분값을 이용하는 블록과 각 발전기 제어기(PLC)의 lead/lag 제어 블록을 PI 제어기로 구현한 경우로써, Oscillation과 Overshoot없이 59.992의 주파수 회복 능력을 보여주며, 이는 (b)의 59.982에 비해서 정상상태 주파수 편차 제어가 향상되었음을 알 수 있다. Kp와 Ki는 시뮬레이션을 통해 얻은 값으로 각각 0.5, 8.0으로 지정했을 때 안정된 주파수를 얻을 수 있음을 그림 4를 통해서 알 수 있다. 연구 결과 그림 5에서 Kp는 0과 1사이에서 존재할 때 oscillation이 발생하지 않으며, Ki는 일정 값(약 Ki=8.0)보다 크면, Overshoot를 막지 못하며, 그보다 작게 되면 정상상태 도달시간이 매우 느림을 알 수 있다.

〈표 1〉 사례연구 모션 데이터

Bus No	Bus Type	Voltage (p.u)	Angle Degree	Load		Generator			
				MW	Mvar	MW	Mvar	Droop	Type
1	2	1.1	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	0.06	1
2	2	1.1	0.0	0.0	0.0	59.2	19.1	0.06	2
3	1	1.1	0.0	0.0	0.0	58.3	19.1	0.06	2
4	2	1.1	0.0	0.0	0.0	26.8	10.37	0.06	1
5	2	1.1	0.0	0.0	0.0	31.0	14.33	0.06	2
6	2	1.1	0.0	0.0	0.0	30.0	14.33	0.06	2
7	2	1.1	0.0	0.0	0.0	11.4	9.65	0.06	1
8	2	1.1	0.0	0.0	0.0	12.8	11.42	0.06	1
9	2	1.1	0.0	0.0	0.0	12.5	11.97	0.06	1
10	2	1.1	0.0	0.0	0.0	7.3	12.01	0.06	1
11	2	1.1	0.0	0.0	0.0	21.3	1.01	0.06	2
12	2	1.1	0.0	0.0	0.0	21.0	0.85	0.06	2
13	2	1.1	0.0	0.0	0.0	18.0	0.84	0.06	1
14	2	1.1	0.0	0.0	0.0	55.9	0.0	0.06	1
15	0	1.0	0.0	12.5	5.0	0.0	0.0	1	0
16	0	1.0	0.0	100.7	36.57	0.0	0.0	1	0
17	0	1.0	0.0	120.2	43.64	0.0	0.0	1	0
18	0	1.0	0.0	39.12	16.26	0.0	0.0	1	0
19	0	1.0	0.0	44.11	16.26	0.0	0.0	1	0
20	0	1.0	0.0	32.2	10.4	0.0	0.0	1	0
21	0	1.0	0.0	51.02	18.52	0.0	0.0	1	0
22	0	1.0	0.0	66.6	24.17	0.0	0.0	1	0
23	0	1.0	0.0	38.06	13.82	0.0	0.0	1	0
24	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0
25	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0
26	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0
27	0	1.0	0.0	-160	30.0	0.0	0.0	1	0

〈Bus Type- 1: slack 2: Generator 0: Load〉

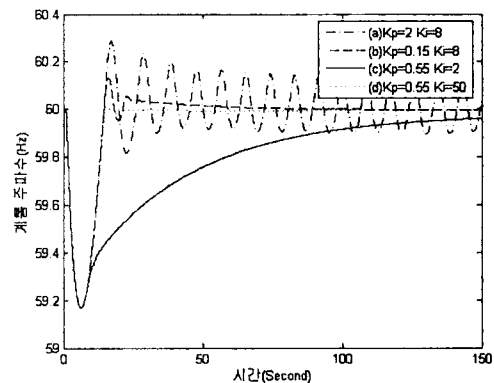
〈표 2〉 사례연구 선로 데이터

Bus		R (p.u)	X (p.u)	B/2 (p.u)
From	To			
15	17	0.00568	0.02686	0.01070
15	22	0.01311	0.06131	0.02477
15	23	0.01331	0.06221	0.02516
16	17	0.00041	0.00626	0.07012
17	18	0.00707	0.03329	0.01327
18	19	0.01335	0.05912	0.02508
18	20	0.01101	0.04754	0.02193
19	20	0.00829	0.03840	0.01607
20	21	0.00964	0.04435	0.01904
20	22	0.01462	0.06667	0.02898
21	22	0.00885	0.04081	0.01748
22	23	0.01982	0.09225	0.03857
19	24	0.00000	0.08500	0.00000
15	25	0.00000	0.08500	0.00000
20	26	0.00000	0.08500	0.00000
24	1	0.00000	0.02000	0.00000
24	2	0.00000	0.02000	0.00000
24	3	0.00000	0.02000	0.00000
25	4	0.00000	0.02000	0.00000
25	5	0.00000	0.02000	0.00000
25	6	0.00000	0.02000	0.00000
25	7	0.00000	0.02000	0.00000
25	8	0.00000	0.02000	0.00000
25	9	0.00000	0.02000	0.00000
25	10	0.00000	0.02000	0.00000
26	11	0.00000	0.02000	0.00000
26	12	0.00000	0.02000	0.00000
26	13	0.00000	0.02000	0.00000
25	14	0.00000	0.02000	0.00000
15	27	0.00000	0.08500	0.00000

4. 결 론

본 논문에서는 LFC부분의 E<sub>pf</sub>와 적분기의 추가, Electrical Power의 feed back신호를 추가하여 좀더 EMS에 근접한 모델링을 하였다. 또한 단독 계통에서의 상정사고 발생시 LFC만으로는 시스템의 주파수 편차의 완전한 보상기능을 할 수 없으며, Oscillation과 Overshoot의 발생을 완전히 제거할 수 없음을 알 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주파수가 정상상태에 빠르게 도달하게 하는 기능을 하는 K<sub>p</sub>와 그로인해 발생하는 Oscillation과 Overshoot의 발생을 억제시키는 K<sub>i</sub>/s로 구성된 PLC로써의 PI 제어를 추가하였다. 그림 5에서 그에 따른 계수 K<sub>p</sub>와 K<sub>i</sub>값에 따라 계통의 안정도가 변함을 알 수 있으며, 시뮬레이션을 통하여 계통이 안정할 수 있는 계수를 찾았다. 본 알고리즘을 통한 시뮬레이션을 통해서 PLC의 추가 제어로 Oscillation과 Overshoot의 발생을 상당부분 개선시킬 수 있다는 것을 보았다.

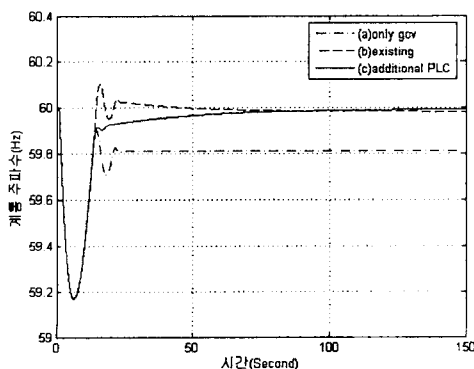
향후 더욱 안정적인 주파수 제어를 위해 PLC의 입력력과 K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>계수의 상관관계에 관한 정식화의 추가 연구가 필요하다.



〈그림 5〉 K<sub>p</sub>와 K<sub>i</sub>값에 따른 주파수 제어

〔참 고 문 헌〕

- [1] 최승호, 황교익, 전영환, "단독계통의 주파수 제어를 위한 자동발전제어 (AGC) 특성 분석 및 새로운 제어전략", 대한전기학회, 2005년 11월, pp540-547
- [2] N. Jaleeli, L. S. VanSlyck, D. n. Ewart, L. H. Fink, "Understand Automatic Generation Control", IEEE TPS, August 1992, pp1106-1112
- [3] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg "Power Generation and Control", John Wiley & Sons, Inc. 1996, pp.336-340
- [4] Paul M. Anderson, "Power System Control and Stability", IEEE Press 1977, pp.138-143



〈그림 4〉 시뮬레이션 결과 비교