

전력시장에서 주파수조정예비력 요구에 관한 연구

오창수*, 이강완**
 *한국전력거래소, ** (주)대화기술사

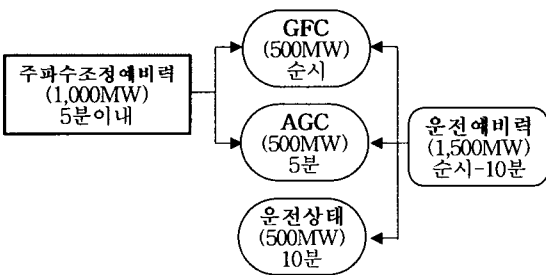
A Study on the Requirement of Frequency Regulation Reserve in Electricity Market

Chang-Soo Oh*, Kang Wan Lee**
 *KOREA POWER EXCHANGE, **DAEHWHA Engineering & Consultants Co. Ltd.

Abstract - 전력계통의 주파수조정예비력(Frequency Regulation Control)은 부하 변동에 대응하여 규정된 주파수를 유지하고 안정된 전력계통 운영이 가능하도록 단시간 내에 응답할 수 있는 예비력이다. 본 논문은 우리나라 전력계통에 적합한 위와 같은 주파수조정예비력을 제시하고 전력산업 구조개편에 따라 분리된 발전사업자들이 전력시장에서 대부분의 주파수조정예비력을 담당하는 화력발전소 예비력 확보 방안을 연구 검토한 것이다.

1. 서 론

전력계통의 운영예비력은 운전 중인 발전기로부터 공급 가능한 예비력을 의미하며 주파수조정예비력과 고장 대비예비력으로 분류되며 이는 부하 변동 및 사고가 발생하였을 때에도 규정된 주파수를 유지하고 안정된 전력공급을 수행하기 위해 단시간 내에 운전 가능하며, 운전 정지중인 예비설비를 가동하여 부하를 담당하게 될 때까지 계속해서 발전할 수 있는 능력으로 정의된다. 주파수조정예비력은 조속기추종제어(Governor Free Control :GFC)에 의한 전력과 자동발전제어(Automatic Generation Control :AGC)에 의한 전력으로 구분된다. [그림 1]은 한국전력거래소의 운영예비력 기준을 나타낸 것이다.



[그림 1] 운전예비력

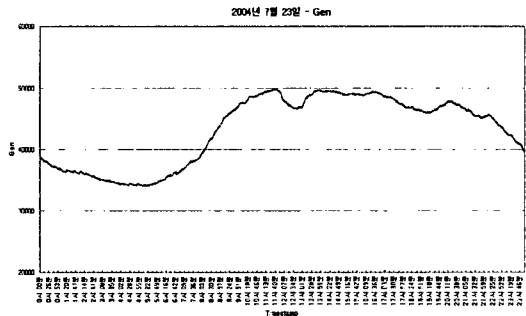
우리나라 최대부하 수준을 50,000[MW] 정도로 가정할 경우 주파수조정예비력은 1,000[MW]로 이는 최대부하의 2.0[%]이며 이중 조속기추종제어(GFC) 예비력은 최대수요의 1.0[%]인 500[MW]로 이는 주파수유지(60±0.2Hz)를 목표로 실적을 근거하여 산출한 것이며, 자동발전제어(AGC) 예비력도 최대부하의 1.0[%]인 500[MW]로 하고 있다. 운전상태 500[MW]는 사고대비 운전예비력으로 운전상태 하에 있는 발전기들의 예비력을 의미한다.

이와 같은 운전예비력은 전력산업 구조개편에 따른 전력시장에서 필요한 기준이며 최적 방법으로 이들 기준량을 확보 운영함으로써 적정 전력품질 유지와 전력계통의 안정 운전이 보장될 수 있다고 본다.

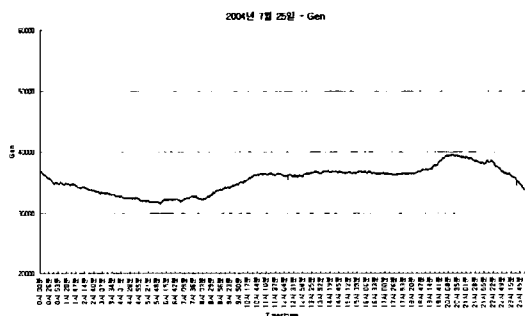
2. 본 론

2.1 부하 변동 특성

전력수요는 사용자들의 요구에 따라 계절적, 요일적 및 순시적으로 끊임없이 변동한다. 이와 같이 끊임없이 변동하는 부하는 변동 폭이 작은 여러 가지 종류의 진폭과 주기를 가진 맥동성분이라든지 불규칙적인 변동성분이 중첩되어 있는 것으로 생각할 수 있다.



[그림 2] 평일 부하곡선

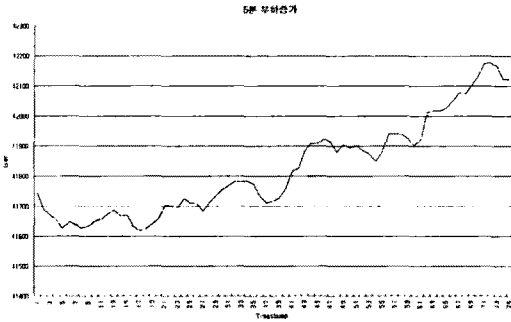


[그림 3] 휴일 부하곡선

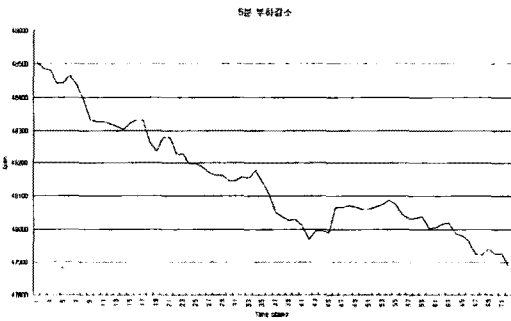
[그림 2]는 2004년 7월 23일 금요일 부하곡선 즉, 평일 부하곡선을 나타낸 것으로 일간 최대부하는 11시40분에 나타난 49,881[MW]이고 일간 최소부하는 5시16분에 나타난 33,892[MW]로서 부하변화는 일간 생활패턴에 따라 변화되고 있다. [그림 3]은 2004년 7월 25일 일요일 휴일 부하곡선을 나타낸 것으로 일간 최대부하는 20시14분에 나타난 39,662[MW]이고 최소부하는 5시57분에 나타난 31,400[MW]로서 평일과는 다른 형태이며 수요 크기도 상대적으로 작은 형태이다.

[그림 4]는 2004년 7월 23일 금요일 8시30분부터 8시 35분까지 5분간 부하증가 구간 특성을 나타낸 것으로 5

분간 부하 증가는 약500[MW]로 약 1.2%(500/41,600 ×100) 증가된 상태이다. [그림 5]는 2004년 7월 23일 12시부터 12시5분까지 부하감소 특성을 나타낸 것으로 5분간 부하감소는 600[MW]로 약1.24%(600/48,500 ×100) 감소된 상태이다. 조사에 따르면 5분간 부하 증·감발은 약 500~600[MW]에 이르고 있다. 또한 현 전력계통의 발전기 최대 단위용량은 1,000[MW]임을 고려할 때 주파수조정예비력을 1,000[MW]로 설정 한 것은 적정하다고 본다.



[그림 4] 5분간 부하증가 구간



[그림 5] 5분간 부하감소 구간

2.2 조속기추종제어(GFC)

발전기가 규정주파수를 벗어나 운전되는 것을 방지하기 위하여 발전기의 원동기에 조속기를 설치하여 이의 동작으로 발전기 입력을 주파수의 변동에 응하여 조정토록하고 있다. 이와 같이 조속기에 의하여 발전기가 규정속도로 유지되게 운전하는 것을 조속기추종제어(GFC)라고 한다. 조속기추종제어에 의한 발전기출력과 주파수간의 상관관계는 식(1)과 같은 속도조정율로 표현된다.

$$\delta = \frac{N_0 - N_V}{N_V} \quad (1)$$

단, N_0 : 발전기가 무부하로 운전시 회전수[RPM]

N_V : 발전기 정격출력시 회전수[RPM]

속도조정율은 조속기의 특성을 나타낸 것으로서, 이 값이 작다는 것은 동일한 부하에 대해 주파수 변화가 작다는 것을 나타내며, 조속기의 동작이 민감하다는 것을 의미한다. 일반적으로 속도조정율은 수력기에서 3~5[%] 정도, 화력기에서 4~5[%] 정도의 값을 갖는다. 특히 이들 속도조정율이 동일할 때 주파수변동에 따른 발전기 출력 배분이 동일하게 되어 원활한 주파수제어가 기대된다.

현재 진행 중인 발전기 부하추종시험은 계통주파수 변화에 따른 발전기 출력 응답량을 측정하여 발전기가 계통주파수 안정 유지에 기여하는 정도를 판단함과 동시에

터빈 및 보일러의 각종 정보를 수집하고 제어변수 설정과 관련기기들의 운전 상태를 분석하여 발전기 자체의 계통주파수 추종 특성을 개선하기 위한 것이다.

2.3 자동발전제어(AGC)

전국의 전력시스템을 감시, 분석 및 제어하는 NEMS는 실시간으로 자료취득, 원방감시 및 자동발전제어(AGC) 기능을 수행한다. 전력계통 운영제어 목표는 전체 발전비용을 최소화하고, 계통 주파수, 전압 및 계통안정도를 유지할 수 있도록 발전력과 부하의 균형을 이루는 것이다. 전력계통의 부하는 시시각각으로 변하게 된다. 자동발전제어(AGC)는 부하 변동에 대응하여 발전출력을 조정하는 것으로 부하변동에 의해서 생기는 주파수 변동을 상시 감시하여 주파수를 규정 값으로 유지하도록 발전기 출력을 조정하는 것이다. NEMS의 자동발전제어(AGC)는 다음의 제약조건 들을 고려하면서 경제적으로 전력을 생산 할 수 있도록 각 발전기 출력을 제어 한다.

- 규정주파수(60Hz) 유지 및 시간오차(Time error) 감소
- 계통부하에 대한 적정 예비력 유지
- 발전 경제성 제고

전력계통 운영제어 목표는 발전과 수요간의 불균형을 해소하여 계통 주파수를 규정치로 유지하는 것이다. 전력계통에서 발전과 수요간의 불균형을 해소하기 위한 지역제어편차(Area Control Error :ACE)는 다음 식으로 계산된다.

$$ACE = (M - S - TAU) + 10B(F - FS - PHI) \quad (2)$$

여기서

FS : 계획주파수[Hz]

F : 현재측정주파수[Hz]

PHI : 시차보정 보상주파수[Hz]

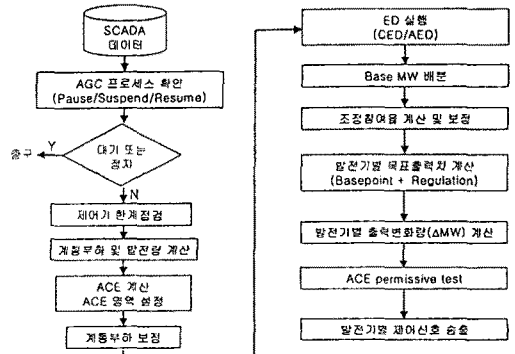
B : 계통주파수 바이어스[MW/0.1Hz]

M : 측정 연계조류[MW]

S : 계획 연계조류[MW]

TAU : 연계 보상조류[MW]

[그림 6]은 자동발전제어 처리 개요를 나타낸 것으로 앞에서 계산된 지역제어편차(ACE)에 따라 발전기 출력을 제어하게 된다. 발전기 출력 제어는 펄스신호제어방식과 설정점(Set-point)제어방식 2가지가 있다. 펄스신호 제어방식은 펄스신호를 발전제어기(Unit Control System :UCS)에 보내 발전소 조속기를 직접 제어하여 출력을 증·감발하는 것으로 현재 수력, 양수 및 일부 구형 화력발전기들이 이 방식을 적용한다. 설정점제어방식은 분산제어시스템(Distribute Control System :DCS)가 설치된 발전소에 설정점(Set-point)를 송출하여 발전소 출력을 제어하는 방식으로 대부분의 신에 화력발전기들에 이 방식에 채택되어있다.



[그림 6] 자동발전제어 처리 개요도

2.4 자동발전제어(AGC) 튜닝 시험

자동발전제어는 제어대상 지역의 발전기 출력을 원적으로 감시 제어하는 것으로 계통주파수에 따라 계산된 지역제어편차(ACE)와 지정된 기준출력 또는 목표치를 토대로 발전소제어기(Plant Controller :PLC)를 통해 제어신호를 송출하여 각 발전기의 출력을 조정한다. 자동발전제어튜닝(AGC tuning)은 자동발전제어 동작상태를 분석하여 이를 최적화 하기위해 제 변수들을 조정하는 것이다.

[표 1] 자동발전제어 시험(복합화력 A)

Start time	Start [MW]	63.2% Reached		Delta [MW]	Time [초]	Rate [MW/분]
		Reached time	Reached [MW]			
15:37:00	197	15:42:35	224	27	335	4.8
16:01:00	235	16:04:43	212.8	-22.5	223	-6.1
16:13:00	197	16:17:26	211	14	266	3.2
16:24:00	220	16:27:25	207.3	-12.7	205	-3.7
17:04:00	200	17:06:53	212.6	12.6	173	4.4
17:08:00	220	17:10:55	207.4	-12.6	175	-4.3

[표 2] 자동발전제어 시험(복합화력 B)

Start time	Start [MW]	63.2% Reached		Delta [MW]	Time [초]	Rate [MW/분]
		Reached time	Reached [MW]			
16:10:00	391	16:10:54	409.3	18.3	54	20.3
16:14:55	427	16:15:46	446	19.0	51	22.4
16:26:10	420	16:26:50	401	-19.0	40	-28.5
16:29:00	390	16:29:49	409	19.0	49	23.3
16:35:55	420	16:37:12	401	-19.0	77	-14.8

[표 3] 자동발전제어 시험(화력 A)

Start time	Start [MW]	63.2% Reached		Delta [MW]	Time [초]	Rate [MW/분]
		Reached time	Reached [MW]			
14:04:00	465	14:07:03	443	-22	183	-7.2
14:09:30	423	14:12:48	449.5	26.5	198	8.0
14:18:30	460	14:21:41	438	-22	191	-6.9
14:25:20	422	14:29:30	452.3	30.3	250	7.3
15:23:30	490	15:27:17	452	-38	227	-10.0

[표 4] 자동발전제어 시험(화력 B)

Start time	Start [MW]	63.2% Reached		Delta [MW]	Time [초]	Rate [MW/분]
		Reached time	Reached [MW]			
14:43:00	470	14:51:50	444.7	-25.3	530	-2.9
14:59:25	438	15:05:45	458.2	20.0	380	3.2
15:27:30	473	15:35:15	439.5	-33.5	465	-4.3
15:42:10	415	15:51:54	443.5	28.5	584	2.9
17:36:20	453	17:44:20	432	-21	480	-2.6
17:49:00	428	18:00:40	457.7	29.7	700	2.5

자동발전제어 튜닝은 다음 3가지가 있다.

- Equipment Response : 통신 및 측정치 적정성
- PLC level tuning : 발전소 PLC 변수 조정
- Area level tuning : AGC 변수 조정

[표 1]부터 [표 4]까지는 PLC level tuning 즉, 발전소 PLC 변수 조정을 위한 자동발전제어 시험 결과이다. 대상발전기의 자동발전제어 증·감발시험 결과는 [표 5]와 같다. 여기에 나타난 것과 같이 복합화력 A의 경우 자동발전제어 증·감발 데이터베이스는 11.7[MW/분]인데 시험 결과는 3.2 ~ 6.1[MW/분]으로 기대치에 못 미치고 있다. 화력 B의 경우도 자동발전제어 증·감발 데이터베이스는 10.0[MW/분]인 반면에 시험 결과는 3.5 ~ 4.3[MW/분]으로 기대치에 못 미치고 있다. 따라서 지속적인 발전소제어기 튜닝으로 발전설비의 적정 증·감발이 수행될 수 있도록 제어설비의 제 변수 조정과 특성 개선이 필요하다.

[표 5] 자동발전제어 증·감발시험 결과

발전소	AGC 증·감발 데이터 [MW/분]	AGC응동상태		비고
		증발 [MW/분]	감발 [MW/분]	
복합화력 A	11.7	3.2 ~ 4.8	3.7 ~ 6.1	응동량 부족
복합화력 B	25.0	20.3 ~ 23.3	14.8 ~ 28.5	
화력 A	10.0	7.3 ~ 8.0	6.9 ~ 10.0	
화력 B	10.0	2.5 ~ 3.2	2.6 ~ 4.3	응동량 부족

3. 결 론

전력계통의 수요는 사용자들의 요구에 따라 불규칙적으로 끊임없이 변동하며, 전력계통의 사고는 필연적으로 발생하여 발전과 수요 간의 불균형을 발생시킨다. 주파수조정예비력은 이와 같이 나타나는 발전과 수요 간의 불균형에 대응하여 계통주파수를 규정치 이내로 유지시켜 안정된 전력계통 운영이 가능하도록 단시간 내에 응답하는 예비력이다. 주파수조정예비력인 조속기추종제어 전력은 발전기 부하추종시험을 통하여 적정량 확보 방안을 수립할 계획이며, 자동발전제어에 의한 전력은 자동발전제어 튜닝 시험을 통하여 필요한 제 변수를 조정하여 적정량이 확보되도록 할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유성호, 이강완, 김광원, 황갑주, "전력시장에서의 적정 운영예비력 기준에 관한 연구", 대한전기학회, 전기학회논문지 A 력기술부문 제52권 제5호, pp287-293, 200, 5
- [2] 주행로, 유성호, 이강완, 임주일, 김광원, 황갑주, "적정 운영예비력 확보기준 및 확보량 산정에 관한 연구", 한국전력거래소, 2002, 10
- [3] 박월환, 이강완, 오창수, "발전기 부하추종 시험용 주파수 Simulator 설계에 관한 연구", 대한전기학회 전력기술위원회, 2004년도 대한전기학회 전력기술위원회 추계학술대회 논문집, 2004, 11
- [4] "자동발전제어 기능 설계서", 한국전력거래소, 2002, 12