

주파수조정에비력 산정에 관한 연구

오창수, 이강완
한국전력거래소, (주)대화기술사

A Study on an Estimate of Frequency Regulating Reserve

Chang-Soo Oh, Kang Wan Lee
Korea Power Exchange, DAHWA Engineering & Consultants Co., Ltd.

Abstract - 주파수조정에비력은 부하변동에 대응하여 주파수를 안정되게 유지하기 위한 예비력이다. 주파수조정에비력은 전력품질 향상과 공급신뢰도 유지를 위해서는 많이 확보하는 것이 유리하다. 반면에 경제적인 측면에서는 많이 확보하는 것이 불리하게 되는 양면성이 있다. 본 논문에서는 계통운영 실적자료를 이용하여 적정 주파수조정에비력 산정 방안을 제시한다.

1. 서 론

주파수조정에비력(Frequency Regulating Reserve)은 부하변동에 대응하여 전력시스템의 주파수를 안정되게 유지하기 위한 예비력으로 조속기추종제어(Governor Free Control: GFC)와 자동발전제어(Automatic Generation Control: AGC) 운전에 따라 순시에 자동으로 응답할 수 있는 예비력을 뜻한다. 주파수조정에비력은 전력계통에서 일상적인 부하변동에 대응하여 계통주파수를 안정되게 유지하는 것이 목적이므로 허용된 범위 내에 주파수가 유지되도록 운전여유를 둔다.

문제는 이러한 주파수조정에비력을 얼마만큼 보유하고 있어야 하는가? 에 있다. 전력계통 운영 측면에서 주파수조정에비력을 많이 확보할수록 전력품질과 공급신뢰도를 향상시킬 수 있는 반면에 경제적인 측면에서는 불리하게 되는 양면성을 가지고 있다.

전력산업의 구조개편에 따라 발전사업과 판매사업이 별도 독립체로 운영됨에 따라 주파수조정에비력 확보기준이 전력사업자의 이해와 직결되며, 나아가 전기요금과 전력의 품질에 영향을 주게 되므로 전력계통 운영 실적등을 고려하여 합리적이고 체계적인 주파수조정에비력 산정 방안을 마련할 필요가 있다.

2. 본 론

2.1 주파수조정에비력

주파수조정에비력은 부하변동에 대응하여 전력시스템의 주파수를 안정되게 유지하기 위한 예비력으로, 조속기추종제어와 자동발전제어 운전에 따라 순시에 자동으로 응답할 수 있는 예비력으로 계통에 나타난 부하변동에 대해 발전기출력을 조속기추종제어량과 자동발전제어량으로 구분하는 것은 용이하지 않다.

그림 1은 전력계통에서 수요 증가에 대하여 조속기추종제어와 자동발전제어가 이상적으로 응답하여 계통주파수가 정상상태로 회복되는 예를 나타낸 것으로 초기 초단위에서 발전기 조속기에 의한 조속기추종제어 그리고 분단위까지 동작하는 에너지관리시스템(EMS)에 의한 자동발전제어 동작 상태를 보여주는 예이다.

전력계통이 정상 운영되는 상태에서 부하변동에 의하여 주파수가 변하게 되는데 이때 주파수 유지 목표를 2가지로 나누어 고찰할 수 있다.

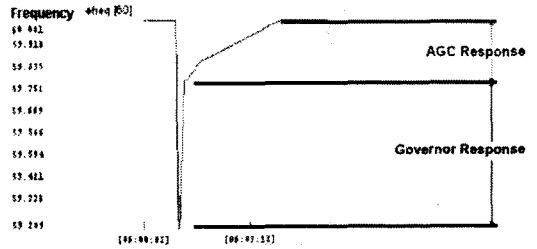


그림 1 주파수조정에비력 응답 예

첫째 : 전력계통 정상 운전시 주파수 운전목표는 대부분 국가에서 ±0.1Hz 또는 ±0.2Hz 이며 우리나라는 전기사업법령으로 ±0.2Hz를 규정하고 있다.

둘째 : 터빈발전기 수명 관점에서 본 주파수 유지범위로 미국규격협회/전기·전자통신학회(ANSI/IEEE)에서 규정한 발전소를 위한 비정상주파수(Abnormal Frequency) 보호지침에 따르면 60±0.5Hz 가 터빈발전기 수명에 영향이 없는 연속 운전범위이다.

2.2 주파수응동특성

전력계통에서 부하변화 즉, 발전과 수요 간의 불균형 정도에 따라 계통주파수가 변하게 되며 이 같은 주파수변화를 주파수응동특성(Frequency Response Characteristic: FRC)이라고 한다. 전력계통의 주파수응동특성은 발전기 조속기 응답특성, 부하특성 등에 따라서 주어진다. 전력계통의 응동특성은 다음과 같이 표현된다.

$$FRC = 10 \times \left(\frac{dP}{P_0} \right) \frac{1}{dF} [\%/0.1Hz] \quad (1)$$

여기서

dP : 부족발전력[MW]

dF : 발전력 부족에 따른 주파수 저하[Hz]

P₀ : 전력계통 부하[MW]

복미에서는 주파수응동특성을 전력계통의 주파수바이어스(Frequency Bias)와 유사한 형태로 취급한다.

$$Bias = \frac{dP}{dF} \times 0.1 [MW/0.1Hz] \quad (2)$$

따라서 주파수응동특성은 다음과 같이 계통부하에 대한 주파수바이어스로 표현한다.

$$FRC = \frac{Bias}{P_0} [\%/0.1Hz] \quad (3)$$

2.3 부하특성 분석

전력수요는 시시각각으로 변한다. 일간부하 모형은 아침나절(오전8시전후) 및 점심시간대(12-13시)와 같이 지속적인 부하변화, 10내지 20분정도의 주기성을 갖는 단주기 부하변화 및 수분 또는 수십초 정도의 주기성을 갖는 미세한 변동 등으로 분류할 수 있다.

그림 2는 EMS에서 4초 주기로 취득된 총발전을 나타낸 것으로 2004년 7월 23일(금요일) 부하곡선 변화를 보여준 것이다.

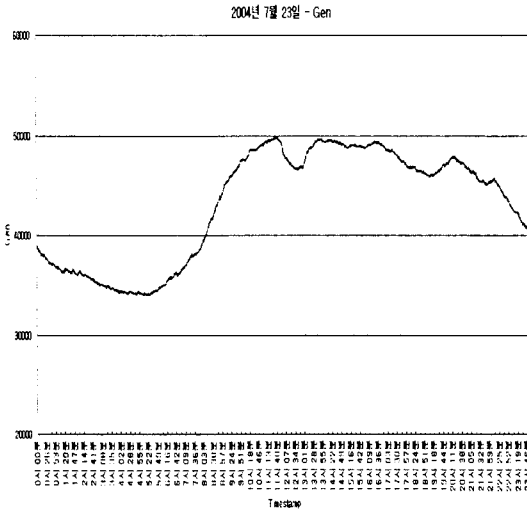


그림 2 일간 부하곡선

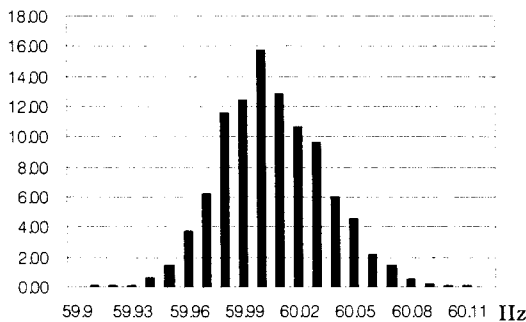


그림 3 일간 주파수 유지율

그림 3은 그림 2 부하곡선에 해당되는 일간 주파수 유지 실적을 나타낸 분포다. 계통주파수 유지범위는 59.9Hz에서 60.12Hz 까지 이고, 60±0.1Hz 범위 유지는 99.92%이다.

단주기의 부하변화를 관찰하기 위해 그림 2 부하곡선의 5분간 실적부하로부터 최소자승법으로 부하동향을 산출해 내고 계산된 부하동향과 부하실적 간의 편차를 구한 결과 부하증가 분포는 표 1과 같고 부하감소 분포는 표 2와 같다. 이로부터 단주기 부하변동은 -270MW에서 210MW까지 인을 알 수 있다.

표 1 부하증가 분포

구분 (MW)	0~	50~	100~	150~	200~
분포(%)	61.20	29.95	7.65	1.16	0.04
누적(%)	61.20	91.15	98.80	99.96	100.00

표 2 부하감소 분포

구분 (MW)	0~	50~	100~	150~	200~	250~
분포(%)	60.87	30.34	7.36	1.17	0.22	0.04
누적(%)	60.87	91.21	98.57	99.74	99.94	100.00

2.4 주파수조정예비력 산정

전력계통 운영기록에서 얻어진 발전기 탈락사고 대 주파수 변화는 해당 전력계통의 주파수응동특성을 산출해 낼 수 있는 자료다.

표 3 운영기록에 의한 발전탈락 대 주파수 변화

번호	시간	계통수요 (MW)	주파수 (Hz)	탈락 (MW)	ΔP (%MW)	ΔF (Hz)	K (%MW/Hz)
1	12:00	40.654	60.07	800	1.9678	0.207	9.5063
2	06:35	33.562	59.95	587	1.7490	0.1762	9.9262
3	14:14	34.400	60.00	733	2.1308	0.19	11.2147
4	19:46	43.240	60.00	996	2.3034	0.32	7.1981
5	11:22	39.700	59.99	1,412	3.5567	0.18	19.2594
6	11:17	44.040	60.00	1,062	2.4114	0.23	10.4830
7	22:08	42.101	59.96	689	1.3515	0.18	7.5084
8	15:48	44.310	59.92	1,047	2.3629	0.31	7.6223
9	11:12	43.798	60.00	1,053	2.4042	0.31	7.7555
10	13:48	46.858	60.01	1,002	2.1384	0.19	11.2547
11	03:22	34.360	60.00	553	1.6094	0.11	14.6309
12	23:10	39.134	60.05	588	1.5025	0.12	12.5208
13	22:36	42.409	60.05	701	1.6530	0.15	11.0200
14	07:57	33.242	59.97	984	2.9601	0.21	14.0957
15	03:39	34.291	60.05	975	2.8433	0.29	9.8045
16	02:35	37.782	60.03	1,058	2.8003	0.21	13.3348
17	17:44	45.326	59.93	673	1.4848	0.11	13.4982

표 3은 전력계통 운영기록에서 얻은 발전탈락 대 주파수 변화를 나타낸 것이다. 그림 5는 운영기록 자료로부터 발전탈락 대 주파수편차를 나타낸 것이다.

발전탈락 대 주파수편차는 일간 전력수요 시간대에 따라 그 크기가 다를 수 있다.

첫째 : 심야 시간대는 전력수요가 상대적으로 적은 저부하시간대로 전력생산의 경제성 및 운영의 안정성을 고려하여 원자력발전 점유율이 높게 되어 조속기추종제어량이 적어 상대적으로 동일한 발전탈락 비율에서 더 큰 주파수편차가 나타날 것이다.

둘째 : 일과 시간대에는 조속기추종제어량이 상대적으로 많게 되어 주파수편차가 작게 나타날 수 있다.

셋째 : 점심 시간대는 사람들의 중식과 휴식시간 때문에 생산 공장 또는 사무실 등에서 전력 사용이 급격히 감소되었다 급격히 증가되므로 사전에 충분한 운전예비력 확보 경향이 있어 상대적으로 발전탈락 대 주파수편차가 작게 나타날 것이다.

그림 4는 시간대별 주파수응동특성을 나타낸 것이다.

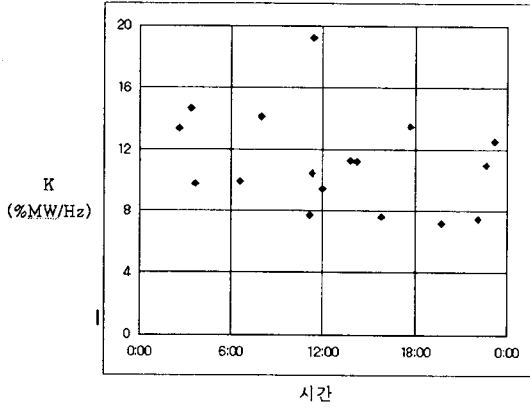
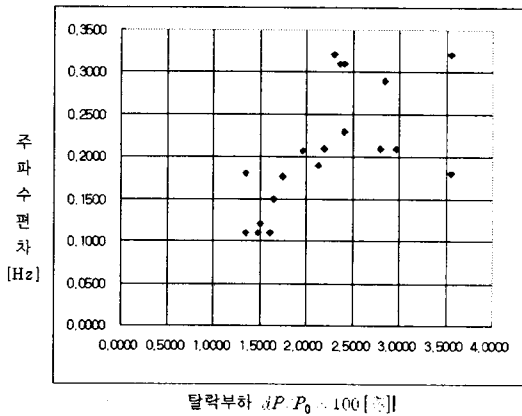


그림 4 시간대별 주파수응동특성



탈락부하 $dP/P_0 \times 100$ [%]

그림 5 발전탈락 대 주파수 편차

발전탈락 대 주파수편차 상관관계를 최소자승법을 이용하여 수식으로 도출해내면 다음과 같다.

$$dF = 0.010789 + 0.093267 \frac{dP}{P_0} \times 100 [Hz]$$

과도안정도 해석 프로그램은 발전탈락과 같은 외란 상태에서 계통 주파수 또는 전압과 같은 전력계통 동특성을 규명할 수 있는 유용한 도구다. 표 4는 2005년 전력계통 최저부하 수준인 총발전 35,700MW인 경우 발전탈락 대 주파수편차를 계산 및 모의한 결과이다.

표 4 발전탈락 대 주파수편차 모의 결과

번호	발전탈락		모의 주파수편차 [Hz]	
	[MW]	$dP/P_0 \times 100$ [%]	안정도 해석	계산식
1	450	1.26	0.09	0.13
2	979	2.74	0.21	0.27
3	2027	5.68	0.55	0.54
4	3006	8.42	0.98	0.80
5	4042	11.32	1.38	1.07

3. 결 론

주파수조정예비력은 전력품질 및 전력공급 신뢰도 측면에서는 많은 것이 요구되는 반면에 경제적인 측면으로는 이를 적정량으로 제한하는 것이 타당한 양면성을 가지고 있다. 계통주파수 유지 목표를 $60 \pm 0.11Hz$ 로 가정하

경우 주파수조정예비력은 식(4)로부터 0.96%가 산출되므로 주파수조정예비력을 전력수요의 1%정한다. 즉, 전력수요를 50,000MW 가정한 전력계통의 적정 주파수조정예비력은 500MW 이다. 이와 같은 주파수조정예비력은 발전기 형태에 따라 적절히 분담되어야 한다.

전력계통은 지속적인 수요 증가로 규모가 복잡하게 확대되는 추세이다. 전력을 사용하는 수요설비도 경제성 및 효율성 추구에 따라 변화되고 있다. 이와 같이 전력계통 규모 및 수요설비 변화는 전력계통의 주파수응답특성을 변화시키게 됨을 고려하여 원활한 전력계통 운영에 중요한 요인이 되는 주파수조정예비력의 산정을 지속적으로 고찰할 필요가 있다.

주파수조정예비력은 정상적인 계통운영 상황에서 주파수를 일정 범위 내로 유지하기 위한 예비력이다. 그러나 전력계통에서 전기사고는 불가피하게 발생한다. 이와 같은 비정상적인 상황 즉, 발전탈락 또는 연계송전선로 개방과 같은 계통사고에 대비하여 단시간(10분 내외) 이내에 응동 가능한 예비력을 고장대비예비력이라 할 수 있다. 앞으로 전력계통 운영 기록 등을 이용하여 우리 실정에 적합한 고장대비예비력 산정 방법 등의 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 유성호, 이강완, 김광원, 황갑주, "전력시장에서의 적정 운영 예비력 기준에 관한 연구", 대한전기학회, 전기학회논문지 A 력기술부문 제52권 제5호, pp287-293, 200, 5
- [2] 주행로, 유성호, 이강완, 임주일, 김광원, 황갑주, "적정 운영 예비력 확보기준 및 확보량 산정에 관한 연구", 한국전력거래소, 2002, 10
- [3] P.Kunder, "Power System Stability and Control", McGraw - Hill, 1993