

전력계통 주파수응답 실적 기반의 국내 AGC 주파수 바이어스 설정치 산정에 관한 연구

A Study on the Frequency Bias Setting of the AGC based on Frequency Response in Korea

강 보 람* · 권 한 나* · 국 경 수†
(Bo-Ram Kang · Han-Na Kwon · Kyung-Soo Kook)

Abstract - This paper presents Frequency Bias setting for the adequate AGC(Automatic Generator Control) operation based on the frequency response of power system in Korea. AGC frequency control recovers the frequency up to 60Hz following a primary control when the frequency suddenly drops due to a fault in power system. AGC can compensate an appropriate amount of generation by calculating ACE(Are Control Error) from the frequency deviation with the AGC frequency bias set from the actual frequency response in power systems. An appropriateness of the proposed AGC bias setting is verified through case studies employing the simulation model.

Key Words : Frequency bias, AGC(Automatic Generator Control), Power system frequency

1. 서 론

전력계통에서 주파수는 발생된 외란에 대해 계통의 관성, 발전기의 조속기, 자동발전제어(AGC: Automatic Generator Control)를 통해 제어되는데 특히 AGC를 통한 주파수제어는 전력계통에 외란이 발생한 후 발전기의 조속기에 의한 주파수응답 직후에 주파수를 기준 주파수인 60Hz로 회복시키는 역할을 한다. AGC 주파수 제어에서 사용되는 주파수 바이어스(Frequency Bias)는 주파수 편차로부터 전력계통 제어지역오차(ACE : Area Control Error)의 값을 계산할 때 사용되는 제어계인 $B[MW/0.1Hz]$ 으로써 주파수 회복에 필요한 만큼의 유효전력 보상을 위해 정확하게 설정하는 것이 매우 중요하며 이를 위해 전력계통의 주파수응답(Frequency Response)의 성능을 기반으로 설정하는 방법이 제안되어 있다[1, 2]. 이때, 주파수응답은 전력계통에서 발전기 탈락과 같은 외란 발생 시 발전기의 조속기, 부하특성 등이 반영된 계통운영 실적으로써 발전기 탈락량에 따른 주파수 변동량으로 계산되며 전력계통의 성능을 결정하는 주요 지표로 사용된다.

국내의 경우 주파수 바이어스 값을 계통 첨두수요의 1% 수준으로 설정하여 운영하고 있으나 이는 해외사례에서 주파수응답 성능을 기반으로 주파수 바이어스를 설정하고 운영하여 외란 후

에 AGC 주파수제어가 계통 주파수를 회복시켜 발전기의 조속기 응답을 대체해 내도록 하는 방안과는 차이가 있다. 주파수바이어스 설정치를 주파수응답성능 값으로 설정한 경우($10\beta = FR$), 국내와 같은 독립계통에서는 Δp 크기의 발전기 탈락이 발생하면 주파수응답 정의에 의해 계통에 나타나는 주파수 편차는 $\Delta f_R = \frac{\Delta p}{FR}$ 가 되며, $ACE = 10\beta \times \Delta f_R = FR \times \frac{\Delta p}{FR} = \Delta p$ 가 되어 AGC 주파수제어가 계통에서 탈락한 발전량만큼을 정확히 대체하여 주파수를 60[Hz]로 회복하게 된다. 따라서, 주파수 바이어스를 주파수응답성능 보다 크거나 작은 값으로 설정하게 되면 AGC 주파수 제어에 과제어나 부족제어가 나타날 수 있으며 과제어 시에는 AGC 주파수 제어가 불안정해 질 수 있다.

이에 대해 본 논문에서는 국내 전력계통에 적합한 AGC 주파수 바이어스를 설정하기 위해 국내 전력계통의 주파수 운전 실적으로부터 주파수응답 값을 도출하고 이를 주파수 바이어스 설정치로 적용하는 방안을 제안하고 그 유효성을 모의해석을 통해 검증하였다.

2. 전력계통 AGC 주파수 바이어스

2.1 AGC 주파수 바이어스

AGC 주파수 바이어스는 식(1)의 $B[MW/0.1Hz]$ 값으로 주파수 편차로부터 전력계통의 ACE 값을 계산할 때 사용되는 제어 이득 값이다. 국내 전력계통과 같은 독립계통에서는 연계선로가 없기 때문에 식(2)와 같이 연계선로 부분을 제외하고 ACE값을 계산한다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Smart Grid Research Center, Chonbuk National University, Korea.

E-mail : kskook@jbnu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, SGRC., Chonbuk National University, Korea.

Received : May 4, 2015; Accepted : June 29, 2015

$$ACE = (NI_A - NI_B) - 10B(F_A - F_B) - I_M \quad (1)$$

$$ACE = -10B(F_A - F_B) \quad (2)$$

여기서, NI_A : 모든 연계 선로의 실제 전력 조류[MW]

NI_B : 모든 연계 선로의 계획 전력 조류[MW]

B : 주파수 바이어스[MW/0.1Hz]

I_M : 계량 오차 보정 지수[MW]

AGC를 통한 주파수제어는 계통에 외란이 발생하지 않은 정상 상태와 외란 후 발전기 탈락과 같은 계통 고장 직후에 계통 주파수를 회복시키는 역할을 한다. AGC의 주파수제어를 효과적으로 운영하기 위해 주파수 회복에 필요한 정확한 유효전력 보상을 하는 주파수 바이어스 값을 설정하는 것이 매우 중요하며, 주파수 바이어스를 설정하는 방안으로 주파수응답 성능을 기반하는 것이 제안되어 있다. 주파수응답은 계통운영 실적으로써 주파수응답 성능을 기준으로 설정한 AGC 주파수 바이어스는 AGC 주파수제어를 보다 효율적이고 안정적이게 한다.

2.2 AGC 주파수 바이어스 설정방법의 국내 현황

국내 전력계통의 AGC 주파수 바이어스 설정치는 계통의 첨두 수요 1%의 수준으로 설정하고 운영하고 있으며 이는 Midwest ISO인 MISO나 북미 전력계통 신뢰도 기구인 NERC(North American Electric Reliability)에서 적용되는 바와 같이 계통의 주파수응답 성능을 기준으로 주파수 바이어스를 설정함으로써 주파수응답 특성을 반영하여 발전기 탈락과 같은 계통 고장 직후에 AGC의 주파수제어가 계통 주파수를 안정적으로 회복시키는 방법과는 차이가 있다[3]. NERC에서는 신뢰도 기준에 명시된 주파수 바이어스 설정 기준 및 절차를 따라 주파수 바이어스를 실제 주파수응답과 가까운 값으로 하고 익년에 예측된 연간 첨두수요의 1%보다는 크게 설정하고 있으며 MISO에서는 주파수 바이어스 설정치를 주파수응답들의 중간값으로 적용하고 있다[4].

3. 전력계통 주파수응답 실적기반의 AGC 주파수 바이어스 설정치 산정

본 절에서는 국내 전력계통의 AGC 주파수제어를 보다 안정적이고 효율적으로 운영하기 위해 AGC 주파수 바이어스를 설정하는 방안으로 국내 전력계통 주파수응답 성능을 기반 하였다. 이를 위해, 국내 전력계통 주파수 운전실적을 분석하여 주파수 외란 판단 기준을 만족하는 case들을 선정하고 설정한 주파수응답 분석기준을 토대로 AGC 주파수 바이어스 설정치를 산정하였다.

3.1 주파수응답 산정을 위한 국내 전력계통의 주파수 외란 선정

주파수응답을 산정하기 위해서는 먼저 일정한 간격의 주파수 편차, 최소 또는 최대 과도주파수의 기준치를 정의하여 이를 벗어난 주파수 외란 case들을 선정한다. 한 예로, NERC의 미국 동부에서는 다음 그림 1과 같이 매 15초 간격의 주파수 편차와

최소 또는 최대 과도 주파수인 Point C가 기준치인 36mHz를 벗어나면 주파수 외란으로 간주한다[5].

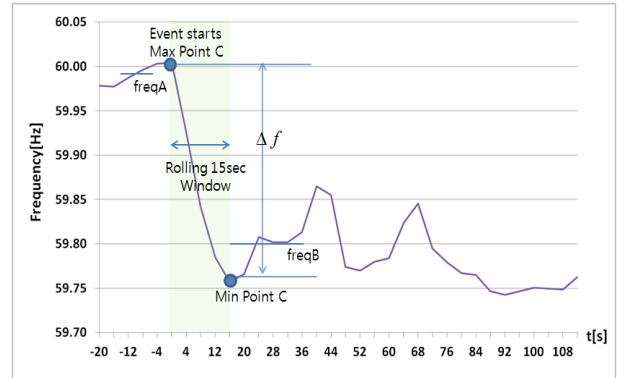


그림 1 주파수 외란 시 나타나는 주파수의 예

Fig. 1 The example of frequency when frequency disturbance

이때, 정의된 전력계통 주파수 외란 판단기준은 다음 표 1과 같으며 국내 전력계통 주파수응답 산정을 위한 주파수 외란 판단 기준은 NERC의 사례를 참고하고 국내 전력계통 주파수 운영실적을 분석하여 설정하였다[6, 7].

표 1 전력계통 주파수 외란 판단 기준

Table 1 Fault simulation results

Interconnections	Δf (mHz)	Point C		Rolling Window
		Under freq.	Over freq.	
Eastern	36	<59.97	<60.03	15
Western	70	<59.97	<60.03	15
ERCOT	90	<59.97	<60.03	15
Korea	36	<59.97	<60.03	16

국내 전력계통은 주파수 측정주기가 SCADA 기준으로 4초이므로 매 16초 간격의 주파수 편차가 36mHz보다 크고 최소 또는 최대 과도주파수인 Point C가 기준치를 벗어나면 주파수 외란으로 판단하였다. 다음 그림 2는 설정한 국내 전력계통 주파수 외란 판단 기준을 만족하는 주파수 외란 case들을 선정한 것이다.

3.2 주파수응답 산정을 위한 국내 전력계통의 주파수 계산구간 설정

외란으로 판단된 case들의 주파수응답은 다음의 식과 같이 발전기 탈락량에 따른 주파수 변화량으로 계산된다[8]. 분모의 주파수 변화량은 외란 전 주파수의 평균값인 freqA와 외란 후 주파수의 평균값인 freqB의 차이이며 이때, 계통의 사고발생시점으로부터 주파수 평균 계산 구간에 따라 외란 전 후의 주파수 계산 평균인 freqA, freqB의 값이 달라지므로 명확한 주파수 평균

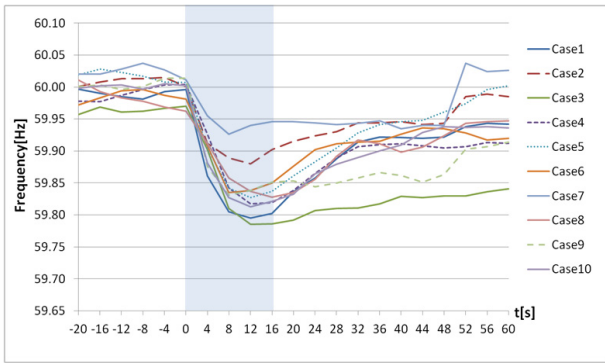


그림 2 주파수 외란 판단 기준을 만족하는 10 case
 Fig. 2 10 cases that meet the standard of judgement of frequency disturbance

계산 구간 설정기준이 필요하다.

$$FR = -\frac{MW_{loss}}{\Delta frequency [mHz]} = -\frac{\Delta P}{freqA - freqB} [MW/0.1Hz] \quad (3)$$

NERC에서는 주파수 측정치의 샘플링 주기에 따라 주파수 평균 계산 구간이 지침서에 명시되어 있으며, 이를 적용해 주파수 응답을 산정한다[9]. 다음 표 2는 국내 전력계통 주파수 응답 산정을 위한 주파수 계산구간 설정을 위해 선정한 주파수 외란 10개의 case들의 주파수 응답 계산결과이다.

표 2 freqA, freqB 구간에 따른 주파수 응답 계산결과

Table 2 The results of frequency response according to the section of calculations of freqA, freqB
 단위: [MW/0.1Hz]

freqA \ freqB		T+3	T+6	T+7	T+8
		~ T+9	~ T+12	~ T+13	~ T+14
T-1	평균	715.79	938.65	1010.25	1187.08
	표준 편차	176.50	282.81	353.01	393.07
T-1	평균	721.87	938.65	1014.97	1188.64
	표준 편차	179.05	282.81	344.70	359.95

위의 표에서 freqA, freqB 계산을 위한 구간 설정을 위해 국내 전력계통 SCADA 주파수 측정 운영 기준으로 구간을 달리하여 주파수 응답의 평균값과 표준편차를 계산하였다. freqA 계산에서는 구간별 평균값과 표준편차의 차이가 크게 없음을 알 수 있는데, 이는 freqA가 외란 발생 이전에 대한 주파수 평균 값이므로 대부분 정상상태 주파수인 60Hz와 근사한 값으로 NERC의 4초주기 샘플링 기준과 동일하게 설정하여도 무방한 것으로 사료되어 T-1~T+3 구간으로 설정하였다. freqB 계산에서는 1차 주파수제어가 적용되는 구간이므로 좀 더 정밀한 구간 설정이 필요

하다. freqB 계산 구간 설정을 위해, 구간별 주파수 응답의 일관성과 주파수 응답간의 대표성을 비교하였다.

그 결과, 주파수 응답의 표준편차가 작아 일관성이 있고 구간별 평균 주파수 응답간의 편차가 작아 대표성을 지니는 T+6~T+12 구간으로 설정하였다. T+3~T+9 구간은 표준편차가 제일 작아 일관성이 커 보이지만 구간별 주파수 응답의 평균을 비교하였을 때 대표성을 보이지 않아 선정하지 않았다.

3.3 전력계통 주파수 응답 산정

전력계통 주파수 응답 산정을 위해 선정한 10개의 계통외란 case에 앞에서 설정한 주파수 계산 구간을 적용하여 계산 하였다. 주파수 응답의 평균은 약 938MW/0.1Hz, 중간값은 860MW/0.1Hz였으며 각 case별 주파수 응답을 연간 침투수요의 1%와 비교한 결과 대부분의 주파수 응답은 연간 침투수요의 1% 보다 크게 나타났지만 그렇지 못한 경우도 있음을 알 수 있었다.

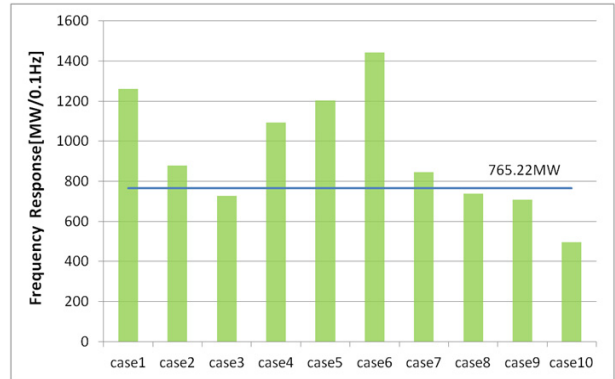


그림 3 case별 주파수 응답 결과

Fig. 3 The result of frequency response according to each case

그림에서 각 Case들의 주파수 응답 계산 후 주파수 바이어스 설정치 산정을 위해 그림 4와 같이 실제 주파수 응답과 주파수 응답의 평균값, 중간값과 연간 침투수요 1%를 비교해 보았다. 이때, 주황색점이 각 case별 주파수 응답이며 각각의 선들은 주파수 응답들의 평균값, 중간값, 연간 침투수요의 1%를 나타낸다.

그림에서 각 case별 실제 주파수 응답들이 연간 침투수요의 1%보다 주파수 응답들의 평균값이나 중간값에 더 가까이 분포되어 있음을 알 수 있었으며 이를 통해, 주파수 응답의 중간값이 연간 침투수요의 1%보다 실제 주파수 응답들의 대표성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 이를 통해, 침투수요의 1%로 주파수 바이어스 값을 설정하였을 경우에는 주파수제어가 비효율적일 수 있음을 알 수 있다.

3.4 전력계통 AGC 주파수 바이어스 설정치 산정

본 논문에서는 주파수 회복을 안정적이고 효율적으로 하기 위한 AGC 주파수 바이어스를 설정하는 방안으로 전력계통 주파수

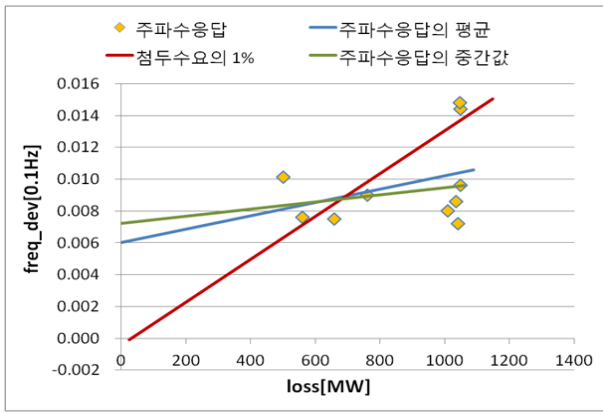


그림 4 실제 주파수응답과 주파수응답의 평균값, 중간값, 연간 첨두수요 1%를 기반한 주파수응답의 비교

Fig. 4 The comparison of actual frequency response, average and median of frequency response, frequency response based on 1% of yearly peak demand

응답 성능을 기반하였으며 주파수 바이어스 설정치 산정의 과정을 요약하면 다음 그림과 같다.

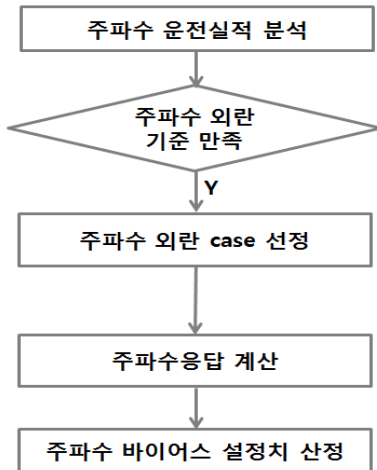


그림 5 국내 전력계통 주파수 바이어스 설정 절차
Fig. 5 The procedure for setting of the Frequency Bias of power system in Korea

먼저, 국내 전력계통의 주파수 운전실적을 분석하여 주파수 외란 기준을 만족하는 외란 case들을 선정하고 외란 전, 후의 주파수 평균 계산 구간을 달리하여 주파수응답 분석기준을 설정한다. 이를 기반으로 주파수응답과 주파수응답들의 평균값, 중간값과 국내 첨두수요의 1% 값을 비교분석하고 이를 토대로 AGC 주파수 바이어스 설정치를 산정한다.

4. 사례 연구

본 논문의 사례연구에서는 발전기의 조속기, AGC 주파수제어, 전력계통 동특성을 기반으로 국내 전력계통의 주파수 특성을 모델링한 후 다양한 방법으로 설정된 AGC 주파수 바이어스에 따른 과도 상태 주파수제어 결과를 비교함으로써 전력계통의 주파수응답 실적을 기준으로 산정한 AGC 주파수 바이어스 설정치의 적정성을 확인하였다.

4.1 국내 전력계통의 주파수응답 특성 모델링

전력계통의 주파수응답 특성은 전력계통의 주파수 변동에 따른 발전기의 조속기응답과 AGC 주파수제어에 의한 발전기 출력제어를 계산하고 이를 전력계통의 동특성에 적용하여 계통 주파수를 다시 계산함으로써 모델링 될 수 있다[10]. 다음 그림은 본 절에서 주파수응답특성 모의를 위해 구현한 제어블록선도이다.

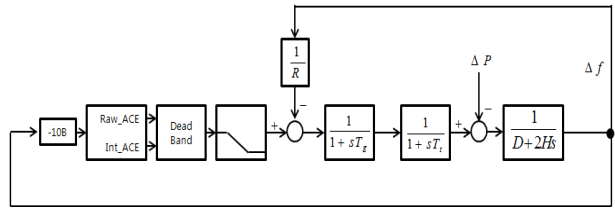


그림 6 전력계통의 주파수응답특성 모의를 위한 블록선도
Fig. 6 Block diagram frequency response characteristic in Power System

이때, AGC 주파수제어는 국내 전력계통이 독립계통임에 따라 $10B \times \Delta f$ 와 같이 계산된 ACE값과 이에 대한 적분치가 각각 불감대(Dead Band)를 거친 후 저대역 필터(LPF: Low Pass Filter)를 통과하여 AGC 신호로 발전기에 전달되는 것으로 가정하였다[11].

본 절에서는 구현된 전력계통 주파수응답 모델이 국내 전력계통의 주파수응답과 유사한 응답을 갖도록 계통 동특성과 조속기 응답 특성, AGC 등을 조정하였다. 그림 7은 구현된 모델의 주파수응답을 동일한 수준의 발전기 탈락시의 실제 국내 전력계통의 주파수응답과 비교한 것으로 사고발생 직후 주파수 변동률, 최소 과도주파수 및 도달시간 그리고 주파수 회복수준이 유사함을 알 수 있다.

또한 다음 그림 8과 같이 조속기의 droop 설정이 5%, 4%, 3%로 작아짐에 따라 외란에 대한 주파수제어의 민감도가 커지고 주파수응답의 상승시간이 빨라짐을 확인하여 구현된 모델의 유효성을 검증하였다.

4.2 AGC 주파수 바이어스 설정치 검증

본 절에서는 앞절에서 구현된 전력계통 동적모델을 기준으로 다양한 AGC 주파수 바이어스 설정치를 적용하여 발전기 탈락시에 대한 AGC 주파수제어응답을 비교하였다. 이때, 주파수 바이어스

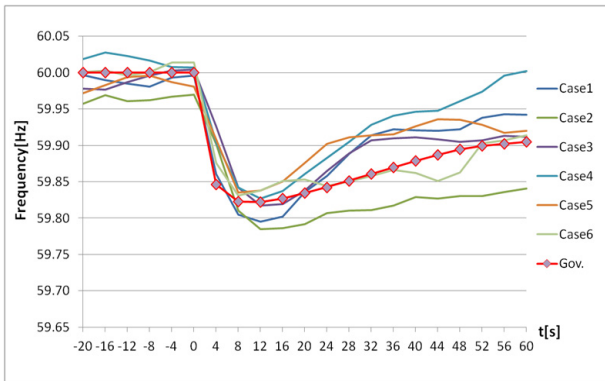


그림 7 외란 시 실제 국내 전력계통의 주파수와 구현된 모델의 주파수 비교

그림 7 Comparison between real power system in Korean and molded frequency when occur the disturbance

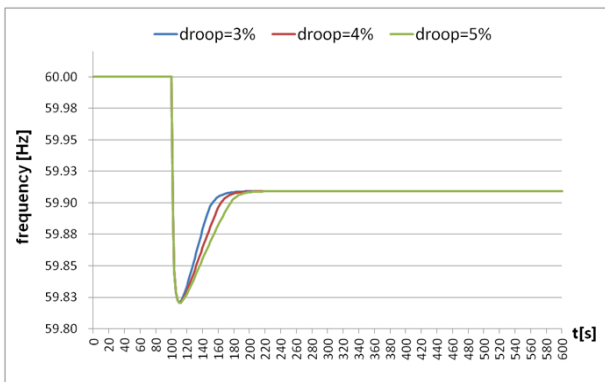


그림 8 조속기의 droop 설정에 따른 주파수응답

Fig. 8 Frequency Response according to setting of Governor droop

스 값으로는 국내 전력계통 침두수요 기준의 설정치인 787MW/0.1Hz, 본 논문에서 국내 주파수응답실적을 기반으로 산정한 값인 860MW/0.1Hz 그리고 이를 기준으로 크거나 작은 1200MW/0.1Hz와 600MW/0.1Hz를 각각 적용하였다. 다음 그림 9는 이러한 비교결과를 나타낸다.

그림 9를 통해 주파수 바이어스가 주파수응답보다 작은값인 600MW/0.1Hz로 설정되었을 때는 발전기 탈락으로 인해 하락한 전력계통 주파수가 기준 주파수까지 회복을 하지 못하였으며, 주파수 바이어스가 주파수응답보다 큰값인 1200MW/0.1Hz로 설정되었을 때는 오버슈트가 발생하는 응답이 나타남을 알 수 있다. 반면, 주파수 바이어스가 주파수응답능의 중간값인 860MW/0.1Hz로 설정되었을 때는 이러한 과제어나 부족제어가 발생하지 않고 적절한 AGC 주파수제어가 이루어짐을 알 수 있다. 이때, 국내 전력계통 침두수요 기준의 설정치인 787MW/0.1Hz를 적용하였을 경우에는 AGC 주파수제어가 충분히 나타나지 않을 수 있음을 알 수 있다.

이러한 AGC 주파수 바이어스 설정치에 따른 AGC 주파수제어

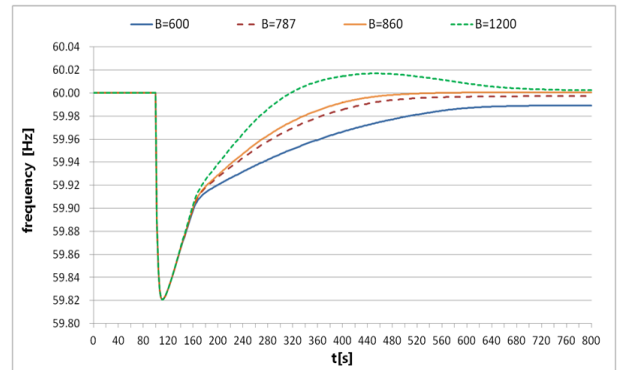


그림 9 주파수 바이어스 설정치에 따른 AGC 주파수제어응답

Fig. 9 AGC Frequency Response according to Frequency Bias

응답을 제어성능을 나타내는 백분율 오버슈트(overshoot)와 출력이 최종값의 0.005%안에 들어가는 데 걸리는 시간을 나타내는 정정시간(settling time)을 적용하여 비교하였다. 다음 표 3은 이러한 비교결과를 정리한 것이다.

표 3 주파수 바이어스 설정치에 따른 오버슈트와 정정시간

Table 3 Overshoot and settling time according to the Frequency Bias

Frequency Bias [MW/0.1Hz]	Overshoot [%]	Settling time [s]
600	0	658
787	0	566
860	0	522
1200	100.23	702

오버슈트는 주파수 바이어스 값을 주파수응답보다 큰 값인 1200MW/0.1Hz로 설정한 경우에만 발생되었으며 정정시간은 짧을수록 제어성능이 좋다고 볼 수 있는데 주파수 바이어스가 860MW/0.1Hz로 설정된 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다 [12]. 이를 통해, 주파수응답보다 주파수 바이어스를 작거나 큰 값으로 설정할 경우 AGC 주파수 제어가 계통의 요구수준을 정확히 반영하지 못해 오버슈트가 생기고 정정시간에 도달하는 시간이 길어져 주파수 제어가 비효율적일 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 국내 전력계통의 주파수 운전 응답 실적으로부터 주파수응답 값을 도출하고 이를 주파수 바이어스 설정치로 적용하는 방안을 제안하고 그 유효성을 모의해석을 통해 검증하였다. AGC를 통한 주파수제어가 전력계통에 외란이 발생 한 직후 발전기의 조속기에 의한 주파수응답 후에 주파수를 기준 주파수인 60Hz로 회복시키는 역할을 함에 따라 AGC 주파수제어의 제어

인 값인 바이어스 설정치를 전력계통의 실제 주파수응답 값으로 설정함으로써 주파수 회복에 필요한 유효전력을 AGC 주파수 제어로 보상 하게 된다. 이를 위해 본 논문에서는 발전기의 조속기, AGC 주파수제어, 전력계통 동특성을 기반으로 국내 전력계통의 주파수 응답특성을 모델링한 후 다양한 방법으로 설정된 AGC 주파수 바이어스 값들과 제안한 방법으로 산정된 AGC 주파수 바이어스 값을 적용하여 과도상태의 주파수제어 결과를 비교함으로써 제안된 AGC 주파수 바이어스 설정치의 적정성을 확인하였다. 향후, 국내 전력계통 운전실적을 기반으로 한 주파수응답 특성의 꾸준한 분석과 이를 통한 AGC 주파수 바이어스 값의 정기적인 검토를 진행할 예정이다.

References

- [1] Héctor Chávez, Ross Baldick, Julija Matevosyan, "CPS1 Compliance-Constrained AGC Gain Determination for a Single-Balancing Authority", IEEE transactions on power systems, Vol. 29, no. 3, pp. 1481, May 2014
- [2] Minh-Luan D. Ngo & Roger L. King, Rogelio Luck, "Implication of Frequency Bias Settings on AGC", IEEE, 1995
- [3] "NERC Standard BAL 003-1-0.1b", NERC, 2011.
- [4] MISO, "RTO-OP-045 Frequency Bias Calculation and AGC", April 2014.
- [5] M. G. Lauby (Fellow IEEE), J. J. Bian (SM IEEE), S. Ekisheva (M IEEE), M. Varghese (SM IEEE), "Eastern Interconnection Frequency Response Trends", IEEE Power and Energy Society General Meeting(PES), 2013.
- [6] "Frequency_Event_Dection_Methodology", October 2012.
- [7] "ERCOT NODAL PROTOCOLS", March 1, 2014.
- [8] BERKELEY LAB, "Review of the Recent Frequency Performance of the Eastern, Western and ERCOT", pp.25, December 2010
- [9] "Frequency Response Standard Background Document", NERC, November, 2012
- [10] Hassan Bevrani, "Robust Power System Frequency Control", Springer, pp.15-20, March 2009.
- [11] "A Study on Optimal Perform Method of AGC and Criteria Establishment for Control Variables", Korea Power Exchange & Chonbuk National University, 2014. 12.
- [12] Sung Joong Kim, "Control Engineering", Hanbit media, pp.192-194, 2012.

저 자 소 개



강 보 람(Bo-Ram Kang)

1990년 6월 14일생. 2013년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2013년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정(전력계통) 재학 중
Tel : 070-4411-2368
E-mail : kbr903@jbnu.ac.kr



권 한 나(Han-Na Kwon)

1987년 1월 5일생. 2010년 순천대학교 전기 제어공학과 졸업. 2014년 전북대학교 전기공학과 석사(전력계통). 2014년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 재학 중
Tel : 070-4411-2368
E-mail : canna08@jbnu.ac.kr



국 경 수(Kyung-Soo Kook)

1973년 6월 30일생. 1996년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 석사(전력계통). 1998~2004년 한국전기연구원(KERI) 선임연구원, 2007년 Virginia Tech. 전기공학 박사(전력계통), 2007~2010년 미국 전력연구원(EPRI) 선임연구원, 2010년~현재 전북대학교 전기공학과 부교수
Tel : 063-270-2368
E-mail : kskook@jbnu.ac.kr