

전력계통 주파수응답 기여도 기반의 전기저장장치 주파수추종서비스 유효용량 산정

Effective Capacity Calculation of the Electrical Energy Storage providing the Primary Frequency Control Service based on the Contribution to the Frequency Response of Power Systems

임 현 옥* · 최 우 영* · 권 한 나* · 국 경 수†
(Hyeon Ok Lim · Woo Yeong Choi · Han Na Gwon · Kyung Soo Kook)

Abstract - This paper calculates the effective capacity of EES providing the primary frequency control service based on its contribution to the frequency response of the power system. The amount of governor response from conventional generators which can be replaced by the primary frequency control from EES keeping the frequency response of the power system is defined as the effective capacity. The proposed method for calculating the effective capacity of EES is verified through case studies employing Korean power system. Furthermore, the application of the effective capacity of EES to power system operation is also discussed.

Key Words : Electrical Energy Storage(EES), Primary frequency control service, Frequency response, Effective capacity

1. 서 론

최근 신재생발전원이 급격히 확충되어 전력계통의 유연성 제고에 대한 필요성이 높아지고, 휴대용 전기제품 시장의 급격한 성장과 기술의 발달로 배터리의 경제성이 개선됨에 따라 전력계통의 운영에도 전기저장장치를 적극적으로 적용하고자 하는 노력들이 활발히 이루어지고 있다[1][2]. 특히 전기저장장치는 기존의 화력 발전기에 비해 응답속도가 매우 빠르고, 충·방전을 통한 제어범위가 넓어 전력계통의 주파수운영에비력을 제공하는 자원으로 활용되는 것이 매우 효과적인 것으로 알려지고 있다.

한편, 국내 전력시장에서 주파수조정예비력은 조속기 응답에 따른 주파수 유지 예비력과 자동발전제어를 통한 주파수 복구 예비력으로 구분되어 운영되고 있는데 2015년 5월에 개정된 전력시장운영규칙에 따르면 전력거래소는 예비력 수준을 고려할 때 송전사업자의 전기저장장치에 의한 주파수 조정용량을 우선 반영하여 운영발전계획을 수립하도록 규정하고 있으며[3], 한국전력공사는 이러한 주파수추종서비스를 제공하고 있는 전기저장장치의 용량을 확충해 갈 계획이다[4].

반면, 전기저장장치는 속응성의 장점과 에너지 용량 제약이라는 단점이 모두 있는 새로운 자원이고 그 제어전략에 따라 응답

특성이 상당히 달라질 수 있기 때문에 해당 자원의 성능을 반영한 계통 기여효과를 기준으로 전기저장장치가 제공하는 주파수추종서비스를 계통운영에 반영해야 효율적인 주파수운영에비력의 운영이 달성될 수 있을 뿐만 아니라 전기저장장치에 대한 합리적인 보상도 이루어질 수 있을 것이다.

이를 위해 본 논문에서는 현재 한전이 전기저장장치로 제공하고 있는 주파수추종서비스를 정확히 모델링하여 국내 전력계통의 주파수응답 성능에 대한 기여도를 평가하고, 이를 동일한 서비스를 제공하는 화력 발전기의 조속기 응답용량의 대체효과로 정량화함으로써 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량을 산정하는 방법을 제안하였다. 또한, 국내 전력계통의 다양한 운전조건을 고려한 사례연구를 통해 제안된 방법의 유효성을 확인하고 유효용량의 특성을 분석하였으며, 전기저장장치의 에너지용량 제약으로 인해 발생할 수 있는 출력 지속시간 조건을 계통운영에서 고려하기 위한 방안도 검토하였다.

2. 전기저장장치를 이용한 주파수추종서비스

본 장에서는 국내 전력계통에서 전기저장장치를 이용하여 주파수추종서비스를 제공하기 위한 고려사항과 국내 전기저장장치의 운영현황 및 제어전략에 대해 검토하였다.

2.1 국내 전력계통의 주파수추종서비스

국내 전력계통에서는 계통 주파수를 운영범위 이내로 유지하

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Chonbuk National University, Korea
E-mail : kskook@jbnu.ac.kr

* Smart Grid Research Center, Dept. of Electrical Engineering, Chonbuk National University, Korea

Received : August 20, 2017; Accepted : October 10, 2017

기 위해 주파수조절에비력을 확보하여 운영하고 있으며, 이중 주파수추종서비스는 발전기의 조속기 응답 및 전기저장장치의 주파수응답에 의한 주파수 유지 예비력으로서, 계통 주파수가 ±0.2Hz 변동 시 응답가능용량을 기준으로 산정하며, 상정고장 후 10초 내에 발전력이 응답하여 30초 이상 출력을 유지할 수 있어야 한다. 이러한 주파수추종서비스는 대용량 발전기 탈락과 같은 계통 고장 발생 시 자동발전제어의 관여 없이 가장 빠르게 응동하여 전력계통의 주파수가 하락하는 것을 막고 일정 수준 이상으로 유지되도록 한다. 따라서 전력계통에서 확보해야 하는 주파수추종서비스의 요구량은 전력계통 운영에서 최대단위 발전기 탈락을 기준으로 유지하고자 하는 주파수 수준에 따라 결정하는 것으로 알려져 있다[5]. 더욱이 국내 전력시장에서는 최근 전력시장 운영규칙의 개정에 따라 주파수추종서비스의 요구량 확보에서 전기저장장치와 석탄화력 이외의 발전기를 우선 반영하도록 규정하고 있어 주파수추종서비스의 요구량에 대한 전기저장장치의 반영 방법에 따라 기존 발전기들의 주파수추종서비스 참여용량이 달라질 수 있을 것이다.

2.2 주파수추종서비스 제공을 위한 전기저장장치 운영현황 및 제어전략

국내에서는 속응성이 우수한 전기저장장치를 주파수추종서비스의 제공에 적극적으로 적용하기 위해 한전의 전기저장장치 보급계획에 따라 F/R용 전기저장장치를 확충하고 있으며, 현재 236MW 규모의 전기저장장치가 상용운전 중에 있다[6] [7]. 다음 표 1은 전국에서 상용운전 중인 236MW 전기저장장치의 설치위치별 용량을 나타낸 것이다.

표 1 전기저장장치 설치위치별 운영현황

Table 1 The installed Capacities of EES at each location

Location	Capacity [MW]	Crate [MW/MWh]
West-Ansung S/S	28	4
Sin-Youngin S/S	24	2
Sin-Chungju S/S	16	4
Sin-Gyeryoung S/S	24	4
Sin-Kimje S/S	24	4
Sin-Hwasoon S/S	24	4
Uryeong S/S	24	4
Ulju S/S	24	4
Kyungsan S/S	48	4
Total	236	-

상용운전 중인 전기저장장치의 제어전략은 전력계통의 주파수 변동에 따라 정상상태와 과도상태로 구분하여 적용되고 있다[8]. 과도상태 제어전략의 경우, 외란 발생 시 전기저장장치의 용량을 최대한 활용하도록 주파수 제어를 수행하고 있으며,[9] 정상상태의 경우 주파수 변동대 이내에서는 전기저장장치의 충전상태를

유지하기 위한 제어를 수행하며, 주파수 변동대 이외의 범위에서는 기존 화력 발전기와 유사한 수준으로 주파수제어를 수행한다 [10]. 다음 그림 1은 이와 같은 제어전략을 적용하여 국내 전력계통의 발전기 탈락 시 측정된 주파수를 기준으로 전기저장장치의 응동을 모의한 것이다.

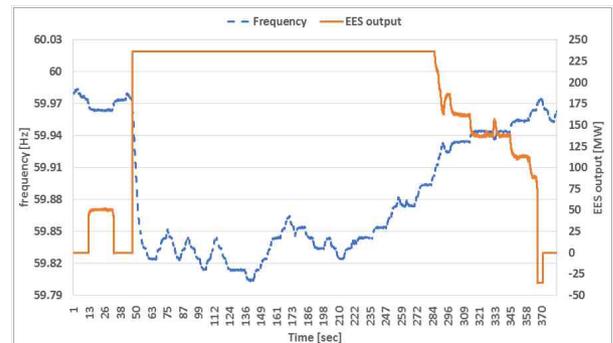


그림 1 제어전략을 반영한 전기저장장치의 주파수 변동에 따른 응동 결과

Fig. 1 The Frequency response of EES based on control strategies

그림 1과 같이 발전기 탈락에 의한 주파수 하락 시 전기저장장치는 과도상태 제어모드로 정격수준의 전력을 공급하며, 주파수가 회복됨에 따라 정상상태 제어모드로 복귀된다. 이때 전기저장장치는 주파수가 회복되기까지 지속적으로 방전을 수행해야 함에 따라 전기저장장치가 공급하는 주파수추종서비스는 에너지 용량 제약을 고려하기 위한 SOC(충전상태) 유지조건이 필요할 것이다.

3. 전기저장장치 유효용량 산정

본 장에서는 주파수응답 기여도를 기반으로 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량을 산정하기 위한 방법론을 제안하였다. 먼저, 전력계통의 주파수응답 성능을 평가하기 위한 기준을 분석하고, 최소 과도주파수를 기준으로 전기저장장치의 전력계통 주파수응답 기여도를 평가하며, 이를 통해 전기저장장치의 주파수추종서비스 유효용량을 산정한다.

3.1 전력계통의 주파수응답

전력계통에서 주파수응답은 발전기 탈락과 같은 외란 발생 시 계통에 연계되어 있는 주파수제어 장치들의 응동을 통해 제어된 주파수 변동으로서, 계통에 발생한 외란의 크기와 주파수 편차와의 비율로 나타낸다[11]. 이러한 전력계통의 주파수응답 성능은 일반적으로 ROCOF(Rate of change of frequency)와 최소 과도주파수를 통해 평가할 수 있으며, 해외 전력계통의 경우 이 두 가지에 대한 성능기준이 제시되어 적용되고 있는 반면, 국내의

경우 최소 과도주파수를 기준으로 한 주파수응답 성능을 유지하기 위해 주파수조정예비력을 확보하며 특히 과도상태에서 전력계통의 주파수를 유지하기 위한 주파수추종서비스에 대한 적정용량 또한 국내에서는 계통 외란 발생 시 최소 과도주파수를 기준으로 산정하고 있다[5].

3.2 전기저장장치의 전력계통 주파수응답 기여도 평가

전기저장장치는 속응성으로 인해 정상상태뿐만 아니라 계통 외란 발생 시 주파수제어에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 자동발전제어의 관여 없이 이루어지는 주파수추종서비스의 경우 최소 과도주파수를 기준으로 제어성과 확보용량이 결정됨에 따라 이를 기준으로 전기저장장치가 제공하는 주파수추종서비스의 주파수응답 기여도를 정량화할 수 있을 것이다. 다음 그림 2는 계통 외란 발생 시 최소 과도주파수에 대한 전기저장장치의 제어효과를 나타낸 모의해석 결과이다.

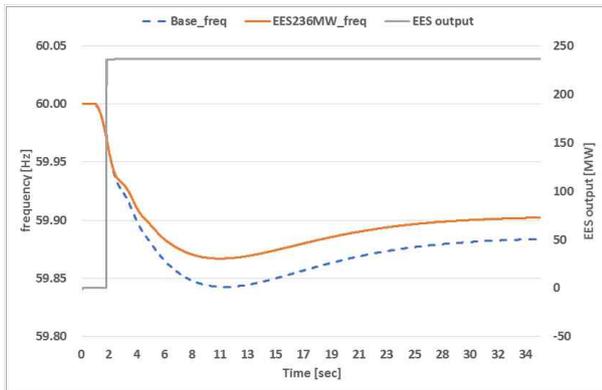


그림 2 전기저장장치의 전력계통 주파수응답 개선효과
 Fig. 2 Frequency response improved by EES in power systems

위 그림에서 동일한 계통 외란 발생 시 전기저장장치의 빠른 응답을 통해 최소 과도주파수가 상승되어 전력계통의 주파수응답 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다.

3.3 전기저장장치의 주파수추종서비스 유효용량 산정

전력계통 운영에서 주파수추종서비스의 요구량 확보에 전기저장장치를 우선하여 정확히 반영하기 위해서는 전력계통의 주파수응답 성능에 대한 기여도를 기준으로 전기저장장치의 용량을 환산하여 고려해야 하며 본 논문에서는 이를 유효용량으로 정의하였다. 또한 이를 정량화하기 위해 주파수응답 성능의 지표로 사용되고 있는 최소 과도주파수를 기준으로 전기저장장치에 의한 기존 발전기의 조속기응답 대체 가능 용량으로써 유효용량을 산정하였다. 다음 그림 3은 본 논문에서 제안된 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량 산정 절차이다.

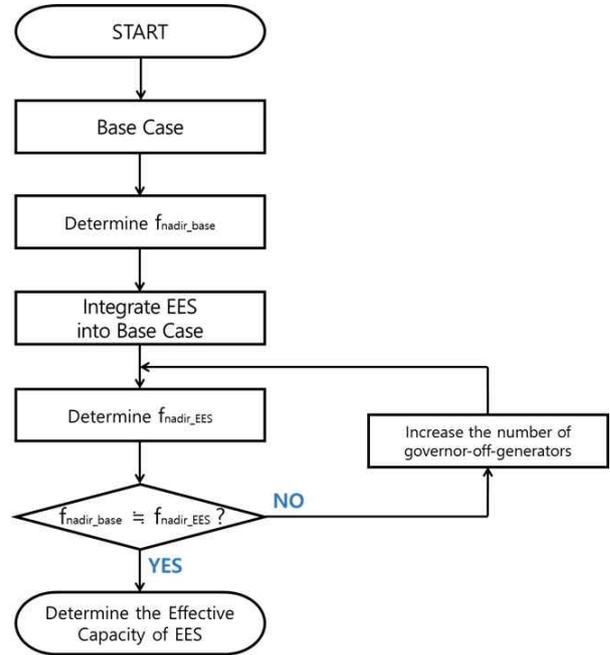


그림 3 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량 산정 순서도
 Fig. 3 The flowchart of effective capacity calculation of EES providing the primary frequency control service

그림 3에서와 같이 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량을 산정하기 위해 먼저, 기존 발전기로 구성된 계통에 최대 단위 발전기의 탈락을 모의하여 최소 과도주파수($f_{nadir,base}$)를 산정한다. 이때 기존 계통에 주어진 용량의 전기저장장치를 연계하고 동일한 모의해석을 통한 성능평가를 실시하여 최소 과도주파수($f_{nadir,EES}$)를 산정한 후 이러한 최소 과도주파수가 기존 계통의 최소 과도주파수($f_{nadir,base}$)와 동일해 질 때까지 기존 계통에 연계된 발전기의 조속기를 off 하며 최소 과도주파수($f_{nadir,EES}$)가 기존 계통의 최소 과도주파수($f_{nadir,base}$)와 동일해 졌을 때 기존 계통에서 경감된 발전기의 조속기 응답용량을 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량으로 산정한다.

4. 사례연구

본 장에서는 본 논문에서 제안된 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량 산정방법을 국내 전력계통에 적용하여 유효성을 검증하고 특성을 분석하였다. 국내 전력계통은 피크부하 수준의 43GW를 가정하였고, 전기저장장치는 한전에서 상용운전 중인 236MW를 모델링하여 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체효과를 분석하고 유효용량 지수를 산정하였으며, 다양한 계통 운전 조건에서 전기저장장치에 유효용량 지수를 적용하여 주파수추종서비스를 대체하고 전력계통의 주파수응답 특성이 유지됨을 확인하였다. 또한, 전기저장장치의 주파수추종서비스 참여비율에 따른

유효용량 지수의 변동 특성과 출력 지속시간의 고려방안을 검토하였다.

4.1 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체효과

본 절에서는 국내 전력계통을 대상으로 전기저장장치의 주파수추종서비스에 의한 발전기 조속기 응답의 대체효과를 분석하였다. 이를 위해, 국내 전력계통 모델에 현재 상용화된 중인 전기저장장치 236MW를 추가한 후, 기존 발전기의 조속기 응답용량을 다양하게 변경해가면서 동일한 규모의 발전기 상정고장에 대한 전력계통의 주파수응답을 비교하였다. 그림 4는 전기저장장치에 대한 발전기의 주파수추종서비스 대체조건별로 계통 주파수응답 특성을 비교한 것이다. 이때 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체조건은 조속기를 off한 발전기들의 조속기 응답용량의 합으로 표시하였다.

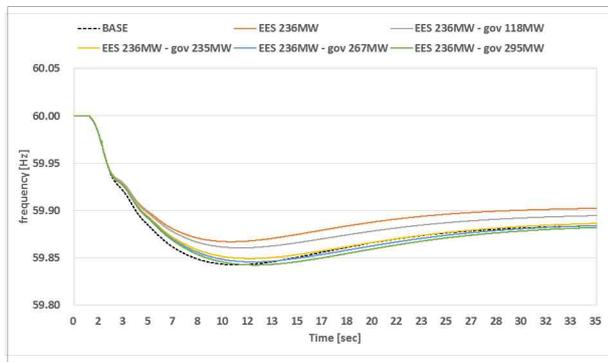


그림 4 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체조건별 주파수응답
Fig. 4 The result of the Frequency response by substitution condition of EES

위 그림 4에서 기존 발전기의 조속기 응답에 대한 대체 없이 전기저장장치가 추가된 경우(EES 236MW), 최소 과도주파수가 59.87Hz까지 상승하였고, 조속기를 off한 발전기의 대수를 늘려 계통의 조속기 응답용량을 줄임에 따라 최소 과도주파수가 하락하였다. 특히, 전기저장장치의 설비용량과 동일하게 조속기 응답용량을 줄인 경우 (ESS 236MW - gov 235MW)에서 최소 과도주파수가 BASE 보다 더 높게 결정된 것을 확인할 수 있는데, 이는 전기저장장치가 발전기의 조속기에 비해 주파수추종서비스에 대한 기여 효과가 더 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 전기저장장치의 주파수추종서비스 유효용량 산정

본 절에서는 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량을 발전기의 조속기 응답 대체효과로 평가하여 이를 유효용량 지수로 정량화하였다. 이를 위해 본 논문에서는 전력계통의 다양한 운전 조건을 고려하기 위해 동일한 전기저장장치 용량을 대상으로 다양한 부하수준에서 유효용량 지수를 산정하였으며 그 결과를 요약하면 다음 표 2와 같다.

표 2 전기저장장치 주파수추종서비스의 부하수준별 유효용량 지수 산정

Table 2 Calculation of Effective Factor of EES providing primary frequency control service by load level

Load level	EES capacity [MW] (A)	frequency response amount of the governor-off-generator [MW] (B)	Effective Factor (B/A)
off-peak load	236	412	1.75
mid-load1	236	421	1.78
mid-load2	236	450	1.91
mid-load3	236	463	1.96
peak load	236	612	2.59

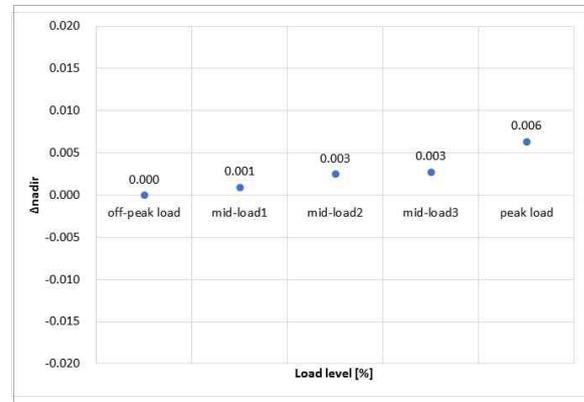


그림 5 유효용량 지수를 이용한 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체결과

Fig. 5 The result of substitution for primary frequency control service of EES using Effective Factor

표 2에서와 같이 부하수준을 경부하와 첨두부하를 포함한 5가지로 가정하여 236MW의 전기저장장치에 대한 유효용량 지수를 산정한 결과, 부하수준이 증가할수록 유효용량 지수가 높게 산정되었다. 이때 중간부하 1, 2, 3은 각각 첨두부하의 70%, 75%, 90%를 가정하였다. 따라서 부하수준이 다양하게 변동되는 전력계통의 운영에서는 경부하 시의 유효용량 지수를 기준으로 발전기의 조속기 응답을 전기저장장치의 주파수추종서비스로 대체함으로써 전력계통의 주파수응답 성능을 유지할 수 있을 것이다. 다음 그림 5는 다양한 부하수준에서 경부하 시의 유효용량 지수를 기준으로 발전기의 조속기 응답을 전기저장장치의 주파수추종서비스로 대체한 후, 다음 식 (1)과 같이 최소 과도주파수의 비교를 통해 주파수응답 성능의 변동을 확인한 것이다.

$$\Delta n_{adir} = f_{nadir,load(k)} - f_{nadir,bas e(k)} \quad (1)$$

그림 5에서와 같이 모든 부하수준에서 Δnadir가 0보다 크게 나타났으며, 이를 통해 전기저장장치의 주파수추종서비스가 발전

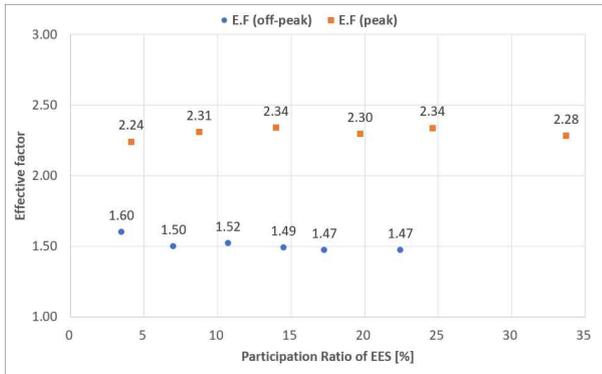


그림 6 전기저장장치의 주파수추종서비스 참여비율에 따른 유효 용량 지수

Fig. 6 The Effective Factor of EES depending on the participation ratio in the primary frequency control service

기의 조속기 응답을 대체한 후에도 전력계통의 주파수응답 성능이 저하되지 않음을 알 수 있다.

또한, 본 절에서는 주파수추종서비스에 참여하는 전기저장장치의 비율이 유효용량 지수에 미치는 영향을 검토하였다. 다음 그림 6은 주파수추종서비스에 참여하는 전기저장장치의 용량을 증가시키면서 유효용량 지수를 산정한 결과를 나타낸 것이다[12].

그림 6을 살펴보면 전기저장장치의 주파수추종서비스 참여비율이 약 5%에서 최대 34%까지 증가하여도 유효용량 지수는 유사한 수준으로 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 다만, 본 절에서 검토한 전기저장장치의 주파수추종서비스 대체 가능용량은 과도상태의 최소 과도주파수를 기준으로 산정되었으며, 전기저장장치의 출력 지속시간에 대한 제약조건은 다음 절에서 다룬다.

4.3 전기저장장치의 출력 지속시간 고려방안

본 절에서는 에너지 용량 제약을 갖는 전기저장장치의 주파수 추종서비스에 대해 출력 지속시간 요구조건을 검토하였다. 현재 국내 전력시장에서 주파수추종서비스는 10초 이내에 응답하여 30초 이상 출력을 지속하는 것이 요구되고 있으나 전기저장장치의 경우, 에너지 용량의 제약으로 인해 주파수응답 시 그 출력 지속시간의 제한여부를 확인할 필요가 있다. 다만, 전력계통의 주파수 운영에서 주파수추종서비스는 상정고장 직후 빠르게 행동하여 주파수를 유지하고 자동발전제어시스템의 주파수 복구 예비력에 의해 주파수가 정상상태로 복구되도록 운영함에 따라 주파수 추종서비스의 출력 지속시간은 계통 고장 후 주파수가 회복될 때까지 소요되는 시간을 최대로 볼 수 있을 것이다.

다음 그림 7은 최근 국내 전력계통에서 발생한 상정고장 시 측정된 주파수응답 실적에서 계통 주파수가 하락 후 59.97Hz까지 회복되는데 소요되는 시간을 요약한 것이다.

이때 본 논문에서는 주파수추종서비스 제공을 위한 전기저장장치의 운영전략에서 주파수부동대가 30 mHz로 적용됨에 따라 주파수의 정상상태 회복기준을 59.97 Hz로 적용하였다.

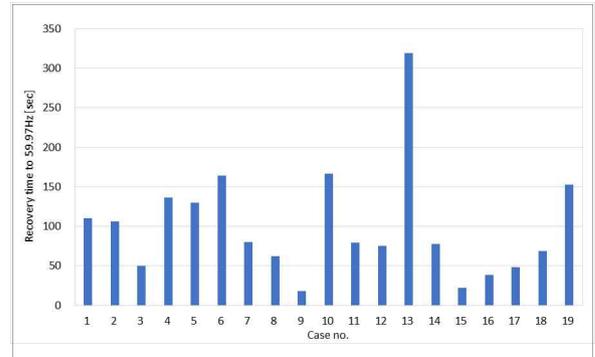


그림 7 국내 계통고장 시 주파수 회복 소요시간

Fig. 7 Frequency recovery time in the cases with the system faults

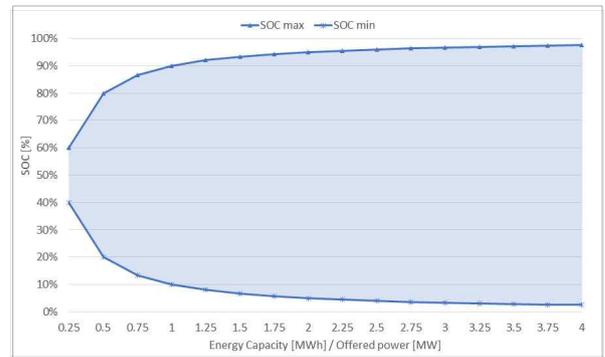


그림 8 전기저장장치 출력조건별 SOC 운영 가능범위 (6분 출력 지속 기준)

Fig. 8 Required SOC range of EES depending on the operating condition (based on the duration of 6-min)

그림 7의 총 19가지 상정고장 사례에서 상정고장 발생 후, 주파수가 59.97Hz까지 회복하는데 소요된 시간은 18초에서 5분 19초까지 다양하게 나타났으며, 평균적으로는 약 100초가 소요되었다. 이때 전기저장장치가 주파수 회복에 소요된 최대시간 이상으로 특정출력을 지속할 수 있는 에너지 용량을 확보하였을 경우, 그 특정출력으로 주파수추종서비스를 제공할 수 있다고 판단할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 전기저장장치의 출력 지속시간에 대한 요구조건을 특정출력의 6분 지속으로 제한하며, 이는 전기저장장치의 충전상태(SOC)를 기준으로 판단할 수 있을 것이다. 다음 그림 8은 전기저장장치가 설비용량을 고려하여 특정출력을 6분 이상 지속하기 위해 확보해야 하는 SOC 운영범위를 나타낸 것이다[13].

그림 8에서 SOC의 최대·최소는 전기저장장치의 설비용량에 대해 특정출력을 6분 동안 지속하기 위해 확보해야 하는 SOC 운영범위의 상·하한이며, 전기저장장치가 특정출력에서 SOC를 해당 운영범위 내로 유지한다면 이때의 전기저장장치 출력은 주파수추종서비스의 응답용량으로 고려될 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 전력계통 주파수응답 기여도 기반의 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량 산정방안을 제안하였다. 즉, 전력계통의 주파수응답 성능지표로 사용되고 있는 최소 과도주파수를 일정하게 유지하면서 전기저장장치가 대체할 수 있는 기존 발전기의 조속기 응답량을 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량으로 산정하고, 설비용량과의 비율을 유효용량 지수로 정의하였다.

또한, 국내 전력계통을 이용한 사례연구에서 전기저장장치의 유효용량 지수는 부하수준이 증가할수록 높게 산정되나, 주파수추종서비스 참여비율과는 상관관계가 적은 것으로 나타나 전력계통 운영 시 경부하 시의 유효용량 지수를 적용하여 발전기의 조속기 응답을 대체하면 전력계통의 주파수응답 성능은 일정수준 이상으로 유지될 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 전기저장장치의 출력 지속시간 요구조건을 고려하기 위해서는 주파수추종서비스를 제공하는 전기저장장치가 현재의 SOC를 해당 출력을 지속하기 위해 확보해야 하는 운영범위 이내로 유지할 경우에만 전기저장장치의 가용용량을 주파수추종서비스 응답용량으로 인정하도록 제안하였다.

향후, 전력계통의 신재생 발전 수용증대 등으로 주파수추종서비스의 효율적인 운영과 전기저장장치의 적극적인 적용이 요구됨에 따라 본 논문에서 제안된 전기저장장치 주파수추종서비스의 유효용량 산정방안을 토대로 다양한 자원을 활용한 안정적이고 효율적인 주파수 제어를 도모할 수 있을 것으로 사료되며, 실제 계통운영 적용을 통해 그 유효성을 확인할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 한국전력공사의 경영정책연구과제인 “ESS 주파수추종 서비스의 계통기여도 평가 및 최적 운영방안 연구”의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] “K-ESS 2020”, Ministry of Trade, Industry and Energy, May, 2011
 [2] “KEMRI Power Economics Review”, KEPCO Economy & Management Research Institute (KEMRI), No. 41, pp. 1-7, Oct 26, 2015
 [3] Power System Operations Guide, KPX, Dec, 2016
 [4] “KEPCO plan for Frequency Regulation using ESS”, Journal of the Electric World, Vol. 461, pp. 12-17, May, 2015

[5] “Evaluation of Supply Reserve and Operating Reserve Requirements Considering Enlargement of Power System Scale”, KPX, Dec, 2011
 [6] Ga Ram Yu, “Integrated Control Strategy of Multiple BESS for providing Primary Frequency Control”, The Transactions of the KIEE, Vol. 65, No. 7, pp. 1169-1175, Jul 2016
 [7] Woo Yeong Choi, “Operating Method of BESS for Providing AGC Frequency Control Service Considering Its Availability Maximization”, The Transactions of the KIEE, Vol. 65, No. 7, pp. 1161-1168, Jul 2016
 [8] “Development of Control Algorithm of ESS for Frequency Regulation in Power System”, KEPRI-Chonbuk National University, 2015.11.30.
 [9] Jun Bum Han, “A Study on the Criteria for Setting the Dynamic Control Mode of Battery Energy Storage System in Power Systems”, The Transactions of KIEE, Vol. 62, No. 4, pp. 444-450, Mar. 2013
 [10] Jun Yeong Yun, “SOC-based Control Strategy of Battery Energy Storage System for Power System Frequency Regulation” The Transactions of KIEE Vol. 63, No. 5, pp. 622-628, May, 2014
 [11] Frequency response initiative report, North American Electric Reliability Corporation (NERC), Oct 30, 2012
 [12] Performance Based Regulation: Year One Analysis, Regulation Performance Senior Task Force, PJM Interconnection, Oct 12, 2013
 [13] Anforderungen an die Speicherkapazität bei Batterien für die Primärregelleistung, Transmission System Operators: 50 Hertz, Amprion, Tennet, Transnet BW, Sep 29, 2015

저 자 소 개



임 현 옥 (Hyeon Ok Lim)

1991년 6월 17일생. 2015년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2015년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정
 Tel : 070-4411-2368
 E-mail : holim91@jbnu.ac.kr



최 우 영 (Woo Yeong Choi)

1993년 2월 20일생. 2014년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기공학과 석사(전력계통). 2016년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 070-4411-2368

E-mail : ventus666@jbnu.ac.kr



권 한 나 (Han Na Gwon)

1987년 1월 5일생. 2010년 순천대학교 전기 제어공학과 졸업. 2014년 전북대학교 전기공학과 석사(전력계통). 2014년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

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