

# 주파수추종서비스 제공을 위한 다수 배터리전기저장장치(BESS)의 통합제어 전략

## Integrated Control Strategy of Multiple BESS for providing Primary Frequency Control

유 가 램\* · 최 우 영\* · 국 경 수\*  
(Ga Ram Yu · Woo Yeong Choi · Kyung Soo Kook)

**Abstract** - As an Increased penetration level of renewable resources has caused concerns about primary frequency response, an increase in BESS(Battery Energy Storage System) capacity has been expected because of its fast response to the disturbances in the power system. This paper proposes the Integrated Control Strategy of multiple BESS for effectively providing the primary frequency control in the bulk power systems by coordinating the response, SOC and its recovery of BESS. The proposed strategy prevents multiple BESS from providing exceeding response and keeps the balance between SOC of multiple BESS. In addition, It would recover the SOC of BESS efficiently. The effectiveness of the proposed strategy is verified through various case studies employing Korean power system.

**Key Words** : Battery Energy Storage System(BESS), Integrated control strategy, State of Charge(SOC), Primary frequency control

### 1. 서 론

최근 온실가스 감축 및 탈 원전 등 환경 문제에 대한 우려가 증가함에 따라 신재생자원을 통한 전기에너지 생산에 대한 관심이 높아지고 있다[1]. 국제 에너지 기구에 따르면 전 세계적으로 신재생 발전을 통한 전기 생산량이 2020년에는 26%를 넘어설 것으로 예상되며, 국내에서도 제7차 전력수급 기본계획에 따라 표 1과 같이 국내 신재생에너지 비율이 발전량 및 설비용량 기준으로 약 3배까지 확대되어 2029년에는 발전설비용량의 20% 수준에 도달할 것으로 예상된다[2][3].

**표 1** 국내 신재생에너지 발전량과 설비용량 확대 계획  
**Table 1** Expansion plan of renewable energy resources in Korea

구분	규모[MW]			
	'15년	'20년	'25년	'29년
발전량 비중	23,857 (4.5%)	50,655 (7.9%)	66,622 (9.7%)	83,090 (11.7%)
설비용량 비중	7,335 (7.5%)	17,273 (12.9%)	26,098 (17.3%)	32,890 (20.1%)

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

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

Received : April 30, 2016; Accepted : June 15, 2016

이러한 신재생에너지의 수용률 증가 시, 기존 발전기와는 상이한 신재생발전원의 특성으로 인해 전력계통 전체의 주파수응답 성능이 저하되어 원활한 예비력 제공이 어려워질 수 있을 것으로 예상되므로 향후 신재생에너지원 비중 증가에 대비하여 추가적인 예비력 확보가 필요할 것으로 사료된다[4].

이에 대한 대안으로 최근 주파수조정예비력 제공을 위한 배터리 전기저장장치(BESS) 도입이 많은 관심을 받고 있다[5][6]. 이러한 BESS는 기존 발전원에 비해 응답속도가 우수하며 뛰어난 제어성을 갖춰 주파수추종서비스에 대한 적용이 가장 효과적인 것으로 분석되며 국내에서도 BESS의 주파수추종서비스 제공을 위해 창조경제 구현을 위한 전기저장장치 종합 추진계획에 따라 52MW의 BESS를 서안성 및 신용인 변전소에 28MW, 24MW씩 각각 설치하여 상업 운전 중에 있다[7].

상용운전에 적용된 주파수추종서비스 제공 알고리즘은 전력계통 주파수 변동특성이 달라지는 과도상태와 정상상태에 따라 BESS의 제어전략을 구분하여 적용하고 있다. 과도상태 제어전략의 경우, 계통 외란 발생 시 BESS의 동적용량을 최대한 활용하기 위해 계통정수를 제어이득으로 한 주파수제어를 수행하며 정상상태 제어전략의 경우에는 설정된 주파수 부동대를 기준으로 부동대를 벗어나는 주파수 변동에는 기존 화력발전기 수준의 주파수제어를 수행하되 주파수 부동대 이내에서는 BESS의 충전량 확보를 위한 제어전략을 제안하였다[8][9][10].

다수의 BESS를 전력계통에 연계할 경우, 전력계통의 과도상태에서 개별 BESS마다 각각 동적용량을 최대한 발휘하도록 제어하여 주파수 회복에 필요한 주파수추종서비스보다 많은 주파수응답이 발생할 수 있으므로 이를 고려한 통합제어 전략이 필요하며, 배터리 수명에 직접적인 영향을 주는 충전상태(SOC) 관리 및

SOC 회복시간 단축 등을 고려한 효율적인 통합제어 전략이 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 전력계통에 연계한 다수의 BESS를 효율적으로 활용하여 주파수추종서비스를 제공하기 위한 통합제어 전략을 제안하고, 이를 국내 전력계통에 적용하여 BESS의 초과응답 방지와 SOC 균형유지 및 SOC 회복시간 단축효과를 검증하였다.

## 2. 다수 배터리전기저장장치를 이용한 주파수추종서비스 고려사항

국내의 경우, 설비 계획에 따라 다수의 BESS를 전력계통에 연계할 경우, 과도상태에서 동적용량을 최대한 발휘하도록 제어하여 주파수 회복에 필요한 주파수추종서비스보다 많은 주파수응답이 발생할 수 있다. 또한 현재 상업운전 중인 BESS의 제어전략에서는 다수의 BESS를 연계할 경우 다른 BESS와의 SOC 균형유지와 여유전력을 이용한 효율적인 충·방전이 가능함에도 이를 고려하지 못하고 있어 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

본 장에서는 다수의 BESS 전력계통 연계 시 주파수추종서비스 초과응답을 방지하고 다수 BESS를 효율적으로 통합제어하기 위해 필요한 고려요소로 BESS의 평균 SOC와 회복제어량을 검토하였다.

### 2.1 배터리전기저장장치의 과도상태 초과응답

국내 설비계획에 따라 충분한 용량의 BESS를 전력계통에 연계할 경우, 과도상태 발생 시 동적용량을 최대한 발휘하게 되어 필요용량을 초과할 수 있다.

그림 1은 국내 전력계통에 다수의 BESS를 500MW 수준까지 연계한 후 1GW 발전기 고장 모의 시 나타나는 배터리전기저장장치의 초과응답을 나타낸 것으로 이를 확인하기 위해 전체 시뮬레이션 구간에서 고장 발생 직후 구간을 확대한 것이다.

그림 1과 같이 전력계통에서 발전기 고장 시, 각 BESS가 동적용량을 최대한 발휘함에 따라 필요 이상의 주파수응답이 제공되어 주파수가 60Hz 이상 회복될 수 있음을 확인하였다. 따라서

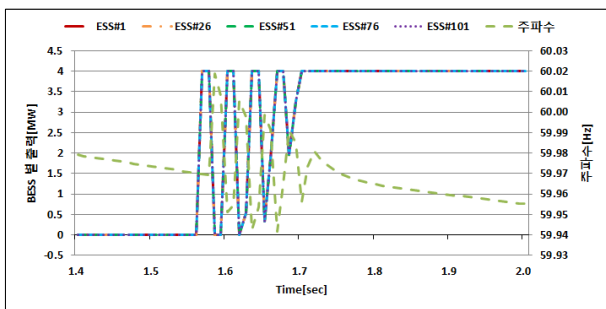


그림 1 1GW 발전기 고장 모의 시 배터리전기저장장치별 출력  
Fig. 1 Output of BESS at the simulation with the trip of 1GW generator

본 논문에서는 이러한 초과응답을 방지하기 위하여 BESS별로 참여율을 배분하여 적정수준의 주파수추종서비스를 제공할 수 있도록 제한한다.

### 2.2 배터리전기저장장치간 SOC 균형유지

BESS는 기존 발전기와는 달리 전력 제공을 위해선 충전이 되어 있어야만 하며 특히 충전상태를 나타내는 지표인 SOC는 배터리의 수명에 영향을 주기 때문에 적정수준의 SOC 관리가 필요하다[11][12].

기존의 주파수추종서비스 제공 알고리즘에서는 이를 고려하여 BESS의 정상상태 주파수제어 시 SOC를 유지범위인 50~80% 이내로 확보 중인 배터리를 통해 주파수제어를 수행한다.

하지만 다수의 BESS를 계통에 연계할 경우, 기존 제어 알고리즘에서는 각각의 BESS 내 배터리의 SOC만을 고려하기 때문에 BESS 간 SOC 불균형이 발생할 수 있다. 표 2와 그림 2는 BESS 내 배터리의 SOC 조건과 그에 따른 정상상태 주파수제어 결과를 나타낸다.

표 2에 나타난 바와 같이 기존 제어 알고리즘에서는 BESS #1과 같이 평균 SOC가 45%로 부족함에도 SOC가 유지범위 내로 확보된 배터리를 통해 정상상태 주파수제어를 수행하여 그림 2와 같이 BESS 간 SOC 불균형이 커짐을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 BESS를 통한 주파수추종서비스 제공 시 평균 SOC를

표 2 BESS별 SOC 조건에 따른 정상상태 주파수제어 참여 여부

Table 2 BESS participations at steady-state frequency control depending on SOC

구분	BESS #1				BESS #2				BESS #3			
평균 SOC	45%				45%				55%			
배터리 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
배터리 SOC	30	40	50	60	45	45	45	45	55	55	55	55
주파수제어 참여여부	X	X	O	O	X	X	X	X	O	O	O	O

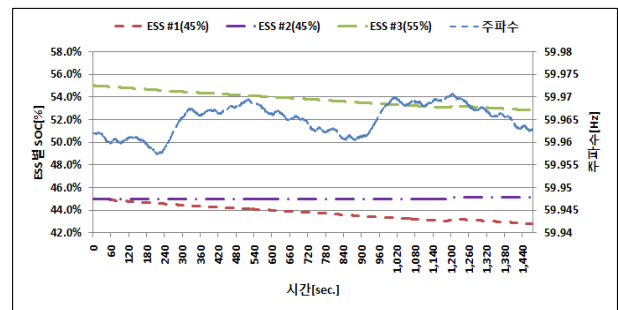


그림 2 기존 제어전략에서의 배터리전기저장장치 별 SOC  
Fig. 2 SOC of BESS controlled by an existing control strategy

고려하여 정상상태 주파수제어 여부를 결정하는 통합제어 전략을 제안하고자 한다.

### 2.3 배터리전지저장장치 간 SOC 회복제어 협조

다수의 BESS를 계통에 연계하여 SOC 회복제어를 수행할 경우, 다른 BESS의 충·방전량을 고려하지 않고 각 BESS의 SOC에 의해서 제어를 수행하므로 비효율적인 회복제어가 발생할 수 있다. 그림 3은 동일 모선에 연계된 다수의 BESS에 의한 SOC 회복제어 요구량을 나타낸 것이다.

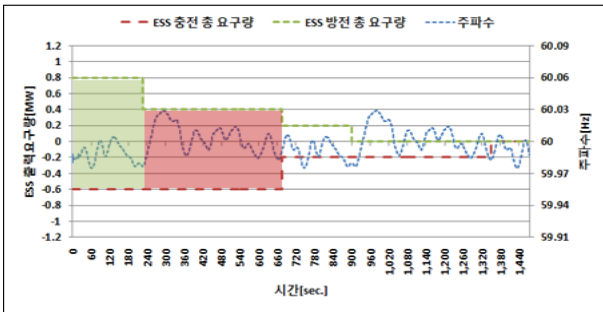


그림 3 배터리전지저장장치의 충·방전 총 요구량  
Fig. 3 Total requirement of charging or discharging BESS

기존의 SOC 회복제어전략은 각 BESS의 SOC에 의해서 제어가 결정되므로 위 그림과 같이 방전 요구량이 충전 요구량보다 많거나(녹색) 반대의 경우(적색) 발생된 여유전력이 전력계통에 유·출입될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 같은 모선에 연계된 배터리전지저장장치의 SOC 회복제어량을 협조 제어하여 여유전력을 이용해 SOC 회복시간을 단축시킴으로써 목표값까지 SOC를 신속히 회복할 수 있도록 제어하는 방안을 제안하고자 한다.

### 3. 다수 배터리전지저장장치 통합제어 전략

본 장에서는 다수의 BESS를 전력계통에 연계할 경우 발생가능한 주파수추종서비스의 초과응답을 해결하고 모든 BESS의 평균 SOC와 회복제어량을 고려하여 효율적으로 주파수추종서비스를 제공하기 위한 통합제어 전략을 제안하였다. 기존 제어전략이 전력계통의 운전조건에 따라 정상상태와 과도상태로 구분하여 적용하고 있으므로 통합제어 전략도 동일하게 제어모드를 설정하여 각 제어모드의 목적에 따라 제어를 수행하도록 전략을 수립하였다.

BESS의 과도상태 통합제어 전략은 계통이 과도상태일 경우 주파수추종서비스의 초과응답이 발생하지 않도록 각 BESS에 과도상태 참여율을 할당하도록 하였으며, 과도상태 참여율은 각 BESS의 평균 SOC와 가용용량을 고려하여 BESS의 충·방전상태 균형을 유지할 수 있도록 제안하였다.

또한 주파수 변동은 적으나 주파수가 부동대를 벗어난 경우에

는 다수 BESS의 주파수제어 간 통합전략을 적용하여 평균 SOC가 유지범위 이내에 있는 BESS만이 주파수제어에 참여하도록 하여 각 BESS간 SOC 균형이 유지하도록 하였다. 주파수가 부동대 내에 있는 경우에는 같은 모선에 연계된 BESS 간 SOC 회복제어의 협조전략을 통해 SOC 회복제어 시 여유전력을 최소화하면서 SOC 회복시간을 단축시킬 수 있는 제어전략을 수립하였다.

#### 3.1 배터리전지저장장치의 과도상태 통합제어 전략

기존의 과도상태 제어전략에서는 계통정수를 제어이득으로 사용하여 제어함에 따라 BESS의 총 설비용량이 전력계통의 주파수 추종서비스 요구량을 초과할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 각 BESS의 과도상태 제어 참여율의 합이 100%가 되도록 하면서 SOC가 상대적으로 많은 BESS의 참여율을 더 크게 설정하여 주파수제어 운전이 제어그룹 상호간의 SOC 균형을 유지하는 방향으로 이루어지도록 참여율을 배분하는 통합제어 전략을 제안한다.

그림 4는 BESS의 과도상태 통합제어 전략을 제어 흐름도로 나타낸 것이다.

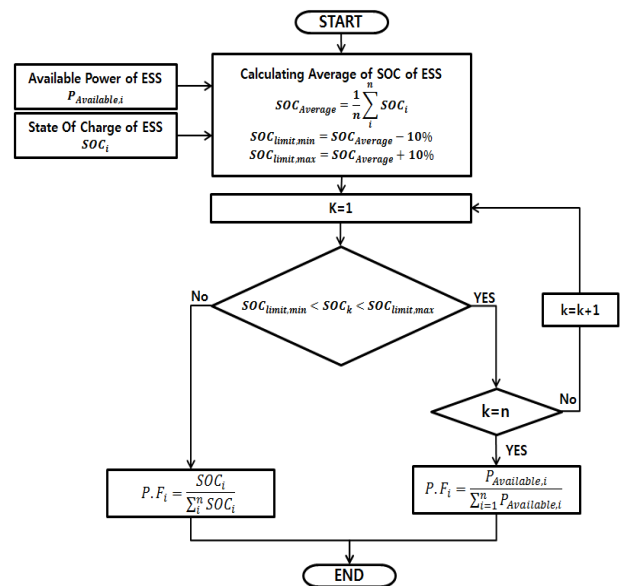


그림 4 과도상태 통합제어 전략  
Fig 4 Integrated control strategy of BESS frequency regulation during a transient period

과도상태 통합제어 전략에서는 각 BESS별로 계통 요구량을 계산한 후에 모든 BESS의 평균 SOC를 대상으로 어느 하나의 BESS의 SOC라도 평균으로부터 ±10% 이상 벗어날 경우 SOC가 불균형 상태에 있다고 판단하여 각 BESS의 과도상태제어 참여율을 SOC에 비례하도록 설정함으로써 SOC가 상대적으로 높은 BESS가 더 많은 주파수추종서비스를 제공하도록 한다. 반면 모든 BESS의 SOC가 이 평균 SOC로부터 ±10% 이내의 편차로 분포될 경우에는 SOC가 균형 상태에 있다고 판단하여 과도상태 제어 참여율을 각 BESS의 가용 출력에 비례하도록 설정한다. 단,

BESS의 가용출력은 각 BESS의 정격출력 용량을 기준으로 하되, 고장 등의 이유로 운전이 불가능한 배터리를 제외한 배터리의 정격 출력 용량을 기준으로 고려하였다.

3.2 배터리전기저장장치의 정상상태 주파수제어 통합전략

기존의 정상상태 제어모드에서는 기존 발전기와 유사한 수준의 주파수제어를 수행하나 각 BESS의 SOC만을 고려하기 때문에 BESS 간 SOC 불균형이 발생할 수 있다.

이를 위해 본 논문에서는 각 BESS의 SOC를 감시하여 평균 SOC가 구간제어범위인 50~80%를 벗어난 경우에는 참여율을 0으로 하여 주파수제어를 위한 제어목표치가 계산되더라도 실제로는 BESS의 주파수제어가 이루어지지 않도록 하고 평균 SOC가 구간제어범위인 50~80% 이내에 있는 경우에만 해당 BESS의 참여율을 1로 하여 주파수제어를 수행하는 정상상태 주파수제어 통합전략을 제안한다. 그림 5는 BESS의 정상상태 주파수제어 통합전략을 제어 흐름도로 나타낸 것이다.

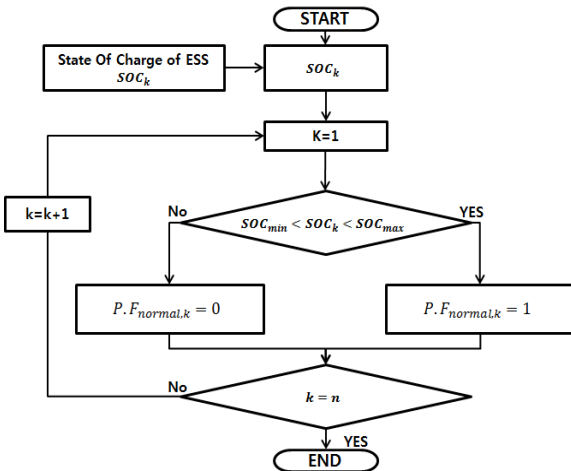


그림 5 정상상태 주파수제어 통합전략  
 Fig. 5 Integrated control strategy of BESS for frequency regulation during a steady state

그림 5에서와 같이 모든 BESS별 SOC에 대한 정보를 취득한 후, SOC가 유지범위 이내로 회복된 경우에만 정상상태 주파수제어에 참여하도록 제어전략을 수립하였다. 이 때 SOC 유지범위는 수명 유지에 가장 유리한 SOC 운전구간을 상·하한 기준으로 설정하여 배터리의 수명 경감을 최소화하도록 하였으며 본 논문에서는 기존 제어전략의 SOC 유지범위와 동일한 50~80%를 상·하한 기준으로 가정하였다.

3.3 배터리전기저장장치의 SOC 회복제어 협조전략

주파수가 부동대 내에 있을 경우, BESS는 SOC를 목표값(SOCTarget)까지 회복할 수 있도록 배터리별 SOC에 따라 충·방전 제어를 수행한다. 본 논문에서는 같은 모선에 연계된 BESS의 SOC

회복제어 충전요구량 및 방전요구량을 계산하여 비교하고, 충·방전 요구량 간 여유가 있을 경우에는 요구량이 상대적으로 적은 BESS의 충·방전 요구량을 여유전력만큼 증가시켜 회복제어에 기여함으로써 SOC 회복 소요시간을 단축시킬 수 있는 제어방안을 그림 6과 같이 제안하였다.

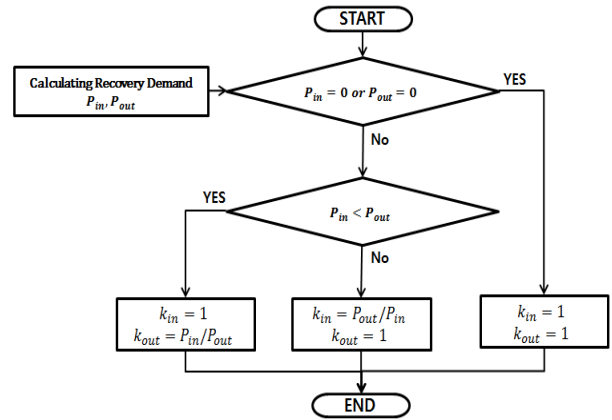


그림 6 정상상태 SOC 회복제어 협조전략  
 Fig. 6 Coordinating control Strategy of BESS for SOC Recovery during a steady state of power system

그림 6에서와 같이 SOC 회복제어 협조전략에서는 모든 BESS의 회복제어 시 충·방전 총 요구량을 각각 계산하여 비교한 후 방전량이 충전량보다 많거나 적은 경우 발생하는 여유전력을 BESS에 공급하도록 각 BESS의 회복제어량에 충·방전 이득을 적용하였다. 따라서 이러한 SOC 회복제어 협조전략을 통해 BESS의 회복제어량을 효율적으로 제어하여 SOC 회복시간을 보다 단축할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 사례 연구

본 절에서는 제안된 BESS의 통합제어 전략의 검증을 위해 국내 전력계통 PSS/E 모델에 500MW급 BESS를 연계하여 사례연구를 수행하였다. 국내 전력계통은 경부하 시의 최대 부하 수준<sup>1)</sup>인 53GW를 가정하였으며, BESS의 단위용량은 국내 실증단지의 단위 제어기 사양인 4MW로 가정하였다. 또한, 정상상태와 1GW 규모의 발전기 고장 사고를 각각 모의하여 제어전략 효과를 검증하였다.

4.1 과도상태에서의 배터리전기저장장치 통합제어 효과 분석

본 절에서는 전력계통에서 1GW급 발전기 고장을 모의하여, BESS의 과도상태 통합제어 전략의 주파수제어 초과응답을 검증하였다. 본 연구에서는 BESS의 평균 SOC의 편차에 따라 참여율을 배분하므로 모든 BESS의 평균 SOC 편차가 평균으로부터

1) 최근 국내 전력계통의 봄·가을 전력 수요 기준

10% 이내인 경우와 그렇지 않은 경우의 BESS 출력 및 계통 주파수를 분석하여 본 제어전략의 효과를 검증하였다.

표 3은 평균 SOC 편차에 따라 사례별로 각 배터리전기자장 장치의 초기 평균 SOC 및 예상 참여율을 나타낸 것이며, 이 때 참여율은 각각 BESS 25대의 참여율로 125대의 참여율 총합은 100%이다.

시나리오1에서는 각 BESS의 평균 SOC로부터 편차가 10% 이내이므로 각 BESS의 정격 용량을 기준으로 과도상태 참여율을 배분하게 되며, 시나리오2에서는 각 BESS의 평균 SOC으로부터 편차가 10% 이상이므로 SOC에 따라 과도상태 참여율을 배분하게 된다. 이를 확인하기 위해 각 SOC 조건별 BESS 1대를 선별하여 살펴본 출력은 그림 7, 8과 같이 나타난다.

표 3 시나리오에 따른 BESS 별 평균 SOC 및 참여율  
Table 3 Average SOC and participation factor of BESS

구분	BESS 번호					
	#1~ #25	#26~ #50	#51~ #75	#76~ #100	#101~# 125	
1	초기 SOC	63%	64%	65%	66%	67%
	BESS별 참여율	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%
2	초기 SOC	45%	55%	65%	75%	85%
	BESS별 참여율	0.55%	0.68%	0.80%	0.92%	1.05%

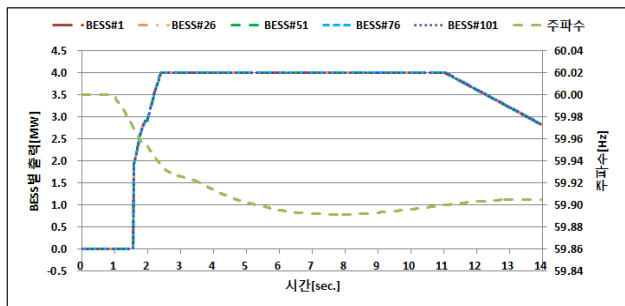


그림 7 시나리오 1에서의 BESS별 출력 및 계통 주파수  
Fig. 7 Output of BESS and system frequency with scenario 1

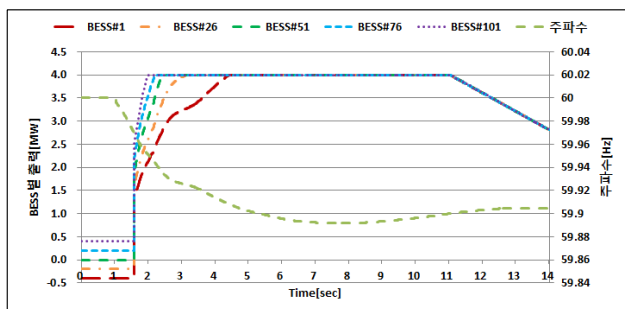


그림 8 시나리오 2에서의 BESS별 출력 및 계통 주파수  
Fig. 8 Output of BESS and system frequency with scenario 2

위 그림 7, 8에서와 같이 통합제어 전략적용 결과 각 BESS의 가용출력 또는 평균 SOC에 따라 제어 참여율을 배분함에 따라 주파수추종서비스의 초과응답이 방지될 것으로 예상된다.

그림 9는 기존 제어전략 적용 시 발생한 주파수추종서비스 초과응답(Base Case)과 시나리오별 주파수추종서비스 제공 결과를 비교한 그래프이다. 통합제어 전략 적용 결과 각 BESS의 평균 SOC에 따라 제어 참여율을 배분해줌으로써 최저주파수를 기준으로 BESS에 의한 주파수 제어효과를 유지하되 주파수제어 초과응답 억제 효과를 검증하였다.

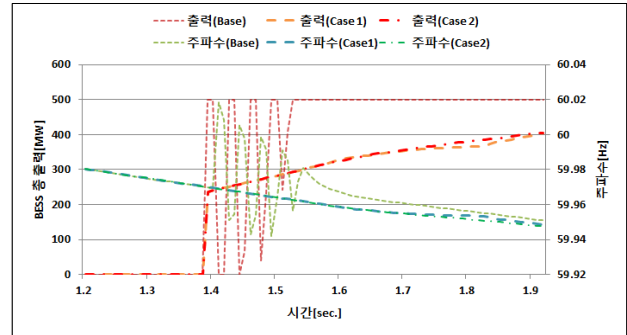


그림 9 과도상태 진입 직후 BESS의 총 출력 및 계통 주파수 비교  
Fig. 9 Comparison of BESS output and system frequency with different scenarios

#### 4.2 정상상태에서의 배터리전기자장장치 통합제어 효과 분석

본 절에서는 25분 동안의 국내 전력계통 가상 주파수를 기반으로 제어전략 검증 시 정상상태 주파수제어 통합전략 효과를 분석하였다. 앞서 표 2에서의 SOC 조건에 따르면 BESS #1, #2의 SOC가 45%로 부족하나 각 BESS내 배터리 SOC에 따라 정상상태 주파수제어 참여여부가 결정되어 BESS #1의 SOC가 지속적으로 하락하는 것을 확인하였다.

다음 그림은 표 2와 같은 조건에서 정상상태 주파수제어 통합 전략을 적용하였을 때의 각 BESS별 SOC를 나타낸 그래프이다.

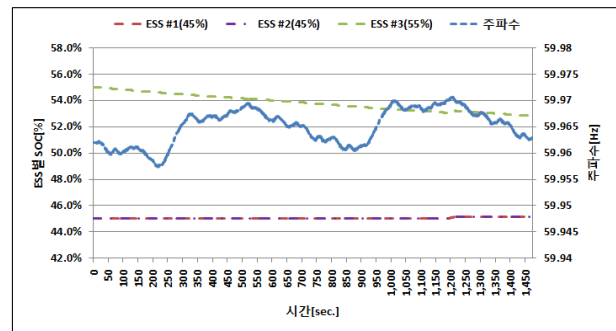


그림 10 정상상태 주파수제어 통합전략에 따른 BESS별 SOC  
Fig. 10 SOC of BESS with an integrated control strategy for steady state

그림 10과 같이 통합제어 전략 적용 시 BESS #1의 평균 SOC가 45%로 유지범위를 만족하지 않을 경우, 일부 배터리를 통한 정상상태 주파수제어가 가능함에도 SOC 균형유지를 위해 주파수제어를 수행하지 않는 것을 확인하였다.

### 4.3 SOC 회복제어의 협조전략 효과 분석

본 절에서는 25분 동안 주파수 부동대 이내로 유지되었던 국내 전력계통 주파수 실측치를 기반으로 제어전략 검증 시 BESS의 SOC 회복시간 단축 효과를 검증하였다. 이를 위해 서안성 변전소에 설치된 것과 동일한 수준의 정격 용량의 28MW(4MW\*7대)의 통합제어 수행 전·후 BESS 출력을 비교 및 분석하였다.

BESS #1, #2는 SOC를 목표치까지 회복하기 위해 계통으로부터 충전이 요구되어지며, BESS#5, #6, #7은 계통으로 방전이 요구된다. 다음 그림은 통합제어 적용 전·후의 BESS의 SOC 회복을 위한 총·방전량을 나타낸 것이다.

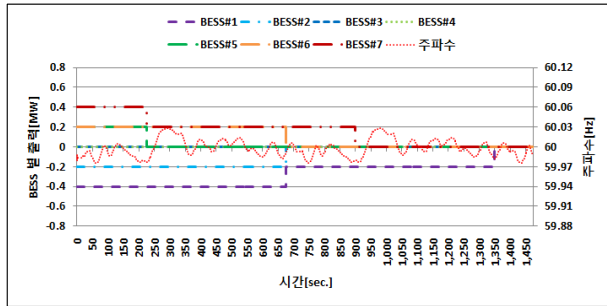


그림 11 기존제어전략에서의 BESS별 출력 및 계통 주파수  
 Fig. 11 Output of BESS and system frequency with an existing control strategy

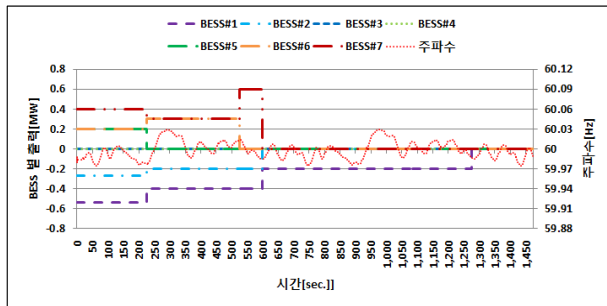


그림 12 통합제어 전략에서의 BESS별 출력 및 계통 주파수  
 Fig. 12 Output of BESS and system frequency with an integrated control strategy

그림 11의 경우, 통합제어 전략 적용 이전에는 다른 BESS의 총·방전량을 고려하지 않고 각 BESS의 SOC에 따라 총·방전을 수행하였으나 그림 12에서는 모든 배터리전기자장장치의 총·방전량을 고려하여 SOC 회복제어를 수행하는 것을 확인할 수 있다.

표 4 SOC회복제어 협조전략 적용 시 BESS SOC 회복시간 비교

Table 4 SOC recovery time of BESS with & without control strategy

		BESS 번호						
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
SOC 회복 시간 [초]	1	1350	675	0	0	225	675	900
	2	1275	600	0	0	225	525	600
단축시간 [sec.]		-75	-75	0	0	0	-150	-300

표 4는 SOC회복제어 협조전략에 의한 BESS별 SOC 회복시간 단축효과를 정리한 표이다. SOC 회복제어 협조전략에서는 발생하는 여유전력을 타 BESS에 공급하여 효율적으로 회복제어를 수행하므로 BESS #1, #2의 SOC 회복시간을 75초, BESS #6, #7의 SOC 회복시간을 각각 150, 300초 단축하였음을 검증하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존 BESS의 주파수추종서비스 제공 알고리즘을 분석하고 다수의 BESS가 전력계통에 연계 시 발생가능한 주파수추종서비스 초과응답을 방지하며 배터리 수명에 직접적인 영향을 주는 SOC 관리 및 BESS의 SOC 회복시간 단축 등을 고려한 효율적인 통합제어 전략을 제안하였다. 즉, 기존 BESS의 제어전략은 설비 계획에 따라 다수가 전력계통에 연계될 경우, 전력계통의 과도상태에서 동적용량을 최대한 발휘시키는 제어전략으로 인해 주파수추종서비스의 초과응답이 나타날 수 있어 과도상태 시 BESS별 제어 참여율을 배분하는 제어전략을 제안하였다. 더욱이, BESS간의 SOC 균형이 유지되었을 경우에는 BESS의 가용 출력에 따라 참여율을 배분하고 BESS의 SOC가 평균값으로부터 10%를 벗어날 경우에는 평균 SOC에 따라 제어 참여율을 배분함으로써 SOC를 고려하며 주파수추종서비스의 초과응답이 방지되는 것을 확인하였다. 또한 정상상태의 경우, 다수의 BESS가 계통에 연계 될 때 더욱 효율적인 제어를 수행하기 위하여 BESS의 SOC가 유지범위 이내일 경우에만 주파수제어를 수행하도록 하는 정상상태 주파수제어 통합전략과 SOC회복제어 시 동일 모선에 연계된 BESS의 총·방전량을 고려하여 SOC를 기존 제어전략보다 빠르게 유지범위 이내로 회복하도록 제어하는 SOC회복제어 협조전략을 제안함으로써 BESS의 SOC 균형을 유지하고, SOC 회복시간을 단축시킬 수 있음을 확인하였다.

향후 본 논문에서 제안된 BESS의 통합제어 전략은 국내에서 진행 중인 주파수추종용 BESS 실증사업에 적용될 수 있다면 국내 계통에 다수의 BESS가 연계되었을 경우의 운영안정화를 제고하는데 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

**감사의 글**

본 연구의 일부 내용은 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20142010103010)

**References**

- [1] "World Energy Outlook 2010," IEA, 2010
- [2] "Trend of policy of overseas countries concerning nuclear plant after Fukushima nuclear accident," Ministry of Education, Jan. 2013
- [3] "The 7<sup>th</sup> Basic plan of long-term electricity supply and demand," KPX, July, 2015
- [4] "Economy research of solar and wind power generation reflecting on stability of power system," KEEL, 2014
- [5] "Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide," Sandia National Report, 2010
- [6] "K-ESS 2020," Ministry of Trade, Industry and Energy, May, 2011
- [7] "Synthesis promotion plan of ESS to realize a creative economy," KEPCO, Oct. 2013
- [8] 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.
- [9] 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
- [10] Alexandre Oudalov, Daniel Chartouni, Christian Ohler "Optimizing a Battery Energy Storage System for Primary Frequency Control," IEEE Trans. Power syst., VOL. 22, Aug. 2007
- [11] D. P. Chassin, Z. Huang, M. K. Donnelly, C. Hassler, E. Ramirez, C. Ray, "Estimation of WECC System Inertia Using Observed Frequency Transients," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, pp. 1190-1192, 2005
- [12] Muhammad Khalid , "Model Predictive Control Based Efficient Operation of Battery Energy Storage System for Primary Frequency Control", 2010 11th International Conference, Control Automation Robotics & Vision, 2010.

**저 자 소 개**



**유 가 람 (Ga Ram Yu)**

1989년 2월 20일생. 2013년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2013년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
 Tel : 070-4411-2368  
 E-mail : garam1838@jbnu.ac.kr



**최 우 영 (Woo Yeong Choi)**

1993년 2월 20일생. 2014년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2014년~현재 동 대학원 전기공학 석사과정  
 Tel : 070-4411-2368  
 E-mail : ventus666@jbnu.ac.kr



**국 경 수 (Kyung Soo Kook)**

1973년 6월30일생. 1996년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 석사(전력계통). 1998~2004년 한국 전기연구원(KERI) 연구원/선임연구원. 2007년 Virginia Tech. 전기공학박사(전력계통), 2007~2010년 미국 전력연구원(EPRI) 선임연구원 2010년~현재 전북대학교 전기공학과 부교수  
 Tel : 063-270-2368  
 E-mail : kskook@jbnu.ac.kr