

대규모 발전단지 상시제약 감소를 위한 에너지 저장장치(ESS) 적용에 관한 연구

A Study on Energy Storage System(ESS) Application for Dynamic Stability Improvement and Generation Constraint Reduction

이재길* · 정솔영* · 최장흠* · 김용학* · 윤용범*

(Jae-Gul Lee · Solyung Jung · Jang-Hum Choi · Yong-Hak Kim · Yong-Beum Yoon)

Abstract - Prepare a lose of 765kV transmission route in power system operation condition, there are some Special Protection Scheme(UPS)s in Korean power system. These UPS can make some preselected generators are tripped to avoid generator overspeed. Because of many of the new large power plants are installed to existing power generation sites due to the siting problem, the number of generator tripped by UPS should be increased. But that can be a cause of system frequency change under the Under Frequency Relay(UFR) 1st pickup level 59.0Hz. Therefore generation constraint should be considered until new transmission lines are installed. In this paper, we propose the ESS application for generation constraint mitigation by frequency damping control of ESS. To analysis an effect of ESS application, we use PSS/E dynamic simulation tool, CBEST model and controller model. The proposed ESS application is applied to the empirical Korean power system.

Key Words : ESS, UPS, UFR, Generation Constraint, CBEST, Python

1. 서 론

우리나라 전력계통은 해안지역을 중심으로 건설된 대규모 발전단지로부터 생산된 대규모의 전력을 초고압(765 kV 및 345 kV) 송전선로를 통하여 수요 집중 지역으로 송전하는 방식으로 운영되고 있는데 이 때문에 송전선로의 고장이 전력계통의 안정도에 미치는 영향이 클 수밖에 없다. 특히 전력계통 신뢰도 기준강화 이후 계통검토 시 765kV 송전선로 2회선 고장을 고려하게 되었으며 더욱이 신규 송전용량의 확충에 어려움을 겪으면서 송전선로 고장 시를 대비한 고장파급 방지장치(UPS, Special Protection System)의 중요성도 높아지게 되었다. 발전단지 UPS는 인출선로의 용량이 부족해지는 고장에 대하여 해당 발전단지의 발전기 과속(Overspeed)을 방지하기 위하여 적정용량의 발전기를 탈락시키는 제어를 수행하게 된다.[1,2]

765kV 송전선로 고장을 대비한 발전기 탈락 UPS는 서해안의 화력발전단지, 동해안의 원자력발전단지에 적용되어 있는데 서해안 발전단지 UPS의 경우 동시에 탈락하는 발전량이 크기 때문에 계통의 주파수가 저주파 부하차단 계전기(UFR, Under Frequency Relay)의 1단계 동작수준인 59.0Hz 이하로 낮아질 수

있기 때문에 이를 방지하기 위하여 서해안 발전기의 출력을 상시 감발하고 경기북부 등에 위치한 복합화력 발전기의 출력을 증발함으로써 UPS동작 시 탈락발전량을 감소시켜 주파수 저하가 UFR 1단계 동작 수준보다 높게 유지할 수 있도록 하고 있다. 이러한 상시발전제약은 서해안지역의 송전용량이 충분히 확보될 때까지 당분간 지속될 것으로 전망되며, 지속적인 수요증가와 발전단지 대규모화에 따라서 다른 지역에서도 발생할 수 있는 가능성이 있다. 서해안 지역의 상시발전제약은 발전단지가 낮은 석탄 화력발전소의 발전력을 타 지역의 복합 화력발전소들이 대체하는 것으로 전체 발전비용의 증가를 유발하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제에 대한 해결방안으로 ESS의 활용을 제안하였다.

현재 한국전력공사(이하 한전)에는 주파수제어용(FR) ESS를 4개소에 설치하여 운영하고 있으며 2018년까지 4개소에 추가로 설치, 총 500MW의 ESS를 운영할 계획을 가지고 있다.[3] 이러한 FR용 ESS의 주파수 조정에 대한 기술적 효과는 이미 다수의 선행연구와 실증운영에 의하여 검증되었으나 설비투자의 경제성에 대한 논란은 계속되고 있기 때문에 본 논문에서 제시한 바와 같이 상시발전제약 완화용으로 ESS를 활용하는 경우 ESS의 경제적 효과를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.[4,5]

본 논문은 2장에서 ESS를 이용한 과도적 주파수 제어효과에 대한 이론적 고찰을 수행하고 3장에서는 계통해석을 위한 ESS 제어기의 모델링을 설명한다. 또한 4장에서는 ESS를 적용한 상시발전제약 완화효과를 PSS/E 모의를 통하여 분석하였으며 마지막으로 5장 사례연구에서는 2016년 계통을 대상으로 ESS 적용에 따른 상시발전제약 완화효과를 분석하였다.

* Corresponding Author : Power Transmission Laboratory, KEPCO Research Institute, Korea.
E-mail: ybyoon@kepeco.co.kr

* Power Transmission Lab. KEPCO Research Institute
Received : April 18, 2017; Accepted : September 25, 2017

2. 전력계통 주파수 변화와 상시발전 제약

2.1 전력계통 주파수의 변화

전력계통에서 송전선로의 고장 및 대규모 발전력 상실이 발생하는 경우 주파수는 과도적인 하락이 발생하게 되며, 전력계통에서 동기발전기의 동요방정식(Swing equation)을 통해 다음과 같이 설명할 수 있다.[6]

$$M \frac{dw}{dt} + Dw = P_m - P_e = P_a \quad (\text{식 1})$$

여기에서, M 은 동기발전기의 관성

D 는 댐핑력

w 는 각속도($= 2\pi f$)

P_m 는 기계적 입력

P_e 는 전기적 출력

P_a 는 가속력

식 (1)은 동기발전기의 동요방정식을 나타낸 것이며 전력계통의 고장 또는 상태변화에 따른 과도적 주파수변화를 설명하기 위하여 상기 식 (1)의 전기적 출력(P_e)을 최대전송전력 산정 식으로 치환하여 아래의 식 (2) 및 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$M \frac{dw}{dt} + Dw = P_m - P_e \Rightarrow M \frac{dw}{dt} + Dw = P_m - P_{\max} \sin \delta \quad (\text{식 11})$$

$$M \frac{dw}{dt} + Dw = P_m - \frac{V_1 V_2}{X_{12}} \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (\text{식 12})$$

여기에서,

P_{\max} 는 최대전송전력

δ 는 모선별 위상각 차이

$X_{i,j}$ 는 송전선로 리액턴스

V_i 는 모선별 전압크기

전력계통의 과도상태 발생초기(P_m 이 고정)에는 전압(V), 계통 구성(X) 그리고 위상각(δ)의 변화에 따라서 전기적 출력이 변동될 수 있으며 위의 식 (2)와 (3)에 따라서 각 모선의 기계적 입력 및 전기적 출력의 불균형을 유발함으로써 모선별 주파수의 변화가 발생하게 된다.

$P_m < P_e \Rightarrow$ 감속, 주파수 저하

$P_m > P_e \Rightarrow$ 가속, 주파수 상승

과도적인 주파수 변화가 발생하면 발전기의 관성과 조속기의 응답이 계통주파수를 유지하도록 기계적 입력(P_m)을 제어하여 댐핑력(D)을 발생시킨다.

2.2 대규모 발전단지 상시발전제약

앞서 설명한 것과 같이 발전단지 연계 송전선로에 고장이 발

생하여 해당 선로를 개방하는 경우 연계 발전단지의 인출선로 부족으로 인해 발전기의 과속이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위하여 적정용량의 발전기를 탈락시키는 고장파급방지장치(SPS)가 동작하게 되는데, 고장발생 송전선로의 조류량이 큰 경우 과도한 발전기 탈락으로 인한 주파수의 하락이 저주파수 계전기(UFR) 1 단계 동작 주파수인 59.0Hz 이하로 동작할 수 있기 때문에 탈락 대상 발전기의 출력을 상시 감발하고 타 발전기가 대신하여 발전하는 제약운전이 불가피하다.

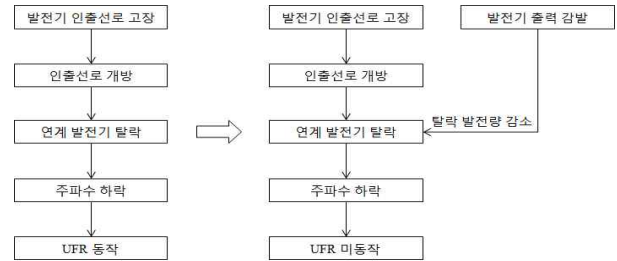


그림 1 발전기 인출선로 고장을 대비한 발전기 제약운전 개념

Fig 1 The concept of Generation Constraint

그림 1는 발전기 인출선로 고장을 대비한 발전기 제약운전 개념을 도식화한 것으로 그림과 같이 발전기가 탈락하여 계통의 주파수가 UFR 1단계 동작 주파수보다 하락하는 경우에는 탈락 대상 발전기 출력의 상시 제약발전 운전을 수행할 수 있기 때문에 이를 해소하기 위한 대책이 필요하다. 본 논문에서는 이를 ESS 적용을 통해 해소하는 방안을 제시하였다.

3. 상시 발전제약 완화를 위한 ESS 적용효과

3.1 에너지저장장치(ESS)를 이용한 과도주파수 제어

전력계통의 과도적 주파수 변화를 빠르게 제어하기 위한 방식으로 발전기 이외에도 전력계통에 에너지를 충/방전 할 수 있는 장치를 이용할 수 있으며, 본 논문에서는 배터리를 이용한 에너지저장장치(Energy Storage System, ESS)를 이용한 과도 주파수 제어방식을 통한 과도주파수 제어 방안에 대해 제시하였다.

아래의 식 (4)는 ESS를 주파수제어에 이용하는 경우 전력계통의 주파수를 표현하기 위하여 식 (1)을 수정한 것이다.

$$M \frac{dw}{dt} + Dw + D_{ESS} = P_m - P_e = P_a \quad (\text{식 25})$$

ESS의 경우 전력계통의 주파수 변화에 따라서 유효전력 출력을 조정함으로써 주파수 유지에 기여할 수 있다. ESS는 동기발전기가(회전기)와 같이 관성(Inertia)을 제공할 수 없다는 한계를 갖지만 발전기의 조속기 응답에 비하여 빠른 응답(수십msec)을 할 수 있는 특징을 갖는다. 이러한 ESS 특성을 이용하여 계통에 과도적인 주파수 하락을 빠르게 제어할 수 있다.

3.2 대규모 발전단지 상시발전제약 완화 효과

ESS의 특성을 이용하여 계통의 과도적 주파수 하락을 완화시키는 경우 탈락 대상 발전기의 감발 발전량을 감소시킬 수 있는데, 이를 위해서는 아래의 그림과 같은 방식으로 적용할 수 있다.

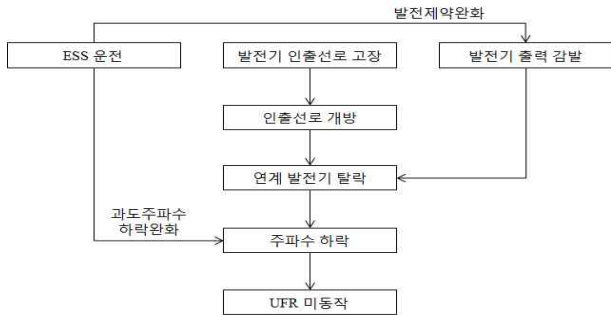


그림 2 ESS 적용을 통한 발전제약 완화의 개념
Fig 2 Mitigation of Generation Constraint according to ESS

발전기가 탈락하여 계통의 주파수가 과도적으로 하락하는 경우, 먼저 ESS가 이를 완화시키는 정도를 검토하여야 하며 이를 반영하여 다시 발전기 출력의 감발량, 즉 제약발전량을 산정하여 적용할 수 있다.

4. ESS 모델링

ESS의 주파수제어 특성은 설비특성 및 제어전략에 따라서 상이해질 수 있으며, 본 장에서는 논문에서 적용한 방안에 대해 설명한다. ESS는 설비에 대한 정적 및 동적모델 그리고 제어기의 제어전략 세 가지 항목으로 구분되며, 자세한 내용은 다음과 같다.

4.1 ESS 제어전략 모델링

ESS의 제어전략은 크게 정상상태 제어전략, 과도상태 제어전략

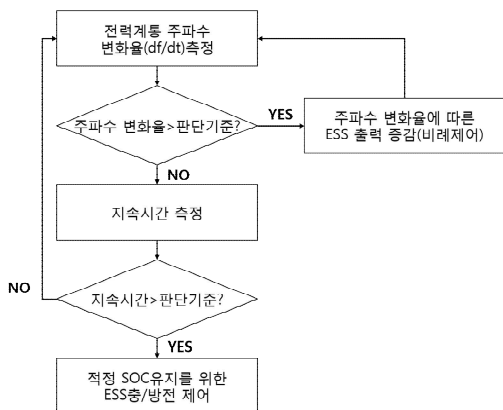


그림 3 ESS 제어전략
Fig 3 Control Strategy for ESS

및 출구모두 제어전략으로 나누어 모델링되며, 그림 3은 이러한 제어전략을 나타낸 것이다.

본 논문에서는 에너지저장장치(ESS)의 제어목적은 대규모 발전기 탈락 시 주파수 유지로 설정하였기 때문에 정상상태의 제어는 적정 충전상태(SOC, State of Charge)를 유지하면서 일부용량만을 주파수 조정을 위한 제어에 활용하도록 하였다. 이때 ESS의 출력은 Droop에 대한 비례정수를 적용한 비례 제어를 수행하며 SOC는 65%±2%(제어불감대)의 범위를 유지하도록 제어한다. 이는 우리나라의 전력계통에 기 적용되어 있는 주파수 조정용(FR) ESS의 제어방식과 동일하다.[5]

과도상태 제어에서는 송전선로 고장 및 발전기 탈락에 따른 과도적 주파수의 하락 시, 주파수 하락에 대한 보상을 수행할 수 있다. ESS의 과도상태제어는 주파수 변동의 정도와 발전기 탈락 SPS의 제어신호를 이용하여 과도상태 여부를 판단하고 주파수 변동율에 비례적으로 ESS의 출력을 제어하는 방식을 채택하였다. 이때 과도상태 주파수의 하락률이 일정기준인 $\xi = -0.028 Hz/sec$ 보다 0.1초 이상 지속적으로 작아지는 경우 계통이 과도상태에 진입한 것으로 판단하도록 하였다.

출구모드 제어전략에서는 과도상태제어 중 주파수 변화율이 양수이고, 주파수가 일정수준 이상으로 1초 이상 유지되는 경우 과도상태 제어모드를 종료하고 적정 SOC 수준을 회복하기 위한 제어를 수행하도록 하였다.

4.2 ESS 정적 모델(Static Model)

ESS 제어전략을 통해 ESS를 적용한 상시발전제약 완화효과를 PSS/E 모의를 통해 분석하기 위해서는 ESS에 대한 정적 모델과 동적 모델이 필요하다. 계통해석 프로그램인 PSS/E에서 제공하는 에너지 저장장치(ESS)의 정적 해석모델은 발전기 모델을 이용하기 때문에 이 모델을 추가하기 위해서는 설치 모선에 변압기, 더미모선 그리고 발전기를 아래의 그림 4와 같이 추가해야 한다.

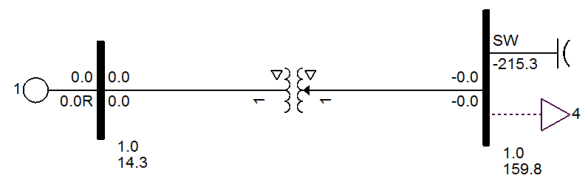


그림 4 ESS 정적해석모델 적용의 예시(SLD)
Fig 4 Single Line Diagram(SLD) for ESS Static Model

4.3 ESS 동적 모델(Dynamic Model)

ESS 동적해석을 위해 PSS/E에서 제공하는 제어기 모델은 CBEST 모델로, 제어로직은 아래의 그림 5와 같이 출력증가량(PAUX)을 입력으로 하여 ESS의 출력(POUT)을 제어하는 간단한 방식으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 CBEST 모델의 파라미터를 아래의 표 1과 같이 설정하였다. 이 때, ESS가 무효전력 제어를 하지 않는 것으로 가정하고 이를 위해서 무효전력 제어 루프의 제어이득(KVAR)을 '0.0'으로 설정하였다.

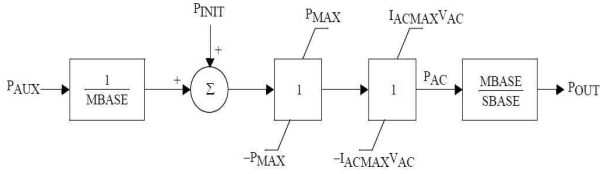


그림 5 CBEST 제어기 모델의 Master Function Control loop
 Fig. 5 Block Diagram for Master Function Control loop of CBEST

표 1 CBEST 제어기 모델의 파라미터

Table 1 Parameters of CBEST Model

CON	Name	Value	CON	Name	Value
1	PMAX	1.000	7	T2	0.005
2	OutEff	1.000	8	T3	0.005
3	InpEff	1.100	9	T4	0.005
4	IACMAX	0.900	10	VMAX	1.500
5	KAVR	0.000	11	VMIN	-1.500
6	T1	1000.0	12	Droop	0.04

위 그림 5에서 볼 수 있듯이 CBEST 모델은 제어전략을 반영하기 위해서 별도의 보조적인 제어신호가 필요하기 때문에 본 논문에서는 2.1절에서 제시한 ESS의 제어전략을 Python Programming으로 구현하여 PAUX의 보조적인 신호로 입력하여 시뮬레이션을 수행하였다. 아래의 그림은 본 논문에서 구현한 제어전략을 도식화 한 것이다.

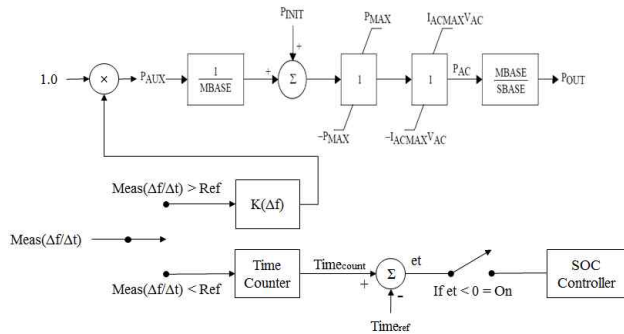


그림 6 제어전략을 추가한 CBEST 제어기 모델의 다이어그램
 Fig. 6 Diagram for CBEST Controller Model with Control Strategy

상기의 다이어그램에서 제어이득(K)은 제어효과를 극대화하기 위하여 계통의 정수를 적용하여 제어하도록 하였는데 계통정수는 아래의 식과 같이 정의할 수 있다.

$$K = \frac{dP_G}{df_{Max}} \quad (\text{식 } 27)$$

여기에서 K 는 계통정수 [MW/Hz]
 dP_G 발전기 탈락용량 [MW]
 df_{Max} 최대 주파수 변화 [Hz]

또한 과도운전 상태를 종료하고 정상상태 제어모드로 복귀하여 SOC를 정상상태로 제어하기 위한 주파수 변화율(Ref)은 '0' 이상으로 하였으며 지속시간의 판단기준(Timeref)은 1.0초로 하였다.

5. 사례연구 방안

5.1 사례연구 계통 DB 구축(운전상태 예비력 조정)

본 사례연구에서는 2016년도 최대수요 시 전력계통 DB를 이용하여 서해안 발전단지의 제약발전 시나리오를 수립하였다. 사례연구에 고려한 전력계통의 정보는 아래의 표와 같다.

표 2 전력계통 정보요약

Table 2 Summary of Power System for 2016 Peak Demand

구분	최대 수요 (MW)	총 발전력 (MW)	운전상태 예비력 (MW)	투입 발전기수 (대)	모선수 (개)
정보	82,261	83,666	1,500	239	1,952

5.2 상정고장 시나리오

위의 계통 DB를 이용해 전력계통의 과도적인 주파수 변화를 모의하고 ESS 적용효과를 검토하기 위하여 765kV 송전선로의 고장 및 발전기 탈락 고장파급방지장치(Special Protection System, SPS)의 동작을 고려하였다. 아래의 그림은 765kV 송전선로 고장 시 보호계전기 및 SPS 동작 순서를 나타낸 것이다.

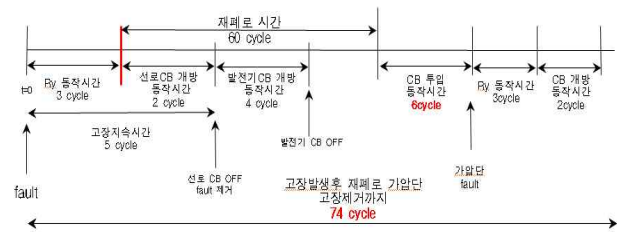


그림 7 765kV 송전선로 고장 시 보호계전기 및 SPS 동작 순서
 Fig. 7 Protection Sequence and Timing in case of 765kV T/L Fault

우선 765kV 송전선로에 고장 발생 시, 보호계전기 동작시간(3cycle)과 선로 차단기 개방시간(2cycle) 이후에 765kV 송전선로가 개방되며, 765kV 송전선로를 통하여 전력을 전송하고 있는

발전기들의 과속을 방지하기 위한 발전기 탈락 SPS가 동작(발전기 차단기 개방을 위한 동작시간 4cycle 이후)하면 전력계통은 대규모 발전력을 상실하면서 과도적인 주파수 변화가 발생된다. 또한 보호계전기 동작 시점으로부터 60cycle 이후 재폐로 동작시점에서도 고장이 제거가 되지 않는 경우 영구고장으로 판단하여 송전선로의 개방상태를 계속 유지하게 된다. 본 사례연구에서는 서해안 발전단지 연계 765kV 송전선로의 상정고장(신서산-신안성 765kV 2회선)을 고려하였다. 이때 탈락 대상 발전기는 서해안 대규모 발전력인 당진, 태안 및 부곡CC 5,691MW이다.

6. 결 과

6.1 ESS 투입에 따른 주파수 상승 및 제약발전 감소효과

앞서 구축한 DB와 시나리오를 통해 ESS 투입 전과 후의 주파수 상승 효과와 제약발전 감소효과를 확인하였다. 또한 ESS 투입 양에 따른 주파수 상승 효과를 검토해 보았다.

· ESS 투입 전

먼저 ESS투입에 따른 상시 제약발전량을 산정하기 위해 ESS 투입 전에 대한 제약발전량을 산정하였다. 아래의 그림은 우리나라의 765kV 송전선로의 고장 및 서해안 대규모 발전력(당진, 태안 및 부곡CC 5,691MW)의 탈락을 고려하여 주파수 모의를 수행한 결과이다.

제약발전 이전에는 그림 8과 같이 765kV 송전선로 고장 및 5.7GW의 발전력 탈락 시 주파수가 최대 58.72Hz까지 하락하는 것을 확인할 수 있다. 이는 UFR 1단계 동작 수준인 59.0Hz보다 낮은 수준이며, 발전기 차단 시 최저주파수를 59.1Hz(0.1Hz는 여유)이상으로 유지시키기 위한 제약발전량으로 1,038MW가 산정되었다. 그림 9는 산정된 제약발전량 1,038MW를 고려한 주파수 모의결과이며, 최저 주파수 저하가 59.1Hz 이상으로 모의되는 것을 확인할 수 있다.

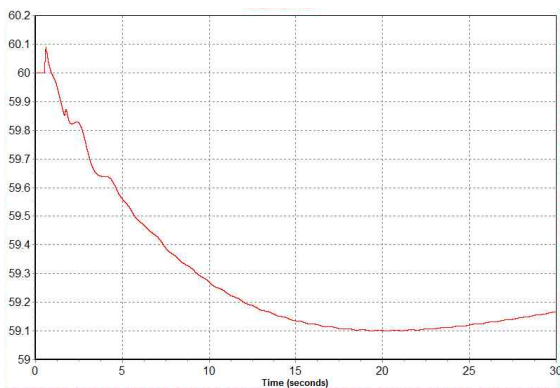


그림 8 대규모 발전력 탈락 시 주파수 모의결과 (제약발전 이전)
Fig. 8 Frequency spread when large generator is tripped (without generation constraint)

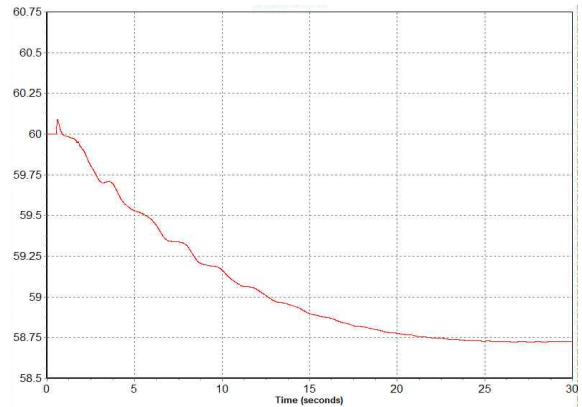


그림 9 대규모 발전력 탈락 시 주파수 모의결과 (제약발전 이후)
Fig. 9 Frequency spread when large generator is tripped (with generation constraint)

· ESS 투입 후

그림 11은 ESS 적용 용량(100MW~500MW)에 따른 주파수 하락 완화 효과를 검토 그래프이다. ESS 적용 대상 변전소는 인출선로의 고장 시 잔여선로의 수전단 측인 연계 변전소인 A(서안성)이다.

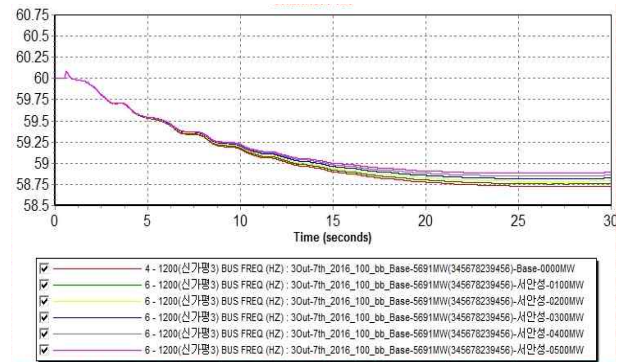


그림 10 ESS 적용 용량별 주파수 모의결과
Fig. 10 Frequency Response Depending on the ESS Capacities

위 그림과 같이 전력계통에서 송전선로의 고장 및 대규모 발전력 상실로 인해 과도적인 주파수 하락이 발생한 경우, ESS의 적용 용량별(100MW단위, 총 500MW)로 과도적 주파수 하락 완화효과가 커지는 것을 확인할 수 있다.

6.2 ESS 투입 개소에 따른 주파수 상승 및 제약발전 감소효과

ESS 투입 개소에 따른 발전제약 완화효과를 확인하기 위해서 ESS를 두 개소에 각각 100MW 단위로 총 500MW를 적용하였다. ESS적용 개소는 각각 다음의 표 3과 같은 특징을 갖는 곳으로 선정하였다.

표 3 ESS 적용 변전소별 특징

Table 3 Characteristics of Substation

구분	A변전소	B변전소
특징	인출선로 고장 시 잔여선로의 수전단 측 연계변전소	인출선로 고장 시 잔여선로와 전기적 거리가 먼 변전소

제약발전기는 수도권 전압안정도 확보를 통하여 주파수 모의에 대한 결과를 명확하게 관찰 할 수 있도록 경기북부 및 인천 지역의 발전기를 지정하였으며 상기에 설명한 바와 같이 발전기 탈락에 따른 UFR동작을 방지하기 위하여 갑발한 발전기의 출력을 제약발전기로 부담시키도록 하였다. 물론 제약발전기의 위치나 주파수 응답 특성에 따라서 분석결과가 영향을 받을 수 있으나 본 사례연구에서는 이러한 영향을 배제하였다.

변전소별로 ESS 설치용량에 따른 주파수 상승효과 및 제약발전 감소량은 아래의 표 4와 같다. A변전소의 경우 500MW 설치를 기준으로 1MW당 0.0003104Hz의 주파수가 상승 및 0.82MW의 제약발전 감소효과가 있는 것으로 검토되었다. 또한 B변전소의 경우 500MW 설치를 기준으로 1MW당 0.0004066Hz의 주파수 상승 및 1.06MW의 제약발전 감소효과가 있는 것으로 검토되었다. 즉, A변전소의 경우에는 500MW 설치를 기준으로 설치하지 않았을 때와 비교하여 411MW의 제약발전량 감소효과가 있으며, B변전소의 경우에는 532MW의 감소효과가 있음을 확인하였다.

표 4 변전소별 ESS 적용용량에 따른 주파수 상승 및 제약발전 감소량

Table 4 Mitigation of generation constraint according ESS capacity

ESS 설비 용량	A변전소				
	최저 주파수	ESS 1MW당 주파수 상승량	59.1Hz 유지 제약발전량	1MW구간 증분당 제약발전 감소량*	1MW당 제약발전 감소량
0	58.7238		1,038		
100	58.7538	0.0003000	978	0.60	0.60
200	58.7841	0.0003015	887	0.91	0.76
300	58.8154	0.0003053	795	0.92	0.81
400	58.8472	0.0003085	715	0.80	0.81
500	58.879	0.0003104	627	0.88	0.82
ESS 설비 용량	B변전소				
	최저 주파수	ESS 1MW당 주파수 상승량	59.1Hz 유지 제약발전량	1MW구간 증분당 제약발전 감소량*	1MW당 제약발전 감소량
0	58.7238		1,038		
100	58.7647	0.0004090	945	0.93	0.93
200	58.8052	0.0004070	825	1.20	1.07
300	58.8461	0.0004077	723	1.02	1.05
400	58.8868	0.0004075	610	1.13	1.07
500	58.9271	0.0004066	506	1.04	1.06

ESS의 단위용량(1MW) 증가에 대한 효과를 산정하기 위해 구분 선형화한 결과* 위의 표 4와 같이 A변전소의 경우 300MW 설치구간이 B변전소의 경우 200MW 설치구간이 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다.

변전소 별로 상이한 효과가 나타나는 이유는 표 3과 같이 ESS연계 변전소의 특징이 상이하기 때문이다. 즉 A변전소는 765kV 송전선로가 개방된 이후 서해안 발전기로부터 수도권으로 전력이 유입되는 345kV 송전선로의 수전단으로 ESS에서 방전되는 전력과 발전기로부터 유입되는 전력이 병목현상이 발생되기 때문에 주파수 상승효과가 B변전소에 비하여 낮게 나타나는 것으로 분석되었다. 이를 식 (3)을 이용하여 설명하면 상정고장 시 A변전소의 ESS에서 충전전력을 계통으로 주입하는 경우 발전단의 위상각(δ_1)과 A변전소의 위상각(δ_2) 차이($\delta_1 - \delta_2$)가 작아지면 송전가능용량이 감소하는 현상이 발생하는 것이며 B변전소의 경우 이러한 현상이 발생하지 않기 때문에 B변전소에 ESS가 적용되는 것이 주파수 상승에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 것이다.

7. 결 론

본 논문에서는 주파수 조정(FR)용 에너지저장장치(ESS)를 대규모 발전단지 상시발전제약 완화를 목적으로 적용하는 경우의 기술적 효과를 검토하였다. 이를 위해서 ESS의 제어전략을 고려한 해석모델 및 상시발전제약을 완화 효과의 검토방법을 제시하였고 사례연구를 통해서 ESS 1MW당 0.82~1.06MW의 상시발전 제약 완화효과가 발생하는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 ESS의 활용방안은 송전용량의 확충이 어려운 국내전력계통의 사정을 고려하였을 때 매우 유용한 것으로 사료된다. 하지만 주파수 조정용에 비하여 계통의 안정도에 미치는 영향이 크기 때문에 실제 적용을 위해서는 보다 더 면밀한 검토가 선행되어야 할 것이다.

References

- [1] Sangsoo Seo, A Study on Frequency Variation of Korean Electric Power System by Generator Tripping for Special Protection System(SPS) Operations, KIEE conference, Oct 2013
- [2] Jeonghoon Shin, Study on the Development of Load Shedding Scheme for Improving Voltage Stability of Seoul Metropolitan Area using Synchro-phasor Data, Trans. KIEE. Vol. 59, No. 9, SEP, 2010
- [3] Chan-Wook Park, Development of the basic control strategy of ESS test operating system for Frequency Regulation, KIEE conference, 2016. 10
- [4] Joonyoung Youn, SOC-based Control Strategy of Battery Energy Storage System for Power System Frequency Regulation, Trans. KIEE. Vol. 63, No. 5, May, 2014

- [5] Grainger, John J.;Stevenson, William D. 'Power System Analysis', McGraw-Hill, 1994

저 자 소 개



이 재 곁(Jae-Gul Lee)

1976년 8월 19일생. 인천대학교 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원



정 솔 영(Solyoung Jung)

1991년 3월 3일생. 상명대학교 에너지그리드학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원



최 장 흠(Jang-hum Choi)

1972년 4월 24일생. 충남대학교 전기공학과 졸업(박사), 현재 한국전력공사 대전충남지역본부 대리



김 용 학(Yong-hak Kim)

1969년 8월 13일생. 전남대학교 전기공학과 졸업(박사), 현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원



윤 용 범(Yong-beum Yoon)

1958년 2월 3일생. 서울대학교 전기공학과 졸업(박사), 현재 한국전력공사 전력연구원 차세대송변전연구소 소장