

발전기 가속에너지를 이용한 고장파급방지장치 운전조건 완화용 전기저장장치 적정용량 산정방안

Required Capacity Assessment of Energy Storage System for Relieving Operation Condition of SPS Using Generator Acceleration Energy

송승헌* · 최우영* · 권한나* · 국경수†
(Seung-Heon Song · Woo-Yeong Choi · Han-Na Gwon · Kyung Soo Kook)

Abstract - Due to the highly concentrated power plants integrated through the limited transmission lines in Korea, a Special Protection System(SPS) has been applied to stabilize the power systems by instantly tripping the pre-determined generators in a large-scaled power plant when a fault occurs on the drawing transmission lines. Moreover, power outputs of those generators are constrained to avoid any activation of Under Frequency Load Shedding(UFLS) even after those generators are tripped by SPS action. For this, this paper proposes a method for calculating the required capacity of Energy Storage System(ESS) expected to relieve the operating constraints to generators using its fast response for controlling power system frequency. The proposed method uses the generator acceleration energy to derive the stable condition during the SPS action. In addition, its effectiveness is verified by the case studies adopting actual SPS operations in Korean power systems.

Key Words : Energy Storage System(ESS), Special Protection System(SPS), Transient stability

1. 서 론

국내 전력계통은 전력수요의 꾸준한 증가에 따라 전력설비의 지속적인 확충이 요구되어 왔으나 이를 위한 입지의 제한과 사회적 수용성의 한계 등으로 인해 대규모 발전기들의 집적화와 송전용량의 부족이 주요 특징으로 나타나고 있다[1]. 특히, 대용량 발전기들이 집중되어 있는 발전소에서 765kV 송전선로를 통해 발전 전력을 수도권의 전력수요 집중지역으로 인출하고 있는 경우에는 해당 송전선로에 고장이 발생되어 선로가 탈락될 경우 잔여 송전용량으로 대규모 발전소의 연계점에서 발전 전력과 송전용량 간의 균형을 유지할 수 없게 되고 이는 전력계통의 과도상태 불안정을 야기 할 수 있음에 따라 765kV 송전선로 고장 시 이를 통해 발전 전력을 송전하고 있는 대규모 발전단지에는 해당 발전 단지 내에 있는 일부 발전기를 즉시 차단하도록 하는 발전기 차단용 고장파급방지장치(Special Protection System; SPS)를 설치하여 운영해 오고 있다. 더욱이 최근 대규모 발전단지에는 발전기가 추가로 건설되어짐에도 인근의 송전설비는 확충되지 못하는 경우가 나타남에 따라 발전기 차단용 고장파급방지장치에서 요구되는 송전선로 고장 시 발전기 탈락 대수가 증가되어 이는

다시 과도상태에서 전력수급의 과도한 불균형으로 인해 전력계통 주파수를 기준치 이하로 저하시켜 저주파수 계전기(Under Frequency Relay; UFR)의 동작에 의한 전력공급의 지장까지도 초래할 수 있게 된다[2],[3]. 따라서 국내 발전기 차단용 고장파급방지장치의 운영에 있어서는 전력계통의 과도 안정도 확보와 함께 과도상태에서의 주파수도 저주파수 계전기의 동작수준 이상으로 유지하기 위해 해당 발전단지 내 발전기들의 출력을 사전에 일정 수준 이하로 유지하는 발전제약을 적용해 오고 있으나 이는 결국 국내 전체 발전기들의 급전우선순위를 왜곡 시켜 전력계통 운영 전체의 효율성을 저하시킬 수 있게 된다. 반면 이러한 발전기 차단용 고장파급방지장치 운영에서의 발전제약은 송전선로의 탈락 직후 대규모 발전소의 연계점에서 나타나는 발전 전력과 송전용량간의 과도상태 불균형을 경감시키기 위한 것임에 따라 빠른 응답으로 전력의 충전과 방전을 수행할 수 있는 전기저장장치는 이러한 발전기 차단용 고장파급방지장치 운전조건을 효과적으로 완화시킬 수 있을 것으로 기대되고 있으며 국내 전력계통을 대상으로 기존의 주파수조정용 전기저장장치를 통한 발전제약 완화 효과나 전기저장장치의 다양한 운영전략 및 제어전략에 따른 과도 안정도 기여효과 등에 대한 연구도 진행되어 왔다[4],[5]. 하지만 초기 투자비용이 높고 설비의 특성이 기존의 전력설비들과 상이한 전기저장장치를 발전기 차단용 고장파급방지장치의 운전조건 완화용으로써 효과적으로 적용하기 위해 기존의 주파수조정용과는 다른 운영방식을 고려하여 적정 설치용량을 산정하기 위한 객관적인 방안은 제시되지 못하였다. 이에 대해 본 논문에서는 대규모 발전단지 인출점의 초고압 송전선로 탈락 시 발전단지 연계점에서 발전 전력과 송전용량 간의 불균형을 발전기들의

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Chonbuk National University, South Korea
E-mail: kskook@jbnu.ac.kr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4494-6514>

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

Received : November 6, 2018; Accepted : December 7, 2018

기계적 입력과 전기적 출력간의 차이로 나타나는 가속에너지를 통해 유도하고 이를 기반으로 발전기 차단용 고장파급방지장치의 운전조건 완화를 위한 전기저장장치의 적정 용량을 산정하는 방법을 제안하였다. 또한 제안된 방법을 국내의 동해안 원자력발전단지와 서해안 화력발전단지의 발전기 차단용 고장파급방지장치 운영에 적용하고 모의해석을 통해 그 유효성을 검증하였다.

2. 고장파급방지장치의 운전조건 완화를 위한 전기저장장치 적용

고장파급방지장치는 대규모 발전단지 인출선로 고장 시 사전에 설정된 일부 발전기를 탈락시킴으로써 가속에너지의 축적을 방지하여 과도 안정도를 확보하게 된다. 특히 신규 송전설비의 확충이 제한되고 발전기가 추가 건설되어지는 경우 대규모 발전단지 인출선로 고장 시 계통안정화를 위해 고장파급방지장치 적용대상 발전단지의 일부 발전기에 발전제약을 사전에 적용하게 될 수 있다. 따라서 이때 속응성이 우수한 전기저장장치는 대규모 발전단지 인출선로 고장 시 과도상태 동안 발전기에 축적될 수 있는 가속에너지를 순시 내에 흡수하여 안정도 확보에 기여함으로써 계통안정화를 위해 탈락시켜야 하는 발전기의 대수를 줄이거나 감발운전 제약을 완화할 수 있다. 본 절에서는 안정도 해석 시 유용한 등면적법을 이용하여 이를 분석하였다.

2.1 고장파급방지장치 적용을 통한 과도 안정도 확보

765kV 송전선로 고장이 발생하면 해당 송전선로를 통해서는 더 이상 발전 전력을 송전하지 못하게 되고 잔여선로를 통해서 이를 모두 수용할 수 없기 때문에 발전 전력과 송전용량 간의 불균형이 발생하고 이 상황이 지속되면 계통의 과도 불안정이 발생한다. 이때 고장파급방지장치를 적용함으로써 발전 전력과 송전용량 간의 균형을 유지할 수 있으며, 다음 그림은 고장파급방지장치에 의한 과도 안정도 확보를 등면적법으로 나타낸 것이다.

그림 1에서 고장파급방지장치 적용 전을 살펴보면 해당 발전단지의 인출선로에 고장이 발생하여 지속되는 동안 잔여 송전용량이 부족함에 따라 발전 전력과 송전용량 간의 불균형이 발생하게 된다. 즉, 발전단지 내 발전기들의 전기적 출력이 감소됨에 따라 기계적 입력과의 차가 발생하고 발전기의 회전자 가속되어 가속에너지가 축적되어짐에 따라 이를 짧은 시간 내에 해소치 못

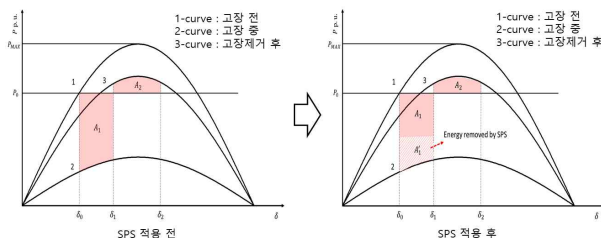


그림 1 발전기 차단용 고장파급방지장치에 의한 과도안정도 확보
Fig. 1 SPS Application to Transient Stability

할 경우, 계통의 과도 불안정이 발생한다. 반면에 고장파급방지장치 적용 후에는 고장 지속시간동안 축적된 가속에너지 중 일부 가속에너지(A_1)를 제거하고 잉여 가속에너지(A_1)가 계통 자체적으로 해소됨에 따라 잔여 송전용량으로도 발전 전력과 송전용량 간의 균형을 유지하게 되어 과도안정도를 확보할 수 있게 된다.

2.2 전기저장장치 적용을 통한 과도 안정도 확보

앞서 기술된 바와 같이 고장파급방지장치 적용 방안은 해당 발전기의 고장 지속시간동안 축적된 가속에너지를 제거함으로써 과도안정도를 확보할 수 있다. 그러나 계통의 상황에 따라 765kV 송전선로 고장 시 계통의 과도 안정도 확보를 위해 필요한 탈락 대수가 증가할 경우에는 과도상태에서의 전력수급의 불균형으로 주파수 불안정 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 주파수 안정도 문제 등이 발생치 않음 최소한의 고장파급방지장치 동작을 적용하고, 잉여 가속에너지만큼을 빠른 응답으로 전력의 총·방전을 수행할 수 있는 전기저장장치를 통해서 해결할 수 있으며, 다음 그림은 전기저장장치의 과도 안정도 확보를 등면적법으로 나타낸 것이다.

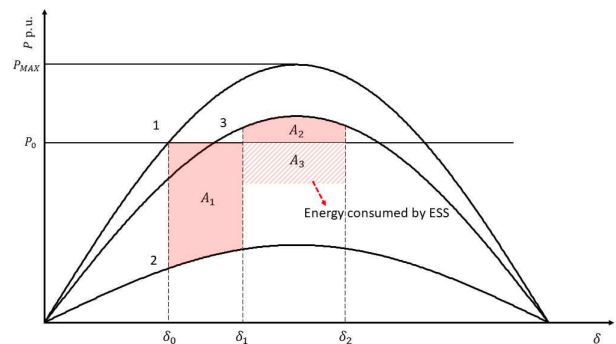


그림 2 전기저장장치를 이용한 과도 안정도 확보
Fig. 2 ESS Application to Transient Stability

위 그림에서와 같이 해당 발전단지의 인출선로에 고장이 발생하여 지속되는 동안 잔여 송전용량이 부족함에 따라 발전 전력과 송전용량 간의 불균형이 발생하게 된다. 따라서 발전단지 내 발전기 각각의 기계적 입력과 전기적 출력간의 차이로 고장 지속시간 동안 가속에너지(A_1)가 축적되고 고장제거 후, 계통 자체적으로 해소치 못하는 잉여 가속에너지(A_3)를 전기저장장치가 충전 제어를 통해 해소해줌으로써 과도 안정도를 확보할 수 있게 된다.

3. 전기저장장치 적정용량 산정방안

본 절에서는 앞 절에서 기술된 전기저장장치 적용을 통한 과도 안정도 확보 분석을 근거로 발전기의 가속에너지를 기반으로 과도 안정도 확보에 필요한 전기저장장치의 적정용량을 산정하기 위한 방안을 제안하였다. 즉, 제안방법에서는 고장파급방지장치

적용대상 765kV 송전선로 고장 시 고장 지속시간동안의 가속에너지와 전력계통의 안정도 한계용량을 산정하여 전기저장장치의 적정용량을 산정한다.

3.1 고장 지속시간동안의 가속에너지 산정

고장 지속시간동안의 가속에너지는 고장파급방지장치 적용대상 계통에서 765kV 송전선로 고장 시 발전 전력과 송전용량 간의 불균형으로 발생된 발전기들의 총 가속에너지를 의미한다. 이는 765kV 송전선로 고장 시 인출선로 부족으로 송전제한 영향을 크게 받는 발전기의 전기적 출력이 감소함에 따라 기계적 입력과의 차이로 발전기의 회전자가 가속되어 에너지가 축적되는 점을 고려한 것이다[6]. 다음 그림은 고장 지속시간동안의 가속에너지 산정에 대한 개념을 나타낸다.

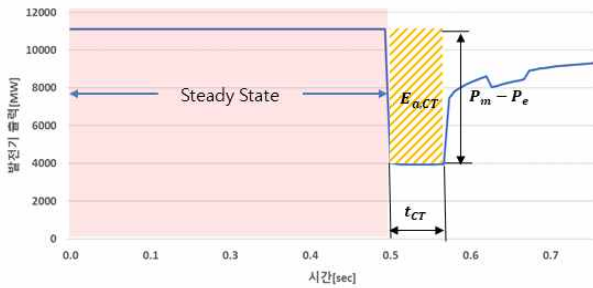


그림 3 고장 지속시간동안의 가속에너지 산정
Fig. 3 Accelerating energy calculation for the fault duration time

위 그림에서 정상상태에서는 발전기의 기계적 입력과 전기적 출력이 균형을 이루어 회전자는 일정한 동기속도로 회전하게 된다. 즉, 정상상태 시 발전기의 전기적 출력을 발전기에 대한 기계적 입력 값으로 가정할 수 있다. 이후, 발전단지의 인출선로인 765kV 송전선로 고장이 발생하면 발전 전력과 송전용량 간의 불균형으로 고장제거까지의 고장 지속시간인 t_{CT} 동안 변동된 전기적 출력과 기계적 입력과의 차이 값을 누적하고 이를 가속에너지 산정대상인 발전기 모두에 각각 적용하여 합산함으로써 해당 계통에서의 고장 지속시간동안의 총 가속에너지를 산정할 수 있으며, 이는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{a,CT} = \sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t_{CT}} (P_{m,i} - P_{e,i}) dt \quad (1)$$

3.2 계통 안정도 한계용량 산정

본 절에서는 전력계통 자체적으로도 765kV 송전선로 고장으로 가속된 에너지 중 일부를 해소할 수 있는 계통 안정도 한계용량을 산정한다. 이는 해당 계통에 별도의 조치가 없어도 과도 안정도를 확보할 수 있는 임계고장제거시간(Critical Clearing Time; CCT)을 구한 후, 이 시간동안의 축적된 가속에너지를 계산함으로써

산정할 수 있다. 즉, 해당 임계고장제거시간동안의 가속된 에너지는 765kV 송전선로 고장이 발생함에도 계통 자체적으로 해소하여 과도 안정도를 확보할 수 있음을 의미한다. 이때 해당 계통의 임계고장제거시간 산정은 다음 그림과 같은 절차를 통해 산정할 수 있다.

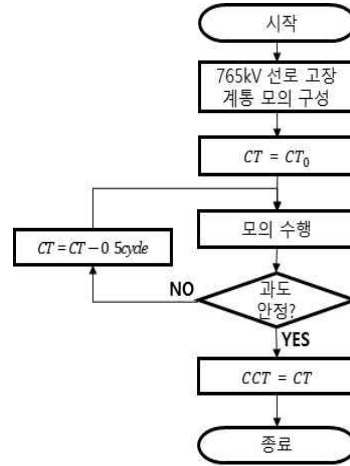


그림 4 임계고장제거시간 산정절차
Fig. 4 Procedure of Calculating CCT

즉, 임계고장제거시간 산정은 과도 안정도를 해석하기 위한 765kV 선로 고장 계통 모의를 구성한 후, 해당 고장에 대해 규정된 고장제거시간(Critical Time; CT)을 초기고장제거시간(CT_0)으로 가정한다. 이후, 모의수행을 진행하여 계통의 과도 안정 여부를 판단하여 불안정일 경우 모의해석 프로그램의 최소단위 시간인 0.5cycle의 단위로 고장제거시간을 줄여가며 계통의 과도 안정도가 확보될 때까지 절차를 반복한다. 이때 과도 안정도가 확보된 고장제거시간이 해당 계통에서의 임계고장제거시간으로 결정 된다. 또한, 이때 계통 안정도 한계용량은 산정된 임계고장제거시간을 적용하여 해당 시간동안의 축적된 가속에너지가 되며 이는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{a,CCT} = \sum_{i=1}^n \int_{t_0}^{t_{CCT}} (P_{m,i} - P_{e,i}) dt \quad (2)$$

3.3 전기저장장치 적정용량 산정

본 절에서는 고장파급방지장치 적용대상 계통에서 과도 안정도 확보를 위해 해소가 필요한 발전기의 총 가속에너지와 계통 자체적으로 해소할 수 있는 가속에너지인 계통 안정도 한계용량의 차이를 통해 계통에서 과도안정도 확보를 위해 추가적으로 해소해야 할 잉여 가속에너지를 계산하고 이를 통해 안정화에 필요한 전기저장장치의 적정 용량을 산정한다. 또한, 이때 전기저장장치의 출력지속시간에 따라 전기저장장치의 용량이 달라질 수 있음에 따라 출력지속시간에 대한 설정을 위해 다음 그림과 같이 전기저장장치의 출력지속시간에 따른 과도안정도 결과를 분석하였다.

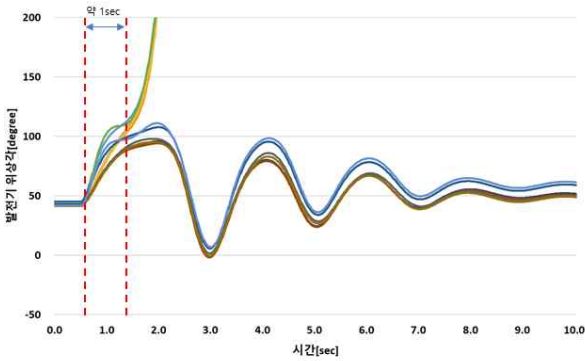


그림 5 과도 안정 해석 모의 결과
Fig. 5 Simulation Result of Transient Stability Analysis

위 그림에서와 같이 과도 안정도가 대부분 first swing에서 결정되어 고장 후, 1초 내외로 판단되는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하고자 하는 전기저장장치의 용량은 잉여 가속 에너지를 1초 이내에 충전용량으로 해소해주어야만 효과적으로 과도안정도 확보에 기여할 수 있음을 가정하여 다음 식과 같이 산정한다.

$$P_{ESS} = \frac{E_{a,CT} - E_{a,CCT}}{t}, \quad t = 1\text{sec} \quad (3)$$

이와 같이 제안된 고장파급방지장치의 운전조건을 완화하기 위한 전기저장장치의 적정용량 산정 절차를 순서도로 요약하면 다음 그림과 같다.

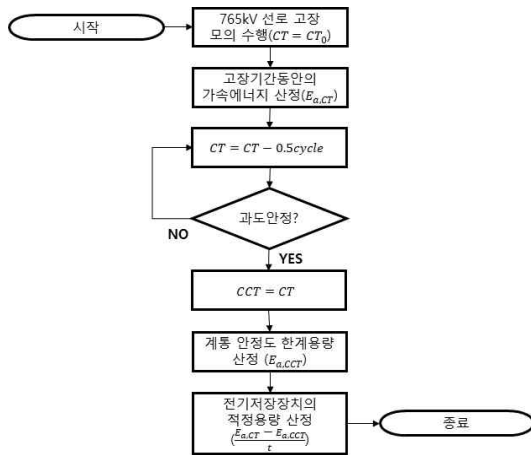


그림 6 전기저장장치 적정용량 산정 절차
Fig. 6 Assessment Procedure of Required ESS Capacity

4. 사례연구

본 사례 연구에서는 과도 안정도 문제가 대표적으로 검토되고 있는 국내 동해안 원자력발전단지와 서해안 화력발전단지 두 곳

을 대상으로 고장파급방지장치 운전조건을 완화하기 위해 본 논문에서 제안된 전기저장장치 적정용량 산정방안을 이용하여 해당 계통 조건에서 전기저장장치의 적정용량을 산정하고 그 유효성을 검증하였다. 이를 위해 계통 모의해석 프로그램인 PSS/E를 사용하였고 전력계통의 다양한 상황에서도 제안된 방안의 타당성을 검증하기 위해 부하수준이 다른 국내 전력계통 DB를 두 사례 연구에 적용하였다.

또한, 전기저장장치를 이용하기 위해 PSS/E 내 CBEST 모델을 이용하여 전기저장장치를 모델링하였다. 모의 절차 또한 국내에서 계통검토 시 적용 중인 절차를 기준으로 수행하였으며 다음 그림은 본 논문의 사례 연구 수행을 위해 적용한 765kV 송전선로 고장 시 고장파급방지장치 및 전기저장장치의 동작 모의 절차를 나타낸다.

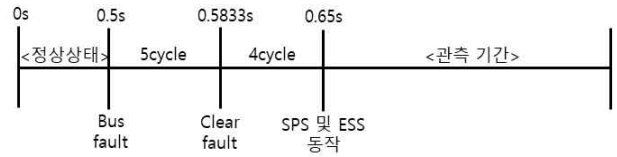


그림 7 765kV 송전선로 고장 시 고장파급방지장치 및 전기저장장치 동작 모의 절차

Fig. 7 Simulation Procedure for operating SPS and ESS at the Fault on 765kV T/L

모의 절차는 전력시장운영규칙의 전력계통 운영기준 내 계통검토 시 안정유지기준에서 규정되어 있는 고장제거시간 5cycle을 적용하였고 고장제거 후, 고장파급방지장치 동작을 위한 발전기 차단기의 동작시간 4cycle을 고려하여 적용하였다[7]. 이때, 전기저장장치의 동작도 고장파급방지장치 동작과 같이 765kV 송전선로 고장을 전제로 함을 가정하고 동작시간도 유사할 것으로 가정하여 동일하게 적용하였다. 먼저, 동해안 원자력발전단지 사례 연구에서는 765kV 신태백-신가평 송전선로 2회선 고장을 대상으로 하였고, 해당 사례에서는 과도 안정도 확보를 위해 고장파급방지장치 운전조건으로 원전 2기 탈락과 고장파급방지장치의 운전조건 완화를 위한 석탄화력발전기의 감발 운전을 가정하였다. 이때 본 논문에서 제안된 방법으로 산정된 용량의 전기저장장치를 설치하여 감발 운전 없이도 고장파급방지장치의 동작에 의해 계통의 안정도가 확보됨을 검증하였다. 다음 표는 765kV 신태백-신가평 송전선로 2회선 고장 시 계통의 과도 안정도 확보를 위해 석탄화력발전기의 감발 운전 없이 필요한 전기저장장치 적정용량

표 1 전기저장장치 적정용량 산정 결과(동해안 사례 연구)

Table 1 Assessment result of required ESS Capacity (east coast case)

	산정 값
고장 지속시간동안의 가속에너지	603[MWsec]
계통 안정도 한계용량	384[MWsec]
전기저장장치 적정용량	219[MWsec]

을 산정한 결과를 나타낸다.

즉, 고장 지속시간동안의 가속에너지를 구하기 위해 석탄화력 발전기 감발 운전 없이 과도 불안정한 상태를 모의하였으며, 그때의 고장 지속시간동안의 가속에너지는 603MWsec로 산정되었다. 다음으로 계통 안정도 한계용량을 산정하기 위한 해당 계통에서의 임계고장제거시간은 3cycle로 산정되었으며, 이때의 계통 안정도 한계용량은 384MWsec로 산정되었다. 따라서 과도안정도 확보를 위해 필요한 전기저장장치의 적정용량은 219MW로 산정되었다.

따라서 제안된 방안으로 산정된 전기저장장치 용량의 적정성을 검증하고자 석탄화력발전기 감발 운전 없이 산정된 용량 219MW의 전기저장장치를 설치하여 모의를 수행하였다. 또한, 산정값이 과다하지 않고 적정값임을 검증하기 위하여 기존의 고장 제거시간보다 0.5cycle 증가시킨 후 모의를 수행하였으며 이는 다음 그림과 같다.

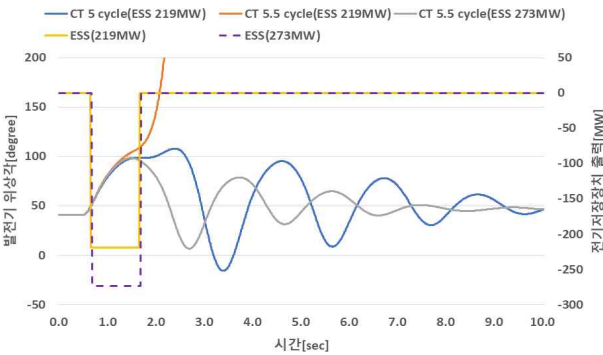


그림 8 전기저장장치 적정용량 적정성 검증 결과 (동해안 사례 연구)

Fig. 8 Simulation result for validating the ESS capacity (east coast case)

모의 결과, 기존 765kV 송전선로 고장 시 적용중인 고장제거 시간 5cycle인 경우, 고장 제거 후에 전기저장장치가 219MW의 출력으로 1초간 충전제어를 해줌으로써 잉여 가속에너지를 해소하여 전력계통의 과도 안정도를 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 고장제거시간을 5.5cycle로 증가시켰을 경우에는 고장 지속시간동안의 가속에너지가 603MWsec에서 657MWsec로 증가되기 때문에 219MW의 전기저장장치로는 과도 안정도를 확보할 수 없어 산정된 전기저장장치의 용량이 적정한 것으로 판단된다. 이때, 필요한 전기저장장치의 용량을 제안된 방법으로 재 산정하면 273MW이 산정되며, 이 경우에는 고장제거시간이 5.5cycle로 증가됨에 따라 증가된 잉여 가속에너지를 해소해주어 과도 안정도를 확보할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 본 논문에서 제안된 방안으로 산정된 전기저장장치의 용량이 과도 안정도 확보를 위해 필요한 적정 수준임을 확인할 수 있다.

다음은 765kV 신서산-신안성 송전선로 2회선 고장을 대상으로 과도 안정도 확보를 위해 고장파급방지장치 운전조건으로 석탄화력 발전기 5대 탈락을 적용하는 국내 서해안 석탄화력 발전

단지에 대한 사례연구를 수행하였다. 이때, 본 논문에서 제안된 방법의 유효성을 확인하기 위해 765kV 송전선로 2회선 고장 시 발전기 탈락 대수를 4대로 줄이고 제안된 방법으로 산정된 용량의 전기저장장치를 설치하여 안정도 확보가능 여부를 확인하였다. 다음 표는 765kV 신서산-신안성 송전선로 2회선 고장 시 탈락 대수 1대를 감소할 때 계통의 과도 안정도 확보를 위해 필요한 전기저장장치 적정용량을 산정한 결과를 나타낸다.

표 2 전기저장장치 적정용량 산정 결과 (서해안 사례 연구)
Table 2 Assessment result of required ESS Capacity (west coast case)

	산정 값
고장 지속시간동안의 가속에너지	718[MWsec]
계통 안정도 한계용량	652[MWsec]
전기저장장치 적정용량	66[MWsec]

즉, 고장 지속시간 동안의 가속에너지를 구하기 위해 발전기 탈락을 4대로 적용하여 과도 불안정한 상태를 모의하고 이 때 고장 지속시간동안의 가속에너지는 718MWsec로 산정되었다. 또한, 계통 안정도 한계용량을 산정하기 위한 해당 계통에서의 산정된 임계고장제거시간인 4.5cycle을 기준으로 계통 안정도 한계용량은 652MWsec로 산정되었다. 따라서 해당 사례에서의 과도 안정도 확보를 위해 필요한 전기저장장치의 적정용량은 66MW로 산정된다.

따라서 제안된 방안으로 산정된 전기저장장치 용량의 적정성을 검증하고자 탈락 대수 1대 감소 시 산정된 용량 66MW의 전기저장장치를 설치하여 모의를 수행하였다. 또한, 동해안 사례와 같이 산정값이 과다하지 않고 적정값임을 검증하기 위하여 기존의 고장제거시간보다 0.5cycle 증가시킨 후 모의를 수행하였으며 이는 다음 그림과 같다.

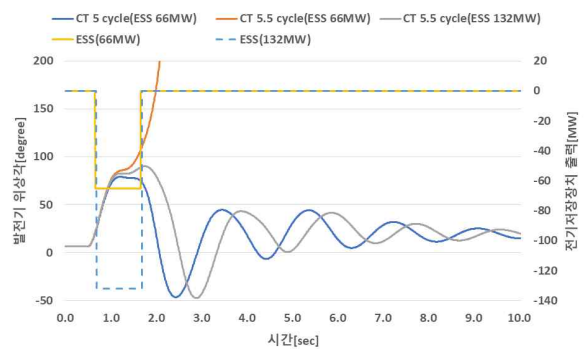


그림 9 전기저장장치 적정용량 적정성 검증 결과(서해안 사례 연구)

Fig. 9 Simulation result for validating the ESS capacity (west coast case)

모의 결과, 기존 765kV 송전선로 고장 시 적용중인 고장제거 시간 5cycle인 경우, 고장 제거 후에 전기저장장치가 66MW의 출력으로 1초간 충전제어를 해줌으로써 잉여 가속에너지를 해소

하여 전력계통의 과도 안정도를 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 고장제거시간을 5.5cycle로 증가시켰을 경우에는 고장 지속시간동안의 가속에너지가 718MWsec에서 784MWsec로 증가되기 때문에 66MW의 전기저장장치로는 과도 안정도를 확보할 수 없어 산정된 전기저장장치의 용량이 적정한 것으로 판단된다. 이때, 필요한 전기저장장치의 용량을 제안된 방법으로 재 산정하면 132MW이 산정되며, 이 경우에는 고장제거시간이 5.5cycle로 증가됨에 따라 증가된 잉여 가속에너지를 해소해주어 과도 안정도를 확보할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 동·서해안 사례 연구 결과를 통해 본 논문에서 제안된 방법으로 산정된 전기저장장치의 용량이 적정 수준임을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 과도 안정도 확보를 위한 고장파급방지장치의 운전조건을 완화하기 위해 전기저장장치를 활용하고자 할 때, 효과적으로 전기저장장치의 적정용량을 산정하기 위한 방안을 제안하였다. 이를 위해 발전기의 기계적 입력과 전기적 출력 간의 차이로 나타나는 가속에너지를 이용하여 해당 계통 조건에서 과도 안정도 확보를 위해 해소가 필요한 고장 지속시간동안의 가속에너지를 산정하고, 계통의 잉여 고장제거시간을 기준으로 계통 자체적으로 해소 가능한 가속에너지인 계통 안정도 한계용량을 산정하여 최종적으로 두 산정 값의 차인 잉여 가속에너지를 전기저장장치의 용량으로 산정하였다.

또한, 제안된 방법을 실제 국내 전력계통에서 과도안정도 문제로 동해안 원자력발전단지와 서해안 석탄화력발전단지를 대상으로 운전 중인 고장파급방지장치에 적용하여 운전조건을 일부 완화하기 위한 전기저장장치 적정용량을 산정하고, 다양한 모의해석을 통해 제안된 전기저장장치 적정용량 산정방안의 유효성을 검증하였다. 즉, 제안된 전기저장장치 적정용량 산정방안에 따라 도출된 용량의 전기저장장치를 설치할 경우, 고장파급방지장치의 운전조건을 완화하여도 과도 안정도가 확보됨을 확인하였고, 특히 765kV 송전선로 고장 시의 고장제거시간이 기존 규정인 5cycle보다 단위시간만 증가하여도 계통의 안정도가 확보되지 못함을 확인함으로써 산정된 전기저장장치의 용량의 적정성을 검증하였다.

향후, 고장파급방지장치의 운전조건을 완화하고자 전기저장장치를 활용 시 제안된 방안을 통해 효과적으로 전기저장장치의 용량을 산정하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 일부 내용은 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업(과제번호: R18XA04)에 의해 지원되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] "The 8th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand", *MOTIE*, Dec, 2017.
- [2] "The Criteria and Procedures to Determine the Limit of Generator Shedding by SPS to Enhance Transient Stability", *KPX*, March, 2014.
- [3] Jae-Gul Lee, Solyung Jung, Jung-Hum Choi, Yong-Hak Kim, Yong-Beum Yoon, "A Study on Energy Storage System (ESS) Application for Dynamic Stability Improvement and Generation Constraint Reduction", *Trans. KIEE*. Vol. 66, No. 11, Nov, 2017.
- [4] Hyeong-Pil Bang, Hwa-Chang Song, Yong-Gu Ha, Gu-Han Kim, Tea-Ok Kim, "ESS Operation Strategy to Secure Power System Stability", *KIEE conference*, July, 2017.
- [5] SeungHeon Song, WooYeong Choi, KyungSoo Kook, HwaChang Song, GuHan Kim, TaeOk Kim, "A Study on the Application of BESS for the Operation Condition Mitigation of SPS", *KIEE conference*, July, 2017.
- [6] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994.
- [7] "Power System Operations Guide", *KPX*, Feb, 2018.

저 자 소 개



송 승 현 (Seung-Heon Song)

1992년 6월 27일생. 2017년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2017년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 070-4411-2368

E-mail : song003h@jbnu.ac.kr



최 우 영 (Woo-Yeong Choi)

1993년 2월 20일생. 2014년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2016년 동 대학원 전기공학 석사졸업(전력계통). 2016년~현재 동 대학원 전기공학 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 전기 공학과 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