

전력계통 운영적용을 위한 전기저장장치 고장률 산정방안 Outage Rate Calculating Method of Energy Storage System for the Application on Power System Operation

송 승 현*, 최 우 영*, 국 경 수*[★]

Seung-Heon Song*, Woo-Yeong Choi*, Kyung-Soo Kook*[★]

Abstract

As the contribution of the Energy Storage System (ESS) on the power system operations has increased, it is required to secure the reliability on the capacity of ESS and this needs to consider the outage rate in calculating the available capacity of ESS. However, the existing method of calculating the outage rate does not consider the configuration of ESS and this does not accurately calculate the available capacity of ESS. For this, this paper analyzes the structural characteristics of ESS in Korean power system and proposes a method to calculate the outage rate of ESS. Through the study cases adopting the Korea Electric Power Corporation (KEPCO) ESS for providing the frequency response service, the effectiveness of the proposed method verified.

요 약

전기저장장치가 주파수조정예비력 자원으로써 전력계통 운영에 대한 기여도가 증가됨에 따라 전기저장장치 설비용량의 신뢰성 확보가 요구되고 있으며, 이를 위해서는 전기저장장치의 가용용량에 고장률을 고려할 필요가 있다. 그러나 기존의 전기저장장치 고장률 산정방안은 전기저장장치 설비의 구조적 특징을 정확히 고려하지 못해 전기저장장치의 가용용량을 정확히 반영하지 못하고 있다. 본 논문에서는 전기저장장치 설비의 특징을 분석하고 이를 반영한 전기저장장치의 고장률 산정방안을 제안하였고 사례연구를 통하여 제안된 방안의 유효성을 검토하였다.

Key words : Energy Storage System (ESS), Frequency Regulation Controller (FRC), Power Conversion System (PCS), Outage Rate, Korean Power System

1. 서론

국내 전력계통에서는 전력시장운영규칙의 개정
에 따라 전기저장장치에 의한 주파수조정예비력이
도입되어 계통운영에서 주파수 조정용량 확보 시
전기저장장치를 우선 반영하도록 규정하고 있다

[1]. 즉, 전기저장장치가 기존 발전기를 대체하여
주파수조정예비력 자원으로 전력계통 운영에 적용
되고 있다. 이를 보다 정확하게 전력계통 운영에
적용하기 위해서는 전기저장장치의 설비용량에 대
한 신뢰성이 확보되어야 하며, 그 중 하나는 발전
기와 같이 고장률을 고려하는 것이다. 그러나 설비

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

★ Corresponding author

E-mail : kskook@jbnu.ac.kr, Tel : +82-63-270-2368

※ Acknowledgment

This research was partially supported by Korea Electric Power Corporation. (Grant number: R18XA04)

Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 16, 2019; accepted Mar. 26, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

차원에서 기존 발전기와는 상이한 특징으로 인해 별도의 고장률 산정방안이 필요하며, 현재의 전기 저장장치 고장률 산정방안은 전기저장장치 설비의 구성인 PCS와 Battery의 직렬연결 구조를 고려하지 못하고 있다.

이를 위해 본 논문에서는 국내 전력계통에서 주파수조정용으로 운전 중인 전기저장장치 설비의 특징과 기존의 고장률 산정방안을 분석하고 PCS와 Battery를 하나의 설비로 간주하고 동시고장을 고려함으로써 전기저장장치 설비의 구조적 특징을 반영한 고장률 산정방안을 제안하였다.

II. 국내 주파수조정용 전기저장장치 특징

1. 전기저장장치 설비현황 및 계획

국내 전력계통에서는 주파수 응답을 제공하기 위한 목적으로 2014년 신용인, 서안성 변전소를 대상으로 주파수조정용 전기저장장치가 설치되었으며, 이후에 전국 각지의 주요 변전소로 설치가 확대되어 2018년 기준 총 376MW 규모의 주파수조정용 전기저장장치가 운영되고 있다. 다음 그림은 국내에 설치된 주파수조정용 전기저장장치의 설치 위치 및 용량을 나타낸다[2].

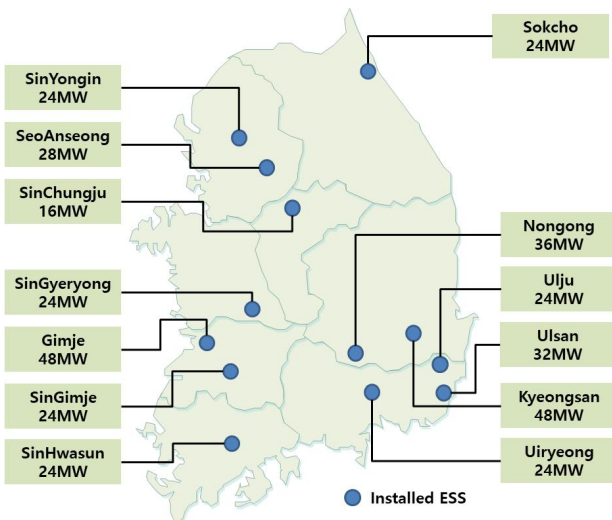


Fig. 1. ESS for providing frequency regulation in Korean power system.

그림 1. 국내 주파수조정용 전기저장장치 현황

위 그림과 같이 국내 주파수조정용 전기저장장치는 전국 각지의 주요 변전소에 설치되어 계통의 주파수를 감시하며, 발전기 고장 및 부하 변동 등에

의한 주파수 변동 시에 탑재된 제어 알고리즘을 통해 능동적으로 출력을 제공함으로써 전력계통의 주파수 제어에 꾸준한 기여를 해오고 있다. 특히, 전기저장장치는 속응성 자원으로써 기존 발전기의 주파수 응답성능에 비해 우수함을 인정받고 있으며, 2017년 12월말 산업통상자원부에서 발표된 8차 전력수급기본계획에 따라 신재생 발전원의 출력변동성을 보완하기 위한 백업설비 중 하나로써 전기 저장장치 설비의 확충이 계획되어 있기 때문에 전기저장장치의 신뢰성도 중요해질 것으로 분석된다 [3-6].

2. 전기저장장치 설비구조

국내 전력계통에서 상용운전 중인 변전소 단위의 주파수조정용 전기저장장치는 4MW 단위 제어기인 다수의 Frequency Regulation Controller(FRC)로 구성되어 있다[7]. 또한, 각각의 FRC는 전력변환을 담당하고 전기저장장치의 가용용량의 기준이 되는 다수의 Power Conversion System(PCS)과 이와 직접적으로 연결된 Battery로 구성되어 있으며, 이는 다음 그림과 같다.

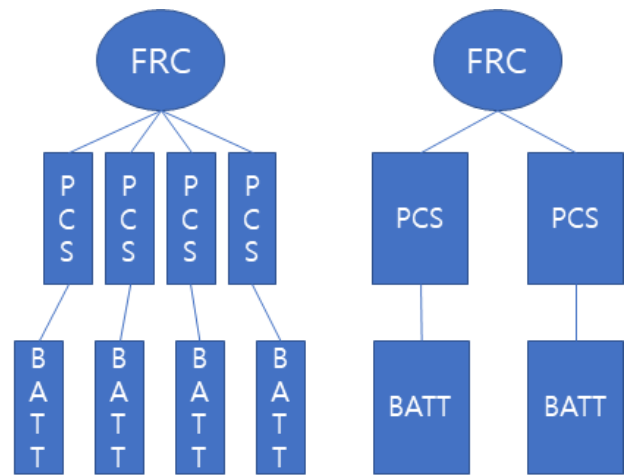


Fig. 2. Configuration of FRC controller.

그림 2. 국내 FRC 제어기 구성도

위 그림과 같이 국내 전력계통에서 주파수조정용 자원으로써 운영 중인 전기저장장치는 4MW 단위 제어기인 FRC에 각각 1MW 단위의 PCS에 Battery가 연결되어 구성되거나 2MW 단위의 PCS에 Battery가 연결되어 구성된다. 이러한 전기저장장치 설비의 구조로 인해 FRC 내 일부 PCS 또는 해당 PCS에 연결된 Battery가 고장이 발생되어도 나머지 설

비운영에는 문제가 없는 특징이 있다. 따라서 고장을 산정 시, 전기저장장치 설비의 특징을 고려할 필요가 있다.

3. 기존 전기저장장치 고장을 산정

국내 전력계통에서 상용운전 중인 주파수조정용 전기저장장치 설비의 신뢰성 확보를 위해서는 설비의 고장률을 고려해야하며, 고장률을 산정하기 위한 방안이 존재한다. 기존의 고장률 산정방안은 FRC 내 일부 PCS 또는 Battery가 고장이 발생되어도 나머지 설비운영에는 문제가 없기 때문에 이를 고려하고자 용량시간이라는 개념으로 고장률을 산정하고 있으나 전기저장장치의 구조적 특이성을 정확히 반영하지 못하고 있다. 이를 살펴보면 다음 식과 같다.

$$\begin{cases} C_{P_r} = P_P \times t_{total} - P_P \times t_{schedule} \\ C_{B_r} = P_B \times t_{total} - P_B \times t_{schedule} \\ C_{PB_r} = C_{P_r} + C_{B_r} \end{cases} \quad (1)$$

위 식에서 C_{P_r} 과 C_{B_r} 은 각각 PCS와 Battery의 계획용량시간을 의미하며, C_{PB_r} 은 전기저장장치의 고장률 산정을 위한 총 계획용량시간이다. P_P 와 P_B 는 PCS와 Battery의 용량이며, t_{total} 는 고장률 산정기간, $t_{schedule}$ 은 설비점검 등을 위해 사전에 예정된 계획정지시간이다. 이러한 산정식을 적용 시에는 총 계획용량시간이 중복 산정되어 실제의 고장률을 도출하기 어렵다. 다음 식은 전기저장장치의 고장용량시간을 정의한다.

$$\begin{cases} C_{P_o} = P_P \times t_{P_outage} \\ C_{B_o} = P_B \times t_{B_outage} \\ C_{PB_o} = C_{P_o} + C_{B_o} \end{cases} \quad (2)$$

C_{P_o} 와 C_{B_o} 는 각각 PCS와 Battery의 고장용량시간이며, t_{P_outage} 와 t_{B_outage} 는 각각 PCS와 Battery의 고장시간이다. 이때, 각 고장용량시간의 합이 전기저장장치의 고장용량시간이다. 이는 PCS와 Battery의 직렬구조 특징을 고려하지 못하기 때문에 두 설비가 동시에 고장이 발생할 경우에는 고장시간이 중복되어 실제 고장률보다 높게 산정될 수 있는 문제점이 있다. 전기저장장치의 고장률은 총 계획용량시간대비 고장용량시간의 비율로써 산정되며, 이

는 다음 식과 같다.

$$Outage Rate = \frac{C_{PB_o}}{C_{PB_r}} \times 100\% \quad (3)$$

기존 전기저장장치의 고장률을 산정하기 위한 과정에서 전기저장장치 설비의 구조적 특이성을 정확히 반영하지 못하는 문제점이 있기 때문에 전기저장장치의 정확한 고장률 산정을 위해서는 개선이 필요하다.

III. 전기저장장치 고장률 산정방안

본 장에서는 앞 장에서 기술된 전기저장장치의 구조적 특징과 기존 전기저장장치의 고장률 산정방안을 토대로 개선된 전기저장장치 고장률 산정방안을 제안하였다.

전기저장장치는 FRC 내 PCS와 Battery가 서로 직렬관계의 구조로써 구성되기 때문에 두 설비를 독립적으로 보는 것이 아닌 하나의 설비로써 판단할 수 있다. 따라서 하나만 고장이 발생하여도 개별 단위의 시스템이 정상적인 운전이 불가능하기 때문에 해당 PCS와 Battery의 계획용량시간은 동일하다고 할 수 있다. 이는 앞서 기술된 기존 전기저장장치의 고장률 산정방안에서의 PCS와 Battery의 계획용량시간을 독립적으로 산정하고 합산하여 고장률 산정을 위한 총 계획용량시간을 도출하는 것과 차이점이 있으며, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{cases} C_{P_r} = C_{B_r} \\ C_{PB_r} = C_{P_r} = C_{B_r} \end{cases} \quad (4)$$

위 식과 같이 제안하고자 하는 전기저장장치의 총 계획용량시간인 C_{PB_r} 은 PCS와 Battery를 하나의 설비로 간주하고 도출된 값이 된다. 또한, 해당 PCS와 직렬구조로 연결되어있는 Battery는 독립적인 설비가 아니기 때문에 동일 시간에 두 설비의 고장이 이력 된 경우는 한 번의 고장으로 고려해야한다. 따라서 전기저장장치 설비의 고장시간에서 이를 제외하는 것이 필요하며, 제안하고자 하는 산정방안에서의 전기저장장치 고장용량시간은 다음 식과 같다.

$$C_{PB,o} = (C_{P,o} + C_{B,o}) - C_{OL} \quad (5)$$

C_{OL} 은 PCS와 Battery의 동시고장으로 중복되는 용량시간이며, 이러한 전기저장장치 설비의 구조적 특이성을 고려함으로써 식 (3)에서의 전기저장장치 고장률 산정을 보다 정확하게 산정할 수 있다.

IV. 사례연구

본 사례 연구에서는 기존 전기저장장치의 고장률을 산정하는 방법과 본 논문에서 제안된 전기저장장치 고장률 산정방법을 비교하여 제안하고자 하는 전기저장장치 고장률 산정방법의 유효성을 검증하였다. 이를 위해 고장률 산정대상은 한전의 주파수조정용 전기저장장치 설비의 기본 구성인 PCS 4기, Battery 4기로 구성되어 있는 FRC 1기를 대상으로 하였고 고장률 산정기간은 1년으로 하였다. 이때, 전기저장장치의 운전 데이터는 실제 이력 데이터 부족으로 인해 본 논문의 제안방안을 검증할 수 있는 조건으로 가정하였다. 이는 다음 표 1과 같다.

Table 1. Data list for calculating outage rate of ESS.

표 1. 전기저장장치 고장률 산정을 위한 데이터 목록

FRC# 1				
PCS&Battery	#1	#2	#3	#4
Total Time[h]	8,760	8,760	8,760	8,760
Scheduled Outage Time[h]	288	288	288	288
Reported Period Time[h]	8,472	8,472	8,472	8,472
Overlapped Outage Time[h]	15	35	50	70
Outage Time[h]	200	200	200	200

고장률 산정을 위해 필요한 계획시간을 도출하기 위한 계획정지시간은 12일에 해당되는 288시간으로 가정하였고 PCS# 1-4와 Battery# 1-4의 고장시간은 각 200시간으로 동일하게 가정하였다. 또한, PCS와 Battery가 동시에 고장이 발생된 시간은 각 15, 35, 50, 70시간으로 가정하였다.

표 1을 토대로 기존의 전기저장장치 고장률 산정방법을 적용하여 전기저장장치의 고장률을 도출하였으며, 이는 다음 표 2와 같다.

Table 2. Calculation result of outage rate with the existing method.

표 2. 기존 전기저장장치 고장률 산정방안 적용결과

FRC# 1				
PCS&Battery	#1	#2	#3	#4
Outage Rate[%]	2.361	2.361	2.361	2.361

다음으로, 본 논문에서 제안된 전기저장장치 고장률 산정방법을 적용하여 다음 표 3과 같이 전기저장장치의 고장률을 도출하였다.

Table 3. Calculation result of outage rate with the proposed method.

표 3. 제안된 전기저장장치 고장률 산정방안 적용결과

FRC# 1				
PCS&Battery	#1	#2	#3	#4
Outage Rate[%]	4.544	4.308	4.131	3.895

표 2와 3을 비교해보면 기존의 전기저장장치 고장률 산정방법을 적용할 시, PCS와 Battery를 각각 별도의 설비로 간주하기 때문에 고장률 산정에서의 분모 값인 계획용량시간을 합산함에 따라 고장률이 과소평가될 수 있다. 또한, 두 설비가 동시에 고장이 발생된 시간을 고려치 못하여 동시 고장시간의 증가여부와는 상관없이 고장률이 일정하게 산정됨을 알 수 있다. 반면에 제안된 전기저장장치 고장률 산정방법을 적용할 경우에는 전기저장장치 내 PCS와 Battery의 구조적 특징을 고려하여 하나의 설비로써 간주하고 중복고장을 고려하여 고장시간 산정에서 제외한다. 따라서 각 PCS와 Battery의 고장시간이 동일함에도 중복고장시간을 제외하기 때문에 고장률이 달라진다. 이를 통해 전기저장장치 설비의 정확한 고장률을 산정할 수 있다.

V. 결론

현재 국내 전력계통에서 상용운전 중인 전기저장장치가 주파수조정예비력 자원으로 활용됨에 따라 전기저장장치의 설비용량에 대한 신뢰성 확보가 중요해질 것으로 판단된다. 이를 위해 필요한 지표 중의 하나는 고장률을 고려하는 것이다. 그러나 기존 발전설비와는 상이한 구조적 특징을 가지고 있기 때문에 이를 고려한 고장률 산정방안이 필요하

지만 현재의 고장률 산정방안으로는 전기저장장치의 구조적 특징을 정확히 반영하지 못하는 것으로 판단되고 있다.

본 논문에서는 PCS와 Battery를 각각 별도의 설비로 판단하지 않고 하나의 설비로 간주하고 두 설비의 동시고장시간을 고장시간 산정 시에 제외함으로써 전기저장장치의 구조적 특징이 고려된 고장률 산정방안을 제안하였다.

사례 연구에서는 전기저장장치의 가용용량 기준이 되는 PCS 용량단위로 고장률 산정에 필요한 데이터를 가정하여 기존의 전기저장장치 고장률 산정방법과 본 논문에서 제안된 전기저장장치 고장률 산정방법을 각각 적용 시의 결과를 비교함으로써 제안된 산정방안의 유효성을 확인하였다.

향후, 전기저장장치 설비용량에 대한 신뢰성을 고려하여 가용용량을 결정 할 때, 본 논문에서 제안된 고장률 산정방안을 통해 효과적으로 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

References

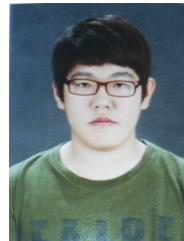
- [1] KPX, *Power System Operations Guide*, Feb. 2018.
- [2] KEPCO, "KEPCO Major Business," <http://home.kepcoco.kr/kepcoco/KE/I/htmlView/KEIBHP001.do?menuCd=FN0102030901>
- [3] MOTIE, *The 8th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand*, 2017.
- [4] W. Y. Choi and K. S. Kook, "Impact Analysis of BESS for Providing Frequency Response in Korean Power System," *7th international conference on Advanced Power System Automation & Protection (APAP 2017)*, 2017.
- [5] H. O. Lim and W. Y. Choi, H. N. Gwon, K. S. Kook, "Effective capacity calculation of the electrical energy storage providing the primary frequency control service based on the contribution to the frequency response of power system," *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 66, 11, pp. 1561-1567, 2017.
DOI: 10.5370/KIEE.2017.66.11.1561
- [6] W. Y. Choi and H N. Gwon, S. H. Song, K. S. Kook, "Frequency Response Performances Analysis

using Cases before and after the Commercial Operation of FR ESS in Korean Power System," *KIEE Power Engineering Society*, pp. 5-7, 2018.

[7] T. H. Jin and M. Chung, K. Y. Shin, H. Park, G. P. Lim, "Real-Time Dynamic Simulation of Korean Power Grid for Frequency Regulation Control by MW Battery Energy Storage System," *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*, 4, 4, pp. 392-407, 2016. DOI: 10.13044/j.sdewes.2016.04.0030

BIOGRAPHY

Seung-Heon Song (Member)



2017 : BS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

2019 : MS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

Woo-Yeong Choi (Member)



2014 : BS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

2016 : MS degree in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

2016~ : Ph.D. student in Electrical Engineering, Chonbuk National University.

Kyung-Soo Kook (Member)



1996 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1998 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2007 : PhD degree in Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.

1998~2004 : Researcher and Senior Researcher, Korea Electro-technology Research Institute (KERI).

2007~2010 : Senior Researcher, Electric Power Research Institute (EPRI).

2010~ : Associate Professor in Electrical Engineering, Chonbuk National University.