

# 마이크로 그리드와 연계되는 ESS 설치 가이드라인에 대한 연구

김홍기<sup>1</sup>, 이일무<sup>1</sup>, 김진용<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>한국전기기술인협회, <sup>2</sup>한국산업기술시험원

## Research on ESS Installation Guidelines Connected to Microgrid

Hong-Gi Kim<sup>1</sup>, Il-Moo Lee<sup>1</sup>, Jin-Yong Kim<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>Koera Electric Engineers Association  
<sup>2</sup>Koera Testing Laboratory

**요약** 국내에서 발생한 에너지저장장치(Energy Storage System) 화재사고에 대해 지난 19년부터 정부는 전기적 충격, 관리 미흡, 설치 부주의 및 통합관리체계 부재, 배터리 제조 문제 등 다양한 원인이 있다고 발표했다. 정부가 발표한 화재사고 원인 중 하나는 관리 문제의 원인이 되는 환경적 요인이다. 환경적 요인으로 인한 사고의 경우, 일반적으로 신재생 연계용으로 사용될 경우 사고 비율이 피크제어용에 비해 약 4.7배나[1] 높다고 한다. 마이크로그리드에 연계되는 ESS는 환경적 요인의 영향을 받기 쉬운 조건에서 운영이 되며, 온도, 습도, 분진 등 외부 환경적 요인으로 인해 사고 발생 비율이 높다고 할 수 있다. ESS를 안정적으로 장기간 운영하기 위해서는 이러한 설치 환경에 대한 주의를 기울일 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 ESS 안전에 영향을 줄 수 있는 주요 환경적 요인을 도출하였으며, 이 중 온도, 분진, 수분이 가장 위해요소가 크다고 판단되었다. 이러한 위해요소를 최소화하기 위해 각 요소별 원인을 분석하고, 그에 따른 설치 요구사항을 도출하여 마이크로그리드에 연계되는 ESS를 안정적으로 설치, 운영하기 위한 가이드라인을 제시하고자 한다.

**Abstract** Regarding fire accidents at energy storage systems in Korea, the government announced several causes since 2019, including electrical shock, poor management, careless installation and lack of an integrated management system, and battery manufacturing problems. One of the causes of fire accidents announced by the government is environmental factors that can cause management problems. In the case of accidents caused by environmental factors, when used for renewable energy connection, the accident rate was approximately 4.7 times higher [1] than when used for peak control. An ESS connected to the microgrid is operated under conditions that are easily influenced by environmental factors, and the accident rate is high because of external environmental factors, such as temperature, humidity, and dust. Therefore, it is necessary to pay attention to the installation environment when operating an ESS stably for an extended period. This study derived the major environmental factors that can affect ESS safety. Among them, temperature, dust, and moisture were the most hazardous. Accordingly, this study analyzed the causes of each element to minimize these hazards, derived the installation requirements, and developed guidelines for stably installing and operating ESS connected to a microgrid.

**Keywords** : ESS, Environment Factor, Temperature, Humidity, Dust

본 논문은 한국에너지기술평가원에서 2021년부터 2024년까지 진행하고 있는 “신재생에너지기반 마을단위 마이크로그리드 실증 기술개발연구의 유형별 과제 성과관리 및 제도개선” 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jin-Yong Kim(Koera Testing Laboratory)

email: jinyong@ktl.re.kr

Received November 1, 2023

Revised December 7, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

## 1. 서론

마이크로그리드는 계통과 연계하여 전력수요 관리 및 제어 가능하고 현장 수용성이 상대적으로 높아 전체 전력수요 및 부하사용 패턴 등에 따라 사용자가 자유롭게 분산전원 및 ESS(Energy Storage System)의 총발전 전력을 제어할 수 있다는 장점을 갖는다[2]. 이처럼 마이크로그리드의 분산전원 활용도를 높이기 위해 ESS가 다양하게 활용되고 있는데, 아이러니하게도 마이크로그리드에 연계된 ESS 설치 및 운영환경은 ESS 안전에 다양한 영향을 줄 수 있다[1]. 지난 몇 년간 국내에서 발생했던 ESS 사고 원인에 대한 정부의 대응 방안 중 하나는 모니터링 강화로, 이상 징후(과전압, 과전류, 누전, 온도 상승 등)가 탐지될 경우 관리자에게 통보하고, 비상 정지되는 시스템을 갖추도록[2] 하고 있다. 또한, ESS 화재 사고조사 결과 보고서에 따르면 그러한 환경적 영향 중 특히 먼지, 수분 등의 조합은 ESS의 안전성에 치명적일 수 있다. 운영환경관리 미흡 및 설치 부주의와 관련된 추정 근거는 ESS 화재 사고 현장 및 그 외 ESS 설치 현장을 방문한 결과 배터리실의 온습도 관리 부실과 결로, 누수, 염해로 인한 부식을 확인할 수 있었으며, 이를 검증하기 위해 배터리 시스템에 수분 및 분진 시험을 한 결과 ESS 내의 배터리 모듈 내에서 화재가 발생하는 것을 확인할 수 있었다[3]. 이와 같은 위험 요소로 인해, ESS가 태양광, 풍력 등 마이크로그리드에 연계되어 설치될 경우 이러한 환경적 요소를 고려하여 ESS의 안전과 성능을 확보할 필요가 있다.

## 2. 환경 요소 분석 및 대책

### 2.1 ESS에 영향을 주는 환경 요소 도출

정부는 ESS 화재사고에 대한 원인 분석 결과, 전기적 충격에 대한 배터리 보호시스템 미흡, 운영환경 미흡, 설치 부주의, ESS 통합제어 보호체계 미흡 등 4가지 요인을 지적하고 대책을 제시하였다[2]. 이 중 운영환경 미흡을 상세히 살펴보면, 배터리실의 온습도 관리 부실, 결로, 누수, 염해로 인한 부식 등의 문제점들이 있었음을 확인할 수 있다[2]. 지금까지의 ESS사고를 살펴보면, 태양광 및 풍력 등 신재생 연계용, 피크 저감용, 주파수 조정용 등 여러 용도의 ESS에서 화재가 발생하였는데, 그 중 태양광 연계형 ESS에서 가장 많이 화재가 발생하였다[2]. 이는 ESS를 설치하고 운영하는데 있어 환경 관리의

중요성을 나타내주는 결과이며, 국내 전체 ESS 중 50.6%가 태양광 연계형 ESS임을 감안하면 ESS 설치 및 운영 시 환경적 요인을 고려하지 않을 수 없다. 이러한 원인과 결과 분석을 기반으로 마이크로그리드에 연계되는 ESS에 영향을 줄 수 있는 환경적 요인을 Table 1과 같이 구분, 분진, 온도, 진동, 바람, 염분, 고도, 전자파 등으로 정리하였다. 이 중 기존 ESS 사고조사 결과와 비교 분석한 결과, 온도, 수분, 분진이 ESS 안전에 가장 치명적으로 작용하였으며, 이 세 가지 원인이 ESS에 미치는 상세한 영향을 분석하고 ESS 설치 및 운영 시 위해도를 최소화 할 수 있는 대책을 마련해 보고자 한다.

Table 1. Environment factors and causes on ESS

Environmental factors	Causes affecting safety and operations in ESS
Temperature	• Failure of air conditioner, failure of HVAC components, fire heat transfer to surrounding batteries or ESS components, etc.
dust	• Dust inflow during ESS operation space design, human carelessness during installation and operation, etc.
humidity	• No HVAC or failure, external high humidity environment, etc.
vibration	• Vibration during ESS movement, transportation, storage, and installation, etc.
wind	• Strong winds that occur when installing an ESS in mountainous or coastal areas
Salt	• Salt generation due to wind flowing into the interior of ESS installed near the seaside, etc.
Altitude	• Installing ESS in high altitude areas
Electromagnetic	• Installing an ESS near surrounding facilities that use high voltage

### 2.2 온도가 ESS에 미치는 영향 분석

ESS 화재사고 결과보고서를 분석한 결과 리튬이온 기반 ESS에서의 온도관리는 중요하다. 일반적으로 ESS의 온도는 컨테이너 내에서 관리되거나 설치되는 건물 내에서 관리되며, 특히 HVAC(Hearing, Ventilation, Air conditioning) 시스템을 활용하여 제조사가 제시하는 스펙 조건으로 온도는 관리되고 있다. 하지만, 지난 ESS 화재사고 조사결과를 분석하면, 산지 및 해안가에 설치된 ESS는 큰 일교차로 인하여 결로와 다량의 먼지 등에 노출되기 쉬운 열악한 환경에서 운영되어 배터리 모듈 내에 결로가 발생[3]하여 화재로 이어지는 경우가 많았다. 이처럼 일교차가 큰 환경에서 ESS가 설치되어 운영될 경우 또는 온도 관리 시스템이 작동이 되지 않거나 부재한 경우, ESS 안전에 영향을 줄 수 있다. 또한 ESS가

고온에 노출되는 상황은, ESS 주변 부품에서 화재가 발생하거나 HVAC 시스템이 부재한 경우에 ESS 배터리 모듈 내부에 열이 누적되어 배터리 내부까지 고온으로 이어질 수 있다. 이러한 온도상승은 리튬이온 배터리의 경우 내부 활성화 에너지를 상승시켜 배터리 내부 발열을 유발하고, 이는 결국 Fig. 1과 같이 분리막을 수축시켜 배터리 내부 단락을 유발하는 화재 메커니즘을 가질 수 있다.

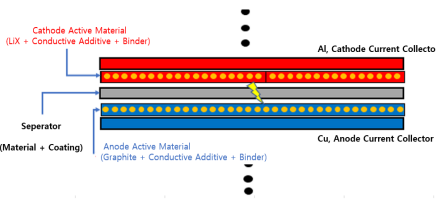


Fig. 1. Internal S/C by Lithium ion battery separator shrinkage

아래 Fig. 2는 배터리 내부 온도 관리가 제대로 되지 않을 경우 배터리 충·방전 사이클에 따른 용량의 차이를 보여주고 있다. 배터리 셀을 대상으로 23°C와 50°C 등 ESS가 고온에 놓일 경우를 가정하여 온도 차이를 두고 600사이클 충·방전을 하였을 때 온도 차이에 따른 용량 변화를 확인할 수 있다. 이는 ESS가 고온 상태로 유지될 경우, ESS의 성능에도 영향을 미칠 수 있음을 보여주고 있다.

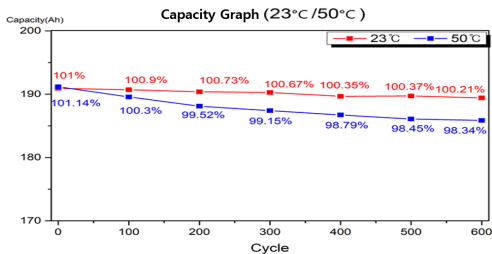


Fig. 2. Battery capacity graph depending on the temperature

ESS 내 HVAC 시스템이 부재할 경우 외부 기온이 떨어지게 되면 ESS는 저온 환경에서 충전을 할 수 있다. 저온 상태에서 ESS가 충전을 할 경우에는 활성화 에너지가 저감하면서 배터리 내부 화학반응 속도가 감소되고, 이는 리튬이온 음극표면에 리튬 석출을 발생시킬 수 있다. 온도 관리가 되지 않은 저온 상태에서 ESS가 지속적으로 충방전하게 되면 리튬이 석출되어[4] 내부 단락을 발생시킬 수 있는 요인이 될 수 있다. 이와 같이 ESS는 제조사가

제시한 온도로 유지되어야 안정적으로 운영할 수 있다.

### 2.3 분진이 ESS에 미치는 영향 분석

지난 ESS 화재사고 원인 분석 보고서에 따르면, ESS 내 분진 유입으로 인한 열악한 상황을 고려한 검증시험을 수행할 정도로 분진을 하나의 중요한 요인으로 판단하기도 했다. 이러한 분진이 ESS 공간내로 침입이 자유로운 상태가 될 경우, ESS 내부 절연파괴 메커니즘을 발생시킬 수 있다. 특히, 분진이 ESS내부에 쌓이면 플로팅된 DC 라인과 외함 간 절연에 문제가 발행할 수 있다. 아래 Fig. 3와 같이 분진에 의해 절연이 파괴되어 1선 지락이 발생할 경우, 이후 2선 지락이 추가로 발생하면, 외부 단락 경로가 형성되고 이는 화재로 이어질 수 있는 위험이 있다.

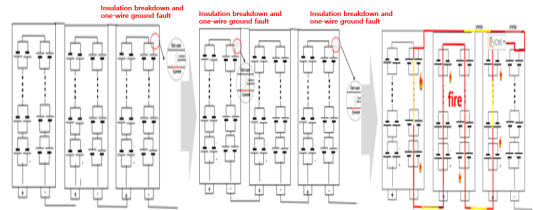


Fig. 3. Mechanism of fire from S/C

### 2.4 수분이 ESS에 미치는 영향 분석

ESS 화재사고 조사결과와 보고서에 따르면 ESS 내의 배터리 모듈 냉각팬에 의해 수분 및 분진이 유입되었을 때 화재가 발생하는 것을 확인[3]할 수 있다. 또한, ESS가 설치된 컨테이너 공조기 주변에 있는 배터리 모듈과 동대에서 절연파괴로 추정되는 용융의 흔적을 찾을 수 있었다[3]. 이와 같이, 수분의 유입은 ESS 내부 절연을 파괴하여 ESS의 안전성을 떨어뜨리며, ESS내 분진 유입의 영향과 유사하게 결국에는 Fig. 3와 같은 메커니즘으로 외부단락 경로를 형성하여 화재의 위험으로 이어질 수 있다.

## 3. ESS 설치 및 운용 가이드라인 대책 수립

### 3.1 온도 영향에 따른 ESS 설치 요구사항

본 절에서는 2절에서 분석한 환경적 영향을 최소화하기 위해 마이크로그리드에 연계된 ESS를 설치 및 운영할 때의 가이드라인을 제시하고자 한다. 우선적으로 ESS는

주변 조건에 따라 고온 또는 저온 상태에 쉽게 노출될 수 있기 때문에, 제조사 권고에 따라 ESS 환경 온도를 유지해야 한다. 배터리 온도 가용범위 유지를 위해서는 배터리 온도 항상성 유지가 중요하며, ESS가 설치되는 공간 내에 HVAC 설치는 필수적이다. HVAC 부재 또는 고장으로 인해 ESS가 설치된 공간내의 온도 항상성 유지가 어려운 경우에는 BMS와 EMS의 공조체제를 유지할 수 있는 시스템을 운영해야 한다. 즉, 온도 변화가 BMS에서 모니터링 되면 ESS 전체를 모니터링 하는 EMS에서 추가적인 위험 발생을 줄이기 위해 시스템 전체를 정지시키는 등 BMS와 EMS 간의 대응체계 구축이 적용되어야 한다. 이러한 대응체계 구축의 필요성은 ESS 화재사고 조사결과와 보고서를 통해 확인할 수 있으며, 국제전기기술위원회에서 발간한 IEC 62933-5-2: 2020 표준 문서의 8.2.6.1 절(Verification of thermal control operation) [5]을 통해 BMS와 EMS 간 대응체계의 적절성을 검증할 수 있다.

### 3.2 분진 영향에 따른 ESS 설치 요구사항

ESS에 대한 분진의 영향은 ESS가 설치된 공간 내 환기 시스템에 필터 설치를 통해 일부 해소할 수 있다. 그럼에도 분진이 ESS 설치 공간에 유입될 경우, 다음 단계로 ESS 배터리 모듈에 사용되는 팬의 회전 방향을 배터리 모듈 내부에서 외부로 공기 흐름이 되도록 유도함으로써 막을 수 있다. 이러한 필터 설치와 공기 흐름 변화로 ESS 배터리 내 분진의 유입을 최소화 할 수 있지만, 근본적으로 분진 유입을 막는데 실패할 경우에는 분진으로 인한 단락 방지 대책이 필요하다. Fig. 4과 같이 ESS의 DC 경로에 IMD (Insulation Monitoring Device) 또는 GFD(Ground Fault Detector)를 설치하여 1선 지락에 대한 모니터링을 강화할 수 있다. 1차 사고조사 보고서에 따르면 현장에서는 지락검출을 위해 교류 측에는 GPT(Ground Potential Transformer), 직류 측에는 IMD를 사용하여 지락을 검출하고 방지해 왔다[3]. 또한,

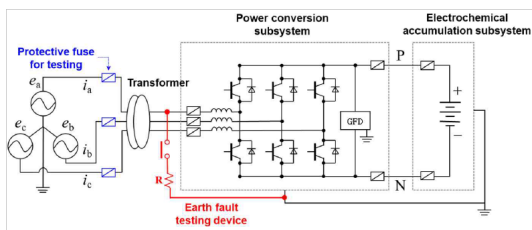


Fig. 4. AC earth fault test

릴레이, 전류 퓨즈 등 보호 소자 설치를 통해 DC 경로를 차단하여 단락을 방지할 수도 있다. 1선 지락에 대한 ESS 안전성 검증은 국제전기기술위원회에서 이미 개발하여 활용되고 있는 IEC 62933-5-2(2020) 또는 현재 개발 중인 IEC 62933-5-4 표준을 통해 검증이 가능하다.

배터리 모듈 간 또는 랙 간에 퓨즈와 같은 보호소자 설치를 통해 단락회로를 차단하는 것도 방법이 될 수 있다. 사고조사 보고서에 따르면 배터리 Rack의 안전성 확인을 위한 외부단락(랙) 시험을 수행하였으며, 시험결과 배터리 랙 퓨즈에 의해 단락전류가 차단되어 별다른 이상 상황이 발생하지 않았다[3]. Fig. 5와 같이 DC 경로에 단락을 발생시킬 경우 퓨즈 설치로 보호가 가능하다.

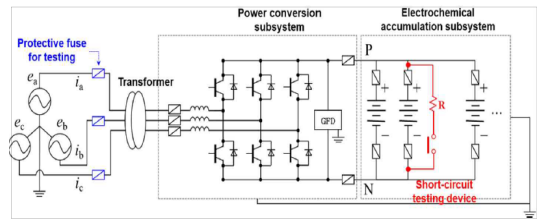


Fig. 5. DC rack S/C test

### 3.3 습도 영향에 따른 ESS 설치 요구사항

ESS에 유입되는 습기에 의한 위험성을 제거하기 위해서는 습도 조절장치 관리가 중요하다. 내·외부 온도 차이에 의한 습도발생은 습도 조절장치 설치를 통해 습도가 미치는 영향을 최소화 할 수 있다. 근본적인 수분 유입을 막는데 실패할 경우에는 수분으로 인한 단락방지 대책이 필요하다. 수분에 의한 화재 메커니즘은 분진과 유사하기 때문에, 분진에 의한 단락 방지와 동일한 방법으로 IMD, GFD를 설치하거나 릴레이 등을 통해 DC 경로 단락을 방지할 수 있다. 이러한 단락은 결국 배터리에 영향을 줄 수 있기 때문에 배터리 모듈 간 또는 랙간에 보호 소자 적용도 습도로부터 ESS를 보호하기 위한 좋은 방법이 될 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 마이크로그리드 보급의 확산과 함께 이에 연계되는 ESS 설치의 안전성 확보를 위한 방안을 제시하고 있다. 다양한 환경 조건 중, 온도, 습도, 분진은 특히 마이크로그리드에 연계되는 ESS가 영향을 받게 되는 주요한 환경적 요소이며, ESS를 설치할 때 반드시 고

려해야 하는 요소들을 알 수 있다.

온도, 습도 및 분진을 억제할 수 있는 방안을 실제 ESS 설치이드라인으로 제시한다면 마이크로그리드 내에서 ESS를 보다 안정적으로 장기간 운영할 수 있을 것이다. 다만 본 논문에서는 ESS의 사용 범위를 마이크로그리드로 한정하였으며, 이에 미치는 영향도 온도, 습도, 분진으로 제한을 두었다. 향후 연구에서 ESS의 사용범위를 주거용, 상업용으로 확대한다면, ESS에 미치는 환경적 요인에 대한 추가적인 도출과 가이드라인 제시가 가능할 것으로 생각된다. 이를 통해 조금 더 안정적인 ESS 운용 방안 제시도 가능할 것으로 생각된다.

## References

- [1] A Case study on fire accidents of ESS for safety improvement, Collection of papers from the academic conference of the Korean Electrical Society, 2020, p.1090-1091.
- [2] A Study on Interoperability between ESS to Improve Power Usage Efficiency of Microgrid, Collection of papers from the Korean Electrical Society's Summer Conference, 2020.7. p1,396 - 1,397
- [3] Study on Analysis of Fire Factor and Development Direction of Standard/safety Requirement to Keep Safety for Energy Storage System (ESS), Journal of the Standard Accreditation Safety Association, 2019, no3, pp.25~49.  
DOI: <https://doi.org/1034139/JSCS.2019.9.3.25>
- [4] A Study on Relationship of Operation Temperature of Li-ion Battery for Safety Enhancement in ESS, Collection of papers from the academic conference of the Korean Electrical Society, 2021, pp1,892~1,893
- [5] IEC 62933-5-2 Ed1.0(2020-04) Electrical energy storage (EES) systems-Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems-Electrochemical-based systems

김 홍 기(Hong-Gi Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 한양대학교 공학대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 2022년 1월 : 드림엔지니어링 대외본부 부장
- 2022년 1월 ~ 현재 : 한국전기기술인협회 연구원

<관심분야>

신재생에너지, 전력계통, 전기안전진단

이 일 무(II-Moo Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2004년 8월 ~ 2009년 1월 : Micro Power 대표
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한국전기기술인협회 연구부원장

<관심분야>

전력계통, 고조파, 전기안전진단

김 진 용(Jin-Yong Kim)

[정회원]



- 2012년 8월 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2005년 10월 : 삼성전자 반도체 사업부 연구원
- 2005년 11월 ~ 현재 : 한국산업기술시험원 수석연구원/센터장

<관심분야>

IEC 국제표준, ESS, 전기설비