



리튬이온배터리 기반 에너지저장시스템의 안전이 고려된 성능 평가 기법에 관한 연구

우필성^{1)*} · 모영규¹⁾ · 황 민¹⁾ · 김영석²⁾

A Study on Safety: Considering a Performance Evaluation Algorithm for an Energy Storage System based on the Lithium-ion Battery

Pil-Sung Woo^{1)*} · Young-Kyu MO¹⁾ · Min Hwang¹⁾ · Young-Seok Kim²⁾

Received 27 October 2025 Revised 12 December 2025 Accepted 15 December 2025 Published online 24 December 2025

ABSTRACT This study proposed an algorithm to evaluate the performance of a lithium-ion battery energy storage system (Li-BESS) while ensuring its safety. To achieve this, it identified safety factors based on domestic Li-BESS fire investigations and analyzed the technical standards and criteria for these safety factors. This study then developed and demonstrated a performance evaluation algorithm that considers safety of the Li-BESS.

Key words Li-BESS(리튬이온배터리 기반 에너지저장시스템), Safety(안전), Evaluation(평가), Standards(표준)

Subscript

Li-BESS : lithium-ion battery energy storage system

PCS : power conversion system

DC : direct current

EMS : energy management system

PMS : power management system

BMS : battery management system

SOC : state of charge

CMV : common mode voltage

IGBT : insulated gate bipolar transistor

PE : protective earth

AC : alternative current

RMS : root mean square

IMD : insulation monitoring device

1. 서론

2024년 12월 기준, 국내 Li-BESS는 10.48GWh(배터리 용량 기준) 설치되었으며, 이 중 재생에너지 연계용이 59.7%, 피크저감용 등 40.3%으로 운용 중이다.^[1] 국내 Li-BESS 산업은 급진적인 성장을 기록하였으나, 2017년도부터 연이은 Li-BESS 화재 사고와 중국의 공격적인 Li-BESS 마케팅 등으로 국내 산업은 침체기이다.

1) Senior Researcher, Electrical Safety Research Institute of Korea Electrical Safety Corporation

2) Chief Researcher, Electrical Safety Research Institute of Korea Electrical Safety Corporation

*Corresponding author: wps@kesco.or.kr

Tel: +82-63-716-2366

Fax: +82-63-716-9660

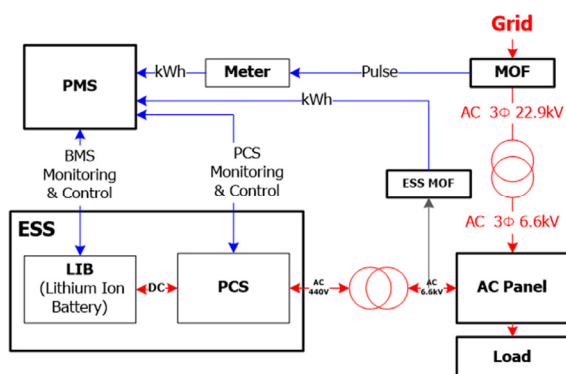


Fig. 1. The concept diagram of Li-BESS equipment and control system^[3]

국내에서 Li-BESS의 주요 구성은 Fig. 1과 같이, Li-배터리, 전력변환시스템(PCS), DC패널, 공조 및 소화 시스템이며, 제어프로그램의 경우, EMS, PMS, BMS가 상호 연동되어 운전(충방전)된다. Li-BESS은 현재 국내의 공통적으로 인클루저(일체형) 타입으로 패키징 기술을 개발하여 경쟁 중이다.^[2] 또한 Li-배터리는 셀-모듈-랙-뱅크(1단위 컨테이너)까지 직렬 연결되어 다양한 용량 설정이 가능하여 에너지산업에 다양하게 활용 중이다. 그러나 셀 하나의 고장은 시스템 전체로 파급되는 위험성 또한 상존한다. 따라서 본 논문에서는 Li-BESS의 안전을 확보하면서 성능을 평가할 수 있는 기법을 제안한다. 이를 위해 국내 Li-BESS 화재조사에 따른 안전 요소를 도출하고, 안전 요소에 대한 기술기준 및 표준을 분석하였다. 이를 바탕으로 Li-BESS의 안전이 고려된 성능 평가 기법을 개발하고 실증하였다.

2. 국내 Li-BESS 화재 조사 기반 안전요소 도출

2024년 12월 기준, 국내 Li-BESS 화재사고는 총 55건이며, 재생에너지연계용 Li-BESS 화재가 41건, 피크저감용 Li-BESS 화재는 12건, 주파수 조정용 Li-BESS 화재가 2건이다. 화재 건수로는 재생에너지연계용 Li-BESS의 비중이 높지만 피해 규모는 피크저감용 Li-BESS가 가장 크다.

2017년 8월의 BESS 화재를 시작으로 2018~2019년 연속적인 화재 발생은 사회적 이슈를 동반하였고, 정부는 민관 합동으로 ESS 화재조사를 시행하였다. 본 조사에서는 ESS 화재가 발생 가능한 원인에 대해 조사-분석-실증을 수행하여 종합적인 결과와 안전대책을 제시하였다. 즉, 전기적 이

상 보호장치 설치에 대한 안전대책으로는 전지 모듈별 퓨즈 설치, 직류와 교류 전로 각각에 서지보호장치 설치, 전력변환시스템(PCS)별 지락보호장치 설치이다. 또한 비상정지장치 설치 및 관리자 경보시스템 구축을 통해 과전압, 과전류, 지락전류, 과충전, 과방전, 온도상승, 통신 불량 등의 고장 발생 시 배터리의 모든 랙을 자동 혹은 수동으로 차단 기능을 보완하였다. 가장 중요한 배터리 과충전 방지 대책으로 충전 상태(SOC)가 만충일 때 추가 충전을 제한하였다.^[4]

이러한 안전대책을 현장 적용 중 추가적인 BESS 화재사고가 발생하였으며, 각 BESS 화재 현장 감식, BESS 제어시스템(BMS, PMS, EMS) 분석, 배터리 해체 분석, 화재현장의 동일 배터리, PCS 모델 기반 실증을 수행하였다. 본 활동을 기반으로 현재 안전대책은 BESS 충전율(옥내 80%, 옥외 90%) 제한 조치, 모든 BESS 사업장에 대해 운영데이터 별도 보관 의무화, 방화벽 설치 등을 추진하였다.^[5] 이러한 민관 합동 ESS 화재조사 활동과 배터리 제조사의 BESS 전용 소화 시스템 개발 및 적용 등으로 Fig. 2와 같



(a) Early-stage BESS fire incidents



(b) Recent BESS fire incidents (since 2023)

Fig. 2. Comparison of Li-BESS fire accidents

Table 1. Safety factors of Li-BESS

Factor	Major Safety Considerations
Temperature & Humidity	Li-batteries are vulnerable to temperature and humidity conditions; therefore, appropriate temperature and humidity control is required at battery handling and installation sites.
CMV	In Li-BESS, CMV characteristics may occur due to various causes such as IGBT switching and switching surges. Rapid voltage change rates and harmonics on the DC side may induce leakage current and communication errors.
Insulation Resistance	As Li-BESS operates with an ungrounded system, it is difficult to detect ground faults when they occur.
SOC	Most domestic Li-BESS fire incidents occurred at a fully charged state; therefore, battery management functions considering idle periods and battery lifetime are required.
Internal Resistance	Most domestic Li-BESS fire incidents occurred at a fully charged state; therefore, battery management functions considering idle periods and battery lifetime are required.
Fuse	Installation location and appropriate rating selection are required to ensure protection of batteries against over-current conditions.

이 초기 BESS 화재는 열폭주 현상으로 인한 전소 현상에서 최근(2023년 이후) 모듈 일부만 소실되는 국소적 화재 현상으로 피해가 최소화되었다.

그러나 ESS 화재조사 관련 전문가들은 온습도, 공통모드전압(CMV), 절연저항, SOC, 내부저항, 퓨즈에 대한 보다 구체적인 연구 및 실증 요구와 동시에 적절한 안전대책 수립이 필요하다고 논의되었다. 이에 Li-BESS에서 실증적 검증이 필요한 안전 요소를 정리하면 Table 1과 같다.

3. Li-BESS 안전요소 관련 국내외 안전기준 및 표준 현황

본 장에서는 제2장에서 도출된 6가지의 안전 요소에 대해 국내외 안전기준과 표준 현황을 다룬다. 국내 Li-BESS에 대한 주요 안전기준은 한국전기설비규정(KEC)이며, 본 규정의 제5장 분산형전원설비에서 하나의 절 개념인 510 전기저장장치에서 다루어지고 있다. 또한 Li-BESS 관련 국제표준(IEC, IEEE 등)은 다양하게 있지만 본 논문에서는 IEC를 중심으로 정리한다. IEC에서 Li-BESS 관련 국

Table 2. Test conditions for the environment of Li-BESS

		Indoor Installation	Outdoor Installation
Environmental Installation Conditions	Maximum Ambient Temperature	≤ 40°C	≤ 40°C
	24-hour Average Temperature	≤ 35°C	≤ 35°C
Test Conditions	Ambient Temperature	25°C	
	Humidity	≤ 95% No condensation	

제표준은 TC21(배터리 분야), TC22(전력전자시스템 분야), TC120(전기에너지저장시스템 분야)에서 주로 다루어지고 있으며, 특히 TC120에서 Li-BESS의 시스템 관점에서 종합적인 안전기술을 개발 중이다.

먼저, Li-BESS의 6개 안전 요소 중 온습도에 대해 다룬다. Li-BESS 시설장소 관한 사항으로 KEC에 따르면 배터리 제조사가 권장하는 온도, 습도 등의 운영환경을 상시 유지하여야 한다고 명시되어 있다. 즉, Li-BESS의 배터리를 운영하는 장소에 대해 국내 제조사 권장 기준은 23±5°C가 일반적이며, Li-배터리 모듈 및 랙은 상대습도 60% 이하의 내부식성을 갖춰야 한다. 국제표준에서는 IEC 62933-2-1, IEC 62933-5-2에서 유사하게 다루고 있으며, 특히 IEC 62933-2-1에서는 Li-BESS의 실내외 설치에 따른 일반적인 환경 조건을 Table 2와 같이 명시하였다.^[6,7]

다음은 CMV에 대한 관련 기술기준 및 표준을 다룬다. CMV에 대한 국제표준은 부재이나, CMV 저감 기술 및 안전성 평가 등의 다양한 선행연구가 수행 중이다. 최성문 등 4인은 PCS용 내부변압기 중성점 접지 방식에 따라 CMV 특성이 다름을 확인하였고, PCS용 내부변압기의 중성점을 비접지로 운용시 CMV 감소를 증명하였다. 뿐만 아니라 CMV 발생 메커니즘(PCS IGBT 스위칭, 정상상태에서의 개폐기, 사고 시 차단기, 뇌격 등)을 정의하고 CMV에 대한 안전성 평가 모델링을 제시하였다.^[8,9] 또한 최용은 등 4인은 ESS를 활용하는 계통에서 부하 변화(100 kW~600 kW)에 따른 공통접지를 통한 누설전류로 CMV 증가와 동시에 AC 계통 전압 왜곡 현상을 확인하였다.^[10] 단체표준인 KSGA-025-5-4와 KEC에서도 CMV에 대해 언급하였다. KEC에서는 이차전지의 절연파괴가 일어나지 않도록 CMV 등을

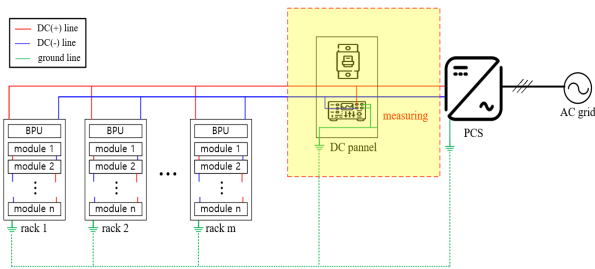


Fig. 3. Example of CMV measurement of Li-BESS

고려한 절연 대책을 강구하여 시설하도록 되어 있고,^[11] KSFA-025-5-4에서는 Li-BESS DC 전로에서의 누설전류(잔류전류) 시험 방법을 표준화하였다. Li-BESS에서 CMV 측정에는 ±1,000V 이상의 전압 범위와 25 MHz 이상의 대역폭을 갖춘 차동 프로브와 오실로스코프 장비가 필요하다. 관련 장비를 활용하여 DC 패널 출력 단자 전압(또는 PCS 출력단)과 보호 접지(PE)와 연결하여 측정한다.

Li-BESS에서 절연저항은 IEC 62933-2-1, IEC 62933-5-2, UL 9540, KEC에서 다룬다. KEC에서는 Li-BESS의 비접지 계통인 상황을 고려하여 절연저항을 감시할 수 있는 장치를 설치하여 제조사가 정하는 절연저항 기준치 이하일 경우 자동으로 전로를 차단하는 기능을 갖추어야 한다.^[11] IEC 62933-2-1에서는 저압의 Li-BESS는 IEC 60364-6에 따라 절연저항시험 및 내전압 시험을 수행해야 한다고 명시되어 있다.^[12] 여기서 절연저항은 충전 도체들 사이, 충전도체와 접지설비에 연결된 보호도체의 절연저항을 측정해야하며, 시험전압 대비 최소 절연저항은 Table 3과 같다. 또한 Li-BESS에서 절연저항 측정 방법은 배터리 회로 개방 후 전로와 대지간 절연치 점검 시에는 입출력 개폐기 개방 후 전로와 대지 간 절연저항을 측정한다. UL 9540에서도 Li-BESS의 절연저항은 1 MΩ 이상을 명시하였다.^[13]

SOC는 IEC 62619, KEC에서 주로 다루고 있다. KEC에서는 제조사가 제시한 정격으로 충방전이 되어야 하며, IEC 62619에서도 제조사에 따라 상한 충전 전압 초과 금지 및 셀의 최대 허용 충전 또는 방전 전류가 초과되지 않도록 설계되어야 한다고 명시되어 있다. 또한 IEC 62933-2-1에

Table 3. Min. insulation resistance for test voltage

Nominal Circuit Voltage	Test Voltage	Minimum Insulation Resistance
Exceeding 500 V	1,000 V	1.0 MΩ

Table 4. Safety standards for Li-BESS safety factors

Safety Factors	Safety Standards
Temperature & Humidity	Battery manufacturer-recommended temperature and humidity conditions shall be maintained as a basic requirement; temperature of $23 \pm 5^\circ\text{C}$ and humidity within 80%.
CMV	Verification is required to confirm whether manufacturer-recommended limits are exceeded; generally, insulation failure is considered when the potential difference between ground and battery exceeds $\pm 1,000\text{ V}$.
Insulation resistance	Minimum insulation resistance of 1 MΩ at a test voltage of 1,000 V.
SOC	Charging voltage exceeding the upper limit is prohibited; maximum allowable charge and discharge current of cells shall not be exceeded.
Internal resistance	Monitoring of trends indicating an increase of 150% or more compared to initial internal resistance, or detection of sudden changes.
Fuse	Automatic interruption function when rated operating conditions are exceeded, serving as a module-level protective device.

서는 듀티사이클 기반 충방전 효율 시험을 표준화하였으며 백투백 시스템을 통해 Li-BESS의 전반적인 성능을 검증할 수 있게 명시하였다^[14].

내부저항은 IEC 61960-3에서 교류, 직류 방식의 Li-배터리 내부저항 측정 방법을 표준화하였다. AC 기반 내부저항 측정은 1 kHz의 주파수로 1~5초 동안 RMS 전류를 흘려 RMS 전압을 측정한다. 이때 교류 전류는 20 mV 미만으로 유지되어야 한다. 다음은 DC 기반 내부저항 측정은 시간 변화에 따른 전류 대비 전압비이다.^[15]

퓨즈는 IEC 62933-5-2에서 전기적 위험으로부터의 보호를 위한 퓨즈 구비를 제시하였다. 또한 KEC에서도 Li-BESS의 정격 운전 범위를 초과하는 경우(과전압, 저전압, 과전류 발생, 제어장치 이상 발생, 이차전지 모듈 내부 온도 상승 등)에 자동으로 전로를 차단하는 보호장치를 시설하도록 명시하였다.

Li-BESS의 6대 안전 요소에 대한 선행연구, 안전기준 및 표준을 근거로 안전기준을 정리하면 Table 4와 같다.

4. Li-BESS의 안전 기반 성능 평가 기법 및 실증

4.1 Li-BESS의 안전요소 기반 성능 평가 기법

Li-BESS의 안전 기반 성능 평가는 본 논문의 제2, 3장

을 바탕으로 Fig. 4와 같이 기법을 개발하였다. 본 기법의 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

Li-BESS 안전 기반 성능 평가의 시작은 Li-BESS 설계 검토에서 시작되며, 설계 단계에서는 모든 전기와 기계 장치에 대한 적정성을 검토하며 주요 설비들에 대한 시험 성적서를 파악한다. 또한 본 단계에서 보호장치(퓨즈 등), 소화, 공조, 배기, 비상정지 시스템 등의 사양 및 기능을 확인한다.

다음으로 Li-BESS의 모든 설비의 성능 확인을 위한 듀티사이클 테스트를 실시한다. 듀티사이클은 국제표준(IEC 62933-2-1)을 참고하여 1개의 시험체(Li-BESS)가 충전-휴지-방전을 수행하는 것으로 정의한다.

다음은 제3장에서 안전기준과 표준 기반으로 분석된 안전 요소에 대한 평가 주기와 방법을 정의한다. 평가 주기는 실시간으로 확인이 필요한 안전 요소와 중장기적 관점에 주기적인 변화율을 파악해야 하는 안전 요소로 구분한다. 실시간은 항상 유지 및 이상 발생 시 긴급성을 의미하고, 주기적인 상태 파악은 주요 설비들의 내구성 및 수명과 관련이 있다. 다만, 주기적인 평가 요소에서도 정해진 편차 이상으로 계측이 된다면 해당 설비에 대한 정밀한 검토가 필요하다.

평가 대상의 Li-BESS의 최대와 최소 SOC 구간을 설정하고 충전-휴지-방전(듀티사이클)을 수행한다. 듀티사이클 동안에 온도, 절연저항, CMV 등의 기준치가 부합하지 확인한다. 다음으로 휴지기에 Li-BESS의 배터리 내부 저항을 측정하여 기록한다. 여기서 내부저항은 기준값이 필요하며 기준값은 제조사가 제시한 셀레벨의 내부저항 값과 Li-BESS에 설치된 모듈레벨의 내부저항 초기 측정치를 정리하여 기준값으로 정의한다. 듀티사이클 중 에러가 발생하면 해당 설비의 시험 성적서부터 재검토 후 본 기법의 절차대로 진행한다. 마지막으로 Li-BESS의 듀티사이클을 통해 안전 요소별 측정 데이터 및 성능 관련 데이터를 기록한다.

평가 대상의 Li-BESS의 최대와 최소 SOC 구간을 설정하고 충전-휴지-방전(듀티사이클)을 수행한다. 듀티사이클 동안에 온도, 절연저항, CMV 등의 기준치가 부합하지 확인한다. 다음으로 휴지기에 Li-BESS의 배터리 내부 저항을 측정하여 기록한다. 여기서 내부저항은 기준값이 필요하며 기준값은 제조사가 제시한 셀레벨의 내부저항 값과 Li-BESS에 설치된 모듈레벨의 내부저항 초기 측정치를 정리하여 기준값으로 정의한다. 듀티사이클 중 에러가 발생하면 해당 설비의 시험 성적서부터 재검토 후 본 기법의 절차대로 진행한다. 마지막으로 Li-BESS의 듀티사이클을 통해 안전 요소별 측정 데이터 및 성능 관련 데이터를 기록한다.

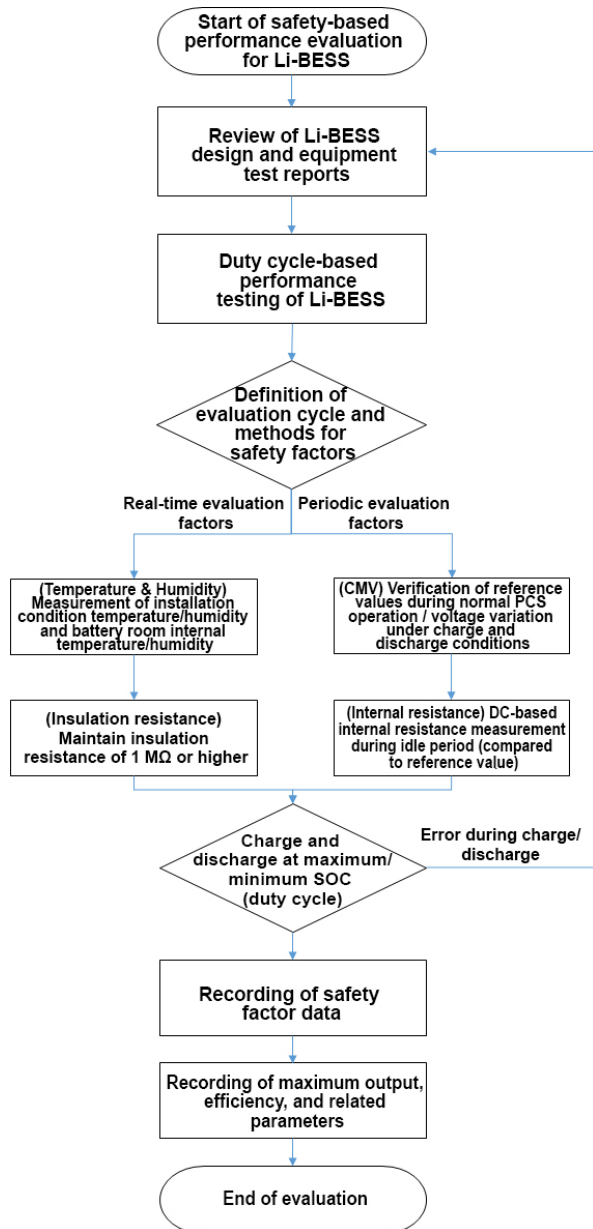


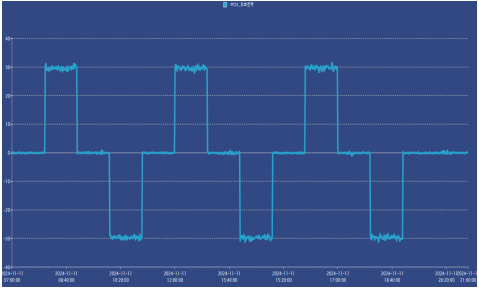
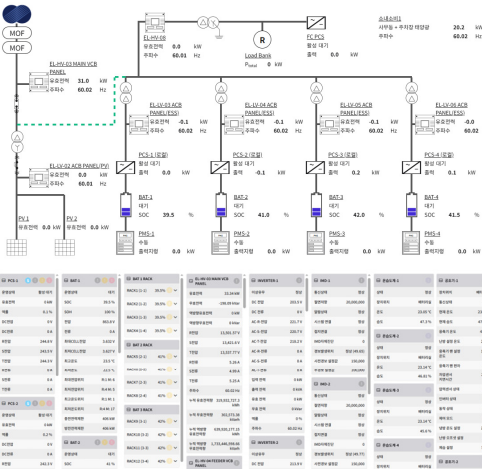
Fig. 4. The performance evaluation process for Li-BESS based on safety factors

4.2 Li-BESS의 안전 요소 기반 성능 평가 실증

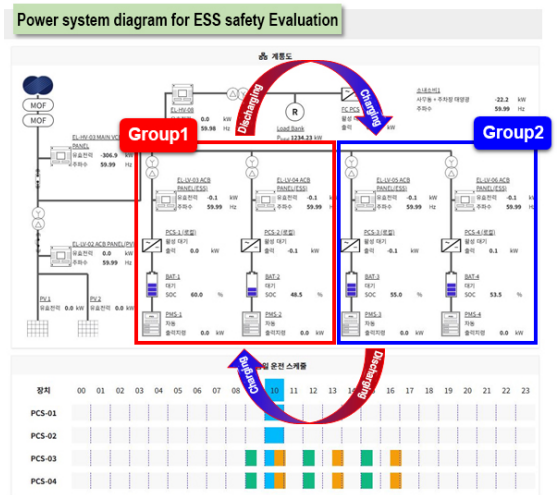
본 논문에서는 제안된 Li-BESS의 안전 요소를 고려한 성능 평가 기법에 대한 실증을 수행하였다. 이를 위해 태양광 발전설비 1 MW와 Li-BESS 1 MWh 4기(총 4 MWh Li-BESS, 배터리 용량 기준)를 백투백 모드로 구축하였다. 본 기법을 위한 설비 계통도와 현장 사진은 Fig. 5와 같다. 또한 2025년 말에 4 MWh급 Li-BESS 실증설비가 추가될 예정이며, 이는 총 8 MWh급 Li-BESS 실증설비가 구축되어 최근 국내 배터리 제조사가 선보인 5 MWh급 규모의 일체형 Li-BESS도 성능 평가할 수 있다.

본 실증설비(1 MW 태양광, 1 MWh급 Li-BESS×4기)를 이용하여 Li-BESS 안전 기반 성능평가 결과는 Table 5와 같다. 실증은 3회 듀티사이클에 SOC 20~80 구간으로 PCS 정격출력 400 kW 기준으로 테스트 하였고, 모든 설

Table 5. Results of performance evaluation for Li-BESS based on safety

Item	Major Results
Temperature & Humidity	Battery room temperature/humidity: 22–23°C / 45–50% Battery temperature Min/Max: 22.5°C / 23.5°C
CMV	Confirmed within manufacturer-recommended range ($\pm 1,000$ V) during duty cycles; voltage fluctuation was greater during charging than discharging.
Insulation Resistance	IMD measurement results confirmed insulation resistance of 1 M Ω or higher throughout duty cycles. Three duty cycles conducted within SOC range of 20–80%; rated charge and discharge operation performed.
SOC	
Internal Resistance	All modules measured between 4.3–4.8 m Ω ; lower modules showed a tendency toward higher resistance (impedance).
Fuse	Installation of battery module fuses confirmed.
Performance	PCS rated output: 400 kW Efficiency: approximately 95% (based on one duty cycle).
Remarks	Safety factor and performance data were recorded. 

비는 국제표준과 기술기준에 제시된 안전기준을 만족하였다. 단 퓨즈의 경우 과전류에 대한 보호장치로 설계 단계에서의 퓨즈 사양과 설치 확인으로 같음한다. 또한 CMV, 절



(a) System configuration diagram of the demonstration facility for safety factor-based performance evaluation of Li-BESS



(b) On-site view of the demonstration facility

Fig. 5. Demonstration facility for performance evaluation of Li-BESS based on safety factors

연저항은 설치되는 현장마다 차이가 있어서 Li-BESS 이 설 시 재확인 필요하다. 본 실증연구는 IEC에서 제안한 듀티사이클(성능 평가 중심)에 국내 ESS 화재조사를 통한 6대 안전 요소를 적용하여 안전과 성능을 동시에 평가하는 프로세스 개발에 의의가 있다고 사료된다.

5. 결론

최근 에너지산업에 안전이 강조되면서 경제성과 안전성 사이에 많은 기술적 평가가 이루어지고 있다. 특히 Li-BESS는 배터리의 원리상 화재 발생 가능성이 있는 설비이며 보증된 수명까지 활용하려면 안전을 필수적으로 고려해야 한다. 이에 본 논문에서는 국내 Li-BESS의 화재조사 결과를

바탕으로 6가지의 안전 요소를 도출하고, 도출된 안전 요소에 대한 국제표준과 안전기준을 분석하여 안전이 고려된 Li-BESS 성능 평가 기법을 개발하고 실증하였다. 본 기법은 현장 적용 중심으로 개발하였으며 최근 ESS 분야 기술 개발 트렌드인 일체형 Li-BESS에도 적용이 가능하다. 본 논문에서는 6가지의 안전 요소에 대해 개별적으로 해석하였으나 향후 연구로는 AI 기술을 적용한 안전 요소와 성능의 상관관계 분석을 통해 성능 평가의 최적화 기술이 필요하다.

감사의 글

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology and Planning (KETEP) and Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20220610100010).

References

- [1] Woo, P.S., 2025, "A Proposal for Safety and Vitalization of BESS Industry", in: KIEE (eds.), "KIEE Magazine", E-Publishing Ins, Korea, pp. 9-13.
- [2] NewDaily, "Samsung SDI to unveil new SBB products at North American exhibition", 2025.09.09., <https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2025/09/09/2025090900064.html>.
- [3] CiKLux, "ESS Overview", Accessed 10 October 2025, http://www.ciklux.com/CiKLux/_ICT/ESS_Introduction.html.
- [4] Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2019, "ESS Fire Cause Investigation Results", The 1st Public-Private Joint ESS Fire Cause Investigation Committee, <https://www.motir.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/161771/view>.
- [5] Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2020, "ESS Fire Cause Investigation Results", The 2nd Public-Private Joint ESS Fire Cause Investigation Committee, <https://www.motir.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/162649/view>.
- [6] International Electrotechnical Commission (IEC), 2017, "Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1: Unit parameters and testing methods - General specification", IEC 62933-2-1:2017, Geneva, Switzerland.
- [7] International Electrotechnical Commission (IEC), 2020, "Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems - Electrochemical-based systems", IEC 62933-5-2:2020, Geneva, Switzerland.
- [8] Choi, S.M., Kim, S.H., Kim, M.Y., and Rho, D.S., 2021, "A Study on Characteristics and Modeling of CMV by Grounding Methods of Transformer for ESS", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, **22**(4), 587-593.
- [9] Choi, S.M., You, H.S., Han, B.G., Kim, M.Y., and Rho, D.S., 2023, "A study on ESS safety evaluation considering CMV", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, **24**(5), 635-646.
- [10] Choi, Y.Y., Oh, H.S., Jang, J.Y., and Kim, J.M., 2023, "CMV Effect Analysis According to Load Variations in Energy Storage System", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, **72**(12), 1768-1774.
- [11] Korea Smart Grid Association (KSGA), 2021, "Safety Requirements of PCS for electrical energy storage system", KSGA-025-14:2021, <https://sgdata.ksga.org/atch/fileDownload.do?atchFileId=FILE00000000000004799&fileSn=2>.
- [12] International Electrotechnical Commission (IEC), 2016, "Low voltage electrical installations - Part 6: Verification", IEC 60364-6:2016, Geneva, Switzerland.
- [13] UL Solutions, "UL 9540A Test Method for Battery Energy Storage Systems (BESS)", Publication 2019, <https://www.ul.com/services/ul-9540a-test-method>.
- [14] International Electrotechnical Commission (IEC), 2022, "Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications", IEC 62619:2022, Geneva, Switzerland.
- [15] International Electrotechnical Commission (IEC), 2017, "Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Secondary lithium cells and batteries for portable applications - Part 3: Prismatic and cylindrical lithium secondary cells and batteries made from them", IEC 61960-3:2017, Geneva, Switzerland.