

# ESS 설치공간의 안전성 검증을 위한 평가지표 개발

김찬수, 김병기, 유경상, 김대진, 윤승진, 남양현  
한국에너지기술연구원 전력시스템연구팀  
e-mail:damulkim@kier.re.kr

## Development of Assessment Indices for Safety Verification of ESS

Chan-Soo Kim, Byung-Ki Kim, Kyung-Sang Ryu, Dae-Jin Kim, Seung-Jin Yoon,  
Yang-Hyun Nam  
Korea Institute of Energy Research

### 요약

최근 ESS 및 EV 화재로 인해 안정성 및 신뢰성 이슈가 부각됨에 따라 관련 산업의 활성화에 악영향을 미치고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 ESS 안전성 확보에 대한 대책이 시급히 요구되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 ESS 시스템 단위에서의 안전성을 저해하는 원인 규명과 안전성 평가기술 개발을 수행하였다. 기존 화재 재연시험 결과를 바탕으로 ESS 안전성 검증을 위한 시스템 단위 화재 메커니즘 및 시나리오 분석을 실시하여 화재사고를 사전에 예방하기 위한 목적으로 안전성 검증을 위한 안전성 평가지표 및 평가법을 분석하고 제시하였다.

### 1. 서론

최근 정부의 저탄소 친환경 사회 전환 정책 추진으로 신재생에너지원의 보급이 급격히 증가하고 있다. 이러한 신재생에너지원의 단점인 간헐적 출력 특성 극복과 전력의 수요-공급 조절을 위한 목적으로 최근 ESS(에너지저장장치) 시장은 확대되고 있으며, 향후 관련 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 또한, 전기차 시장의 급격한 확대에 따라 2030년까지 ESS로 활용 가능한 전기차용 재활용 배터리 공급 규모가 시장 수요를 초과할 것으로 예상되고 있다. 2025년의 ESS 용 LiB 시장은 용량 기준으로 2022년 대비 249.6%인 7만 3,534MWh(73.5GWh), 금액 기준은 2022년 대비 190.2%인 187억 6,400만 달러로 예상된다. 설치 장소·수요 분야별 구성비는 전력계통용이 전체의 60.0%, 주택용은 16.2%, 기업·업무용은 13.2%, 휴대 전화 기지국용은 10.5%를 차지할 것으로 예상되고 있다.

하지만, 최근 ESS 및 EV 화재로 인해 안정성 및 신뢰성 이슈가 국내 시장을 중심으로 부각됨에 따라 관련 산업의 활성화에 악영향을 미치고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 ESS 안전성 확보에 대한 대책이 시급히 요구되고 있는 상황이다. 하지만 정부의 화재사고 조사에도 불구하고 정확한 원인 파악에 어려움이 겪고 있으며, ESS의 상태진단 및 예측 기술 개발을 통한 신뢰성 향상 기술은 개발되고 있으나, 화재 사고 방지를 위한 대책으로는 부족한 상황이다.

이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 단일 배터리뿐만 아니라 시스템 단위에서의 안전성을 저해하는 원인 규명과 안전성 평가기술 개발을 수행하였다. 보다 정확한 화재원인 규명을 위해서는 필드의 운전환경을 고려한 시스템 단위에서의 측정과 시험이 필요하며, 실증시험을 통한 화재발생 메커니즘을 분석하고 안전기준 가이드 제시 및 안전성 평가기술 개발을 통한 시스템 통합 안전관리 장치의 완성이 중요하다. 이러한 연구들을 통해 향후 ESS 안전성 및 신뢰성 확보에 기여할 것으로 판단하고 있다.

### 2. ESS 화재사고 원인분석

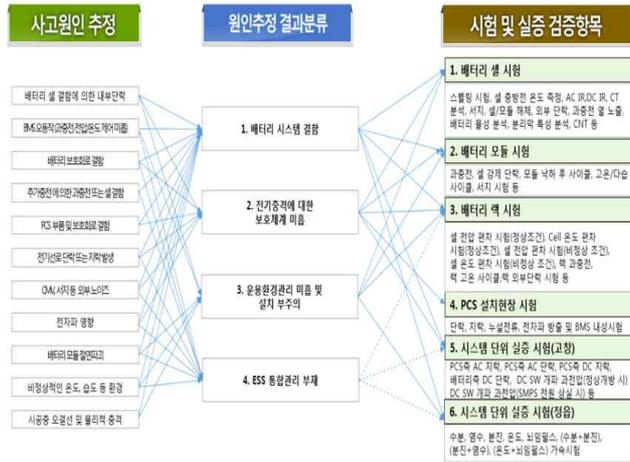
최근 정부에서 발표한 3차까지의 ESS 화재사고 원인조사 결과를 바탕으로 35개소의 화재사례를 분석하였다. 전체 사고건수 중 태양광연계용 ESS 화재가 24건으로 다수를 차지하였으며, 풍력발전용 5건, 주파수조정용 2건, 피크제어용 5건이었다. ESS 화재는 정부의 충전율 제한 권고가 실시되기 전인 2018년(16건)과 2019년(11건)에 집중하여 발생하였다. 사고 유형별로는 만충 후 휴지 상태(24건), 충·방전 중(5건), 설치·시공 중(3건), 수리·점검 중(2건)이 발생하였다. 충전율 90% 이상에서 가장 많은 25건이 발생하였으며, 85~90% 사이(5건), 85% 이하에서도 5건이 발생하였다.

정부의 1차 민관합동 ESS 화재사고 원인조사 위원회에서는 화재원인으로 1) 배터리 시스템 결함, 2) 전기적 충격 요인

에 대한 보호체계 미흡, 3) 운용환경 미흡 및 설치 부주의, 4) 통합보호관리체계 미흡의 4가지 요인을 제시하였다.

2차 사고조사에서는 높은 충전율(95% 이상)과 배터리 이상 현상이 결합되어 화재가 발생한 것으로 추정하였으며, 3차 사고조사에서는 배터리 내부이상으로 원인을 추정하였다.

아래의 그림과 같이 본 연구에서는 정부에서 발표한 35건의 화재사고에 대한 원인 추정 및 유형별로 구분하여 상관관계를 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 시험 및 실증에 필요한 검증항목을 분석하였다.

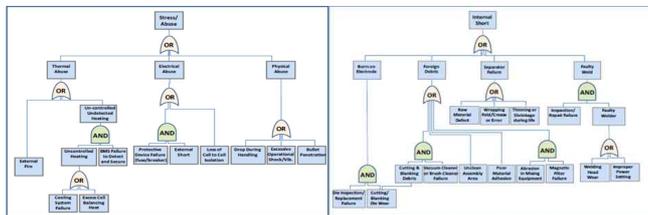


[그림 1] ESS 화재사고 추정 원인별 시험항목

### 3. ESS 화재 메커니즘 및 시나리오 분석

본 연구에서는 기존 화재 재연시험 결과를 바탕으로 ESS 안전성 검증을 위한 시스템 단위 화재 메커니즘 및 시나리오 분석을 실시하였다. 시나리오 분석은 가장 중요한 원인으로 분석되는 Stress/Abuse, Internal short, Overcharge, Thermal runaway의 4가지에 대한 분석을 실시하였으며 결과는 아래의 그림과 같다.

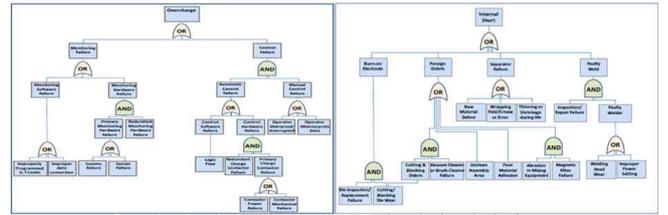
리튬이온전지의 Stress/Abuse는 열적(외부 화재 등), 전기적(절연 파괴, 보호장치 동작 오류 등), 물리적(운반, 외부 충격, 진동, 침투 등) abuse로 구성된다. 내부단락은 전극의 화학, 이물질, 분리막의 고장, 잘못된 용접 등에 의해 발생한다.



[그림 2] Stress/Abuse 및 내부단락에 의한 사고 시나리오

과충전은 감시장치 또는 제어기의 고장에 의해 발생한다. 감시장치의 고장으로는 S/W에서 전지의 전압 및 온도 제한치 설정의 오류, 데이터 변환 오류, H/W의 센서 또는 통신장치 고장 등을 요인으로 분석하였다. 제어기 고장은 논리적 제어 로직 고장 또는 컨택터의 기계/전기적 결합에 의한 H/W

고장에 기인한다. 또한 열폭주는 다양한 유해요인들로부터 Stress/Abuse되거나 내부단락 또는 과충전이 되면 열폭주 현상이 발생하며, 단순히 어느 한가지 요인만으로 열폭주 현상의 방지는 어려운 것으로 분석되었다.



[그림 3] 과충전 및 열폭주에 의한 시나리오

이러한 화재사고 메커니즘 및 시나리오 분석을 바탕으로 정부의 화재사고 원인으로 추정되는 4가지 유형의 문제를 사전에 예방하기 위한 목적으로 안전성 검증을 위한 안전성 평가지표 및 평가법을 분석하고 아래와 같이 제시하였다.

[표 1] ESS 안전성 평가지표

항목	지표
1	의부단락 시험: 단셀 단락시 내부저항 변화 특성지표
2	돌입전류 시험: 돌입전류 유입시 단셀 내부저항 변화 특성지표
3	모듈 외부단락 시험: 모듈 단락시 내부저항 변화 특성지표
4	온도 사이클링 시험: 온도 사이클링에 대한 단셀 내부저항 변화 특성지표
5	과충전 시험: 과충전에 대한 셀 내부저항 변화 특성지표
6	열노출 시험: 열 노출시 셀 내부저항 변화 특성지표
7	항공 운송 후 사이클링 시험: 항공운송 환경변화에 따른 셀 내부저항 변화 특성지표
8	온도별 전처리 후 셀 외부단락 시험: 운영온도에 따른 내부저항 변화 및 단락 특성지표
9	열 전이 시험: 열화생의 전류솔럼 변화 특성지표
10	열화 모듈 시험: 각 모듈의 열화 정도 확인 특성지표
11	셀프 에너지 밸런싱 시험: 시스템의 휴지기간 중 셀프 에너지 밸런싱에 따른 에너지 솔럼
12	Common Mode Voltage 측정 시험: PCS AC측 복권변압기 유무에 따른 CMV 및 누설전류 변화 특성지표, 공통 및 개별 접지 방식에 따른 CMV 및 누설전류 변화 특성지표, PCS CMV 필터 유무에 따른 CMV 및 누설전류 변화 특성지표, CMV 및 누설전류에 따른 셀모듈 내부저항 변화 특성지표

### 4. 결론

본 연구에서는 ESS 시스템 단위에서의 안전성을 저해하는 원인 규명과 안전성 평가기술 개발을 수행하였다. 기존 화재 재연시험 결과를 바탕으로 ESS 안전성 검증을 위한 시스템 단위 화재 메커니즘 및 시나리오 분석을 실시하여 화재사고를 사전에 예방하기 위한 목적으로 안전성 검증을 위한 안전성 평가지표 및 평가법을 분석하고 제시하였다. ESS 시스템 단위에서 화재사고를 예방하기 위한 것으로 ESS 화재로 인한 사회적 손실을 줄이는데 기여할 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- [1] 산업통상자원부, “ESS 화재사고 원인조사 결과, 6월, 2019년.
- [2] 산업통상자원부, “ESS 화재사고 조사결과 보고서, 2월, 2020년.
- [3] 산업통상자원부 보도자료, “제3차 ESS 화재원인 조사단 4곳의 화재사고 조사 결과 발표, 5월, 2020년.