

## 태양광발전 관련 배터리화재 사고 민관합동 ESS 화재사고 원인조사 보고서



- 조사위는 ESS 분야의 학계, 연구소, 시험인증기관 등 **19명의 전문가**로 구성하였으며, **총 23개 사고현장에 대한 조사와 자료분석, 76개 항목의 시험실증\***을 거쳐 **조사결과**를 발표. \* 한국산업기술시험원 등 9개 기관, 약 90명의 인원이 참여
  
- 분석결과, 전체 23건의 화재사고 중 **14건은 충전완료 후 대기중에 발생**하였으며, 6건은 충전과정에서 났고, 설치·시공중에도 3건이 발생한 것을 확인.
  
- 사고원인으로, ①**전기적 충격에 대한 배터리 보호시스템 미흡**, ②**운영환경 관리 미흡**, ③**설치 부주의**, ④**ESS 통합제어·보호체계 미흡** 등 4가지 요인(참고1. 화재사고 원인조사 결과)을 확인하였고,

- 일부 배터리 셀에서 제조상 결함을 발견하였으나, 이러한 결함을 모사한 실증에서 화재가 발생하진 않았다. 다만, 조사위는 제조결함이 있는 배터리가 가혹한 조건에서 장기간 사용되면 위험요소가 될 수 있다고 밝혔다.

## 다. 사고원인 규명을 위한 시험·실증

- 원인 추정내용을 과학적·객관적으로 입증하기 위해 4개 추정원인에 대한 총 76개 시험실증 항목을 설계하고 시험기관, 전기안전공사, 한전 등 9개 기관\*, 약 90명의 인원이 참여하여 ESS 구성품(배터리, PCS) 및 시스템 단위로 시험·실증을 실시하였다.

\* (배터리, PCS) 한국산업기술시험원, 한국기계전기전자시험원, 한국화학융합시험원, 한국건설생활환경시험원, 한국과학기술연구원, 한국세라믹기술원, 한국전기연구원 (시스템) 한국전기안전공사, 한국전력공사

### ① 배터리 시스템 결함

- (해체 분석) 다수의 사고가 동일공장의 비슷한 시기에 생산된 배터리를 사용한 것이 확인됨에 따라 배터리 생산과정의 결함을 확인하기 위한 셀 해체분석을 실시한 결과, 1개社 일부 셀에서 **극판접힘, 절단불량, 활물질 코팅 불량** 등의 제조 결함을 확인하였다.

※ 사고현장의 배터리와 동일 생산공장, 생산시기의 배터리를 수거하여 실시



- 이에, 극판접힘과 절단불량을 모사한 셀을 제작하여 충·방전 반복 시험을 180회 이상을 수행하였으나, 발화로 이어질 수 있는 셀 내부의 단락\*은 발생하지 않았다.

\* 단락 : 전기 양단이 접촉(합선 등)되어 과도한 전류가 흐르는 현상

□ (외부단락) 배터리 안전성을 확인하기 위한 배터리시스템 단락 시험결과, 랙 단락 시험에서 2개社 배터리 보호장치의 직류접촉기가 폭발 또는 용착이 발생하였다.

□ (물성분석 등) 전문가 및 제보 등을 통해 제기된 사항들을 검증하기 위한 셀 구성물질 분석, 셀간 전압과 온도편차를 제어하는 BMS\*의 정상작동여부 확인, 배터리의 완전충전 후 추가 충전에 따른 영향 시험에서는 화재발생 가능요소는 발견되지 않았다.

\* BMS(Battery Management System) : 배터리의 성능과 안전을 제어하는 S/W 및 H/W 통합하여 지칭하는 용어

## ② 전기충격에 대한 보호체계 미흡

□ (직류측 단락) 외부 전기충격 등에서 배터리 보호장치 내 복수 부품이 손상되어 단락되는 현상을 모사한 실증시험 결과, 배터리 랙 보호장치 내에 있는 직류접촉기(DC Contactor)가 폭발하고,

○ 버스바가 파손되어 배터리 랙 보호장치의 외함을 타격하는 2차 단락사고가 발생하여 동시다발적인 화재가 발생하였다.

\* 버스바(Busbar) : 구리로 된 기다란 판으로, 일종의 전선 역할을 수행



□ (PCS 교류측 지락) 전력변환장치(PCS) 내부의 교류측 필터(리액터)가 단화된 흔적에 따라 교류측 전기가 외함에 닿는 지락사고를 모사한 결과, 배터리측에 전기충격이 발생하였다.

\* 지락 : 전로(전선 등)와 대지(접지)간의 절연이 저하되어 전로 또는 기기 외부에 전압·전류가 나타나는 상태

○ 동 시험을 반복 수행한 결과 배터리 랙 보호장치 내의 직류접촉기 절연성능이 떨어질 경우 화재가 발생할 가능성이 확인되었다.

□ (PCS 부품단락) PCS 내부의 스위칭소자\*가 소손되어 PCS 내부의 직류·교류측 양단이 단락되는 고장사고를 가정한 실증 결과, 계통과 배터리측에서 PCS로 유입되는 대전류는 확인되었으나 PCS의 차단기가 작동하여 화재로 이어지지는 않았다.

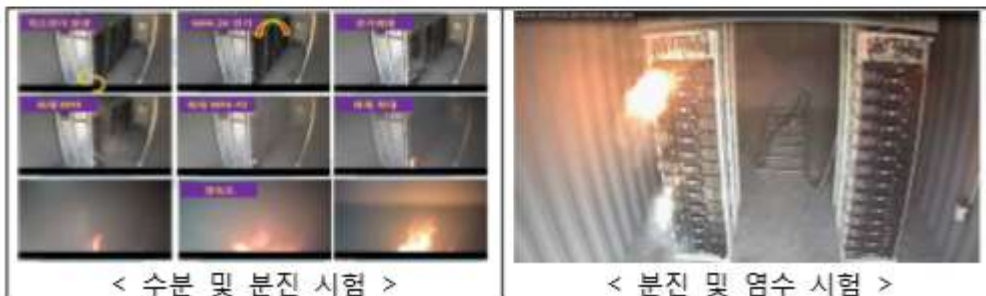
\* 스위칭소자 : 교류를 직류로, 직류를 교류로 바꿔주는 전력반도체

□ (전자파 내성) PCS의 전자파 방출로 배터리시스템의 오작동 여부를 검증하기 위한 시험에서, 다수 제품이 국제기준\* 초과하였으나, 이에 대해 배터리 3社 제품이 충분한 내성을 갖고 있는 것을 확인하였다.

\* CISPR 11 : 산업·과학·의료용기기 전자파 방해 특성

### ③ 운영환경관리 미흡

□ (수분·분진 시험) 공조기 주변에 용융흔적이 발견된 사례 등을 근거로 수분, 분진, 염수 등의 환경을 배터리 시스템에 모사하여 절연성능 저하 가능성을 시험한 결과, 특정社 배터리에서 모듈 내 절연성능이 저하되면서 화재가 발생하였다.



< 수분 및 분진 시험 >

< 분진 및 염수 시험 >

- (온도편차시험 등) 벽면, 통로의 온도편차가 **배터리 모듈내 온도 편차를 발생시키는 사례**(온도편차시험)와 **주변지역에 떨어진 낙뢰가** 암반으로 된 지표면을 통해 배터리실에 유도되어 배터리 보호장치 등에 영향을 미치는 사례(뇌서지)를 검증한 결과 **화재가 유발되지 않았다.**

#### ④ 통합관리체계 부재

- 사고현장조사, 기업면담조사 및 시험실증과정에서 **ESS의 설계와 운영이 배터리·PCS 등 구성품을 하나로 통합하여 시스템 차원에서 관리·보호가 되지 못하는 사실**을 확인하였다.
  - BMS·PMS·EMS간 정보 공유 체계 미비, PCS와 배터리 간 보호 체계 작동순서 부재, PCS 고장수리 후 배터리의 이상 유무 확인 없이 시스템 재가동, 교류와 직류측 지락감지장치 간 충돌 등 여러 현장에서 다수의 통합관리체계 미흡사례를 확인하였다.

### 4. ESS 화재사고 원인조사 결과

- ① **(배터리 보호시스템 미흡)** 전기적 위해요인 중, 지락·단락에 의한 전기충격(과전압/과전류)이 배터리 시스템에 유입될 때, **배터리 보호 체계인 랙 퓨즈가 빠르게 단락전류를 차단하지 못하였고,**
  - 이로 인해 절연 성능이 저하된 직류접촉기가 폭발하여 배터리 보호장치 내에 버스바와 배터리보호장치의 외함에서 2차 단락 사고가 발생하면서 배터리에서 화재가 발생할 수 있음을 확인하였다.
- ② **(운영환경관리 미흡)** 산지 및 해안가에 설치된 ESS의 경우, 큰 일교차로 인한 결로와 다량의 먼지 등에 노출되기 쉬운 열악한 환경에서 운영되어,
  - 배터리 모듈내에 **결로의 생성과 건조가 반복(Dry Band)**되면서 **먼지가 눌러 붙고** 이로 인해 **셀과 모듈 외함간 접지부분에서 절연이 파괴**되고 **화재가 발생할 수 있음**을 확인하였다.

- 한편, 일부社의 배터리 모듈\*은 냉각팬을 사용하는 구조로 **냉각팬이 먼지·수분의 이동경로가 될 수 있다.**

\* 분진에 관한 배터리 관리기준은 존재하나 현장에서 지켜지지 못하는 경우가 다수

③ **(설치 부주의)** 배터리 보관불량, 오결선 등 ESS 설치 부주의시에 화재가 발생할 수 있음을 확인하였다.

④ **(통합보호·관리체계 미흡)** 제작주체가 다른 EMS·PMS·BMS가 SI 업체 주도로 유기적으로 연계·운영되지 못하는 등,

- **ESS가 하나의 통합된 시스템으로 설계·보호되지 못했던 점이** 사고예방, 화재시 전체 시스템으로의 확산 방지 및 원활한 사고 원인 조사 등에 있어서 문제요인임을 확인하였다.

⑤ **일부 배터리셀에서 결함이 발견되었고, 이를 모사한 시험을 했으나 배터리 자체 발화로 이어질 수 있는 셀 내부단락은 발견되지 않았다.**

- 다만, 제조결함이 있는 상황에서 배터리 충방전 범위가 넓고 만충 상태가 지속적으로 유지되는 경우 자체 내부단락으로 인한 화재 발생 가능성이 높아질 수 있다.

첨부: 산자부 조사결과 보고 발표자료

배터리사고, ESS, 사고원인조사, 손해배상, 특별손해, 제조물책임, 관리책임, 민형사소송

T. 02-591-0657 E. [kkh@kasanlaw.com](mailto:kkh@kasanlaw.com) H. [www.kasanlaw.com](http://www.kasanlaw.com)