

KOSHA GUIDE

E - 185 - 2021

리튬 이온 에너지저장장치(Electric
Storage System) 설치 및 유지보수에
관한 기술지침

2021. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : LG화학 전문위원 이윤호

○ 제·개정 경과

- 2021년 10월 전기안전분야 표준제정위원회 심의(제정)

○ 관련 규격 및 자료

- FM Global, FMDS 0533 Electrical Energy Storage Systems, 2020
- NFPA, NFPA 855 Installation of Stationary Energy Storage Systems, 2020
- 소방청, 전기저장시설의 화재안전기준 (NFSC 607) 제정(안), 2020
- 화재보험협회, KFS 412 리튬이온배터리 에너지저장시스템(ESS)의 안전관리 가이드, 2018
- 한국전기안전공사, ESS 전기안전관리자 가이드북
- 한국전기산업진흥회, EESS(전기에너지저장시스템) 설치, 유지보수 및 안전관리 가이드, 2019
- 산업통상자원부, 공공기관 에너지저장장치(ESS) 설치 가이드라인, 2016
- HSE, Using electric storage batteries safely

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 교정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2021년 12월

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

리튬 이온 에너지저장장치(Electric Storage System) 설치 및 유지보수에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제244조 방화조치에 따라 화학 공장 등의 산업시설 내에서 에너지저장장치가 있는 시설의 설치와 설치 후 에너지저장시설에서 발생 가능한 화재 위험성을 제거하기 위해 고압 전기 자체 위험성 외 배터리 화재 사고 예방 및 해당 설비의 피해 최소화와 인접 설비에 영향을 주지 않기 위한 설계 및 유지보수에 대한 기술지침을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 적용 범위

이 지침은 배터리를 기반으로 하는 저장 시스템 (Battery energy storage system, BESS)에 관한 것으로 이하 ‘에너지 저장장치’ 혹은 ‘ESS’는 모두 BESS를 의미하며, 리튬 이온을 사용하는 에너지 저장장치(Energy storage system, ESS)의 설계, 운전, 방호, 검사, 설비보존 등에 적용한다. 에너지 저장장치는 옥외에 단독, 독립 건축물 또는 기존 건축물의 부속실에 설치할 수 있다. 에너지저장장치는 배터리, 배터리 충전시설, 배터리 관리시스템, 온도 조절 장치와 관련 부속설비를 모두 포함한다.

이 지침은 다음과 같은 전기저장시설에는 적용하지 않는다. 또한, 비리튬 이온 관련 배터리, 배터리 충전시설, 배터리 관리시스템, 온도 조절장치와 관련 부속설비도 포함하지 않는다.

- (1) 리튬 이온 배터리로 구성되었지만, 용량은 20 kWh, 72 MJ 미만인 시설
- (2) 90일 이상 일정 지역에서 고정적으로 설치되지 않는 이동식 ESS

3. 용어의 정의

- (1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “배터리 관리 시스템(Battery management system, BMS)”이라 함은 배터리 팩의 기본 기능이 안전하게 운전되도록 관리하고, 유사시 안전하게 조치가 되도록 확인하는 전체 관리 시스템을 말하며, 이하 BMS로 칭한다.
- (나) “전력 변환 시스템 (Power conditioning system, PCS)”이라 함은 전력을 전달받아 배터리에 저장하거나 전력 계통으로 송전하기 위해 전기의 특성(주파수, 전압, AC/DC)을 변환해주는 시스템을 말하며, 이하 PCS로 칭한다.
- (다) “전력 관리 시스템(Energy management system, EMS)”이라 함은 에너지저장장치를 효율적, 경제적으로 운영할 수 있도록 배터리와 PCS를 제어하는 시스템을 말하며, 이하 EMS로 칭한다.
- (라) “셀(Cell)”이라 함은 전기를 저장하는 가장 작은 전기화학적 구성요소를 말한다.
- (마) “모듈(Module)”이라 함은 직렬 또는 병렬 연결된 셀의 조합을 말하며, BMS 내부의 셀을 제어하며, 시스템 BMS와 통신 시 더 작은 버전의 BMS를 사용할 수도 있다.
- (바) “랙(Rack)”이라 함은 다수 모듈들로 구성되어 전형적으로 인버터/충전기에 연결된 높은 DC 전압을 생산하기 위해 조합한 것으로 유사 시 랙을 차단하기 위한 전환 부품들(회로 차단기, 절연체 및 접촉기)을 포함한다.
- (사) “에너지저장장치(Energy storage system, ESS)”라 함은 생산된 전기를 전력 계통에 저장했다가 전기가 가장 필요한 시기에 공급해 에너지 효율을 높이는 것으로 일반적으로 필요 시 전기 에너지를 저장 및 재사용할 수 있는 시스템을 말하며 이하 ESS로 칭한다. ESS는 에너지를 저장할 수 있는 배터리 랙, 배터리를 안전하게 운영하는 BMS, 전력을 변환해주는 PCS, ESS를 효율적, 경제적으로 운영하는 PCS를 제어하는 EMS로 구성되어 있다.
- (아) “ESS 단독설비 또는 옥외형 에너지저장장치 설비 ”라 함은 50 m² 미만보다 작은 ESS가 설치된 단독공간이다. 전형적으로 ISO 컨테이너 또는 유사한 크기로 만들어진 선(先) 조립된 구조물을 말한다.
- (자) “열 폭주(Thermal runaway)”라 함은 전기화학 셀이 제어되지 않은 속도로 자체 발열하여 온도가 상승하는 조건을 가지고 있으면서 셀의 발열이 자연 저감되는 수준보다 더 높은 온도가 발생하면 잠재적으로 화재·폭발이 발생하는 현상을 말한다.

- (차) “제조사”라 함은 ESS 내 설치되는 배터리를 제조하는 자를 말한다.
- (카) “조립사(Integrator)”라 함은 제작된 배터리를 기본으로 ESS를 구성하는 모든 부품들을 조립하여 제공하는 자를 말한다.
- (타) “운영사”라 함은 ESS를 구매, 대여 등으로 해당 사업장에 ESS를 설치하여 운영하는 자를 말한다. 설비 설치 후 기술지원은 제조사 또는 조립사를 통해 공급 받는다.
- (2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정의하는 바에 따른다.

4. ESS 위험요인

4.1 발생 가능 위험성

(1) 열폭주 (Thermal runaway)

- (가) 셀에서 내부 셀 결함, 기계적 손상의 원인인 기계적 결함(e.g. 진동 또는 팽창 수축 사이클), 외부 열원, 과전압 충전, 또는 BMS 또는 셀 제어장치의 고장 등에 의한 내부 단락 등으로 인해 열폭주가 발생할 수 있다.
- (나) 열폭주는 잠재적으로 배터리 셀 화재와 전해액에서 폭발을 일으키는 고온의 대량 인화성 기체를 형성할 수 있다.
- (다) 현재까지 ESS에 효과적인 방재 시스템은 정확히 확인된 것은 없으나, 해외문헌에 따라 자동식 스프링클러 시스템이 인접 구조물, 장비, 그리고 건축물의 화재 확산을 방지하는 최선의 설비로 추천되고 있다. 단, 국내 법규에 따른 적용은 이 기술지침에서 포함하지 않는다.
- (라) 열폭주 동안 셀은 셀 내부 또는 ESS가 위치한 실내에 인화성 기체를 배출한다. 일반적으로 ESS 제조사들은 이러한 기체를 대기 벤트 시스템을 통해 외부로 배출하도록 설계한다. 단, 이 벤트의 막힘 현상 등으로 기체 배출시 장애가 될 수 있으므로 상시 관리가 필요하다.
- (마) 최초 열폭주에 의한 고온의 기체가 인접 셀에 영향을 주면서, 연속적으로 다른

셀에도 열폭주를 일으킬 수 있다. 따라서, 전기 회로 분리 등으로 신속하게 대응하지 못하면 열폭주의 단계적 확산은 전체 ESS에 심각한 손상을 줄 수 있다.

(바) 단, 현재까지 ESS 화재에 대한 할로젠 화합물 소화설비 효과는 확인되지 않았다. 할로젠 화합물 소화설비는 불활성 또는 화재에 대한 부족매 효과가 있지만, 일정 시간 지속되어야 하므로 지속 시간은 일반적으로 10분 정도로 ESS 화재 또는 인접 모듈이나 랙에 확대되는 열 폭주를 제어하기에는 부족한 것으로 확인되었다.

(사) 일반 전기 시스템과 동일하게, 전기 화재가 발생 가능하고, 국부적인 단락 등으로 인한 과열 현상으로 열폭주를 일으킬 수 있다.

(아) 단, 리튬 배터리와 달리, 리튬 이온 배터리는 물과 반응하지 않는다.

(2) 독성 또는 인화성 기체 배출

(가) ESS는 충·방전 및 사용 시 해당 공간에 독성 또는 인화성 기체가 LC50이나 LEL 25 % 와 같은 허용 농도 이상으로 방출해서는 안된다.

(나) 만일 셀 등에서 허용 농도 이상의 독성 또는 인화성 기체가 배출될 가능성이 있으면 제품 선정 단계에서 제조사 또는 제품을 변경해야 한다.

(다) 열폭주로 인한 화재 발생 시에는 셀의 전해액 등에서 독성이나 인화성 기체가 발생할 수 있으므로 이를 안전하게 배출할 수 있는 설비를 8.3 항에 따라 설치해야 한다.

(3) 재발화

(가) 재발화는 최초 열폭주 등의 화재가 진압된 뒤에도 일정 시간 경과 후 다시 불꽃을 내면서 연소가 시작되는 것이다.

(나) 배터리 랙은 화재 발생 후 초기 화염으로 인해 인접 모듈에서 전도열 또는 복사열로 열적 손상을 받아 다시 열폭주가 시작되어 발화될 수 있다.

4.2 ESS 고장 예시

(1) 단일 셀, 모듈, 랙, 유닛에서 열폭주 발생

(2) ESS 관리 시스템 (BMS, PCS, EMS) 고장

- (3) 강제환기 또는 배출 시스템 고장
- (4) 연기 감지기, 화재 감지기, 소화 설비 또는 가스 감지기의 고장
- (5) 연결 케이블 또는 전기 패널 내부 고온 현상에 의한 화재

5. ESS 사전 검토 시 고려 사항

5.1 ESS 제조사 및 조립사 선정

- (1) 셀 종류, 셀 형태, 배터리 관리 시스템(BMS) 등 ESS 설계를 수행하는 제조사 및 조립사(Integrator)가 함께 안전 및 품질이 전반적으로 적정한지 검토해야 한다. 셀/ESS는 ESS 최종 소유자의 충/방전 요구 속도에 따라 선정될 수 있다.
- (2) 특히, 최초 설치된 기존 ESS에 추가 및 변경되는 시스템일 경우에는 기존 시스템과 호환성(Compatibility)이 있는 배터리, BMS/PCS/EMS 부품들 또는 이외 기존 시스템 요구에 적정한 대체품의 확인을 사업장 변경관리 절차에 따라 수행해야 한다.
- (3) 재활용품이나 사용된 ESS 부품들은 셀과 모듈을 포함하여 사용하지 않는 것이 원칙이지만, 발생 가능한 위험성을 제어하는 추가 안전조치를 취하거나, ESS 화재 등으로 확산되는 위험성이 낮은 것으로 확인된 경우에는 검증된 재활용품을 한정적으로 사용할 수 있다.

5.2 ESS 설계 시 고려사항

- (1) ESS가 설치되는 공간 또는 지역의 배치
- (2) ESS 설비의 불연성 재질 사용
- (3) ESS 수량 및 종류
- (4) ESS 제조사, 조립사의 제품 명세서, 화재 이력, 기타 특이사항
- (5) ESS 관리 시스템과 운전 관련 설명서
- (6) ESS 부착 필요한 표지의 위치 및 내용

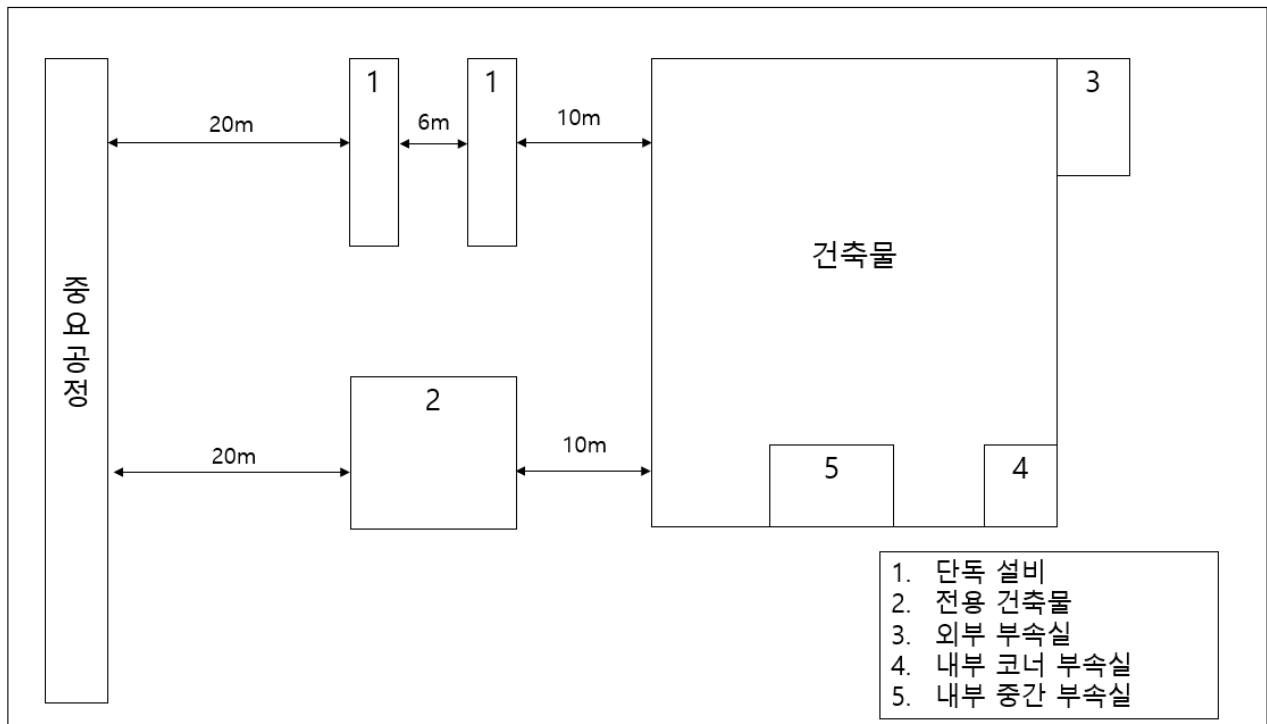
- (7) 방재 설비, 연기 및 화재 감지기, 가스감지기, 온도 관리 시스템, 환기/배출 시설, 폭연 방출구 시스템에 대한 상세 내용
- (8) 내진 설계 반영
- (9) 하나의 ESS를 소화용(비상용)과 상용으로 겸하여 사용은 제한(즉, 비상용 또는 소화용은 상용과 구분하여 설치)
- (10) 전기 충/방전 시스템의 국내 법규 준수 사항

6. ESS 설치 형태 및 이격거리

6.1 ESS 형태에 따른 이격거리

이격거리는 FMDS0533 및 산업안전보건기준에 관한 규칙 [별표8]을 준용하여 적용한다.

- (1) 외부 단독설비와 중요 건축물과 설비는 <그림 1>의 위치 1에 따라 이격한다.
- (2) ESS만 있는 단독 건물과 관련 지원 장비들은 <그림 1>의 위치 2에 따라 이격한다.
- (3) 전용 외부 부속실은 방재 설비 운용과 소화활동이 가능하도록 <그림 1>의 위치 3에 따른다. ESS 화재 특성상 장기 방재 활동 가능성 및 영향이 가능한바 소화활동 시 충분한 공간이 확보되어야 한다.
- (4) 전용실로 건물의 코너에 위치한 부속실은 방재 설비 운용과 소화활동이 가능하도록 <그림 1>의 위치 4에 따른다.
- (5) 전용 내부 부속실은 방재 설비 운영이 가능하도록, <그림 1>의 위치 5에 따른다.
- (6) 랙 내부 등 각 ESS 내부 이격거리는 원활한 소화 활동이 가능하도록 설정해야 한다.
- (7) 단, 해당 이격거리를 적용하지 못할 경우에는 화재 위험성 및 소화활동 적정성에 대해 위험성 평가 후 8항 피해 저감시설과 불연재 등의 추가 사용으로 대체할 수 있다.



<그림 1> ESS 이격거리

6.2 ESS 단독 설비

- (1) 폭발위험지역에 위치한 경우에는 KOSHA Guide D-98(변전실 등의 양압유지에 관한 기술지침)에 따라 양압을 적용하거나, 비폭발위험 지역에 설치해야 하며, 폭발위험지역에 설치되는 배선, 스위치 등은 KOSHA Guide E-172(폭발위험장소에 사용하는 전기설비 설계, 선정 및 설치에 관한 기술지침)에 따라 적용하여 설치해야 한다.
- (2) 불연재 벽을 가진 ESS 단독 설비는 인접 ESS 단독 설비와 최소 6 m 이격한다.
- (3) 만일 ESS 단독 설비들의 이격 거리가 6 m 미만이라면, ESS 내부 또는 외부에 1 시간 이상 내화가 가능한 방화벽을 KOSHA Guide P-25(화재방지를 위한 방화벽 및 방화방벽 설치에 관한 기술지침)에 따라 설치한다.
- (4) ESS 단독 설비의 벤트 또는 개구부들이 있다면, 주위의 설비와 건축물의 외부로 영향을 주지 않고 안전하게 배출될 수 있도록 설치한다. 화재 시에는 이러한 단독 설비의 벤트 또는 개방구들로부터 인화성 물질이 배출되면서 인접 설비 또는 건축물에 영향을 줄 수 있다. 개구부들은 전기 케이블 덕트, 출입문 HVAC 설비 이동로 등이 포함된다.

6.3 50 m² 이상 ESS 전용 건축물

50 m² 이상 면적을 가진 이동식 컨테이너 또는 단독설비는 전용 건축물로 적용한다.

- (1) 불연재 재질의 건축물로 건설한다.
- (2) ESS 전용 건축물과 인접 건축물 또는 중요 공정이나 설비는 산업안전보건기준에 관한규칙 별표8 4번 항목에 따라 최소 20 m를 이격한다.
- (3) 건축물 내 방재설비는 건축물 관련 국내 법규를 추가로 적용한다.
- (4) 바닥 면적당 최소 0.3 m³/min/m²으로 강제환기를 적용한다.
- (5) 단일 부품 고장 시에도 운전 한계 내에서 온도가 유지될 수 있도록 HVAC 시스템을 설계한다.
- (6) 만일 HVAC 시스템의 고장으로 온도 조절이 제어되지 않으면 항상 운전 인력이 상주하는 지역(조정실 등) 또는 담당자들에게 바로 알람이 인지될 수 있도록 설계해야 한다.

6.4 건축물 내 ESS 부속실

- (1) 단일 또는 맞대어 있도록 설치된 다중으로 구성된 랙은 불연재 화재 차단벽을 각 인접 랙 사이에 설치한다.
- (2) 각 실내 벽, 천장, 바닥은 1시간 이상 내화 성능을 가지도록 한다.
- (3) ESS 부속실 내부는 바닥면적 기준 최소 0.3 m³/min/m²로 강제환기가 이루어지도록 한다.
- (4) 건축물 내부 이격거리는 다음과 같이 적용한다.
 - (가) 인접한 복도면 사이는 불연재 재질 벽 설치와 함께 1.8 m 이상 이격한다.
 - (나) 인화성 재질로 벽등이 건축된 경우에는 2.7 m 이상 이격한다.
 - (다) 전력 케이블 트레이, 전기 패널 및 변압기는 고온 발생 및 화재 위험성이 발생하지 않도록 충분히 이격거리를 유지해야 한다.

7. ESS 안전 설계

7.1 전력시스템 보호

- (1) ESS에서 기존 전력 시스템에 전력을 공급할 때 기존 차단기에 대한 적절한 등급 및 기존 계통을 보호할 수 없는 보호 계전기에 대한 신뢰성을 유지하기 위해 전기 설비 설치시에는 KOSHA Guide E-85(전기설비 설치상의 안전에 관한 기술지침)을 따라 적용한다.
- (2) 기타 전기 단락 등으로 인한 전기 화재 발생 가능성은 제거해야 한다.

7.2 ESS 설치 및 연결

- (1) 각 랙에는 설비 보수 또는 사고 조치를 위한 차단기를 설치해야 한다.
- (2) ESS는 수동, 원거리, 근거리에서 차단기 제어가 가능하도록 차단 장비를 설치해야 한다. 원거리 차단은 ESS의 상태를 상시 모니터링할 수 있는 접근 가능한 장소에 설치해야 한다. 근거리 차단은 ESS 장비에 인접하여 설치해야 한다.
- (3) ESS 단독설비, 건축물 또는 부속실에 고온 발생을 알려줄 수 있는 온도 모니터링 시스템을 설치해야 한다. 온도 모니터링 및 알람은 상시 모니터링할 수 있는 인력이 상주하는 지역이나 ESS 담당 전문 인력에게 연결되어야 한다.

7.3 ESS 랙

- (1) DC 선택지락 계전기는 반드시 설치해야 한다. 그리고 비접지 시스템에서는 계전기가 알람 기능을 갖추어야 한다. 알람은 상시 모니터링할 수 있는 인력이 상주하는 지역이나, ESS 담당 전문인력에게 연결되는 시스템을 구축해야 한다.
- (2) 과부하와 단락 고장에 대비한 과전류 보호 계전기를 설치한다.
- (3) 과충·방전에 대비한 과전압·저전압 계전기를 설치한다.

7.4 BMS 안전 설계

- (1) 고온 감지 및 정지(셀): 이 기능은 초과 한계 이상의 셀 온도를 감지할 때 모듈 또는 배터리 랙의 전력을 차단하는 것이다. 일반적으로 랙 내에서 하드 와이어로 연결된 모듈을 가지고 있다. 따라서, 차단되는 가장 작은 단위 유닛은 일반적으로 랙이다. 설계에서 포함 시 모듈까지 차단하는 것도 가능하다.
- (2) 열폭주 트립(셀): 셀의 열 폭주가 발생시 이를 감지하여 전체 시스템을 가동정지하는 것이다. 열 폭주 시나리오는 ESS에서 열폭주가 감지될 때 첫 번째로 활성화되는 것이다. 이는 BMS/PCS와 연계하여 운영할 때 가장 중요한 기능이다.
- (3) 랙 스위치 페일 투 트립(Fail to trip)(랙): 만일 트립 커맨드(Trip command)에 의한 PCS 등의 트립이 실패할 경우 ESS를 차단하는 상위 차단기의 트립 커맨드가 가동될 수 있다.
 - (가) ‘관리자 모드’ 제어 시스템은 랙을 포함하여, 지원 시스템과 충/방전 현상을 제어할 수 있어야 한다.
 - (나) ‘관리자 모드’에서 PCS 등이 요구된 신호를 가동 정지 신호로 적용하지 못하거나 PCS 등과 관리자 모드 제어의 통신이 원활하지 않는다면 ESS는 가동 정지되어야 한다.

7.5 온라인 모니터링(Online condition monitoring)

- (1) 배터리 모듈과/또는 셀의 배터리실 온도와 같이 다음과 같은 매개변수들을 모니터링해야 한다.
 - (가) 충/방전 전압과 전류
 - (나) 셀 온도
 - (다) 내부 저항
 - (라) 배터리 용량
 - (마) 충전 상태(State of charge, SOC)
 - (바) 배터리 수명 상태(State of health, SOH)
 - (사) 경고 또는 고장 로그
- (2) 온라인 모니터링 시스템은 다음의 조건을 포함해야 한다.

- (가) 데이터는 상시 작업자가 상주하는 조정실 등과 같은 지역 또는 ESS를 전용으로 담당하는 직원들에게 전달되어야 한다.
- (나) 비정상 조건이 감지될 때 알람을 상시 실시간으로 제공해야 한다.
- (다) 모니터링된 매개변수들을 분석하고 배터리 상태를 요약하여 데이터를 생성해야 한다.
- (라) 전압, 온도 그리고 전류 등으로 신뢰성있는 리튬 이온 배터리 운전을 유지하기 위한 중요 매개변수에 승인되지 않은 변경이 없도록 보안을 유지한다.
- (마) 자체 진단 능력으로 상시 시스템의 건전성을 확보해야 한다.

7.6 전력 변환 장비(Power conversion system, PCS)

- (1) AC 측에 과부하와 단락 발생 시 계통 보호를 위한 보호계전기를 설치한다.
- (2) 과전압 현상인 “전압 스파이크” 예방을 위해 AC 측에 써지 어레스터(Surge arrester)를 설치한다. 과전압 예방을 위한 추가적인 보완이 가능한 경우 필요 추가한다.
- (3) 변압기에 대한 보호 조치는 KOSHA Guide E-78(전기공급장소의 주변압기 화재 예방 등에 관한 기술지침), E-97(석유화학공장의 전기설비 설치에 관한 기술지침)을 참조하여 실시해야 한다.

7.7 강제환기 및 가스감지기 운영

- (1) 천장이나 인접 위치에 강제환기 시스템을 설치하고 바닥면적 기준 최소 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 이상으로 환기가 되도록 한다.
- (2) 가스감지기는 연동하여 인화성 기체의 존재시 알람을 주고, ESS 가동정지를 하며 강제환기 시스템으로 실내 공기를 안전하게 배출할 수 있도록 설치한다.
- (3) 강제환기 시스템은 상시 운영 또는 가스 감지기가 감지할 경우에 연동하여 가동할 수 있도록 설치하며, 이를 통해 ESS 내부에는 LEL 25 % 미만으로 실내 공기가 유지될 수 있도록 한다.
- (4) 강제환기 시스템에 연동되는 가스감지기는 BMS에 있는 ESS의 랙 가동정지 인터

록에 연동된 가스감지기로 적용할 필요는 없다.

- (5) 공기 유입구, 출입문 그리고 기타 개구부로부터 공기를 유입하여 송풍기, 팬과 외부로 연결된 덕트 등을 통해 내부 공기를 외부로 배출하여 제거할 수 있도록 한다.
- (6) 덕트는 불연재로 제작한다.
- (7) 배출된 기체의 재유입을 방지하기 위해 배출구로부터 원거리에 위치한 외부에서 오염되지 않은 공기가 유입이 되도록 유입구를 설치한다.
- (8) 가스감지기는 인화성 기체가 덕트에서 감지될 때 내부 순환을 중지하고 전체 환기로 외부에 내부 공기를 배출하고, 이외에는 내부 공기를 순환하여 실내 온도를 유지할 수 있다.
- (9) 가스감지기는 비상전원에 연결하여 최소 2시간 이상 유지될 수 있도록 한다.
- (10) 환기시스템의 알람은 온라인 모니터링 시스템을 통해 운전원이 있는 조정실과 같은 지역이나 ESS를 담당하는 직원에게 연결되어야 한다.

8. 피해 저감시설

8.1 소화 설비

- (1) 자동식 스프링클러는 실내 면적이 230 m^2 이상인 경우 12.2 LPM/m^2 (12.2 mm/min) 으로 방출되도록 하며, 이보다 면적이 큰 경우에는 호스릴로 946 LPM (L/min) 유량을 추가하며, 화재가 완전히 진화될 때까지 지속할 수 있도록 최소 수원을 30분 이상 확보해야 한다.
- (2) 적정 수원은 스프링클러와 호스릴로 용수가 공급될 수 있는 충분한 용수량을 산정하여 확인한다. 30분 초과 예상 시간은 단일 화재 방호지역 내 랙의 숫자에 따라 달라진다. 화재 방호 지역은 방화벽에 의해 구획된 최소 지역의 랙열의 숫자를 통해 평가한다. 각 ESS 랙 개수에 45분을 곱하여 최종 수원을 계산할 수 있다.
- (3) ESS 화재 발생 시 사용할 수 있도록 옥외 소화전의 설치를 권고하며, 이때 필요한 수원은 별도로 산정해야 한다.
- (4) 가용할 수 있는 수원이나 소화 설비보다 스프링클러 필요 유량 및 수원이 큰 경우에는 다음과 같이 설계할 수 있다.

(가) 개구부를 통해 화재가 확대될 경우에는 각 인접 랙 사이에 불연재 벽을 바닥부터 천장까지 설치하여 화재 확산 가능성을 제거한다. 이때, 랙 상부로부터 0.3 m 이상 연장한 파티션을 설치한다. 가용한 용수량으로 방호되는 랙 개수에 따라 방화벽 사이에 수평 거리를 결정할 수 있다.

(나) 화재 발생 랙에서 인접 랙으로 열이 전달되는 것을 방지하기 위해 각 랙의 뒷면에는 금속 파티션을 설치한다. 단, 금속 파티션이 랙 뒷면에 반영되면 추가적인 파티션은 설치하지 않는다.

(5) 모든 ESS 지역에는 연기 감지기와 화재 감지기를 설치한다.

8.2 대기 벤트 시스템

(1) 단독 설비 또는 부속실의 배터리 랙에서 실내 공기가 환기되어 외부로 배출되고 인화성 물질, 연소로 발생하는 독성 가스 등으로 영향을 받지 않는 장소로 배출될 수 있도록 벤트 위치를 설정한다.

(2) 이때 벤트 높이는 KOSHA Guide D-42(수소 벤트스택 및 벤트 배관의 공정설계에 관한 기술지침)의 4.4.1 항을 준용하여 다음 각호의 수치 중 가장 큰 값을 적용한다.

(가) 바닥으로부터 최소 3 m

(나) 주변 기기의 높이에 0.6 m를 합한 수치

(다) 주변 건축물의 지붕높이에 1.5 m를 합한 수치

8.3 폭연 방출구 시스템

(1) KOSHA Guide D-49(가스폭발 예방을 위한 폭연 방출구 설치에 관한 기술지침)에 따라 실내 폭발 및 소화 설비 방출에 의한 과압 발생 가능성이 있는 경우 폭연 방출구 시스템을 설치해야 한다.

(2) 단, 실내에서 LEL 25 % 미만의 인화성 기체 농도만 가능하고, 추가적인 과압 발생 가능성이 없는 경우에는 설치하지 않을 수 있다.

8.4 비상전원

- (1) BMS를 포함한 계기와 가스감지기, 화재감지기 및 각종 주요 안전시설에 대해서 2시간 이상 비상전원으로 유지가 가능해야 한다.
- (2) 기존 시설의 비상전원 용량에 포함 또는 분리하여 관리할 수 있다.

9. 운전과 설비관리

9.1 ESS 운영 책임

- (1) 기본적으로 ESS가 설치된 사업장은 운영에 대한 책임을 가지고 있으나, 이를 제공하는 제조사/조립사 및 상시 온라인으로 모니터링하는 관리자 등과 ESS 설비 및 기술에 대한 협의를 상시 수행해야 한다. 만일 이러한 관계자들이 ESS 운영 지원을 충분히 하지 않는다면 ESS 설치 사업장의 운영사가 주관하여 기술 지원을 요구 및 관리해야 한다.
- (2) 만일 대여 또는 공동 운영 등으로 사업자와 운영사가 분리되어 있는 경우에는 ESS가 설치된 사업주의 법적 책임에 따라 운영사는 사업주의 법적 책임에 따른 안전관리를 지원할 수 있도록 최초 계약 시 명확히 하고, 주기적으로 관리 및 이상 현상에 대해서 협의해야 한다.

9.2 시운전 및 정상 운전 중 안전관리

- (1) 제조사/조립사 권고사항과 사업장 규정에 따라 배터리, BMS를 설치, 운전 그리고 설비 관리될 수 있도록 한다.
- (2) ESS 운전 중 내부 출입 시 전기 감전 위험성을 고려하여 KOSHA Guide E-115 (절연 보호구의 선정 및 사용에 관한 기술지침)에 따라 보호구를 선정한다.
- (3) 시운전 중 기본 배터리 시스템 외 모든 모니터링 시스템(BMS/PCS/EMS)과 방호장비가 적정하게 운전되는지 확인한다.
 - (가) 과열, 비정상 진동, 비정상 소음 또는 오작동에 대해서 배터리 시스템을 검사한다. 이것은 시운전 후 정상 운전 중에도 최소 1주일 동안 매일 수행한다.
 - (나) 적외선 탐지, 배터리 운전현황 확인, 그리고 매개변수 모니터링으로 ESS 수송 및 설치 시 물리적인 손상이 발생되었는지 확인해야 한다.

(4) 운전 및 설비보존 절차서는 ESS 소유자 또는 제조사(조립사 포함)가 다음 사항을 포함하여 ESS 가동 전에 보유 및 담당 직원들에게 교육훈련을 실시해야 한다.

(가) ESS 설치 장소의 위치 및 배치 현황

(나) 시스템의 각 부품에 대한 ESS 상태와 선택 기능에 대한 사양서

(다) ESS에 대한 제조사/조립사의 설비보존 절차와 사업장의 설비보존 절차 및 해당 절차서에서 요구되는 각 부품 및 교체 주기

(라) ESS를 관리 또는 사업장에 대여 및 모니터링하는 사내·외 관련 담당자 연락처

(마) 권고된 운전 조건 기본값을 포함하여 운전 시 ESS와 관련 설비의 제어 방법이 있는 설명서

(바) 제조사 또는 조립사에 제공되는 필요한 모든 서비스와 설비관리에 대한 가능한 일정 및 기간

9.3 설비관리

(1) 제조사 권고사항과 관련 전기 안전 절차에 따라 전기 시스템의 검사가 수행되어야 한다.

(2) 최소한 다음 사항을 포함하여 BMS에 설비보존 프로그램을 계획 및 실행한다.

(가) 모든 중요 시스템은 선별하여 적절하게 적용 및 운전되고 있는지 확인하는 주기적인 자체 점검 시스템이 있어야 한다.

(나) 주기적으로 배터리 팩 전환을 실시한다. 이것은 배터리 팩의 기계적 완결성과 케이블 연결부위의 기밀성을 확인할 수 있는 주기적인 교체를 수행하는 것도 포함할 수 있다.

(다) HVAC 설비관리에 주기적인 공기 필터 교체도 포함할 수 있다. 교체 주기는 사업장의 설치 위치에 따라 달라질 수 있다. 먼지가 많은 지역에서는 필터의 교체가 더 자주할 수 있다. 추가적으로 냉각수 확인, 압축기/히터 핵심 부품 확인, 덕트/케이블 확인이 포함될 수 있다.

(라) 충전 상태 유지 확인은 예비 배터리 모듈의 주기적인 확인으로 수행한다.

(마) 배터리 팩에서 잔여 용량 (설계 용량을 기준)의 비율로 배터리 수명 상태

(State of health, SOH)를 주기적으로 추적 조사할 수 있다.

(3) 노후 배터리 관리는 배터리 교체 프로그램으로 적용한다. 주기적인 배터리 교체 프로그램은 최소한 다음의 항목들을 포함해야 한다.

(가) ESS 배터리들의 제조사 설계 수명 기대치. 이것은 시스템이 적정하게 수행하는 기대 수명으로 이 기간에 따라 배터리들이 교체되며, 이것을 통해 배터리 교체 시간을 결정할 수 있다.

(나) 설계 용량에 기초한 잔여 용량을 가진 ESS 배터리 수명 상태의 정기적 모니터링. 이 정보는 배터리 수명 상태를 계속해서 추적할 수 있는 BMS로 적용할 수 있다. 설계 시 적용된 매개 변수 외에 운전과 예상치 못한 부품 오작동 또는 고장으로 설계 한계 내에서 정상 운전할 때보다 배터리 수명이 더 빨리 소진될 수 있다. BMS는 예상 외 사상(Event)을 모니터링하고 시스템의 수명 상태를 해당 ESS에 적용할 수 있다.

(다) 교체 프로그램의 정기적인 검토로 교체 주기를 상시 개정. 만일 BMS의 피드백에서 배터리의 노후 정도가 가속화되고 있음을 인지할 수 있는 배터리의 수명 상태가 나타난다면 배터리 교체 일정을 재조정해야 한다. 다음 항목들은 조기 교체 필요성을 알 수 있는 항목들을 정의한 것이다.

- 1) 배터리 시스템의 사상이 발전되는 데이터를 모니터링하여 검토된 중요한 변화들이나 경향
- 2) 배터리 교체가 필요한 설계상 오류 등의 제조사 조언
- 3) 교체 필요성을 알려주는 운전상 경험과 관련 사고 이력
- 4) 가혹한 운전 조건에 노출 정도

(4) 변경관리. ESS의 교체 일정과 예상 수명치에 영향을 주는 주요 변경들을 고려해야 한다. 변경은 BMS의 교체, 열관리 시스템의 수정 및 적용 또는 운전 모드의 변화도 포함한다(예. 전력 중계와 전기 공급 용량을 기준으로 운전하는 BMS의 수정 등).

9.4 교육 훈련

(1) ESS 장비의 공급사/제조사/조립사가 최초 사업장 운영사 운전인원 교육 및 훈련을 제공해야 한다.

- (2) 또한, 최소한 년 1회 이상 해당 공급사/제조사/조립사에 의해 주기적으로 해당 사업장 운영사 인력에게 교육훈련을 실시해야 한다.

9.5 비상대응 및 복구

- (1) 최초 비상대응 계획과 훈련은 ESS 제조사 또는 조립사에서 효과적으로 ESS 비상대응을 수행할 수 있도록 예상 위험 요인을 중심으로 운영사에게 교육훈련을 통해 제공해야 한다.
- (2) ESS 운영사는 ESS 보유 사업장 운전 및 설비 인력들과 함께 비상대응과 교육훈련 시행 계획을 수립하고 유지해야 한다. 이때 ESS의 잠재적 화재 위험성을 반영하여 비상대응훈련 계획을 수립 및 실시한다.
- (3) ESS 단독설비, 관련 건축물 또는 부속실 내부에 인화성 물질을 저장하지 않는다.
- (4) ESS가 건축물 부속실 내 설치될 경우 대피로는 국내 법규에 따라 바로 대피할 수 있도록 설치해야 한다.
- (5) 화재 시 신속하고 안전한 대피와 비상대응을 위한 문서화된 절차는 다음과 같은 사항을 포함하여 비상대응 계획을 준비해야 한다.
 - (가) 수동 차단을 포함하여 가동중지 시 동력 차단 또는 화재, 전기 충격, 인체 상해와 같은 비상 조건하에서 장비/시스템 차단과 비상 상황 이후 재가동을 위한 절차서
 - (나) 관련된 알람, 인터록, 그리고 제어 시스템의 검사와 시험을 위한 절차서
 - (다) 비정상적인 잠재 조건들에서 설비 가동 정지 시 비상 대응 인력, 설비 수리 인력들이 소화서 신고 등을 포함하여 제공되는 ESS 관리 시스템을 이용할 수 있는 관련 절차서
 - (라) 화재, 폭발, 액체 또는 기체의 누출, 중요 구동 부위의 손상 또는 다른 잠재적인 위험 조건들에 대한 비상대응 절차
 - (마) 수동 방재장비 조치절차
 - (바) 수동 연기 제연시설(만일 있는 경우)
 - (사) 배터리 셀의 물질안전정보와 물질안전정보에서 제공되지 않는 위험 요인과 소화 설비에 대한 물질안전정보(예: 가스계 소화설비 등)

(아) 기타 법규(전기안전관리법 등)에서 요구하는 비상대응절차

(자) 현장에서 수행하는 훈련을 위한 절차 및 일정

- (6) 손상된 장비의 제거/폐기와 함께 배터리 재점화 잠재성을 포함한 사고 후 복구 계획을 수립해야 한다. 리튬 이온 배터리가 포함된 손상된 ESS 장비의 공급 일정도 필요하므로 최초 공정 배치 시에 이러한 가능성을 고려하여 동시에 다량의 장비가 손상되지 않도록 설계해야 한다. 또한, 소화 용수 공급은 신속하게 보충이 될 수 있도록 한다.
- (7) 리튬 이온이 포함된 화재는 재점화가 될 수 있으므로 화재에 노출된 리튬 이온 배터리는 재점화가 발생하지 않도록 생각해야 한다.
- (8) 제조사 또는 조립사(Integrator)는 법규에 따른 철거, 손상된 장비의 제거와 적절한 폐기에 대한 안내를 제공해야 한다.
- (9) 대규모 공장은 사고 발생 후 건설과 운전이 동시에 이루어지면서 건설 현장과 운전 설비가 서로 간섭될 수 있으므로, 두 지역이 적정하게 분리되어야 한다.

9.6 유틸리티

- (1) 최악의 환경에서도 HVAC 시스템은 비상전원 공급이 되어야 한다. 최악의 환경이란 셀 온도가 BMS 제어에도 불구하고 0~100 ℃ 의 정상 운전범위를 초과하거나 계속해서 상승하는 조건을 말한다.
- (2) HVAC 시스템은 ESS 단독설비와 연동하여 가동됨을 확인한다. 일반 냉각기 (냉각탑 등)의 내부 부품이 고장 시 ESS도 같이 가동정지가 되어야 한다.

9.7 기타 안전시설

- (1) 낙뢰 예방 등의 피뢰침 설계 등은 KOSHA Guide E-107 건축물 등의 피뢰설비 설치에 관한 기술지침에 따라 적용한다.
- (2) 침수 등으로 전기 감전 등이 발생하지 않도록 배수가 원활한 지역이나 배수로를 적정하게 설치해야 한다.
- (3) 차량, 지게차 등의 운송장비에 의해 추돌 가능성이 있는 지역은 ESS를 보호하기 위한 볼라드(Bollard), 바리케이트와 같은 차량 추돌 방지 장비나 설비를 설치해야

한다.

10. ESS / 배터리 노후 관리

10.1 리튬 이온 배터리 노후화 인자

- (1) 충/방전의 횟수
- (2) 방전 정도
- (3) 충/방전 비율
- (4) 충전 상태
- (5) 사용 기간
- (6) 운전 온도

10.2 노후화 관리 필요사항

- (1) 리튬 이온 배터리의 용량은 배터리 수명이 종료될 때 설계와 허용 범위에 따라 약 설계 대비 50~80 %로 저하된다.
- (2) 노후된 배터리의 내부 저항값은 실질적으로 셀에서 고정식 암페어시 비율에서 최초 값의 2~3배로 증가하면서 열 폭주 가능성도 증가할 수 있다.
- (3) BMS는 노후로 인한 배터리의 조건을 추적하는 설계로 배터리 수명을 측정한다. 배터리의 수명은 배터리의 최초 용량에 상대적인 실제 용량을 기준으로 한다. 내부 저항, 전체 에너지 방전 용량, 충전 횟수가 같이 고려되어야 한다.
- (4) BMS는 수명 정보를 기준으로 교체를 위한 알람을 제공한다. 설정된 교체 기준이 없으면, 최초 배터리 제조사와 협의하여 결정한다.

11. 추가 고려 사항

ESS는 해외 기준 제정 및 산업계 설치 표준에 따라 다음과 같은 사항이 추가로 고려되어야 한다.

11.1 온도 상승 현상 제어

- (1) ESS 단독설비의 외면이 철이나 금속으로 제작될 경우, 인접 ESS를 포함한 외부 화재 시 해당 설비 내부로 복사열이나 열전도 등으로 온도 상승 영향을 받을 가능성이 높다.
- (2) 따라서, 최대한 각 단독설비나 건축물에 요구되는 이격거리 준수와 추가 소화설비 설치를 현장 조건을 고려하여 보완할 수 있다.

11.2 할로젠 화합물 약제 취약점

- (1) 열 폭주는 높은 열을 방출하며, 플라스틱 재료는 대규모 화재의 원인이 된다. 외부 수계 방재 시설은 내부 방재보다 효과는 낮을 수는 있지만, 인접 ESS 냉각측면에서는 가장 좋은 방법이다.
- (2) 스프링클러 시스템은 ESS에 효과가 높은 소화시설로 고열량에 효과적이다.
- (3) 국내에서 보편적으로 사용하는 할로젠 화합물 소화설비는 ESS에 다음과 같은 이유로 미국 소방협회나 해외 재보험사에서는 추천하지 않으므로, 실제 소화 효과와 법규 요구 사항을 모두 만족할 수 있도록 추가적인 소화 설비를 설치해야 한다.
 - (가) 냉각 효과 측면에서 구조물을 냉각하여 구조물 자체나 인접한 상주인원들을 보호하는 것이 중요하다. 스프링클러로 ESS 화재 소화 시 냉각효과를 유지할 수 있다.
 - (나) 제한된 방출로 인한 재점화 가능성이 있으므로 ESS 화재는 최초 화재가 소화된 후에도 재점화될 수 있다. 할로젠 화합물 소화설비는 오직 한번 방출 후 사용할 수 없기 때문에 그 후의 재점화는 방지할 수 없다.

<부록 1> ESS 사고 이력

ESS는 최초 설치 이후 2020년 2월 현재 28건의 사고가 보고되었다. 각 사고 및 관련 기관에 의해 전기 설비 및 운전 조건을 포함하여 지속적으로 개선이 되고 있으나, 사고 빈도는 과거 사고 이력을 고려 시 아직 높은 상태이다.

순번	지역	용량(MWh)	용도	건물형태	사고일	운용 기간
1	전북 고창	1.46	풍력	컨테이너	2017.8.2	-
2	경북 경산	8.6	주파수	컨테이너	2018.5.2	1년 10개월
3	전남 영암	14	풍력	조립식 패널	2018.6.2	2년 5개월
4	전남 군산	18.965	태양광	조립식 패널	2018.6.15	6개월
5	전남 해남	2.99	태양광	조립식 패널	2018.7.12	7개월
6	경남 거창	9.7	풍력	조립식 패널	2018.7.21	1년 7개월
7	세종	18	수요관리	조립식 패널	2018.7.28	-
8	충북 영동	5.989	태양광	조립식 패널	2018.9.01	8개월
9	충남 태안	6	태양광	조립식 패널	2018.9.7	-
10	제주	0.18	태양광	콘크리트	2018.9.14	4년
11	경기 용인	17.7	주파수	컨테이너	2018.10.18	2년 7개월
12	경북 영주	3.66	태양광	조립식 패널	2018.11.12	9개월
13	충남 천안	1.22	태양광	조립식 패널	2018.11.12	11개월
14	충북 문경	4.16	태양광	조립식 패널	2018.11.21	11개월
15	경남 거창	1.331	태양광	조립식 패널	2018.11.21	7개월
16	충북 제천	9.316	수요관리	조립식 패널	2018.12.17	1년
17	강원 삼척	2.662	태양광	지하 콘크리트	2018.12.22	1년
18	경남 양산	3.289	수요관리	콘크리트	2019.1.14	10개월
19	전남 완도	5.22	태양광	조립식 패널	2019.1.14	1년 2개월
20	전북 장수	2.496	태양광	컨테이너	2019.1.15	9개월
21	울산	46.757	수요관리	콘크리트	2019.1.21	7개월
22	경북 칠곡	3.66	태양광	조립식 패널	2019.5.4	2년 3개월
23	전북 장수	1.027	태양광	조립식 패널	2019.5.26	1년
24	충남 예산	1.54	태양광	조립식	2019.8.30	20개월
25	강원 평창	21.3	풍력	조립식	2019.9.24	32개월
26	경북 군위	1.36	태양광	조립식	2019.9.29	21개월
27	경남 하동	1.33	태양광	조립식	2019.10.21	15개월
28	경남 김해	2.26	태양광	조립식	2019.10.27	18개월