

백서

에너지 저장 시스템의 안전 강화:

변화하는 대규모 화재 시험 방법 및 규제 요구



목차

09

12

초록

본 백서는 NFPA 855, 에너지 저장 시스템 및 장비 안전 표준인 ANSI/CAN/UL 9540, 배터리 에너지 저장 시스템에서 열 폭주 화재 전파를 평가하기 위한 시험 방법 표준인 ANSI/CAN/UL 9540A 등 에너지 저장 시스템(ESS)과 관련된 주요 안전 규정 및 표준을 강조합니다. UL 9540A는 NFPA 855에서 대규모 화재 시험(LSFT)으로 지칭되며, ESS의 열 폭주 화재 위험을 평가하는데 목적을 둡니다. 해당 안전 표준의 LSFT 방법은 합의 프로세스에서 전문가 협업을 통해 지속적으로 개선되고 있으며, 그와 동시에 다른 평가 방법들도 도입되었습니다. 이러한 다른 평가 방법들은 북미에서 확립된 안전 규정 및 안전 표준 요구 사항을 충족하는 데 사용하도록 마련되지 않았으며 그렇게 인정되지도 않습니다. 이러한 다른 방법은 미국 및 캐나다의 국가 표준에서 확립된 안전 요구 사항과 다르며 호환되지 않기 때문에 필수 안전 요구 사항을 해결하는데 오용될 경우 ESS 시장에 혼란을 야기하고 ESS 제조업체에 위험을 초래합니다.



소개

에너지 저장 시스템(ESS)을 에너지 인프라로 통합하는 것은 재생 가능 에너지에 대한 수요 증가 및 그리드 안정성에 대한 필요성 등 다양한 요인에 따라 점점 더 널리 보급되고 있습니다. ESS 보급의 전반적인 성장으로 인해 전 세계적으로 에너지 저장 시스템과 관련된 화재 사고의 발생 건수도 증가하고 있으며, 2011년 이후 2024년 한 해에만 6건의 화재를 포함하여 40건 이상의 사고가 보고되었습니다[1]. 열 폭주 및 후속 화재 전파 시 ESS의 안전은 전 세계 제조업체, 설치자 및 규제 기관의 주요 관심사로 떠오르고 있습니다.

2024년에 발생한 에너지 저장 시스템 화재 사고의 대표적인 예

위치	사건 발생 날짜	설명
독일 니어무어	2024년 4월 27일	여러 리튬 이온 컨테이너 중 하나에서 연기가 나는 것이 관찰되었습니다. 소방대는 작업자와 상의한 후 컨테이너를 열었고, 이로 인해 폭발사고가 발생했습니다. 소방관 2명이 다쳤으며, 화재는 10시간 만에 진압되었습니다.
미국 캘리포니아주 샌디에이고	2024년 5월 15일	에너지 저장 시설에 화재가 발생했고, 건물의 화재 진압 시스템에 펌프로 물을 퍼내 화재를 진압했습니다. 공기 모니터에 표시된 수소 수준이 높았기 때문에 180미터의 안전 장벽이 22시간 이상 유지되었습니다. 화재는 다음 날 진압되었지만 소방대가 거의 17일 후에 현장을 떠날 때까지 여러 차례 불씨가 되살아났습니다.
미국 캘리포니아주 샌타애나	2024년 7월 17일	산업 지역에서 배터리 에너지 저장 시스템 BESS 화재가 발생했으며, 이에 따른 연기로 인해 해당 지역에서 1시간 동안 대피가 이루어졌습니다.
미국 캘리포니아주 에스콘디도	2024년 9월 5일	24개의 컨테이너 중 하나에 화재가 발생했으며, 이에 따라 변전소에 인접해 있거나 약 400미터 이내에 있는 사업체가 대피하는 사고가 있었습니다.
싱가포르	2024년 9월 10일	데이터 센터의 리튬 이온 BESS에서 폭발과 화재가 발생했습니다. 화재를 진압하기 위해 4개의 워터젯과 스프링클러 시스템을 사용했으며, 배터리를 냉각시키기 위해 무인 소방 로봇을 사용했습니다. 이틀 후 불이 진압되고 있다고 발표했습니다.

[1] BESS 오류 사고 데이터베이스 — EPRI 저장 위키(BESS Failure Incident Database - EPRI Storage Wiki)

ESS에 대한 NFPA 855 및 주요 규정 요구 사항

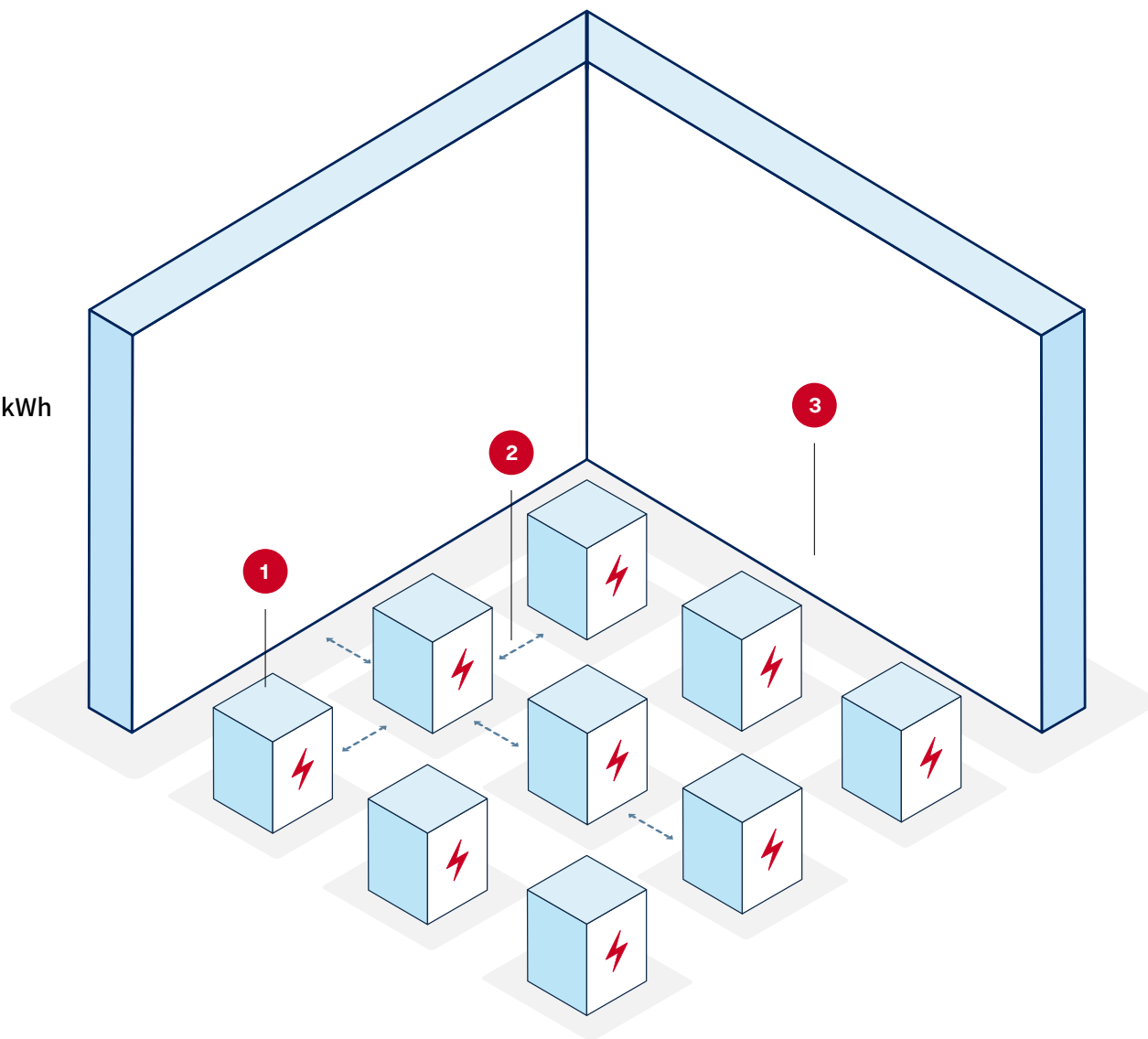
미국화재예방협회(NFPA)에서 발행한 고정식 에너지 저장 시스템 설치 표준인 NFPA 855는 설치, 시운전 및 유지보수를 포함한 에너지 저장 시스템에 대한 포괄적인 요구 사항을 명시합니다. NFPA 855는 ESS가 UL 9540(아래에 설명됨)의 안전 요구 사항에 맞춰 등록되도록 의무화하고, 화재 위험을 완화하기 위해 배터리 에너지 저장 시스템(BESS)에 대한 수많은 설치 제한을 부과합니다. 여기에는 다음 사항이 포함되지만 이에 국한되지 않습니다.

- 최대 BESS 크기: 50킬로와트시(kWh)
- 최소 이격 거리: 3피트(ft)
- 최대 저장 에너지: 600kWh(화재 지역 내 리튬 이온 BESS)
- 방화벽: 2시간 내화 정격
- 최소 스프링클러 밀도: 평방피트당, 분당 0.3갤런(gpm/ft²)
- 연기 및 화재 감지: 필수
- 폭발 제어: NFPA 69에 따른 폭발 방지, NFPA 68에 따른 폭연 방지
- 벽 부착형 시스템에 대한 창문 및 문까지의 최소 간격: 5피트
- 비상 탈출을 위한 최소 간격: 10피트



리튬 이온 BESS의 설치 제한에 대한 설명

1. 각 장치 최대 50kWh
2. 장치 간 최소 3피트(장치에서 벽까지 거리)
3. 최대 저장 에너지: 리튬 이온 BESS의 경우 600kWh



NFPA 855의 설치 제한을 초과하는 BESS에는 화재 위험에 대한 추가 평가가 필요합니다. 예를 들어 개별 장치의 간격이 3피트 미만이거나 용량이 50kWh를 초과하는 비주거용 ESS 구성의 경우 UL 9540A에 따른 대규모 화재 시험이 필요합니다. 이 시험은 이러한 ESS 설치의 안전성을 평가하는 데 필수적이며 제조업체가 관련 규정 당국으로부터 설치 승인을 받을 수 있도록 지원합니다.

미국화재예방협회(NFPA)에서 제정한 화재 규정인 NFPA 1과 국제 화재 규정(IFC), 그리고 국제규범위원회에서 제정한 국제 주거 규정(IRC)에도 안전한 ESS 설치에 대한 요구 사항이 있습니다. ESS에 대한 NFPA 1, IFC 및 IRC 요구 사항은 제품 안전 및 화재 완화를 위해 UL 9540 및 UL 9540A를 모두 참조하는 NFPA 855와 일치합니다.

참고: NFPA 855 2023년판에서는 “대규모 화재 시험”을 “화재 및 폭발 시험”으로 이름을 변경했으며, UL 9540A에 따른 시험 방법은 변경되지 않았습니다. 그러나 IFC 2024년판에서는 “대규모 화재 시험”이라는 용어를 계속 사용하며, 설치 제한을 초과하는 경우 화재 위험을 평가하기 위해 UL 9540A를 인용합니다.

ESS 안전을 위한 UL 9540, UL 9540A 및 NFPA 855의 협력 체계

UL 9540, 에너지 저장 시스템 및 장비 표준은 미국과 캐나다에서 국가적으로 채택된 표준입니다. 이 표준은 전기, 기계, 환경 및 기능 안전을 포함하는 전반적인 제품 안전을 평가합니다. 또한 이 표준은 부품 상호 작용 및 호환성, ESS의 작동 및 유지보수, ESS와 전기 그리드의 통합과 관련된 위험을 다룹니다. 앞서 언급했듯이 안전 규정은 ESS가 UL 9540의 요구 사항을 준수하도록 요구합니다. NFPA 855 제한을 초과하는 ESS 설비의 경우 UL 9540은 UL 9540A에 따라 대규모 화재 시험도 의무화합니다.

UL 9540A는 배터리 에너지 저장 시스템에서 열 폭주 화재 전파를 평가하기 위한 시험 방법에 대한 표준으로, ESS 배터리의 열 폭주 사고와 관련된 화재 전파 위험을 평가하기 위한 표준 시험 방법론을 확립하기 위해 개발되었습니다. UL 9540A는 이 중요한 안전 문제에 대한 미국 및 캐나다 국가 표준이며, 이러한 국가 표준 요구 사항에 대한 시험은 적절한 주의 의무 이행에 있어 중요한 요소입니다. UL 9540A는 ESS의 설계 또는 설치 조건이 NFPA 855, NFPA 1, IFC 또는 IRC에서 규정한 제한을 초과할 때 시스템의 안전 관련 동작을 시험하기 위한 방법론을 제공합니다.

미국과 캐나다의 양국 간 합의 표준인 UL 9540 및 UL 9540A는 업계, 전문 기관, 정부 기관, 제조업체 및 기타 전문 이해 관계자가 참여하는 균형 잡힌 개방형 협업 프로세스의 결과입니다.

ESS 분야에서는 UL 9540, UL 9540A 및 NFPA 855 표준과 해당 규정 사이에 협력적인 시너지가 있습니다. UL 9540은 ESS에 대한 제품 안전 표준을 제공하고, UL 9540A는 에너지 저장 시스템에서 열 폭주 및 화재 확산을 시험하기 위한 방법론을 제공하며, NFPA 855는 설치 및 유사한 사용 요구 사항을 다룹니다. 이러한 표준은 서로 다른 측면에 중점을 두지만 서로를 보완하여 ESS의 안전성을 총체적으로 향상시킵니다. 해당 규정은 전기, 화재 및 기타 안전 요구 사항을 다루며, 이는 관할 지역의 규제 당국에 의해 시행됩니다. 또한, ESS 설치의 안전성을 입증하기 위해 표준 준수를 중요한 기준으로 삼습니다.

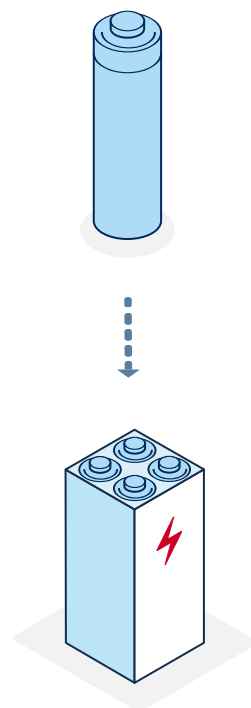
UL 9540A 시험 수준

UL 9540A는 2017년 11월에 처음 발표되었으며 2019년에 4판에서 합의 표준으로 업데이트되었습니다. 여기에는 4단계 시험이 포함됩니다. 리튬 이온 배터리 에너지 저장 시스템의 경우 일반적으로 셀 수준에서 장치 수준에 이르기까지 처음 세 가지 수준의 시험이 필요합니다. 장치 수준 시험에서 불꽃 또는 기타 비준수 징후가 관찰되는 경우 설치 수준 시험이 필요합니다.

UL 9540A는 국제적으로 채택되었으며, 싱가포르, 말레이시아 및 호주 빅토리아주의 ESS 설치 규정에서 특정 설치 시나리오를 허용하기 위해 UL 9540A를 참조합니다.

셀 수준 시험

셀 수준 시험은 셀의 열 폭주 특성뿐만 아니라 가스의 구성 요소 및 가연성을 평가합니다.

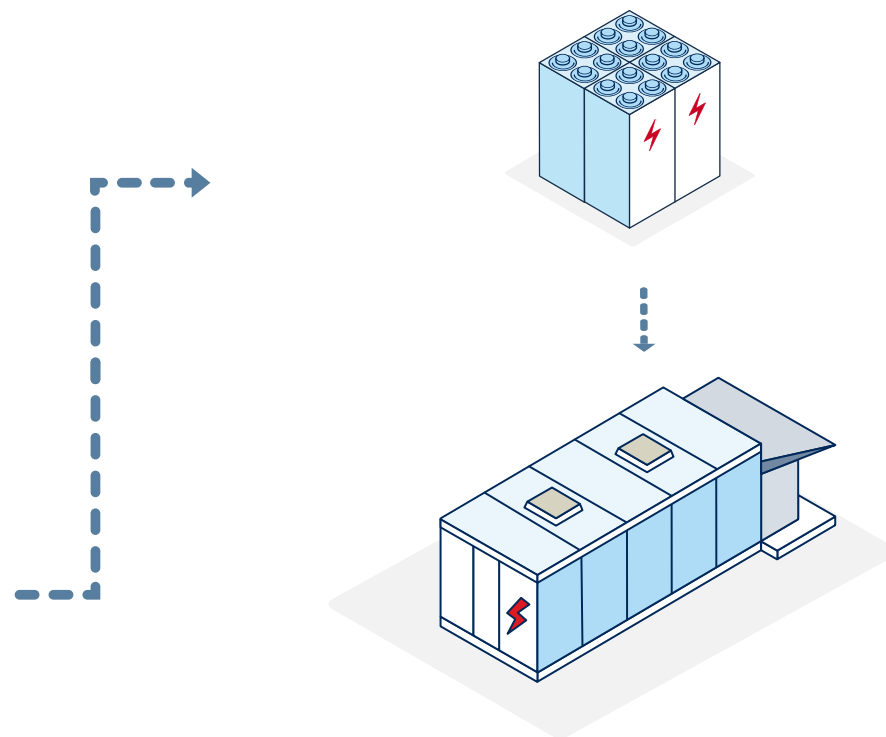


모듈 수준 시험

모듈 수준 시험은 셀의 열 폭주 전파 경향과 모듈의 열 및 가스 방출 속도, 그리고 점화 또는 폭연의 잠재적 위험을 평가합니다.

장치 수준 시험

장치 수준 시험은 모듈 간의 화재 확산 가능성과 장치의 열 및 가스 방출 속도, 그리고 폭연 또는 재점화 가능성을 평가합니다.



설치 수준 시험

설치 수준은 주로 화재 방지 시스템의 효과와 시스템의 열 및 가스 방출 속도, 그리고 폭연 또는 재점화의 위험을 평가합니다.

비주거용 BESS 관련 대규모 화재 시험 강화에 대한 규제 요구 및 대응

ESS 안전 사고가 증가함에 따라 특히 대규모 BESS에 대한 ESS 안전에 대한 전 세계의 우려가 높아지고 있습니다. 일부 규제 기관은 비주거용 BESS에 대한 대규모 화재 시험을 강화할 것을 요구하며, 이는 초기 장치 내에서 화재가 발생한 후 장치 내에서, 그리고 장치 간에 화재가 어떻게 확산되는지를 평가하는 것이 목적입니다. 이 강화된 시험은 대규모 BESS 사고에 대한 소방 전략 및 구조 작업을 지원할 수 있는 강력한 데이터를 제공하기 위해 실시합니다.

이러한 요구에 부응하여 UL 9540A를 담당하는 기술 위원회는 ESS에 대한 대규모 화재 시험(LSFT)에 중점을 둔 전담 작업 그룹을 설립했습니다. 이 작업 그룹은 NFPA 기술 위원회와 협력하여 여러 차례 논의를 거치고 예비 시험 절차를 수립했습니다. 작업 그룹과 기술 위원회의 공동 목표는 제조업체가 시험하고 규정 당국이 감독하는 데 쉽게 사용할

수 있도록 LSFT에 대한 명확한 지침과 합의 기반 표준 시험 방법을 만드는 것입니다. 합의 시험 방법론은 UL 9540A 표준에 통합되고, 시험 목표에 대한 지침은 NFPA 855 2026 년판 부록에 포함될 것으로 예상됩니다.

한편, 일부 조직에서는 BESS에 대한 자체 대규모 화재 시험 절차를 도입하고 시험 서비스를 홍보하고 있습니다. UL 9540A는 대규모 화재 시험에 대해 NFPA 855에서 명시적으로 인용된 유일한 합의 표준이며, BESS용 화재 안전 검사 방법에 대한 미국 및 캐나다의 유일한 국가 표준입니다. 국가 차원에서 채택되지 않은 표준에 대한 시험은 모든 이해 당사자의 합의를 기반으로 수립되지 않았으며 안전 보장을 목표로 하지 않아 관련 규제 기관에서 ESS 설치를 거부할 수 있으며, 이후 확인된 국가 안전 표준을 준수하지 못하는 문제가 발생할 수 있습니다.



UL 9540A는 대규모 화재 시험에 대해 NFPA 855에서 명시적으로 인용된 유일한 합의 표준이며 BESS용 화재 안전 검사 방법에 대한 미국 및 캐나다의 유일한 국가 표준입니다.

비주거용 BESS 관련 대규모 화재 시험(LSFT) 강화에 대한 제안의 주요 참고 사항

LSFT는 BESS 내의 화재로 인한 열 위험과 화재가 인근 장치 또는 거주 지역으로 확산될 가능성을 평가합니다. 이 시험은 열 노출에 대한 정량적 데이터를 제공하지만 가연성 가스 축적 방지, 폭연 완화 또는 안전 시스템의 신뢰성을 평가하도록 설계되지는 않았습니다. 용량이 20kWh 미만인 주거용 BESS는 이 시험에서 제외됩니다.

LSFT를 수행하기 전에 UL 9540A에 따라 셀 수준 시험을 수행하여 셀 수준의 열 폭주 성능 및 가스 가연성을 특성화해야 합니다.

시험 환경은 주변 인클로저 또는 건물을 나타내는 BESS, 보조 장비 및 대상의 최종 설치 구성을 반영해야 합니다. 적용 가능한 규정 및 표준에

따라 설치된 화재 방지 시스템을 시험의 모든 인클로저에 설치하고 활성화할 수 있습니다. 활성 열 폭주 완화 기술은 모든 인접 인클로저에 통합될 수 있지만 인클로저 또는 기존 랙에서 비활성화됩니다. 기존 인클로저의 폭연으로 인해 환기 경로가 열릴 것으로 예상되는 경우 인클로저의 환기 경로를 열어야 합니다.

버너 또는 히터 및 점화기를 점화 방법 중 하나로 사용하면 BESS 기존 장치가 과열되어 화재가 발생합니다. 시험 중에 배터리 반응, 화재 확산과 BESS 및 인접 대상의 온도에 대한 데이터가 캡처됩니다.

LSFT의 규정 준수 기준은 다른 BESS 및 주변 지역으로 화재가 확산되는 것과 관련된 중요한 화재 안전 문제를 보여줍니다.

- 화재는 시험 중 인접한 BESS로 확산되지 않아야 합니다.
- UL 9540A 셀 수준 시험에 따라 인접한 BESS 장치 내 모듈의 표면 온도는 열적으로 시작된 셀 벤팅(cell venting)이 발생하는 온도를 초과하지 않아야 합니다.
- 시험 중에는 인접한 인클로저 위 또는 내부에 가연성 물질이 점화되면 안 됩니다.
- 인접한 BESS 내 셀의 벤팅 또는 열 폭주는 발생하지 않아야 합니다.

전문가가 개입한 합의 과정을 통해 개발된 이 종합 화재 시험은 BESS 설계 및 간격이 연속적이고 위험한 화재 발생에 기여하지 않을 것임을 입증합니다.

결론

ESS의 배포가 전 세계적으로 가속화됨에 따라 안전성과 신뢰성을 높이는 것이 더욱 중요해지고 있습니다. NFPA 855, UL 9540 및 UL 9540A와 같은 안전 표준의 확립은 보다 안전한 ESS 설계 및 운영을 위한 업계의 공동 의지를 반영합니다. 또한 제조업체는 안전 규정 및 규칙의 요구 사항을 완전히 다루지 않는 다른 문서 대신 미국 및 캐나다에서 공표된 국가 표준에 따른 적절한 주의 의무를 입증함으로써 상당한 이점을 얻을 수 있습니다.

UL Solutions는 ESS의 안전 연구, 시험 및 인증에 대한 전문성을 통해 LSFT에 대한 합의 표준과 관련하여 NFPA와 협력하여 위험을 최소화하고, 소비자 이익을 보호하며, ESS 시장의 안전하고 질서 있는 성장을 촉진합니다. UL 9540A의 업데이트 및 국제적 채택은 강화된 대규모 화재 시험 요구에 대한 대응과 함께 이러한 약속을 더욱 강화합니다. 지속적인 협력을 통해 에너지 인프라의 복원력과 전 세계 지역사회의 안전을 총체적으로 향상시킬 수 있습니다.



UL Solutions의 에너지 저장 안전 지원

UL Solutions는 배터리 및 에너지 저장 안전 분야의 선구자로서 배터리 및 에너지 저장 시스템의 안전 연구, 시험 및 인증에 대한 다양한 경험을 보유하고 있습니다. 또한 당사는 규정 당국 지역사회, NFPA, 소방 서비스 및 더 안전하고 책임감 있는 ESS 기술 배포를 위한 협업에 전념하는 기타 전문가들과 긴밀히 협력합니다. UL Solutions는 광범위한 업계 연계 및 경험을 활용하여 고객이 최신의 가장 포괄적인 ESS 규정 및 규제 요구 사항을 이해하고 적절히 대응할 수 있도록 지원합니다.

당사는 전 세계 배터리 및 에너지 저장 시스템 제조업체에 다음과 같은 서비스를 제공합니다.

- UL 1973 에너지 저장 배터리 시험 및 인증
- UL 9540 에너지 저장 시스템 안전 검사 및 인증
- UL 9540A 대규모 화재 시험 보고
- 맞춤형 대규모 화재 시험 보고
- NFPA 855, NFPA 68, NFPA 69 준수 평가

UL Solutions는 LSFT에 대한 다양한 시험 경험을 보유하고 있으며, 전 세계 수많은 고객이 시험 방법을 설계하고 실험을 수행할 수 있도록 지원했습니다. 당사는 과학적으로 엄격한 접근 방식으로 고객에게 서비스를 제공하며, ESS 안전에 대한 깊은 전문 지식을 적용하여 ESS 제조업체가 배포 전에 종합적인 안전 평가를 완료하고, 위험이 성공적으로 해결되었다는 고객의 신뢰도를 높이며, 지역별 규제 당국의 사전 승인을 촉진하는 철저한 보고서를 제공합니다. 당사의 목표는 에너지 저장 제품과 관련된 안전 위험을 최소화하고, 에너지 저장 고객의 이익을 보호하며, ESS 시장의 보다 안전하고 체계적 성장을 촉진하는 것입니다.





UL.com/Solutions

© 2025 UL LLC. All rights reserved.

2241956