

리튬이온배터리의 화재 감지, 방지 및 소화 방법에 관한 실증연구

임건표¹, 김미성^{2*}

¹한국전력공사 전력연구원, ²한국화학융합시험연구원 이차전지시스템사업단

Demonstration study about fire detecting, protecting and extinguishing method of ESS lithium-ion battery

Geon-Pyo Lim¹, Mi-Seong Kim^{2*}

¹Korea Electric Power Research Institute, Korea Electric Power Corporation

²Secondary Battery System Business Group, Korea Testing & Research Institute

요약 최근 국내 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)에 사용되는 리튬이온 배터리에서 지속적인 화재가 발생하고 있다. ESS 화재의 내외부적 원인은 매우 다양하여 근본적인 원인을 규명하고 제거하기가 어렵다. 전기 에너지를 저장하고 있는 배터리의 화재는 배터리 내부의 에너지가 열폭주 상태가 되어 화재로 이어지기 시작하면 에너지가 완전히 소진될 때까지 꺼지기 어렵다. 배터리의 상태는 전기, 온도 등의 변화를 감지하여 동작하는데 DNV-GL, NFPA 등의 연구에서는 전기, 온도 변화가 화재 직전까지 이를 방지할 만큼 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서는 배터리에서 발생하는 감지 요소를 조기에 감지하여 열폭주와 화재로 이어지기 전에 측정할 수 있으며, 전기 및 온도 외에도 추가적인 요소를 이용하여 화재를 예방할 수 있음을 실증을 통해 검증하였다.

Abstract In recent years, there have been many fires from lithium-ion batteries used in the domestic energy storage system (ESS). There are various internal and external causes of ESSs fires, and it is difficult to determine and remove the underlying causes. The energy inside a battery can lead to a thermal runaway state and result in a fire, and battery fires are difficult to extinguish until the energy is completely exhausted. The state of the battery is monitored by detecting changes in electricity, temperature, etc., but in the study of DNV-GL, NFPA, etc., the electricity and temperature do not change enough to prevent fires until just before they happen. Therefore, early sensing of detected elements in a battery was verified through demonstration to take measurements before thermal runaway happens to protect against fires in this study.

Keywords : Energy Storage System, Fire, Early Detection, Thermal Runaway

1. 서론

최근 몇 년간 국내 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)에 사용하는 리튬이온배터리에서 지속적으로 화재가 발생하였다[1]. ESS 화재는 내외부적인

원인이 다양하게 존재하고 원인파악이 어려워 근본적인 원인 제거가 어려운 상황이다. 전기에너지를 저장하는 배터리의 화재는 배터리 내부에서 에너지가 화재로 이어지는 열폭주가 발생하면 에너지가 완전히 소진될 때까지 소화가 어렵다[2]. 배터리의 상태는 전기, 온도 등의 변

본 논문은 2019년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받은 연구과제로 수행되었음.
(No. 20192910100250)

*Corresponding Author : Mi-Seong Kim(Korea Testing & Research Institute)

email: maria@ktr.or.kr

Received April 12, 2023

Accepted June 2, 2023

Revised May 24, 2023

Published June 30, 2023

화를 감지하여 운영하고 있으나 DNV-GL, NFPA, 외국의 대학 및 센서개발기업 등의 연구결과에서 화재발생 직전까지 전기, 온도의 변화가 이를 방지할 수 있을 정도의 뚜렷한 변화를 보이지 않는 경우를 확인하였다[3-8]. 따라서 본 연구에서는 전기, 온도 외에 배터리에서 화재 전에 감지할 수 있는 요소를 이용하여 화재를 조기에 감지하고 열폭주 및 화재로 이어지기 전에 이를 조치할 수 있는지, 불가피하게 화재로 이어질 경우 소화를 할 수 있는지를 실증을 통해 검증하였다.

2. 본론

2.1 ESS 및 배터리의 일반적인 구성

ESS는 일반적으로 Fig. 1과 같이 배터리, 전력충방전 시스템(PCS, Power Conditioning System), 전력운영 시스템(PMS, Power Management System), 계통연계 설비(변압기, 수배전반 등) 등으로 구성되어 있다.

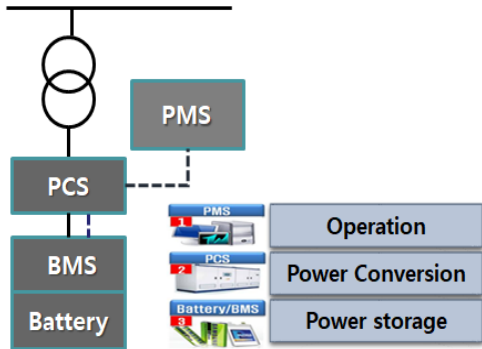


Fig. 1. General configuration of ESS

최근 국내에 설치되는 ESS는 대부분 리튬이온배터리를 사용하고 있다. 리튬이온 배터리는 일반적으로 Fig. 2와 같이 셀, 모듈, 트레이, 배터리운영시스템(BMS, Battery Management System), 스위치기어, 랙, 배터리실 등으로 구성되어 있다. 배터리운영시스템은 배터리를 안전하게 효율적으로 운영하기 위한 목적을 가지고 있다. 배터리운영시스템은 모듈 내 여러 개의 셀 중 몇 개의 온도를 대표적으로 측정하거나 전극의 온도를 측정한다. 셀 단독 또는 2~3개 단위로 병렬 전압 및 전류 등을 측정한다. 또한 랙 및 컨테이너 단위 배터리운영시스템에서도 온도, 전압, 전류의 최고, 최저, 편차를 감시하고 있다. 셀은 충방전을 반복하면서 내부저항이 증가하고 절연이

저하된다. 내부저항과 절연 변화는 셀마다 다르게 진행된다. 여러 셀에 동일한 전압을 인가하더라도 자체의 다른 내부저항으로 인해 열 발생량, 온도변화, SOH 등이 달라진다. 이러한 셀, 모듈, 랙, 병렬 랙, 컨테이너 단위 배터리는 화재 및 폭발 등을 방지하기 위하여 전압, 전류 등의 전기적인 감시 데이터와 온도 데이터를 측정하여 이를 배터리운영시스템에서 알고리즘을 통해 안전상태를 판단하여 운영하고 있다.

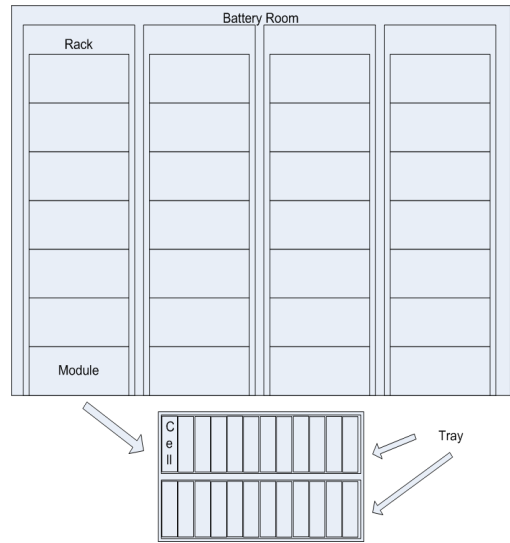


Fig. 2. General configuration of ESS Battery

2.2 배터리 열폭주 화재시험 국외 연구결과

Fig. 3은 국외의 연구결과로 리튬이온 배터리 모듈 1개를 히팅패드 위에 올려 놓고 열을 가하여 화재를 시험한 결과이다[5].

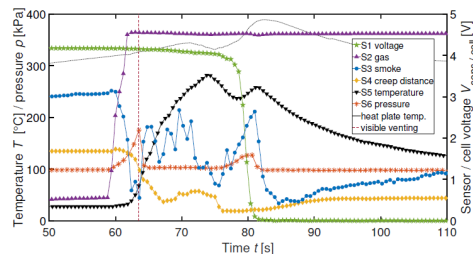


Fig. 3. Thermal runaway test of module by heating pad

가스압력에 의해 벤팅이 발생하기 직전이 되어서야 온도, 연기, 압력 등이 변한 것을 알 수 있으며 전압은 벤팅

이후에도 수십 초가 지나서야 내부단락으로 급락하였다. 같은 조건으로 봉침을 투입하여 내부단락을 유도한 시험에서는 벤팅 직전에 아무런 변화가 없었고 직후에 연기, 수초후 온도, 수습초 후 전압의 변화를 보여주었다[5]. 또다른 국외 연구에서는 6개의 배터리 셀을 일렬로 인접하여 설치한 후 첫 번째 셀을 봉침을 투입하여 단락으로 화재를 발생시키고 3번째 셀의 온도와 전압을 측정한 시험이다. 화재발생 전에 전압 급락을 보여주었으나 직전에 변화를 보임으로써 화재를 판단하여 방지할 수 있는 유효한 계측신호로 처리하기 어려운 것으로 판단되었다[6]. 또다른 국외 연구에서는 셀 외부충격 시험, 외부 열 노출 시험, 과충전 시험 및 외부단락시험 등의 결과를 보여주었는데 외부 충격이나 외부 열 등으로 인한 내부단락이 진행될 경우 전압의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다[7]. 또다른 국외연구에서는 다양한 리튬이온 배터리 시험에서 열화가 진행됨에 따라 전압과 온도의 변화가 내부단락이 이뤄지는 직전에 가서야 두드러지게 확인됨을 알 수 있었다[8]. 위와 같이 국외기관들의 다양한 시험에서 온도 및 전기적인 데이터를 통해 화재를 사전에 감지하여 방지할 수 없는 경우를 확인할 수 있었다.

Fig. 4, 5는 국외 연구 결과로 각각 리튬이온 배터리 셀의 화재발생(열폭주, Thermal Runaway) 전후에 발생하는 가스성분을 나타내고 있다[9].

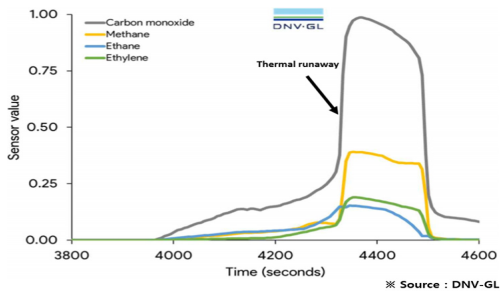


Fig. 4. Gas ingredient before cell thermal runaway

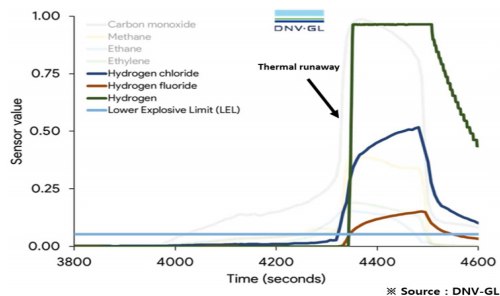


Fig. 5. Gas ingredient when cell thermal runaway test

현재 소방설비로 배터리실 내에 설치, 운용하는 연기 감지기는 배터리실 상부에 설치되어 있으며 Fig. 5의 화재발생과 거의 동일한 시기 또는 직후에 발생하는 가스 성분을 갖는 연기를 감지하고 있다. Fig. 4에서 발생하는 가스는 Fig. 5에서 이미 화재발생 전에 폭발하한농도 (LEL)를 초과하였으며 Fig. 5에서 발생한 가스는 화재발생과 동시에 폭발하한농도를 초과하였다. 열폭주는 배터리를 과충전하거나, 전기 히팅패드로 셀에 열을 가하거나, 배터리를 강제로 내부단락 또는 외부단락을 시켜 온도를 상승시킴으로써 결과를 얻을 수 있다. 이러한 시험은 실제 ESS에서 내외부 원인으로 과전류가 흐르므로써 온도가 상승하고 화재가 발생하는 경우와 동일한 결과를 보여준다. Fig. 4와 같이 열폭주 이전에 발생하는 가스를 감지하지 못하고 Fig. 5에서의 가스만을 연기감지기를 통해 감지할 경우 화재를 방지하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

2.3 리튬이온배터리 전류, 전압, 온도 및 가스 계측 기반의 화재 감지, 방지 및 소화 시험

2.3.1 리튬이온배터리 전류, 전압, 온도 감지 기반의 화재 감지, 방지 및 소화 시험

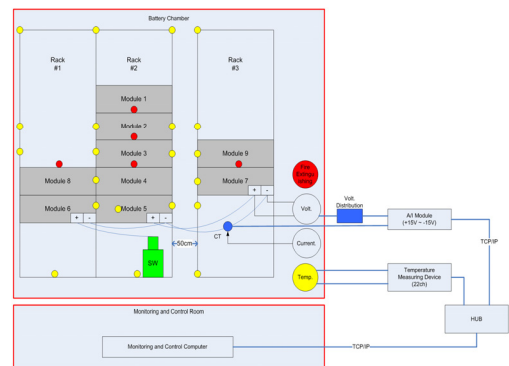


Fig. 6. Fire detecting and protection test based on sensing the current, voltage and temperature

Fig. 6과 같이 리튬이온배터리 3개 랙 프레임에 배터리 모듈을 배치하여 화재시험을 진행하였다. 랙 프레임 #2의 모듈 1~5 전체를 25kWh의 용량으로 설치하여 시험하였다. 한국전기설비규정에서 전용건물 이외의 장소에서는 이차전지모듈의 직렬연결체의 용량을 1개 랙 50kWh 이하로 규정하고 있는데 제개정안 검토를 위한 실증으로 우선 25kWh 랙을 시험하고 실증결과를 기반

으로 50kWh 랙 시험을 진행하였다. 여기서는 화재 감지, 방지 및 소화와 관련하여 25kWh 랙 시험만을 다루고자 한다. 모듈 내에는 트레이가 2개씩 직렬로 설치되어 있다. 트레이 내에는 셀이 직렬로 연결되어 있다. 모듈 1개의 용량은 5kWh이다. 모듈 5를 열화되었지만 전압이 정상적으로 출력되는 모듈로 만들고 모듈 5, 6, 7 세 개의 모듈을 병렬로 연결하되 모듈 5는 시험을 시작할 때 병렬로 연결할 수 있도록 하였다. 각 모듈의 전압 및 모듈 내 셀 1개의 온도, 병렬 연결된 배터리의 전류 등을 측정하였으며, 모듈 1, 2, 3, 8, 9 내부에는 소화설비를 장착하였다. 모듈은 정격전압 65Vdc, 정격전류 68AH이며 화재 발생시 정격의 수십배에 해당되는 전류가 흐른다. 그림 6과 같이 전압은 0~150Vdc 측정기를 각 모듈 양극, 음극 단자에 연결하여 측정하였으며, 전류는 0~1500Adc 흘형 전류 측정기를 단락을 발생시키는 모듈 5의 음극 연결 케이블에 설치하여 측정하였다. 온도는 그림 6의 황색 점의 위치에 22개소를 측정하였다. 모듈 5번 내 정면 우측 두 번째 셀에 부착한 온도센서는 0~1500℃ 온도측정이 가능한 K 타입 열전대를 사용하였으며 나머지는 0~400℃ 온도 측정이 가능한 T 타입 열전대를 모듈과 랙에 부착하여 온도를 측정하였다. 그림 7~9의 온도는 모두 3번 온도센서에서 측정한 값이다.

이 시험은 배터리 열화로 인한 내부단락과 이로 인한 화재를 시험하기 위한 것으로 모듈 5에서 시작되는 화재를 어떻게 조기에 감지하고 방지할 수 있으며, 방지하지 않을 경우 발생하는 화재가 랙 프레임 #2와 인접한 랙 프레임 #1, 3에 어떻게 확산되고 어떤 영향을 미치는지를 확인하기 위한 실증시험이다. 이 시험은 배터리 가스, 연기, 폭발 등의 위험성으로 인해 집진장치가 설치되어 있으며 수소폭발을 시험하는 방폭설비에서 시험하였다.

Fig. 6과 같이 설치한 후 모듈 5, 6, 7을 병렬로 연결하였다. Fig. 7에서 온도, 전류, 전압의 변화를 볼 수 있다.

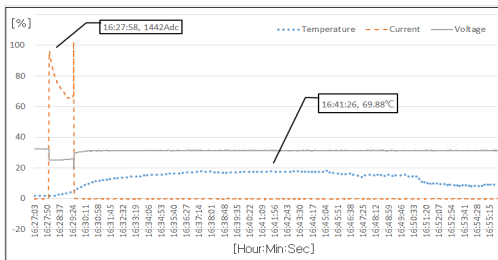


Fig. 7. First test for fire detection and protection of deteriorated battery

정격전류 약 70A의 20배가 되는 전류가 흐른 후 이를 차단하였으며 화재를 방지할 수 있었다. 전압은 32Vdc에서 25Vdc로 낮아졌지만 과전류 차단 이후 다시 원래대로 복구하였다. 온도는 과전류 인지 후 수분간 큰 변화가 없었으며 점차 69.88℃까지 상승하였으나 화재가 발생하는 정도까지는 올라가지 않았다.

Fig. 8의 시험은 Fig. 7의 경우와 동일한 시험을 1회 더 진행하였다. 동일한 경향의 결과를 나타냈다.

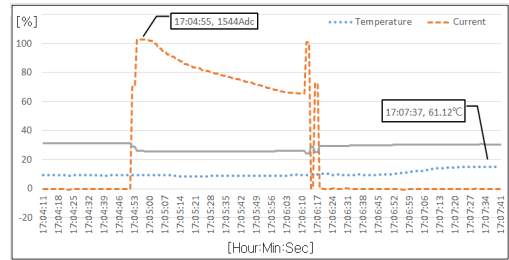


Fig. 8. Second fire detecting and protection test of deteriorated battery

Fig. 9의 시험은 Fig. 7, 8의 경우와 동일한 시험을 진행하되 과전류를 차단하지 않은 경우이다.

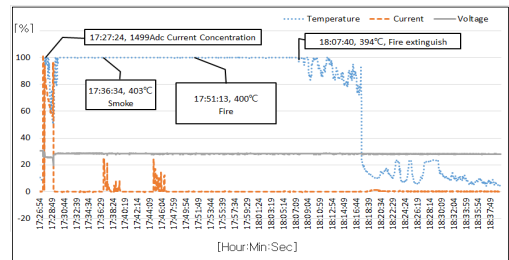


Fig. 9. Third fire detecting and protection test of deteriorated battery

과전류 발생 후 9분 경과 후 연기가 발생하고 24분 경과 후 화재가 발생하였으며 40분 경과 후 랙 #2 전체에 화재가 확산되었고 Fig. 10과 같이 화염이 최성기에 이르렀다. 최성기에 소화 가능여부를 확인하기 위하여 이때부터 소화액을 모듈 내부로 투입하는 방식으로 소화를 시작하였으며 Fig. 11과 같이 화재를 진압할 수 있었다. 화재감지를 위해 음향, 광, 연기, 오프가스를 측정하였으며 소화설비는 주포 소화액을 외부에서 가압하여 스테인리스 배관을 통해 모듈 내부에 직접 분사하는 방식으로 설치하여 시험하였다. Fig. 12는 시험 다음날 모듈의 화재 확산정도를 확인하기 위하여 모듈 전압을 확인하고

모듈 내부를 점검하는 과정이다. Fig. 12의 점검에서 랙 #2의 모든 모듈은 전압이 0Vdc로 사용할 수 없는 상태였다. 랙 #2와 50cm 이격거리를 둔 랙 #3과 인접한 랙 #1은 열로 인해 내부 구성물이 일부 녹은 흔적이 있었으며 녹은 정도의 차이가 있었으나 화재가 발생하지는 않았으며 전압도 정상적으로 측정이 되었다. 랙 #1의 모듈 6, 8 상부에 전기적으로는 연결이 안 된 상태로 방염블록을 쓴 모듈을 별도로 설치하였는데 녹은 흔적이 매우 적고 전압이 정상적으로 측정되었다.



Fig. 10. Top fire stage of 25kWh Rack



Fig. 11. Complete fire extinguishing in top fire stage of 25kWh Rack



Fig. 12. Checking battery condition after complete fire extinguishing in top fire stage of 25kWh Rack

Fig. 6~12의 시험에서 화재 징후를 미리 감지할 수 있는 경우 화재를 방지할 수 있으며 과도현상으로 불가피하게 화재가 발생할 경우 소화장치를 이용하여 화재를 진압할 수 있다는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 과정은 기술적, 경제적으로 상당히 어려운 문제이므로 이러한 과도한 전류가 발생하기 이전에 화재징후를 감지해내는 것에 주목하였다. 이러한 화재징후는 배터리의 화재 메커니즘에 따라 조기감지 요소를 규명해야 하며 배터리 내부의 변화, 외부 열화인자, 측정 가능한 외부 변화 등으로 화재 메커니즘이 진행되면서 다양한 시점에서 조기에 감지해 낼 수 있을 것이다. 이러한 메커니즘 상에 측정 가능한 외부 변화로서 감지요소는 가스, 연기, 온도, 전류, 전압 등이 다양하게 존재하나 여전히 이에 대한 감지를 통하여 화재로부터 리튬이온배터리를 완전히 보호하는 기술개발은 진행 중에 있다.

2.3.2 가스 감지 기반의 리튬이온배터리 화재 감지 및 방지 시험

여기서는 다양한 화재 감지요소 중 가스를 화재 발생 전에 감지하고 전기적인 차단을 통해 화재를 방지할 수 있는지를 시험하였다. 가스는 그림 4의 배터리 열폭주 이전에 발생하는 가스를 측정하며 오프가스라고 한다. 가스 감지기는 화재 발생 전 오프가스가 0~10ppm 농도로 발생하는 단계부터 측정이 가능한 미국 넥서시스사(Nexceris社)의 라이온테머(Li-ion Tammer)를 사용하였다. 이 시험 이후 다양한 감지요소와 ESS의 구조 및 용

량 등을 다양하게 설정하여 실증 시나리오를 개발하고 화재 안전성 및 시설기준 제정에 필요한 시험을 진행함으로써 화재를 조기에 감지하고 방지하며 불가피하게 화재 발생시 소화할 수 있는지 가능성 여부를 확인하였다.

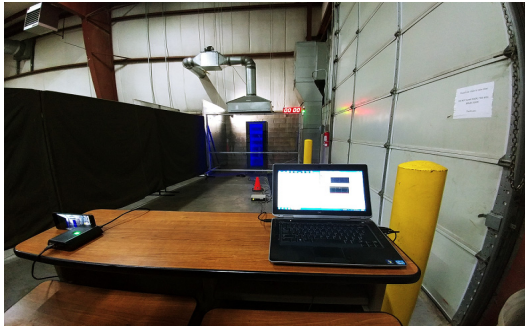


Fig. 13. Fire detection and prevention test facility for cylindrical battery cell based on gas detection

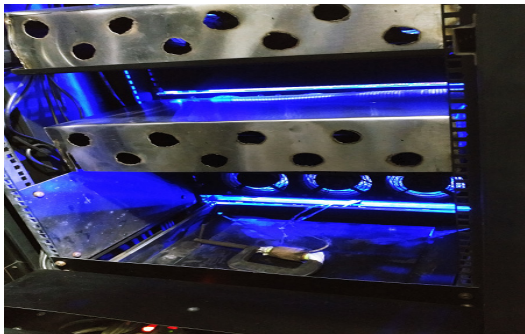


Fig. 14. The cylindrical lithium-ion battery cell under test in figure 13

열폭주를 방지하는 방법은 전기적인 차단, 온도가 상승한 배터리의 격리 등 여러 가지 방법으로 실증이 가능할 것이다. 본 시험에서는 히팅패드로 배터리를 가열하여 열화 진행 중 가스를 감지하고 열화가 가속화되어 내부단락과 화재를 유발한 경우로 가스감지 시점부터 열폭주까지의 시간을 측정하여 화재조기감지 여유시간을 확보할 수 있는지와 가스감지 후 내부단락 발생요소를 제거하여 화재를 방지할 수 있는지를 실증하였다.

Fig. 13은 원통형 리튬이온배터리 셀 1개를 시험하기 위하여 구축한 실증시험 설비이며 Fig. 14는 Fig. 13의 시험대상인 원통형 리튬이온배터리 셀이다.

Fig. 15는 Fig. 13 및 14의 배터리 셀을 히팅패드를 이용하여 5℃/분의 온도상승을 유지하면서 가열하여 열

폭주 시험을 한 결과이다. 배터리를 랙 하단에 설치하고 가스감지기와 연기감지기를 상단에 설치하여 시험하였다. 가스감지기가 열폭주 43초 전에 가스를 감지하였으며 연기감지기는 열폭주 이후에 연기를 감지하였다. 가스를 감지한 이후에도 화재를 방지하기 위한 조치를 하지 않고 열폭주 시점까지 히팅패드로 계속 가열하여 화재가 발생하였다.

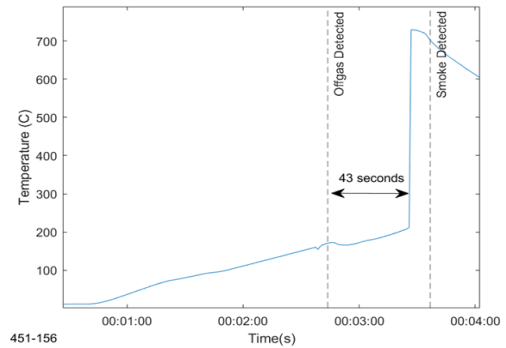


Fig. 15. Thermal runaway test of SOC 100% cylindrical cell

Fig. 16은 Fig. 15에서와 같은 조건의 시험에서 가스 감지 (OGM Signal)시 히팅패드 가열을 중단한 결과이다. 열폭주 및 연기가 발생하지 않아 화재를 방지할 수 있었다.

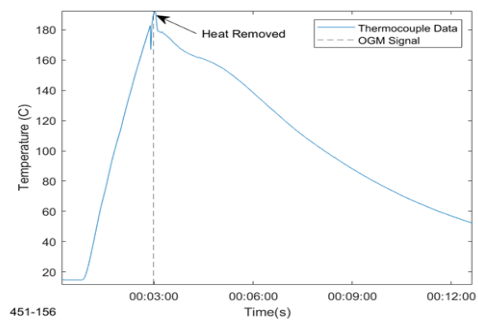


Fig. 16. Thermal runaway and fire protection test of SOC 100% cylindrical cell

Fig. 17은 배터리 모듈을 시험하기 위하여 구축한 실증시험 설비이며 Fig. 18에서는 열폭주 시험을 통해 배터리 모듈에서 화재가 발생하고 있다.



Fig. 17. Fire detection and prevention demonstration facility for battery module based on gas detection



Fig. 18. Battery module thermal runaway and fire test

Fig. 19는 파우치형 배터리 모듈의 내부 셀 1개를 히팅패드로 5℃/분의 온도상승을 유지하면서 가열하여 열폭주 시험을 한 결과이다.

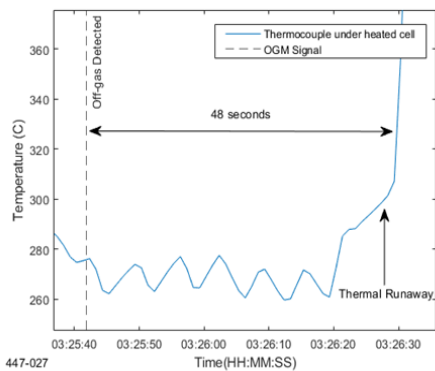


Fig. 19. Thermal runaway test of SOC 100% pouch type of battery

배터리 모듈을 단독으로 시험대 위에 설치하고 전면부 내부 셀 1개에 히팅패드를 부착하였다. 가스감지기를 모듈 외부 1미터 거리에 설치하여 시험하였다. 가스감지기가 열폭주 48초 전에 가스를 감지하였다. 가스를 감지한 이후에도 열폭주 시점까지 히팅패드로 계속 가열하여 화재가 발생하였다.

Fig. 20은 Fig. 19와 같은 조건으로 시험하였으며 가스 감지 이후 히팅패드 가열을 중지하여 화재를 방지할 수 있는지를 시험한 결과이며 온도가 내려가면서 화재가 발생하지 않음을 확인하였다.

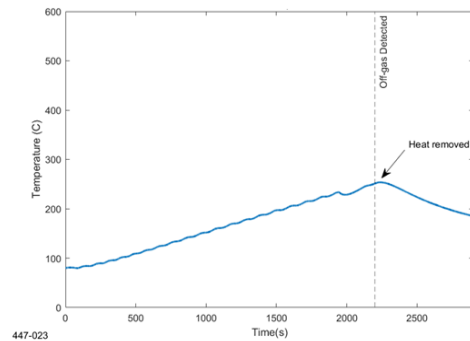


Fig. 20. Thermal runaway and fire protection test of SOC 100% pouch type of battery

위 시험에서 화재를 조기에 감지하여 방지할 수 있음을 확인하였다. 방지에 실패할 경우 Fig. 11과 같이 소화장치를 동작시켜 화재 확산을 방지할 수 있다.

3. 결론

본 연구결과는 ESS에서 발생하는 화재의 감지와 방지 및 소화 방법에 있어 제한된 측면에 국한된 것이나 기존의 전기, 온도를 사용하는 배터리 보호방법 외에도 화재 메커니즘 상의 다른 신호를 사용하여 화재사고를 조기에 감지할 수 있으며 열폭주 및 화재를 방지하고 소화도 가능한지를 확인할 수 있었다. 향후 화재 메커니즘 상에서 예측 가능한 감지신호와 센서, 방지 장치를 다양하게 개발하여 화재를 방지하며 불가피하게 화재 발생시 확산을 방지하고 소화를 성공적으로 마무리하기 위한 시스템 개발이 다양하게 이뤄져야 할 것이다. 이러한 시스템의 개발이 경제성과 신뢰성을 충분히 확보하고 조속히 성공적으로 이뤄져 신재생발전과 분산전원 추세에 있는 전력계통의 안정적인 운영을 위해 필수적으로 필요한 에너지저장장치의 보급과 운영에 기여할 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, "Promotion of 「Energy Storage System(ESS) Safety Reinforcement Measures」 to protect people's lives and property", Press release, May 2 of 2022.
- [2] K. M Park, J. H. Kim, J. Y. Park, S. B. Bang, "A Study on the Fire Risk of ESS through Fire Status and Field Investigation", Fire Sci. Eng., Vol 32, No. 6, pp. 92, 2018.
- [3] Andrew F. Blum, R. Thomas Long Jr. "Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems", p85-100, NFPA Research Foundation, Feb. 2016.
- [4] Ben Gully, Henrik Helgesen, John Erik Skogtvedt, Dimitrios Kostopoulos, "Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression" Report No. 2019-1025, Rev. 4, DNV-GL, Nov. 2019.
- [5] Sascha Koch, Kai Peter Birke, Robert Kuhn, "Fast thermal runaway detection for lithium-ion cells in large scale traction batteries," p4, Batteries 2018, 4, 16, March 2018.
- [6] Xuning Feng, Jing sun, Minggao Ouyang, Fang Wang, Xiangming He, Languang Lu, Hui Peng, "Characterization of penetration induced thermal runaway propagation process within a large format lithium ion battery module", p261-273, Power sources 275, 2015.
- [7] H. Doring, M.Worz, "Initializing of thermal runaway for lithium-ion cells", Zentrum fur Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Ulm, 2018.
- [8] Xuning Feng, Minggao Ouyang, Xiang Liu, Languang Lu, Yong Xia, Xiangming He, "Thermal runaway mechanism of lithium in battery for electric vehicles", p246-267, Energy storage materials 10, 2018.
- [9] Steve Cummings, Joo-Kwang Lee, "Prevention Method of Fire Accident for Li-ion Battery Based on Off-gas Pre-detection," Korea society for advanced technology fusion(KATF), vol. 3, pp. 30-35, January, 2019.

임 건 표(Geon-Pyo Lim)

[정회원]



- 1998년 1월 ~ 2007년 9월 : 한국 전력 보령화력본부 차장
- 2007년 9월 ~ 2017년 1월 : 한국 전력 전력연구원 선임연구원
- 2013년 8월 : 충남대학교 일반대학원 전기공학과 (전기공학박사)
- 2017년 1월 ~ 현재 : 한국전력 전력연구원 책임연구원

<관심분야>

전력, ESS

김 미 성(Mi-Seong Kim)

[정회원]



- 1990년 3월 ~ 1994년 8월 : 연세대학교 금속공학과 연구조교
- 1994년 5월 ~ 2010년 7월 : 에너지관리공단 부장
- 2014년 1월 ~ 현재 : IEC TC 120 국제표준위원

- 2010년 8월 ~ 현재 : 한국화학융합시험연구원 수석연구원, 이차전지시스템사업단장

<관심분야>

전력, ESS, 국내외 표준