1. 서론

최근 기후 변화에 대한 우려가 증가함에 따라 탄소 배출가스 규제 및 국제 정서의 불안을 이유로 에너지 값이 증가하고 있다. 이에 따라 자연스럽게 사회에서는 유동적인 자원을 이용하는 내연기관 자동차보다 친환경 에너지를 사용하는 전기 자동차에 관심을 가지게 되었고, 전기 자동차 산업의 시장 규모가 점점 커지고 있다[1]. 전기 자동차 시장이 커짐에 따라 자연스럽게 전기 자동차 보급률도 올라갔고, 보급률이 증가함에 따라 배터리 결함으로 인한 화재의 건수와 피해액 등이 증가하고 있다[2][3].

배터리 화재가 일어나는 이유는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 배터리 관리 시스템(BMS, Battery Management System)의 오류로 인해 배터리에 화재가 발생하는 경우이다. 배터리 관리 시스템은 배터리의 SoC(State of Charge)를 추정할 때 전류 적산법과 OCV(Open Circuit Voltage)를 통해 배터리 용량을 측정한다. 전류 적산법은 쉽게 말해 전하량을 세는 방법으로, 배터리의 초기 SoC 값을 임의로 설정한 후 충/방전 사이클 동안의 전류를 적분하여 계산하는 값으로 SoC를 추정한다. OCV는 배터리에 일정 휴지 기간을 준 다음 OCV와 SoC 관계를 통하여 SoC를 추정하는 방식이다[4]. 보통은 시간적 이점이 큰 전류 적산법을 이용하게 된다. 이 과정에서 치명적인 문제점이 발생하게 되는데, 초기 SoC 값의 오차가 누적되면서 앞으로의 추정 값에 영향을 미친다는 것이다[5]. 초기에는 미미하였던 오차 값은 결국 시간이 지나면 유의미한 오차 값이 되어 시스템적으로 오류가 발생할 확률이 매우 커지게 되며, 이는 결국 BMS 시스템에 오류를 발생시켜 배터리 화재로 이어지게 된다. 두 번째는 열폭주 현상이다. 열폭주는 배터리 셀의 자기 발열로 인한 급격한 온도 상승을 의미하며, 양극과 음극 사이의 분리막 붕괴로부터 시작된다[8]. 배터리 셀 내부의 온도 상승으로 인해 분리막이 분해되면 양극과 음극이 직접 접촉되면서 내부에 충전된 에너지의 급격한 방출과 함께 유기 용매인 전해액이 열분해 되고, 이로 인해 인화성 가스가 발생하며 이것을 off-gas라 한다[8]. 그래서 가스 팽창으로 인해 압력이 일정 수준 이상으로 높아지면 배터리 셀 밖으로 가스와 전해액이 누출되면서 발화한다[8]. 리튬 배터리 열폭주 현상은 다양한 원인이 있는데 대표적으로 물리적 충적, 과전압, 과방전 등 전기적 충격으로 인해 폭주가 일어나게 된다. 배터리는 양극과 음극을 분리해 놓는 분리막이 있는데, 이 분리막이 손상되면 양극과 음극이 접촉해 과열 현상 즉 열폭주가 일어나게 된다.

배터리로 인한 화재는 흔히 알려진 화재와 많이 다른 특성을 가진다. 일반적인 화재는 물을 뿌리거나 연소에 필요한 산소를 차단하지만, 배터리에서 일어난 화재는 배터리 셀에서 화재로 인해 물질이 분해되면서 산소가 공급되기에 일반적인 방법으로 화재를 진압할 수 없고, 배터리가 다 연소될 때까지 기다려야 하는 문제점이 있다. 쉽게 화재가 진압되지 않으므로 화재가 옆으로 옮겨져 더욱 큰 범위의 화재가 일어나거나, 신속한 조치가 되지 않아 주위 사물에 피해를 끼칠 수 있다[6].

현재 전기차 배터리 화재가 일어났을 때, 화재 시스템을 살펴보면 소방차가 오기 전까지 아무 대처도 할 수 없는 상황이다. 소방차와 소방관이 도착하고 방수포를 설치한 후 배터리 연소가 다 될 때까지 물을 계속 뿌려 화재 진압을 하는 방식을 주로 사용하고 있다[7]. 하지만 이러한 방식은 실외에서 적용되는 방식이며, 만약 화재가 지하 주차장 등 실내에서 일어나게 된다면, 소방차의 진입이나 방수포 설치가 힘들기 때문에 적절한 조치가 되지 않아 2차, 3차 피해가 발생할 수 있다.

현 시스템상 실내에서 배터리 화재가 일어났을 때 명확하게 해결할 방법은 없는 상황이다. 그렇기에 본 논문에서는 배터리 화재가 실내에서 일어났을 때 신속하게 화재를 진압할 수 있는 메커니즘을 개선하여 도입함으로써 시스템적 문제를 해결하고 개선하고자 한다.

참고문헌

1. "2024 Global Electric Vehicle Market Growth Forecast at 16.6%", SNE Research, https://www.sneresearch.com/kr/insight/release\_view/246/page/0?s\_cat=%7C&s\_keyword=, July 2, 2024

2. "Korea Power Exchange. Electric Vehicles and Chargers Distribution and Usage Analysis Report", Korea Power Exchange, pp. 2-8, 2021.

3. "Fire Incidence Statistics for Electric and Internal Combustion Engine Vehicles", Korean National Fire Agency, pp. 1-2, 2022

4. Kyung-Sang Ryu, Ho-Chan Kim, "Battery Cell SOC Estimation Using Neural Network", The Korean Society of Electrical and Electronic Affairs, Vol. 24, No. 1, pp. 333–338, 2020

5. Do-yang Jeong, "BMS technology for electric vehicles", The Journal of The Korean Institute of Power Electronics, Vol. 19, No. 6, pp. 45-54, 2014

6. "Fire while charging an electric car in a Busan apartment...Damage to 6 vehicles (Roundup)", Yonhap News Agency, https://www.yna.co.kr/view/AKR20230501048300051, May 1, 2023

7. Dong-hyeon Jeong, "A Study on Fire Response in Charging Facilities for Electric Vehicle", Graduate School of Engineering, Kyunggi University with a Master's Degree in Korea

8. Myung-Bo Gang, Woo-Young Kim, Nam-Jin Kim, "Numerical Comparative Study on the Thermal Runaway of NCM/LFP Batteries of the Same Geometry", Korean Society for Geothermal and Hydrothermal Energy (KSGHE), Vol. 18, No. 4, pp. 1-11, 2022