ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 23-01-13
j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.27,No.1,85~92,March 2023
https://doi.org/10.7471/ikeee.2023.27.1.85

적응적 배터리 팩 피막 저항 변화 감지를 통한 배터리 스웰링 감지 기법

Battery swelling detection system based on adaptive resistance change on battery pack surface

박 성 현*, 성 기 범*, 박 재 현†★, 신 동 화†★

Sunghyun Park*, Kibum Sung**, Jaehyun Park†★, and Donghwa Shin†★

Abstract

Recently, as the era of the 4th Industrial Revolution approaches, IoT devices that emphasize portability are increasing. At the same time, battery usage is also increasing rapidly. With the rapid increase in battery usage, issues related to battery safety have become inevitable problems and many studies have been conducted. This paper deals with explosion issues caused by swelling among various battery issues, and includes research and development of a system that detects battery swelling by identifying resistance changes. The core technology of this study is to develop a system that frequently detects changes in the resistance of wires drawn on the battery through changes in volume that occur when the battery swelling, and uses the resistance changes to prevent battery explosion. In addition, through pattern analysis, it was analyzed how the wire should be constructed to cause a lot of resistance changes.

요 약

최근 4차 산업혁명 시대가 다가오면서 휴대성을 강조한 IoT 기기가 늘고 있다. 동시에 배터리 사용량도 급증하고 있다. 배터리 사용량이 증가하면서 배터리 안전과 관련된 이슈는 피할 수 없는 문제가 되었고, 많은 연구가 이뤄졌다. 본 논문은 다양한 배터리 문제 중 팽창으로 인한 폭발 문제를 다루고 있으며, 저항 변화를 파악하여 배터리 팽창을 감지하는 시스템의 연구 및 개발을 포함하고 있다. 이번 연구의 핵심기술은 배터리가 팽창할 때 발생하는 부피 변화를 배터리에 그려진 전선의 저항 변화를 이용해 배터리 폭발을 방지하는 시스템을 개발하는 것이다. 또한 패턴분석을 통해 어떤 형태로 전선을 구성하여야 저항 변화가 많이 일어나는지 분석하였다.

Key words : Battery, Swelling, Swelling detection, Battery swelling detection system, Swelling pattern

---

* Master Student, Dept. of Intelligent Systems, Soongsil University
** Engineer, HL Klemove
†Associate Professor, Dept. of Electrical Engineering, University of Ulsan
† Associate Professor, Dept. of AI Convergence, Soongsil University
★ Corresponding Author
E-mail : jaehyun@ulsan.ac.kr, donghwashin@soongsill.ac.kr, Tel : +82-52-259-2203, +82-02-820-0958
Manuscript received Nov. 22, 2022; revised Dec. 14, 2022; accepted Mar. 20, 2023.
※ Acknowledgment
※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (NO. RS-2023-00208046)
※ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

최근 4차 산업 혁명의 발전으로 많은 IoT(Internet of Things) 장치들이 증가함에 따라 휴대성을 제공하기 위한 배터리의 사용이 필수화되고 있다[1]. 이에 따라 배터리 안전에 관한 문제의 중요성이 커지고 있는 가운데 가장 위험성이 큰 이슈 가운데 하나는 배터리 내 리튬 이온 전해액이 기화하여 배터리가 부풀어 오르는 스웰링(Swelling)으로 인한 배터리 폭발이다. 이러한 현상은 재충전하여 사용할 수 있는 2차전지에서 주로 발생하며, 휴대용 기기에 사용되는 리튬이온(Li-ion) 배터리, 리튬 폴리머(Li-po) 배터리에서 다수 발생한다. 스웰링으로 인한 폭발위험을 피하고자 스웰링 현상을 감지하기 위해 전기적, 기계적, 화학적 특성의 이상값을 통한 감지 기법이 활발히 연구되고 있다.

선행연구를 통하여 배터리 스웰링으로 인한 배터리 팩의 형상 변화를 외부에 일정한 패턴으로 도포된 전도성 막의 저항값 변화를 통하여 감지하는 기법이 제안된 바 있다. 본 연구에서는 부피 및 형상 변화로 인한 전기 저항의 변화를 감지하는 기법에 있어 초기 저항값 및 온도 등 환경적 요인의 영향으로 인한 측정 변이에 대응하기 위하여 초기 저항값과 온도 변화로 인하여 변화한 저항값을 기억한 뒤 배터리 스웰링 감지 범위를 적응적으로 설정함으로써 스웰링 감지 결과의 신뢰성을 높일 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 적응적 온도 및 초깃값 보정 기법이 일간 및 계절 간 온도의 변화로 인한 거짓 경보(False alarm)의 가능성을 줄일 수 있는 것을 시뮬레이션과 실측을 통해 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이전 배터리 스웰링 감지 시스템 관련 연구 사례를 살펴보고 본 연구와의 차이점을 설명하며, 3장에서 본 연구와 실험 과정에 관하여 설명하고, 프로토타입을 통하여 테스트를 진행한 후 데이터를 분석한다. 추가로 배터리 팩의 외부에서 생성될 수 있는 여러 가지 선형 패턴에 대하여 실험을 진행하고, 해당 결과를 통해 실제로 배터리 팩 중앙을 기준으로 스웰링이 일어나는 것을 감지할 수 있음을 보인다. 이후 본 연구에서 배터리 스웰링 감지율을 높이는 방안을 제시하고 마지막 4장에서 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

Ⅱ. 기존 배터리 스웰링 감지 관련 연구

열폭주로 인한 폭발 문제는 널리 알려진 리튬 이온 배터리의 안전성 문제이다[1]. 내부 소재의 열화와 기계적 결함으로 인한 발열은 밀폐된 배터리 팩 내부에서 가스를 발생시켜 폭발 및 발화를 일으킬 수 있다[2]. 배터리 팩이 폭발하기 이전에 이를 감지하는 것은 리튬이온 배터리의 안전한 이용을 위해 필수적이며, 배터리 팩의 팽창(스웰링, Swelling)은 이를 판별하는 주요 지표이다[3].

Table 1. Previous Battery Swelling Detection System Study Case.

표 1. 배터리 스웰링 감지 시스템 선행연구 사례

Method	Detail Method	Research Institute
Mechanical	Battery swelling detection system through sensor line change and disconnection	SPM Talos
	Shut off power supply using battery cell expansion detection wire	HYUNDAI MOBIS
	Detect change in battery cell volume using pressure measurement sensor	LG Chem
	Detected based on contact to a contact formed at a separation between housing and battery	LG Chem
Chemical	Real-time detection of gas diverging from battery cells	LG Chem

다음으로는 유사한 배터리 스웰링 감지 시스템 관련 선행연구 사례와 차이점을 중심으로 살핀다. 기존연구는 표 1과 같이 크게 기계적 감지와 화학적 감지 두 가지 방식으로 나눌 수 있다.

기계적 감지의 연구 중 센서 선의 변화와 단선을 통하여 스웰링을 감지하는 방식이 있다[5]. [5]는 저항을 통하여 배터리 스웰링을 감지한다는 점에서 본 연구와 가장 유사하지만, 스웰링 감지 시의 기준점을 어떻게 설정하는지 명시되어 있지 않으며, 센서 선과 측정회로 연결 상태 또는 주변 온도에 따라서 측정이 되는 기준값의 초깃값이 다른 경우 대응할 방법이 없다. 이러한 배터리 팩의 팽창을 판별하기 위하여 형상의 변화를 감지하는 기법이 제안된 바 있다[6].

다음으로 셀 팽창 시 팽창 감지 선을 이용하여 전원 공급을 차단하는 방식이 있다[7]. [7]은 배터리 셀 팽창 시 팽창 감지 선을 파괴함과 동시에 배터리의 전원 공급을 차단하는 방식이다. 하지만 팽창 감지 선이 파괴되는 과정에서 발생할 수 있는 스파크가 점화원으로 작용하여 화재가 발생할 가능성이 있다는 점이 단점이다.

세 번째 사례는 압력 측정 센서를 이용하여 배터리 셀의 부피 변화를 감지하는 방식이다[8]. [8]은 배터리 셀

의 부피가 팽창하면 압력 측정 센서를 통해 배터리 스웰링 현상을 감지하는 것이다. 하지만 배터리 셀의 부피 팽창은 스웰링이 충분히 진행되어야 발생하는 현상으로 스웰링 초기에 감지하지 못하고 스웰링이 어느 정도 진행된 후에야 전류를 차단할 수 있어 발화의 위험성이 상대적으로 크다. 동시에 압력센서 사용은 부피 및 유지보수 측면에서 불리하며 고장률이 높다는 문제점이 있다.

네 번째 선행연구 사례는 배터리 하우징과 배터리 사이의 접촉을 감지하는 방식이다[9]. 이는 배터리와 배터리 하우징 사이에 존재하는 간격에 접점을 만들고 배터리가 팽창하여 접점에 접촉될 때 스웰링에 대한 신호를 보내준다. 하지만 이 연구 또한 배터리 팽창으로 인하여 스웰링이 충분히 진행되어야 확인할 수 있어 스웰링 초기에 감지하여 대응하기 어렵다. 또한, 전류가 차단되었다 하더라도 추가적인 스웰링의 진행으로 인하여 발화가 일어날 수 있는 위험성이 크며, 진동 등에도 취약하다.

다섯 번째 선행연구 사례는 탄소나노튜브를 이용한 인장도(strain) 센서를 부착하여 리튬 이온전지의 스웰링을 감지하는 기법이 제안되었다[10]. 해당 기법은 매우 높은 정확도를 보여주고 있으며, 재사용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 배터리 팩이 스웰링 된 후에는 안전상의 이유로 재사용이 불가하다는 점에서 볼 때 상대적으로 고가인 탄소나노튜브 센서를 적용하는 것은 적지 않은 비용 상승요인이 되는 단점이 있다.

다음은 화학적 감지방식의 예로서 배터리 셀로부터 분출되는 가스를 실시간으로 감지하는 방식이다[11]. [11]은 배터리 스웰링이 일어나는 현상을 비교적 초기부터 알 수 있다. 하지만 감시 장치가 배터리 모듈 내에 설치되어 있어 모듈 내 배터리 셀 중 문제가 있는 셀을 파악하기 힘들다. 또한, 이러한 방식을 채택하기 위하여 배터리 셀의 실링 방식을 4면 중 3면은 평소처럼 진행하고 1면만 평소보다 약하게 실링 하여야만 한다. 이후 약하게 실링된 부분으로 가스 배출을 유도하고, 유출된 가스의 농도에 따라 기준을 정하여 배터리 스웰링을 감지한다. 하지만 발생한 가스는 유해물질이며 상황에 따라 배터리 팩 밖으로 유출되어 화재에 더 취약한 요인이 될 수 있다.

본 연구는 선행 연구 사례들과 다음과 같은 점에 차별성은 갖는다. 먼저 [5]는 본 연구와 가장 비슷한 원리를 적용하였지만 측정할 센서 선과 측정회로의 연결 상태와 온도에 따라 초깃값과 값이 달라지는 영향을 고려하지 않았다. 본 연구는 초깃값의 가변적 설정을 통하여 이러한 단점을 보완하였다. [7]과 달리 본 연구에서 제안한 기법은 배터리 팽창 시 외부 장치를 파괴하지 않으므로 이로 인하여 발화의 가능성이 없는 장점이 있다.

[8]와 [9]는 배터리에 직접 센서나 회로를 부착하는 것이 아닌 하우징 혹은 접촉점에 센서나 회로를 부착하여 배터리 스웰링을 감지한다. 이는 배터리 스웰링 발생 시 간접적으로 스웰링의 변화를 확인할 수 있지만 본 연구는 배터리에 전도성 막을 도포하여 스웰링을 직접 감지한다. 동시에 다른 시스템들에 비하여 저렴하며, 설치 및 사용에 편리하다.

Ⅲ. 실험 환경 및 결과

1. 실험 환경

본 논문의 실험 환경은 다음과 같다. 안전을 고려하여 배터리 파우치 팩 대신 재질과 형상이 가장 유사한 알루미늄 파우치를 사용하였다. [12]에 따르면 배터리팩의 외층의 경우 포장용 필름으로 주로 이용되는 폴리아미드수지, 폴리메타키실린렌 아미파미드 등의 나일론 필름을 이용하며, 외층은 12~30um로 구성하게 되어있다. 이와 가장 유사한 폴리아미드수지 기반의 알루미늄 파우치를 선정하였으며, 외층의 두께는 30um로 구성하였다. 스웰링 감지를 위한 도선은 그림 1과 같이 전도성 펜으로 도

Fig. 1. Aluminum pouch with conductive wire.
그림 1. 도선을 그린 알루미늄 파우치

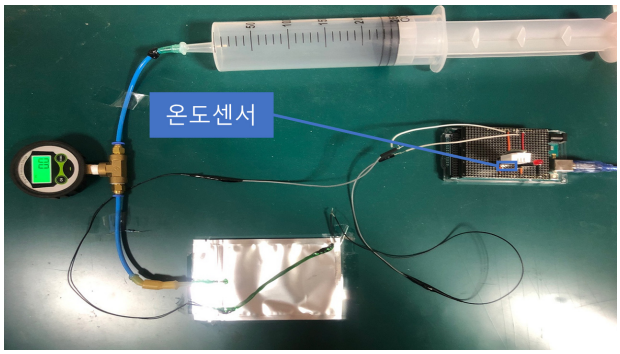


Fig. 2. The experimental environment and prototype.
그림 2. 실험 환경 및 프로토타입

포하였다. 배터리 스웰링 현상을 재현하기 위하여 실린더를 이용하여 알루미늄 파우치로 공기를 주입하였다. 측정 및 제어를 위하여 아두이노 보드가 이용되었으며, 전반적인 실험 환경의 구성은 그림 2와 같다.

$$R=\rho\frac{L}{A} \tag{1}$$

저항값은 식 (1)과 같이 도체의 길이 L에 비례하며 단면적 A에 반비례한다. 전도성 막이 도포된 배터리 팩이 부풀어 오르면 배터리 팩의 표면적이 늘어남에 따라 도포된 전선의 길이도 늘어난다. 따라서 전선의 저항값도 초깃값보다 더 크게 측정된다. 만약 배터리 팩 위 도포된 도선이 너무 얇아 스웰링 과정에서 선이 끊어지면 저항은 무한대로 증가하므로 이를 통해 배터리 스웰링을 감지할 수 있다.

회로는 배터리의 스웰링을 감지하기 위하여 구현된 회로로 2가지 기능을 수행한다. 첫 번째는 저항값을 측정하여 미리 설정한 범위 이상의 변화를 감지하는 순간 모든 시스템을 종료하는 신호를 보낸다. 배터리 팩은 배터리 셀 두께 또는 배터리 팩의 안전성 시험 규격에 따라 허용되는 부피 최대치가 달라 본 실험에서는 저항 변화율이 110%에 도달할 때 스웰링 감지 신호를 보내도록 설정하였다. 대부분 배터리는 타이트한 하우징 안에 장착된다는 점과 배터리 팩 위에 그려진 도선의 저항값이 온도에 영향을 받아 거짓 경보(False alarm)를 낼 수 있다는 취약점 보완하기 위하여 110%로 설정하였다. 두 번째 기능은 온도 측정 기능이다. 이를 통해 실험 환경의 온도에 따라 배터리 팩 위에 도포된 도선의 저항이 변화하는 것을 확인하였다. 관련 내용은 3장 2절에서 다룬다.

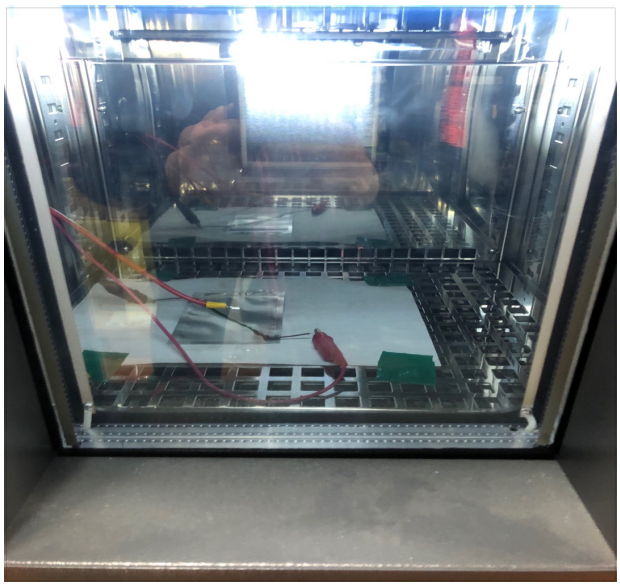


Fig. 3. The experiment of resistance change in a temperature chamber.
그림 3. 온도 챔버를 이용한 저항 변화 실험

실험은 그림 2에서 제시된 프로토타입을 사용하여 아래와 같이 진행하였다. 우선 배터리 팩 부피 증가에 따른 저항의 변화를 감지하기 위해 실온에서 배터리 팩 대신 사용된 알루미늄 파우치 위에 도선을 도포 후 저항을 측정하였다. 이후 전도성 선이 그려진 알루미늄 파우치에 공기를 주입하며 알루미늄 파우치의 부피 변화에 따른 저항값의 변화를 측정하였다.

이후 그림 3과 같이 온도 챔버를 이용하여 주변 온도를 -10˚C~60˚C 범위에서 변경하며 도선의 저항값 변화를 측정하였다.

2. 실험결과

배터리 팩이 스웰링 될 시 부피 변화에 따른 도선의 저항 변화는 그림 4와 같다. 가로축은 공기주입량, 세로축은 공기주입량이 120mL일 때의 저항값을 기준으로 상대적인 저항의 비를 의미한다. 공기주입량이 증가할수록 도선의 저항 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다.

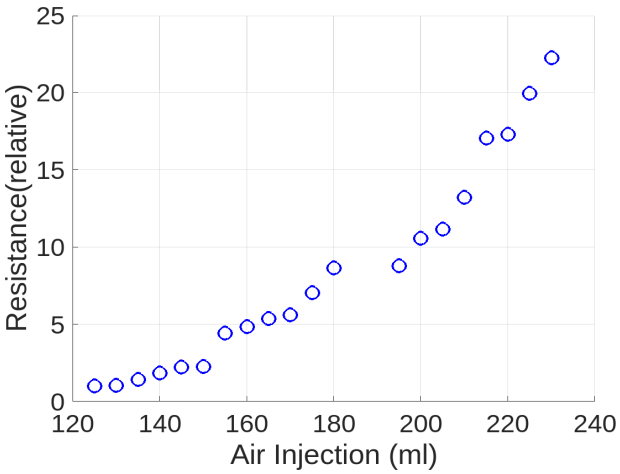


Fig. 4. Change of resistance according to the air injection.
그림 4. 공기주입량에 따른 저항의 변화

온도와 저항의 관계를 모형화하기 위하여 온도 변화에 따른 전도성 잉크의 저항 변화는 그림 5과 같다. 가로축은 온도, 세로축은 -10˚C일때의 저항값을 기준으로 상대적인 저항의 비를 의미한다. 알루미늄 파우치를 온도 챔버에 넣은 뒤 -10˚C에서 60˚C까지 온도를 변화시키며 저항을 측정하였다. 단, 이 실험에서는 배터리 스웰링 시 발생하는 배터리 팩의 발열에 대해서는 고려하지 않았다.

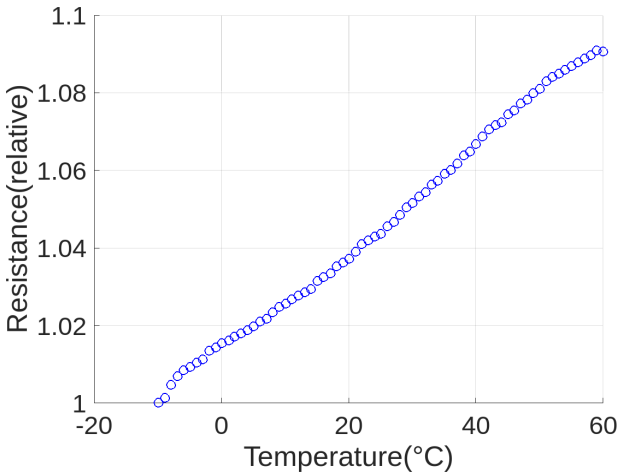


Fig. 5. The resistance change according to the temperature.
그림 5. 온도변화에 따른 저항값의 변화

실험 결과 온도의 변화가 저항값에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 이후 회귀분석을 통해 온도-저항 모형을 도출하였다. 본 연구에서 제안하고 있는 온도 적응적 보정 기법은 배터리 팩 위에 그려진 전도성 막의 저항값을 주변 온도를 고려하여 저항값 변화 판단의 기준점으로 재설정하며, 배터리 스웰링 발생 시에는 배터리 팩을 재사용하지 않고 배터리 교체를 진행하므로 온도에 따른 영향이 최소화된다.

온도에 따른 영향을 실제 환경에서 평가하기 위해 온도-저항 모형을 실제 날씨에 적용하여 일일 온도 변화가 도선의 저항값 변화에 미치는 영향을 예측하였다. 그림 6의 첫 번째 그래프의 빨간색 선과 파란색 선은 각각 2019년도 최고 기온 일과 최저 기온 일의 시간별 온도 변화를 보여주고 있으며 두 번째 그래프는 시간별 온도를 본 연구에서 도출한 온도-저항 모형에 대입한 결과를 보여주고 있다. 이를 기반으로 온도의 영향으로 최대 0.7%의 저항 변화율이 생길 수 있다는 것을 확인하였다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 주변 온도 변화를 보정하여 배터리 스웰링 감지의 신뢰성을 높이는 알고리즘을 구현하였다.

실제 구현에 있어서는 시스템이 시작할 때 시작 온도와 저항값을 기록하고 이를 기준으로 이후의 온도 변화량을 판단한다. 저항 측정을 반복하는 과정에서 기준 저항값의 110% 이상이 되는 저항값이 측정되거나 사전에 설정한 배터리 사용 가능 온도 범위 35°C~-10°C를 벗어난다면 배터리 스웰링 감지 신호를 발신하고 시스템을

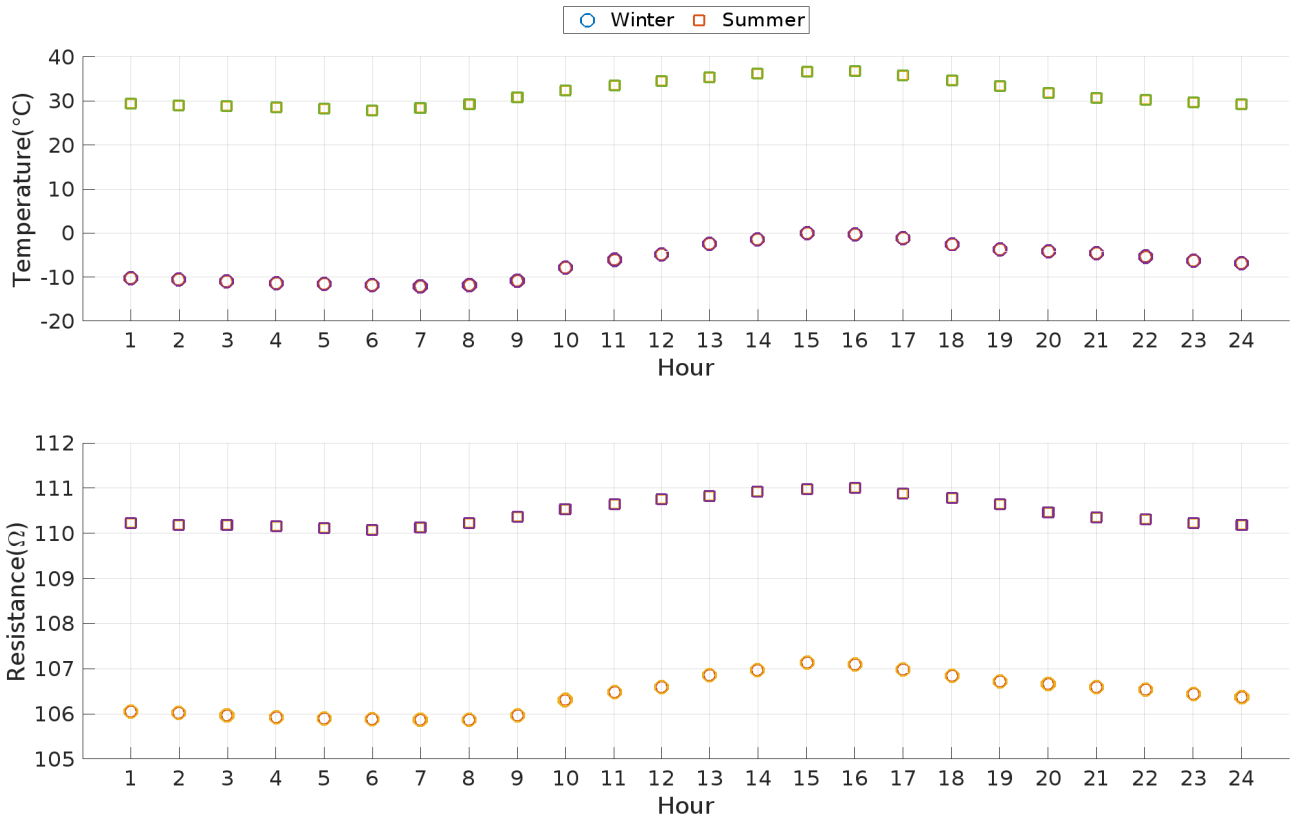


Fig. 6. Resistance value change according to hourly temperature in summer and winter, and the effect of daily temperature change on resistance measurement accuracy.
그림 6. 여름, 겨울철 최고, 최저 일일 시간별 온도 변화에 따른 저항값 변화 예측 및 일일 온도 변화가 저항 측정 정확도에 미치는 영향

종료한다.

3. 도선 패턴과 스웰링 감지

배터리 팩 위에 도포된 도선의 저항값 변화를 통해 스웰링을 감지할 경우 가장 효율적으로 감지할 수 있는 도선 패턴을 파악해야 한다. 따라서 배터리 스웰링 시 배터리의 물리적 팽창 양상을 제일 잘 인식될 수 있는 부위를 파악하여 도선을 도포한다면 저항값의 변화를 통해 스웰링을 초기에 감지할 수 있다.

본 논문에서 진행한 실험에서는 안전상 이유로 인하여 실제 배터리 셀 대신 네 모서리를 봉한 알루미늄 파우치에 공기를 주입하며 팽창을 확인하였다. 네 모서리를 봉하였기 때문에 가운데 부분이 가장 많이 늘어나 단순한 직선 패턴으로도 파우치의 팽창을 효율적으로 확인할 수 있다고 가정하였다.

이를 확인하기 위하여 그림 7과 같이 a부터 e까지 5개의 선형 패턴을 도포한 후 3.2절의 실험과 동일하게 반복하며 공기주입량에 따른 도선의 길이와 저항값을 측정하였다.

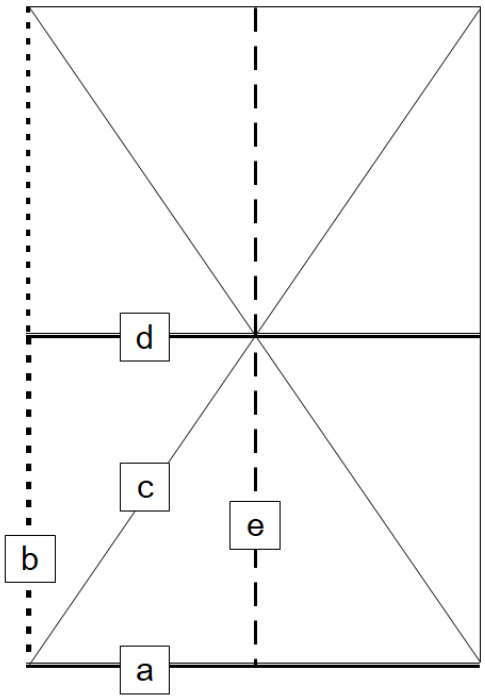


Fig. 7. Linear pattern of conductive pen.
그림 7. 선형 도선 패턴

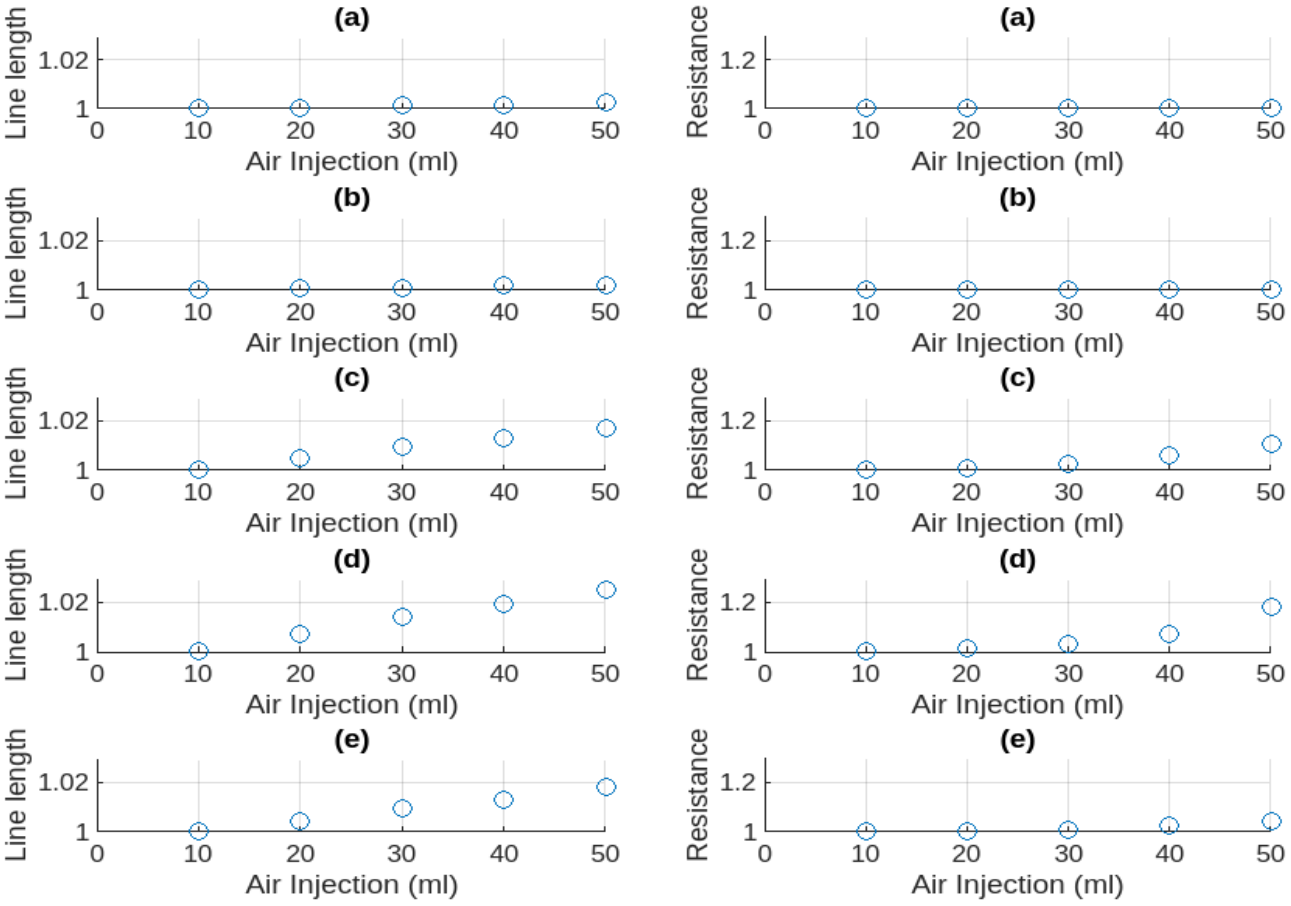


Fig. 8. Line length(left) and resistance changes(right) with air injection amount about each line(a~e).
그림 8. 공기주입량에 따른 패턴(a~e)별 길이변화(왼쪽)와 저항변화(오른쪽)

그림 8은 10ml부터 50ml까지 공기를 주입하며 도선의 길이와 저항값을 측정한 결과이다. 배터리의 모서리 부분에 그려진 패턴 a, b에서는 길이 변화와 저항값의 변화가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 중앙의 팽창하는 부분을 지나가는 패턴 c, d, e의 경우 공기주입량이 증가함에 따라 길이가 증가하며 저항값이 지수적으로 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

이를 통하여 부피가 가장 많이 팽창하는 중심부를 지나는 도선 상에서 저항이 가장 많이 증가하며 중심부를 지나는 패턴 d가 배터리 스웰링을 가장 효과적으로 감지하는 것을 알 수 있다. 이는 부피가 증가함에 따라, 도선의 길이는 증가하고, 도선의 단면적은 기존 도선대비 상대적으로 감소하기 때문에 팽창의 중심부를 기준으로 가장 짧게 연결된 도선에선 3요소의 변화가 급격히 나타날 수 있다. 결과적으로 d에서 c와 e보다 큰 증가율을 보이는 것은 중심부를 지나지만 연결된 길이가 짧아 부피변화 발생시 다른 패턴에 비해 상대적인 길이 변화율이 크기 때문이다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 배터리 팩에 도포된 전도성 패턴의 저항 변화를 추적함으로써 배터리 스웰링을 감지하는 방법의 신뢰성을 높이기 위한 기법을 제안하였다. 고정된 저항값 및 범위를 적용하는 기존 접근방법과는 달리, 제안된 기법은 대용량 배터리 팩의 배터리 관리 시스템 (BMS)에 일반적으로 적용되는 수준의 저사양 프로세서에서도 구현 가능한 온도 적응적 알고리즘을 적용하여, 초기값 변이 및 온도 등의 영향으로 인한 동적 변화에도 대응할 수 있도록 설계되었다. 시제품 제작 및 실측을 통하여 모델을 수립하였고, 해당 모델에 기반한 시뮬레이션을 통하여 제안된 기법의 효과를 검증하였다. 실험 결과 제안된 적응적 온도 및 초기값 보정 기법은 일간 및 계절 간 온도의 변화로 인한 거짓 경보(False alarm)의 가능성을 줄일 수 있다.

향후 전도성 막의 도선 패턴 및 외부 접점의 형태, 온도 순환(Temperature Cycling)에 의한 효과 등 신뢰성을 높이기 위한 추가 연구를 통하여, 온도-저항의 측정 오차 및 스웰링 시 실제 배터리 팩의 발열로 인하여 미치는 영향 등을 고려하여 기법의 적용성을 높이는 방안을 연구할 계획이다.

References

[1] J.-M. Tarascon and M. Armand, “ssues and Challenges Facing Rechargeable Lithium Batteries,” *Nature*, vol.414, no.15, pp.359-367, 2001.

[2] Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun and C. Chen, “Thermal Runaway Caused Fire and Explosion of Lithium Ion Battery,” *J. Power Sources,* vol.208, pp.210-224, 2012.
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.02.038

[3] Z. Zhang, P. Ramadass and W. Fang, 18 - Safety of Lithium-Ion Batteries, Elsevier B.V., 2014.

[4] https://www.samsungsdi.co.kr/column/all/detail/55161.html

[5] Tae-Young Kang, Yong-Seok Seo, SPM talos Corp., “Battery explosion prevention sensor and a method of controlling a battery charging/discharging circuit using the same,” *Korean Patent Office (KR) Registered Patent Publication (B1)*, Publication No.10-2009-0120268, 2008.

[6] P. K. Leung, C. Moreno, I. Masters, S. Hazra, B. Conde and M. R. Mohamed, “Real-time Displacement and Strain Mappings of Lithium-Ion Batteries Using Three-Dimensional Digital Image Correlation,” *J. Power Sources,* vol.271, pp.82-86, 2014.
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.07.184

[7] Jaesang Jung, Hyundai Mobis Co., Ltd., “Battery Overcharge Power Shutoff System,” *Korean Patent Office (KR) Patent Publication (A),* Publication No. 10-2013-0066039, 2011.

[8] Jaechan Lee, Sooyoung Kim, Cheol Taek Kim, LG Chem Ltd., “SYSTEM AND METHOD FOR SENSING BATTERY CELL SWELLING,” *World Intellectual Property Organization, International Publication,* No. WO 2016/200212 Al, 2016.

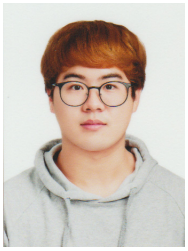
[9] Sungwook Ahn, Youngho Hwang, LG Chem Ltd., “Battery Swelling Detection Device and Method”, *Korean Patent Office (KR) Patent Publication (A)*, Publication No. 10-2018-0076578, 2016.

[10] W. Choi, Y. Seo, K. Yoo, T. J. Ko and J. Choi, “Carbon Nanotube-Based Strain Sensor for Excessive Swelling Detection of Lithium-Ion Battery,”

2019 20th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII (TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXXIII), pp.2356-2359, 2019.
DOI: 10.1109/TRANSDUCERS.2019.8808477.
[11] Jaechan Lee, Gyuyeol Lee, Sooyoung Kim, LG Chem Ltd., "BATTERY SWELLING SENSING SYSTEM AND METHOD," *World Intellectual Property Organization, International Publication* No. WO 2017/047937 Al, 2016.
[12] ChangSoo Ham, "An Aluminium pouch film and the Secondary Battery comprising the same," https://patents.google.com/patent/KR20160100604A/en

BIOGRAPHY

Sunghyun Park (Member)



2022 : BS degree in AI Convergence, Soongsil University.
2022~ : Master Student, Soongsil University

Kibum Sung (Member)

2021 : BS degree in AI Convergence, Soongsil University.
2021~ : Engineer, HL Klemove

Jaehyun Park (Member)

2006 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.
2015 : PhD degree in Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University.
2009~2010 : Visiting Scholar, University of Southern California
2015~2018 : Visiting Scholar, Arizona State University
2018~2023 : Assistant Professor, University of Ulsan
2023~ : Associate Professor, University of Ulsan

Donghwa Shin (Member)

2005 : BS degree in Computer Engineering, Seoul National University.
2007 : MS degree in Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University.
2012 : PhD degree in Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University.
2014~2017 : Assistant Professor, Yeungnam University
2018~ : Associate Professor, Soongsil University