

# 전기차 리튬이온 배터리의 에이징 공법을 위한 배터리 온도 모니터링 및 시뮬레이션 시스템 개발

정해민<sup>0</sup>, 홍성웅<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>청주대학교 컴퓨터정보공학과,

<sup>\*</sup>청주대학교 소프트웨어융합학부

e-mail: jhemin04151@cju.ac.kr<sup>0</sup>, leoking@cju.ac.kr<sup>\*</sup>

## Development of Battery Temperature Monitoring and Simulation System for Aging Method of Lithium-ion Battery for Electric Vehicles

He-min Jeong<sup>0</sup>, Seong-Wung Hong<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>Dept. of Computer Information Science, Cheong-Ju University,

<sup>\*</sup>Dept. of Software Convergence, Cheong-Ju University

### ● 요약 ●

최근 전기차의 기술 발전이 급속도로 증가함에 따라 이차전지의 수요가 증가하게 되었다. 그로인해 다량의 고품질 전지를 생산하기 위해 제조 공장이 가동되고 있지만 생산된 전지의 품질의 핵심이 되는 화성공정의 에이징 과정 진행 중 온도 관리에 실패할 경우, 전지의 폭발 및 화재의 위험이 있다. 본 논문은 이차전지를 생산하는 에이징 공정의 효율적인 온도 관리를 위해 목업 모형을 만들어 온도 센서를 통한 온도 수집 및 모니터링 시스템을 개발하고, 공조기 바람을 통해 전지의 온도가 변화하는 속도를 계산하고, 이상온도에 도달해 고온의 상태가 되었을 경우 주변 전지로 전달되는 열을 시뮬레이션 통한 효율적인 공조 대책을 제시하여 이차전지 생산의 품질 향상과 화재 예방을 통해 전기차 생산에 따른 리튬이온 전지의 수요 해결에 기여한다.

**키워드:** 이차전지(Secondary Batteries), 리튬이온전지(Lithium-Ion Battery), 시뮬레이션(Simulation), 화성공정(Chemical Process), 온도(Temperature), 모니터링(Monitoring)

## I. Introduction

이차전지란 외부의 전기 에너지를 화학 에너지의 형태로 바꾸어 저장해 두었다가 필요할 때 전기를 만들어 내는 장치를 말한다. 특히 여러번 충전하여 사용할 수 있어 이차전지라고 불리며, 한번 사용 후 충전이 불가능해 버려지는 전지는 일차전지로 부른다.

최근 전기차의 발전이 급속도로 진행되면서 전기차 판매량 또한 증가할 추세로, 이차전지의 사용성이 급증하게 되었다. 전기차의 생산량 증가 외에도, 차량의 부품과 장비를 운용함과 동시에 주행가능 거리 또한 차량 성능의 주 요소이기 때문에 이차전지의 충분한 생산성과 품질 향상에 관심이 생기고 있다.

이차전지의 생산 공정은 크게 4가지로 구분된다. 첫째로 양극재와 음극재를 각각 알루미늄 극판, 동박 극판에 붙이는 전극공정, 둘째로 전극공정을 통해 제조된 양극판과 음극판을 분리막과 함께 조립하여 완성품 셀을 만드는 조립공정, 셋째로 조립된 전지 셀에 전기적 특성을 가지도록 전지를 활성화 시키는 화성공정, 마지막으로 검사 장비를 통해 셀의 불량률 점검하는 기타공정으로 나뉜다.

특히 화성공정은 전지의 품질을 향상시키는 매우 중요한 공정이다. 전지 내부의 전해액을 고르게 분산시켜 이온의 이동을 최적화 되도록 하여 전지의 품질을 결정짓는 특징이 있다. 정해진 온도, 습도에 일정 시간 보관하는 것이 핵심으로 일정한 온도 유지 기술이 필수적이다. 만약 열 관리에 실패하여 적정온도보다 낮거나 지나친 고온을 유지하게 되면, 전지의 품질이 떨어지거나 전지 내부의 파우치가 부풀어 올라 폭발과 화재가 발생한다. 특히 화재가 발생할 경우 생산중인 모든 전지가 폐기되기 때문에 원재료 손실과 공장 건물 및 설비 손실, 심할 경우 사람이 다치거나 사망하는 등의 막대한 손해가 발생하게 된다.[1]

이러한 화재 사고를 예방하고 전지의 생산성과 품질을 향상시키기 위해 배터리 에이징 공정을 실시하는 배터리 저장 랙의 온도를 3차원 모니터링 및 온도확산의 시뮬레이션을 수행하는 시스템을 개발하고자 한다.

## II. Preliminaries

### 2.1. 화성공정의 세부 절차와 사고 연관성

이차전지 제작공법 중 화성공정의 세부내용은 다음과 같다. [Fig. 1.]의 구조로 전극공정과 조립공정을 마친 전지는 충전과 방전의 반복 과정을 거친 후 상단부의 에이징 랙으로 이동하여 요구된 일정 온도를 유지하며 장기간 보관된다. 충분한 시간이 지나 에이징 기간이 완료된 전지들은 그림 하단의 등급분류 장비로 이동하여 전지의 품질, 불량여부 등을 점검하여 전지의 등급을 분류하게 된다.



Fig. 1. 이차전지 화성공정 내부 예시  
[출처] 피앤이솔루션

특히 에이징 랙에서 전지들을 보관할 때 전지의 전기적 특성이 발현되고 전지 내부의 전해액이 고르게 분산시켜 이온의 이동이 최적화 되는데 해당 과정의 진행 중 열이 발생한다. 전지의 품질을 결정짓는 에이징 과정은 상온(25℃)과 고온(40℃)의 두 가지 온도를 유지하고 있을 때 전지의 품질이 우수하기 때문에 위의 온도를 유지하기 위해 공조기 장비를 운용하여 일정 온도를 유지하게 된다. 하지만 예상 못한 다양한 원인으로 온도 조절이 이루어지지 않아 지나친 고온의 상태에 진입할 경우 열에 의해 전지가 팽창하고 내부의 가스가 누출되어 발화 및 폭발의 사고가 발생하게 된다. [공장 폭발 사진 추가] 이러한 사고 발생을 줄이기 실시간 온도 데이터 수집 시스템, 공조기 바람을 통한 온도 변화량 계산, 근집된 배터리 셀의 온도로 인한 위해 온도관리에 중점을 둔 온도 관리 시스템을 제작하였다.

## III. The Proposed Scheme

본 연구의 실험은 세가지로 나누어 진행한다. 첫째는 에이징 랙을 목업 형태로 구현하여 각 구역에 설치된 온도센서를 통해 3차원 모니터링을 수행하는 시스템, 둘째로 공조기 바람의 온도와 속도로 인한 전지의 온도변화 속도 계산, 셋째로 이상온도로 인한 특정 부분이 고온이 되었을 경우 주변 전지로 전달되는 열 확산 시뮬레이션으로 진행된다.

### 3.1. 실시간 3차원 온도 모니터링 시스템

시스템 구현을 위해 에이징 랙의 목업 모형을 제작하였으며 각 변의 길이가 30cm인 큐브를 길이 6, 너비 1, 높이 3의 형태로 에이징 랙의 모형을 2개를 제작하였다. 각 큐브에 온도센서를 설치하고 리즈베리파이 장비와 연결하여 중계기 역할을 수행하고, 서버와의 데이터 통신은 무선으로 실시간 온도 값을 주고받는다. 또한 두 개의 모형 사이에는 공조 장치가 2개 설치되어 각 에이징 모형에 바람을 주입해 공조를 수행하고 이상 온도에 도달하였을 경우 해당 큐브의 방향으로 공조방향을 조정해 집중 공조를 수행한다. 실시간으로 모니터링이 진행되는 동안 각 구역별 온도 데이터 및 공조기의 조치 내역을 데이터베이스에 저장한다.

### 3.2. 공조기 바람을 통한 온도 변화량 계산

공조기를 통해 온도가 유지되는 전지는 이상온도에 도달하였을 경우 집중공조를 시작하여 강한 바람을 맞게 된다. 이때 바람의 속도와 온도를 통해 전지가 단위시간당 변화하는 온도량을 계산할 수 있고 그로인해 공조를 통한 온도의 변화를 계산해 앞으로의 온도 변화를 예측할 수 있다.

온도 변화의 속도를 계산하기위해 대류열전달 방정식을 사용하였고, 무작위 온도를 가지고 있는 2000개의 납 물질의 전지를 기준으로 동일한 풍은, 풍속으로 공조를 하였을 경우 온도 변화량을 계산한다. [3]

### 3.3. 특정 고열 부분 주변의 열 전달 과정

공조를 통한 냉각방법은 열의 확산 및 발산 특성을 이용해 물체의 표면에 지속적인 바람을 주입하여 온도를 조절한다. 하지만 전지의 발열로 인해 저장 랙의 온도가 상승하는건 표면부터 내부까지 전반적으로 이루어지게 된다. 그렇기에 표면 또는 특정 부분의 온도만으로 냉각이 잘 되었는지 판단하여 공조를 멈출 경우 짧은 시간에 다시 이상온도로 진입하거나 내부의 잔여 열들이 모여 문제가 발생할 수 있다. 따라서 온도센서를 통해 들어오는 온도 값을 기반으로 물체 내부의 열이 확산되는 과정을 느우만 경계조건을 사용해 물체의 열이 어떻게 확산되는지 시뮬레이션 한다.[4]

온도 조절 실패로 인해 전지의 온도가 상승하게 되면 열의 발산을 통해 주변의 전지 또한 온도가 상승하게 된다. 이러한 과정을 시뮬레이션 하기 위해 유한요소법을 통해 에이징 랙을 3차원의 온도 데이터를 가지고 있는 작은 요소로 나누고, 각 요소끼리의 열 전달 방정식을 사용하여 고온의 물체가 열을 발산하는 과정을 시뮬레이션 한다. 그로인해 고온의 상태에 들어선 전지에 조치가 완료된 후에도 주변으로 전달된 남아있는 열을 계산해 더욱 안정적인 조치를 취할 수 있다.

#### IV. 구현 및 평가

첫 번째 3.1 문단의 실험은 Fig. 2의 형태로 에이징 랙의 목업 모형을 제작하여 시스템 개발이 진행되었다. 시스템은 리눅스 기반의 환경으로 개발되어 Fig. 3의 구조로 중계기 역할을 하는 라즈베리파이와 무선 통신으로 서버와 온도 데이터 및 공기 방향 제어를 주고받고 데이터베이스에 저장한다. 또한 정해진 단위 시간마다 장비점검 프로토콜을 통해 장비의 이상유무를 점검해 관리자에게 장비의 이상여부를 알려준다.

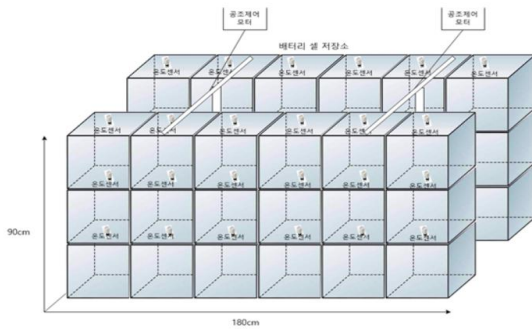


Fig. 2. 에이징 랙 목업 모형 구성도

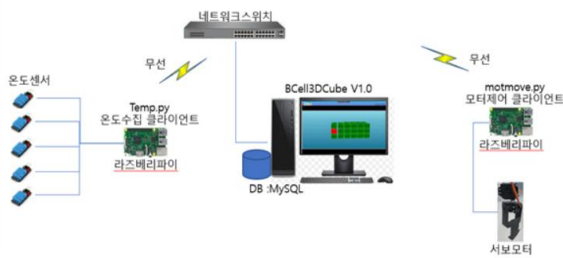


Fig. 3. 온도 모니터링 시스템 구성도

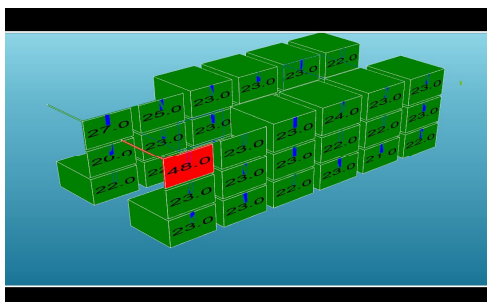


Fig. 4. 온도 모니터링 화면

두 번째와 세 번째 실험인 공기중 비람을 통한 온도 변화량 계산과 특정 고열 부분 주변의 열 전달 과정은 파이썬 기반의 Numpy 라이브러리를 사용하여 무작위 온도를 가진 전지의 온도변화량을 계산하고, 3차원 에이징 랙을 작은 요소로 나누어 각 온도 값을 설정해 주변으로 전달되는 열을 계산하였다.

3.2 문단의 실험결과는 물체와 바람의 온도차가 높을수록, 풍속이 높을수록 물체의 온도 변화량이 더 높게 나타나는 모습을 볼 수 있었다.

	Temp(Now)	Wind Temp	Wind Speed	Temp Gap	W(대류열전달계수)
0	27.796400	60	5	32.203600	-9.491549
1	75.990724	60	5	-15.990724	4.562043
2	63.210319	60	5	-3.210319	0.835243
3	75.835647	60	5	-15.835647	4.516822
4	41.766262	60	5	18.233738	-5.417900
...	...	...	...	...	...
1995	61.714053	60	5	-1.714053	0.398928
1996	72.700344	60	5	-12.700344	3.602559
1997	26.557035	60	5	33.442965	-9.852951
1998	79.669261	60	5	-19.669261	5.634714
1999	30.229695	60	5	29.770305	-8.781994

2000 rows × 5 columns

Fig. 5. 무작위 온도를 가진 전지의 온도 변화량

Fig. 5의 결과로 바람의 온도는 60℃, 풍속은 5의 값으로 실험이 진행되었고, 실험결과인 W의 절대값이 높을수록 전지의 온도변화가 크게 나타나고 있다. W의 값이 양수이면 열이 물체에서 유체 방향으로 전달되어 전지가 냉각되고 있음을 알 수 있고, W의 값이 음수이면 유체의 열이 전지로 전달되어 가열되고 있음을 알 수 있다.

마지막 3.3 문단의 실험으로 각 요소의 열 전달 과정과 전체 모습을 보기 위한 3차원 형태의 표현과, 가로, 세로, 높이 순으로 에이징 랙의 단면을 나누어 외부에서 바라볼 때 볼 수 없는 구역 내부의 온도 상황을 파악 할 수 있다.

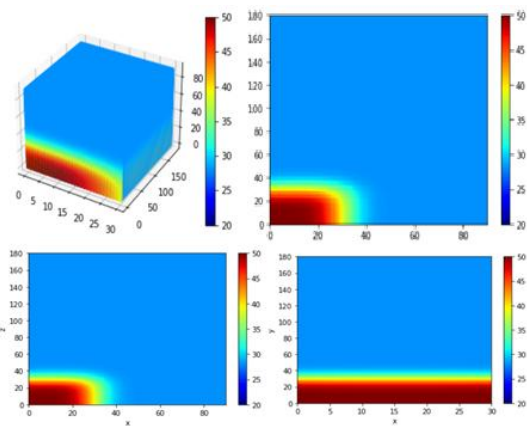


Fig. 6. 고온의 열 전달 과정과 각 축으로 자른 단면

Fig. 6의 경우 최저 온도를 20℃, 고온의 온도를 50℃로 설정해 특정 구역의 온도를 임의로 고온의 상태로 지정하였으며 지정된 단위 시간만큼 열 전달을 진행시켜 3차원 전체 모습과 각 축으로 자른 내부의 모습을 제공하여 열 정보를 제공한다.

#### V. Conclusions

전기차 기술의 발전에 따른 이차전지의 수요를 해결하기 위해 더 높은 품질의 전지를 대량으로 생산해야한다. 하지만 전지 품질의 핵심이 되는化成공정의 에이징 과정에 대한 온도 관리에 실패할

경우 전지의 품질이 저하되거나 화재 또는 폭발사고가 발생하게 된다. 그래서 리튬이온 이차전지의 화재발생 조건을 분석, 에이징 공정에 요구사항을 파악해 공정 맞춤의 온도관리 시스템을 개발하였다. 각 구역의 온도센서를 통해 온도 상황을 모니터링 하고, 공조기 바람을 통해 온도가 조절되는 특징을 이용해 전지의 냉각 속도와 전지 내부에 발생하는 발열량, 각 전지가 주변을 통해 전달되는 열을 계산하여 이상온도에 도달하게 될 시기를 미리 예측하고, 집중공조를 통해 이상온도에 도달하기 전 전지의 온도를 정상화시킬 수 있다. 위 시스템을 통해 보다 효과적인 온도 관리가 이루어져 생산된 전지의 품질 향상과 폭발 및 화재 사고를 예방해 전기차 생산에 따른 리튬이온 전지의 수요 충족에 기여하는 효과를 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3302394]

This work was supported by the Technology development Program (S3302394) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea)

## REFERENCES

- [1] Jeong Beomjin, “A Study on the Hazard Categorization and Loss Prevention Standards of Lithium-ion Battery Manufacturing Occupancies“, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 19, pp.249-256, 2019
- [2] Yeong Jun Jeon “Aging Progress of Li-ion Batteries by Cycle Experiments at Different Temperatures”, Kookmin University, Vol. 7, pp.84, 2020.
- [3] Choi, Jeong-Min, “The Characteristic of Convective Heat Transfer Coefficient by Natural Heat Transfer Coefficient and Forced Heat Transfer Coefficient”, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 27 pp.205-212, 2011.
- [4] Alexander H.-D.Cheng, “Heritage and early history of the boundary element method”, Engineering Analysis with Boundary Elements Vol. 29, pp268-302, 2005