

# 셀간 전압 편차를 활용한 전기자동차 배터리 잔존용량 분석 기법

<sup>1</sup>\*조갑성, <sup>2</sup>고대식

## Electric vehicle battery remaining capacity analysis method using cell-to-cell voltage deviation

<sup>1</sup>\*Gab-Seong Cho, <sup>2</sup>Dae-Sik Ko

### 요 약

전기자동차에 사용되는 배터리는 전기자동차의 특성상 정격용량이 매우 커다란 배터리이다. 전기자동차를 장기간 운행하거나 교통사고로 전기자동차가 폐차되게 되면 전기자동차용 배터리는 폐배터리가 된다. 폐차되는 차량이더라도 전기자동차용 폐배터리에 남아 있는 용량은 다른 용도로 사용하기에 충분하다. 자동차용 폐배터리는 매우 고가이기 때문에 재활용 및 재사용이 필요하지만 재활용 및 재사용을 위한 폐배터리 성능등급 측정기준이 부족한 문제가 있었다. 폐배터리의 잔존용량을 측정하는 방법으로 가장 안정적이고 신뢰할 수 있는 방법은 완전 충·방전을 이용하여 배터리의 잔존용량을 측정하는 것이다. 하지만 이러한 완전 충·방전에 방식에 의한 검사 방법은 배터리의 용량에 따라 다르지만 검사하는데 하루 이상이 걸리는 단점을 가지고 있으며 많은 사람들이 이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 본 논문에서는 전기자동차 배터리에 대한 검사 시간을 줄일 수 있는 방법으로 셀간 전압 편차를 활용한 전기자동차 배터리 잔존용량 분석 기법을 연구 분석하였다. 이를 위하여 완전 충·방전 기반의 용량 측정시스템을 구성하고 코나 폐배터리를 이용하여 실험데이터를 수집하였고 배터리 팩을 구성하고 있는 배터리 셀간 전압 편차와 잔존용량과의 상관관계를 분석하여 배터리 검사에 활용할 수 있는지를 검증하였다.

### Abstract

Due to the nature of electric vehicles, the batteries used for electric vehicles have a very large rated capacity. If an electric vehicle runs for a long time or an electric vehicle is abandoned due to a traffic accident, the electric vehicle battery becomes a waste battery. Even in vehicles that are abandoned, the remaining capacity of waste batteries for electric vehicles is sufficient for other purposes. Waste batteries for automobiles are very expensive, so they need to be recycled and reused, but there was a problem that the standards for measuring the performance grade of waste batteries for recycling and reuse were insufficient. As a method for measuring the remaining capacity of waste battery, the most stable and reliable method is to measure the remaining capacity of battery using full charge and discharge. However, the inspection method by the full charging and discharging method varies depending on the capacity of the battery, but it takes more than a day to inspect, and many people are making great efforts to solve this problem. In this paper, an electric vehicle battery residual capacity analysis technique using voltage deviation between cells was studied and analyzed as a method to reduce inspection time for electric vehicle batteries. To this end, a full charging and discharging-based capacity measurement system was constructed, experimental data were collected using a nose or waste battery, and the correlation between the voltage deviation and the remaining capacity of the battery pack was analyzed to verify whether it can be used for battery inspection.

**Keywords:** Electric Vehicle, Battery, SOC, SOH, Cell Deviation Analysis

<sup>1</sup>\* 교신저자 목원대학교 대학원 지능정보융합학과 ([kabseong@naver.com](mailto:kabseong@naver.com))

<sup>2</sup> 목원대학교 전자공학과, 명예교수([kds@mokwon.ac.kr](mailto:kds@mokwon.ac.kr))

## I. 서론

전기자동차에 사용되는 배터리는 전기자동차를 움직이기 위하여 순간적으로 높은 출력을 낼 수 있도록 배터리 셀을 직·병렬 형태로 구성하여 높은 전압과 전류를 가지도록 배터리를 구성한다. 전기자동차에 사용되는 배터리는 셀을 일정한 단위로 연결하여 모듈을 만들고 모듈 몇 개를 연결하여 팩을 만들어 전기자동차에 장착하여 사용한다. 전기자동차를 운행하면 배터리가 방전하게 되며 완전 방전하게 되면 전기자동차를 움직일 수가 없게 된다. 따라서 완전히 배터리가 방전이 되기 전에 배터리를 충전하여야 한다. 배터리는 이러한 충·방전을 지속적으로 하게 되면 배터리의 출력이 저하되게 되며 주행거리가 줄게 된다. 일반적으로 전기자동차의 경우 사용연한이 5-10년, 1000~2000회 충·방전 및 정격용량의 70% 이하가 되면 배터리의 수명이 다한 것으로 보고 교체하여야 한다. 이렇게 교체되거나 폐차된 전기자동차에 사용된 사용 후 배터리는 배터리의 출력 등 다양한 원인으로 전기자동차용에서 사용하는 것은 부적합 하지만 ESS 등 일반적인 용도로 사용하는 데는 아무런 문제가 없다[1][2].

전기자동차에서 사용하는 배터리는 개인 재산이므로 개인이 사고 파는 것이 가능하며 이러한 배터리를 판매하기 위해서는 배터리에 대한 경제적 가치에 대한 평가가 이루어져야 한다. 또한 정부에서는 전기자동차의 사용 후 배터리에 대한 운송, 재사용 및 재활용을 하려면 법적으로 배터리에 대한 평가를 진행한 후에 가능 하도록 하려고 하고 있다 [3].

전기자동차에 사용되는 배터리에 대한 평가방법으로는 몇 가지 방법이 있지만 현재 국내외 배터리 평가를 위해 제안하고 있는 평가 방법 중 가장 안전하고 신뢰할 수 있는 방법으로는 배터리를 완전 충전한 후 완전 방전을 시켜 남아 있는 배터리에 대한 용량을 측정하여 잔존용량(SOH)을 평가하는 것이다. 전기자동차 배터리에 대한 용량을 검사하는 방법으로 정 전류 방식(CC)을 이용하는 방법, 정 전압 방식(CV)과 정 전류 방식(CC) 방식을 혼합하여 측정하는 방식이 있다. 현재 배터리에 대한 잔존용량을 측정하는 방법으로는 CC-CV를 혼합한 완전 충·방전 방법을 사용하여 배터리에 대한 평가를 진행하고 있다. 이러한 방법으로 배터리를 평가하는데 걸리는 시간은 작게는 8시간, 많게는 몇일이 걸리는 경우가 있다. 향후 전기자동차 시장이 활성화 되어 사용 후 배터리가 증가하게 되면 배터리에 대한 평가를 진행하는 것이 문제가 발생하게 된다. 따라서 검사시간을 줄이면서 신뢰할 수 있는 검사 방법을 도출해내는 것이 매우 중요한 이슈이다 [3].

배터리 팩에 대한 성능은 배터리 팩을 구성하는 셀 간의 전기화학적 특성이 균일 혹은 불 균일함에 따라 팩의 성능이 좌우된다. 전기자동차 배터리 팩이 오랜 시간 충·방전을 하다 보면 셀 간 온도 편차, 셀과 셀을 연결하는 연결 부위에 존재하는 기생저항성분, 셀의 노화 등에 의해 셀 간 전압 편차가 발생을 하게 되는데 이 편차는 배터리의 특성이 가장 불안정해지는 SOC 값이 낮은 경우 저온 환경에서 편차가 크게 나타나며 충·방전하는 전류의 크기가 클수록 커진다. 이러한 셀 간의 전압 편차는 배터리의 팩 사용 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 열화로 인한 노화를 가속시키고 과충전 또는 과방전의 원인이 되기도 한다. 셀 간 전압 편차가 크면 차이가 나는 셀에 충전 부하가 많이 걸리게 되며 이로 인해 전체 충전 용량 및 충전시간이 커지게 된다 [4].

따라서 본 논문에서는 이러한 셀 간 전압 편차에 따른 배터리 SOC에 대한 충전 용량 및 충전 시간에 대한 데이터를 분석하고 이러한 분석된 데이터를 통하여 셀 간 전압 편차와 배터리 용량에 상관관계를 분석하고 셀 간 전압 편차가 전기자동차 배터리 용량에 미치는 영향에 대해서 분석하는 기법을 제안하였다.

## II. 전기자동차 사용 후 배터리 용량평가

### 2.1 전기자동차 폐배터리의 처리방법

전기차 사용 후 배출되는 폐배터리 처리방법은 재활용과 재사용으로 구분된다. 여기서 재활용(recycling)은 회수된 폐배터리의 성능검사 이후 배터리 내부의 유가물질, 금속(코발트, 리튬,

망간, 니켈 등)의 주요자원을 추출하여 소재로서 재활용하고 나머지는 최종 폐기하는 것을 말하며 재사용은 전기차 배터리용도로 사용하지 않고 다른 목적의 배터리 용도로 사용하는 것이다. 예를 들면, ESS(Energy Storage System), UPS(Uninterruptible Power Supply), Golf Cart 용 등으로 매각을 통해 상용화될 수 있으며 이것이 가능하도록 제조하는 것을 재목적기반 재사용(Repurposing)이라고 한다.

전기차 폐배터리 재사용은 배터리 용량이 70~80% 이하로 떨어질 경우에는 전기차 배터리로 재이용되지 않고, 필요시 배터리 팩의 해체 후 다른 목적의 배터리로 재사용 되는 것이 일반적이며 그림 1 은 폐배터리의 재사용 프로세스이다.

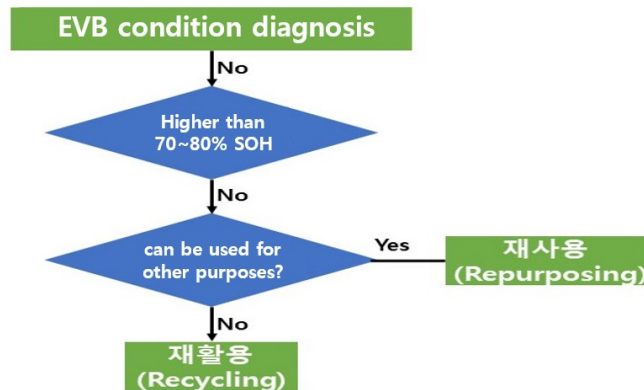


Figure 1. EV waste battery recycling/reuse process  
그림 1. 전기차 폐배터리 재활용·재사용 프로세스

전기차 특성상 배터리의 잔여용량 70~80% 상황에서 운행 시 잦은 충전 및 주행거리 단축 등의 요인으로 위험을 초래할 수 있기 때문에 전기차 배터리용도로 사용하지 않고 다른 목적의 배터리 용도로 사용하는 것이다. 대부분의 경우 재사용은 배터리 팩 단위 뿐만 아니라 모듈, 셀 단위 까지 분해하여 사용 가능하지만 셀 단위까지 분해 시 추가적 비용이 소모되며 폭발 등에 대한 안전 확보를 위한 시설 마련이 추가적으로 필요하므로 팩이나 모듈단위로 재사용하는 것을 권고 하고 있는 추세이다.

## 2.2 전기자동차 폐배터리의 잔존용량 측정방법

국내에서 폐배터리에 관한 검사를 위한 표준규격으로 한국전지협회에서 제안한 단체 표준(S PS-C KBIA-10702-01-7416)이 있다. 단체표준에서는 전기자동차의 구동용으로 사용되었던 리튬 이온 배터리 또는 모듈에 대한 검사방법을 규정하고 있다. 표 1 은 단체표준에서 제안한 용량 측정에 대한 규격을 보여주고 있다.

Table 1. Kona Electric Vehicle Battery Electrical Specification  
표 1. 단체표준 용량 검사 규격

Index	SPS-C KBIA-10702-01-7416	Note
Definition of room temperature	(25±2)°C	
Capacity measurement	- Rest : EV 1~4 hour - Discharge current : EV C/3, Cutt-off 1/20C - Temperature : -25°C	
Life Cycle Test	Repeat up to 5 times at 25°C	Up to 5 times as needed
Target	Battery pack and several modules only	

규격에서 보면 배터리 검사 시 배터리 온도는 25°C를 기준으로 하고 있다. 방전을 위한 전류(C-rate)를 C/3로 규정하고 있으며 시험 횟수는 몇 회로 규정하고 있지는 않으며 필요시 최대 5회 까지 반복하여 실험을 하도록 규정하고 있다. 한편, 배터리 성능검사를 위한 국제표준을 보면 표 2와 같이 미국의 USABC 규격과 ISO-12405 규격 및 미국 SAE 규격을 보여주고 있다. ISO 12405에서는 도로 차량의 추진을 위해 개발된 리튬 이온 배터리 팩 및 시스템에 대한 특정 테스트 절차를 제공하고 있다. 배터리 팩 및 시스템이 자동차 산업의 측정 요구를 충족시킬 수 있도록 하기 위한 테스트 및 관련 요구 사항을 규정하고 있다. 차량제조 업체는 특정 요구사항에 따라 배터리 팩 또는 시스템의 특성을 평가하는 테스트 절차를 선택할 수 있다.

규격에서 보면 EV 및 HEV에 대해 동일한 규격을 적용하고 있으며 온도는 25°C를 기준으로 하고 있다. USABC는 배터리 팩 및 셀에 대한 검사 방법을 정의하고 있으며 ISO-12405는 배터리 팩에 대해 SAE-J1798은 모듈에 대한 검사 규격 및 조건을 정의하고 있다. ISO-12405를 보면 배터리 용량측정 방법으로 충·방전 전류(C-rate)를 C/3, C/2 및 1C로 진행하는 것으로 규정하고 있으며 휴지시간은 60분, 2회 실험을 진행하는 것으로 규정하고 있다.

이 규격이 외의 배터리에 대한 국제 표준규격으로는 IEC 62660-1이 있으나 이 규격을 배터리 셀에 대한 규격이다.

Table 2. International standard for capacity testing

표 2. 용량검사에 대한 국제표준

Index	USABC (United States Advanced Battery Consortium)	ISO-12405	SAE-J1798
Issuer	USABC, DOE	ISO	SAE
BEV and HEV test procedures	Same	Different	Same
Definition of room temperature	30°C	(25±2)°C	(25±2)°C
Capacity measurement	- Rest: at least 1 hour - Discharge current: C/3, C/2, 1C - Temperature: -30°C ~ -52°C	- Rest: BEV 60 min, HEV 30 min - Discharge current: BEV C/3, C/2, 1C; HEV 1C - Temperature: -25°C, 18°C, 0°C, 25°C, 40°C	- Discharge current: C/3, C/2, 1C
Life Cycle Test	1 time at specific temperature	2 times at 25°C	
Target	Both cell and battery pack	Battery pack only	Module
Note	Focus on automotive batteries Stringent	Comparatively less stringent	

현재 환경부 및 산자부 산하 TP에서 전기자동차 사용 후 배터리에 대한 시험을 하고 있는 방법으로는 배터리 용량 측정 방법으로 완전 충·방전을 활용하여 배터리의 잔존가치(SOH)를 측정하고 있다. 일부 배터리 전문 기업에서는 내부 저항에 대한 임피던스를 측정하여 배터리에 대한 잔존용량을 평가하는 방법을 제안하고 있다. 사용 후 배터리에 대한 내부 저항 측정을 통한 검사 방법으로는 AC를 이용하여 검사하는 ACIR 방법과 DC를 이용하여 검사하는 DCIR 방법이 있다. ACIR 방법은 배터리에 AC 신호를 인가하여 임피던스를 측정하는 방법이며 DCIR 방법은 배터리에 DC 부하를 받아 전압 변화에 따른 저항 값을 계산하는 방법이다. 현재 배터리의 내부 저항을 이용하여 사용 후 배터리에 대한 용량을 측정하는 방법에서 가장 중요한 것은 검사하고자 하는 배터리에 대한 내부 저항 별 SOC 값에 대한 조건표이다. 대부분 배터리 제조회사에서는 이러한 조건표를 제공하고 있지 않아 시험 방법으로 사용되는 것에 한계가 있다. 조건표를 이용하는 경우에도 사용 후 배터리의 경우 노화에 대한 부분 및 셀 및 모듈을 연결하는 회로 등에 영향을 받게 된다[5].

완전 충·방전을 활용한 잔존용량 평가 방법은 전기자동차 사용 후 배터리에 대한 용량 측정 방법으로 전기자동차의 사용 후 배터리 검사 시 배터리 가질 수 있는 안전율을 고려한 정격 용량만큼 충전한 후 일정시간 휴지 시간을 두고 안전율을 고려한 중지전압만큼 방전하여 전기적인 특성 변화를 분석하여 SOH 값을 계산하는 방법이다. 현재 전기자동차 사용 후 배터리에 대한 시험 방법으로는 완전 충·방전을 통한 시험 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 완전 충·방전 방식은

배터리 용량 및 전류 조건에 따라 다르지만 일반적으로 하루에 한번 검사하기가 어렵다. 향후 전기자동차 보급의 증가로 인하여 발생하게 되는 사용 후 배터리에 대한 검사시간을 줄이기 위한 검사 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 [6].

전기자동차 폐배터리의 잔존용량을 측정하기 위한 완전 충전·방전 기반 용량측정은 먼저 측정하려는 배터리 케이스 외관을 제거하고 배터리에 연결된 기존의 커넥터를 제거하고 배터리 검사를 위한 커넥터를 연결한다. 그 다음으로 별도의 요구사항이 없으면 검사를 위한 주변온도를  $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 를 유지한다. 배터리에 대한 냉각방식이 수냉식인지 공랭식인지를 확인한다. 수냉식의 경우에는 폐배터리를 칠러에 연결하여 검사를 진행한다. 검사시에 시험을 위한 검사 패턴을 설정한다. 즉, 검사시 C-rate 가 C/2, C/3 에 따라 패턴, 검사 시간설정 및 온도설정 등이 달라 질 수 있다.

C/2, C/3 의미는 배터리에 대한 전류 시간에 대한 전류 비이며 C/2 는 배터리를 완전 충전하는데 걸리는 시간이 2 시간이 걸린다는 의미이다. 그림 2 는 C/3 완전 충전·방전 방식을 이용한 용량 검사 절차를 도식화한 것이다.

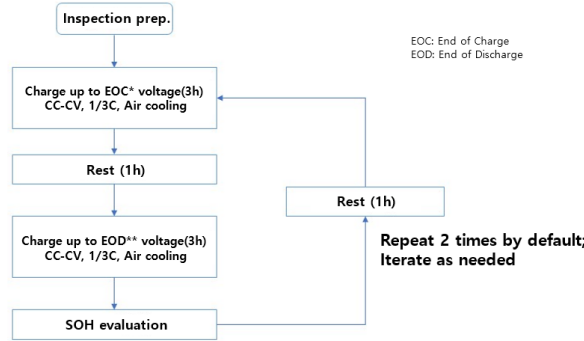


Figure 2. Capacity test procedure using full charge · discharge method(1/3C)  
 그림 2. 완전 충전·방전 방식을 이용한 용량검사 절차(1/3C)

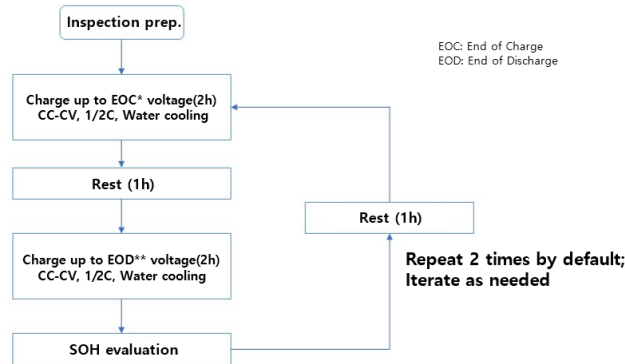


Figure 3. Capacity test procedure using full charge · discharge method(1/2C)  
 그림 3. 완전 충전·방전 방식을 이용한 용량검사 절차(1/2C)

검사는 최소 2 회 이상 검사를 진행하며 특이사항이 있을 시 추가 검사를 진행한다. 휴지 시간의 경우 1 시간을 기준으로 하되 온도가 안정화 ( $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) 가 되면 휴지시간을 종료하고 다음 프로세스를 진행할 수 있다. 검사를 마친 후 사용 후 배터리에 대한 잔존용량, SOH(%) 값 계산은 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$\text{SOH}(\%) = \text{측정한 완전방전 용량(Ah)} / \text{배터리 공칭용량(Ah)} \times 100 \text{ ----- (1)}$$

### III. 셀간 전압 편차에 따른 충·방전 용량에 대한 분석

#### 3.1 실험시스템의 구성

그림 4는 본 논문에서 실험을 위하여 사용한 전기자동차 사용 후 배터리 검사 시스템에 대한 구성을 보여주고 있다.

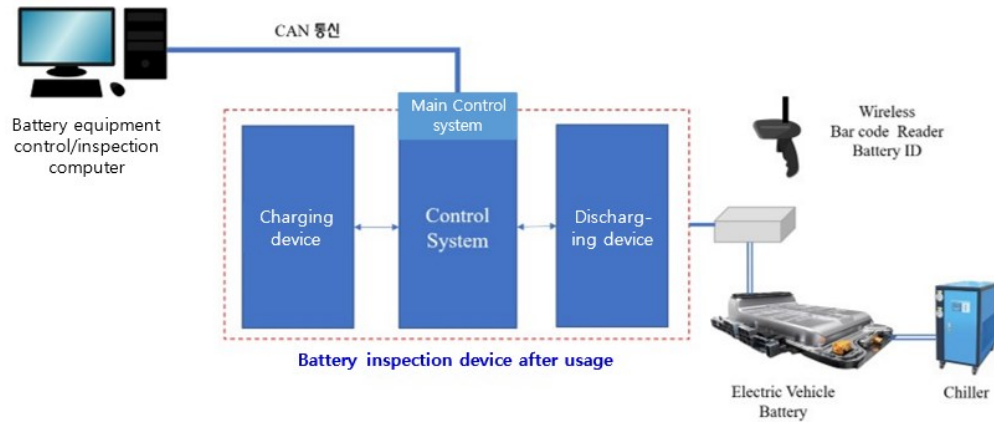


Figure 4. After-Use Battery Inspection System

그림 4. 사용 후 배터리 검사 시스템

배터리를 시험하기 위해 필요한 사용 후 배터리 검사 시스템의 구성은 배터리를 충전하기 위한 충전장치, 충전된 배터리를 방전하기 위한 방전 장치, 배터리에 대한 온도를 일정하게 유지하기 위한 냉각장치, 제어 및 통신을 위한 제어 장치, 각각의 상태를 측정하기 위한 센서, 검사 결과 및 검사 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어용 컴퓨터로 구성되어 있으며 통신 방식은 CAN 통신 방식을 사용하고 있다.

전기자동차 배터리는 온도가 높아지면 배터리에 대한 열화가 심해지며 화재가 발생하거나 폭발에 대한 위험이 있어 일정한 온도를 유지하여야 한다. 전기자동차 사용 후 배터리는 기본적으로 배터리 용량이 커 시험을 하기 위하여 배터리를 충전 및 방전시키기 위해 높은 전압과 전류를 사용하게 된다. 이 경우 배터리에서 열이 발생하게 되며 배터리에 대한 온도를 일정하게 유지하기 위한 장치가 필요하다. 현재 시판되고 있는 대부분의 전기자동차는 운행시 수냉식으로 배터리에 대한 온도를 조절하고 있다. 배터리 평가를 위한 충·방전 시험 시 열이 발생하여 배터리의 온도가 올라가게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 별도로 냉각장치 (칠러)를 두어 검사 시 온도를 유지하도록 하였다. 검사실의 실내 온도는  $\pm 25^{\circ}$ 로 유지하도록 하였다. 본 논문에서 사용한 사용 후 배터리는 현대자동차에서 제작한 전기자동차인 코나에 장착되었던 사용 후 배터리를 가지고 시험을 진행하였다.

코나에서 사용한 전기자동차 배터리에 대한 스펙을 보면 표 3과 같다. 전기자동차 배터리는 셀을 직·병렬로 연결하여 모듈로 만들고 모듈 몇 개를 모아 팩을 만들어 제공하고 있다. 코나의 경우 배터리 셀 개수는 98개이며 98개의 셀을 가지고 5개의 모듈을 만들고 5모듈을 1개의 팩으로 만들어서 원하는 출력이 나오도록 구성하였다.

Table 3. Kona Electric Vehicle Battery Electrical Specification

표 3. 코나 전기자동차 배터리 전기 스펙

Index	Detail
Pack voltage (V)	210~412.8
Cell composition	98 cell
Rated voltage (V)	352.8
Nominal capacity (Ah)	180
SOC (%)	5~95
Voltage (V)	2.5~4.2
Cooling method	Water cooling

일반적으로 배터리를 충전시키는 방법으로 CC, CV, CC-CV 방식이 있으며 배터리 검사하는 방법으로 CC-CV 방법을 많이 사용하고 있다. 방전의 경우는 CC 방법을 사용하여 방전을 진행한다. 사용 후 배터리 검사를 위해서 사용되는 완전 충·방전 방식은 검사에 사용되는 전류에 따라 검사에 소요되는 시간이 달라진다. 충방전에 사용되는 전류가 C/3 인 경우 완전 충·방전하는데 소요되는 시간이 3 시간이 걸리고 C/2 인 경우는 2 시간 1C 인 경우는 1 시간이 걸린다.

전기자동차의 사용 후 배터리에 대한 평가방법으로 사용되는 완전 충·방전 방식의 경우 충전, 휴지, 방전등으로 검사가 진행되며 완전방전 후 남아 있는 용량을 측정하는 것이다. 즉, 검사를 위해 완전 충전을 진행하고 일정한 시간 휴지 시간을 가진 뒤 방전을 진행하고 방전되고 남은 양을 계산하여 배터리에 대한 SOH 를 평가한다. 본 논문에서 사용한 검사 방법에 대한 전기적인 사양을 보면 표 4 와 같다[5].

Table 4. Electric Vehicle Inspection Specification(For Kona)

표 4 전기자동차 검사 스펙(코나의 경우)

Index	Detail
Charge CC-CV	Charging voltage - 401.8V
	Charging current - 60A(1/3C)
	Final current - 18A
	Charging time - 180 분
Rest	60 mins
Discharge-CC	Charging voltage - 254.8V
	Discharging current - 60A (1/3C)
	Discharging time - 180 mins

충방전을 위한 검사 스펙을 정의하는 경우 배터리에 대한 안전율을 고려하여 전압에 대한 조건을 정의하여야 한다. 안전율을 고려하지 않는 경우 충전 시 과충전이 되어 배터리가 폭발할 수 있는 위험성을 가지고 있다. 따라서 배터리에 대한 검사 스펙을 정의하는 경우 안전율을 고려하여야 하며 충전시간과 방전시간도 검사 시 체크하여야 한다. 배터리의 상태가 안 좋은 경우 배터리가 충전이 안되는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 충전 전류의 C-rate 를 기준으로 시간을 계산하여 지정된 시간이 지나도 완전 충전이나 완전 방전이 안되는 경우 시험을 종료하여야 한다. 본 논문에서는 코나를 기준으로 하여 검사에 필요한 전기적인 사양을 활용하여 실증 시험을 진행하였다 [6][7]

### 3.2 완전 충·방전 방법에 따른 실험데이터

실험은 완전 충·방전 방식을 이용하여 사용 후 배터리에 대한 검사를 진행하였으며 측정된 결과는 1 초마다 결과를 제어용 컴퓨터에 전송하였다. 검사장비에서 측정되어 제어용 컴퓨터에 전송되는 데이터는 전압, 전류, 셀 전압 및 셀 온도이다.

그림 5 는 코나 1 에 대한 완전 충·방전 방식을 이용하여 검사를 진행하면서 측정되는 배터리 용량에 대한 그래프를 보여주고 있다.

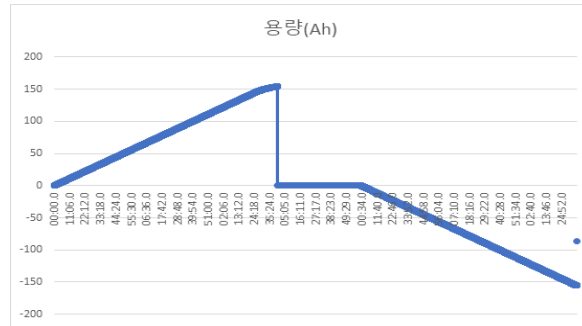


Figure 5. Battery capacity by time using full charge · discharge method(Kona 1)  
 그림 5. 완전 충·방전 방식을 적용한 시간대별 배터리용량(코나 1)

충전 조건은 CC-CV 방식을 이용하였으며 충전 전류는 C/3 를 적용하였으며 충전 후 휴지시간을 1 시간을 주었으며 방전은 CC 방법으로 방전을 진행하였다. 완전 방전 후 측정된 사용 후 배터리에 대한 SOH 값을 구하면 86.41% 이다.

그림 6 은 98 개의 셀 전압 중 최대 전압과 최소전압에 대한 충전시간, 방전시간 및 휴지시간 대별 값을 보여주고 있다.

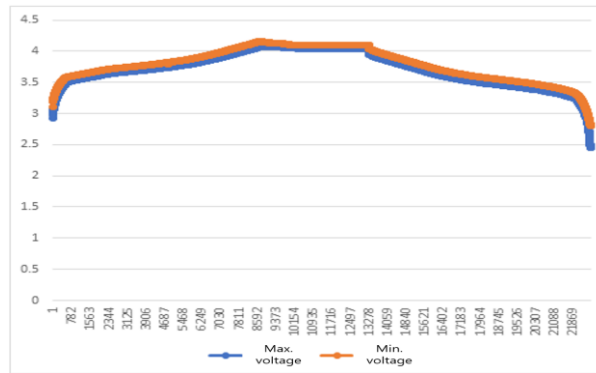


Figure 6. Maximum voltage and minimum voltage of cell voltage by time zone(Kona 1)  
 그림 6. 시간대별 셀 전압의 최대전압과 최소전압(코나 1)

그래프에서 보면 충전 시 전압차보다 방전 시 전압차가 작지만 더 큰 차이를 보여주는 것을 볼 수 있으며 휴지시에는 전압차가 일정한 것을 알 수 있다. 각각의 셀에 대한 최대 전압 편차를 보면 0.384V 이고 각각의 셀에 대한 최소 전압 편차를 보면 0.043V 이다.

그림 7 은 코나 2 에 대한 완전 충·방전 방식을 이용하여 검사를 진행하면서 측정되는 배터리 용량에 대한 그래프를 보여주고 있다.



Figure 7. Battery capacity by time using full charge · discharge method(Kona 2)  
 그림 7. 완전 충·방전 방식을 적용한 시간대별 배터리 용량(코나 2)



충전 조건은 CC-CV 방식을 이용하였으며 충전 전류는 C/3 를 적용하였으며 충전 후 휴지시간을 1 시간을 주었으며 방전은 CC 방법으로 방전을 진행하였다. 측정된 사용 후 배터리에 대한 SOH 값을 구하면 86.12% 이다.

그림 8 은 98 개의 셀 전압 중 최대 전압과 최소전압에 대한 충전시간, 방전시간 및 휴지시간 대별 값을 보여주고 있다.

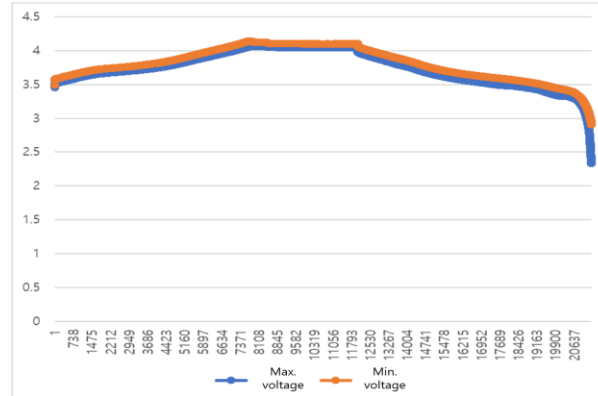


Figure 8. Maximum voltage and minimum voltage of cell voltage by time zone(Kona 2)

그림 8. 시간대별 셀 전압의 최대전압과 최소전압(코나 2)

그래프에서 보면 충전 시 전압차보다 방전 시 전압차가 작지만 더 큰 차이를 보여주는 것을 볼 수 있으며 휴지시에는 전압차가 일정한 것을 알 수 있다. 각각의 셀에 대한 최대 전압 편차를 보면 0.576V 이고 각각의 셀에 대한 최소 전압 편차를 보면 0.042V 이다.

그림 9 는 코나 3 에 대한 완전 충·방전 방식을 이용하여 검사를 진행하면서 측정되는 배터리 용량에 대한 그래프를 보여주고 있다.

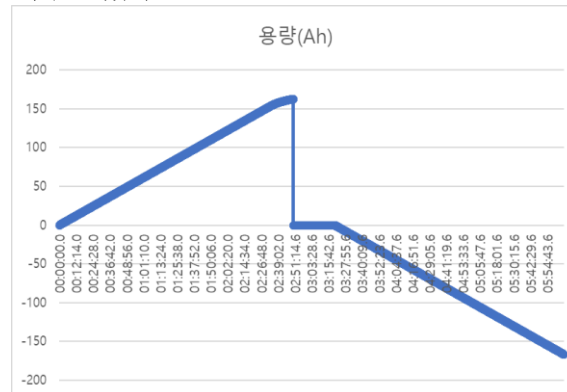


Figure 9. Battery capacity by time using full charge · discharge method(Kona 3)

그림 9. 완전 충·방전 방식을 적용한 시간대별 배터리 용량(코나 3)

충전 조건은 CC-CV 방식을 이용하였으며 충전 전류는 C/3 를 적용하였으며 충전 후 휴지시간을 1 시간을 주었으며 방전은 CC 방법으로 방전을 진행하였다. 측정된 사용 후 배터리에 대한 SOH 값을 구하면 92.63% 이다.

그림 10 은 98 개의 셀 전압 중 최대 전압과 최소전압에 대한 충전시간, 방전시간 및 휴지시간 대별 값을 보여주고 있다.

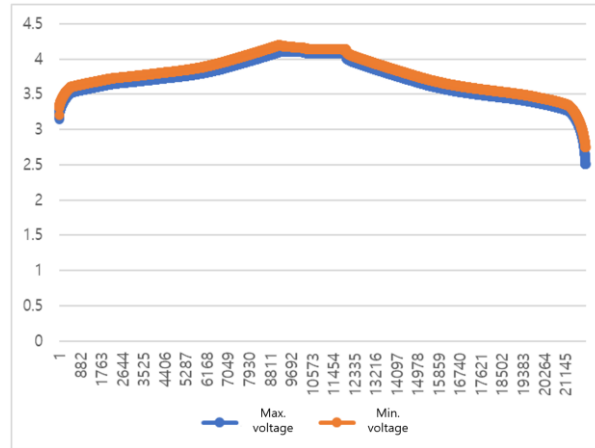


Figure 10. Maximum voltage and minimum voltage of cell voltage by time zone(Kona 3)  
 그림 10 시간대별 셀 전압의 최대전압과 최소전압(코나 3)

그래프에서 보면 충전 시 전압차보다 방전 시 전압차가 작지만 더 큰 차이를 보여주는 것을 볼 수 있으며 휴지시에는 전압차가 일정한 것을 알 수 있다. 각각의 셀에 대한 최대 전압 편차를 보면 0.237V 이고 각각의 셀에 대한 최소 전압 편차를 보면 0.058V 이다.

### 3.3 셀간 전압 편차에 따른 충·방전 용량에 대한 분석

“그림 6”, “그림 8”, “그림 10”에서 볼 수 있듯이 배터리는 셀간 전압 편차는 충전, 방전 및 휴지 기간 모든 경우에 발생하는 것을 알 수 있으며 전압 편차는 충전하는 경우 보다 방전하는 경우가 셀 편차가 더 큰 것을 알 수 있다. 따라서 셀 편차는 항상 발생하며 셀 간 전압 편차는 셀 간 파라미터의 상이함으로 인한 불균형으로 모든 사이클에 따라 열화 될수록 증가한다. 즉, 배터리를 많이 사용하는 경우가 노화가 많이 진행된다. 이러한 배터리 셀에 대한 전압의 불균형은 배터리에 대한 SOH 값에 영향을 미치게 된다 [8][9].

즉, 전압 편차가 큰 경우 SOH 값이 상대적으로 작아지며 이로 인해 배터리에 대한 잔존용량이 차이를 가지게 될 것이라고 본다.

Table 5. SOH and Voltage deviation

표 5. SOH와 전압 편차

Product	SOH	Maximum voltage deviation	Minimum voltage deviation
Kona 1	86.41	0.384	0.043
Kona 2	86.12	0.574	0.042
Kona 3	92.63	0.237	0.058

셀간 전압 편차는 배터리를 지속적으로 충·방전하면서 나타나는 배터리 셀에 대한 노화에 따라 발생하게 되며 이러한 노화는 배터리에 대한 수명에 영향을 미치게 된다. 배터리 셀간 전압 편차가 지속적으로 발생하게 되면 배터리 수명이 줄어들게 되며 배터리의 잔존용량(SOH) 값에 영향을 미치게 된다. “표 5”는 앞에 실험한 코나 1, 코나 2, 코나 3 EV 사용 후 배터리에 대한 완전 충·방전 실험을 통해 측정된 각각의 셀 전압에 대한 전압 편차와 배터리의 잔존용량(SOH)에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 각각 실험한 EV 배터리에 대한 셀 최대 전압 편차를 보면 배터리의 잔존용량(SOH) 값이 작아질수록 셀간 전압 편차가 커지는 경향을 보여주고 있다. 위 결과를 분석해 보면 셀간 전압 편차가 클수록 노화에 따른 배터리의 잔존용량(SOH) 이 작아진다는 것을 알 수 있다.

셀간 최소 전압 편차는 전기자동차 제조회사에서 요구하는 셀 전압 편차이 40mV 에 크게 변화가 없다는 것을 보여주고 있다.

## IV. 결론

전기자동차가 보급됨에 따라 향후 전기자동차의 말소 및 배터리에 대한 충·방전 횟수 및 사용 연한으로 인해 2025년 이후에는 사용 후 배터리가 많이 발생하게 된다. 이러한 배터리에 대한 재사용 및 재활용을 위해서는 배터리에 대한 상태 및 잔존용량에 대한 평가가 이루어져야 한다. 정부에서는 사용 후 배터리를 유통하는 경우 배터리에 대한 검사를 의무화하려고 하고 있다. 현재 안정적이고 신뢰할 수 있는 배터리에 대한 검사 방법으로는 완전 충·방전 방식을 이용한 검사 방식이다. 현재 사용되고 있는 완전 충·방전 검사 방법은 1번 검사를 하는데 걸리는 시간이 8시간 이상이 소요되며 신뢰성을 확보하기 위해 2회이상 검사를 진행하는 경우 검사하는데 2일이상이 걸리게 된다. 또한 전지협회에서 제안한 부분방전을 이용한 검사 방법은 검사시간은 단축시킬 수 있으나 배터리 별로 추세선이 필요하며 오차율이 상대적으로 완전 충·방전 방식보다 높은 편이다. 내부저항을 이용하여 검사하는 경우 조건표를 구하기가 어려우면 오차가 있다. 따라서 현재 검사방법으로는 향후 발생하는 배터리에 대한 검사를 진행하는데 많은 문제점이 나타나게 된다. 본 논문에서는 이러한 배터리 검사 방법에 있어서 배터리 셀 간의 전압 편차와 SOH와의 상관관계를 분석하여 배터리 검사에 활용할 수 있는지를 검토한 것이다. 시험 결과 배터리의 셀간 편차가 큰 경우 잔존수명(SOH) 값이 더 작은 것을 알 수 있었다. 즉, 전압 편차에 따라 SOH 값이 영향을 받는다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 향후 보다 많은 시료를 통해 셀간 전압 편차를 활용하여 검사하는 방법에 대한 연구를 진행하도록 하겠다.

## V. 참고문헌

- [1] Gab-Seong Cho, Pill-Won Park, Dae-Sik Ko “Battery Remaining Capacity Evaluation According to Voltage Deviation between of Waste Battery of Electric Vehicle” ICT Platform Society Autumn Conference, pp46-49, 2022.
- [2] J.H. Kim, W.J.Kim, J.H.Park, J.P Park, “Discrete Wavelet Transform-based SOH Prediction using the Voltage Deviation among the Cells of Li-Ion Battery Pack”, Proceeding of the KIPE Conference, pp149-150, 2012.
- [3] F.Zhu, G. Liu, C. Tao, K. Wang and K. Jiang, “Battery management system for Li-ion Battery”, The Journal of Engineering, Vol 2017, No 13, pp 1437-1440, 2017.
- [4] M.F.R.zwicker, M. Moghada, W.Zhang, C.V. Nielsen, “Automotive battery pack manufacturing – a review of battery to tab joining”, Journal of Advanced Joining Processes, 2020.
- [5] Kim K.O, Moon Y.J, Park J.Y, Cho S.A, Im D.L, Yoo J.G, Jeong S.B, Kwon O.S, “Establishment of inspection standard and inspection methods to confirm maintenance of vehicle battery performance”, Korea Transport Institute, 2016.
- [6] Sung-Jun Park, Gwang-Suk Song, Seong-Mi Park, “A Study of the Parameters Estimation for SOC and SOH of the Battery”, Journal of The Korean Society of Industry Convergence, Vol. 23, No. 5, pp 853-863, 2020.
- [7] Stroe.D, Schaltz.E, “Lithium-Ion Battery State-of-Health Estimation Using the Incremental Capacity Analysis Technique”, IEEE Transaction on Industry Application, Vol 56, No 1, pp 678-685, 2020.
- [8] Seoung-ho Lee, Park Min Kee, “Battery State of Charge Estimation Considering the Battery Aging”, Journal of IKEEE, Vol 18, No. 3, pp 298-304, 2014.
- [9] Sanguk Kwon, Dongho Han, Seongjun Lee, Hyeon-Cheol Song, Jonghoon Kim, “Voltage deviation analysis for battery pack Aging”, The Transactions of Korean Institute Of Power Electronic, pp 451-452, 2019.

## 저자소개

---



**조갑성 (Gab-Seong Cho)**

2013 년 2 월 목원대학교 대학원 전자정보통신공학 석사  
2013 년 10 월 한국철도공사 정보기술단 여객정보처장  
2023 년 ~ 목원대학교 대학원 지능정보융합학과 박사과정

관심분야: 2 차전지, 인공지능



**고대식 (Dae-Sik Ko)**

1982 년 2 월 경희대학교 전자공학과 학사  
1991 년 2 월 경희대학교 전자공학과 박사  
2022 년 ~ 현재 목원대학교 전자공학과 명예교수

관심분야: 디지털 트윈, 멀티미디어통신, 클라우드컴퓨팅

---