

An Incremental Voltage Difference Based Technique for Online State of Health Estimation of Li-ion Batteries

Nature Scientific reports 2020

EV-ESS 세미나 발표자료

데이터분석팀
#2021-08-11

배터리의 노화 상태를 알 수 있는 SOH(State of Health) 추정 방식을 제안

목적

SOH를 원격으로 추정하기 위해서는 확인을 원하는 시점에서의 충방전 시험이 필요했으나


이번 논문을 통해 짧은 시간 동안의 충전 데이터를 통해 SOH를 정확하게 추정하는 방법을 개발했다.

배경 개념잡기

전제1) 배터리 성능의 저하는 이동할 수 있는 리튬이온 전하 수의 저하로 발생된다.

전제2) 리튬이온 전하 수 저하는 SEI(Solid Electrolyte Interphase) layer의 용해, 침전으로 일어난다.

→ SEI 층의 용해 침전으로 내부 임피던스(저항)가 증가함

*SEI 형성 및 성장 메커니즘은 복잡하며 현상 실험기술이 부족하여 완벽하게 이해되기 어려움(SEI 참고 영상) 

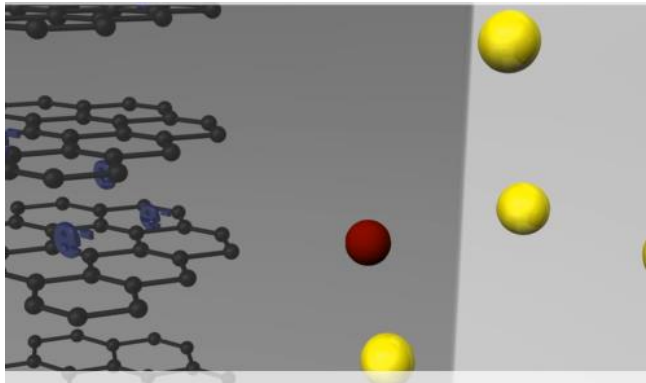
설계) 충방전시험을 통해 변화하는 전압값(SEI층에 걸리는 가변전압: V_{sei})을 통해 SOH 추정 모델을 개발함

01

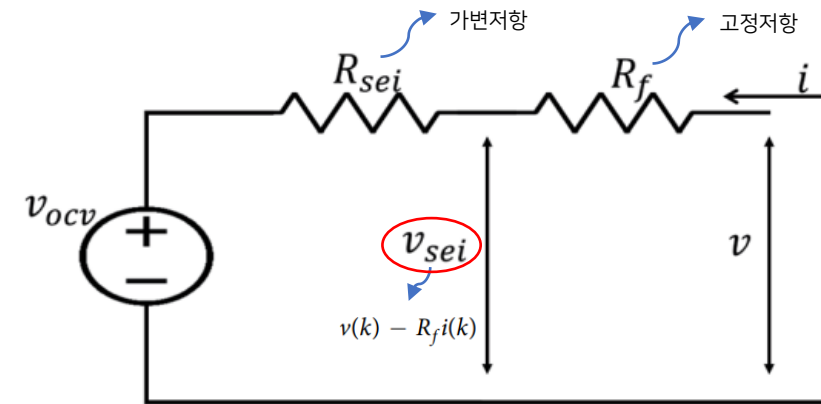
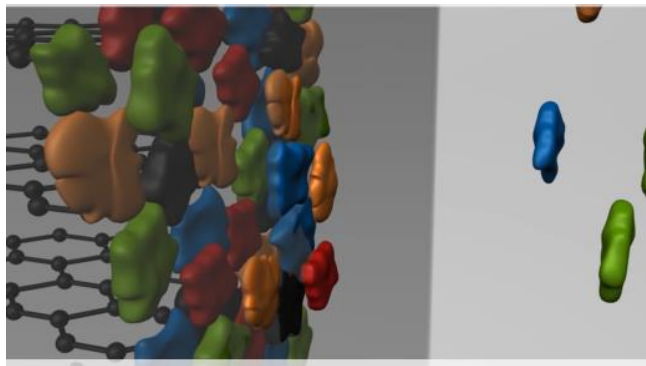
An Incremental Voltage Difference Based Technique for Online State of Health Estimation of Li-ion Batteries

Nature Scientificreports 2020

배터리의 노화 상태를 알 수 있는 SOH(State of Health) 추정 방식을 제안



SEI 층의 형성



전압 = 전류 * 저항
($v = I * R$)

배터리의 노화 상태를 알 수 있는 SOH(State of Health) 추정 방식을 제안

핵심 내용(Novelty)

- 10~20분의 실제 충전 데이터로도 SOH 추정이 가능하다.
- 부분 충전 데이터만 사용하여 10개의 파생 전압 값(V_{sei})을 수집하고, 이를 통해 SOH를 추정할 수 있다.
- 데이터 training 시, 초기 400 사이클의 데이터만으로 전체 SOH 범위에 대한 충전 전압 곡선을 추정할 수 있다.
- Training과 test 배터리의 용량은 서로 다를 수 있다. 본 논문에서는 3Ah 배터리 데이터를 사용하여 3.5Ah 배터리에 대해 테스트함

Existing methods	Proposed method
Large training data	Only initial 400 cycles (~45 days) needed for training
Complete charging/discharging data	Partial charging data 10–20 min
Special kinds of probing signals	Existing partial charge data
Cycle numbers required	Differential voltage based feature vector
Battery models with model parameters	One time training
Offline estimation	Online on the device

Table 1. Novelty of the proposed method.

배터리 충방전시험(가속화)

- 배터리 2종 사용: Type-1, Type-2
- Type-1 정격 용량: 3Ah 10EA
- Type-2 정격 용량: 3.5Ah 8EA
- 두 배터리 공칭 전압: 3.85~4.4V
- 45°C와 25°C의 서로 다른 온도에서 충방전시험

초기 training 데이터 (~100% 에서 ~ 96%)

같은 온도, 같은 CC rate test용 데이터
(~100% 에서 ~ 90%)

성능 test용 데이터 (<90%)

정격용량이 달라도 상관없다는 걸 보여주기
위한 성능 테스트용 데이터



Sl. No.	Battery Type	No. of battery used	CC Charging rate	Chamber Temp. (°C)	Used for
1	Type-1	1	0.8C	45	Training
2	Type-1	1	0.8C	25	Training
3	Type-1	3	0.8C	45	Testing
4	Type-1	3	0.8C	25	Testing
5	Type-1	1	1.0C	45	Testing
6	Type-1	1	1.2C	45	Testing
7	Type-2	4	0.8C	45	Testing
8	Type-2	4	0.8C	25	Testing



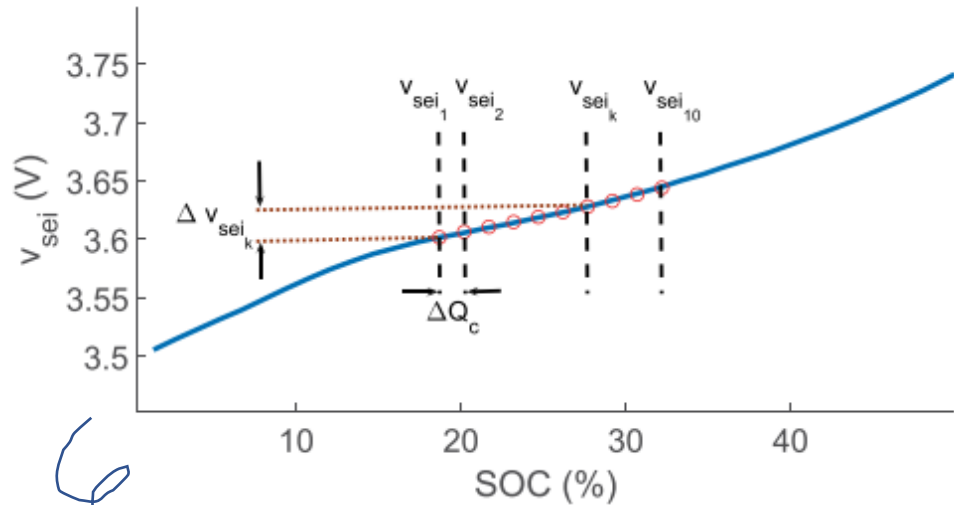
최저 SOH 85%
결론: test CC rate가 training
과 달라도 정확도는 높다!

Table 3. Training and Testing Split.

An Incremental Voltage Difference Based Technique for Online State of Health Estimation of Li-ion Batteries

Nature Scientificreports 2020

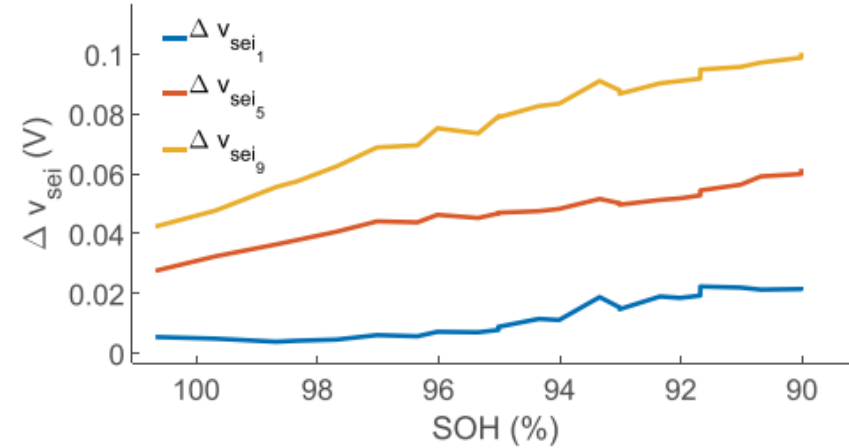
부분 충전 데이터만 사용하여 10개의 파생 전압 값(vsei) 수집



초기 vsei 값은 고정
SOC(쿨롱 카운팅) 1.5% 증가할 때마다 다른 지점 선택

$$\Delta Q_c = \sum i(k) T_s = 1.5\% \text{ of } C_{max}$$

쿨롱 카운팅 전하량 = $\sum (k\text{번째 전류} \times \text{시간}) = 1.5\% \times \text{최대 전하량}$
= vsei 두 지점 간의 ΔQ_c



$$1) SOC(k) = SOC(k-1) + \frac{i(k)T_s}{C_{max}}$$

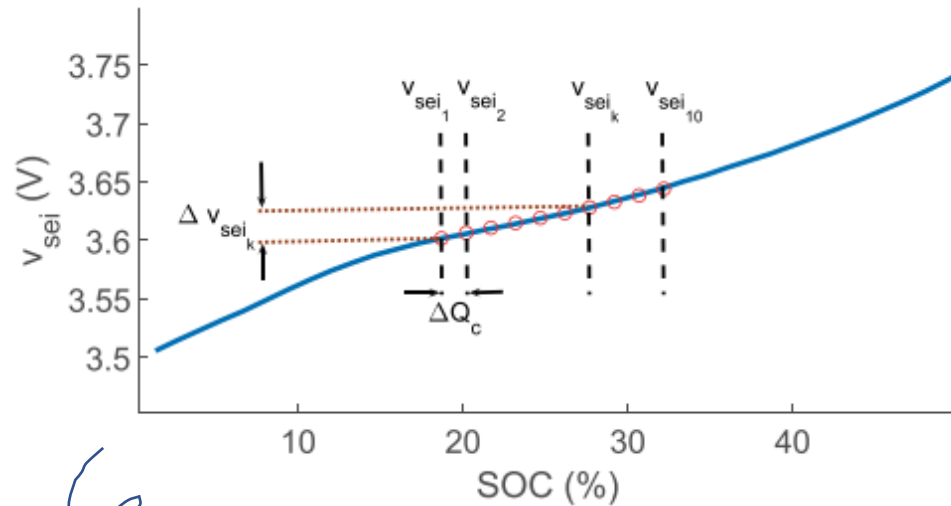
$$2) capacity(n) = -T_s \sum_{k \in \text{discharging}} i_b(k)$$

$$3) SOH = \frac{capacity(n)}{C_{max}} \times 100$$

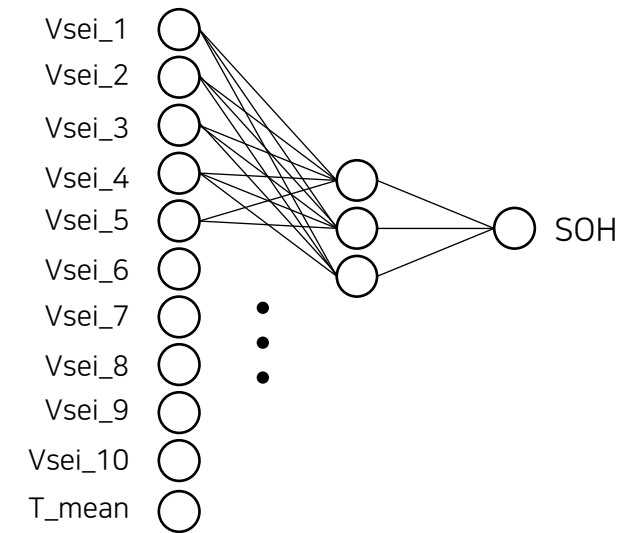
An Incremental Voltage Difference Based Technique for Online State of Health Estimation of Li-ion Batteries

Nature Scientificreports 2020

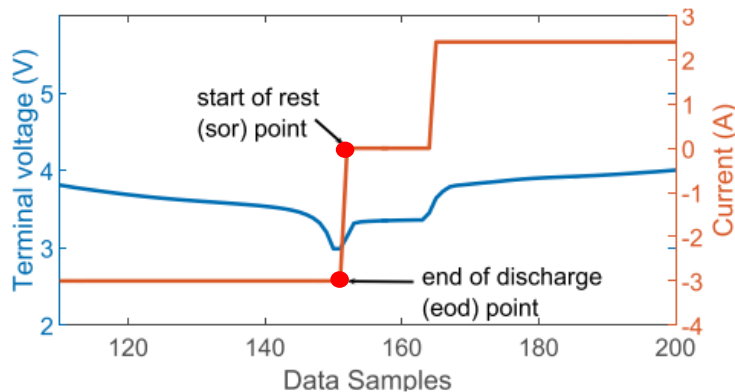
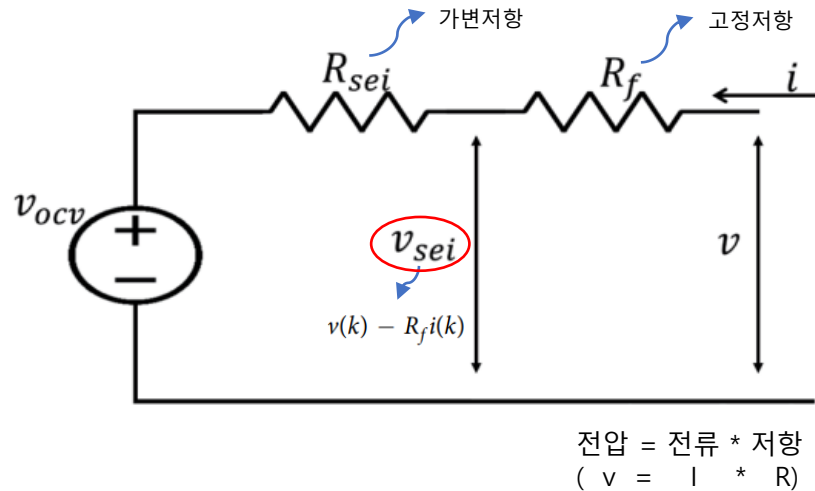
부분 충전 데이터만 사용하여 10개의 파생 전압 값(v_{sei}) 수집



초기 v_{sei} 값은 고정
coulomb 카운팅에서 1.5% 증가할 때마다 다른 지점 선택



파생 전압 값(v_{sei}) 수집



$$V_{sei}(k) = V(k) - R_f i(k)$$

k번째 파생 전압 값(v_{sei}) = k번째 전압 - 고정저항 X k번째 측정 전류

$$1) R_i = R_f + \Delta R_{sei}$$

전체저항 = 고정저항 + 가변저항

$$2) R_f = R_i (n = 1)$$

고정저항 = 전체저항 ($n = 1$) ※ n = 사이클

$$3) R_f = \frac{v(eod) - v(sor)}{i(eod)}$$

고정저항 = 방전의 끝점의 전압 - 휴지 시점의 전압

1) 파생 전압 값(v_{sei}) 수집

$$1) R_i = R_f + \Delta R_{sei}$$

$$2) R_f = R_i (n = 1)$$

$$3) V_{sei}(k) = V(k) - R_f i(k)$$

$$4) SOC(k) = SOC(k-1) + \frac{i(k)T_s}{C_{max}}$$

$$5) R_f = \frac{v(eod) - v(sor)}{i(eod)}$$

$$6) capacity(n) = -T_s \sum_{k \in discharging} i_b(k)$$

$$7) SOH = \frac{capacity(n)}{C_{max}}$$

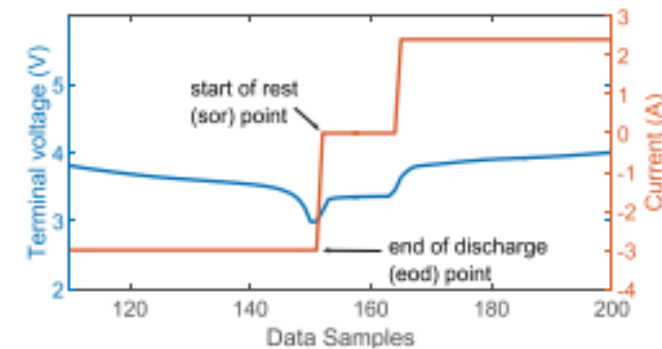
a. R_i = 전체 저항, R_f = 고정 저항, ΔR_{sei} = 가변 저항

b. n = 사이클, k = 측정 수,

c. $i(k)$ = 측정 시 전류

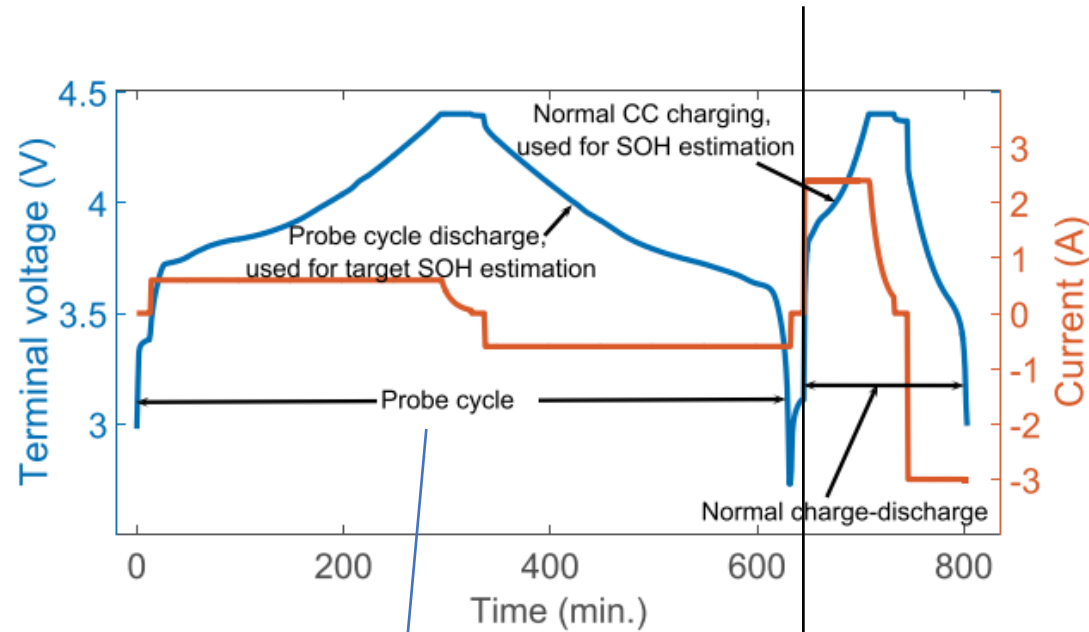
d. C_{max} = 배터리 정격용량(최대 전하량)

e. Q (전하량) = t (시간) * I (전류)



(e)

레퍼런스 충방전 그래프



느린 충-방전 사이클

Step	Protocol Description
1	Constant current (CC) charging at 0.8C/1.0C/1.2C rate
2	Constant voltage (CV) charging at 4.4V
3	Constant current discharge at 1.0C/1.2C rate
4	After each 50/125 cycles, probe cycle with CC-CV charge and CC discharge at 0.2C rate

Table 2. Charging and Discharging Protocol.

CC(고정 전류): 셀 내에 일정한 전하의 흐름을 유도하는 방식

CV(고정 전압): 셀 내부의 전하가 음극에 삽입되어 들어갈 수 있도록 유도하는 방식

CC-CV(constant current constant voltage): 전압 full이 될 때까지 CC로 충전, 그 이후에는 CV로 충전

0.8C 데이터는 1분, 1.2C 데이터는 10초 간격으로 표본 추출