

# ESS의 잔여 수명 및 건강 상태 추정을 위한 건전성 지표 추출 연구

심민주\*, 한동호\*, 이미영\*, 이동철\*, 김종훈\*  
 충남대학교 에너지저장변환연구실

## Study on Health Indicator Extraction for Estimating RUL and SOH

Minju Sim\*, Dongho Han\*, Miyeoung Lee\*, Dongcheol Lee\*, Jonghoon Kim\*  
 Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University\*

### ABSTRACT

리튬이온 배터리의 많은 장점으로 인해 광범위하게 사용됨에 따라 배터리의 안전성과 효율적인 사용을 위해 잔여수명(Remaining useful Life; RUL) 및 건강 상태(State of health; SOH)를 정확하게 추정하는 것은 필수적이다. 본 논문에서는 이상적인 노화 데이터에서 건전성 지표(Health indicator; HI)인 방전용량에서 평균 전압 저하(Mean voltage falloff; MVF), 동일한 방전 시간차의 전압 간격(Voltage interval of equal discharging time difference; VIEDTD), 동일한 충전 시간차의 전압 간격(Voltage interval of equal charging time difference; VIECTC)를 추출하였다. SOH와 상관분석을 통해 SOH를 대변할 수 있는지 판단하였다. 추출한 HI를 운용중인 에너지 저장시스템(Energy storage system; ESS) 일별 데이터에 적용하였다.

(Voltage interval of equal charging time difference; VIECTC) 총 3가지의 HI를 추출하여 상관관계를 분석하고 운용중인 ESS에 추출한 HI를 적용하였다.

### 2. 운용 중인 ESS 내 건전성 지표 추출

#### 2.1절 이상적인 실험 데이터 내 건전성 지표 추출

그림 1은 외부적인 영향을 받지 않은 배터리의 이상적인 노화에 따른 방전용량이다. 이상적인 노화에 따른 배터리의 SOH 추정을 위한 HI를 추출하기 위해 33j 배터리로 총 1098 사이클의 완전 충전 및 완전 방전 실험을 진행했다. 그림 1에서 보이는 것과 같이 배터리 방전용량은 사이클이 증가할수록 감소한다.

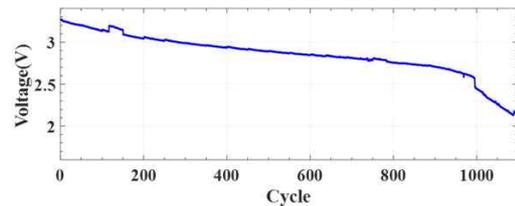


그림 1 이상적인 데이터의 노화에 따른 방전용량  
 Figure 1 The discharge capacity of ideal data over aging

그림 2는 방전전압과 충전전압에서 평균 전압 저하(Mean voltage falloff; MVF), 동일한 방전 시간차의 전압 간격(Voltage interval of equal discharging time difference; VIEDTD), 동일한 충전 시간차의 전압 간격(Voltage interval of equal charging time difference; VIECTD) 총 3가지의 HI를 추출하여 각각의 HI에 대한 경향성을 보여준다. MVF는 식 (1), VIEDTD는 식 (2), VIECTD는 식 (3)을 통해 계산한다. 이상적인 데이터에서 추출한 MVF, VIEDTD 및 VIECTD는 사이클이 증가할수록 상승하는 경향성을 보여준다. 추출한 HI가 SOH를 대변할 수 있는지 확인하기 위해 상관분석을 진행한다. 상관분석은 -1에서 1사이의 값을 나타내는 상관관계의 크기를 나타내는 값으로 1에 가까울수록 높은 상관관계를 나타낸다. MVF는 0.7603, VIEDTD는 0.6264, VIECTD는 0.8597의 상관성을 보인다.

### 1. 서론

전 세계적으로 지구온난화와 환경보호에 대한 관심이 높아지면서 탄소 중립을 달성하기 위해 경제구조의 저탄소화, 신유망 저탄소산업 생태계 조성, 탄소중립 사회로의 공정전환 등의 노력을 하고 있다. 그 중, 에너지 공급원을 화석연료에서 신재생에너지로 전환하고 내연기관 자동차에서 수소·전기차 등 미래 모빌리티로의 적극적인 전환을 통해 리튬이온 배터리의 수요, 안전성 및 중요성이 증가하고 있다.

리튬이온 배터리는 고에너지 밀도, 장수명, 경량화 등의 장점을 가지고 있다. 따라서 에너지 저장시스템(Energy storage system; ESS), 주택용 태양광·연료 전지의 축전 시스템 및 전기차의 에너지 공급원 등에 다양하게 사용되고 있다. 하지만 지속적인 배터리의 사용으로 배터리의 용량 감소와 내부 저항 증가를 초래하게 된다<sup>[1]</sup>. 배터리의 효율적이고 안전한 사용을 위해 잔여 수명(Remaining useful life; RUL) 및 건강 상태(State of health; SOH)를 정확하게 모니터링하고 평가하는 것은 매우 중요하다. RUL과 SOH를 예측할 수 있는 건전성 지표(Health indicator; HI)를 추출하는 것은 필수적이다. HI를 통해 배터리의 상태를 모니터링 할 수 있으며 배터리의 현재 상태를 반영하여 배터리 관리를 효율적으로 할 수 있도록 도와준다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 이상적인 노화 데이터에서 방전용량에서 평균 전압 저하(Mean voltage falloff; MVF), 동일한 방전 시간차의 전압 간격(Voltage interval of equal discharging time difference; VIEDTD), 동일한 충전 시간차의 전압 간격

$$MVF = \frac{\sum_{i=1}^N VF_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (V_0 - V_i)}{N} \quad (1)$$

$$V_{iVIEDTD} = |V_{Max} - V_{Min}|, i = 1, 2, \dots, k \quad (2)$$

$$VIEDTD = V_{1VIEDTD}, V_{2VIEDTD}, \dots, V_{kVIEDTD}$$

$$V_{iVIECTD} = |V_{Max} - V_{Min}|, i = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

$$VIECTD = V_{1VIECTD}, V_{2VIECTD}, \dots, V_{kVIECTD}$$

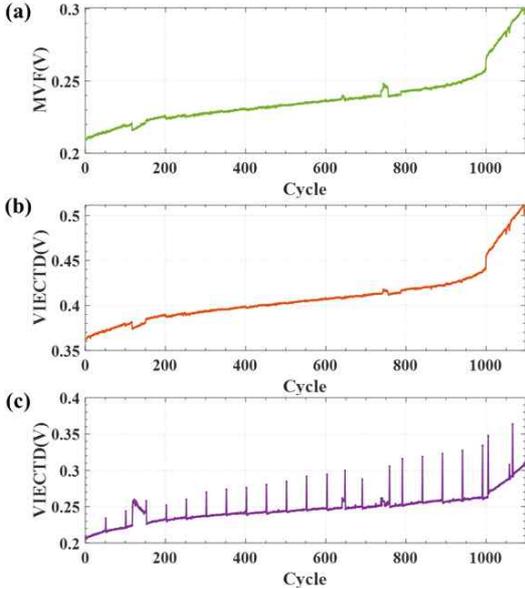


그림 2 이상적인 데이터의 노화에 따른 (a)MVF, (b)VIEDTD, (c)VIECTD

Figure 2 (a) MVF, (b) VIEDTD, (c) VIECTD according to aging of ideal data

표 1 이상적인 데이터의 방전용량과 HI의 상관관계

Table 1 The correlation between the discharge capacity of ideal data and HI

	Correlation coefficient
MVF	-0.7603
VIEDTD	-0.6264
VIECTD	-0.8597

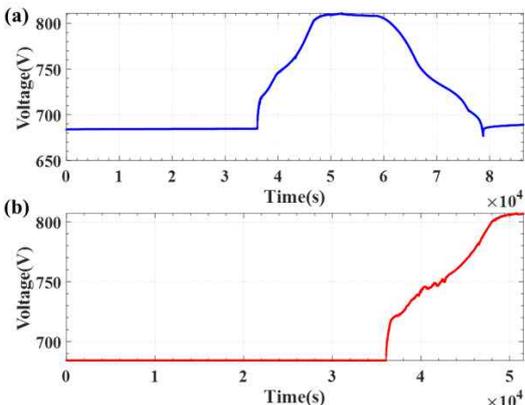


그림 3 ESS 데이터의 (a)충전과 방전이 발생한 날, (b)충전만 발생한 날

Figure 3 (a)The day when charging and discharging occurred (b)The day when only charging occurred

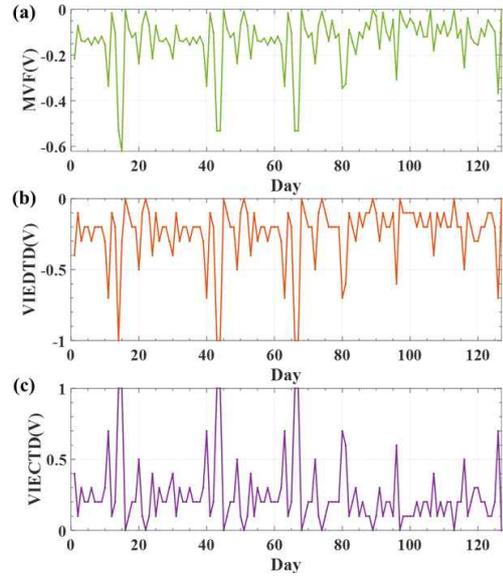


그림 3 ESS 데이터의 (a)MVF, (b)VIEDTD, (c)VIECTD

Figure 3 (a)MVF, (b)VIEDTD, (c)VIECTD of ESS data

## 2.2절 ESS 운용 데이터 내 건전성 지표 추출

운용중인 ESS의 데이터에서 3월부터 7월까지 일별로 충전 및 방전 데이터를 수집하였다. 그림 3은 ESS의 데이터 중 일부이다. ESS의 데이터의 경우, 날씨, 온도 등의 여러 가지 변수로 인해 그림 3의 (b)와 같이 충전만 발생한 날, 충전이 발생하지 않는 날 등 충전과 방전이 발생하지 않은 날의 데이터가 존재한다. 이러한 충전과 방전이 발생하지 않은 날의 데이터는 제외한다. 이상적인 데이터에서 추출한 HI를 충전과 방전이 모두 이루어진 날의 데이터에 적용했으며, 그림 4에 나타낸다.

## 3. 결론

본 논문에서는 배터리의 이상적인 노화 데이터에서 방전용량의 변화를 통해 MVF, VIEDTD, VIECTD 총 세 가지의 HI를 추출하였다. 이를 통해 각 HI와 SOH의 상관관계를 분석하였으며, 상관성 분석 결과, MVF는 0.7603, VIEDTD는 0.6264, VIECTD는 0.8597의 상관성을 나타냈다. 이를 통해 해당 HI들이 SOH를 대변할 수 있는 지표임을 확인하였으며, ESS 운용 데이터에 적용하였다. 향후 연구에서는 추출한 HI들을 기반으로 ESS의 SOH 추정 및 RUL 예측 연구를 진행할 예정이다.

본 논문은 한국에너지기술연구원(MMC타입 ESS 및 재생에너지 연계 고압형 허브스테이션 핵심기기 개발)과 한국전력연구원(R23X005-03, ESS향 물리모델-AI 결합 클라우드 기반 BMS 요소기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] Chiang, Yi-Hsien, Wu-Yang Sean, and Jia-Cheng Ke. "Online estimation of internal resistance and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles." *Journal of Power Sources* 196.8 (2011): 3921-3932.
- [2] Pop, Valer, et al. *Battery management systems: Accurate state-of-charge indication for battery-powered applications*. Vol. 9. Springer Science & Business Media, 2008.