

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.

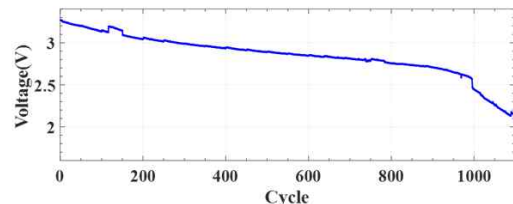


그림 1 이상적인 데이터의 노화에 따른 방전용량
 Figure 1 The discharge capacity of ideal data over aging

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.

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

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^[1]. 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^[2].

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

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

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

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

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

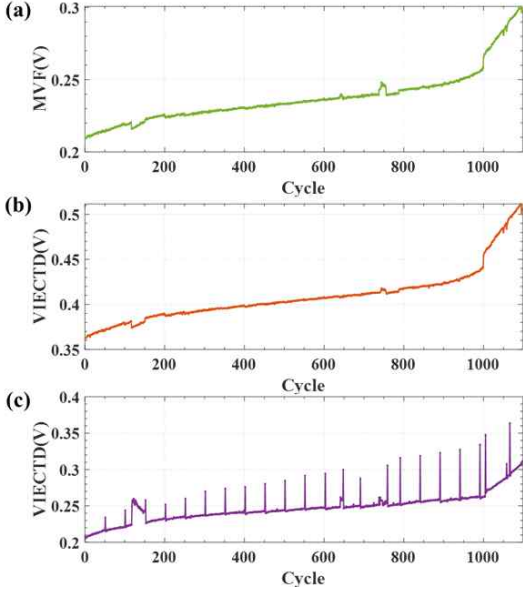


그림 2 이상적인 데이터의 노화에 따른 (a)MVF, (b)VIEDTD, (c)VIECTD

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

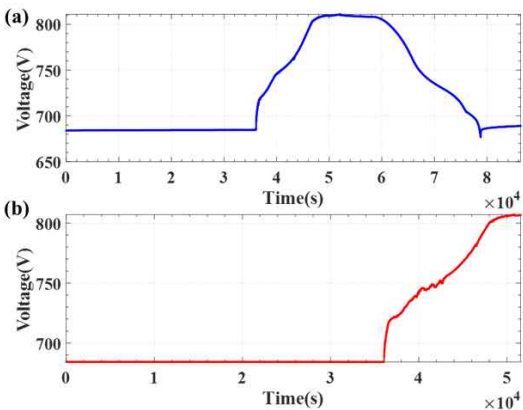


그림 3 ESS 데이터의 (a)충전과 방전이 발생한 날, (b)충전만 발생한 날

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

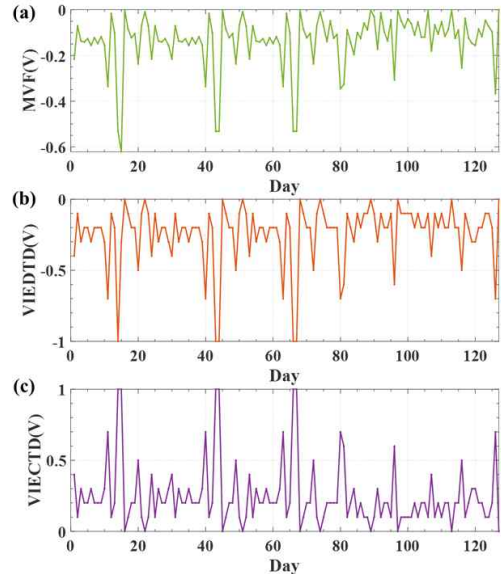


그림 3 ESS 데이터의 (a)MVF, (b)VIEDTD, (c)VIECTD

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.