

전기차 주행 데이터에 의한 경로별 배터리 상태 추정

양승무¹, 김동완², 김일환[†]

EV Battery State Estimation using Real-time Driving Data from Various Routes

Seungmoo Yang¹, Dong-Wan Kim², and Eel-Hwan Kim[†]

Abstract

As the number of electric vehicles (EVs) in Jeju Island increases, the secondary use of EV batteries is becoming increasingly mandatory not only in reducing greenhouse gas emissions but also in promoting resource conservation. For the secondary use of EV batteries, their capacity and performance at the end of automotive service should be evaluated properly. In this study, the battery state information from the on-board diagnostics or OBD2 port was acquired in real time while driving three distinct routes in Jeju Island, and then the battery operating characteristics were assessed with the driving routes. The route with higher altitude led to higher current output, i.e., higher C-rate, which would reportedly deteriorate state of health (SOH) faster. In addition, the SOH obtained from the battery management system (BMS) of a 2017 Kia Soul EV with a mileage of 55,000 km was 100.2%, which was unexpectedly high. This finding was confirmed by the SOH estimation based on the ratio of the current integral to the change in state of charge. The SOH larger than 100% can be attributed to the rated capacity that was lower than the nominal capacity in EV application. Therefore, considering the driving environment and understanding the SOH estimation process will be beneficial and necessary in evaluating the capacity and performance of retired batteries for post-vehicle applications.

Key words: Retired EV battery, SOH(State of Health), EV driving data, Post-vehicle application

1. 서 론

산업혁명 이후 이산화탄소 배출량의 급격한 증가는 지구 온난화를 야기하였으며 이에 따른 환경문제가 세계적인 화두가 되고 있다. 최근 전기차 관련 전력전자 기술과 배터리 기술의 비약적인 발전으로 이산화탄소가 배출되지 않는 전기차 개발과 보급에 대한 관심이 전 세계적으로 크게 증가하고 있다. 이러한 추세에 부응하기 위하여 제주특별자치도(이하 제주도)에서는 2030년까지 제주도에 있는 모든 화석 연료차를 전기차로 바꾸는 것을 목표로 하는 야심찬 프로젝트를 추진하고 있다. 2013년부터 전기차 민간보급 사업을 시작

한 제주도는 5년 만에 도내 전기차 수를 1만대까지 끌어 올렸다^[1]. 하지만 전기차 보급 확대에 걸림돌이 되는 여러 요인들이 아직 남아있으며, 특히 배터리의 에너지 밀도가 아직 충분하게 크지 못해서 전기차의 주행거리를 만족할 만큼 늘려주지 못하고 있는 실정이다. 따라서 배터리의 에너지 밀도를 높여 충전용량을 늘리기 위한 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다^{[2],[3]}. 이러한 노력으로 전기차 배터리는 더욱 더 고사양이 되고 있지만, 전기차 배터리의 안전성 및 성능에 대한 높은 요구조건 때문에 새 배터리 대비 충전가능 용량이 80%가 되면 폐배터리로 간주되어 전기차에서의 생명을 마치게 되고 폐기 절차를 밟게 된다^[4]. 이를 바로 폐기하면 배터리의 화학물질로 인한 환경오염을 유발할 수 있으며 국가적으로도 막대한 자원을 낭비하는 것이기 때문에 배터리의 재사용에 대한 충분한 논의가 필요해 보인다^[5]. 또한, 전기차에서 은퇴한 배터리들은 여전히 약 80% 정도의 잔존용량 가치를 가지고 있어서 전기차에서보다 낮은 요구조건이나 c-rate이 1이하에서 주로 동작하는 응용분야, 즉 신재생 에너지의 출력 안정화나 심야전력 이용 등에 적용된다면 경제성도

Paper number: TKPE-2019-24-3-1

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: ehkim@jejunu.ac.kr, Dept. of Elec. Eng., Jeju National Univ.

Tel: +82-64-754-3678 Fax: +82-64-756-5281

¹ Electric Energy Research Center, Jeju National Univ.

² Dept. of Elec. Eng., Jeju National Univ.

Manuscript received Sep. 29, 2018; revised Oct. 25, 2018; accepted Dec. 5, 2018

— 본 논문은 2018년 전력전자학술대회 우수추천논문임

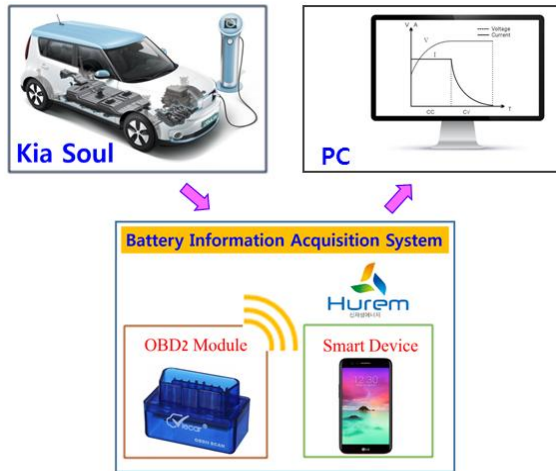


Fig. 1. Diagram of battery state information acquisition system.

충분히 확보할 수 있을 것으로 여겨진다^[6]. 따라서 전기차 폐배터리는 재활용보다는 재사용의 가치가 그만큼 커지고 있으며 새롭고 다양한 비즈니스 모델을 만들 수 있는 기회를 제공할 것으로 기대된다. 폐배터리의 재사용은 또한 중고 배터리의 가치를 증가시켜서 중고 전기차 가격이 급격히 떨어지는 것을 막아 주는 효과도 가져올 것이다.

중고 전기차 배터리를 재사용하기 위해서는 배터리가 전기차에서 은퇴했을 때 진단시험을 통한 배터리의 용량 및 성능을 정확히 산정하는 것이 매우 중요하다. 하지만 은퇴했을 때의 일시적인 진단시험은 그 순간의 성능열화 정도(SOH)를 알려줄 뿐 재사용 할 때의 기대수명, 즉 잔존수명(remaining useful life)과 관련 있는 성능열화 추세를 예측해 주지는 못한다. 즉, 진단시험을 통해서 SOH가 동일하게 산출되었다 하더라도 은퇴하기까지의 사용 환경이나 운행 이력이 다르다면 2차사용 기간 동안 배터리의 열화경향도 달라지기 때문이다. 따라서 폐배터리의 재사용을 위해서는 은퇴 당시 SOH 뿐만 아니라 SOH의 이력정보까지 고려한 가치 판단이 필요하다고 하겠다.

본 논문은 전기차의 운행 조건과 환경이 배터리의 성능에 미치는 영향을 실 주행 데이터를 통하여 분석하는 것에 목적을 두고 있다. 실 주행 데이터를 얻기 위하여 제주도의 특징적인 3가지 주행 경로를 따라 전기차를 운행하면서 배터리의 상태정보 값들을 실시간으로 취득하였다. 수집된 주행 데이터에 포함되어 있는 배터리의 출력 전류, 전압, SOC를 경로별로 비교하여 고도차의 크기에 대한 영향을 조사하였다. 또한 전기차의 주행 데이터를 사용하여 배터리의 성능상태 값들도 추정하였으며 전기차 BMS에서 출력하는 값들과 비교하였다. 본 논문의 목적이 SOC나 SOH의 추정을 위한 새로운 알고리즘 개발에 있지 않기 때문에 SOC의 추정에는 가장 일반적인 확장칼만필터를 사용하였고



Fig. 2. EV driving routes.

SOH의 추정에는 SOC의 변화량에 대한 방진량의 비율에 바탕을 둔 직관적인 방법을^[7] 사용하였다. 다만 용량성 SOH의 추정에는 SOC의 전체 변화 분을 고려하기^[7]보다는 SOC가 1%씩 변할 때마다 SOH를 추정하여 전체 SOC구간에 대한 SOH의 빈도수 히스토그램을 통한 통계적 고려를 추가한 것이 특징이라고 할 수 있겠다.

2. 전기차 주행 실험

2.1 실시간 배터리 정보 취득

전기차의 주행 중 실시간으로 배터리의 상태 정보들을 얻기 위한 데이터 취득과정을 그림 1에 제시하고 있다. 배터리 정보 취득 시스템은 전기차 BMS에서 제공하는 배터리 상태정보들을 실시간으로 수집한다. 그림 1에 보인 것처럼 OBD2 모듈(Viecar[®])은 전기차의 OBD2 연결단자에 장착되어 차량의 위도, 경도 그리고 고도를 포함한 배터리의 전압, 전류, 온도, SOC, SOH와 같은 상태정보를 스마트폰으로 전송해 준다. 전기차가 켜져 있을 때 OBD2 모듈은 블루투스 통신을 사용하여 10Hz의 속도로 데이터를 전송한다. 이렇게 스마트폰에 저장된 데이터는 컴퓨터로 옮겨져 MATLAB 기반의 프로그램에서 오프라인으로 분석됐다.

2.2 전기차 주행경로

주행도로의 고도 차이는 전기차 배터리의 출력에 가장 큰 영향을 미친다. 주행 경로별 고도차가 배터리의 출력에 미치는 영향을 비교하기 위하여 제주도내에서 가장 특징적인 세 개의 주행경로를 선정하였다. 그림 2에 나타나 있듯이 해안도로(Haeandoro) 경로는 해안선을 따라 평균 해발고도가 약 70m인 도로이며, 제주 시에서 출발하여 동쪽과 서쪽으로 주행한 경로이다. 한라산 중턱까지 오르는 1100고지(1100-goji) 경로는 제주시 노형동(해발 약 100m)에서 1100고지(해발 1100m)까지 이어진 도로이며, 성판악(Sungpanak) 경로는 제주시 아라동(해발 약 150m)에서 성판악(해발 780m)을 연결하는 도로이다.

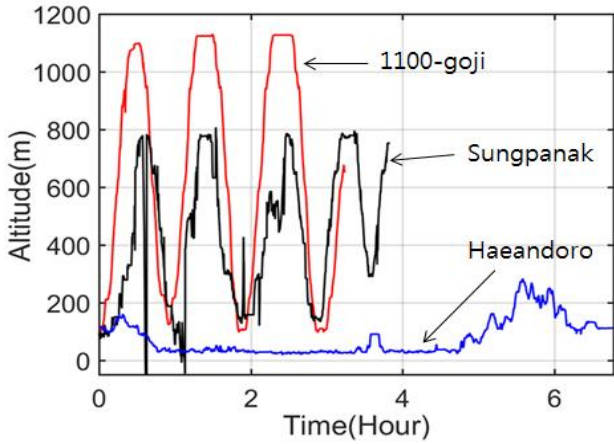


Fig. 3. Altitude of EV driving routes.

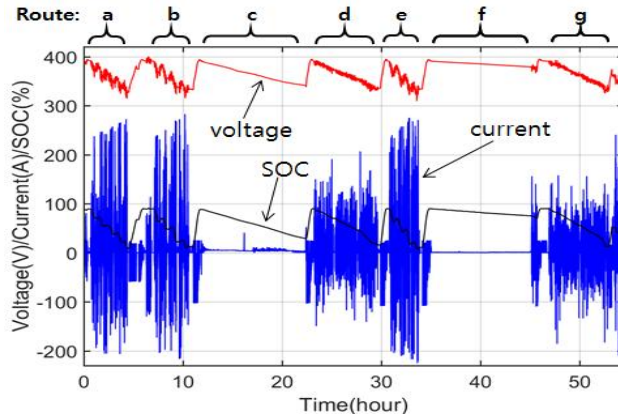


Fig. 4. Voltage, current and SOC during driving along different routes and charging mode.

그림 3은 세 가지 경로를 주행하는 전기차로부터 얻은 고도를 시간에 대해 나타내고 있으며 뚜렷한 경로별 고도 차이를 보이고 있다. 1100고지 경로는 고도차가 약 1000m 정도로 가장 큰 고도차를 보이고 있으며, 성판악 경로는 약 700m 이상의 고도 차이를 나타내고 있다. 하지만 해안도로 경로는 고도 변화가 약 200m 이내로써 상대적으로 작은 차이를 보이고 있다.

2.3 주행경로에 따른 배터리 상태정보

그림 4는 각 경로별 주행과 급속충전을 실시하는 약 55시간 동안 취득된 전체 데이터 중 배터리의 기본 상태 값인 전압, 전류, SOC를 나타내고 있다. 그림 4의 그림상자 윤곽선 위쪽에는 방전구간(a: 성판악, b: 1100고지, c: 히터 온, d: 해안도로, e: 1100고지, f: 헤드라이트 온, g: 해안도로)을 표시하였으며 방전구간들 사이의 전압과 SOC가 상승하는 구간은 급속충전기에 의한 충전구간들이다. 맨 위에 표시된 전압곡선은 약 400V에서 시작되어 약 320V까지의 방전 및 충전에 의한 전압 변동을 나타내고 있다. 전류는 가장 큰 변화율을 보였으며 급경사를 올라갈 때 양의 방전 전류를 출력하고 급경사를 내려갈 때는 회생제동에 의한 음의

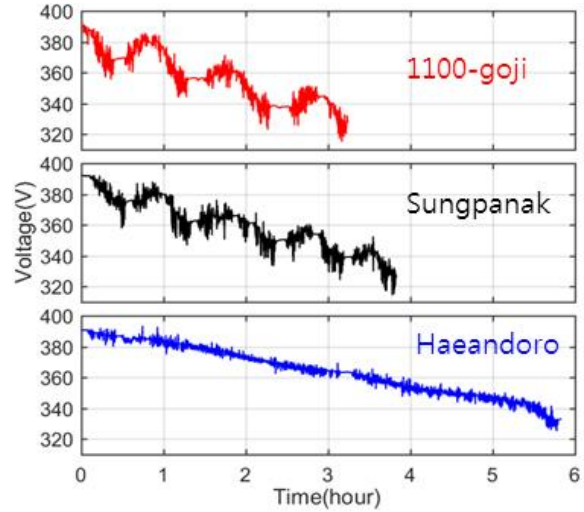


Fig. 5. Battery voltage output for three routes.

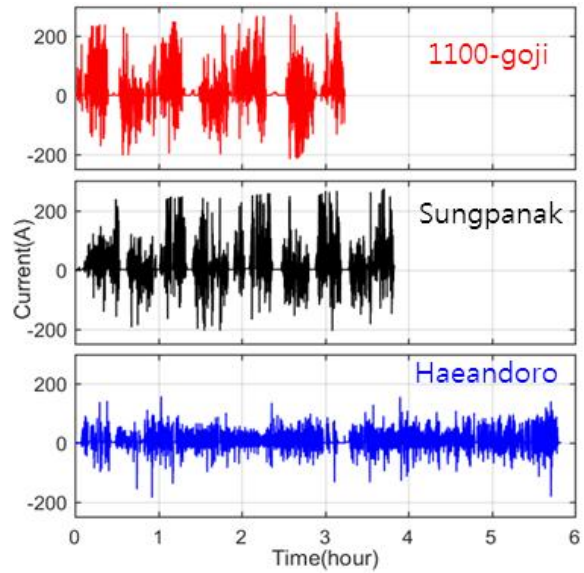


Fig. 6. Battery current output for three routes.

충전 전류를 보이고 있다. 전기차의 BMS가 추정된 SOC 그래프는 약 90%에서 15%까지 변화하고 있으며 전압 그래프와 패턴이 매우 비슷함을 알 수 있다.

그림 5는 그림 4의 전체 취득 데이터 중 3가지 경로를 따라 주행하면서 얻은 시간에 따른 배터리의 출력 전압 파형을 비교한 그래프이다. 주행경로에 따른 전압 파형의 감소 기울기가 달라서 약 320V까지 떨어지는데 걸리는 시간이 고도차가 작은 해안도로 경로에서 가장 크게 나타났다. 고도차이가 큰 성판악 경로와 1100고지 경로에서는 오르막길 주행 시 전압이 급격히 떨어지고 있으며 내리막길 주행 시에는 회생제동을 통한 전압 상승이 있음을 보이고 있다. 반면에 고도차이가 크지 않은 해안도로 경로에서는 전압파형이 큰 굴곡 없이 선형으로 떨어짐을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5에서와 동일한 조건하에서 취득된 배터리의 출력 전류 파형을 비교하고 있다. 고도차가

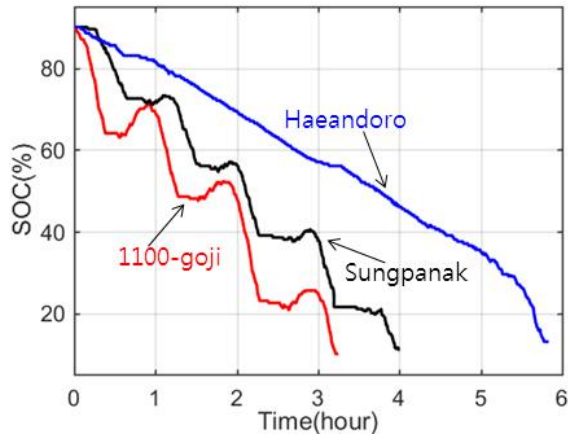


Fig. 7. Battery SOC output for three routes.

큰 1100고지와 성판악 경로에서 급경사를 올라갈 때의 최고 방전 전류는 약 275A(c-rate = 3.7), 급경사를 내려갈 때의 회생제동에 의한 최고 충전 전류는 약 -217A(c-rate = 2.9)까지 측정되었다. 또한 고도차이가 큰 경로에서는 전류의 크기가 200A를 넘는 경우가 많은 반면 평균고도가 해발 약 70m이고 고도변화가 약 200m 이내인 해안도로 경로에서의 전류의 크기는 대부분 100A 이내임을 확인할 수 있었다.

그림 7은 전기차 BMS가 추정하여 출력하는 SOC의 경로별 그래프이고 전압과 전류 파형에 비해서 순간적인 변화가 상대적으로 작음을 알 수 있다. 고도차가 큰 경로를 주행할 때 방전과 회생제동에 의해 SOC가 급격히 변하여 큰 굴곡을 보이고 있다. 또한 세 가지 경로에서 SOC의 시간에 대한 기울기가 뚜렷한 차이를 보이고 있으며 고도차가 가장 큰 1100고지 경로에서 SOC가 가장 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 본 주행시험에 사용된 2017년형 기아 쏘울 전기차는 SOC가 90%에서 약 20%까지 떨어지는 동안 1100고지 경로는 3번, 성판악 경로는 4번 왕복할 수 있었다.

2.4 배터리의 방전율 비교

그림 8은 전기차 주행 시 출력하는 전류로부터 구한 방전율의 상대적 빈도수를 로그 스케일로 나타낸 것이다. 음의 방전율은 회생제동에 의한 충전 전류이고 양의 값들은 방전할 때의 전류 값을 나타낸다. 해안도로 경로를 주행할 때는 0.5 보다 작은 방전율의 빈도수가 다른 경로에서 보다 큰 반면 1100고지 경로와 성판악 경로를 주행할 때는 0.5 이상의 큰 방전율의 빈도수가 해안도로 경로에서 보다 높게 나타났다. 1100고지 경로를 주행할 때는 방전율이 3.5 이상까지 올라간 반면 해안도로 경로의 경우는 방전율이 2.9 이상은 올라가지 않았다.

또한 각 경로별 평균 방전율을 표 1에 요약하였다. 1100고지 경로를 주행할 때 평균 방전율 1.4는 해안도로를 주행할 때 평균 방전율 0.45보다 약 3배 이상 크게

TABLE I
AVERAGE C-RATE OF DISCHARGING AND REGENERATIVE CHARGING MODES FOR THREE ROUTES

Parameter	1100-goji	Sungpanak	Haeandoro
average discharging c-rate	0.70	0.47	0.23
average regenerative c-rate	-0.52	-0.39	-0.19

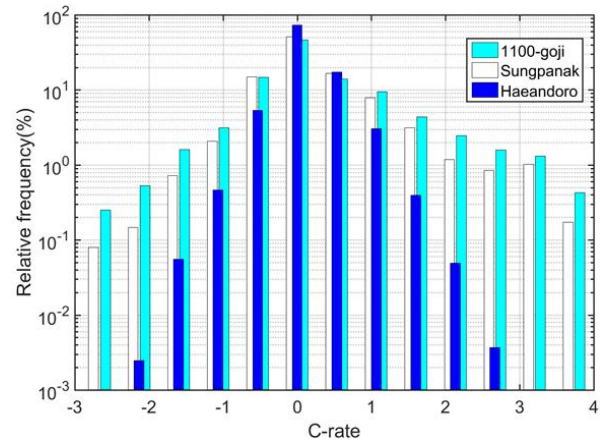


Fig. 8. Relative frequency of C-rate in log-scale.

TABLE II
EV BATTERY SPECIFICATION

Parameter	Specification
nominal capacity	42.36 Ah
usable capacity	37.5 Ah
nominal energy	30.5 kWh
usable energy	27 kWh
number of cells	192 (96s2p)
rated voltage	360 V
battery weight	277 kg

측정되었다. 회생제동에 의한 평균 충전율도 1100고지 경로가 해안도로 경로보다 3배정도 크게 출력하고 있지만 세 경로 모두 평균 충전율보다는 작게 측정되었다. 이는 제주도내에서 주행하는 전기차의 평균 방전율과 평균 충전율이 주행경로에 따라 최대 3배정도 차이가 나고 있음을 의미한다. 이러한 방전율의 경로별 차이는 배터리의 성능 열화에도 영향을 미칠 것이며 특히 큰 방전율은 배터리의 용량열화를 가속할 것이다^[8]. 따라서 폐배터리의 재사용을 위한 가치를 산정할 때 전기차가 주행했던 주행도로에 대한 이력 데이터가 고려되어야 할 것으로 여겨진다.

3. 주행 데이터에 의한 SOH 추정

3.1 전기차 배터리 사양

본 논문에서 사용된 기아 쏘울 전기차의 사양은 표 2에 나타나 있다^[9]. 표 2에서 주목할 점은 용량과 에너지를 공칭(nominal)값과 가용(usable)값으로 구분하고 있다는 것이다. 공칭 값은 특정 실험실 조건에서 측정된 값이고 가용 값은 배터리가 전기차에서 사용될 때 동작 특성 및 안정성을 고려한 값이라고 볼 수 있다^[10]. 공칭용량과 가용용량의 관계는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (1)에 의하면, 배터리의 가용용량(37.5Ah)은 공칭 용량(42.36Ah)에 방전 깊이, DOD(Depth of Discharge)를 곱해서 구해진다.

$$Usable\ capacity\ (Ah) = \frac{Nominal\ capacity\ (Ah) \times DOD\ (\%)}{100} \quad (1)$$

식 (1)로부터 기아 쏘울 전기차의 DOD를 계산하면 약 88.5%가 된다. 즉 전기차의 제조사는 배터리의 안전 및 사용기간 등을 고려하여 공칭 용량의 약 88.5%만 사용할 것을 권장하고 있다는 의미이다. 따라서 기아 쏘울 배터리의 전기차에서의 용량, 즉 정격 용량(rated capacity)은 가용 용량인 37.5Ah가 되고 새 차인 경우 실제 배터리 용량은 정격용량 이상이 됨을 알 수 있다.

전기차 배터리의 성능 및 건강상태를 알려주는 가장 중요한 성능지표인 SOH는 새 배터리의 성능에 대한 현재 배터리 성능의 비율로서 백분율로 나타낸다. 본 논문에서는 전기차의 주행거리와 밀접한 관련이 있는 용량특성을 바탕으로 한 SOH를 사용하였으며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SOH = \frac{C}{C_{rated}} \times 100 \quad (2)$$

새 배터리의 용량이 정격용량보다 크기 때문에 SOH는 100% 이상에서 시작하며, 사용함에 따라 용량이 줄어들어 SOH도 작아지게 된다. 이렇게 배터리의 용량이 줄어드는 것은 충방전 횟수와 사용기간에 크게 영향을 받지만 온도와 충방전 전류크기 등을 포함한 여러 가지 변수들에 대해서도 영향을 받는다^[11]. 특히 전기차의 사용 환경 및 동작 조건이 가전기구나 ESS 분야등과 같은 응용분야에 비하여 훨씬 복잡하고 다양하여 SOH를 산정할 때 더 많은 변수들을 고려해야 할 것이다.

SOH가 새 배터리 용량 대비 현재 배터리의 용량 비율을 나타내는 지표인 반면 배터리의 현재 가용용량 대비 현재 충전량 비율을 나타내는 지표가 SOC이다. SOC는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 같은 전하량을 방전하여도 현재 용량이 작아지면 SOC는 더 빨리

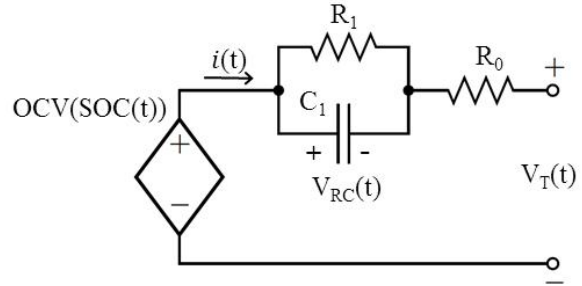


Fig. 9. Equivalent circuit of EV battery.

떨어지게 된다. 식 (2)와 (3)을 비교해 보면 SOH와 SOC가 현재 배터리 용량에 의하여 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

$$SOC(t) = \frac{C - \int_0^t I(\tau) d\tau}{C} \times 100 \quad (3)$$

3.2 내부 직렬저항 추정

그림 9는 본 논문에서 사용된 배터리의 전기적 등가 모델이다. 방전 모드일 때 단자전압(V_T)은 개방전압(OCV)에서 내부 직렬저항(R_0)에 의한 전압강하와 RC 회로에 의한 전압강하를 뺀 값으로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. RC회로에 의한 전압강하(V_{RC})는 직렬 저항에 의한 전압강하보다 느린 응답속도를 가지므로 샘플링 시간 0.1초 동안에는 직렬저항에 의한 전압변화만 측정된다. 이 때 SOC의 변화량이 매우 작기 때문에 OCV 변화율 역시 무시할 수 있다. 따라서 배터리 내부 직렬저항은 샘플링 시간 동안의 전압변화량을 전류변화량으로 나누어 예측할 수 있다. 식 (4)에서 식 (5)을 빼면 식 (6)이 되고 내부 직렬저항은 식 (7)처럼 근사적으로 구할 수 있다^[10].

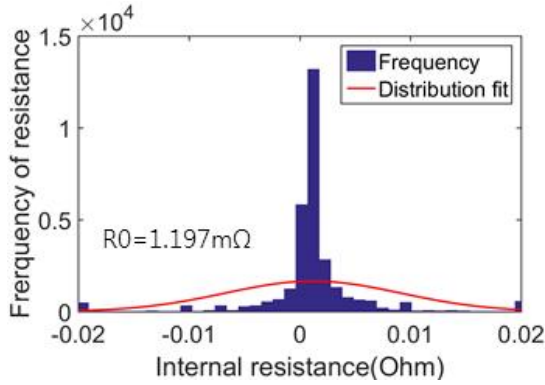
$$V_T(t) = OCV(SOC(t)) - V_{RC}(t) - i(t)R_0 \quad (4)$$

$$V_T(t + \Delta t) = OCV(SOC(t + \Delta t)) - V_{RC}(t + \Delta t) - i(t + \Delta t)R_0 \quad (5)$$

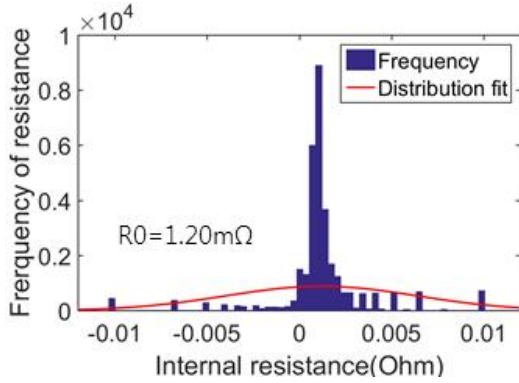
$$V_T(t) - V_T(t + \Delta t) \approx -R_0(i(t) - i(t + \Delta t)) \quad (6)$$

$$R_0(t) \approx -\frac{V_T(t) - V_T(t + \Delta t)}{i(t) - i(t + \Delta t)} \quad (7)$$

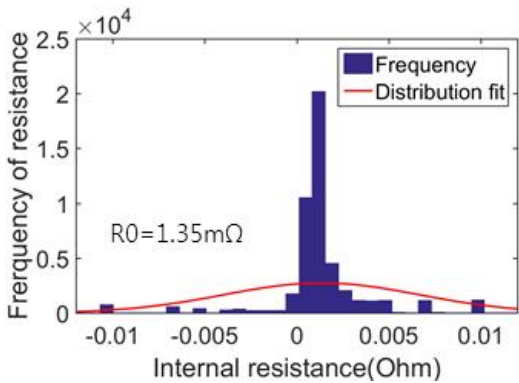
그림 10은 세 가지 주행경로에서 얻은 주행 데이터로부터 추정된 내부 직렬저항의 빈도수 히스토그램이다. 저항 값은 측정 잡음 등이 첨가되어 평균치를 중심으로 이산분포 되어 있음을 알 수 있다. MATLAB에서 제공하는 정규분포 맞춤(fitting)방법을 사용하여 직렬저항을 계산하면 1100고지와 성판악은 약 1.2mΩ, 해안도로는 약 1.35mΩ으로 각각 추정되었다. 직렬저항 추정치는 해안도로 경로에서 조금 크게 추정되었지만



(a) 1100-goji



(b) Sungpanak



(c) Haeandoro

Fig. 10. Frequency of internal series resistance for three routes.

큰 차이를 보이지는 않았다. 이 방법을 사용하여 새 배터리의 직렬저항에 대한 초기 데이터를 가지고 있다면 상대적 직렬저항 변화량을 계산할 수 있으며 이로부터 출력열화 정도를 추정할 수 있을 것이다.

3.3 전기차 배터리의 SOH

기아 쏘울 전기차의 BMS는 내부적으로 용량과 출력 등을 고려하여 SOH를 계속 추정하고 있지만 운전자에게 직접 알려주지는 않는다. 내부적으로 추정된 SOH는 진단용 OBD2 단자와 연결된 배터리정보 취득 시스템을 통하여 실시간으로 얻을 수 있다. 본 논문의 주행 시험에 사용된 전기차의 SOH는 100.2%로 취득

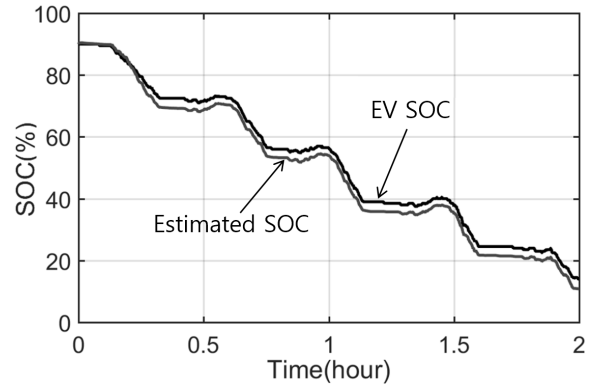


Fig. 11. Estimated SOC for Sungpanak route.

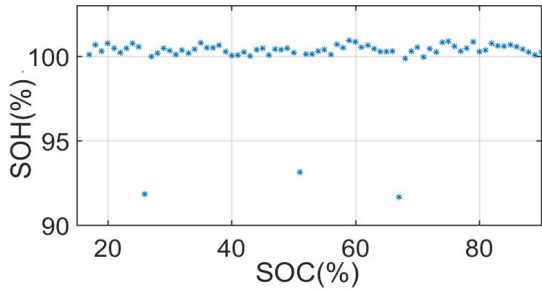
되었으며 시험기간 동안 변하지 않았다. 하지만 전기차에서 출력되는 SOH는 실험실 테스트 결과에 바탕을 둔 추정치이기 때문에 전기차의 실 주행 데이터를 사용해 구한 추정치와는 다를 수 있다. 전기차의 주행 환경 및 운전조건은 실험실의 환경과는 많이 다르기 때문에 전기차의 주행으로부터 측정되는 배터리의 기본 상태 정보들로부터 SOH를 추정해 보는 것은 큰 의미가 있을 것이다. 또한 1년 이상 운행되었고 누적 주행거리가 55,000km를 넘은 전기차 배터리의 SOH가 100% 이상의 값으로 출력된 것은 다소 의외의 결과라 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 전기차의 BMS에서 취득된 SOH의 검증을 위해 제주도내 3가지 경로를 주행하면서 얻은 실시간 배터리 상태 데이터를 사용하여 SOH를 추정하였다.

$$SOC_2 = SOC_1 - \frac{\int_1^2 I dt}{C} \times 100 \quad (8)$$

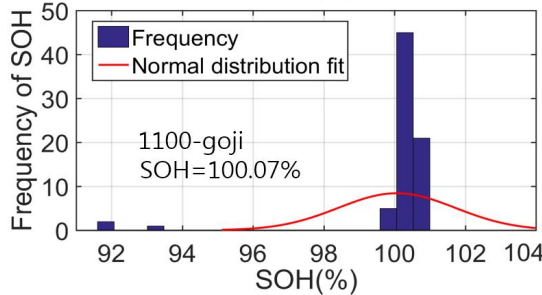
$$C = \frac{\int_1^2 I dt}{SOC_1 - SOC_2} \times 100 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} SOH &= \frac{C}{C_{rated}} \times 100 \\ &= \frac{\int_1^2 I dt}{C_{rated} (SOC_1 - SOC_2)} \times 100 \end{aligned} \quad (10)$$

본 논문에서 사용된 SOH 추정 방법은 SOC의 변화량에 대한 전류 적분 값의 비율에 기본을 두고 있다. 배터리의 현재 충전상태인 SOC_2 는 이전 충전상태 SOC_1 에서 누적 방전 전류량을 현재 배터리 용량 C 로 나눈 값을 뺀 양으로 식 (8)처럼 나타낼 수 있다. 이 식을 다시 정리하면 현재 배터리 용량은 누적 방전 전류량을 SOC의 변화량으로 나눈 값으로 식 (9)가 된다. 따라서 식 (2)에 식 (9)를 대입하여 구한 배터리의



(a) Dotted graph of SOH with SOC



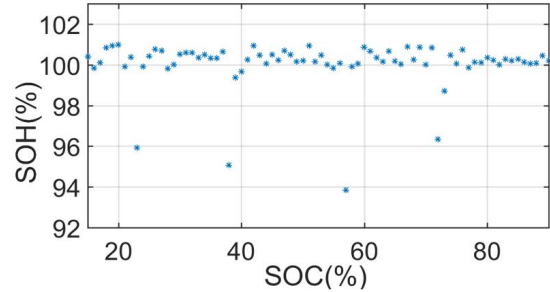
(b) Histogram of SOH

Fig. 12. SOH estimation for 1100-goji route.

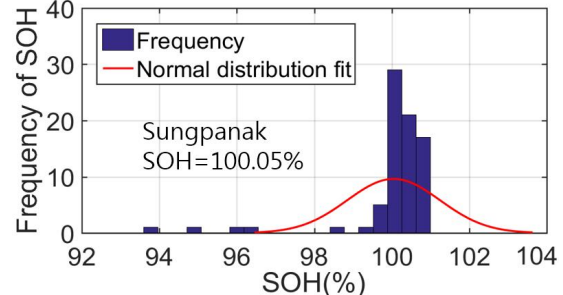
SOH는 누적 전류량을 정격용량과 SOC 변화량을 곱한 값으로 나눈 양이 됨을 알 수 있다. 여기서 SOC 추정치는 가장 일반적인 확장칼만필터 알고리즘을 사용하여 구하였으며^[12] 그림 11에서 성판악 경로를 주행할 때 BMS로부터 취득한 SOC와 비교하였다. 그리고 SOH 추정을 위해서는 식 (10)을 사용하였으며 SOC가 1%씩 줄어들 때 마다 그 동안 방전된 전류를 적분하여 누적전류량을 계산하였고 배터리의 정격용량은 37.5Ah로 설정하였다. 이렇게 추정된 SOH를 그림 12~14에서 보이고 있으며, SOC에 대하여 점선 그래프(a)와 상대빈도 히스토그램 그래프(b)로 나타내었다.

그림 12(a)는 1100고지 경로의 주행데이터로부터 구한 SOH값을 각 SOC값에 대해 점선으로 나타내고 있으며 대부분 100% 근처에 집중되어 있음을 알 수 있다. 이들 그림 12(b)에 보이고 있으며 실선으로 표시된 정규분포 맞춤 방법으로 구한 SOH는 약 100.07%였다. 성판악 경로에 대한 SOH 추정치는 그림 13에 점선 그래프(a)와 상대빈도 히스토그램(b)으로 나타냈고 그림 14에서는 해안도로 경로 주행 데이터로부터 구한 SOH를 같은 형식으로 나타내고 있다. 성판악 경로에 대한 SOH 추정치는 약 100.05%이었으며 해안도로 경로로부터 구한 SOH는 99.82%였다. 이들 각각의 SOH 추정치는 전기차 BMS에서 취득한 SOH 100.2%와 매우 비슷함을 알 수 있다.

주행거리가 55,000km 이상이고 1년 이상 사용된 전기차의 SOH가 100%이상으로 출력되는 것을 전기차 주행 시 실시간으로 얻은 배터리상태정보 데이터를 이용하여 확인하였다. 이를 바탕으로 새 차의 SOH가

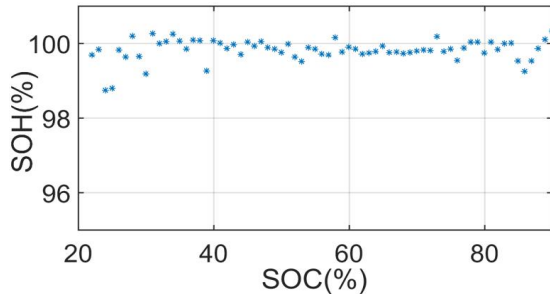


(a) Dotted graph of SOH with SOC

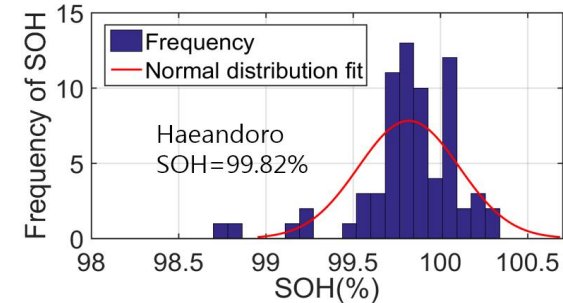


(b) Histogram of SOH

Fig. 13. SOH estimation for Sungpanak route.



(a) Dotted graph of SOH with SOC



(b) Histogram of SOH

Fig. 14. SOH estimation for Haeandoro route.

100% 보다 더 큰 값에서 시작했다는 것을 짐작할 수 있으며 전기차 배터리의 공칭용량에 비해 가용용량이 작게 설정되었다는 것을 알 수 있다. 한편, 전기차에서 추정하는 SOH가 전기차의 사용 목적에 맞게 조율된 값이기 때문에 전기차에서 은퇴한 배터리를 새로운 응용 분야에서 사용하기 위해서는 새로운 응용 분야에 맞는 적절한 SOH의 설정이 필요하다고 하겠다.

4. 결 론

본 논문에서는 전기차 주행 시 얻어진 실시간 배터리 상태정보 데이터를 사용하여 주행 경로별 배터리의 출력 특성과 성능 상태 값들을 추정하였다. 배터리 주행 데이터는 제주도내 세 가지 주행경로를 따라 기아 쏘울 전기차를 운행하여 취득 하였으며 이를 바탕으로 주행 경로별 고도차와 배터리 출력특성과의 연관성을 조사 분석하였다. 또한 배터리의 출력열화와 밀접한 관련이 있는 내부 직렬저항을 추정하였고, 용량성 SOH를 추정하여 전기차 BMS에서 출력하는 SOH와 비교하였다.

주행 경로별 고도차에 의한 평균 방전율은 약 3배까지 차이가 났으며 배터리의 용량열화 추정에 주행경로의 고도차가 고려되어야 함을 알 수 있었다. 또한 전기차 배터리의 SOH가 100% 이상에서 시작되는 것을 주행 데이터를 사용하여 검증함으로써 전기차 배터리의 가용용량이 공칭용량보다 작게 설정되었음을 확인하였다. 따라서 배터리의 전기차 응용에서처럼 전기차에서 은퇴한 배터리의 재사용을 위해서는 응용분야의 사용환경 및 출력특성을 고려한 SOH 설정에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] H. J. Hea, "‘EV island’ Jeju, over 10,000 EVs in 5 years," *The Hankyoreh internet edition*, Retrieved Mar. 13, 2018, from <http://www.hani.co.kr/arti/society/area/835867.html#csidx7c76441e46b8970ba6828d11ff6b363>.
- [2] A. Manthiram, "An outlook on lithium ion battery technology," *ACS Cent. Sci.*, pp. 1063-1080, Mar. 2017.
- [3] J. M. Tarascon, "Key challenges in future Li-battery research," *Phil. Trans. R. Soc. A*, No. 368, pp. 3227-3241, Jul. 2010.
- [4] N. Jiao and S. Evans, "Secondary use of electric vehicle batteries and potential impacts on business models," *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 33, No. 5, pp. 348-354, 2016.
- [5] H. J. Lee, J. H. Park, and J. Kim, "Research of the advanced SOC estimation method for the efficient recycling of the retired Lithium-ion battery," *KIPE Power Electronics Conference*, pp. 54-55. Nov. 2015.
- [6] W. C. Lih, J. H. Yen, F. H. Shieh, and Y. M. Liao, "Second use of retired lithium-ion battery packs from electric vehicles: Technological challenges, cost analysis and optimal business model," *2012*

International Symposium on Computer, Consumer and Control, pp. 381-384. Jun. 2012.

- [7] I. Semanski and S. Gautama, "Forecasting the state of health of electric vehicle batteries to evaluate the viability of car sharing practices," *Energies* 2016, Vol. 9, No. 12, Sep. 2016.
- [8] S. S. Choi and H. S. Lim, "Factors that affect cycle-life and possible degradation mechanisms of a Li-ion cell based on LiCoO₂," *Journal of Power Sources*, Vol. 111, No. 1, pp. 130-136, May 2002.
- [9] The KEEA, "2018 kia soul EV gets 30 kWh battery, range boost," Retrieved Mar. 25, 2017, from <https://www.thekeea.com>.
- [10] Spirit Energy, "Battery storage knowledge bank," Retrieved 15, Aug. 2018, form <https://www.spiritenergy.co.uk/kb-batteries-understanding-batteries>.
- [11] J. Belt, V. Utgikar, and I. Bloom, "Calendar and PHEV cycle life aging of high-energy, lithium-ion cells containing blended spinel and layered-oxide cathodes," *Journal of Power Sources*, No. 23, Vol. 196, pp. 10213-10221, Dec. 2011.
- [12] G. Plett, "Battery management systems, volume II: Equivalent-circuit methods: 2," *Artech House*, 2015.



양승무(梁承武)

1969년 1월 10일생. 1994년 중앙대 전자공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2009년 University of North Carolina at Charlotte 응용광학 졸업(공학). 2017~현재 제주대 전기에너지연구소 연구원.



김동완(金東完)

1986년 12월 7일생. 2012년 제주대 전기공학과 졸업. 2014년 동 대학원 풍력특성 화합동과정 졸업(석사). 2014~현재 제주 에너지공사 선임연구원. 2018년~현재 제주대 전기공학과 박사과정.



김일환(金一煥)

1962년 3월 29일생. 1895년 중앙대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991~현재 제주대 전기공학과 교수. 1995~1996년 Ohio State University 박사후연구원. 2004~2005년 Washington State University 방문교수. 2017~현재 당 학회 협력부회장.