

전력 보조서비스 제공을 위한 전기자동차 충/방전 최적화

Battery Charge and Discharge Optimization for Vehicle-to-grid Regulation Service

김 옥 원* · 신 홍 열* · 김 진 오[†] · 김 규 호**
(Wook-Won Kim · Hong-Yul Shin · Jin-O Kim · Kyu-Ho Kim)

Abstract - Electric vehicles should be connected to power system for charge and discharge of battery. Besides vehicle's battery is charged for a power source, it is also reversibly possible to provide power source from battery to power system. Researches on battery usage for regulation resources have been progressed and could cause cost increase excessively because they distribute regulation capacity equally without considering the battery wear cost of SOC, temperature, voltage and so on. This causes increase of grid maintenance cost and aggravate economical efficiency. In this paper it is studied that the cost could be minimized according to the battery condition and characteristic. The equation is developed in this paper to calculate the possible number of charge and discharge cycle, according to SOC level and weighting factors representing the relation between battery life and temperature as well as voltage. Thereafter, the correlation is inferred between the battery condition and wear cost reflecting the battery price, and the expense of compensation is decided according to the condition on battery wear-out of vehicle. In addition, using realtime error between load and load expectation, it is calculated how much regulation capacity should be provided.

Key Words : Regulation service, Plug in vehicle, Battery, Vehicle to grid

1. 서 론

환경과 에너지 보존에 대한 관심이 증가함에 따라 전기자동차(Electric Vehicle, EV)기술은 급속히 발전하고 있으며 상용화 시도가 지속적으로 이루어지고 있다. 전기자동차를 상용화 하는데 있어 동력원인 배터리를 충전하기 위해서는 전력계통과의 연계는 필수적이다. 따라서 충 방전이 가능한 전기자동차 배터리의 활용을 위해서 V2G(Vehicle to Grid)에 대한 연구가 진행되어오고 있다. 특히 regulation과 같은 보조서비스의 경우 발전기의 빠른 응답시간을 요구하며, 계약용량 대비 실제 제공전력이 약 0.1정도로 적다. 따라서 배터리로 제공될 전력의 높은 kWh당 가격과 같은 문제의 영향이 작고 빠른 응답시간과 같은 특성을 효율적으로 이용할 수 있어 많은 연구가 이루어지고 있다. 이와 같이 전기자동차의 배터리를 이용하여 계통에 regulation보조서비스를 제공하게 되면 자동차가 운행하는데 필수적인 충 방전 외에 추가적으로 배터리의 충 방전이 일어나게 된다. 이로 인한 배터리 수명감소에 대한 비용은 계통 운영자가 V2G서비스에 참여하는 차량에 인센티브 등의 형태로 보상하게 될 것이며 이는 서비스를 제공하는데 운영비용을 증가시켜 수익 감소를 가져올 것이다. 따라서 본 논문에서는 전기자동차의 배터리로 주목받고 있는 리튬이온 배터리의 DOD(Depth of

Discharge)에 대한 사이클 특성과 온도, 전압으로 인한 배터리 수명 관계를 이용하여 SOC 상태변화에 따른 배터리 수명 비용을 구한다. 또한 실제 부하예측 데이터에 기반 하여 차량의 배터리가 제공해야 할 regulation용량을 사례 별로 모의하고, 이를 통해 배터리 수명감소로 인한 비용을 최소화할 수 있는 regulation 서비스 제공 및 충전 방안을 제시한다.

2. 본 론

2.1 전기자동차 배터리 수명비용 모델링

본 논문에서는 전기자동차에 널리 쓰이고 있는 리튬이온 배터리를 대상으로 한다. 리튬이온 배터리의 수명에 영향을 끼치는 주된 특성으로 충 방전이 이루어지는 SOC 수준과, 온도, 전압, 배터리의 수명이 자연적으로 감소하게 되는 시간이 있다. 이 절에서는 위의 네 가지의 요인들을 반영하여 배터리의 수명을 사이클로 나타낼 것이다. 전기자동차 배터리의 가능한 충 방전 횟수는 SOC에 따라 달라지며 리튬이온 배터리의 경우 가능한 충 방전 횟수 L 은 SOC에 대하여 식 (1)와 같이 나타낸다[3].

$$L = 694(1 - SOC)^{-0.795} \quad (1)$$

배터리 충전상태를 제외한 다른 조건의 영향이 없고, SOC가 20%일 때를 기준으로 하여 충전과 방전을 한 번 반복할 때 배터리 사이클을 1회라 가정한다. 이때 식 (1)을 이용하여 SOC가 선형적으로 증가 또는 감소할 때 사이클 수를 계산할 수 있다. $SOC_i(t)$ 는 시각 t 에서 SOC를 나타낸다 하고, $SOC_i(t)$ 에서 $SOC_i(t + \Delta t)$ 로 변화할 때 SOC 20% 1사

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea

** Dept. of Electrical Engineering, Hankyong National University, Korea

Received : February 27, 2014; Accepted : July 14, 2014

이클 기준의 배터리 사이클 횟수를 $n_{i,t}$ 라 하면.

$$n_{i,t} = 0.5 \times (0.8)^{-0.795} \times \left| \frac{1}{(1 - SOC_i(t))^{-0.795}} - \frac{1}{(1 - SOC_i(t + \Delta t))^{-0.795}} \right| \quad (2)$$

이다. SOC상태 변화를 한번 계산할 때 충 방전 반복이 아닌 충전 또는 방전만이 일어나므로 0.5를 곱하여 사이클 수를 계산한다. 또한 리튬이온 배터리는 시간이 경과함에 따라 수명이 자연적으로 감소하여 저항이 커지고 용량이 감소하게 되며 이는 온도와 전압이 기준보다 높을 경우 더 가속화 된다. 이러한 관계는 초기 용량대비 시간에 따른 용량을 보여주는 식 (3)와 같이 나타낸다[4].

$$\frac{C(t)}{C_{init}} = 1 + c_a c_V \frac{V - V_0}{\Delta V} \frac{T - T_0}{c_T \Delta T} \sqrt{t} \quad (3)$$

여기서, C_{init} 는 배터리의 초기 용량을 나타내며 c_a 는 표준상태에서 배터리의 노화율을 나타내는 계수, c_V c_T 는 각각 전압과 온도관련 노화에 대한 지표이다. V_0 T_0 는 기준 전압과 온도로서 여기서는 각각 3.7V, 25°C라 하고 ΔV ΔT 는 각각 0.1, 10이라고 한다. V 는 배터리의 전압으로서 SOC에 따른 식(4)으로 나타낼 수 있다.

$$V(SOC) = -1.031 \cdot e^{-35 \cdot SOC} + 3.685 + 0.2156 \cdot SOC - 0.1178 \cdot SOC^2 + 0.3201 \cdot SOC^3 \quad (4)$$

배터리의 온도를 나타내는 T 는 주변 온도와 동일하다고 가정하였다. 전기자동차가 연계 되어있는 계통의 환경은 지상과 지하주차장으로 간주하여 주변 온도는 지면부터의 깊이와 시간에 따른 온도에 관한 식 (5)을 이용하였다[5].

$$T(x,t) = T_{av} + T_{am} \times \exp(-x \times \sqrt{\frac{\omega}{2a}}) \times \cos(\omega t + 0.77 - x \times \sqrt{\frac{\omega}{2a}} + C) \quad (5)$$

여기서, T_{av} 는 연중(일별) 항온층의 지중온도를 나타내는 값이며 T_{am} 은 연중(일별) 지표면 온도의 진폭, x 는 지면으로부터의 깊이(m), t 는 시간, ω 는 온도변화의 각속도, a 는 열확산계수, C 는 보정계수를 나타낸다.

전기자동차 배터리의 유용수명은 일반적으로 초기 용량 대비 80%이다. 그러므로 총 가능한 사이클 수를 N_T 라고 가정하면 식(3)에 의해 온도와 전압으로 인한 사이클 수를 구할 수 있다. t 시간에서 $t + \Delta t$ 시간에 의한 사이클 수를 $k_{i,t}$ 라 하고 하면 이는 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_{i,t} = 5N_T \frac{C(t) - C(t + \Delta t)}{C_{init} \Delta t} \quad (6)$$

앞서 제시한 식 (3)-(6)을 통해 SOC가 변화할 때 온도 전압 시간을 고려한 배터리 사이클에 관한 통합 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$N_{i,t} = n_{i,t} + k_{i,t} \quad (7)$$

위 식을 이용하여, 차량 한 대에 대해 SOC 변화의 범위와 온도, 전압에 따른 한 시간 동안의 배터리 사이클을 그림 1, 2와 같이 나타내었다.

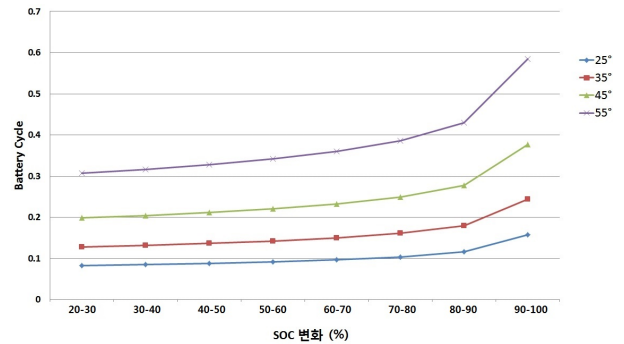


그림 1 온도에 따른 SOC 구간 별 사이클 수
Fig. 1 The number of cycle per SOC according to temperature

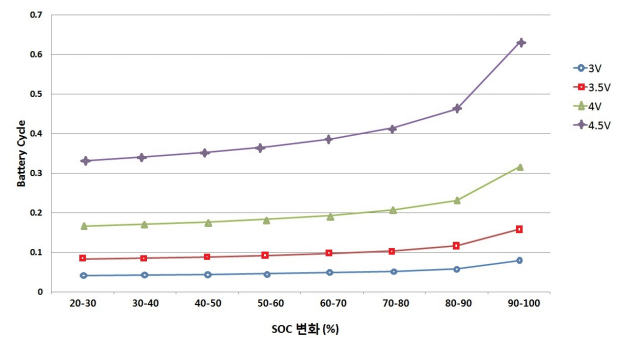


그림 2 전압에 따른 SOC 구간 별 사이클 수
Fig. 2 The number of cycle per SOC according to voltage

앞에서 구한 (7)식을 이용하여 배터리의 상태에 따른 사이클 수를 계산하고 배터리의 가격을 반영하여 배터리의 수명비용을 계산할 수 있다.

$$C_{total} = \sum_t \sum_i^n \frac{N_{i,t} P_{bet}}{L_{20\%}} \quad (8)$$

여기서, C_{total} 은 n대의 차량에 대해 T시간동안 SOC 변화로 인한 총 배터리 수명 비용을 나타내며 P_{bet} 는 차량의 배터리 가격, $L_{20\%}$ 는 SOC 20%기준 가능한 총 충 방전 횟수를 나타낸다. 현재 배터리 가격과 기술수준을 반영하여 차량의 배터리 가격 P_{bet} 를 1500만원, $L_{20\%}$ 을 1000회라 가정할 때 (8)식을 이용하여 배터리 상태에 따른 수명비용을 계산할 수 있다. 그 결과 SOC상태가 높을수록, 전압이 크고 온도가 높을수록 SOC변화에 따른 수명비용이 급격히 커지는 것을 확인하였다. 이와 같이 배터리의 SOC가 더 높을 때 충 방전 사이클에서 배터리 성능이 더 빠르게 감소하는 것은 실험을 기반으로 한 연구에서도 확인할 수 있다[4].

2.2 regulation서비스 제공 방안 과 알고리즘

계통운영자가 수요자에게 전력을 제공할 때 공급과 수요는 항상 균형을 이루어야하므로 자동 발전제어 등을 통해 실제 수요와 예측 값과의 차를 보상해주는 regulation을 시행하게 된다. 본 논문에서는 regulation 수요산정은 5분 간격의 급전 스케줄과 실제 부하간의 차를 보상하는 모델을 이용하였다[6].

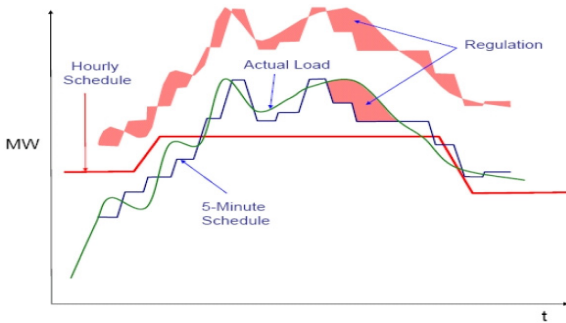


그림 3 Regulation 정의
Fig. 3 The Concept of Regulation

앞에서 배터리의 SOC가 높을 때 충/방전 할수록 배터리의 사이클이 커지며 전압이 증가함을 확인하였고 이는 배터리 수명 비용을 증가시키게 된다. 이는 잦은 충 방전을 해야 하는 regulation 서비스 제공에서 배터리 수명비용을 증가시키는 요인이 된다. 이러한 비용을 최소화하기 위해, regulation서비스에서 실제 전력 제공시 계약대비 급전 비가 0.1정도로 낮은 값을 가지는 것을 이용하여[1] SOC가 변화할 때 배터리 상태에 따라 사이클 수가 적을 것으로 예상되는 차량에 더 많은 Regulation을 부과한다. 또한 배터리의 충전 시 충전이 시작되는 시점을 늦추어 regulation 이 이루어질 때 차량들의 평균 SOC를 낮추어 전체 참여 차량의 배터리 수명비용의 총 합을 최소화 하도록 한다. 배터리의 충전은 regulation 참여자의 전기자동차 운행을 위한 충전요구를 만족시켜야 하므로 이를 위해 전기자동차 운행 시각에 따라 충전을 통해 시간 별 만족해야 하는 최소 SOC 상태인 $SOC_{min,t}$ 를 식 (9)과 같이 설정한다.

$$SOC_{min,t} = \frac{0.8}{T_{charge}}(t - T_{off}) + 1 \quad (9)$$

여기서 T_{charge} 는 SOC 20%에서 100%까지 충전하는데 걸리는 시간, T_{off} 는 차량에서 플러그를 분리하고 운행하는 시각을 나타낸다. $SOC_{min,t}$ 에 따라 전기자동차는 계통에 연계되고 바로 충전을 시작하지 않고 실시간으로 배터리의 SOC에 따라 regulation 전력을 제공하는 동시에 $SOC_{min,t}$ 를 만족시키며 선형적으로 충전이 이루어지게 된다.

Regulation전력의 제공과 배터리 충전 운영과정은 그림 4에 나타내었다. 그림 4에 따르면 전력수요예측과 실제 수요의 차에 따른 매 분마다 필요한 regulation 전력에 대한 신호가 제공되면 플러그인 되어있는 차량을 인식하고 SOC상태와 전압, 온도에 따라 각 차량에 regulation용량 공급에

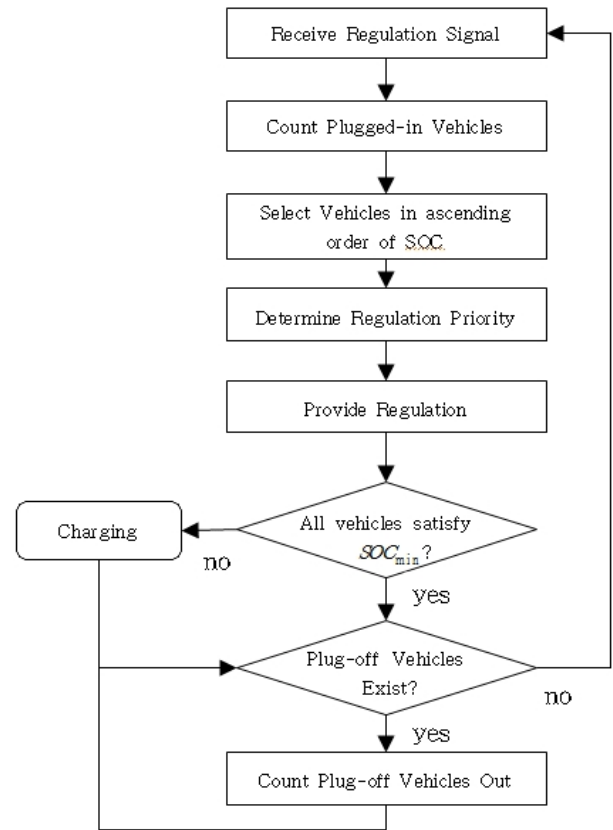


그림 4 regulation서비스 제공 운영방안 Flow chart
Fig. 4 Proposed flow chart of regulation

대한 우선순위를 결정한다. 이와 같이 결정한 순서대로 regulation 전력을 차등적으로 부과하고 차량들이 $SOC_{min,t}$ 를 만족하는지에 대해 확인하여 SOC가 $SOC_{min,t}$ 보다 낮은 차량에 대해 충전을 시행한다. 마지막으로 다시 운행을 시작하여 계통으로부터 플러그를 분리한 차량을 제외시키고 새로 연결된 차량을 추가하며 과정을 반복하게 된다. 이러한 과정은 V2G서비스 제공에서 regulation등의 보조서비스를 제공할 때 기존의 연구에서 기본적으로 적용한 방법인 계통에 연계된 시점부터 충전 시작하며 제공해야할 전력을 각 차량에 동일하게 분배하는 방법과 차별화 된다.

3. 사례연구

사례연구에서는 본 논문에서 제안한 운영 방안을 시뮬레이션 하기 위해 전기자동차 배터리 regulation 전력 제공을 12,329대의 차량에 대하여 적용하였다. 효과를 단계별로 검증하기 위해 기존의 연구에서 활용하였던 방안인 계통연계시 충전시작 및 regulation 균등 분배 운영 시나리오(A)와 $SOC_{min,t}$ 기반 충전 및 각 차량의 SOC에 따른 regulation차등 분배운영 시나리오(B), 마지막으로 그림 5와 같이 논문에서 제시한 $SOC_{min,t}$ 기반 배터리 충전 및 배터리의 종합적인 상태에 따른 regulation 차등 분배 운영 시나리오(C)의 세가지 시나리오에 대하여 사례연구를 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 각각의 배터리 수명 비용을 구하고 수익과 개선

율을 확인하였다.

3.1 사례연구 배경

본 논문에서 제시한 운영방안을 적용하고 시뮬레이션하기 위해 승용차 이용자를 대상으로 한 운행 실태를 고려한다. 현재 승용차 등록대수 14,010,618 대 중에 2020년 전기차량 목표량인 10%[2]를 달성한다고 할 때 1% 규모의 계통에서 전기자동차의 대수는 12,329 대이다. 이중 승용차의 이용률로 58%가 출퇴근, 30%가 여가용으로 쓰이고 있으며 나머지는 업무용 등으로 사용된다. 여기서 평일 기준으로 하여 출퇴근용으로 쓰이는 차량은 퇴근 이후 출근 전까지 계통에 연계된다고 가정하고 여가용으로 사용되는 차량은 평일에는 이용하지 않고 항상 연계되어 있다고 하였으며 업무용 차량은 regulation 서비스에 참여하지 않는다고 가정하였다. 따라서 출퇴근용으로 사용되는 8,126대와 여가용으로 사용되는 4,203 대에 대하여 직장인 평균 출퇴근 시각과 평균 출근과 퇴근에 걸리는 시간을 고려하여 차량이 계통에 연계되는 시각과 분리되는 시각을 정규분포로 하여 시간별 계통 연계 차량 수를 추정하여 그림 5에 나타내었다.

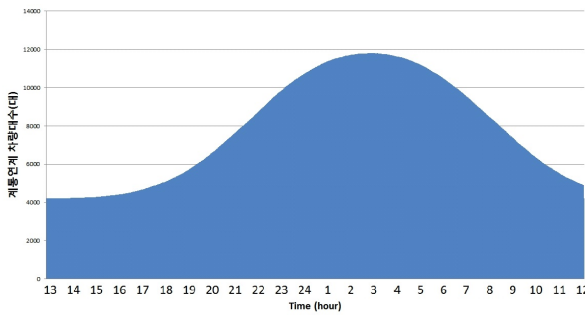


그림 5 계통 연계 차량 수
Fig. 5 The number of EV connected grid

사례연구에 적용하는 차량의 배터리 용량이 16.4 kWh로 모두 동일하다고 가정할 때, 차량 일 평균 주행거리 32.6 km[9]를 적용하여 계통연계 시 초기 배터리 용량 상태 평균이 11.42 kWh가 되며 이는 SOC 69.6% 이다. 여기서 SOC 20%는 배터리의 과도한 방전으로 인한 손상을 방지하기 위해 방전 가능한 용량에서 제외를 하고 7 kWh가량을 각 전기차량이 하루 동안 regulation 서비스에 제공할 수 있는 계약 가능 용량으로 가정한다. 따라서 차량의 배터리로부터 실제 regulation으로 제공하게 될 전력용량은 식(7)과 같다.

$$\sum_{t=1}^{1440} R(t) = n_v P_{cont} \delta \quad (10)$$

여기서, $R(t)$ 는 매 분마다 요구되는 regulation 전력이며, n_v 은 regulation 서비스 제공에 참여하는 총 차량의 수로서 본 논문에서는 12,329대, P_{cont} 는 각 차량의 하루의 평균 계약 용량 7 kWh, δ 는 dispatch to contract ratio으로서 일반적으로 0.1로 알려져 있다. 부하 예측과 실제 수요간 차를 이용하여 regulation수요를 구한 뒤 (7)식에 따라 사례연구

의 규모에 적합하도록 조정한다. 이와 같은 방법으로 시간에 따른 regulation 수요를 그림 6과 같이 나타내었다.

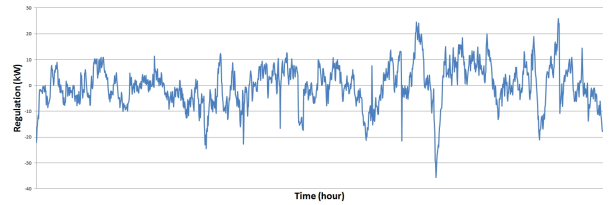


그림 6 Regulation 수요
Fig. 6 Regulation demand

3.2 사례연구 결과

시나리오(A)의 경우 차량의 계통 연계 후 SOC에 상관없이 균등하게 regulation 서비스 제공하기 때문에 그림 7과 같이 초기 SOC의 크기에 따라 싸이클 수는 다르나 0.2-0.1로 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 그림 8과 같이 수명감소 비율이 큰 SOC가 높은 상태에서 regulation 서비스를 제공하므로 SOC 상태에 따른 배터리 수명비용이 고려되지 않아 필요 이상의 비용을 유발하게 된다.

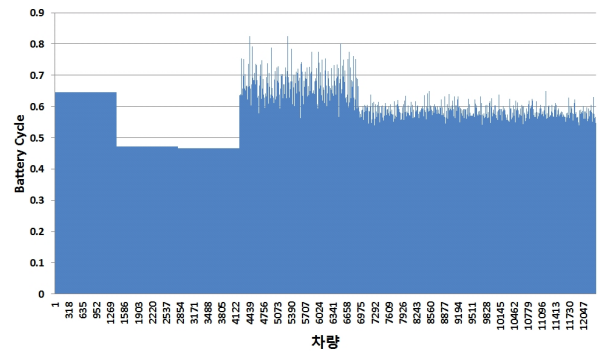


그림 7 차량 별 배터리 사이클 (시나리오 A)
Fig. 7 Battery cycle of each EV(scenario A)

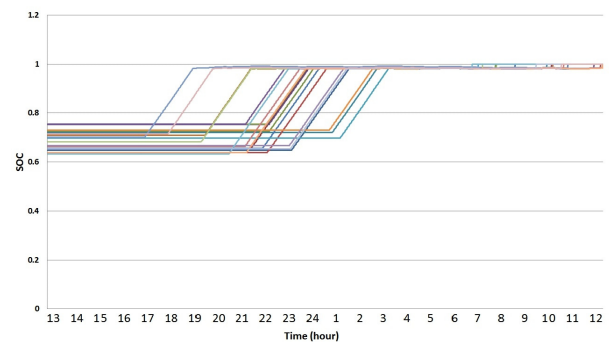


그림 8 차량의 SOC 변화 (시나리오 A)
Fig. 8 Change of SOC(scenario A)

시나리오 B에서는 계통 연계 후 regulation 서비스를 제공하며 실시간으로 연계된 차량들의 SOC상태를 확인하여 충전과 전력제공이 이루어지게 된다. 그림 9는 각 차량의

하루 동안의 배터리 사이클 수를 보여준다. 시나리오 A와는 달리 여가용 차량에서도 임의의 전력 제공에 따라 먼저 서비스를 제공한 일부 차량의 배터리 사이클이 더 높은 것을 확인할 수 있으며, 출퇴근용 차량은 계통연계 시 주행거리에 따른 초기 SOC 상태에 따라 배터리 수명비용이 적은 차량에 regulation 전력 제공이 집중되므로 배터리 사이클 수의 차량 간 격차가 0.5-2.3 내외로 크지만 온도에 따른 영향은 고려하지 않는다.

그림 10에서는 계통에 연계되는 순간의 배터리의 충전 상태가 낮은 차량에 더 많은 regulation 전력이 부과되어 각 차량 간에 SOC 변화가 차등적임을 확인할 수 있다. 또한 각 차량별로 다른 출근 시간에 맞추어 배터리가 충전 완료되어 전반적으로 시나리오 A에 비하여 수명이 적게 감소하는 SOC 상태에서 최대한 regulation 자원으로 활용하고 있다.

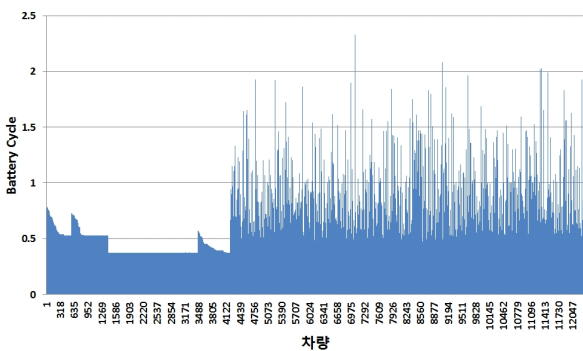


그림 9 차량 별 배터리 사이클 (시나리오 B)
Fig. 9 Battery cycle of each EV(scenario B)

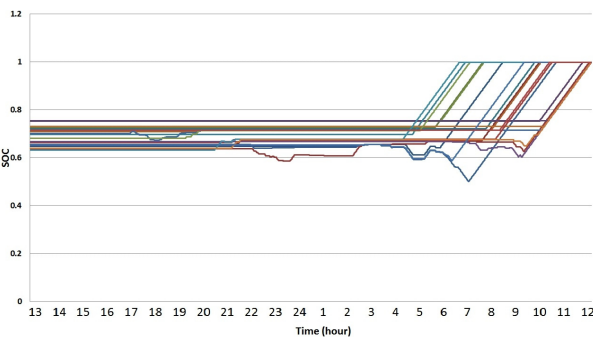


그림 10 차량의 SOC변화 (시나리오 B)
Fig. 10 Change of SOC(scenario B)

시나리오 C는 본 논문에서 제시한 방안으로, B의 regulation 용량 제공 우선순위 결정에 온도와 전압 요소를 가중인자로 포함시켰다. 차량의 지상과 지하주차장에 대한 데이터가 존재하지 않아 전체 차량을 동일한 비율로 나누어 지면으로부터 0, 3, 6 [m] 지점에 분포시켰다. 지중온도 계산에서 각 인자는 표 1과 같이 설정하였다.

각 차량의 하루 동안의 배터리 사이클을 보면 시나리오 B와 달리 온도 변화가 큰 지면에서는 차량 간의 배터리 사이클 격차가 크나 지중에서는 배터리 사이클의 격차가 더 작고 평균적으로 더 낮음을 볼 수 있다. 이는 regulation 제공 우선 차량을 구할 때 배터리의 온도가 더 높은 차량에

표 1 지중온도 식의 인자 값

Table 1 Parameters for ground temperature

인자	T_{av}	T_{am}	ω	a	C
값	14.2	4.5	$2\pi/24$	0.769	2.424

가중치가 부여되며, 그에 따라 SOC가 낮아지고 전압 또한 낮아진 차량의 다음순간의 전력 제공에서 우선적으로 선택되기 때문이다. 반면 지중 3m 지점보다 6m 지점에서 배터리 사이클이 더 큰데, 이는 지중온도변화의 깊이에 따른 열 전달 시간 격차에 따라 많은 자동차가 계통 연계되는 시점의 지중온도가 더 높았기 때문인 것으로 보인다. 그림 12를 보면 시나리오 B와 같이 차량에 따라 SOC 변화가 다르나 더 일부의 차량에 집중되어 있는 것을 볼 수 있다.

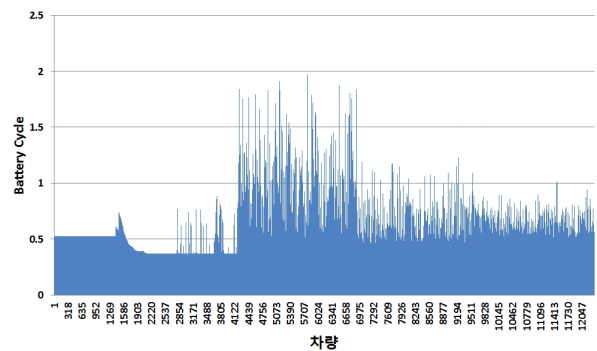


그림 11 차량 별 배터리 사이클 (시나리오 C)
Fig. 11 Battery cycle of each EV(scenario B)

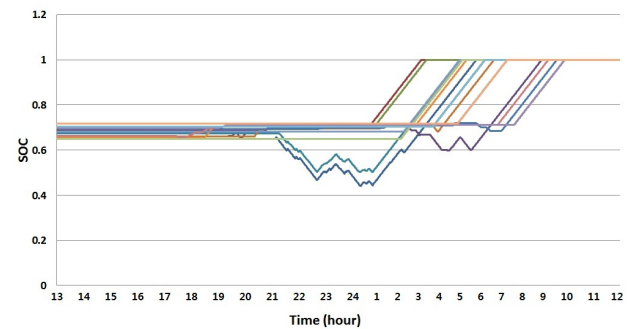


그림 12 차량의 SOC변화 (시나리오 C)
Fig. 12 Change of SOC(scenario C)

4.2에 따라 시나리오 각각의 배터리 사이클과 SOC 변화가 다른 것을 확인하였다. 시나리오 A에 비해 SOC변화에 따른 사이클 수가 적은 차량에 regulation 용량을 차등적으로 부과하여 차량 간의 배터리 사이클 차이가 큰 시나리오 B와 C의 하루 동안 배터리 사이클 총 합이 더 낮을 것을 예측할 수 있다. 표 2에서 배터리 사이클 수와 그에 따른 배터리 수명비용을 나타내었고 표 3은 시나리오 간의 수익과 개선율을 보여준다.

시나리오간의 개선율을 통해 배터리의 SOC에 따른 차등적 전력분배가 수명비용 감소에 큰 영향을 주며 온도와 전압 고려를 통해 추가적인 비용 감소가 일어남을 확인하였다.

표 2 시나리오별 배터리 사이클 수와 수명비용

Table 2 The number of cycle and lifetime cost

시나리오	A	B	C
Battery Cycle	6497.7	6073.8	5987.8
수명비용 (만원)	9746.5	9110.8	8981.7

표 3 시나리오 간 수익과 개선율

Table 3 Benefit and improvement rate of each scenario

시나리오	A / B	B / C	A / C
수익 (만원)	635.7	129.1	764.8
개선율 (%)	6.52	1.42	7.85

4. 결 론

본 논문에서는 상용 전기자동차에 사용되고 있는 리튬이온 배터리의 SOC와 주변 조건에 대한 사이클 특성을 이용하여 전기자동차를 계통 연계하여 충전 및 regulation 서비스 제공시 배터리 수명감소 인자의 비교를 위하여 세 가지 시나리오의 사례연구를 통하여 분석 하였다. 배터리의 계통 연계활용 운영측면에서 배터리의 수명과 비용에 관한 연구는 반드시 고려되어야 하며 본 논문에서 제안한 방법을 통해 추가의 기반시설의 설비를 최소화 하고 운영방법의 조정만으로도 상당량의 비용을 절감할 수 있다는 사실을 확인하였다. 이는 현재 주목받는 리튬이온 배터리뿐만 아니라 다른 종류의 배터리에도 그 특성에 따라 적용이 가능하며, 대상 지역의 기후나 계절에 따른 연구로 다른 결과를 도출할 수도 있다. 또한 regulation외의 다른 보조서비스 등에 이용하거나 충전부하평준화 또는 전기요금에 따른 비용 최적화 연구와 연동하여 적용 확장하는 등 다양한 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2011-0017064)

References

[1] Jasna Tomic, Willett Kempton, "Using fleets of Electric-drive vehicles for grid support", Journal of Power Source 168, 2007.
 [2] KSGI, "A Research of Charging Infrastructure for Electric Vehicle", MKE, 2010
 [3] Chengke Zhou, Kejun Qian, Malcolm Allan, Wenjun Zhou, "Modeling of the Cost of EV Battery Wear Due to V2G Application in Power Systems", IEEE Trans. on energy conversion, Vol.26, No.4, 2011
 [4] Madeleine Ecker, Jochen B. Gerschler, Jan Vogel, Stefan Käbitz, Friedrich Hust, Philipp Dechent, Dirk Uwe Sauer "Development of a lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on extended

accelerated aging test data" Journal of Power Source 215 (2012) 248-257

[5] S.I.Jeong, H.S.Park, M.S.Jang "A Study on the Method to Predict Underground Temperature by Periodic Function" Journal of the Korea Solar Energy Society Vol. 21, No.1, 2001
 [6] "Integration of Renewable Resources: Technical Appendices for California ISO Renewable Integration Studies" October 11, 2010

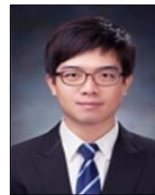
저 자 소 개



김 옥 원 (金旭源)

2008년 8월 한양대학교 전자전기컴퓨터 공학부 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 재학중.

E-mail : neocruser@hanyang.ac.kr



신 흥 열 (申弘烈)

2012년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 2014년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사).

E-mail : glamorousb@hanyang.ac.kr



김 진 오 (金鎭吾)

1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수.

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr



김 규 호 (金圭浩)

1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2010년 현재 국립환경대학교 전기공학과 교수

E-mail : kyuhu@hknu.ac.kr