

하이브리드 자동차용 리튬배터리의 충전량, 용량감퇴, 저항감퇴 예측을 위한 슬라이딩 모드 관측기 설계

論 文
57-5-17

The SOC, Capacity-fade, Resistance-fade Estimation Technique using Sliding Mode Observer for Hybrid Electric Vehicle Lithium Battery

金一松* · 李鎭局†
(Il-Song Kim · Chin-Gook Lhee)

Abstract - A novel state of health estimation method for hybrid electric vehicle lithium battery using sliding mode observer has been presented. A simple R-C circuit method has been used for the lithium battery modeling for the reduced calculation time and system resources due to the simple matrix operations. The modeling errors of simple model are compensated by the sliding mode observer. The design methodology for state of health estimation using dual sliding mode observer has been presented in step by step. The structure of the proposed system is simple and easy to implement, but it shows robust control property against modeling errors and temperature variations. The convergence of proposed observer system has been proved by the Lyapunov inequality equation and the performance of system has been verified by the sequence of urban dynamometer driving schedule test. The test results show the proposed observer system has superior tracking performance with reduced calculation time under the real driving environments.

Key Words : State-of-charge, SOC, State-of-health, SOH, Sliding mode observer, Lithium battery modeling

Nomenclature

Z : 충전량(State Of Charge : SOC) [dimensionless]
 Z_h : 충전량 SOC Z 필터링 된 값 [dimensionless]
 $V_{oc}(Z)$: 충전량에 의해 표시되는 개방전압 [V]
 C_p : 분극 커패시턴스 [F]
 R_p : 확산 저항 [Ω]
 R_t : 내부 Ohmic 저항 [Ω]
 V_t : 단자 전압 [V]
 C_n : 셀의 공칭 용량 [F]
 $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$: 모델링 오차 [dimensionless]
 L_1, L_2, L_3 : 충전량 관측기 이득 [dimensionless]
 \hat{V}_t : 관측기에 의해 추정된 단자 전압 [V]
 \hat{Z} : 관측기에 의해 추정된 충전량 [dimensionless]
 \hat{V}_p : 관측기에 의해 추정된 분극 전압 [V]
 α : 용량 감퇴율 [dimensionless]
 Z_h : SOC Z의 필터링 된 값 [dimensionless]
 \hat{Z}_h : 추정된 SOC Z의 필터링 된 값 [dimensionless]
 C_{n0} : 초기 공칭 용량 [F]
 \hat{C}_n : 추정된 공칭용량 [F]

\hat{R}_t : 추정된 내부저항 [Ω]
 R_{t0} : 초기 저항 [Ω]
 β : 저항 증가율 [dimensionless]
 h_1, h_2, h_3, h_4 : 파라미터 추정을 위한 이득 [dimensionless]
 $\Delta f_R, \Delta f_C$: 파라미터 모델링 오차 [dimensionless]

1. 서 론

환경친화적이고 높은 연비 때문에 하이브리드 자동차 (Hybrid Electric Vehicle : HEV)는 새로운 운송수단으로서 각광을 받고 있다. HEV의 구성은 엔진과 전기 모터 그리고 충전 가능한 배터리로 이루어져 있다. 배터리는 모터에 전력을 공급하기 위해 방전되거나, 브레이킹시 회생되는 에너지로 충전되어진다. 충/방전을 계속하여 배터리를 사용하게 되면, 사용가능한 용량이 감소하고 내부 저항이 커져서 최대 출력도 줄어들게 된다. 따라서 배터리의 최적 사용을 위해서는 배터리의 상태를 추정하고 예측하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 배터리의 전기적인 모델링을 이용하여 배터리의 상태와 수명을 예측하는 방법에 대해서 논의한다. 배터리의 수명을 예측하기 위해서 비선형 제어이론인 슬라이딩 모드 관측기를 사용하였다. 빠른 응답 상태를 가진 내부 변수와 긴 응답 특성을 가지는 변수를 분리하여 이중 루프로 구성된 듀얼 슬라이딩 모드 관측기를 구성하여 원하는 특성을 얻어내도록 설계되었다. Lyapunov 방정식을 이용하여 관측기의 수렴성이 증명되었고 UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) 시험을 통해서 제안된 시스템의 우수성이 입증되었다.

* 正會員 : 忠州大 電氣工學科 전임강사
 † 교신저자, 正會員 : 忠州大 電氣工學科 教授
 E-mail : cglhee@cjnu.ac.kr
 接受日字 : 2007年 12月 11日
 最終完了 : 2008年 3月 26日

2. 배터리 모델링

배터리의 상태를 Simulation 하기 위해서는 배터리의 동적 모델링이 필요하게 된다[1-3]. 이 모델은 배터리 충/방전 시험데이터로부터 구축되는데 개방전압 (Open circuit voltage : OCV) 측정에서부터 얻어지게 된다. OCV는 안정 상태(rest state)시 배터리 내부 화학물질의 상태를 보여주는 가장 기초적인 데이터가 된다. 그림 1에 +55 °C 에서 -30 °C 의 온도변화에 대한 리튬 폴리머 전지(Li-PB)의 OCV 대비 SOC(State-of-Charge : 충전량) 값을 표시해 주고 있다. 그림에서 OCV와 SOC는 비선형적인 커브를 보여주고 있다.

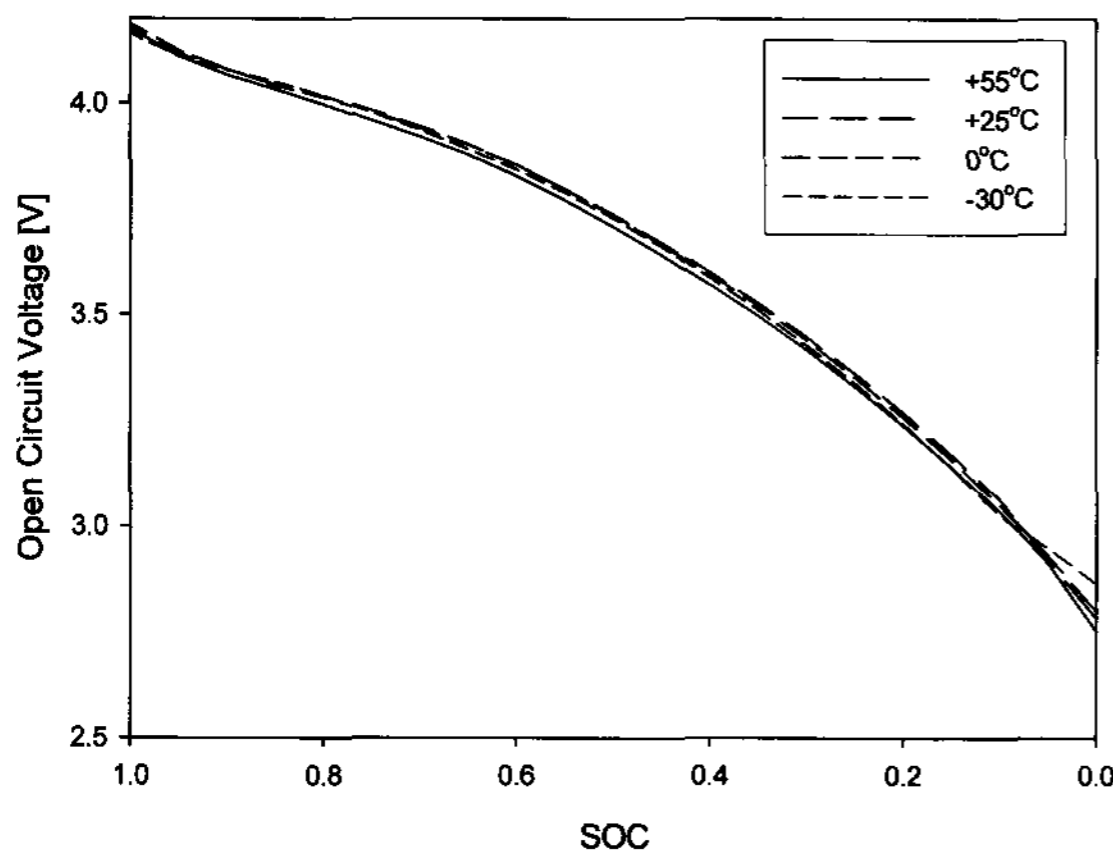


그림 1 리튬 전지의 온도 변화시 개방전압 대비 SOC 커브
Fig. 1 OCV versus SOC over temperature variation of lithium battery

따라서 비선형의 R-C(Resistor Capacitor) 모델이 사용되었는데 ① OCV 대비 SOC의 비선형성을 표현하기 위해 SOC Z의 함수로 이루어진 비선형 전압원 $V_{oc}(Z)$, ② 분극현상(Polarization effect)을 표현하기 위한 분극 커패시턴스 C_p , ③ 충/방전 전류에 의한 확산(Diffusion) 현상을 나타내기 위한 확산저항 R_p , ④ 음(Ohmic) 저항 R_t 와 단자 전압 V_t 로 표시된다. 그림 2에 배터리의 회로 모델이 나타나 있다.

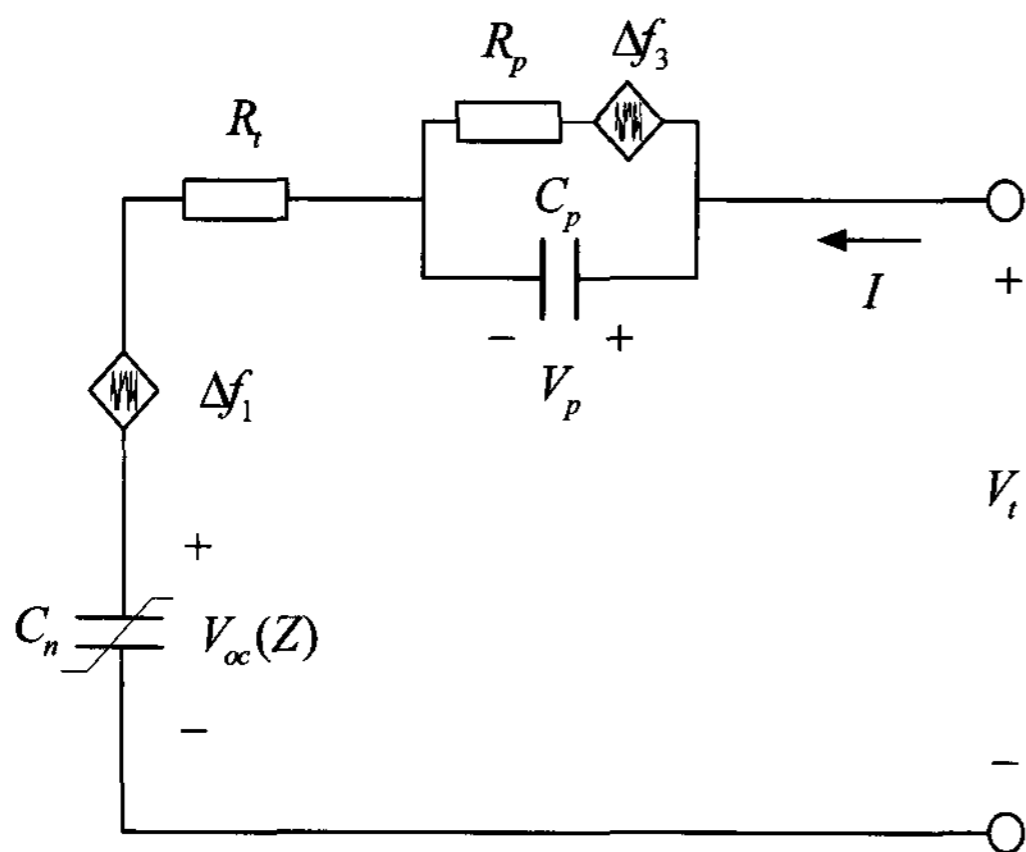


그림 2 리튬 전지 회로 모델링
Fig. 2 Lithium Battery dynamic model structure

여기서 제시된 배터리 모델링 방법은 [4]의 모델링에서 제시된 모델과 약간 다르다. [4]에서는 분극커패시턴스와 저항을 용량 커패시턴스와 병렬로 구성하였고, 본 논문에서는 직렬로 구성하였다. 이 두 회로는 등가적으로 duality의 개념으로 판단할 수 있으며, 모델링 결과 비슷한 특성을 가지고 있다. 하지만, 용량이나 저항과 같은 파라미터 추정을 위한 관측기 설계시, 직렬 구성이 병렬구성보다 수학적 관계식을 이끌어내기 쉽고, 수렴을 보장하는 이득 설정이 수학적으로 간단히 구해지게 되어 기존의 모델링을 사용하지 않고 직렬 모델링을 사용하였다.

배터리 단자 전압 방정식은

$$V_t = IR_t + V_p + V_{oc}(Z) \tag{1}$$

로 주어진다. SOC는 셀의 공칭용량(nominal capacity) 대비 잔존 용량으로 정의되며, 잔존 용량은 상온에서 C/30 비율로 셀에서 방전 가능한 Ah값이다. SOC의 수학적 관계식은 아래와 같다.

$$Z(t) = Z(0) + \int_0^t \frac{I(\tau)}{C_n} d\tau \tag{2}$$

Z(t)는 SOC이고 C_n 은 셀의 공칭 용량이다.

SOC Z의 시간 미분에 대한 관계식은

$$\dot{Z} = \frac{I}{C_n} = \frac{1}{R_t C_n} (V_t - V_{oc}(Z) - V_p) = a_2 V_t - a_2 V_{oc}(Z) - a_2 V_p \tag{3}$$

분극 커패시턴스 V_p 에 대한 관계식은

$$\dot{V}_p = -\frac{1}{R_p C_p} V_p + \frac{I}{C_p} = -a_1 V_p + b_2 I \tag{4}$$

(1)에서 단자 전압에 대한 미분 방정식은

$$\begin{aligned} \dot{V}_t &= V_{oc}(\dot{Z}) + \dot{V}_p = \frac{I}{C_n} - \frac{1}{R_p C_p} (V_t - V_{oc}(Z) - IR_t) + \frac{I}{C_p} \\ &= -a_1 V_t + a_1 V_{oc}(Z) + b_1 I \end{aligned} \tag{5}$$

이 모델은 간략화된 모델이므로 실제 셀 데이터와 오차를 가지게 된다. 오차에 대한 $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ 항을 모델링에 추가하면 최종 모델링 수식은

$$\begin{aligned} \dot{V}_t &= -a_1 V_t + a_1 V_{oc}(Z) + b_1 I + \Delta f_1 \\ \dot{Z} &= -a_2 V_{oc}(Z) - a_2 V_p + a_2 V_t + \Delta f_2 \\ \dot{V}_p &= -a_1 V_p + b_2 I + \Delta f_3 \end{aligned} \tag{6}$$

상수값들은 $a_1 = \frac{1}{R_p C_p}$, $a_2 = \frac{1}{R_t C_n}$, $b_1 = \frac{1}{C_n} + \frac{1}{C_p} + \frac{R_t}{R_p C_p}$, $b_2 = \frac{1}{C_p}$ 로 정의된다.

3. 듀얼 슬라이딩 모드 관측기 설계

듀얼 슬라이딩 모드 관측기 설계는 응답 특성이 빠른 SOC Z 에 대한 관측기 설계와 느린 특성을 가지는 용량 C_n 과 저항 R_t 관측기 설계로 나누어진다. 그림 3에 보이는 것처럼 내부 루프에 빠른 응답 특성의 SOC 추정기가 위치하고 외부 루프에 느린 응답특성을 가지는 C_n 과 R_t 추정기가 위치하게 된다.

SOC 추정을 위한 관측기 설계는 다음과 같이 주어진다[4-7].

$$\begin{aligned}\dot{\hat{V}}_t &= -a_{11}\hat{V}_t + a_{12}V_{oc}(\hat{Z}) + b_1I + L_1 \operatorname{sgn}(V_t - \hat{V}_t) \\ \dot{\hat{Z}} &= -a_2V_{oc}(\hat{Z}) + a_2\hat{V}_p + b_2I + L_2 \operatorname{sgn}\left(\left\{\frac{L_1}{a_{12}k} \operatorname{sgn}(e_y)\right\}_{eq}\right) \\ \dot{\hat{V}}_p &= a_3V_{oc}(\hat{Z}) - a_3\hat{V}_p + b_3I + L_3 \operatorname{sgn}\left(\left[\frac{L_2}{a_2} \operatorname{sgn}\left(\left\{\frac{L_1}{a_{12}k} \operatorname{sgn}(e_y)\right\}_{eq}\right)\right]_{eq}\right)\end{aligned}\quad (7)$$

수렴하기 위한 관측기 이득 범위는

$$\begin{aligned}L_1 &> |\Delta f_1| \\ L_2 &> |\Delta f_2| \\ L_3 &> |\Delta f_3|\end{aligned}\quad (8)$$

관측기 이득 L_1, L_2, L_3 의 크기는 크게 하면 할수록 수렴 가능성이 커지지만 채터링 현상이 더욱 커져서 안정성이 저하될 수 있기 때문에 어느 정도의 trade off는 필요하게 된다.

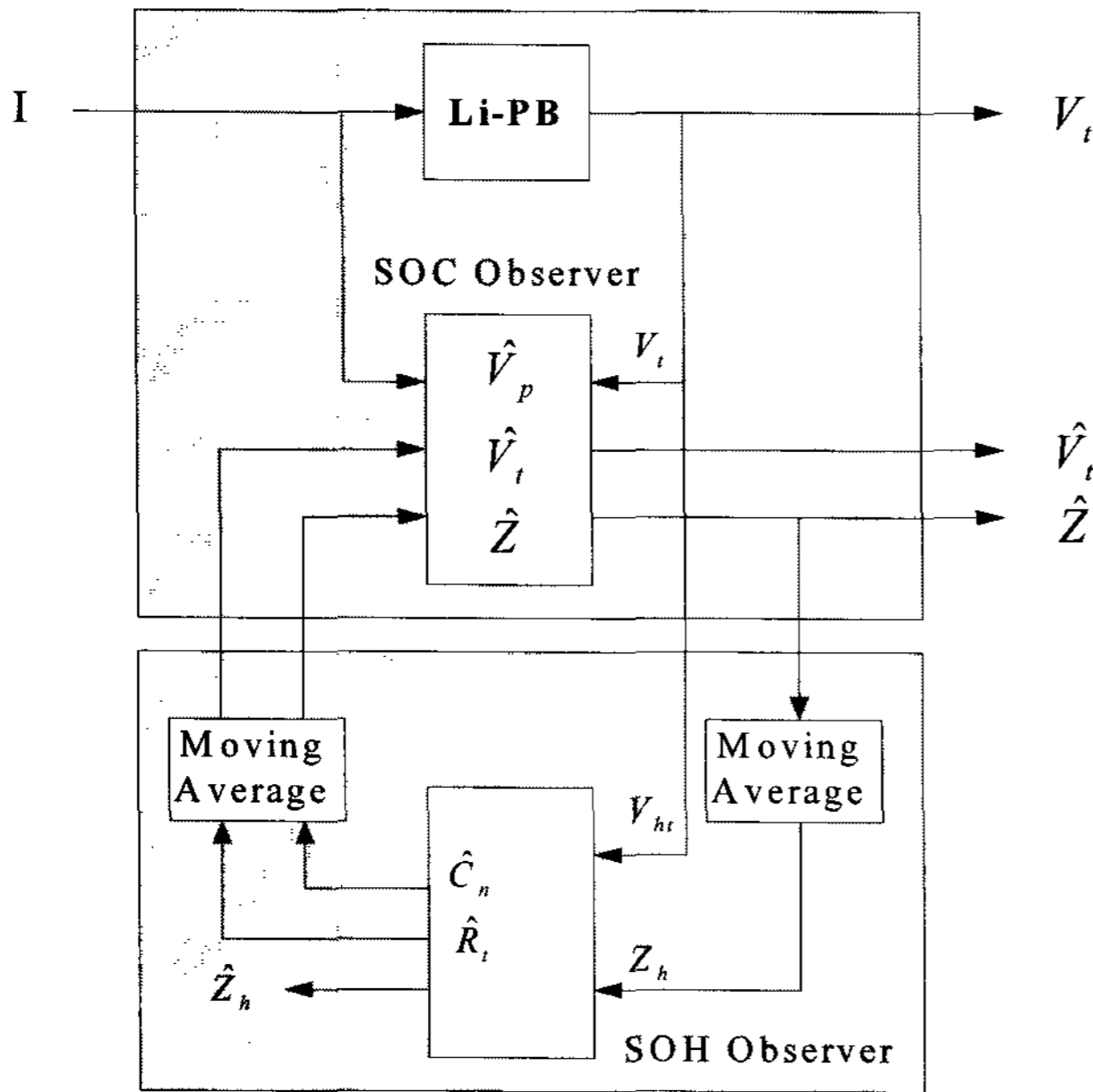


그림 3 SOC와 SOH 추정을 위한 듀얼 슬라이딩 모드 관측기의 구조

Fig. 3 Dual sliding mode observer for SOC and SOH estimation

셀의 용량 C_n 을 추정하기 위해 용량이 다음과 같이 감소한다면 가정하면

$$C_n(t) = C_{n0} - \alpha t \quad (9)$$

C_{n0} 는 초기 용량이고, α 는 용량 감퇴율이다. α 는 온도와 같은 동작조건에 따라 변하지 않는 상수로 가정하였다. 실제 셀의 동작에서는 온도나 기타 동작여건에 의해 α 가 바뀌지만, 논문에서는 간략화를 위해서 상수로 가정하고 설계하였다. 동작 여건에 따른 변화율을 고려한다면, 온도나 시간에 따른 환경조건을 측정하여 그 상황에서 Look-up table을 이용하여 α 를 구하면 된다. 미분을 취하면

$$\dot{C}_n = -\alpha + \Delta f_c \quad (10)$$

SOC Z 의 필터링 된 값을 Z_h 라 선정하면, 출력 관측기 방정식은

$$\dot{\hat{Z}}_h = \frac{I}{\hat{C}_n} + h_1 \operatorname{sgn}(Z_h - \hat{Z}_h) \quad (11)$$

(\hat{Z}_h, \hat{C}_n) 은 (Z_h, C_n) 의 추정값이고, h_1 은 양의 게인값이다.

오차 $e_{zh} = Z_h - \hat{Z}_h$, $e_c = C_n - \hat{C}_n$ 를 정의하면 다음과 같이 오차 방정식이 얻어진다.

$$\dot{e}_{zh} = I \cdot \left(\frac{1}{C_n} - \frac{1}{\hat{C}_n}\right) + \Delta f_z - h_1 \operatorname{sgn}(e_{zh}) \quad (12)$$

Lyapunov 함수를 $V_{zh} = \frac{1}{2} e_{zh}^2$ 로 정의하자. $h_1 > |\Delta f_z|$ 로

선정하면 \dot{e}_{zh} 와 e_{zh} 의 부호는 반대가 된다. 따라서

$\dot{V}_{zh} = e_{zh} \dot{e}_{zh} < 0$ 이 되어 \dot{e}_{zh}, e_{zh} 는 0이 되어 주어진 관측기의 오차방정식은 0으로 수렴하게 된다.

등가제어 이론에 의하여

$$\left(\frac{1}{C_n} - \frac{1}{\hat{C}_n}\right) = \frac{h_1}{I} \operatorname{sgn}(e_{zh}) \quad (13)$$

(10), (11)을 (13)으로 정리하면

$$\operatorname{sgn}(C_n - \hat{C}_n) = -\operatorname{sgn}\left(\frac{1}{C_n} - \frac{1}{\hat{C}_n}\right) = \operatorname{sgn}\left\{-\frac{h_1}{I} \operatorname{sgn}(e_{zh})\right\}_{eq} \quad (14)$$

비슷한 방법으로 용량 C_n 에 대한 관측기 방정식은

$$\dot{\hat{C}}_n = -\alpha + h_2 \operatorname{sgn}(C_n - \hat{C}_n) \quad (15)$$

C_n 에 대한 오차방정식은

$$\dot{e}_c = \Delta f_c - h_2 \operatorname{sgn}(e_c) \quad (16)$$

$h_2 > |\Delta f_c|$ 로 선정하면, \dot{e}_c 와 e_c 의 부호는 반대가 되어 오차방정식은 0으로 수렴하게 된다. 용량에 대한 관측기 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\dot{\hat{Z}}_h = \frac{I}{\hat{C}_n} + h_1 \operatorname{sgn}(e_{zh}) \quad (17)$$

$$\dot{\hat{C}}_n = -\alpha + h_2 \operatorname{sgn}\left\{-\frac{h_1}{I} \operatorname{sgn}(e_{zh})\right\}_{eq} \quad (18)$$

저항 R_t 예측도 비슷한 방법으로 설계할 수 있다.

저항을 예측하기 위해 셀의 출력방정식을 다음과 같이 정의하면

$$\begin{aligned}\dot{V}_{ht} &= -a_1V_{ht} + a_1V_{oc}(Z_h) + b_1I + \Delta f_v \\ &= -a_1V_{ht} + a_1V_{oc}(Z_h) + \left(\frac{1}{C_n} + R_t a_1 + b_2\right)I + \Delta f_v\end{aligned}\quad (19)$$

SOC 추정기의 출력 전압 V_t 와 구별하기 위해 SOH(State-of-Health : 수명) 추정기의 출력을 V_{ht} 로 선정하였다. C_n, Z_h 는 SOH 추정기로부터 갱신된 파라미터로 가정하면 알고 있는 상수로 여겨질 수 있다. 저항 R_t 는 시변 파라미터이고 SOH 추정기에 의해 추정되어지는 변수로 설정하면, 셀 전압에 관한 출력 관측기 방정식은

$$\dot{\hat{V}}_{ht} = -a_1\hat{V}_{ht} + a_1V_{oc}(Z_h) + \left(\frac{1}{C_n} + \hat{R}_t a_1 + b_2\right)I + h_3 \operatorname{sgn}(V_{ht} - \hat{V}_{ht}) \quad (20)$$

$e_{hy} = V_{ht} - \hat{V}_{ht}$, $e_R = R_t - \hat{R}_t$ 로 정의하면, 오차 방정식은

$$\dot{e}_{hy} = -a_1 e_{hy} + e_R a_1 I + \Delta f_V - h_3 \text{sgn}(e_{hy}) \quad (21)$$

앞의 경우와 동일하게 Lyapunov 부등식에 의해 $h_3 > |\Delta f_V|$ 를 만족시키면 $e_{hy} = 0$ 이 된다.

등가제어 이론에 의하여

$$e_R = \left\{ \frac{h_3}{a_1 I} \text{sgn}(e_{hy}) \right\}_{eq} \quad (22)$$

셀 저항 R_t 는 느리게 변화하는 시변 파라미터이고 시간에 따라서 단조 증가하는 함수이므로, 다음의 식으로 표현 가능하다.

$$R_t = R_{t0} + \beta t \quad (23)$$

R_{t0} 는 초기 저항이고, β 는 저항 증가율이다.

미분값을 취하면

$$\dot{R}_t = \beta + \Delta f_R \quad (24)$$

Δf_R 은 모델에 대한 오차범위이다.

용량 예측과 비슷한 방법으로, 관측기 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\dot{\hat{R}}_t = \beta + h_4 \text{sgn}(R_t - \hat{R}_t) = \beta + h_4 \text{sgn}(e_R) \quad (25)$$

R_t 에 대한 오차 방정식은

$$\dot{e}_R = \Delta f_R - h_4 \text{sgn}(e_R) \quad (26)$$

$h_4 > |\Delta f_R|$ 이면 $e_R = 0$ 이 되어 오차방정식이 0으로 수렴하게 된다.

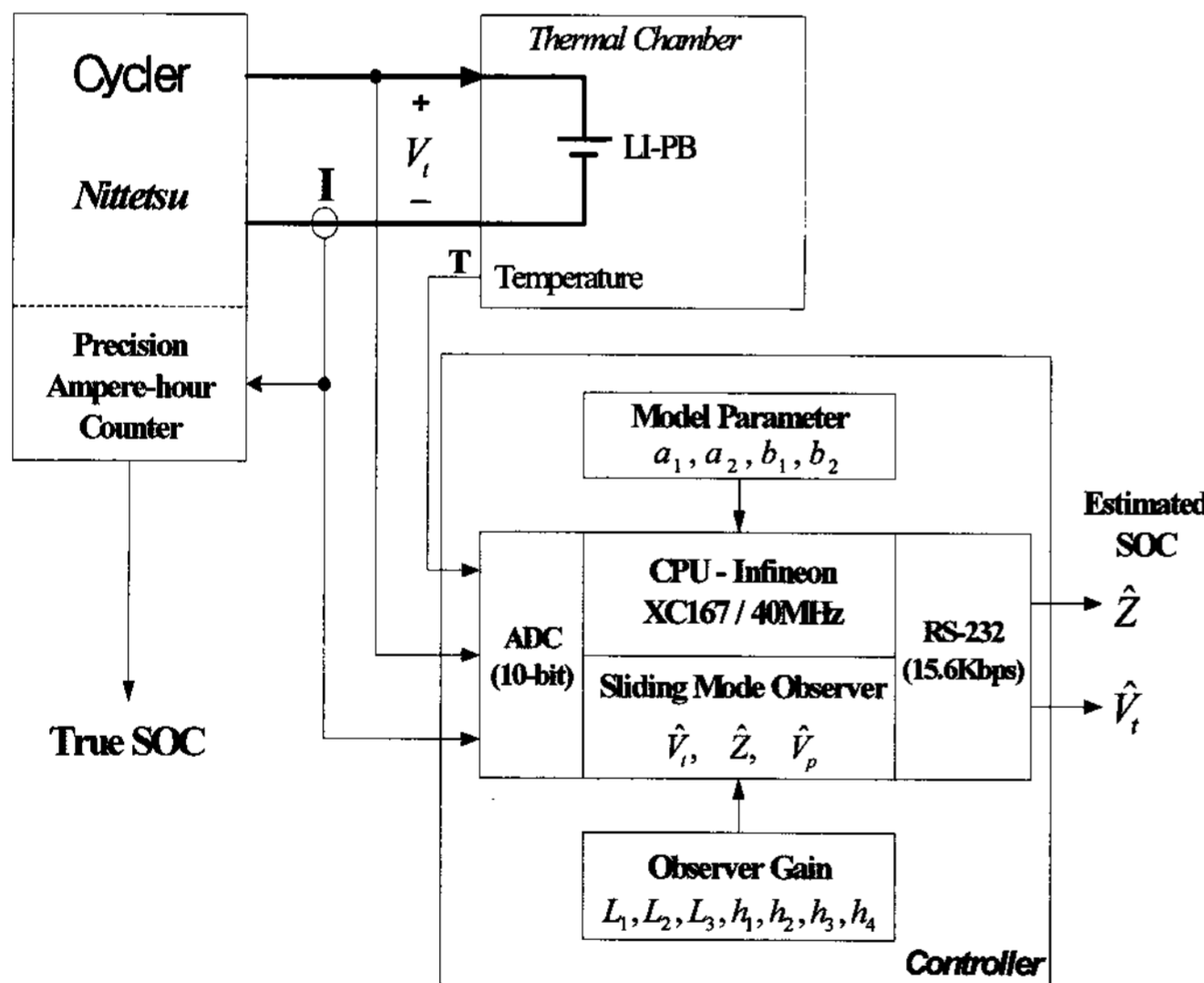


그림 4 제안된 시스템 구성도

Fig. 4 Configuration of the proposed observer system

4. 실험 결과

실험 장치를 포함한 전체 시스템에 대한 블록도가 그림 4에 표시되어 있다. 셀 모델의 파라미터 값들은 셀 특성시험 (cell characterization test)에 의해서 얻어진다. 이것은 일련

의 충방전 시험으로 공칭용량을 얻어내기 위해 행해진다. 먼저 셀을 4.2V 까지 만 충전한 다음 1-C rate에 해당하는 5A 로 180 초 동안 방전한 다음 3600초 동안 휴지기간(rest period)을 가진다. 이 방전양은 5% SOC 감소분을 의미한다. 공칭용량이 상수값으로서 표시되어야 하나, 실제 셀에서는 충전량에 따라 공칭용량이 조금씩 차이가 나기 때문에 정확도를 높이기 위해서 SOC 단계별로 공칭용량을 측정하였다. 셀 내부저항 R_t 는 접촉저항의 개념으로, DC-IR 시험에 의해서 얻어진다. 이 시험은 10초 동안, 20-C의 비율로 방전하여, 전압의 변화율을 측정하여 내부저항 값을 얻어내는 방식이다.

이렇게 얻어진 파라미터들을 사용하여 구축된 배터리 모델은 실제 셀 특성과 전체적으로는 비슷하지만 세밀한 부분에서는 많은 차이가 난다. 그 이유는 단순한 R-C 모델링 자체에서 오차를 포함하고 있고, 실제 공칭 용량값 C_n 이 비선형 특성을 가지고 있고 셀 내부저항 R_t 도 SOC에 따라 값이 변화하기 때문이다.

그림 4에 보이는 것처럼 슬라이딩 모드 관측기 식은 리튬 배터리를 충방전 하면서 얻어지는 온라인 상태의 전류값에 의해서 수립된다. 관측기의 입력 변수는 충방전 전류값, 단자 전압, 그리고 셀의 온도등이 된다. 제어기는 Infineon사의 16비트 프로세서 XC164-40 [Mhz]으로 구성되어있다. 이것은 10-bit의 매우 빠른 변환 속도를 갖는 A/D 변환기와 DSP 구조의 내부 architecture를 가지고 있다. 따라서 매우 빠른 연산 속도와 가혹한 외부환경에 대해서 강한 신뢰성을 갖고 있기 때문에 자동차용 제어기로 많이 사용되어진다. 셀 전압, 전류, 온도 측정등을 포함한 관측기의 전체 계산 시간은 10 [ms] 정도이다. 일반적으로 사용되는 확장 칼만 필터의 계산시간은 50 [ms]가 걸리게 된다.

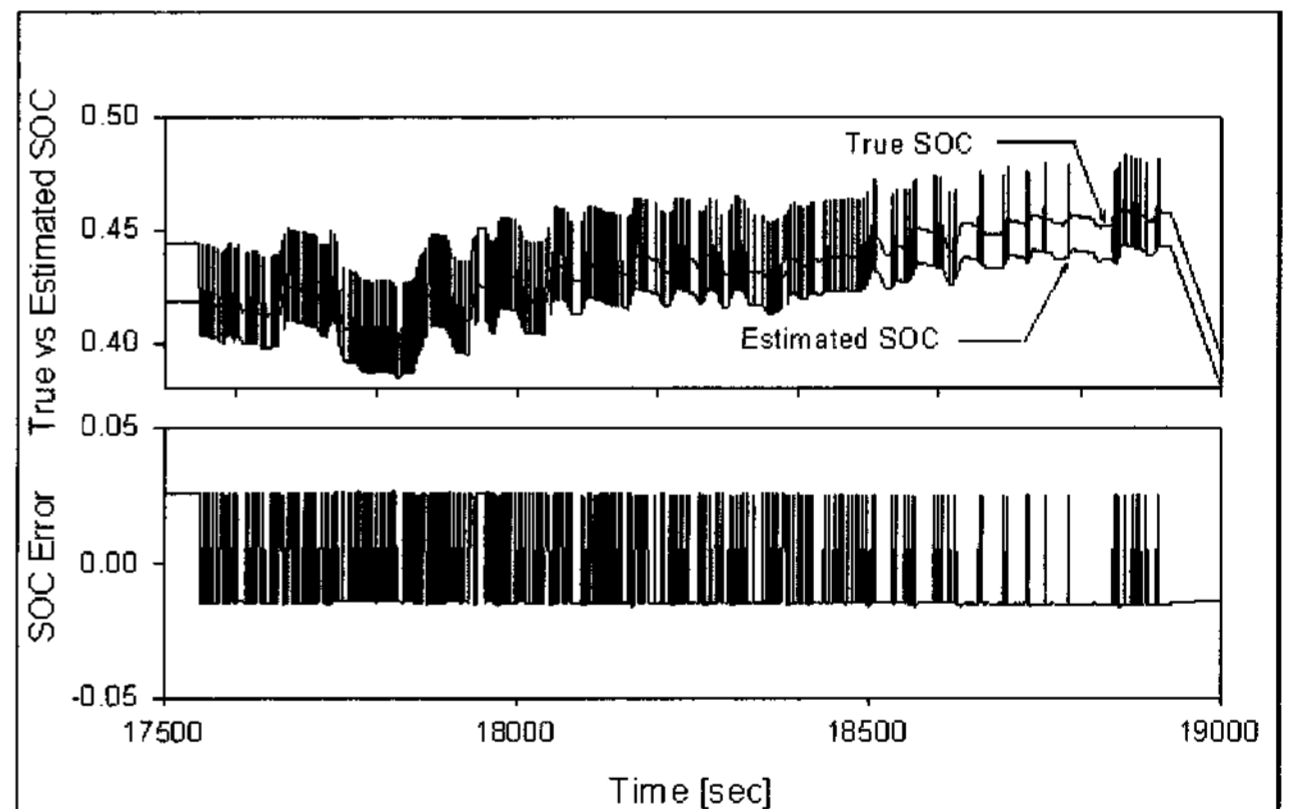


그림 5 UDDS 한 사이클에 대해 추정된 SOC와 오차

Fig. 5 One cycle result of the estimated SOC and error

제안된 시스템의 성능을 실제 주행환경에서 입증하기 위해 20-사이클의 Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) 로 시험하였다. 이는 매우 가혹한 실제 주행 패턴에 기반을 두고 있다. 이 사이클은 30분 동안의 일련의 충방전과 5분의 휴지 기간을 가지고 있으며, 매 사이클마다 5%의 SOC 감소를 가져온다. 그림 5에 한사이클에 대한 시험 결과를 보여주고 있다. 제안된 관측기는 채터링 값을 가지면서 실제값에 추종하는 것을 알 수 있다. 채터링 값은

sign 함수 대신에 포화함수 sat를 사용하면 평탄화되어 진다. 추정된 오차는 최대 3%의 범위 안에서 유지되는 것을 알 수 있다. 이것은 실제 주행에서도 허용될 수 있는 수치이며, 제안된 시스템이 원래 값에 잘 추종하고 있음을 보여주고 있다.

배터리의 수명을 추정하기 위한 듀얼 슬라이딩 모드 관측기는 SOC 추정기와 SOH 추정기가 병렬로 동작되며 추정된 파라미터와 추정된 상태 변수는 각 샘플링 시간마다 두 개의 관측기에서 교환된다. SOC 추정기는 이전 단계 값과 현재의 전류값을 이용하여 추정된 SOC \hat{z} 을 발생시킨다. 이 값은 채터링을 가지고 있기 때문에, SOH 관측기 입력으로 사용되기 위해서는 채터링을 제거해야 한다. 구간 평균화(moving average) 필터가 평탄화된 파형을 만드는데 사용되었다. 필터링된 SOC 추정변수 z_h 와 셀 출력전압 V_{hc} 가 SOH 추정기 입력으로 사용되며, 출력 변수는 \hat{z}_h , \hat{C}_n , \hat{R}_t 가 된다. 출력값에도 역시 채터링이 존재하기 때문에 구간 평균화 필터가 채터링을 제거하여 SOC 추정기의 입력으로 케환시켜 준다. 실제 C_n 과 R_t 값은 수명 가속 시험(accelerated life cycle test)에서 얻어진다. 수명 가속 시험 패턴은 실제 셀의 동작환경과 유사하게 동작시켜야 하나, 셀의 동작환경이 너무나도 다양하기 때문에 표준 가속시험 패턴(25°C, 20%-80% SOC 범위)을 사용하였다. SOH 추정 결과는 컴퓨터 모의 실험에 의존하게 된다. 셀의 용량이나 저항의 감퇴가 발생하는 데에는 몇 년의 시간이 걸리기 때문에 긴 시간의 시뮬레이션을 통해서 추정값을 얻어내어 수명 시험 결과와 비교한다.

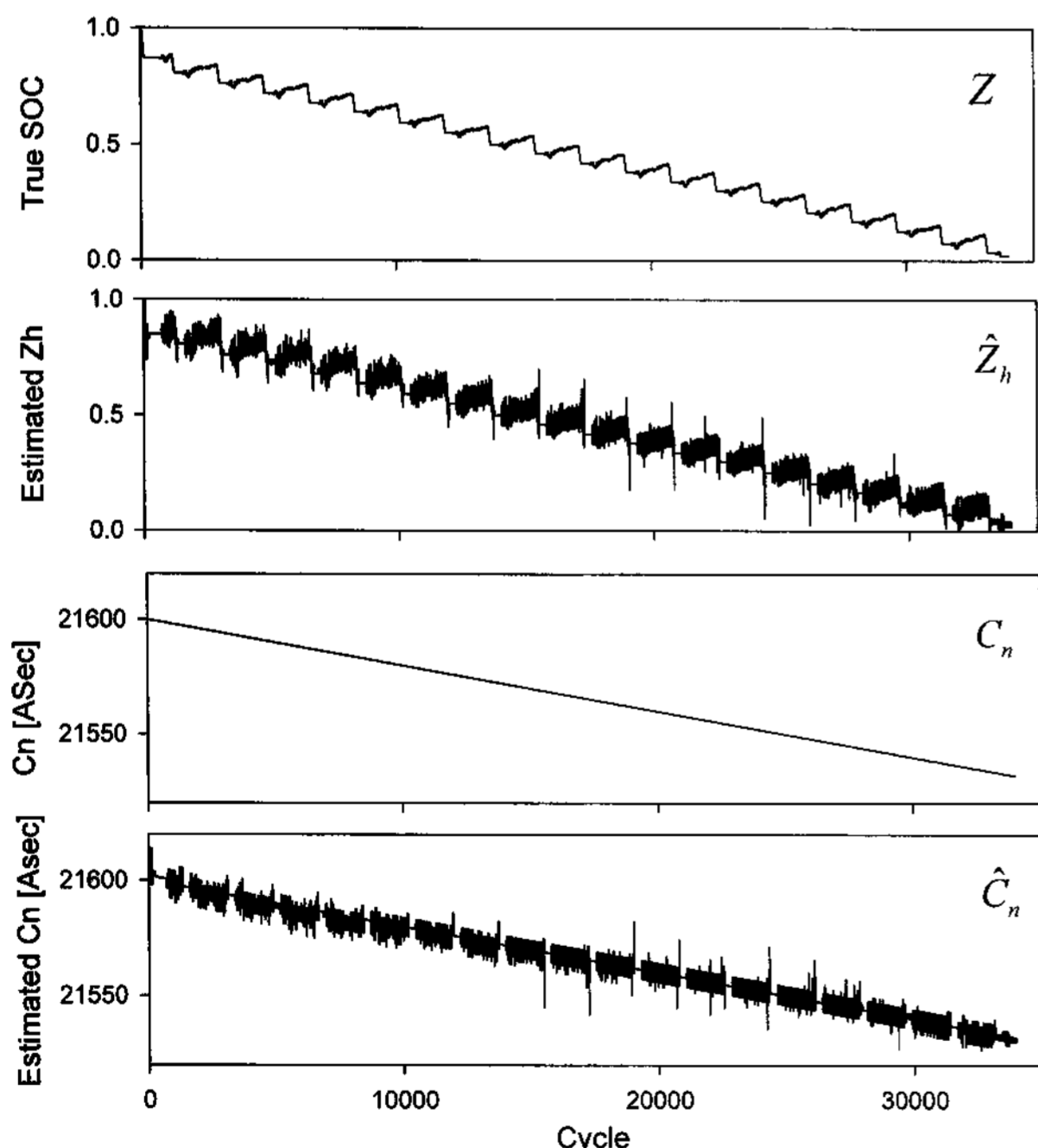


그림 6 용량 C_n 추정에 대한 시험 결과
Fig. 6 Simulation result for capacity C_n estimation

그림 6에 추정된 \hat{C}_n 값이 채터링을 가지고 실제 C_n 에 추종하는 것을 알 수 있다. 이 그림에서 설계된 슬라이딩 모드

관측기가 에러 방정식으로 구성된 슬라이딩 면(sliding surface)에 추종함을 알 수 있다. 저항값 추정도 비슷한 방법으로 구성된다. 그림 7에 저항 추정 결과가 나타나 있다. 역시 추정된 저항값 \hat{R}_t 이 실제 저항값 R_t 에 스위칭 리플을 가지면서 추종하는 것을 알 수 있다. 이로서 제안된 제어기는 SOC와 SOH를 동시에 우수한 성능을 가지면서 추종한다는 것을 보여준다.

HEV에 이 방법이 적용되었을 경우, 배터리의 SOC와 SOH를 보다 정확히 추정이 가능하게 되어, 연비의 향상이 이루어지게 된다. 즉 배터리의 최대 충/방전 출력을 예측하는 것이 가능하기 때문에 에너지 효율을 높일 수 있게 되어 연비 향상이나 HEV의 주행 성능을 향상시킬 수 있게 된다.

5. 결 론

리튬 폴리머 전지의 수명과 저항을 예측하기 위한 듀얼 슬라이딩 모드 관측기를 설계하는 방법이 소개되었다. 제안된 시스템의 성능은 UDDS 사이클 시험에 의해 입증되었다. 파라미터 오차는 대부분의 운행 조건에서 3% 이내로 제한되었으며, 이는 실제 주행에 적용할 수 있는 수준이다.

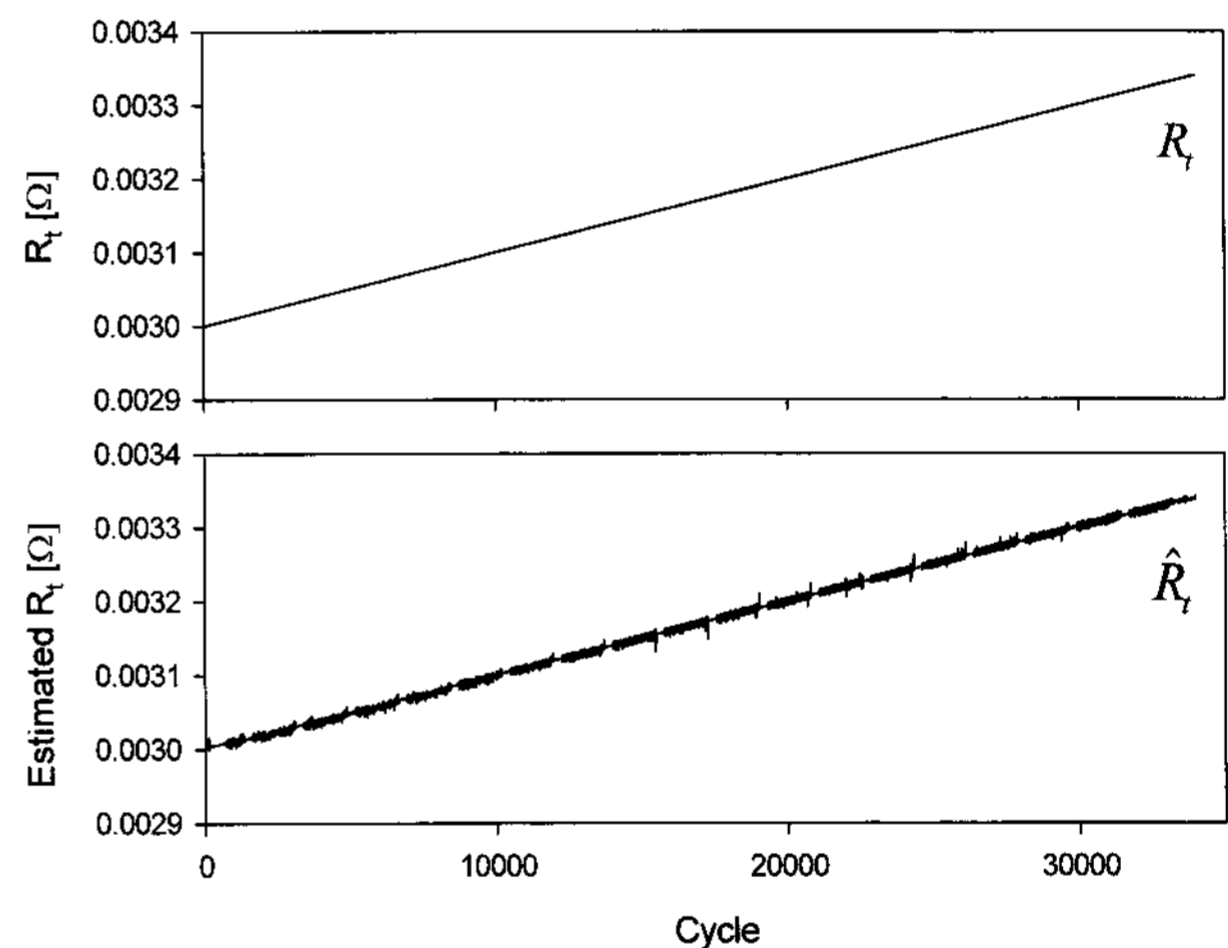


그림 7 저항 R_t 추정에 대한 시험 결과
Fig. 7 Simulation result for resistance R_t estimation

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조 개혁지원 사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임

참 고 문 헌

[1] B. S. Bhangu, P. Bentley, and C. M. Bingham, "Nonlinear observers for predicting state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries for hybrid-electric vehicle", IEEE Trans. Vehicular Technology, vol. 54, no. 3, pp. 783-794, May 2005

[2] A. Affanni, A. Bellini, G. Franceschini, P. Guglielmi

and C. Tassoni, "Battery choice and management for new-generation electric vehicle", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 52, No. 5, pp. 1343-1349, Oct. 2005

- [3] G. L. Plette, Extended kalman filtering for battery management system of LiPB-based HEV battery packs -Part 1, 2, 3, Journal of Power Source, 134, pp. 252-292, 2004
- [4] 김일송, "슬라이딩 모드 관측기를 이용한 하이브리드 자동차용 리튬배터리 충전량 예측방법", 전력전자학회 논문집, 12권, 4호, pp. 324-331, 8월 2007
- [5] V.I. Utkin, Sliding modes and their applications in variable structure systems, Moscow, Russia: MIR, 1978
- [6] I. Haskara, U. Ozguner, and V. Utkin, "On variable structure observers", IEEE workshop on Variable Structure System, pp. 193-198, 1996
- [7] Yi Xiong and Mehrdad Saif, "Sliding mode observers for Nonlinear uncertain system", IEEE trans. Automatic Control, Vol. 46, No. 12, pp.2012-2107, Dec. 2001

저 자 소 개



김 일 송 (金 一 松)

1968년 7월 3일생. 1991년 연세대 전자공학과 졸업. 1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 졸업(공학박사). 1994년~1999년 현대전자 위성사업단 위성연구소. 1995년~1997년 Space Systems/Loral(USA). 1997년~1998년 Alenia Aerospazio(ITALY) 1999년~2003년 인공위성 연구센터. 2005년~2007년 LG화학 기술연구원 배터리 연구소. 2007년 현재 충주대학교 전기공학과 전임 강사. IBC 세계인명사전 "2000 Outstanding Scientists 2008/2009" 등재. "Marquis Who's who in Science & Engineering 2008-2009" 등재.



이 진 국 (李 鎭 局)

1950년 9월 30일생. 1973년 2월 숭실대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1980년 9월 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2000년 2월 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1970년 9월~1974년 7월 체신부. 1978년 3월~1979년 7월 동아건설(RECS, ATP). 1979년 10월~1988년 1월 삼척공업전문대학 전기과(부교수). 1984년 조지아공과대학(GIT) 객원교수. 1988년 2월~현재 충주대학교 전기공학과(교수). 2004년 1월~2005년 12월 대한전기학회 (충북지회장).