한국지능시스템학회 논문지 2010, Vol. 20, No. 2, pp. 214-219

잔존충전용량 추정을 위한 퍼지 H_∞ 필터 설계

A Fuzzy H_∞ Filter Design for State of Charge Estimation

류석환 · 오설동

Seog-Hwan Yoo and Wu Xuedong

대구대학교 전자공학부

요 약

본 논문은 리튬폴리머 배터리의 잔존충전용량 추정을 위한 비선형 퍼지 H_∞ 필터의 설계 방법을 제시한다. 배터리 셀의 동적방정식을 T-S 퍼지시스템으로 모델하고 선형행렬 부등식의 해를 이용하여 퍼지필터를 설계한다. 제시한 퍼지 H_∞ 필터의 성능을 입증하기 위하여 UDDS 전류 프로파일을 사용한 실험 데이터를 이용하여 모의실험을 수행하였다.

키워드 : 잔존충전용량, 리튬폴리머 배터리, T-S 퍼지시스템, 퍼지 H_∞ 필터, 선형행렬부등식

Abstract

This paper deals with a nonlinear fuzzy H_∞ filter design for SOC(state of charge) estimation in Lithium polymer battery. The dynamic equation of the battery cell is modeled as a T-S fuzzy system and the filter is designed via solutions of linear matrix inequalities. In order to illustrate the performance of the designed filter, a computer simulation is performed using the experimental data with the UDDS(urban dynamometer driving schedule) current profile.

Key Words : State of charge, Lithium polymer battery, T-S fuzzy system, Fuzzy H_∞ filter, Linear matrix inequality

1. 서 론

최근 녹색성장과 더불어 친환경자동차 산업육성에 따른 관심이 전 세계적으로 증가하고 있으며 국내에서도 친환경 자동차인 하이브리드 자동차, 전기자동차에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 하이브리드 자동차의 구동시스템은 크게 엔진과 전기모터로 구성되어 있으며 전기모터의 에너지원인 배터리시스템은 넓은 동작온도 범위 내에서 순간적으로 변동하는 지속적인 충·방전 사이클을 수행하게 된다. 하이브리드 자동차와 전기자동차의 동력원으로 주로 사용되는 배터리로 최근 많은 기술이 진보되어 에너지 밀도가 높고 순간적인 최대 출력 제공이 가능한 리튬폴리머 배터리를 채택하고 있다. 그러나 리튬폴리머 배터리팩을 장착한 전기 동력시스템에서는 1) 배터리 잔존충전용량(state of charge, SOC) 및 건강상태를 예측하고 2) 배터리 셀의 SOC를 수시로 균형화 하여 과 충전과 과 방전으로 기인하는 배터리의 손상을 예방하기 위한 배터리관리시스템의 장착이 필수적이다.[1]

본 연구에서는 하이브리드 자동차에 사용되는 리튬폴리머용 배터리관리시스템의 중요한 기능 중에 하나인 배터리 셀의 SOC를 차량운전 중 실시간으로 예측하기 위한 필터 설계방법을 제시하고자한다. SOC는 배터리의 공칭 충전용량에 대한 현재의 충전용량의 비로 정의하며 최대로 충전되었을 때는 100%, 완전 방전되었을 때는 0%가 된다. SOC를 추정하는 방법으로는 크게 전류 적분법, 배터리 개방전압(open circuit voltage, OCV) 측정법, 모델기반의 SOC 추정법 등이 있다. 충·방전 전류적분법은 배터리의 SOC 초기 값이 정확하다면 짧은 시간동안의 SOC 추정으로는 상당히 효과적이지만 초기 값이 불확실하면 결과의 추정치도 불확실하며 또한 비교적 장기간의 추정에 사용될 경우 적분오차가 누적되어 정확한 추정을 하기가 힘들다.[2] 배터리 OCV 측정법은 배터리를 1~2시간 무부하 상태로 두어 배터리 내부의 화학적인 평형상태에서 측정한 OCV과 SOC와의 관계로부터 SOC를 추정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 충·방전 이 지속적으로 이루어지는 차량 운행 중에는 사용하기가 불가능하다. 따라서 차량운행 중 실시간으로 SOC를 추정하기 위해 모델기반의 SOC 추정기법이 많이 연구되어지고 있다.[2]-[7]

모델기반으로 SOC를 추정하기 위해서는 배터리의 전기화학적 동적모델 확립이 필수적이다. 배터리의 동적모델은 아주 복잡하고 비선형이지만 근사적으로 배터리 내부저항과 RC회로로 구성된 등가 전기회로로 많이 표현한다. 본 연구에서도 SOC의 비선형함수로 주어지는 전압원과 저항, 캐패시터의 직병렬회로로 구성된 등가 전기회로를 사용하고자한다. 등가 전기회로로부터 얻어진 상태방정식으로부터 추정알고리듬으로는 EKF(Extended Kalman Filter)의 사용[2]-[6], sliding mode 관측기의 사용[7] 등이 보고되고 있다. 칼만필터의 경우 선형시스템에서 잡음의 확률적인 특성이 정확하다면 추정오차의 공분산을 최소화하는 최적필터이지만 EKF의 경우 칼만필터를 비선형시스템에도 선형

접수일자 : 2009년 11월 2일
완료일자 : 2010년 3월 1일

화를 통해서 사용할 수 있도록 확장하였기 때문에 최적필터는 아니다. 또한 프로세스 잡음과 측정 잡음의 공분산을 알기가 어려우며 실제 필터를 실시간으로 적용하기 위해서는 실시간 계산량이 많은 부담이 있다.

본 연구에서는 비선형 동적모델을 T-S 퍼지모델로 변환하고 모델오차로 기인하는 추정오차를 적정값 이하로 유지하면서 추정오차의 감소율(decay rate)을 보장하는 퍼지 H_∞ 필터를 설계한다.

2. 배터리 동적모델

이 절에서는 필터를 설계하기 위한 배터리의 근사적인 동적모델을 설정한다. Randle 회로[6]에서 Warburg 임피던스를 무시하고 그림 1과 같은 R-C 전기회로를 생각한다.

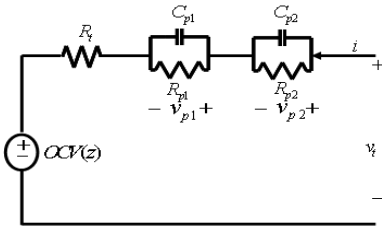

그림 1. 등가 전기회로
Fig. 1. Equivalent electric circuit

그림 1에서 R_t는 배터리의 내부저항, R_{p1}, R_{p2}는 분극(polarization)에 의한 이온화 손실저항, C_{p1}, C_{p2}는 이중층(double layer)에 의한 캐패시턴스, v_t는 배터리 단자전압, i는 충·방전 전류를 나타내며 $OCV(z)$는 배터리 OCV로 배터리 SOC z의 비선형 함수로 주어진다.

$OCV(z)$는 실험실에서 배터리 셀의 전기화학적인 평형상태를 크게 깨지 않도록 아주 낮은 충·방전율(통상 C/30 정도)로 충·방전하여 얻어질 수 있다. 본 연구에서 사용한 공칭용량 5AH 리튬폴리머 배터리 셀의 상온(25^oC)에서의 특성곡선을 그림 2에 나타낸다.

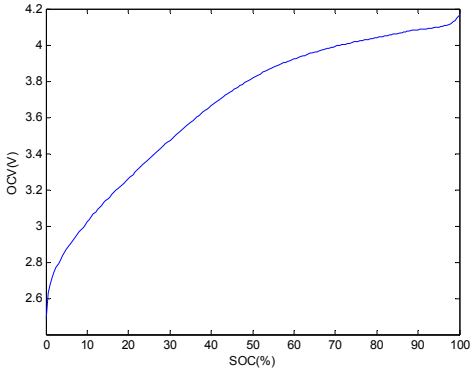

그림 2. 개방전압 vs. 잔존충전용량
Fig. 2. OCV vs. SOC

그림1에서 R_{p1}, R_{p2} 양단의 전압을 각각 v_{p1}, v_{p2}라 정의하고 배터리 셀의 공칭용량을 C_n이라 정의하면 SOC의 정의와 간단한 회로법칙으로부터 다음의 상태방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= A_c x(t) + B_c i(t)\\ y(t) &= OCV(z(t)) + R_t i(t) + v_{p1}(t) + v_{p2}(t) + w(t)\end{aligned} \tag{1}$$

여기에서

$$x(t)^T = \left[z(t)\ v_{p1}(t)\ v_{p2}(t)\right],\quad y(t) = v_t(t),$$

$$A_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\dfrac{1}{R_{p1}C_{p1}} & 0 \\ 0 & 0 & -\dfrac{1}{R_{p2}C_{p2}} \end{bmatrix},\quad B_c = \begin{bmatrix} 1/C_n \\ 1/C_{p1} \\ 1/C_{p2} \end{bmatrix}.$$

(1)에서 프로세스 방정식은 선형이지만 출력방정식은 상태변수의 비선형 방정식으로 주어진다. 연속형 상태방정식 (1)을 샘플링주기 T의 이산형 상태방정식으로 변환하면 (2)를 얻는다.

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + Bi(k)\\ y(k) &= OCV(z(k)) + R_t i(k) + v_{p1}(k) + v_{p2}(k) + w(k)\end{aligned} \tag{2}$$

여기에서 충분히 적은 샘플링 주기 T에 대해서 $A \approx I + A_c T,\quad B \approx B_c T$이다.

이산형 시스템 (2)에서 비선형 출력방정식이 SOC $z(k)$의 함수이므로 구간별로 $z(k)$를 전제변수(premise variable)로 하여 다음의 T-S 퍼지모델을 얻는다.

플랜트 규칙 i : $(i = 1,\cdots,r)$
IF $z(k)$ is $M_i(z(k))$,
THEN

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + Bi(k)\\ y(k) &= C_i x(k) + R_t i(k) + b_i + w(k)\end{aligned} \tag{3}$$

여기에서 $M_i(z(k))$는 퍼지집합이고 r은 퍼지규칙의 수이고 규칙 i에서 $OCV(z(k)) = a_i z(k) + b_i$로 정의하였으며 따라서 $C_i = [a_i\ 1\ 1]$이다.

정규화된 소속함수(normalized membership function) $\mu_i = \mu_i(z(k))$는 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_i = \frac{M_i(z(k))}{\sum_{i=1}^{r} M_i(z(k))},\quad \mu_i \geq 0,\quad \sum_{i=1}^{r}\mu_i = 1 \tag{4}$$

$C(\mu) = \sum_{i=1}^{r}\mu_i C_i,\ b(\mu) = \sum_{i=1}^{r}\mu_i b_i$라 정의하고 식 (3)을 다음과 같이 간단히 표현한다.

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + Bi(k)\\ y(k) &= C(\mu)x(k) + R_t i(k) + b(\mu) + w(k)\end{aligned} \tag{5}$$

3. 필터설계

이 절에서는 배터리 동적모델 (5)에 기반한 SOC를 추정하기 위한 퍼지필터를 설계한다. 이를 위하여 관측기형태의 퍼지필터를 플랜트모델과 같이 T-S 퍼지시스템으로 표현

한다.[8]-[10] 그러나 실제로 플랜트의 전제변수인 $z(k)$는 측정이 되지 않으므로 필터규칙의 전제변수는 SOC 추정치 $\hat{z}(k)$를 사용한다.

필터 규칙 i : $(i=1,\cdots,r)$
IF $\hat{z}(k)$ is $M_i(\hat{z}(k))$,
THEN

$$\begin{aligned}\hat{x}(k+1) &= A\hat{x}(k)+Bi(k)+L_i(y(k)-\hat{y}(k))\\ \hat{y}(k) &= C_i\hat{x}(k)+R_ii(k)+b_i\end{aligned} \tag{6}$$

여기에서 L_i는 규칙 i에서의 필터이득이다.

플랜트 T-S 퍼지모델에서와 같이 정규화된 소속함수 $\hat{\mu_i}$를 정의하고 $L(\hat{\mu})=\sum_{i=1}^{r}\hat{\mu_i}L_i$ 및 $C(\hat{\mu})$, $b(\hat{\mu})$를 같은 방법으로 정의하면 식 (7)을 얻는다.

$$\begin{aligned}\hat{x}(k+1) &= A\hat{x}(k)+Bi(k)+L(\hat{\mu})(y(k)-\hat{y}(k))\\ \hat{y}(k) &= C(\hat{\mu})\hat{x}(k)+R_ii(k)+b(\hat{\mu})\end{aligned} \tag{7}$$

$e(k)=x(k)-\hat{x}(k)$라 정의하면 (5)와 (7)로부터 오차의 동적방정식은 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}e(k+1) &= (A-L(\hat{\mu})C(\hat{\mu}))e(k)-L(\hat{\mu})w_e(k)\\ e_z(k) &= Ee(k)\\ w_e(k) &= (C(\mu)-C(\hat{\mu}))x(k)+b(\mu)-b(\hat{\mu})+w(k)\end{aligned} \tag{8}$$

여기에서 $E=[1\,0\,0]$, $e_z(k)$는 SOC 추정오차, $w_e(k)$는 플랜트 모델과 필터모델의 전제변수 불일치로 발생하는 오차가 플랜트 모델의 잡음과 합하여진 오차이다.

본 연구에서는 다음의 설계조건을 만족하는 필터를 설계한다.

1) $w_e(k)\equiv 0$일 때 주어진 $\beta>0$에 대해서,

$$|e(k)|<k_1e^{-k\beta}|e(0)|,\quad k_1>0 \tag{9}$$

2) $e_z(0)=0$일 때 주어진 $\gamma>0$에 대해서,

$$\sum_{k=0}^{\infty}e_z(k)^2<\gamma^2\sum_{k=0}^{\infty}w_e(k)^2 \tag{10}$$

설계조건 1)은 초기오차에 대한 감쇄율을 보장하기 위하여 도입되었으며 설계조건 2)는 오차신호 $w_e(k)$에 대한 $e_z(k)$의 외란억제수준(disturbance attenuation level)을 지정하기 위하여 도입되었다. 필터가 만족할 만한 성능을 가지기 위해서는 가급적 β는 크게 γ는 적게 설정할 필요가 있다.

설계조건 1)을 충족하기 위해서 리아푸노프 후보함수 $V(k)=e(k)^TPe(k)$가 $V(k)<e^{-2k\beta}V(0)$를 만족하면 된다. $\hat{\mu_i}\geq 0$, $\sum_{i=1}^{r}\hat{\mu_i}=1$을 만족하는 모든 $\hat{\mu_i}$에 대해서 다음의 선형행렬부등식(Linear Matrix Inequality, LMI) (11)을 만족하는 대칭 양한정 행렬 P와 $N(\hat{\mu})$가 존재하면 설계조건 1)을 만족하는 필터가 존재한다.[11]

$$\begin{bmatrix}-e^{-2\beta}P & *\\ PA-N(\hat{\mu})C(\hat{\mu}) & -P\end{bmatrix}<0,\ N(\hat{\mu})=PL(\hat{\mu}) \tag{11}$$

설계조건 2)를 충족하기 위한 필터가 존재하기 위한 충분조건은 LMI (12)를 만족하는 대칭 양한정(positive definite) 행렬 P와 $N(\hat{\mu})$가 존재하면 된다.

$$\begin{bmatrix}-P & * & * & *\\ 0 & -\gamma^2I & * & *\\ E & 0 & -I & *\\ PA-N(\hat{\mu})C(\hat{\mu}) & -N(\hat{\mu}) & 0 & -P\end{bmatrix}<0,\quad N(\hat{\mu})=PL(\hat{\mu}) \tag{12}$$

따라서 설계조건 1)과 2)를 동시에 충족하는 필터가 존재할 충분조건은 다음과 같다.

$$\Phi(\hat{\mu},\hat{\mu})=\begin{bmatrix}-e^{-2\beta}P & * & * & *\\ 0 & -\gamma^2I & * & *\\ E & 0 & -I & *\\ PA-N(\hat{\mu})C(\hat{\mu}) & -N(\hat{\mu}) & 0 & -P\end{bmatrix}<0,\quad N(\hat{\mu})=PL(\hat{\mu}) \tag{13}$$

LMI (13)은 다음과 같이 표현된다.

$$\Phi(\hat{\mu},\hat{\mu})=\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r}\hat{\mu_i}\hat{\mu_j}\Phi_{ij},$$

$$\Phi_{ij}=\begin{bmatrix}-e^{-2\beta}P & * & * & *\\ 0 & -\gamma^2I & * & *\\ E & 0 & -I & *\\ PA-N_iC_j & -N_i & 0 & -P\end{bmatrix},\qquad N_i=PL_i \tag{14}$$

따라서 다음의 LMI (15)를 만족하는 대칭 양한정 행렬 P와 N_i가 존재하면 LMI (13)이 만족한다.[10]

$$\begin{aligned}&\Phi_{ii}<0,\quad i=1,\cdots,r\\ &\Phi_{ij}+\Phi_{ji}<0\quad i=1,\cdots,r,\quad j>i\end{aligned} \tag{15}$$

4. 성능실험

4.1 파라메터 식별

정격용량 5AH의 리튬폴리머 배터리 셀에 대한 그림1의 모델 파라메터를 구하기 위하여 상온에서 100초간 25A의 일정전류로 방전 후 배터리를 무부하 상태로 두었으며 이때 단자전압을 그림 3에서 실선으로 표현하였다.

모델 배터리 단자전압을 $v_{tm}(k)$라 할 때 샘플링시간을 1초로 정하고 matlab 최적화 toolbox를 사용하여 $\sum_k(v_t(k)-v_{tm}(k))^2$를 최소화하는 모델 파라메터를 구하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

표 1의 파라메터를 사용했을 때 모델전압은 그림 3의 점선과 같으며 모델전압이 배터리 단자전압과 거의 비슷함을 알 수 있다.

배터리의 T-S 퍼지모델을 얻기 위하여 4개의 규칙을 사용하였으며 퍼지집합 M_i는 삼각형 퍼지집합을 사용하였고 그림 4와 같다.

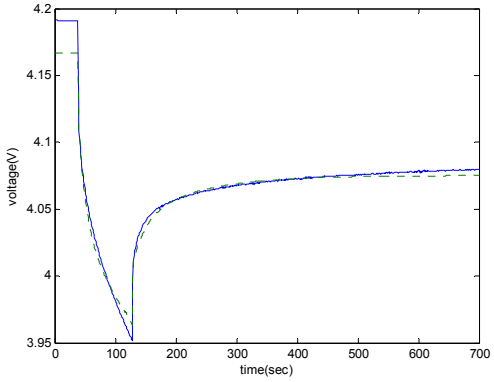

그림 3. 펄스응답
Fig. 3. Pulse response

표 1. 모델 파라메터
Table 1. Model Parameters

R_t $(m\Omega)$	R_{p1} $(m\Omega)$	R_{p2} $(m\Omega)$	C_{p1} (F)	C_{p2} (F)
1.90	2.32	1.24	43,246	17,484

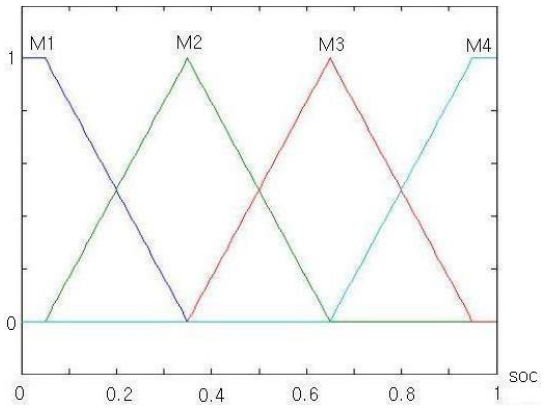

그림 4. 퍼지집합
Fig. 4. fuzzy set

식 (3)에서 $OCV(z(k)) = a(\mu)z(k) + b(\mu)$로 표시되며 본 연구에서 사용한 a_i, b_i는 다음의 표 2와 같다.

표 2. a_i와b_i
Table 2. a_i andb_i

규칙	1	2	3	4
a_i	4.677	3.904	2.964	2.418
b_i	2.633	2.191	2.020	1.774

SOC의 변화에 따른 $OCV(z(k)) = a(\mu)z(k) + b(\mu)$를 그림 5에 점선으로 나타내었으며 실선으로 나타낸 실제 OCV와 거의 차이가 없는 것으로 관찰된다.

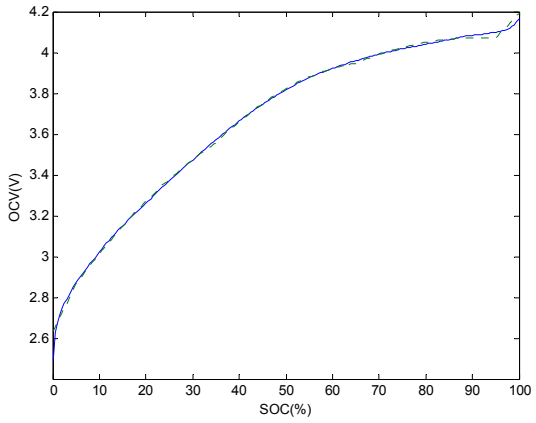

그림 5. 실제 OCV와 모델 OCV
Fig. 5. Actual OCV vs. model OCV

4.2 필터설계 및 검증

3절에서 제시한 LMI를 이용한 필터를 설계하기 위하여 $\gamma = 0.007$, $\beta = 0.0004$로 선정하고 matlab LMI toolbox를 사용하여 L_i를 다음과 같이 구하였다.

$$L_1 = \begin{bmatrix} 0.0185 \\ 0.0030 \\ 0.0028 \end{bmatrix}, \quad L_2 = \begin{bmatrix} 0.0160 \\ 0.0029 \\ 0.0027 \end{bmatrix},$$
$$L_3 = \begin{bmatrix} 0.0125 \\ 0.0027 \\ 0.0025 \end{bmatrix}, \quad L_4 = \begin{bmatrix} 0.0108 \\ 0.0026 \\ 0.0024 \end{bmatrix}.$$

설계된 필터의 성능 검증을 위한 배터리 셀의 충·방전 패턴은 하이브리드 자동차의 UDDS(urban dynamometer driving schedule) 전류 프로파일을 18회 반복 사용하였다. 각각의 UDDS 전류프로파일 사이에는 적절한 전류를 방전하여 전체 전류 프로파일이 SOC 대부분의 영역(10~100%)을 포함하도록 하였다. 배터리 셀의 충·방전에 사용한 전류 프로파일과 그때의 배터리 단자전압을 그림 6과 그림 7에 나타낸다.

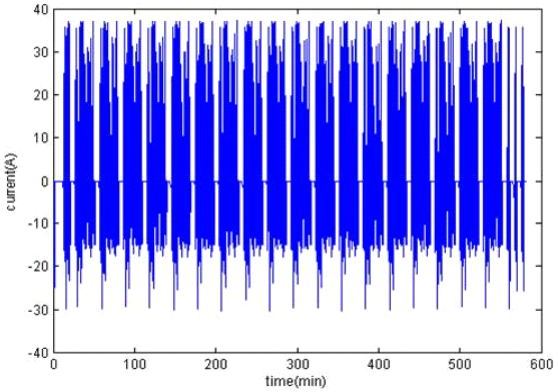

그림 6. UDDS 전류 프로파일
Fig. 6. UDDS current profile

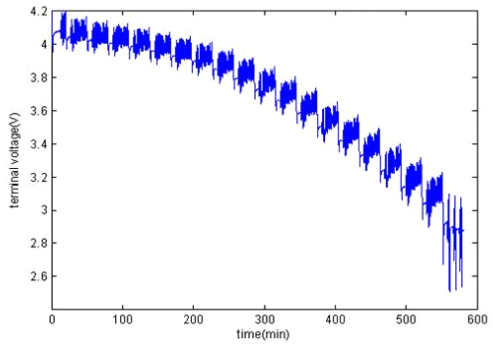

그림 7. 배터리 단자전압
Fig. 7. battery terminal voltage

그림 6에 주어진 UDDS 전류프로파일에 의한 충·방전 시 전류적분법에 의한 배터리 SOC는 그림 8에 주어진 것과 같이 SOC의 전 영역을 포함하는 것을 알 수 있다.

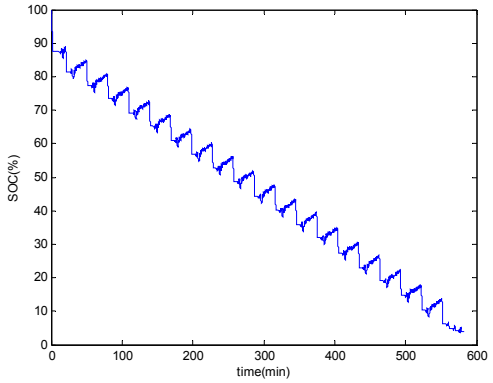

그림 8. 잔존충전용량
Fig. 8. State of Charge

본 연구에서 제시한 퍼지 H_∞ 필터를 사용하고 실제 SOC의 초기 값은 100%이지만 필터에서 SOC의 초기 값을 80%로 하여 실험을 한 결과 SOC 추정오차를 그림 9에서 관찰할 수 있는 바와 같이 초기 오차가 급속히 감소하여 SOC의 전 영역에서 2%의 범위내로 수렴됨을 알 수 있다.

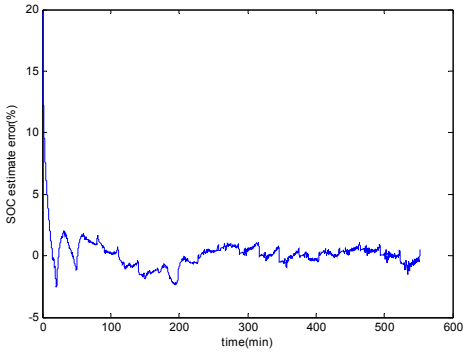

그림 9. 잔존충전용량 추정오차
Fig. 9. SOC estimation error

본 연구에서 제시한 H_∞ 필터는 EKF[2]-[6]에 비하여 프로세스 잡음, 측정잡음에 대한 통계적 특성을 모르더라도 필터를 설계할 수 있으며 튜닝 파라메터(γ, β)가 2개로 EKF에 비하여 상당히 적어 설계하기가 용이하다. 또한 매 샘플링마다 필터이득을 구하기 위한 식 (7)에 주어진 계산량이 EKF를 사용 시 수행해야하는 time update, measurement update에 비하여 적은 장점이 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 하이브리드 자동차용 리튬폴리머 배터리 관리시스템에서 SOC를 추정하기 위한 필터 설계방법을 제안하였다. 배터리의 동적특성을 SOC의 비선형함수인 OCV를 전원으로 하는 전기회로로 근사화하여 모델링하였다. 배터리 동적모델을 T-S 퍼지시스템으로 표현하고 초기오차에 대한 감쇄율을 보장하고 모델 불확실성을 포함하는 외부잡음에 대한 SOC 추정오차의 민감도를 설계자가 지정하는 상수 이하로 유지하는 퍼지 H_∞ 필터의 설계법을 제시하였다. UDDS 전류프로파일에 의한 충·방전 실험을 통하여 제안한 필터가 2%의 오차범위 내에서 SOC를 추정할 수 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] B. Pattipati, K. Pattipati, J. Christopherson, A. Namburu, D. Prokhorov and L. Qiao, “Automotive Battery Management Systems,” *IEEE Autotestcon*, pp. 581-586, Salt Lake city, UT, Sep. 2008.

[2] G. Plett, "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs. Part 1. Background," *Journal of power sources,* pp. 252-261, Vol. 134, 2004.

[3] G. Plett, "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs. Part 2. Modeling and Identification," *Journal of power sources,* pp. 262-276, Vol. 134, 2004.

[4] G. Plett, "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs. Part 3. State and parameter estimation," *Journal of power sources,* pp. 277-292, Vol. 134, 2004.

[5] W. Yan, Y. Tian-ming and L. Bao-jie, "Lead-acid Power Battery Management System Basing on Kalman Filtering," *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Harbin, China, Sep. 2008.

[6] B. Bhangu, P. Bentley, D. Stone and C. Bingham, "Nonlinear Observers for Predicting State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries for Hybrid Electric Vehicles," *IEEE Trans. on Vehicular Technology,* Vol. 54, No. 3, pp.783-794, May

2005.
[7] C. Gould, C. Bingham C. Stone and D. Bentley, “New Battery Model and State-of-Health Determination Through Subspace Parameter Estimation and State Observer Techniques,” *IEEE Trans. on Vehicular Technology,* Vol. 58, No.8, pp.3905-3916, Oct. 2009.
[8] K. Tanaka, T. Ikeda and H. Wang, "Robust Stabilization of a Class of Uncertain Nonlinear Systems via Fuzzy Control: Quadratic Stability, H_∞ Control Theory, and Linear Matrix Inequalities," *IEEE Trans. on Fuzzy System*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-13, Feb. 1996.
[9] B. Chen, C. Tseng and H. Uang, "Mixed H_2/H_∞ Fuzzy Control Design for Nonlinear Systems: An LMI Approach," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 8, No. 3, pp. 249-265, June 2000.
[10] S. Nguang and P. Shi, "H_∞ Fuzzy Control Design for Nonlinear Systems: An LMI Approach," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 331-340, June 2003.
[11] M. Abbaszadeh, and H. J. Marquez, "LMI Optimization Approach to Robust H_∞ Filtering for Discrete-Time Nonlinear Uncertain Systems," *American Control Conference*, Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA, June 11-13, 2008.

저 자 소 개

류석환(Seog-Hwan Yoo)
한국퍼지및지능시스템학회 논문지 제19권 제6호 p.847 참조

오설동(Wu Xuedong)
한국퍼지및지능시스템학회 논문지 제19권 제6호 p.847 참조