

논문 96-5-6-05

모델기반의 전기자동차용 전지 잔존용량계 개발

임영철*, 박종건*, 류영재*, 이홍수*, 변성천*, 김의선**

Development of Model Based Battery SOC Indicator for Electric Vehicle

Y.C. Lim*, J.G. Park*, Y.J. Ryoo*, H.S. Lee*, S.C. Byun* and E.S. Kim**

요 약

본 논문에서는 전기자동차에서 사용할 수 있는 모델 기반 잔존용량계(model based battery indicator)를 개발했다. 제안된 방법을 이용하면 잔존용량을 측정하는 데 전지의 전압과 전류만 측정하면 되고, 초기 잔존용량값의 영향을 받지 않으며, 전기자동차와 같이 부하가 급변하는 상태에서도 정확하게 계측할 수 있을 뿐 아니라, 그에 따라 주행 가능 거리를 계산하여 예측할 수 있다.

전지의 방전 특성 데이터를 이용해 수학적인 모델링을 한 후, 전압과 전류를 검출하여 이를 모델링한 식에 대입하면, 추정된 전지 전압을 얻을 수 있다. 이 추정 전압과 측정 전압의 차이가 최소가 되도록 하는 잔존용량의 변화량을 이용하여 잔존용량을 추정한다.

실험에서는 제작한 충전장치와 PC를 이용하여 전지의 전압과 전류를 계측하여 수학적 모델링을 하고, 실제의 전기자동차에 탑재 가능한 스탠드 얼론(stand alone)타입의 마이크로 콘트롤러에 모델식 및 알고리즘을 장착하여 모델 기반 잔존용량계를 실제 검증하여 그 유용성을 입증하였다.

Abstract

In this paper, a development of model based battery SOC indicator is described. The proposed method is independent upon initial SOC, is reliable on the sudden change of load, and could estimate the available driving distance.

The mathematical model of battery which has relation of the current, voltage and SOC estimates the SOC by least square estimation to minimize the error between measured voltage and estimated voltage.

For experiment, the charging and discharging system using computer was designed to acquire the current and voltage data for model. The feasibility in electric vehicle was confirmed by variable load testing using the developed SOC indicator by stand-alone type microcontroller.

1. 서론

* 전남대학교 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University)

** 서남대학교 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, Seonam University)

<접수일자 : 1996년 7월 26일>

대기의 오염 방지 등과 같은 지구의 환경 보전뿐만 아니라 고갈되어 가는 화석 에너지를 대체하기 위한 대체 에너지를 개발하여 에너지를 다양화하는 것들은 국제적인 과제이며, 건전하고 풍부한 미래 사회를 이룩하는 것이 우리 인류의 소망이기도 하다. 이러한 상황에서 지구의 환경문제, 에너지절약 및 다양화 대책의 일환으로 전기자동차의 개발 및 보급의 중요성이 증대

되고 있는 시점이다.

이와 같은 전기자동차 개발 시 중요한 문제들 중의 하나는 전지 용량 상태를 신뢰성 있게 측정하여 운전자에게 알려줄 수 있는 잔존용량계의 개발이다. 전기자동차에서 전지 잔존용량계는 전지의 잔존용량을 계속해서 운전자에게 남은 주행예상거리를 알려주는 역할을 하기 때문에 전기자동차의 효율적 운행 및 안정성 면에서 대단히 중요한 계기이다. 따라서 고정도와 고신뢰성을 가지는 잔존용량계의 개발은 필수적이다. [1-5]

기존의 전지 잔존용량 측정법에는 비중법, 개로 전압 측정, 축적 전류계법, 록업 테이블법등이 있는데, 비중법은 전해액의 비중을 측정하는 방법으로 가장 정확한 방법이나 운행중인 자동차에서 연속적으로 비중을 측정하는 것은 불가능하다. [6] 개로 전압 측정법은 무부하 상태에서 전압을 측정하는 방법으로 전지 전압이 안정화되는 시간이 필요하여 전기자동차와 같은 시스템에서는 적당하지 않은 방법이다. [7] 축적 전류계법은 초기의 잔존용량에서 사용된 전류의 양을 감산하여 잔존용량을 추정하는 방법인데, 초기치의 설정에 어려움이 있다. [8,9] 록업 테이블법은 전압, 전류 그리고 잔존용량의 관계를 데이터 베이스화 하여 메모리에 저장한 다음, 전압과 전류를 측정하여 메모리로부터 잔존용량을 읽어오는 방법이다. 그러나 이 방법은 많은 실험 데이터가 요구되어 메모리가 많이 필요하고, 전기자동차와 같이 부하가 급변하는 시스템에서는 추정된 잔존용량도 변동이 심하여 정확한 추정이 어렵다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하여 전지의 전압과 전류만 측정하면 되므로 긴 안정화 시간이 필요 없고, 전지의 수학적 모델을 사용하므로 초기 잔존용량값의 영향을 받지 않으며, 부하가 급변하여 전지의 전압 및 전류가 극심하게 변하는 상태에서도 정확하게 계속할 수 있는 모델기반 잔존용량계를 제안하였다.

전지의 방전특성 데이터를 이용해 수식적으로 모델링을 한 후 전압과 전류를 검출하여 이것을 모델링된 식에 대입하면, 추정된 전지 전압을 얻을 수 있다. 이 추정 전압과 실측 전압과의 차이가 최소화되도록 하는 용량의 변화량을 이용하여 잔존용량을 추정한다. 제안된 알고리즘은 전기자동차의 메인 컨트롤러로 사용되는 SBC31에 장착하여, 컨트롤러에 큰 부담을 주지 않고 자동차 제어 외의 부수적인 작업으로 이용할 수 있도록 하였다.

II. 전지의 특성

납축전지를 일정 전류로 방전하면서 시간의 흐름에 대한 전압의 변화를 나타내면 그림1과 같다. [10] 일반적으로 전지는 약 2.1V의 전압을 갖는 셀을 6개 직렬로 연결시켜 공칭 12V의 전지를 얻는데, 그림에서는 단위 셀에 대하여 측정된 결과이다. 그림에서 1-h rate는 전지의 에너지를 1시간 동안에 방전 중지 전압까지 도달할 수 있는 전류의 크기로 방전한 상태를 나타낸다. 따라서 12-h rate는 1-h rate에 비하여 1/12크기의 전류로 방전 시킨 것을 나타낸다.

전지의 전압은 큰 전류로 방전할수록 빨리 낮아지는 것을 알 수 있다. 그리고 방전량이 많아질수록 잔존용량은 감소하고 잔존용량은 전해액의 비중과 비례한다. 전해액의 비중은 만충전시에 1.280이고 잔존용량이 0%일 때 1.080까지 떨어진다. 그러므로 비중을 측정하면 정확한 잔존용량을 알 수 있다. 따라서 일정한 전류로 방전시키면 잔존용량이 시간에 대하여 선형적으로 감소하므로 연속적인 비중의 측정 없이도 한 번의 방전이 완료되면 전류, 전압 그리고 잔존용량에 대한 데이터를 얻을 수 있다.

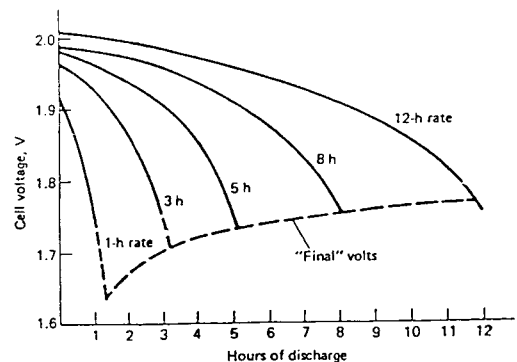


그림 1. 납축전지의 방전 특성(참고문헌 10 인용)
Fig. 1. Discharge characteristics of lead-acid battery.(Reprinted from reference 10.)

III. 전지의 수학적 모델

전지의 방전 특성으로부터 알 수 있듯이 전압, 전류 및 잔존용량은 서로 연관관계를 갖는다. 따라서 이들을 다양한 조건에서 측정하여 얻은 데이터를 데이터 베이스

스화하면, 그 데이터 베이스를 이용하여 전압, 전류 및 잔존용량의 관계를 수식적으로 모델링할 수 있다. 전지의 수학적 모델식은 다음과 같이 3가지 형태의 함수식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(t) &= f(v(t), i(t)) \\ \hat{v}(t, \theta) &= g(i(t), \theta) \\ \hat{i}(t, \theta) &= h(v(t), \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

- $\hat{\theta}(t)$: 추정된 전지의 잔존용량(SOC)
- $v(t), i(t)$: 측정된 전지의 전압, 전류
- $\hat{v}(t, \theta), \hat{i}(t, \theta)$: 추정된 전지 전압, 전류
- θ : 임의의 전지 SOC(State of Charge)

첫 번째 식은 측정된 전압과 전류값을 입력하면 곧바로 용량을 얻을 수 있는 식으로서 룩업 테이블법을 식으로 모델링한 것과 동일하다. 부하가 극심하게 변동하는 전기자동차에 이 식을 적용하면 추정되는 θ 의 변동이 매우 많아서 잔존용량의 정확한 추정이 어려운 뿐 아니라 잡음 및 실험오차에 취약하고, 정확하게 모델링을 하기 위해서는 많은 실험 데이터가 요구된다.

둘째 식과 셋째 식은 임의의 시간 t 에서 잔존용량 θ 의 함수가 되는데, 실제로 측정된 전압(전류)과 추정된 전압(전류)의 차이를 최소화 시키는 용량의 변화량을 구하면 잔존용량을 추정할 수 있다. 본 논문에서는 두 번째 식을 이용하였다.

추정하려는 전지 전압을 측정된 전지 전류와 미지의 잔존용량 θ 에 대한 3차 다항식으로 표현하면 다음과 같고, 최소자승법을 이용하여 계수들을 구하면 전지의 수학적 모델식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{v}(t, \theta) &= a_0(i(t)) + a_1(i(t))\theta + a_2(i(t))\theta^2 + a_3(i(t))\theta^3 \end{aligned} \quad (2)$$

IV. 모델 기반 잔존용량계

모델 기반 잔존용량계의 원리는 그림 2와 같다.

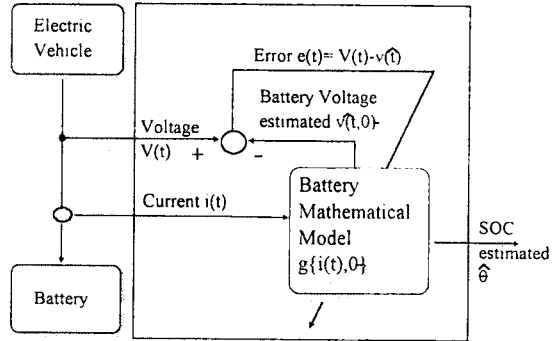


그림 2. 모델기반 잔존용량계의 원리

Fig. 2. Principle of the model-based battery state of charge indicator.

전지로 흐르는 전류 ($i(t)$)와 전압 ($v(\tau)$)을 측정하여 전류와 초기용량을 모델식(2)에 대입하면 추정된 전압 ($\hat{v}(\tau)$)이 산출되고 이 추정된 전압과 실측전압과 차이의 제곱의 합이 최소가 되도록 하는 2차 추정에러 표준형으로 표현하면 다음과 같다.

$$I(\theta) = \int_{t-T}^t [v(\tau) - \hat{v}(\tau, \theta)]^2 d\tau \quad (3)$$

식(3)을 최소화하는 θ 를 구하는 것은 수치해석에서의 비선형 최소 자승 추정법과 동일하며, 이는 실측된 $v(\tau)$ 로부터 $\hat{v}(\tau, \theta)$ 로의 곡선 적합의 문제로 된다. 추정된 전압의 항 $\hat{v}(\tau, \theta)$ 을 $\theta = \theta_0$ 에 있을 때 테일러 급수로 확장하여 고차 항을 생략하면 식(4)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} J(\Delta\theta) &= \int_{t-T}^t \left\{ v(\tau) - \hat{v}(\tau, \theta_0) - \left[\frac{\partial \hat{v}}{\partial \theta} \right]_{\theta=\theta_0} \Delta\theta \right\}^2 d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

그리고 식(4)를 최소화하는 $\Delta\hat{\theta}$ 를 구하면 식(5)가 얻어진다.

$$\begin{aligned} \Delta\hat{\theta} &= \left[\int_{t-T}^t \left[\frac{\partial \hat{v}}{\partial \theta} \right]_{\theta=\theta_0}^2 d\tau \right]^{-1} \\ &\quad \left[\int_{t-T}^t \left[\frac{\partial \hat{v}}{\partial \theta} \right]_{\theta=\theta_0} \{v(\tau) - \hat{v}(\tau, \theta_0)\} d\tau \right] \end{aligned} \quad (5)$$

전압과 초기의 잔존용량값 ($\theta = \theta_0$)을 모델식(2)에 대입하면 추정된 전압 $\hat{v}(\tau, \theta)$ 을 얻을 수 있다. 이 추정된 전압과 실측 전압과의 차 ($v(\tau) - \hat{v}(\tau, \theta)$)를 구하고, 그 차이가 최소가 되도록 하는 함수식(5)을 이용해 $\Delta \hat{\theta}$ 라는 용량의 변화량을 구할 수 있다. 이 $\Delta \hat{\theta}$ 는 초기의 용량과 더해짐으로써 새로운 값 ($\theta_0^{k+1} = \theta_0^k + \Delta \hat{\theta}^k$)으로 갱신된다.

V. 실험장치의 구성

전지의 수학적 모델링을 위한 전 처리 과정으로 전압, 전류, 용량과의 관계를 데이터 베이스화하기 위한 충방전 시스템을 구성하였다. 제안된 모델 기반 잔존용량계를 소형 경량화 시켜서 전기가동차에 탑재하기 위하여 원칩 마이크로 컨트롤러 기능을 가진 소형 컴퓨터(SBC31)로 전지 잔존용량 측정기를 제작하였고, 잔존용량은 매 1초마다 2-디지트의 LED를 통하여 나타냈다. 기본적인 블럭도는 그림 3과 같다.

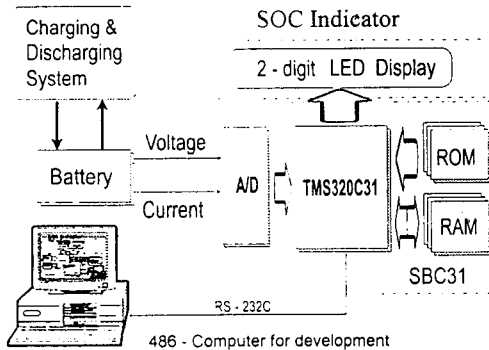


그림 3. 충방전시스템 및 SOC Indicator의 구성도
Fig. 3. Block diagram of charging-discharging system and SOC indicator.

5.1 충방전 시스템의 구성

충방전 시스템은 먼저 교류전압을 직류전압으로 만들고 120Hz의 맥류성분을 완전히 직류성분으로 만드는 정류부, 정류된 직류전압을 제어하고 전지로 흐르는 전류의 양을 피드백 하여 지령치 전류와의 차이만큼 전력용 트랜지스터의 펄스 폭을 조절해주는 정전류 제어부, 전압과 전류의 아나로그값을 디지털 값으로 변환

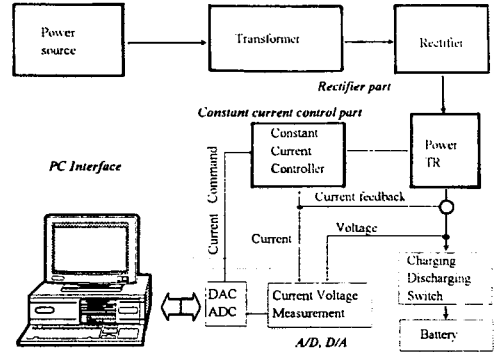


그림 4. 충방전 시스템의 구성도
Fig. 4. Schematic diagrams of charging-discharging system.

하는 A/D변환기와 PC에서 정전류 제어부에 전류 지령치를 디지털 값에서 아나로그값으로 변환하는 D/A부, PC와 인터페이스하는 인터페이스부로 구성된다. 전지를 정전류 충전과 정전류 방전을 할 수 있는 충방전 시스템의 구성은 그림 4와 같다.

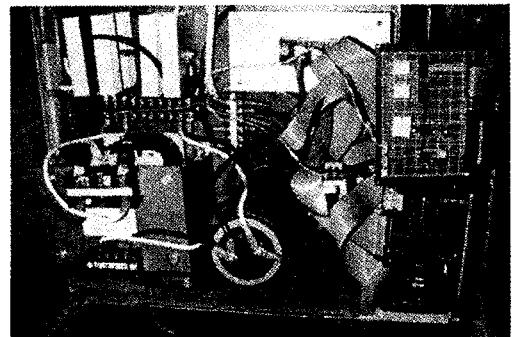


그림 5. 충방전 시스템과 SBC31
Fig. 5. Charging-discharging system and SBC31

그림 5에는 제작된 충방전 시스템과 마이크로 컨트롤러인 SBC31의 전체적인 외관을 나타냈다.

5.2 프로그램 흐름도

본 논문에서 제안한 모델기반 잔존용량계를 구현하기 위한 프로그램의 흐름은 그림 6과 같다. 프로그램이 시작하면, 하드웨어를 초기화하고 초기의 잔존용량을 0으로 설정한다. 다음 단계로 전압과 전류를 계측해

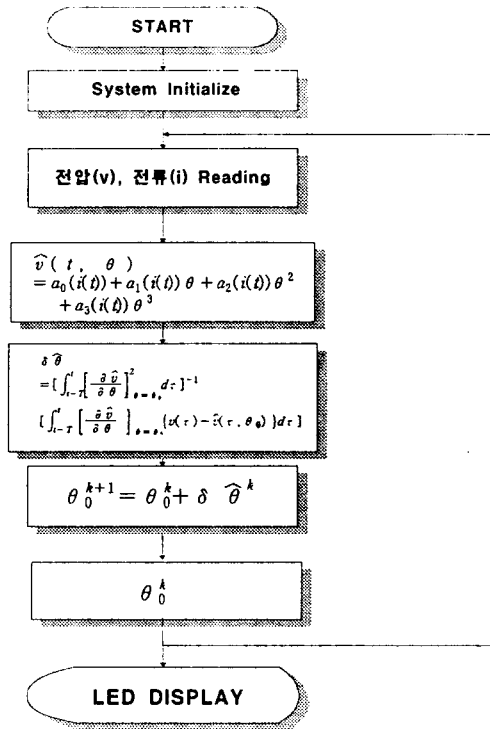


그림 6. 제안된 프로그램의 흐름도

Fig. 6. Flow chart of proposed program.

서 전류와 초기용량을 모델식에 대입한다. 이렇게 하여 추정된 전압과 실측전압의 차이가 최소화되도록 하는 용량의 변화를 구한 다음 초기의 용량과 더해서 새로운 잔존용량을 구하게 된다. 초기의 잔존 용량을 0으로 설정하더라도 10여초내에 실제의 잔존 용량값에 도달하므로 전기 자동차에서 사용하는데는 무리가 없다.

VI. 실험결과 및 고찰

6.1 전지의 방전 특성 곡선

제작된 충방전 시스템을 이용하여 6.67, 5, 4, 3.33, 2.85, 2.5h-rate의 정전류로 방전시켜서 6가지의 데이터 군을 얻었다. 그 중 6.67, 4, 2.85h-rate경우의 곡선을 그림7.에 나타냈다. 실험 결과 동일한 잔존용량에서의 전압치는 전류를 큰 전류로 방전할수록 낮은 것을 알 수 있었고, 모든 경우에 잔존용량이 내려감에 따라서 전압치도 떨어짐을 볼 수 있었는데, 잔존용량이 약 20%를 지나면서 전압은 급격히 낮아지는 것을 알 수 있었다. 본 실험에서는 로케트 전지에서 생산된 MF40을 이용하였으며, 그 용량은 40Ah이다.

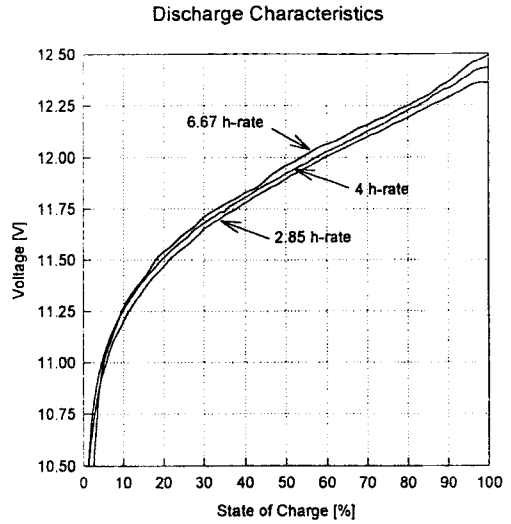


그림 7. 납축전지의 방전특성

Fig. 7. Discharge characteristics of lead-acid battery.

6.2 전지의 모델식

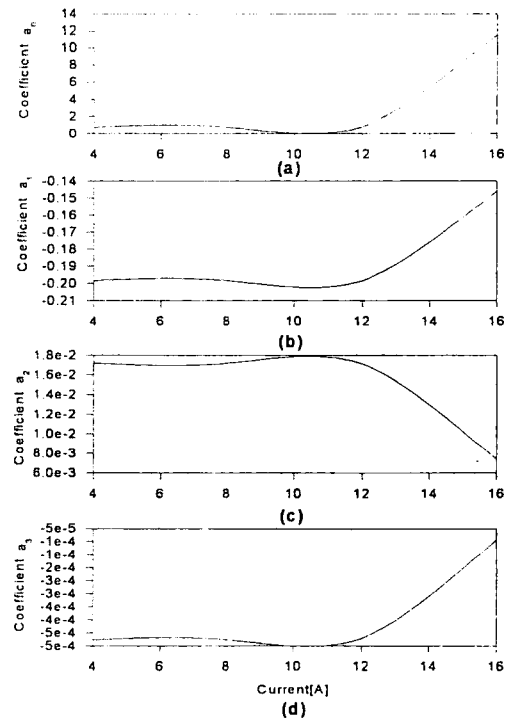


그림 8. 다항식의 각 계수 (a) a_0 (b) a_1 (c) a_2 (d) a_3

Fig. 8. Coefficients of the polynomial. (a) a_0 (b) a_1 (c) a_2 (d) a_3

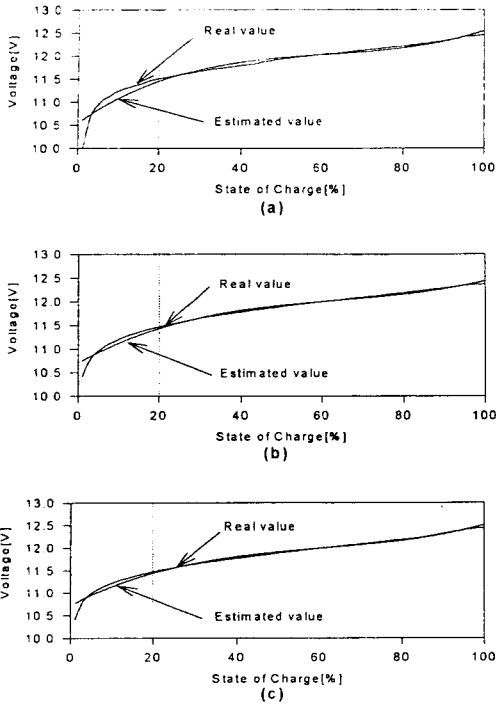


그림 9. 실제값과 추정값의 비교
 (a)6.67h-rate (b)4h-rate (c)2.85h-rate
 Fig. 9. Comparison between estimates value and real value.
 (a)6.67h-rate (b)4h-rate (c)2.85h-rate

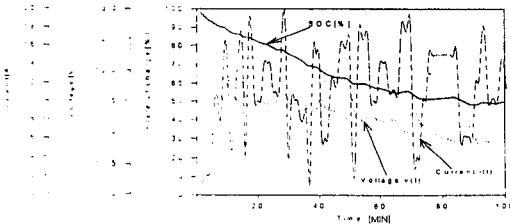


그림 10. 가변 부하에 따른 SOC 의 추정결과
 Fig. 10. Estimated State of Charge(SOC) using variable loads.

수집된 데이터를 이용하여 식(2)의 계수를 최소 자승법으로 구하여 전지를 수학적으로 모델링을 하였다. 각 계수들은 전류에 대한 함수식이 되는데, 이 것을 그림 8에 나타냈다. 이로부터 전지의 최종적인 모델식인 식(2)를 얻을 수 있었다.

6.3 실측 전압치와 모델식에 의한 추정 전압치의 비교

전지를 정전류로 방전하면서 얻은 실제 측정값과 수학적 모델링식에 의해 추정된 값을 비교하면 그림 9와 같다. 용량이 20%부터 그 이하로는 실측치와 추정치가 약간의 오차가 있으나 이 구간에도 도달하면 전지는 곧 바로 재충전을 하여야 한다. 따라서 이 구간은 실제 전기 자동차에 탑재 시에도 사용하지 않는 구간이 된다. 그러나 그 외의 구간에서는 실측치와 추정치가 잘 맞으므로 전지의 모델링은 성공적으로 수행되었음을 알 수 있다.

그리고 수치해석적인 비선형 최소자승 추정법을 응용하였으므로 데이터를 취득할 때나 실제 잔존용량을 측정할 때 발생할 수 있는 오차나 잡음의 영향을 줄일 수 있다.

6.4 가변부하에 따른 SOC의 추정

실제 전기자동차와 같이 극심한 부하의 변동상태를 만들기 위하여 제작한 가변 부하장치를 이용하여 실험한 결과를 그림 10에 나타냈다. 실험은 만충전된 상태에서 100분간에 걸쳐서 부하를 변동시켜 가면서 행하였다. 부하가 변함에 따라서 전류값이 큰 폭으로 변하고 그에 따라서 전압값도 심하게 변하는 것을 알 수 있다. 기존의 룩업 테이블법에서는 전압, 전류의 변화에 따라 잔존용량의 변동도 심하였으나, 제안된 방법에 의한 잔존용량계는 부하가 극심하게 변하는 상태에서도 잔존용량을 잘 추정하는 것을 보여주고 있다.

6.5 추정된 잔존용량과 실제의 잔존용량

추정된 잔존용량과 실제의 잔존용량을 비교하기 위하여 다음의 실험을 행하였다. 우선 가변 부하장치를 이용하여 전지를 방전시킨다. 임의의 시간에서 방전을 멈추고 그 때의 추정된 잔존 용량을 기록한다. 그리고

표 1. 추정 잔존용량과 실제 잔존용량의 비교
 Table 1. Comparison between estim soc and measure soc

실험 차수	시간 [분]	전해액 비중	실제잔존 용량[%]	추정잔존 용량[%]	오차[%]
1	17	1.2542	87.1	88.0	+0.9
2	75	1.1797	49.8	48.3	-1.5
3	33	1.2304	75.2	74.2	-1.0
4	49	1.2246	72.3	71.9	-0.4

약 1시간 반이 지나서 전지가 안정화 상태로 되면 그때 전해액의 비중을 측정하여 잔존 용량을 확인한다. 이상의 실험으로 얻은 결과는 표 1과 같다. 실험 결과 오차가 $\pm 1.5\%$ 이내로 본 논문에서 제안한 방법으로 추정된 잔존 용량이 정확한 것을 입증하였다.

Ⅶ. 결론

본 논문에서는 전기자동차용 전지 잔존용량계에 대한 새로운 접근 방법을 제안하였다.

1. 전지의 전압과 전류만 측정하면 되므로 긴 안정화 시간이 필요 없고, 전지의 수학적 모델을 사용하므로 초기 잔존용량값의 영향을 받지 않으며, 부하가 급변하여 전지의 전압 및 전류가 극심하게 변하는 상태에서도 정확하게 계측할 수 있는 모델기반 잔존용량계를 제안하였고 이를 실험을 통하여 입증하였다.

2. 많은 실험 데이터가 필요한 룩업 테이블법에 비하여 적은 횟수의 실험으로도 모델링을 할 수 있어 수고를 덜 수 있고, 많은 메모리를 사용하지 않으므로 경제적으로 구현할 수 있다.

3. 수치해석적인 비선형 최소자승 추정법을 응용하였으므로 실험상에서 발생할 수 있는 오차나 잡음의 영향을 줄일 수 있다.

4. 알고리즘이 간단하므로 전기자동차의 제어장치인 DSP의 자동차 제어 기능에 영향을 주지 않고 SOC계측이 가능하다.

5. 전지의 방전 특성 데이터를 확보하기 위한 정전류 방식의 충방전 장치를 제작하였고, 모델링을 위한 전압, 전류의 데이터 취득은 컴퓨터를 통하여 온라인으로 처리할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 전지의 노화등으로 인한 전지 특성 변화나 온도의 영향을 고려하지 않았으나, 특성이 변하더라도 잔존용량을 오차 없이 측정할 수 있는 잔존용량계의 개발이 향후 과제라고 생각한다.

* 이 논문은 전남대 자동차공학 학술연구비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] J.H Aylor and S.H Lim, "Improvements and performance of an adaptive battery monitor," Proc. 10th Annu. Conf. Rehabilitation Technology, June pp.19-23, 1987.
- [2] W.Visscher, L.A.M.Van Dongen, "Theoretical prediction of electric vehicle energy consumption and battery state-of-charge during arbitrary driving cycles. Battery state of charge model for driving cycle operation," Elektrotechnik, Vol.61, No.2, pp.95-102, 1985.
- [3] W.Schleuter, "On the determination of the state of charge of batteries," ETZ Arch., Vol.4, No.3, pp.91-98, 1982.
- [4] C.E.Barbier, H.L.Meyer, B.Nogarede, S.Bensaoud, "A battery state of charge indicator for electric vehicle," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Automotive Electronics. International Conference, pp.29-34, 1994.
- [5] P.Lurkens, W.Steffens, "State of charge estimation of lead-acid batteries using a Kalman Filtering technique," ETZ Arch., Vol.8, No.7, pp.231-236, 1986.
- [6] G.P Hancke, "A Fiber-Optic Density Sensor for Monitoring the State-of-Charge of a Lead Acid Battery," IEEE Trans. Inst. and Measure., Vol.39, No.1, pp.247-250, Feb. 1990.
- [7] R.Weiss, J.Appelbaum, "Battery state of charge determination in photovoltaic systems," J. Electrochem. SOC., Vol.129, No.9, pp.1928-1933, 1982.
- [8] L.Mariotti, "Practical operation of an electronic checker of the state of charge and the ageing of lead acid batteries," Note Recens. and Not., Vol.32, No.3, pp.104-111, 1983.
- [9] J.H Aylor and KL Short, "A microcomputer-based battery monitor," in Proc. 1985 RESNA Conf., June pp.24-28, 1985.
- [10] David Linden, Handbook of Batteries, McGRAW-HILL, pp.24.36~24.37, 1994
- [1] J.H Aylor and S.H Lim, "Improvements and performance of an adaptive battery monitor,"

 著 者 紹 介

임 영 철

「센서학회지 5권 2호」 논문 96-5-2-06, p.37참조.
 현재 전남대학교 전기공학과 교수

박 종 건

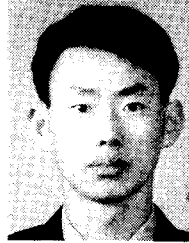
「센서학회지 1권 1호」 논문 92-05, p.43참조.
 현재 전남대학교 전기공학과 교수

류 영 재

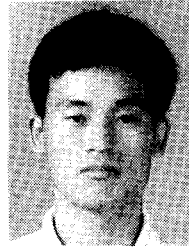
「센서학회지 5권 2호」 논문 96-5-2-06, p.37참조.
 현재 전남대학교 전기공학과 박사과정

김 의 선

「센서학회지 2권 1호」 논문 93-07, p.49참조.
 현재 서남대학교 전기공학과 전임강사

**변 성 천**

1969년 8월 14일생. 1995년 2월
 전남대학교 물리학과 졸업(이학
 사). 현재 전남대학교 대학원 전기
 공학과 석사과정 재학중.

**이 홍 수**

1969년 5월 3일생. 1994년 2월 전
 남대학교 전기공학과 졸업(공학
 사). 1996년 8월 전남대학교 대학
 원 전기공학과 졸업(공학석사). 현
 재 대우전자(주) 모니터연구 2팀