

배터리 'State of Charge' 예측 알고리즘 구현

論 文

10-1-4

Implementation of Battery 'State of Charge' Estimation algorithm

김 용 호, 김 대 환*

Yong-Ho Kim and Dae-Hwan Kim

Abstract

These days more electric devices are implemented in car, and more accurate estimation of SoC is required. OCV with current integration and Internal Resistance is essential method of Battery SoC Estimation. In this paper we propose OCV with current integration method and compare with Internal Resistance method. In OCV with current integration method estimation error was less than average 2%, but requires more than 5 minutes to stabilize OCV. If Stop and Running conditions are change frequently, estimation error will increase. In Internal resistance Modeling method, in high SoC state, estimation error was more than 15%, and in low SoC state, estimation error was less than 8%.

Keywords : Battery, SoC, Ah Integration, Internal Resistance

I. 서 론

일반 차량의 전기시스템은 알터네이터, 배터리, 전기부하(ECU, FAN, Start Motor 등)로 구성된다. 알터네이터는 차량의 주 전기 공급 장치로 엔진에 결합되어 시동 이후 80~100A의 전류를 공급하여 차량 전기장치를 구동한다. 배터리는 엔진의 시동에 필요한 600A 이상의 전류를 공급한 후, 부하가 줄어들고, 시동 이후 알터네이터에서 발생한 에너지를 충전한다. 완전충전 이후 배터리로 공급되는 전류는 감소하며 안정화 상태를 유지하다가 냉각팬, 에어컨, 헤드램프 등 많은 에너지를 필요로 하는 차량의 부하장치가 작동하면 부족한 에너지를 공급한다. (에어컨의 작동에는 최대 20A의 전류를 필요로 하나, 알터네이터는 순간적으로 전류공급이 증가하지 않으며, 1~2초의 지연이 발생한다. 이때 부족한 전류를 배터리가 공급한다.)

차량 배터리는 일정이상 방전하면 그 이후의 전압강하가 급격하게 발생한다. 이 전압을 방전종지 전압이라 하며 배터리의 용량은 Ampere-hour(Ah)로 표시하고, 27℃에서 20시간동안 방전종지 전압에 이르기 까지 일정한 전류로 방전할 수 있는 전류량을 표시한다[1].

$$\text{배터리용량}(Ah) = \text{방전전류}(A) \times 20(h) \quad (1)$$

용량이 60Ah인 배터리는 20시간동안 3A로 방전시켰을 경우 전압이 10.5V까지 감소하며, 그 이하로 전압이 감소한 경우 더 이상 전류를 공급하지 못하는 것은 아니지만 이하의 전압까지 용량이 감소한 경우 배터리 내부의 손상이 발생한다 [1].

배터리는 반복적인 충전과 방전과정에서 내부의 + 극판에 황화물이 부착되어 배터리의 용량이 감소하게 된다. 다른 배터리의 성능저하 원인으로 알터네이터의 전압변동과 과방전이 원인이 된다. 전압변동은 엔진회전수 부족, 과도한 전기소비, 알터네이터 고장, 누전 접지 불량 등으로 인한 충전부족 및 과방전이다.

과충전의 원인은 알터네이터는 14~15V로 일정

접수일자 : 2011년 01월 16일

심사일자 : 2011년 02월 15일

수락일자 : 2011년 03월 18일

*교신저자, E-mail : kimdh@keti.re.kr

한 전압을 공급하고 있으나, 배터리는 13.8V 이상의 과전압이 공급되는 경우 노화가 가속되어 사용시간이 줄어든다. 따라서 차량의 배터리 수명 감소와 차량 전기장치가 오동작하게 된다.

본 연구는 차량 배터리의 전압, 전류를 모니터링, 배터리의 충전 전압, 전류 제어를 통해 배터리의 수명단축을 예방하며, 성능을 향상시키는 배터리 관리 시스템(Battery Management System, BMS) 적용을 위해 차량 배터리의 잔존용량을 추정하기 위한 Internal Resistance 기반의 SoC 추정과 OCV 기반의 전류적분방식 SoC 추정을 모의 데이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하고, 각 방법에서 장단점을 연구하였다.

II. 차량 배터리 잔존용량 추정

1. 잔존용량 (State of Charge, SoC)

SoC는 배터리가 공급할 수 있는 전류의 잔량을 의미하며, 배터리의 비선형적 특성으로 정확한 예측을 수행하는 것은 어렵다. 잔존용량 예측을 위해 전류적분, Open Circuit Voltage(OCV), 비중 측정법, 내부저항 추정 등 배터리 잔존용량 예측을 위해 많은 연구가 수행되었다.

2. Open Circuit Voltage(OCV) 측정

OCV는 잔존용량과 선형적인 특성을 보이며, 이러한 특성을 이용하여 배터리에서 부하전류가 없을 때 단자전압을 측정하여 배터리의 잔존용량을 추정할 수 있다[1].

표 1. OCV 테이블

SoC (%)	전압 (V)	비중계
100	12.70	1.265
90	12.58	1.249
80	12.46	1.233
70	12.36	1.218
60	12.28	1.204
50	12.20	1.190
40	12.12	1.176
30	12.04	1.162
20	11.98	1.148
10	11.94	1.134

3. 전류적분 (Current Integration)

전류적분법은 배터리의 충전/방전 전류를 전 가동 시간에 걸쳐 적분하여 잔존용량을 산출한다. 그러나 측정오차와 측정시간 장기화에 따라 누적오차가 증가하며, 완전충전 후 잔존용량을 100%로 수정해야 한다[2, 3].

$$SoC(t+1) = Q - \int_0^t H(t)dt \quad (2)$$

Q : Whole discharging capacity

H(t) : Battery current (charge & discharge)

4. 내부 저항 (Internal Resistance) 모델

내부저항 모델링 방법은 배터리를 R/L/C 소자로 모델링하고, 측정된 전압/전류를 모델에 적용하여 SoC를 추정한다[4].

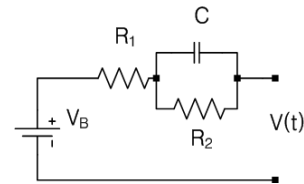


그림 1. 내부저항 모델링

그림 1의 내부저항 모델에서 전압 V(t)는 다음과 같이 결정된다.

$$V(t) = V_B - I(R_1 + R_2) + R_2 I \cdot e^{-\frac{1}{CR_1}} - VC \cdot e^{-\frac{1}{CR_2}} \quad (3)$$

내부저항의 추정을 위해 배터리의 [그림 3]와 같이 전압/전류의 변화를 측정하고, $r = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ 로부터 그림 3과 같은 내부 저항을 추정한다.

$$\Delta I = I_2 - I_1, \quad \Delta V = V_1 - V_2 \quad (4)$$

$$C^* = \alpha V + \beta R + \gamma \sqrt{V} + \delta \sqrt{R} + Const \quad (5)$$

$$C^* = (C_1^* \ C_2^* \ \dots \ C_n^*)^T \quad (6)$$

$$X = \begin{pmatrix} V_1 & R_1 & \sqrt{V_1} & \sqrt{R_1} & 1 \\ V_2 & R_2 & \sqrt{V_2} & \sqrt{R_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_n & R_n & \sqrt{V_n} & \sqrt{R_n} & 1 \end{pmatrix}$$

$$a = (\alpha \beta \gamma \delta Const)^T \quad (7)$$

$$a = (X^T X)^{-1} X^T C$$

$$C = (SOC_1 SOC_2 \dots SOC_n)^T$$

a 행렬로부터 배터리의 파라미터를 도출하고, 식 5에 대입하여 SoC 추정에 사용한다.

4. 배터리 충전

차량 배터리 충전을 위해서는 2가지 기능을 수행해야 한다. 첫 번째는 적절한 속도로 용량회복을 위한 에너지를 공급하는 것, 두 번째는 배터리의 자연방전을 방지하기 위해 지속적으로 에너지를 공급하여 주는 것이다.

배터리의 완전충전 이후에 배터리의 용량을 유지하기 위해서는 일정한 전압을 유지하여야 한다. 인가되는 전압은 자연방전을 보상할 수 있도록 충분한 전압을 필요로 하며, 과도한 충전전압 인가는 내부 전해물질의 열화현상을 발생시킨다.

배터리의 최대용량 충전과 수명향상을 위해서 그

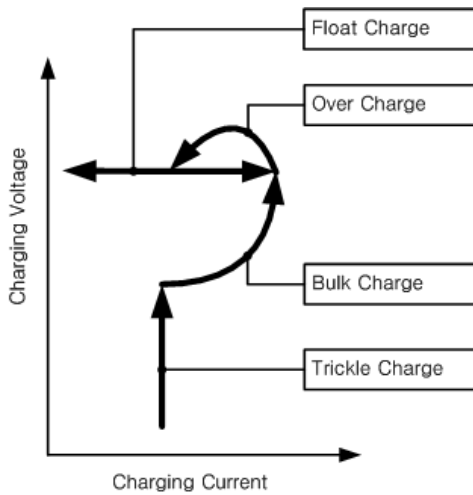


그림 2. 4단계 충전 알고리즘

림 2와 같이 4개로 충전단계를 분리할 수 있다[5].

- 1) trickle charge : 배터리가 deep discharge(과방전)로 측정 전압이 기준치 이하인 경우 (개별 cell의 전압이 1.7미만, 10.2~10.5V 사이) 낮은 전류로 일정 전압까지 충전
- 2) bulk charge : trickle charge로 일정 이상 전압이 회복된 경우 full charge를 위해 높은 전류로 다량의 에너지를 공급

- 3) over charge : 최대 용량 이상으로 에너지가 공급된 경우 공급전압을 증가시키면서 Bulk charge의 1/10 전류가 될 때까지 에너지를 공급
- 4) float charge : 충전이 완료된 이후 자연방전에 의해 에너지가 누수 되는 것을 방지하기 위해 에너지를 공급

III. 실험방법 및 결과

본 연구에서는 임베디드 환경에 적합한 SoC 추정방법 도출을 위해 1) Internal Resistance 추정방법과 2) OCV와 전류적분방법을 혼합한 2가지 SoC 추정방법에 대하여 비교를 수행하였다.

1. Internal Resistance 연산을 통한 SoC 추정

SoC 추정을 위해 40Ah 용량을 갖는 Delkor사의 "DF40L" 배터리를 그림 3과 같이 5초 단위로 4A 변화를 주고, 1초간의 휴지기를 두어 전압, 전류, 충전잔량 데이터를 수집하였다.

측정된 데이터를 Matlab으로 가공하여 ΔI , ΔV 를 계산하고, SoC에 따른 Internal Resistance를 추출하였다.

이후 Matlab에서 행렬 연산을 통해 X , a 행렬을 계산하고, 전압 및 전류입력을 a 행렬에 대입하여 SoC를 추정하였다.

그림 4에서 3시간 동안의 모니터링에서 SoC는

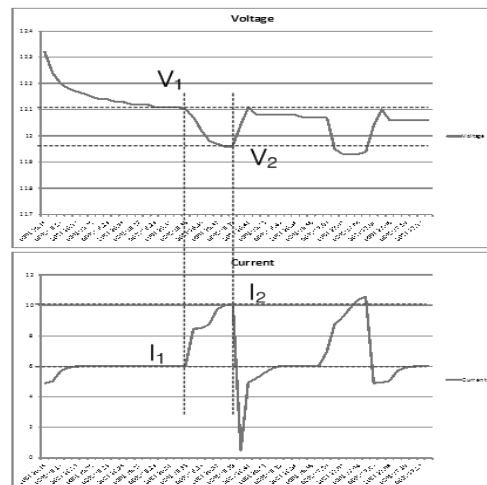


그림 3. 전압 전류 변화 측정

80%에서 40%로 감소하였고, 전압은 10.5V까지 감소하였다.

그림 5와 같이 방전이 진행됨에 따라 내부저항은 0.03Ω에서 0.08Ω까지 증가하였다. 이후 10.5V에 도달하여 방전을 중지하였으며, 지속적인 방전이 발생 할 경우 Internal Resistance는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

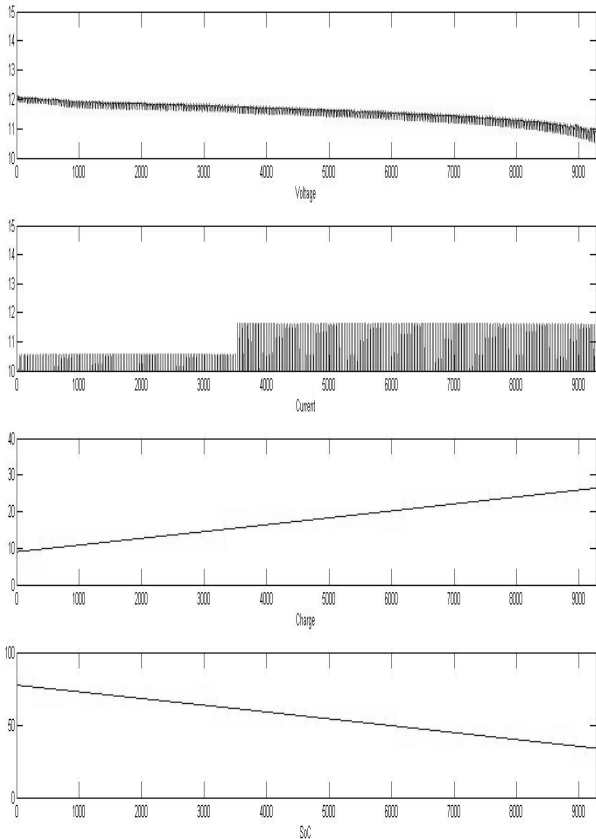


그림 4. 전압, 전류, 방전량, SoC 변화

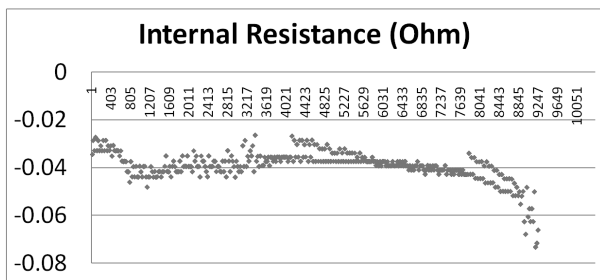


그림 5. 내부 저항 변화

식 (6)으로부터 다음과 같은 파라미터를 도출하였고, 표 2의 파라미터를 입력 전압과 전류에 대입하여 표 2와 같은 SoC 추정 파라미터를 추출하였다.

표 2. 도출된 파라미터

Parameter	Value
α	49.609
β	35.139
γ	-6824.528
δ	19.241
θ	11119.640

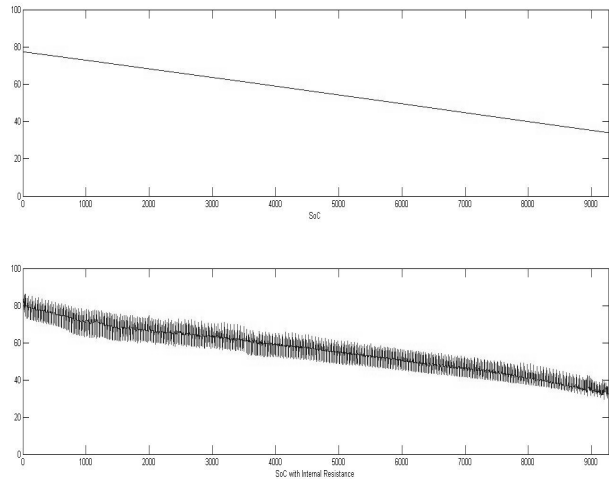


그림 6. a) 측정된 SoC, b) 추정된 SoC

그림 6의 b)와 같이 추정된 SoC는 최대 ±12%의 오차를 가지며, SoC의 변화가 큰 까닭은 입력 부분에서 1초간의 방전 지연시간을 추가하여 전압/전류의 변동이 증가하였으며, 내부 저항 추정에 영향을 끼친 것으로 분석된다.

2. OCV와 전류 적분을 통한 SoC 추정

OCV와 전류적분을 이용하여 “DF40L” 배터리를 그림 7과 같이 충전과 방전을 반복하며 전압, 전류 및 충전잔량을 측정하였다.

차량의 주차, 시동, 운행, 정차까지의 모니터링

No.	Mode	Step Setting										
		Set Value		Cut Off		Time			Cycle	Jump Step	Completion	
		Voltage	Current	Under Voltage	Under Current	Hour	Minute	Second				
1	BGN	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	□□□□□□
2	PAU	0.00	0.00	0.00	0.00	0	5	0	0	0	0	□□□□□□
3	DCH	0.00	28.00	9.00	0.00	0	0	30	0	0	0	□□□□□□
4	CHA	14.40	5.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	□□□□□□
5	DCH	0.00	5.00	0.00	0.00	0	0	5	0	0	0	□□□□□□
6	CHA	14.40	10.00	0.00	0.00	0	0	5	0	0	0	□□□□□□
7	CYC	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	30	5	0	□□□□□□
8	DCH	0.00	10.00	0.00	0.00	0	0	10	0	0	0	□□□□□□
9	CHA	14.40	5.00	0.00	0.00	0	0	10	0	0	0	□□□□□□
10	CYC	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	30	8	0	□□□□□□
11	CHA	14.40	4.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	□□□□□□
12	PAU	0.00	0.00	0.00	0.00	0	10	0	0	0	0	□□□□□□

그림 7. 배터리 충/방전 프로파일

시간 30분간의 프로파일을 그림과 같이 작성하여 전압, 전류, 충전잔량을 모니터링 하였다.

차량의 주차시간동안 배터리의 잔량을 Open Circuit Voltage로 결정하고, 시동, 운행기간동안의 전류를 적분하여 SoC 를 추정하였다. 추정에 사용한 알고리즘은 그림 8과 같으며, 모의운행 데이터 분석에 Matlab을 사용하였다.

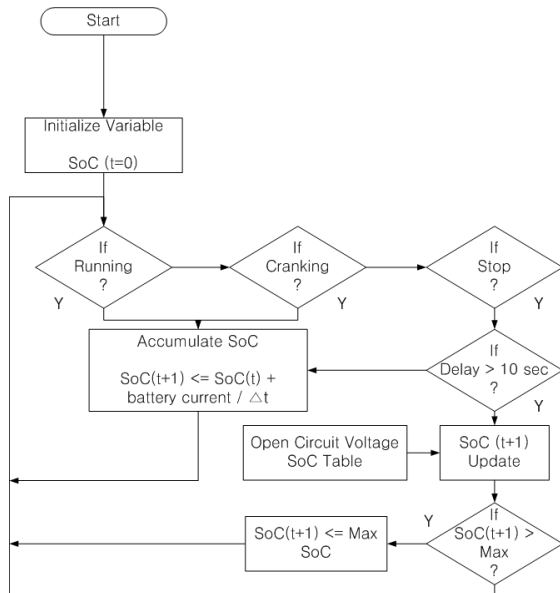


그림 8. OCV 테이블과 전류 적분을 이용한 SoC 추정

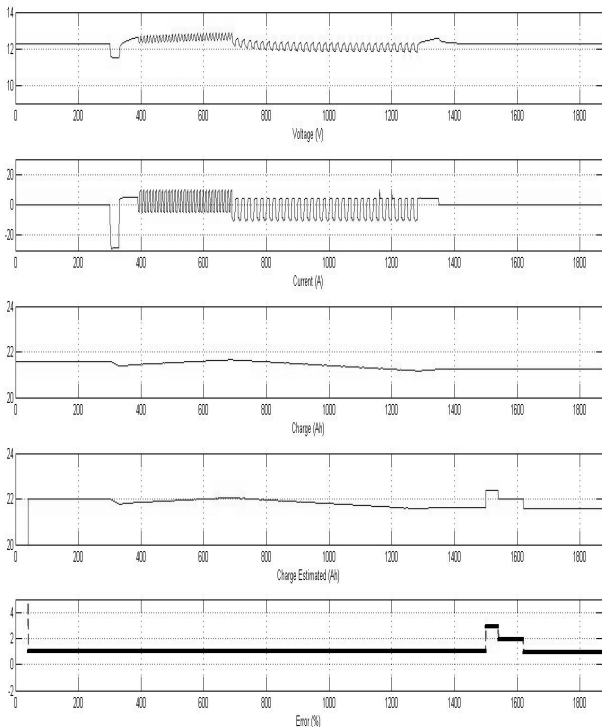


그림 9. 차량의 모의주행 데이터 및 추정 SoC

그림 9와 같이 12.25V에서 시작된 측정에서 방전과 충전을 반복하며 차량의 SoC는 21.7 ~ 21.9Ah에서 변화하였으며, 주행 전/후 배터리의 안정화를 위해 5분 이상의 측정시간을 필요로 하였다.

그림 9 d)에서 SoC의 에러율은 1.2%이며, 1500초에서 에러가 증가한 이유는 충전 중단 이후 배터리 전압이 안정화 되지 않은 상태에서 OCV를 사용하여 잔존용량을 추정하였기 때문이며, 약 150초 이후 안정화되었다.

시뮬레이션의 에러는 개로전압으로부터 SoC 추정을 위해 사용한 Table이 4~6 mv단위 offset을 가지고 배치되어 있기 때문으로 확인되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 배터리의 SoC 추정을 위해 Internal Resistance 측정, OCV 및 전류적분을 이용한 방법을 사용하였다.

Internal Resistance 추정방법에서는 저수준 SoC 상태에서 에러가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 추정을 위해 사용한 전류오차에 많은 영향을 받는 것을 확인하였다.

OCV와 전류적분 방식에서는 평균오차는 2% 미만이었으나 배터리의 안정화에 필요한 시간이 5분 이상 필요하였으며, 잦은 정차/주행 환경이 발생하는 환경에서는 오차가 증가할 것으로 예상된다.

향후 연구에서는 Internal Resistance 기반의 추정방법과 제안된 OCV 및 전류적분을 활용한 SoC 추정방법을 실차량에 적용하여 시뮬레이션 결과와 비교하고자 한다. 또한 배터리의 교체시기 등을 알려줄 수 있는 SoH 추정방법에 대한 연구도 필요하다.

감사의 글

이 연구는 2009년도 지식경제부의 국가플랫폼기술개발사업 지원에 의한 결과임.

[참고 문헌]

- [1] “납 배터리(연축전지) 의 충.방전” Delkor
- [2] V. Coroban, I. Boldea, and F. Blaabjerg "A Novel On-line State-of-Charge Estimation Algorithm for Valve

- Regulated Lead-Acid Batteries used in Hybrid Electric Vehicles," *Proceedings of International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics*, pp. 39-46, 10-12 Sept. 2007.
- [3] 송정남, "납축전지 잔존용량 측정을 통한 태양광발전 시스템 운용 개선에 관한 연구" 인하대학교 전기공학과 석사학위 청구논문, 2004
- [4] S. Sato and A. Kawamura, "A New Estimation Method of State of Charge Using Terminal Voltage and Internal Resistance for Lead Acid Battery," *Proceedings of IEEE PCC*, Osaka, Japan, 2002, Vol. 2, pp. 565-570.
- [5] J. A. O'Connor "Simple Switchmode Lead-Acid Battery Charger," *Unitrode Application Note*, 1995-96, pp. 10-260-10-268.

Biography



김 용 호

1998년 건국대학교 전자공학과 졸업
2000년 건국대학교 전자공학과(공학석사)
2000년~현재 전자부품연구원
<관심분야> Embedded System
에너지 관리

<e-mail> yhkim@keti.re.kr



김 대 환

1991년 명지대학교 전자공학과 졸업
1993년 명지대학교 전자공학과(공학석사)
1993년~현재 전자부품연구원
<관심분야> 대기전력질감, IP-USN
<e-mail> kimdh@keti.re.kr