

전기 자동차용 Lead-acid 축전지 잔류용량 측정

정 병 창* 권 순 신** 이 성 룡** 류 철 로*
 *전북대 전기공학과 **군산대 전기전자제어공학부

Charge Estimation of Lead-acid batteries for Electric Vehicles

Byoung-Chang Jeong* Soon-Shin Kwon** Seong-Ryong Lee** Chul-Ro Yu*
 *Chonbuk National Univ. **Kunsan National Univ

Abstract - Various methods for estimation of residual charge of the lead-acid battery have been proposed. But no method can estimate accurately the residual capacity.

A new method is proposed in this paper. And experiments were performed for verification of the proposed estimation method.

면 방전을 중단한다. 방전전류는 약 3.7A이며 사용된 배터리의 용량은 대략 26Ah이다.

측정하려는 대상은 초퍼의 스위치가 off 일때 축전지 양단 전압 V와 초퍼의 스위치가 on일때와 off일때의 축전지 양단의 전압차 ΔV, 그리고 스위치가 on일 때 흐르는 전류이다.

1. 서 론

전기자동차는 화석 연료 자동차에 비하여 공해와 소음 문제 등에서 많은 장점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고, 아직 널리 이용되지 못하고 있는 주된 원인은 전기 자동차를 위한 새로운 시설들에 들어가는 초기 시설 비용이 많고 현재의 축전지 기술로는 화석 연료 자동차에 비해서 주행거리가 짧다는 것이다. 그러나 가장 중요한 요인은 축전지의 잔류 용량을 정확하게 측정할 수 없기 때문에 운전자는 목적지에 도착하기 전에 도로에서 축전지의 잔류 용량이 바닥 날수도 있다는 걱정을 하게 되고, 이것이 전기자동차의 대중화를 늦추고 있다. 그러나 이러한 문제는 축전지의 충전상태 또는 잔류용량을 정확하게 알 수 있다면 해결할 수 있다.

축전지의 잔류 용량을 정확하게 측정해야 하는 다른 이유도 있다. Lead-acid 축전지를 충전할 때 충전용량보다 더 충전하는 과충전은 Lead-acid 축전지의 수명을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 심한 경우 Lead-acid 축전지가 파괴될 수도 있다.

그래서 Lead-acid 축전지의 잔류용량을 정확하게 측정하기 위한 여러 가지 방법들이 연구되어 왔다. 전압(기전력) 측정법, 전류 적분법, 내부저항 측정법 등등 많은 방법이 제안되었으나 측정의 정확도는 상당히 낮았다. 최근에는 전압과 내부저항 측정법을 결합한 측정법이 제안되었다. [1] 이 측정법은 상온(25℃)에서는 상당한 정확도를 보였다. 그러나 Lead-acid 축전지의 가용 용량은 온도가 낮아질수록 줄어드는 성질이 있기 때문에 Lead-acid 축전지 주변의 온도가 낮아지면 측정의 정확도 역시 낮아지는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존에 제시된 방법의 장·단점을 분석하여 이들의 단점을 보완할 수 있도록 잔류 용량 측정시 주변의 온도를 고려한 새로운 Lead-acid 축전지 잔류 용량 측정 알고리즘을 제시하였고, 실험을 통하여 이를 입증하였다.

2. 본 론

2.1 실험 조건 및 방법

간단한 초퍼와 부하를 사용하여 그림 1 과 같은 회로를 구성하고 방전하면서 얻은 데이터를 이용하여 기존의 측정법과 새로 제안한 방법에 따라서 잔류용량을 구해보고 각 방법에 따른 측정값과 실제값과의 차이를 비교하고 한다. 초퍼는 1kHz로 스위칭을 해주고, 스위치가 off일 때 배터리 양단의 전압이 중지전압인 10.5V에 도달하

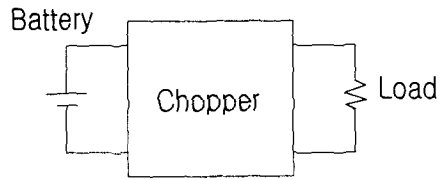


그림 1. 방전회로

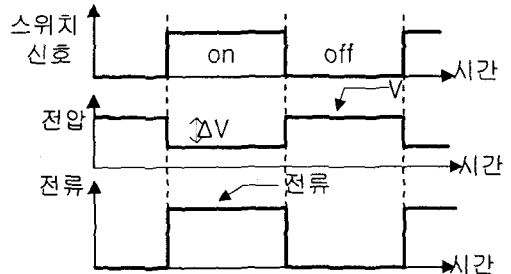


그림 2. 측정하려는 전압 V, ΔV 와 전류

2.2 기존의 측정법

기존에 제안된 측정법으로는 기전력 측정법, 전류 적분법, 내부저항 측정법 그리고 전압과 내부저항을 함께 이용한 측정법(제안자의 이름을 붙여서 앞으로는 가와무라 측정법이라고 하자)이 있다. 각 측정법의 문제점에 대해서 살펴보기로 하자.

2.2.1 전압(기전력) 측정법

축전지의 기전력으로 잔류용량을 측정하는 방법으로 축전지의 기전력 E는

$$E = E^0 + 0.0591 \ln \frac{a_1}{a_2} \tag{1}$$

E⁰는 정상조건에서의 전극의 전압, a₁, a₂는 H₂SO₄와 H₂O의 활성도이다 [2]. 단 배터리를 방전할 때 초퍼의 스위치가 off인 상태에서 배터리 양단 전압을 기전력과 같다고 생각하고 측정한다.

이 방법은 전압이 잔류용량에 선형적으로 비례한다는 가정을 가지고 측정하는 방법이다. 그러나 그림 3에서 보여주듯이 잔류용량이 클 때는 오차가 거의 없지만 잔류용량이 작아지면 오차가 급격하게 커지는 단점이 있어

서 잔류용량이 적은 곳에서는 정확한 측정이 불가능하다.

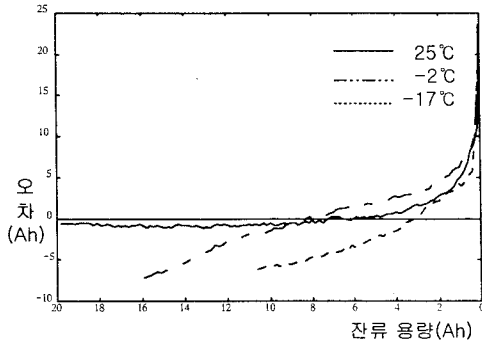


그림 3. 전압 측정법에서의 잔류용량과 오차

2.2.2 전류 적분법

기존의 측정법 중에서 가장 정확도가 낮은 방법이다. 이 방법은 방전된 전류를 적분해서 잔류용량을 알아내는 방법으로 배터리의 초기 충전용량을 알면 정확도가 상당히 높지만 전에 충전한 다음의 정확한 잔류 용량을 모르면 측정이 불가능하다는 단점이 있다. 그래서 잘 사용하지 않는 방법이다.

2.2.3 내부저항 측정법

배터리의 등가회로는 그림 4 와 같이 표현할 수 있다. V_B 는 이상적인 축전지이고, R_1 은 전해물과 전극사이의 저항, R_2 는 전해물과 전극사이의 전송저항, C 는 전해물과 전극 사이의 캐패시턴스다. 그런데 정상상태에서는 캐패시턴스 성분을 제거할 수 있으므로, 전압과 전류의 관계는

$$V(t) = V_B - I(R_1 + R_2) \quad (2)$$

이 식을 다시 정리하면

$$R_1 + R_2 = \frac{V(t) - V_B}{I} = \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$

내부저항 $R_{in} = R_1 + R_2$ 이다.

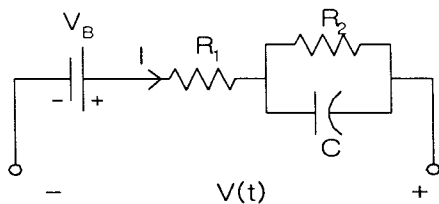


그림 4. 축전지의 등가회로

내부저항을 구하면 아래와 같은 식에 의해서 잔류 용량을 측정할 수 있다.

$$Ah = \frac{a}{R_{in} - b} + c \quad (4)$$

a, b, c는 상수로 최소 자승법을 이용해서 구한다.

그러나 축전지의 내부저항을 이용해서 측정하면 그림 5 처럼 용량 상관없이 오차가 큰 단점이 있다. 그래서 정확한 측정이 불가능하다.

2.2.4 가와무라법

가와무라법은 앞에서 말한 방법중에서 전압 측정법과 내부저항 측정법을 혼합한 형태이다. [1] 이 방법에 따르면 축전지의 잔류용량 C_{resi} 는

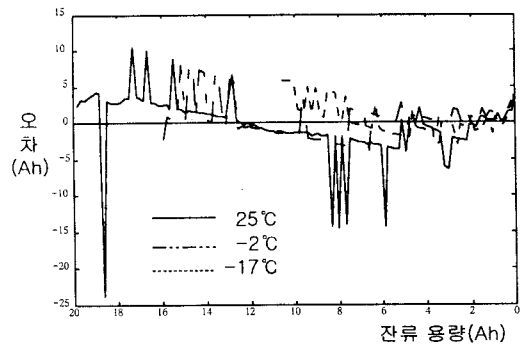


그림 5. 저항 측정법에서의 잔류용량과 오차

$$C_{resi} = \alpha V_e + \beta r_{in} + \gamma \frac{\partial r_{in}}{\partial Ah} + Const \quad (5)$$

이다[3]. 우변의 첫 번째 항은 전압을 고려했고 두 번째 항은 내부저항을 고려했다. 세 번째 항은 잔류 용량이 얼마 남지 않았을 때 축전지의 잔류 용량에 관계된 항이며 네 번째는 보정을 위한 항이다. 이 식을 정리하면

$$C_n = \alpha V_n + \beta R_n + \gamma R'_n + Const \quad (6)$$

과 같이 되어서 n개의 데이터를 이용하여 각 파라미터를 구한다면 각 파라미터 $\alpha, \beta, \gamma, Const$ 는 측정된 데이터를 행렬의 형태로 배열하여 데이터 행렬의 역행렬을 양 변에 곱해서 오른쪽 항에 파라미터만 남게하여 얻는다. 만일 행이 5행 이상이면 pseudo 역행렬을 이용하여 파라미터를 구한다.

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 & R_1 & R'_1 & 1 \\ V_2 & R_2 & R'_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_n & R_n & R'_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ Const \end{bmatrix} \quad (7)$$

이렇게 구한 파라미터를 이용하여 축전지의 잔류용량을 계산하고 오차를 구하면 아래의 그림 6 와 같다.

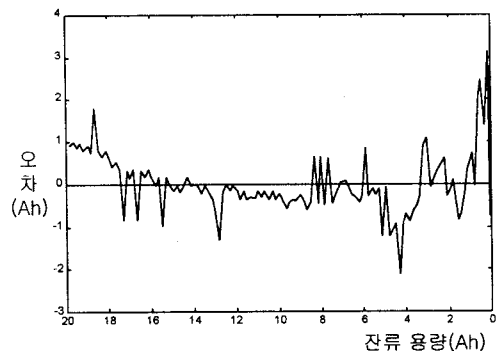


그림 6. 가와무라법(25°C)에서의 오차

그러나 배터리의 가용용량은 온도에 영향을 받기 때문에 일정한 온도(25°C)에서 구한 파라미터를 더 낮은 온도 혹은 더 높은 온도에서 구한 데이터에 적용을 하면 실제의 값과는 상당한 차이가 있다(그림 7.). 즉 가와무라 측정법 역시 일정한 온도(25°C)에서는 정확도가 상당히 높지만 주변의 온도가 변하면 측정의 오차가 커지는 단점이 있다. 특히 겨울철같은 경우 주변의 온도가 0°C 이하로 내려가면 실제 용량의 절반정도만 사용할 수 있기 때문에 온도에 의한 영향을 고려해야 한다. 온도가 낮을수록 오차가 커진다(그림 7.).

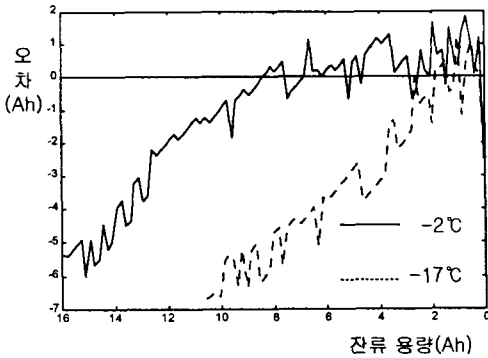


그림 7. 가와무라 측정법에서 0°C이하에서의 잔류 용량과 오차

2.3 개선된 가와무라법

앞에서 설명한 것과 같이 가와무라법은 온도를 고려하지 않았기 때문에 측정의 정확도가 주변의 온도에 영향을 받는 단점이 있다. 이점을 개선하기 위해서 축전지의 잔류용량을 측정할 때 주변의 온도를 고려해 주는 단계가 필요하다.

2.3.1 온도의 영향

온도가 축전지의 용량에 미치는 영향은 간단하게 계산하면 1%/1°C 정도 된다. 그러나 이 방법은 상당히 간단한 방법으로 IEC(1967)에 따르면 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.(3)

$$K_{30} = \frac{K_t}{1 + 0.008(t - 30)} \quad (8)$$

단, K_{30} 은 30°C에서의 축전지의 용량, K_t 는 t°C에서의 용량이다. 그러나 축전지의 방전실험은 보통 25°C에서 이루어지므로 특정 온도 t°C에서의 용량을 알기 위해서는 식을 다음과 같이 변형하여야 한다.

$$K_t = \frac{1}{0.96} K_{25} [1 + 0.008(t - 30)] \quad (9)$$

이 식을 가와무라 측정법에 도입하는 것이다.

2.3.2 온도의 측정

측정은 다음과 같은 순서로 진행된다.

먼저 25°C에서 가와무라 측정법에 의해서 파라미터 α , β , γ , Const를 구한다. 그리고, 특정 온도 t°C에서의 데이터와 앞에서 구한 파라미터를 이용하여 축전지의 잔류 용량을 계산한다. 다음에 식(9)을 이용한다. K_{25} 에는 앞에서 구한 용량을, t'에는 측정된 온도를 대입하여 실제 용량 K_t 를 구한다.

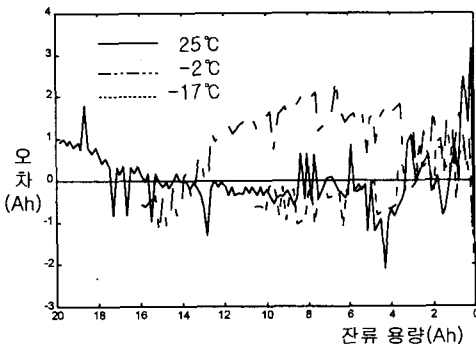


그림 8. 개선된 가와무라 측정법에서의 잔류 용량과 오차

그림 8에서 개선된 방법을 적용했을 때 축전지의 용량과 오차의 관계를 보여주고 있다. 가와무라 측정법과는 달리 온도가 변하여도 측정의 오차는 25°C에서와 비슷한 수준이다.

3. 결 론

축전지의 잔류 용량은 축전지를 동력원으로 이용하는 시스템에서는 실제 운전 가능한 시간을 나타내기 때문에 매우 중요하다. 그러나 기존의 여러 잔류 용량 측정법들은 온도에 관계없이 상당한 오차를 갖는다. 가와무라 측정법 역시 잔류 용량을 측정할 때 주변의 온도를 생각하지 않고 일정 온도(25°C)에서 사용한다고 가정했기 때문에 전기자동차나 개방된 곳에서 사용하면 일정 온도(25°C)일때만 정상적인 측정이 가능하다는 제약이 따른다. 또는 정확한 측정을 하기 위해서 축전지 주변의 온도를 항상 25°C로 맞추기 위해서 에너지를 소비해야 한다.

그러나 본 논문에서 제시한 방법은 축전지의 잔류 용량을 측정할 때 주위의 온도를 고려해 주었기 때문에 사용지역이 항상 온난한 지역만이 아니라 우리나라와 같이 사계절이 있는 지역, 한대지역에서도 새로운 파라미터를 구하지 않고 직접 사용할 수 있는 장점이 있다.

또 축전지는 일정 온도까지는 온도가 증가하면 잔류 용량도 증가하는 특성이 있는데, 이 방법을 사용하면 온도가 감소했을 때 가용 용량이 감소하는 것 뿐만 아니라 온도가 증가했을 때 가용 용량이 증가하는 것 역시도 정확하게 측정할 수 있어서 25°C 이상 온도가 올라가는 지역에서도 정확한 측정을 할 수 있다.

앞으로는 본 논문에서 제시한 방법을 태양광발전을 이용한 계통연계와 요즈음 사용 영역을 넓혀 가고 있는 리튬이온 배터리에도 적용 하려고 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Atsuo Kawamura and Takahiro Yanagihara, "State of Charge Estimation of Sealed Lead-Acid Batteries used for Electric Vehicles", Proceedings of the Record of the 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, volume 1, pp. 583-587, 1998
- [2] Crompton and T.R., "Battery Reference Book", 1990
- [3] Hans Bode, "Lead-acid Batteries", 1977