

산업용 전기 차량의 납 축전지 SOC 추정 방법 적용 연구

박기형*, 김성기*, 류종건**, 정명길*

현대중공업 건설장비제어연구실*, 건설장비산업차량개발부**

Application of SOC estimation method to lead storage battery of industrial electric vehicle

Gi Hyoung Park, Sung Ki Kim, Chong Geon Ryu, Myung Kil Jung
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 납 축전지를 사용하는 산업용 전기차량의 SOC(State Of Charge)를 별도의 BMS(Battery Management System)장치 없이 추정하는 방법에 대해 기술한다. SOC를 추정하기 위한 기존의 전통적인 방법들 중 전력을 적산하는 방법(Ampere hour counting)이 널리 사용되는데 이는 장치의 내, 외적인 요인에 의해 발생한 오차가 누적될 수 있다. 배터리의 전압을 측정하여 SOC를 추정하는 OCV(Open Circuit Voltage) 방법은 배터리가 안정 상태에 도달하기까지 충분한 휴지 시간이 필요해 실시간으로 적용하기 힘들다. 이 외에 칼만 필터를 이용하는 방법은 시스템을 정확히 모델링해야 하고 계산이 복잡하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 전력을 적산하는 방법을 기본으로 하고 배터리의 전압을 적절히 이용하여 누적되는 오차를 보정하는 방법을 제안한다. 제안한 방법에 대해 시뮬레이션 하고 실제로 산업용 차량인 AC 전동 지게차로 실험하여 그 타당성을 검증 하였다.

1. 서론

배터리를 에너지원으로 사용하는 실생활의 많은 제품들에 있어 배터리의 SOC는 아주 중요한 정보이다. 기준치를 넘어서면 저전압, 과전압 상태는 배터리의 수명을 단축시키는 핵심 원인이기 때문이다. 배터리의 SOC를 추정하기 위해 별도의 BMS 장치와 센서들을 장착한다면 손쉽게 알 수 있겠지만 대부분 비용적인 문제로 이를 사용하지 않는다. 이는 산업용 전기 차량도 마찬가지인데 특히 다른 제품들과 달리 대용량의 배터리를 사용하고 전력사용이 다이나믹하며 작업 환경, 작업 특성 등이 다양하여 SOC추정에 더 어려운 측면이 있다. 또한 산업용 전기차량에서 주로 사용되는 납 축전지의 경우 다른 배터리에 비해 내부 저항이 커 전력 사용에 따른 전압변화가 크고 이는 SOC의 추정을 방해하는 추가적인 요인이 되고 있다. 기존의 논문에서 납 축전지의 SOC추정 방법에 대한 소개와 시뮬레이션 및 실험 결과를 제시하고 있지만 실제로 차량에 사용하기에는 무리가 많다. 모델링의 조건에서 배터리 특성만 고려하거나 일정한 전력 사용을 전제로 하기 때문에 실제 산업용 차량의 동작에 대응하지 못한다. 본 연구에서는 전통적인 SOC 추정 방법들을 실제로 적용해 보고 이를 바탕으로 산업용 전기 차량에 사용하기에 적합한 방법을 제안하며 이를 시뮬레이션 하고 실제로 차량에서 실험한 결과를 소개한다.

2. SOC 추정 방법

2.1 Ampere hour counting (Coulomb counting)

소모 전류를 이용하여 사용한 전력을 계산하고 배터리의 정격용량으로부터 남은 용량을 계산해 내는 방법이다. 간단하면서도 비교적 정확히 SOC를 추정할 수 있다. 그러나 초기 SOC를 알 수가 없으며 계산의 오차가 시간이 지남에 따라 누적된다. 그럼에도 불구하고 특정한 대상에 대해서는 단점들을 손쉽게 보완할 수 있어 많은 관심을 받고 있는 방법이다. 실제로 AC 전동 지게차에서 만족스러운 결과를 얻을 수 있었지만 배터리 용량이 달라지면 그림 1과 같이 누적 오차가 나타난다.

2.2 Open circuit voltage (modified)

실시간이라는 제한 조건만 없다면 가장 정확히 SOC를 알 수 있는 방법이다. 실제 AC 전동 지게차에 적용하려면 두 가지 문제점을 고려해야 한다. 안정 상태에 도달하는 시간과 지게차의 작업이 쉬지 않고 몇 시간 썩 운행 될 수 있다는 점이다. 안정 상태에 도달하는 시간을 기다리지 않기 위해 여러 방법(수학적인 계산을 반복)을 사용하여 보정하였고, Open Circuit 상태가 없을 경우 Close Circuit 상태에서 배터리 전압을 추정하는 알고리즘을 추가하였다. 그림 2는 실제 실험 결과이다. 전체적으로 SOC를 잘 추정하고 있으나, 전압 회복으로 인한 SOC의 회복 현상이 보인다.

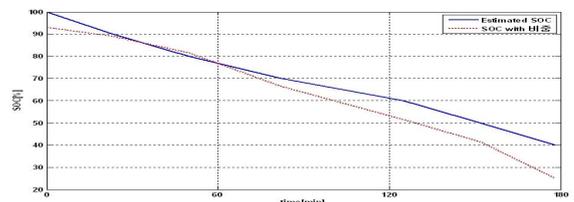


그림 1. Ampere hour counting 적용 실험 예 [80V, 700AH]

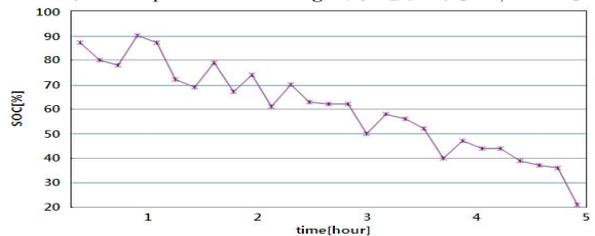


그림 2. OCV 적용 실험 예 [80V, 600AH]

2.3 Improved ampere hour counting

2.1과 2.2에서 기술한 Ampere hour counting 방법과 OCV 방법을 실제로 AC 전동 지게차에 적용해 본 결과를 바탕으로 개선된 SOC추정 방법을 다음과 같이 제안한다.

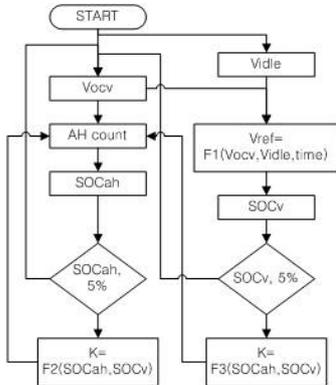


그림 3. Improved ampere hour counting algorithm

Vocv와 Vidle를 이용하여 기준이 되는 Vref를 만든다. Ampere Hour Counting 방법을 통한 SOC와 Vref를 이용한 SOC를 일정 구간마다 비교하여 보정 상수 K를 조정한다.

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션

그림 4는 Ampere hour counting 방법의 오차를 임의로 조정된 뒤 제안한 Improved ampere hour counting 방법으로 자동 조정되는 과정을 시뮬레이션 한 과정이다. SOC 95%에 도달했을 때 누적된 오차를 보상하고 계산된 오차를 이용하여 보정 상수를 조정하였다. 매 5%마다 이 과정을 반복한다. 보정을 위한 변형된 OCV는 정확하다고 가정한다.

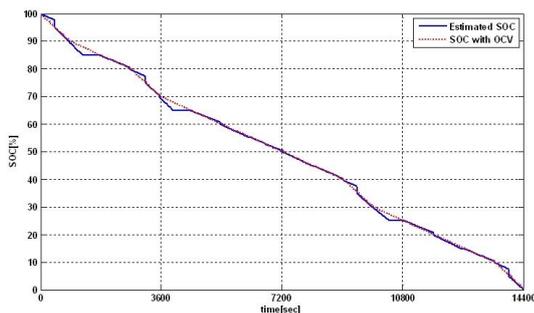


그림 4. Simulation of the proposed method

3.2 실험 결과

표1. 실험 조건

차량모델	3.5톤 AC 전동 지게차		
배터리전압	48V	용량	715AH/5HR
대기온도	20 °C	부하중량	3000 kg
시작전압	51.4V	시작비중	1.275

표 1의 실험 차량으로 20m구간을 왕복하며 무부하 1회, 부하 1회의 작업을 반복하여 SOC 상태를 기록하였다. SOC 5% 사용 기준마다 측정하였고 실험 결과는 그림 5와 같다.

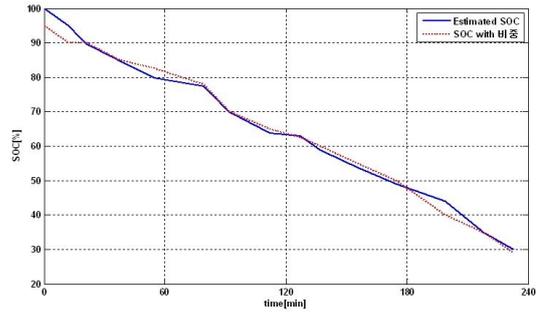


그림 5. Improved ampere hour counting 적용 실험 예

실제 차량에서도 5%마다 SOC를 보정하도록 하였다. 그래프에서 꺾이는 부분이 보정이 된 부분이며 실험 종료 시까지 비중을 기준으로 한 SOC를 잘 추정하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

산업용 전기 차량의 납 축전지 SOC를 추정하기 위해 전력 적산 방법(Ampere hour counting)을 개선하여 누적되는 오차를 보정할 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 실제 차량의 실험을 통해 검증하였다. 산업용 전기 차량에 일반적으로 적용될 수 있도록 다양한 배터리 용량과 다양한 작업 패턴의 실험을 통해 본 알고리즘을 보완할 예정이다. 기존의 차량에서 배터리가 노후화 되거나 냉동 창고에서 사용될 경우 SOC가 배터리 잔량과 일치하지 않는 경우가 많고 심지어는 작업 후 오히려 SOC가 커지는 경우도 발생하였다. 본 알고리즘 적용 시 이러한 사용자들의 불만 사항들이 대폭 해소될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] Piller S, Perrin M, Jossen A: "Methods for state of charge determination and their applications". Journal of Power Sources, Volume 96, 2001, pp. 113 120
- [2] A Szumanowski, Yuhua Chang : "Battery management system based on battery nonlinear dynamics modeling," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 57, 2008, pp. 1425 1432
- [3] Alzieu J., Smimite H., Glaize C. : "Improvement of intelligent battery controller: state of charge indicator and associated functions", Journal of Power Sources, Volume 67, 1997, pp. 157 161
- [4] Iryna S., William R., Evgeny V., Afifa B.A., Peter HL Notten : "Battery open circuit voltage estimation by a method of statistical analysis", Journal of Power Sources, Volume 159, 2006, pp. 1484 1487
- [5] Novie Ayub Windarko, Jaeho Choi, "SOC Estimation Based on OCV for NiMH Batteries Using an Improved Takacs Model", Journal of power electronics : JPE, Volume 10, 2010, pp.181 186
- [6] Oanyong Nam, B.H. Cho, "Li Ion Battery SOC Estimation Method based on the Reduced Order Extended Kalman Filtering", Journal of Power Sources, Volume 174, 2007, pp. 9 15
- [7] Gregory L. Plett, "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB based HEV battery packs Part 3. State and parameter estimation", Journal of Power Sources, Volume 134, 2004, pp. 277 292