리튬 이온 배터리 건강진단 방법

Diagnostic Method for State of Healthy of Lithium-Ion Battery

*신동훈 [1], #유승열 [1], 성상만 [2]

*D. H. Shin[1], #S. R. Yoo[1] (yoos@koreatech.ac.kr), S. M. Sung[2]

[1] 한국기술교육대학교 기계공학부, [2] 한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부

Key words : Battery, Harmonic Distortion, System ID, Kalman Filter, SOH(State Of Health)

1. 서론

리튬 이온 전지의 중요성은 전기자동차 실용화, 재생 에너지 개발 등으로 관심이 높아지고 있으나, 시스템이 비선형적이고 다양한 파라미터에 따른 복잡한 특성 때문에 그 사용법에 있어서 발전에 제한을 받아왔다. 각 리튬 에너지 셀의 건강상태(SOH: State Of Health)를 실시간으로 정확히 파악하는 것은 장비의 안정된 운전과 원활한 관리를 위하여 필수적이다.

배터리는 구동 및 시동 시 모터로의 에너지 출력과 제동 시 에너지 회수를 하며, 이러한 차량에서의 에너지 입출력을 위하여 요구되는 전지 특성은 고출력 및 고밀도와 저온 시에도 모터를 구동할 수 있는 저온 시동성 및 자동차 수명과 비례한 내구성 및 전지 수명이 요구된다. 차량용 배터리는 다른 응용분야와는 달리 수십 개의 단위 배터리를 직렬로 사용 하고 있으며, 단위 배터리 중 한 개 배터리의 품질 저하도 다른 배터리의 성능을 저하시켜, 배터리의 수명을 급속히 단축시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 Total Harmonic Distortion(THD)을 측정하여 리튬 이온 배터리의 이상상태를 검출 하고 System ID 방법을 이용하여 배터리 건강상태를 확인하는 방법을 개발하고자 한다. 개발하고자 하는 배터리 정보 모니터링 제어장치는 배터리의 전압, 전류, 온도를 이용하여 배터리의 정보를 실시간으로 제공함으로써 배터리 제어기에서 배터리의 용량에 따른 입출력 제한 제어와 배터리의 점검 등을 통한 안전 관리 등에 활용하는 기본적인 시스템이 되므로 이의 개발은 매우 중요하다.

2. THD 를 이용한 SOH 진단 방법

비선형 시스템에 단일 또는 복수의 주파수의 정현파를 입력하면 출력신호에 Harmonics 및 Intermodulation 성분이 포함되는 것을 이용하여 배터리 진단에 적용하였다.

실험으로써 단위 셀당 3.7V 의 각각 정상 및 비정상 리튬전지 1 cell 에 Table 1 과 같은 조건으로 실험하여 Fig. 1 및 2 의 결과를 얻었다.

Table 1. Test Conditions

Battery Open Circuit Voltage	3.7/Cell
Battery Capacity	900mAh
Input Frequency(Hz)	5,7
Signal Magnitude	0.1
Harmonics(Hz)	10,14
Intermodulation(Hz)s	2,3,9,12,15,17,19,21

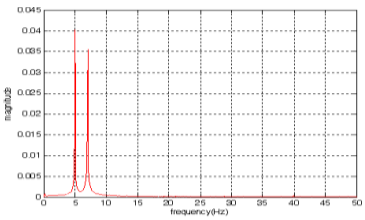

Fig. 1 Normal Single Cell Spectrum

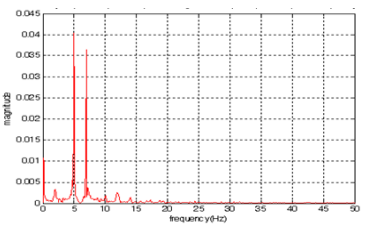

Fig. 2 Abnormal Single Cell Spectrum

THD 는 식(1)과 같이 정의되며 Fig.1 및 2 의 정상, 비정상인 경우는 각각 0%,12%로 측정되었다.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=3}^{\infty} Y_n^2}{Y_1^2 + Y_2^2}} \qquad (1)$$

여기서 Y_1, Y_2 는 입력 신호의 크기이며 Y_n 은 Harmonics 및 Intermodulation 성분의 크기이다.

3. System ID 를 이용한 SOH 진단 방법

배터리의 SOH를 판단하는 다른 방법으로 Extended Kalman Filter(EKF)를 이용하는 방법을 제시한다. EKF에 의한 배터리 건강 진단은 전류 방전이 일어 났을 때 개방 전압의 변화를 확인하는 방법으로써, 개방 전압은 방전 중에는 바로 측정할 수 없으므로 필터 등을 통하여 추정하여야 한다. 이를 위하여 Fig. 3과 같이 등가회로 모델을 구성하였다. 등가회로 모델의 파라미터를 얻기 위하여 정상 및 비정상 배터리에 Fig. 4와 같은 0.1A의 step size로 전류를 방전시키는 실험을 진행하였다. 실험 결과를 통하여 등가회로에 사용되는 R,R_D,C_D 및 C_O를 구해야 하는데, C_O는 측정 데이터로부터 바로 구할 수 없으므로 EKF를 사용하여 C_O를 추정하며, 구해진 파라 미터 들을 기준으로 식(2)에 대입하여 개방전압의 변화를 추정할 수 있다.

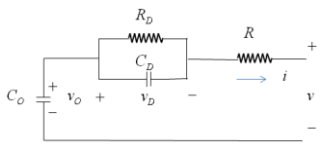

Fig. 3 Equivalent Circuit for Lithium Ion Battery

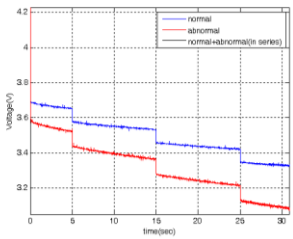

Fig. 4 Response of Normal and Abnormal Battery to Step Current Consumption

$$\begin{aligned} \dot{v}_O &= -\frac{1}{C_O} i \\ \dot{v}_D &= -\frac{1}{R_D C_D} v_D + \frac{1}{C_D} i \\ \dot{C}_O &= 0 \\ v &= v_O - v_D - Ri \end{aligned} \qquad (2)$$

정상 배터리와 비정상 배터리에 대하여 추정한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 결과를 보면 개방전압 추정 값을 비교할 때 비정상 배터리의 경우 정상 배터리에 대하여 전압이 빠르게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이로부터 동일한 전류 방전을 인가한 경우 개방전압 추정 값으로 정상 배터리와 비정상 배터리를 구분할 수 있음을 확인 하였다.

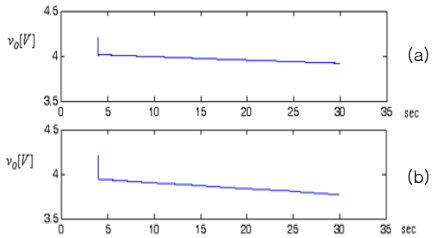

Fig. 5 (a) Normal and (b) Abnormal Open Circuit Voltage by EKF

4. 결론

본 연구에서는 Lithium Ion Battery 의 배터리의 SOH를 판단하기 THD와 EKF를 이용하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법들이 배터리의 이상 및 SOH를 판단하는데 적합함을 실험을 통해 확인하였으며, 본 연구에서 확인된 리튬 이온 전지 시스템 모니터링 기술의 개발은 리튬 이온 배터리의 효율적 관리를 극대화하고 특히 전기차의 상용화에 기여를 할 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Warren, W.J., and Hewlett, W.R., “An Analysis of the Intermodulation Method of Distortion Measurement,” Fellow, I.R.E, No. 36, pp.457-466, 1948.
2. Carlos, J., Borges, N., “Intermodulation distortion in microwave and wireless circuits,”Artech House press, pp. 25 - 71, 2003