

# 이산 웨이블릿 변환(DWT)를 이용한 리튬 이온 배터리 스크리닝 방법

김중훈\*, 전창윤\*, 허인녕\*, 조보형\*, 이성준\*\*  
 서울대학교\*, 삼성테크윈\*\*

## Discrete Wavelet Transform-based Screening Process for a Li-Ion Battery

J. H Kim\*, C. Y. Chun\*, I. N. Hur\*, B. H. Cho\* and S. J. Lee\*  
 Seoul National University\*, Samsung Techwin\*\*

### ABSTRACT

상이한 전기화학적 특성을 가진 단위 셀들을 미리 선별하여 팩의 안전한 운용 및 배터리 관리 시스템의 성능 향상을 위해 스크리닝(screening)은 필수적이다. 그러므로, 본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(DWT;discrete wavelet transform)을 이용한 리튬 이온 배터리 스크리닝 방법을 제안한다. 제안된 방식은 축소된 하이브리드 자동차용 전류프로파일을 통해 얻어진 충방전 전압을 이산 웨이블릿 변환에 적용하여 저주파 전압 성분과 고주파 전압 성분으로 분리하고, 각 단계별로 얻어진 성분들의 통계처리를 실시하여 스크리닝을 구현한다. 특히, 마지막 단계에서의 저주파 전압 성분과 고주파 전압 성분은 배터리의 State-of-health(SOH)를 예측하기 위한 성분으로 정의된다.

### 1. 서 론

최근 고전력/고전압의 산업화 추세에 맞추어 리튬 이온 단위 셀이 아닌 셀의 직렬, 병렬 혹은 직/병렬 결합에 의한 팩이 많이 사용되고 있다. 안정적인 팩의 구현을 위해서는 팩을 구성하는 각각의 셀들의 전기화학적 특성이 유사해야 한다. 상이한 특성을 가진 셀들을 이용하여 팩을 구성할 때, 전압/SOC 밸런싱의 회로기법을 통해 균등화가 진행될 수 있지만 이는 일시적일 뿐이다. 그러므로, 사전에 미리 전기화학적 특성이 유사한 셀을 선별하는 스크리닝(screening)과정을 선행해야 한다.

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(DWT;discrete wavelet transform)[1]을 이용한 리튬 이온 배터리 스크리닝 방법을 소개한다. 전류프로파일을 통해 얻어진 충방전 전압을 DWT를 통해 저주파 전압 성분과 고주파 전압 성분으로 분리하고 이들의 통계처리를 실시하여 스크리닝을 구현한다. 특히, 최종 저주파 전압 성분과 고주파 전압 성분의 분석은 배터리의 수명을 예측할 수 있는 정보를 제공한다.

### 2. 이산 웨이블릿 변환 (DWT)

일반적으로 신호는 정상신호(stationary signal)과 비정상신호(non-stationary signal)로 분류되는데, 그 중 비정상신호는 신호의 주파수 성분들이 급격하게 변화하는 신호로서 푸리에 변환을 사용한 주파수 분석은 적합하지 않다. 반면에, 웨이블릿 변환 방법은 비정상신호 분석에 적합한 방법으로 신호의 시간-주파수 분석이 가능하다. 충방전 전류의 경우 충전/방전 시간이 각각 다르므로 이를 통해 얻어진 충방전 전압은 비정상신호로 고려될 수 있다.

웨이블릿 변환은 연속 웨이블릿 변환(CWT)와 이산 웨이블릿 변환으로 구분되며 이는 각각 식 (1)과 (2)로 표현된다.

$$W^f(a,b) = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

$$W^f(j,k) = \langle x(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left( \frac{t-k2^j}{2^j} \right) dt \quad (2)$$

식 (1)에서 a는 크기를 결정하는 압축계수, b는 시간 축으로의 이동에 관계되는 전이계수로서 스케일에 따라 크기가 변화하는 모함수(mother wavelet)  $\psi(t)$ 를 이용하여 비정상신호  $x(t)$ 를 웨이블릿의 스케일에 해당하는 부분을 추출한다. 그러나, 연속 웨이블릿 변환 사용시 중복성이 높고 무한개의 웨이블릿이 필요하여 많은 계산량과 데이터를 요구하는 단점이 있다[3]. 반면에 식(2)의 이산 웨이블릿 변환은 직교 기저함수 사용에 따른 중복성을 억제하며, 특히 다해상도 분석 방법(MRA; multi-resolution analysis)[3]을 통해 효율적인 계산을 수행한다. 원 이산신호  $x(n)$ 는 MRA를 통해 주파수가 다른 여러개의 부대역으로 분해되고 이를 복원하는 시스템으로 되어 있으며 저역통과필터  $h(n)$ 와 고역통과필터  $g(n)$ 를 사용하여 근사성분(approximation:A)과 상세성분(detail:D)으로 분해한다. 이 때, 분해과정 시 데이터의 양이 증가하므로 다운샘플링을 통해 데이터의 수를 반으로 줄인다. 그림 1은 웨이블릿 변환 필터링 과정 및 다분해 트리이다.

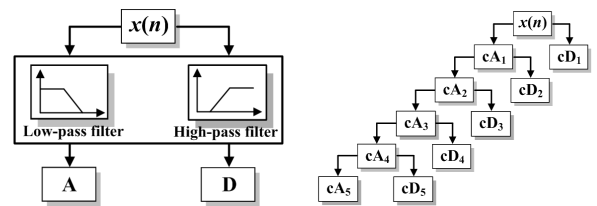


그림 1 웨이블릿 변환 필터링 과정 및 다분해 트리

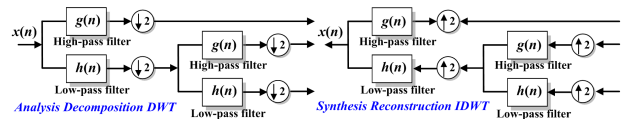


그림 2 필터 बैं크 시스템

모함수는 Daubechies 웨이블릿을 사용하였으며 이 웨이블릿의 스케일 함수  $\phi(t)$ 와 웨이블릿 함수  $\psi(t)$ 는 다음과 같다.

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2t-n) \quad (3)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \phi(2t-n) \quad (4)$$

### 3. 스크리닝 구현

DWT를 이용한 스크리닝 구현을 위해서 축소된 하이브리드 구동용 전류프로파일을 리튬 이온 10개의 배터리에 적용하고 각각의 충방전 전압을 얻는다. 이를 그림 3에 나타내었다. 다해상도 분석 방법을 통하여 저주파 성분( $A_n$ )과 고주파 성분( $D_n$ )으로 분해되고 각 성분의 통계처리를 실시한다(그림 4-5). 특히, 최종 저주파 전압 성분 와 고주파 전압 성분은 배터리의 SOH 예측수단으로 사용될 수 있다(그림 6).

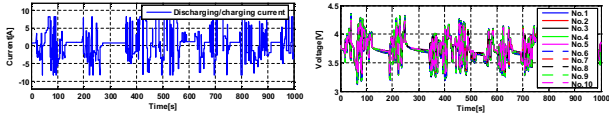


그림 3 전류프로파일 및 충방전 전압

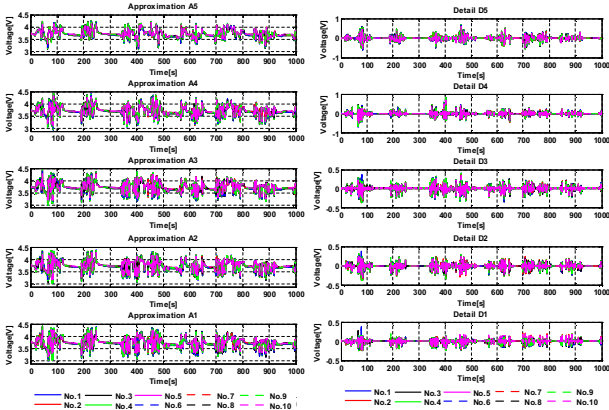


그림 4 분해된 저주파 전압 성분 ( $A_n$ )과 고주파 전압 성분 ( $D_n$ )

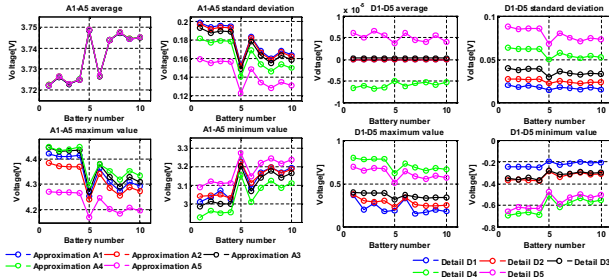


그림 5 저주파 전압 성분 ( $A_n$ )과 고주파 전압 성분 ( $D_n$ ) 통계처리

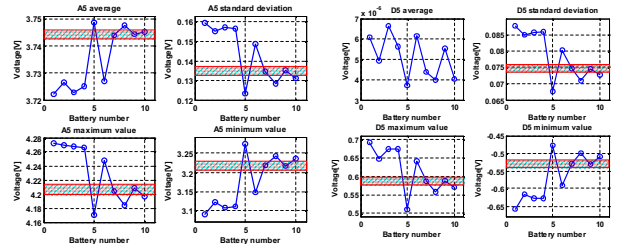


그림 6 최종 저주파 전압 성분  $A_5$ 와 고주파 성분  $D_5$  비교

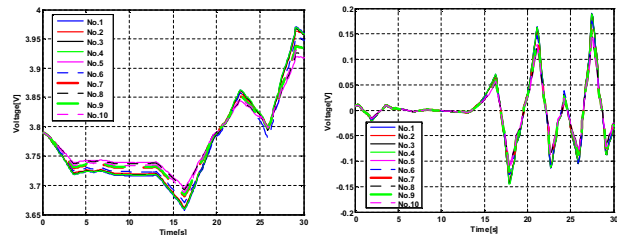


그림 7 각 전압 성분별 스크리닝

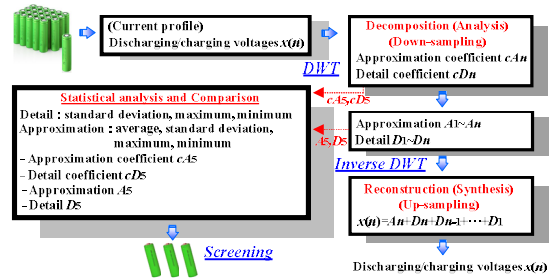


그림 8 이산 웨이블릿 변환을 이용한 스크리닝

각 전압 성분을 비교하여 스크리닝이 실시되며 7번과 9번이 최종적으로 선별된다(그림 7). 그림 8과 9는 이산 웨이블릿 변환 기반 스크리닝 방법을 나타낸다.

### 5. 결론

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환을 이용한 리튬 이온 배터리 스크리닝 방법을 제안하였다.

본 연구는 삼성테크윈의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 또한 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.20104010100490).

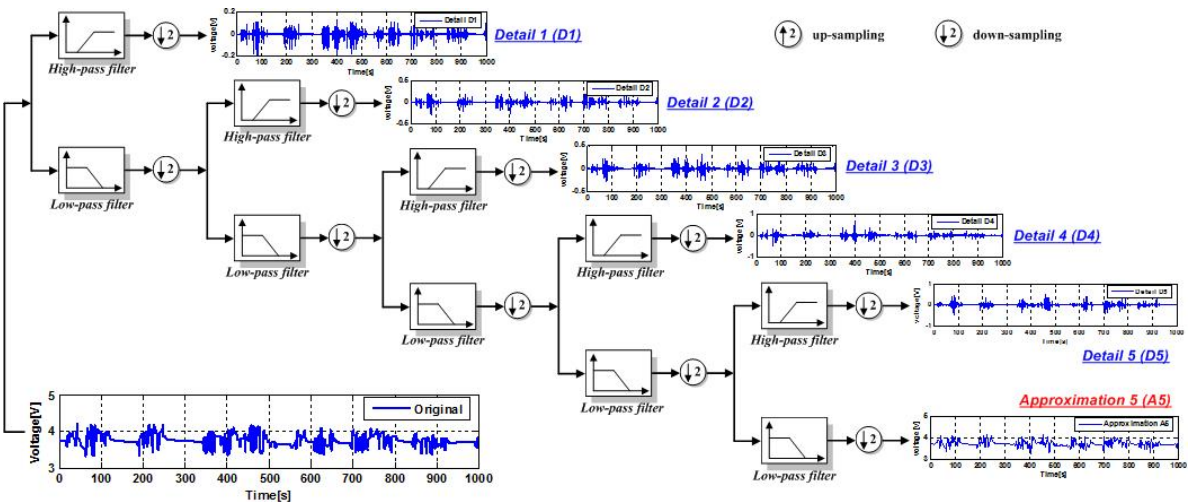


그림 9 이산 웨이블릿 변환 다해상도 분석 흐름도