

# 배터리 셀 AC-IR 측정을 위한 SOGI PLL 기반 Time-Domain 임피던스 측정 기법

김성종<sup>1</sup>, 박화평<sup>1</sup>  
 국금오공과대학교 제어및로봇<sup>1</sup>

## SOGI PLL based Time-Domain Impedance Measurement Technique for Battery cell AC-IR Measurement

SeongJong Kim<sup>1</sup>, Hwa-Pyeong Park<sup>1</sup>  
 control and robotics, Kumoh National Institute of Technology<sup>1</sup>

### ABSTRACT

환경규제가 쟁점이 되며 배터리를 사용한 어플리케이션 및 전기 자동차 시장 규모가 나날이 커지며 배터리의 효율성과 안정성 등 품질을 확보하는 것이 필연적으로 중요해지고 있다. 본 논문에서는 배터리 상태를 예측할 수 있는 배터리 AC 임피던스의 측정 기법을 다루며 SOGI PLL을 접목한 Time-Domain 기반 배터리 AC 임피던스 측정 기법을 제안한다.

### 1. 서론

최근 지속적으로 국내외 환경규제와 환경에 대한 의식 강화에 의해 탄소중립을 위한 다양한 측면으로 모색되고 있다. 신재생에너지와 같이 사용되는 ESS(Energy Storage System)와 같은 배터리를 사용하는 어플리케이션과 전기자동차의 관심과 규모가 커지고 있다. 하지만 배터리의 내부 과열 및 단락에 의한 화재 위험성과 사용 후 배터리인 폐배터리 처리와 재사용 배터리의 불완전한 품질 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제들은 배터리의 내부 과열 및 단락에 의해 영향을 받는 배터리 내부 AC 임피던스 변화의 관측을 통해 초기에 탐지하여 예방이 가능하며, SOC(State of Charge) 및 SOH(State of Health)를 예측할 수 있어 상황에 맞는 충/방전 동작을 수행시켜 배터리의 수명 연장 및 품질 개선을 통해 이전과 같은 문제를 해결 가능하다.<sup>[1][2]</sup>

기존의 배터리 AC 임피던스의 측정 기법으로 첫 번째 외부 노이즈에 강하며 비교적 높은 주파수 대역에서의 AC 임피던스 측정에 장점을 가지고 있지만 FFT(Fast Fourier Transform)의 특성에 의해 낮은 주파수 대역에서 요구되는 높은 Resolution을 확보하기 위해 비교적 많은 시간이 소요된다는 단점을 가진 FFT 기법 분석기법과 두 번째로 낮은 주파수 대역에서 배터리 AC 임피던스를 빠른 시간에 측정 가능하지 만 비교적 높은 주파수 대역에서의 외부 노이즈에 취약한 단점을 가지고 있는 Time-Domain 기반 분석 기법으로 나뉜 다. 본 연구에선 DC/DC Converter의 PWM 신호에 AC 성분을 만들어서 배터리 전압/전류에 AC 성분을 주입하였으며, SOGI (Second Order Generalized Integrator) PLL을 사용 하여 높은 주파수 대역에서의 외부 노이즈에 대한 취약한 단점을 보완한 Time-Domain 기반 AC 임피던스 측정 기법을 그림 1과 같이 제안한다.<sup>[1][3]</sup>

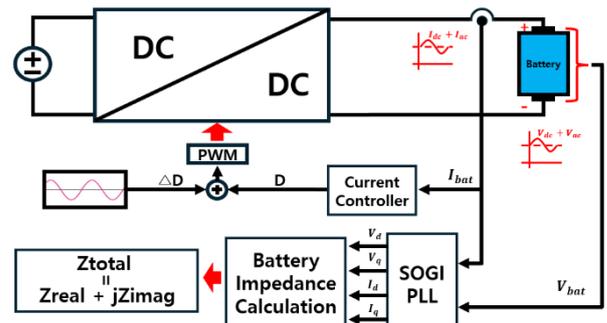


그림1 DC/DC Converter 기반 AC 임피던스 측정 회로 개략도  
 Fig.1 AC Impedance measurement circuit schematic diagram based on DC/DC converter

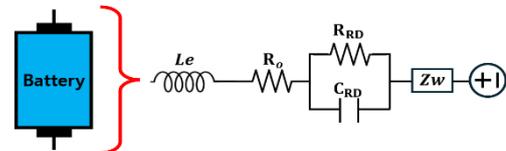


그림2 배터리 셀 내부 등가회로  
 Fig.2 Battery cell internal equivalent circuit

### 2. AC 임피던스 측정 기법

#### 2.1 질 배터리 내부 등가회로

배터리의 내부 등가회로는 그림 2와 커패터 및 전선에 의한  $L_e$ , 배터리의 전해질 저항을 나타내는  $R_o$ , 전하 전달 저항과 내부 전기 화학적 수평을 묘사한 Randles 회로인  $R_{RD}$ ,  $C_{RD}$ , 화학적 확산 상태를 나타내는 와버그 저항  $Z_w$ 으로 이루어져 있으며, 배터리 내부 등가회로 임피던스는 수식(1)과 같다.<sup>[2]</sup>

$$Z(s) = Z_{Le} + R_o + \frac{R_{RD}}{1+sC_{RD}R_{RD}} \quad (1)$$

배터리 내부 등가회로는 측정하는 주파수 대역에 따라 묘사가 되는 회로가 다르며 1~0.1Hz 기준으로 그림 3과 같이 묘사가 되며 본 연구에서는 1Hz~1000Hz를 다루며 와버그 저항인  $Z_w$ 의 영향은 무시한다.<sup>[1]</sup>

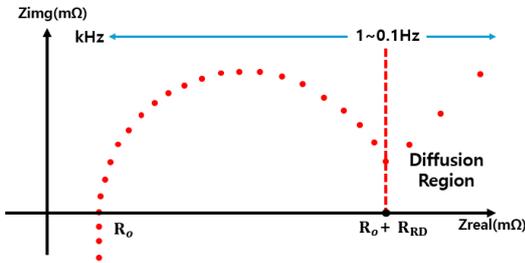


그림3 주파수 별 EIS(전기화학 임피던스 분광법) 그래프  
Fig.3 EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy) graph with frequency

### 2.1 절 실험 결과 및 오차 원인 분석

본 실험은 그림7과 같이 셋팅이 하였으며 BZA1000 [EIS 분석 장치]와 결과값을 비교하였으며, Code Composer Studio 프로그램을 이용하여 DSP기반으로 SOGI PLL을 적용한 Time-Domain 분석 기반 AC 임피던스를 구현하여 실험을 진행하였다.

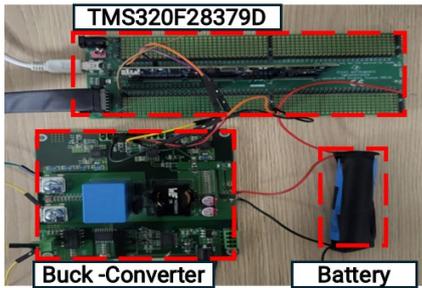


그림7 실험 환경[Buck-Converter + Battery + 제어기]  
Fig.7 Experimental Environment [Buck-Converter+Battery +Controller]

#### 2.1.1 절 실험 결과

SOGI PLL을 통한 배터리 Alpha\_V의 위상을 추정하여 회전좌표계에서 정지좌표계로 변환된 D, Q 데이터를 구현하였으며 그림8을 통해 확인가능하다.

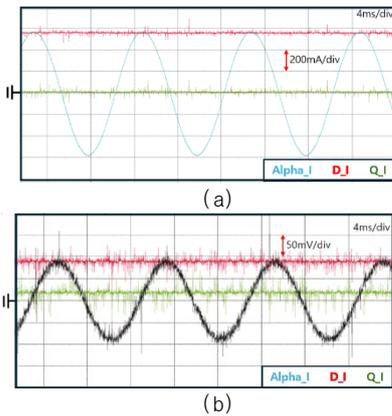


그림8 전압/전류 Alpha, D, Q 신호 관측 (a)전류 신호, (b)전압 신호  
Fig.8 Voltage/Current D, Q signal observation (a) Current signal, (b) Voltage signal

전압/전류의 D, Q 값을 통해 Battery Impedance Calculation 과정을 통해 AC 임피던스 Zreal값을 계산하였으며 그림9를 통해 실험 결과값과 EIS 분석 장치와 주파수 감소에 따른 Zreal 값의 감소 추세가 비슷하다

는 것을 알 수 있다.

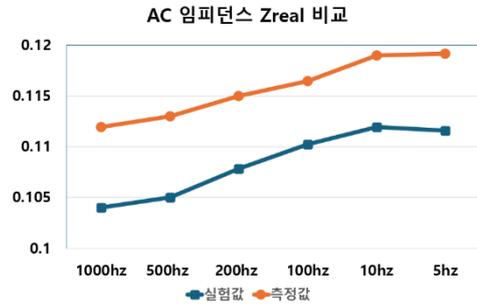


그림9 실험 결과값과 EIS 분석 장치의 Zreal 그래프  
Fig.9 Experimental Results and Zreal Graph of EIS Analysis Device

#### 2.1.2 절 오차 원인 분석

본 실험의 오차율이 8%정도 일정하게 발생하는 원인은 방전하며 측정하는 EIS 분석장치와 충전을 하며 측정하는 실험 셋팅의 차이점과 EIS 분석장치의 Buck Converter의 출력단 선로저항을 고려를 하지 못하여 DC 오프셋처럼 저항이 발생하고 있다. 하지만 일정한 오차율을 제외하고 주파수 별 AC 임피던스의 Zreal값의 변화 추세를 확인되었기 때문에 본 실험의 신뢰성은 잃지 않았으며 향후 이부분을 보완할 예정이다.

### 3. 결론

본 연구는 SOGI PLL을 적용한 Time-Domain 분석 기반 AC 임피던스 측정 기법을 제안하여 FFT 측정기법의 높은 Resolution에서 발생하는 시간적 단점을 대체하였으며, 비교적 높은 주파수대역에서의 기능적 향상을 하여 보다 빠른 측정과 측정 대역을 확대하여 배터리 시장 경제에 도움을 주고자 하였으며, Matab 및 PSIM을 통해 검증하였다.

이 논문은 금오공과대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1]Y. -D. Lee, S. -Y. Park and S. -B. Han, "Online Embedded Impedance Measurement Using High-Power Battery Charger," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 1, pp. 498-508, Jan.-Feb. 2015
- [2]J. Estaller et al., "Battery Impedance Modeling and Comprehensive Comparisons of State-Of-The-Art Cylindrical 18650 Battery Cells considering Cells' Price, Impedance, Specific Energy and C-Rate," 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe(EEEIC / I&CPS Europe), Bari, Italy, 2021
- [3]W. Huang and J. A. Abu Qahouq, "An Online Battery Impedance Measurement Method Using DC-DC Power Converter Control," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 11, pp. 5987-5995, Nov. 2014
- [4] M. Xie, H. Wen, C. Zhu and Y. Yang, "DC Offset Rejection Improvement in Single-Phase SOGI-PLL Algorithms: Methods Review and Experimental Evaluation," in IEEE Access, vol. 5, pp. 12810-12819, 2017