

# Buck PFC를 이용한 배터리 충전기 시스템 분석 및 설계

김태영, 이상준, 김재구, 박상민, 이병국<sup>†</sup>  
성균관대학교 정보통신대학

## Analysis and Design of Battery Charger using Buck PFC

Tae Young Kim, Sang Jun Lee, Jae Gu Kim, Sang Min Park, Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

소형 전자장비의 증가에 따라 배터리와 배터리 충전기 사용 또한 증가하고 있으며, 이에 따른 충전기의 고효율 확보가 중요해지고 있다. 본 논문에서는 Buck PFC 및 LLC 공진형 컨버터를 기반으로 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 주파수 제어 방식과 DC Link 전압 가변 제어 방식의 효율을 비교 분석한다. 이를 통해 효율적인 배터리 충전을 위한 제어 알고리즘 도출하고 충전 시스템을 설계한다.

### 1. 서론

최근 배터리의 용량 증가 및 경량화에 따라 휴대용 전기기기의 사용은 보편화되었고 이로 인해 배터리의 충전 장치의 필요성이 증가하고 충전 장치의 효율 확보는 중요한 요소로 자리매김하고 있다. 또한 AC입력을 받는 배터리 충전기의 낮은 역률에 의한 전력품질의 저하를 막기 위해 국제적인 고조파 규격이 요구되고 있으며, PFC (Power Factor Correction) 회로를 통한 역률 보정이 필요하다. 일반적으로 입력 전류가 연속이고 구조가 간단한 Boost PFC가 사용되고 있지만, 저용량 시스템의 경우에는 Buck PFC가 강압 강압 구조에 의해 Boost PFC에 비해 더 높은 효율을 가진다.<sup>[1]</sup> LLC 공진형 컨버터의 경우, 출력 제어에 대표적으로 주파수 제어가 쓰이지만 공진주파수와 스위칭 주파수가 차이가 커질수록 효율이 감소하고 출력전압범위가 넓을수록 이 현상은 더 뚜렷해진다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 Buck PFC와 LLC 회로를 기반으로 LLC 공진형 컨버터의 입력 DC link를 가변하는 제어 방식을 기존의 방법과 혼용하여 LLC 공진형 컨버터의 손실을 줄이고 기존의 방법보다 효율이 높은 출력 제어 전략을 제안한다. CC CV (Constant Current Constant Voltage) 배터리 충전 프로파일의 구간별 손실을 비교 분석하여 효율을 높일 수 있는 충전 구간별 출력 제어방법을 도출하였다.

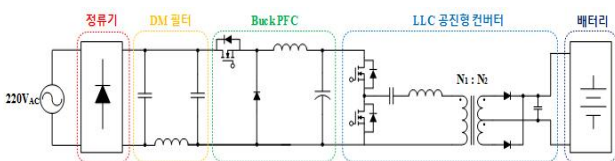


그림 1 Buck PFC 및 LLC 공진형 컨버터 시스템  
Fig. 1 Buck PFC and LLC resonant converter system

### 2. 본론

#### 2.1 기존 충전방식의 문제점

LLC 공진형 컨버터는 스위칭 주파수와 공진 주파수가 일치하면 효율이 최대가 되며, 스위칭 주파수가 커질수록 내부 변압기의 손실 증가에 의해 효율이 낮아진다.<sup>[2]</sup> 기존의 주파수 가변 제어 방식은 출력 전압 제어를 위한 공진 주파수 이상의 스위칭 주파수 운용에 의해 효율 저하가 야기되고 특히 충전기 출력전압의 범위가 넓은 CC 구간에서는 상대적으로 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 주파수 가변에 의한 손실이 증가하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 스위칭 주파수를 공진주파수에 고정하고 입력 전압을 가변하는 방식을 통하여 LLC 공진형 컨버터의 효율을 극대화 하고, 이에 따른 Buck PFC의 출력전압 강하에 의한 추가 손실과 기존 방식의 손실을 분석하여 효율을 높일 수 있는 출력 제어 방식을 도출한다.

#### 2.2 충전기 회로 설계

250W 출력과, 충전범위 27V 42V, LLC 공진주파수 24kHz를 갖는 충전기를 설계하기 위해 국제고조파 규격을 만족하는 최고 효율의 Buck PFC의 출력 전압대를 분석한다. 분석 결과, 200V의 전압이 도출 되었으며 220V 이상의 전압에서는 효율은 더 높지만 고조파 규격에 의해 제한되고 그 결과는 그림 2와 같다. 이를 토대로 19:8:8 턴 비의 LLC 공진형 컨버터의 변압기 및 128V 200V의 Buck PFC 출력전압범위를 도출하며, 해당 출력 범위 Buck PFC의 고조파 분석을 실시하였고 결과는 그림 2와 같다. 출력전압의 크기가 작아질수록 고조파 성분이 줄고 영역대의 전압 모두 국제 고조파 규격을 만족한다.

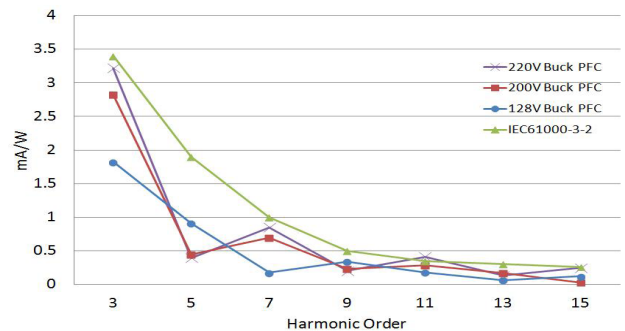


그림 2 Buck PFC의 출력 전압 영역 고조파 분석  
Fig. 2 Harmonics of Buck PFC through output voltage band

### 2. 3 출력 제어 방식 별 손실 비교

Buck PFC와 LLC 공진형 컨버터의 전력변환 손실과 변압기의 철손, 동손을 계산하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 효율을 분석한다. PSIM Thermal module를 통해 반도체 소자의 손실을 분석하고 수식 계산을 통해 인덕터 및 변압기의 손실을 계산하며 분석한 회로도도 그림 3과 같다. Buck PFC의 출력을 200V로 고정하고 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 주파수를 통해 충전기 출력을 제어한 방식과, 스위칭 주파수를 공진 주파수인 240kHz로 고정하고 Buck PFC의 출력전압을 128V 200V로 가변하여 출력을 제어하는 방식의 손실 분석을 실시하고 결과는 그림 4와 같다.

CC구간(6A, 168W 252W)에서는 넓은 출력전압 범위에 의해 DC Link 전압 제어방식에 비해 스위칭 주파수 제어방법이 손실이 크게 나타난다. 반면 CV영역(42V, 252W 148W)에서는 스위칭 주파수를 제어방식이 손실이 DC Link 전압 제어방식에 비해 적게 나타난다. 이를 토대로 CC구간에서는 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 주파수를 고정하며 Buck PFC의 출력 전압을 조절하는 방식을 이용하고 CV구간에서는 Buck PFC의 출력전압을 고정하며 스위칭 주파수를 가변하는 방법을 통해 기존의 방식보다 효율을 높일 수 있고, 좁아진 스위칭 주파수의 영역에 의해 LLC 공진형 컨버터의 설계가 비교적 단순화된다.

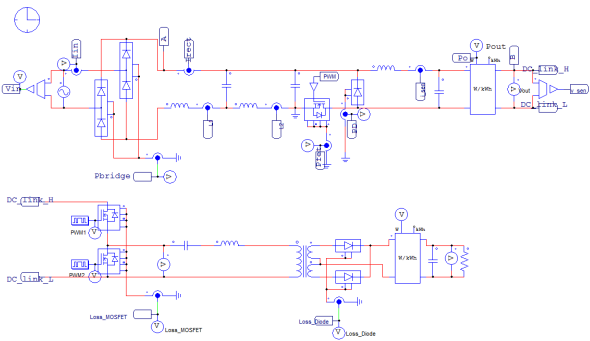


그림 3 손실 분석을 위한 PSIM Thermal module 회로도  
Fig. 3 PSIM thermal module circuit for loss analysis

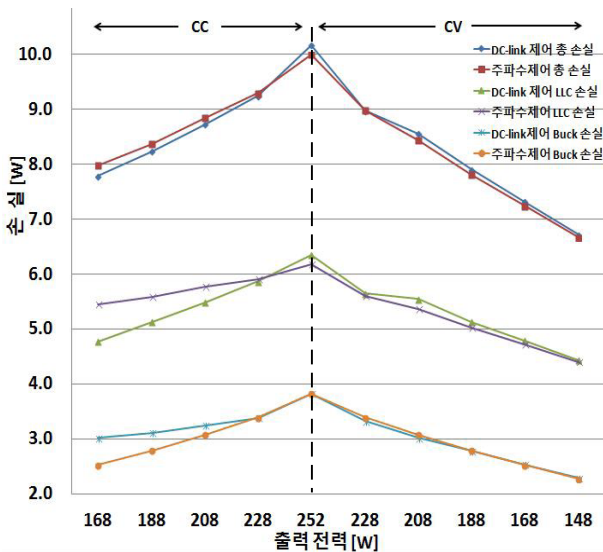


그림 4 배터리 충전 구간별 효율 분석  
Fig. 4 Efficiency analysis through battery charge interval

### 2. 4 제어 전략 수립

마지막으로 그림 5의 충전제어 알고리즘을 제안한다. 220V<sub>AC</sub>의 상용 전원을 정류기를 거쳐 DC 전압으로 변환 후 Buck PFC의 전압강압과 LLC 공진형 컨버터를 거쳐 배터리 충전 전압을 얻는다. 배터리의 충전을 시작할 때 배터리 전압이 42V 이하일 경우 DC Link 전압 가변 제어 방식을 통한 CC 충전을 실시하고 배터리 전압이 42V에 도달할 경우 주파수 제어 방식을 통한 CV 충전을 실시하는 방식을 취한다.

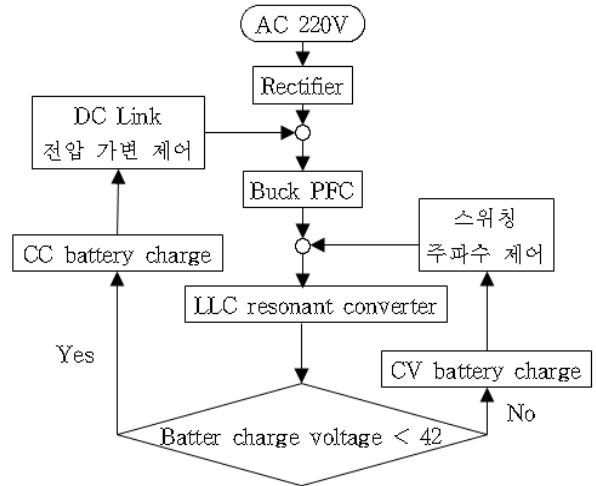


그림 5 배터리 충전 제어 알고리즘  
Fig. 5 Algorithm of battery charging control

## 3. 결론

본 논문은 기존의 배터리 충전기 출력 제어 방식인 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 주파수 제어 방법을 보완하는 출력 제어 방법을 제안한다. LLC 공진형 컨버터의 DC link 전압 제어를 이용하여 충전범위가 넓은 시스템에서 효율이 떨어지는 기존의 스위칭 주파수 제어 방법을 보완한다. 출력 전압 범위 27V 42V, 250W 배터리 충전기를 대상으로 DC Link 전압 가변 제어 방식과 기존의 주파수 제어 방식을 각각 적용하여 PSIM Thermal module을 통해 손실을 분석했다. 시뮬레이션과 수식을 통한 계산으로 손실을 얻을 수 있었다. 분석 결과를 통해 넓은 출력전압 범위를 갖는 CC영역에서는 DC Link 전압 가변 제어 방식을 이용하고, CV영역에서는 주파수 제어 방식을 이용하는 출력 제어 전략을 도출하였다.

## 참고 문헌

- [1] 박상민, 김동희, 주동명, 김민중, 이병국 “가전제품용 전력 변환 장치의 PFC 구조에 따른 시스템 효율 분석 및 설계”, 전력전자학회 논문지, pp. 417 418, 2014
- [2] W. Zhang, Y. Cui, F. Wang, L. M. Tolbert, B. J. Blalock, D. J. Costinett, “Investigation of Gallium Nitride Devices Benefits on LLC Resonant DC DC Converter”, Applied Power Electronics Conference and Exposition, Mar. 2015, pp. 146 153.