

# 11kW OBC/3kW LDC 통합 1단 ICCU 개발

이동혁<sup>1</sup>, 김기훈<sup>1</sup>, 나하늘<sup>1</sup>, 권용범<sup>1</sup>, 이승현<sup>1</sup>, 최세완<sup>†</sup>, 시단트 판데<sup>2</sup>  
 서울과학기술대학교<sup>1</sup>, (주)솔루션엑스<sup>2</sup>

## Development of Single-stage ICCU integrating 11kW OBC and 3kW LDC

Donghyuk Lee<sup>1</sup>, Kihoon Kim<sup>1</sup>, Haneul Na<sup>1</sup>, Yongbeom Kwon<sup>1</sup>, Seungheon Lee<sup>1</sup>  
 and Sewan Choi<sup>†</sup>, Siddhant Bikram Pandey<sup>2</sup>  
 Seoul National University of Science and Technology<sup>1</sup>, SolutionX Co., Ltd.<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 단상 7.4kW/3상 11kW 겸용 OBC와 3kW LDC를 통합한 전해커패시터 없는 1단 ICCU(Integrated Charging Control Unit)를 제안한다. OBC는 입력인덕터와 변압기를 하나의 코어로 한 자성체를 사용하였고 파워 디커플링 회로는 OBC와 통합하였다. 또한, LDC의 고전압 스위치는 OBC로 통합하였고, 변압기와 필터 인덕터 및 ZVS 인덕터를 PCB 와인딩을 적용한 1개의 플라나코어로 통합하여 부피와 가격을 절감하였다. ICCU 하우징 포함 전력밀도는 1.7kW/L, OBC 3상 효율은 97.4%, 단상 효율은 97.0%, LDC 효율은 95.5%를 달성하였다.

### 1. 서론

기존 2단구조 OBC의 전해커패시터 부피/수명 문제와 효율의 한계를 극복하기 위하여 1단 OBC가 제안된 바 있다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 1단 OBC에 LDC를 통합한 ICCU를 최초로 제안하며 다음과 같은 특징을 가진다.

1. 1단 無전해커패시터 단상/3상 겸용 ICCU
2. OBC와 LDC의 통합으로 고전압스위치 4개 제거
3. 유니버설입력/배터리전압 전범위에서 ZVS 성취
4. V2G 유·무효전력제어, V2L 비선형부하 동작
5. 통합형 자성체로 자성체 개수/부피 감소
6. 파워 디커플링 회로를 OBC에 통합
7. TO-247 패키지 스위치 사용

### 2. 제안하는 ICCU 구조

그림 1은 제안하는 ICCU의 구조를 나타낸다. EMI 노이즈 감소를 위하여 AC입력과 고전압 배터리 출력에 1단 EMI 필터를 적용하였다. 각 상은 1단 AC-DC 컨버터로서 열화에 의한 수명 문제가 있는 전해커패시터를 제거하여 부피를 저감하였고 각 상 모듈은 모두 동일한 개수와 정격의 스위치를 사용하였다. 3상 충·방전 시 모듈당 최대 3.7kW로 11kW까지 동작하며 단상 충·방전 시에는 OBC에 통합된 파워 디커플링 회로를 동작시켜 최대 7.4kW까지 동작 가능하다. 또한, 제안한 OBC는 유·무효전력(PF: ±0.89) 주입이 가능한 V2G 동작과 비선형부하에서의 V2L 동작을 가능하게 하였다. LDC의 1차측 스위치는 OBC에 통합하여 LDC 스위치 4개를 제거하였으며 OBC와 LDC는 동시 동작이 가능하다.

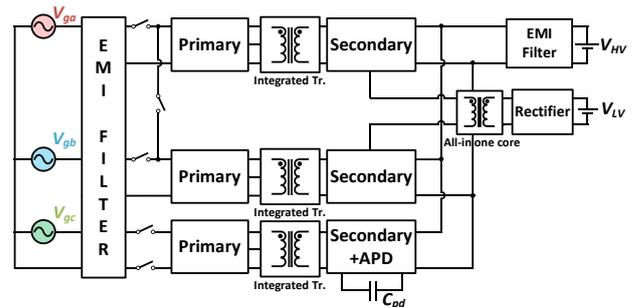


그림1 제안하는 전해커패시터 없는 1단 ICCU 구조

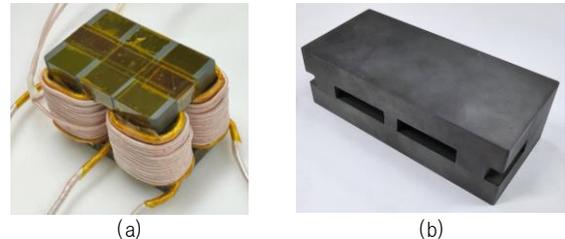


그림2 통합 자성체 (a) OBC: 변압기+입력인덕터 (b) LDC: 일체형코어

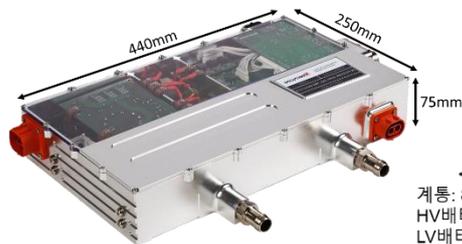
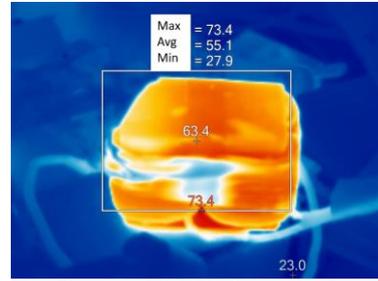
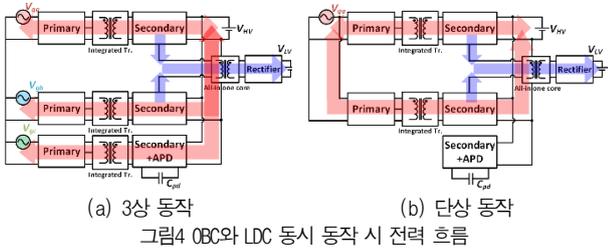


그림3 ICCU(11kW OBC/3kW LDC). 효율 97.4%, 무게 12kg, 전력밀도 1.7kW/L

그림 2(a)는 OBC의 변압기와 입력 인덕터를 통합한 3.7kW 자성체로 개별 자성체에 비해 61% 부피 및 32%의 손실을 저감하였다. 그림 2(b)는 LDC의 변압기와 출력 필터 인덕터 및 ZVS 인덕터를 모두 통합한 All-in-one 플라나코어 자성체로 PCB 와인딩을 적용하여 개별 자성체에 비해 17% 부피 및 26%의 손실을 저감하였다<sup>[3]</sup>. 그림 3은 제어보드와 EMI필터 등을 모두 포함한 ICCU 시제품의 사진으로 무게 12kg, 전력밀도 1.7kW/L를 달성하였다. 그림 4는 OBC 단상/3상 충·방전 및 LDC 동시 동작 시 전력 흐름을 나타낸다. LDC 동시 동작 시에도 공통스위치의 ZVS성취가 가능하고 도통 손실은 동일하다.



### 3. 실험결과

제안하는 ICCU의 성능 검증을 위하여 전체 배터리전압 조건에서 실험을 진행하였다. 그림 6(a)는 3상 G2V 동작으로 입·출력 전압과 전류를 나타내며 THD는 2.1%로 측정되었고 출력전류에서 저차 고조파 성분이 없이 순수한 DC 전류를 공급하는 것을 확인하였다. 그림 6(b)는 LDC 동작 파형이며 모든 스위치에서 ZVS turn on을 성취하는 것을 확인할 수 있다. 그림 7과 같이 OBC의 3상 동작 최고 효율은 97.4% 단상 동작 최고 효율은 97.0%를 달성하였다. 특히, 낮은 전압의 배터리 조건에서도 95.5% 이상의 효율을 달성하였다. 그림 8은 11kW OBC 정격 동작 시 OBC의 최고 온도이며 주변온도 25°C에서  $\Delta T=48.4^\circ\text{C}$ 로 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 단상 7.4kW/3상 11kW OBC와 3kW LDC를 통합한 無전해커패시터 1단 방식의 ICCU를 제안하였다. OBC+PD와 LDC의 회로적 통합에 의한 스위치 절감, 각각 통합형 자성체 설계, 전해커패시터 제거에 의하여, 기존 2-stage ICCU에 비하여 부피 37%, 재료비 27%를 저감하였고, 효율은 약 1.5~2% 정도 상승하였다. 향후 2차 시제품에서 Top side cooling 스위치패키지와 OBC의 필터인덕터+변압기 +DAB 인덕터를 모두 통합한 All-in-one 코어를 적용하고 레이아웃을 최적화하면 전력밀도 2.3~2.5kW/L가 달성 가능할 것으로 보이며, 1단 EMI 필터의 성능 또한 시험 검증할 예정이다.

이 논문은 Infineon의 전력반도체 지원을 받아 수행된 연구임. 본 과제(결과물)은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구 결과입니다.

### 참고 문헌

[1] H. Kim, J. Park, S. Kim, R. M. Hakim, H. Belkamel, S. Choi. (2022). "A Single-Stage Electrolytic Capacitor-Less EV Charger With Single- and Three-Phase Compatibility", IEEE Transactions on Power Electronics.

[2] 김선주, 박준영, 김기훈, 이재연, 최세완. (2021). "DC충전을 위한 모듈형 단일단 OBC의 Active Power Decoupling 회로 설계", 2021년도 전력전자 추계학술대회 논문집.

[3] Huu-Phuc Kieu, Dinh Bao-Hung Nguyen, Donghyuk Lee, Sewan Choi(2024). "All-in-one Magnetic Structure for PSFB converter with Current Doubler Rectifier", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition.

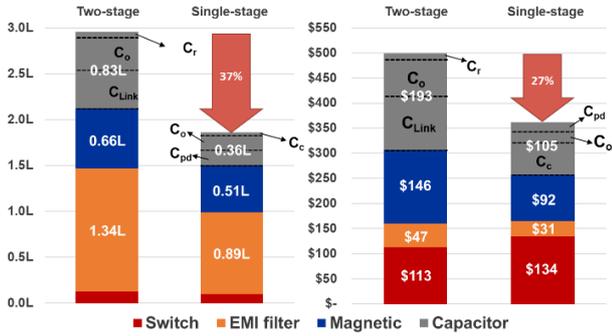


그림5 제안하는 1단방식과 A사 2단방식(인터리브드토템폴+LDC) 비교 단, 재료비 비교시 1만 대 기준 적용(부품 납품업체 문의)

그림 5는 제안한 1단 ICCU와 타사 2단 ICCU(11kW OBC+1.8kW LDC)와의 주요부품 부피 및 가격 비교를 나타낸다. 기존의 2단 ICCU는 전해커패시터(180uF\*2S11P)가 주요부품 부피의 14% 이상을 차지하는데 반해, 1단 방식 ICCU는 클램핑 커패시터와 디커플링커패시터(45uF\*1S2P)가 부피의 11%를 차지하여 전체 커패시터의 부피를 57% 절감하였다. 또한, 통합형 자성체를 적용하고 LDC에 플라나코어를 사용하면서 전체 자성체 부피를 22% 절감하였다. 향후에 발표될 EMI 분석에 의하면 제안한 1차측 스위치의 0.5 Bipolar 듀티 및 ZVS 성취로 인하여 2단방식에 비해 약 20dB의 노이즈 발생이 작아 1단 EMI 필터 적용이 가능하므로 EMI 필터의 부피를 34% 절감하였다. 또한 제안하는 ICCU는 스위치가 가격이 15% 정도 높으나 수동소자의 가격이 41% 낮아 전체적으로 27%의 재료비 감소가 가능하다.

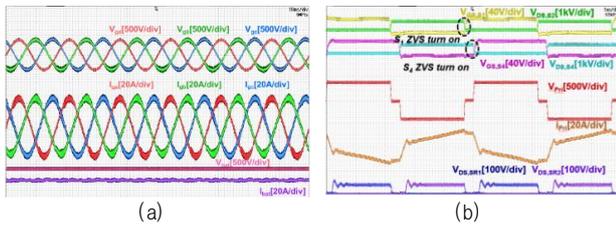


그림6 정격 실험 파형  
(a) 3상 G2V ( $V_{dc}=630\text{V}$ , 11kW), (b) LDC ( $V_i=400\text{V}$ , 3kW)

