

# 자율주행차량의 ISG시스템에서 비상발전용 배터리 충·방전을 위한 3kW급 양방향 컨버터의 최적화 설계에 관한 연구

김진학, 강동훈, 이일운  
계명대학교

## Research on Optimum Design of 3kW Bidirectional DC-DC Converter for Autonomous Vehicle's Emergency Power Generation System

Jin Hak Kim, Dong Hun Kang, Il Oun Lee  
Keimyung University

### ABSTRACT

본 논문에서는 자율주행차량의 ISG시스템에서 비상발전용 양방향 DC DC 컨버터 개발을 위한 최적화 연구 결과를 발표한다. 자율주행차량의 주 전력시스템이 차단되었을 때 차량을 제어하는 시스템에 전력공급이 가능한 비상발전시스템은 현재 개발되지 않은 상태이다. 자율주행차량의 비상발전시스템의 최대 전력은 약 3kW이며 main battery 전압은 48V, sub battery 전압은 12V이다. 본 연구에서는 차량의 연비를 고려한 고전력 밀도와 배터리 수명을 고려한 전류 리플 최소화를 목표로 한다. 이를 위해 차동모드 커플더 인덕터를 가진 4상 인터리브드 방식으로 설계하였고, 최대 98.22%의 효율이 예상된다.

### 1. 서 론

최근에 자율주행차량들은 연비 향상과 배출가스 감소를 위한 ISG시스템을 갖추고 있는 추세다. ISG시스템이란, 정차 및 신호대기 시에 불필요한 공회전을 줄여 차량의 소음이 없어 안전사고를 예방하며, 배출가스 감소, 연비 향상의 효과가 있다.

ISG시스템에서 AC/DC 컨버터를 거쳐 48V DC 전원을 차량의 main/sub battery와 전장시스템에 공급하고, 내부적 결함 및 외부요인으로 인한 main battery의 전원 공급에 문제가 생겼을 때, sub battery의 충전된 전력을 비상용 전원 시스템으로 활용한다. 비상시를 위하여 sub battery는 항상 완충 상태를 유지하고 있어야 하며, 배터리 충전 및 비상시 배터리의 전력을 쓸 수 있도록 양방향 컨버터가 필요하다.

### 2. 본 론

제안하는 컨버터는 효율과 신뢰성을 높이기 위해 최악의 조건에서 시뮬레이션을 진행하였고, 배터리수명과 차량의 연비를 고려해 4상 인터리브드 차동모드 커플더 인덕터를 적용하였다.

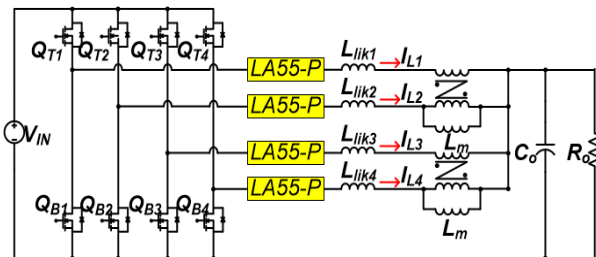


그림 1. 양방향 벡-부스트 DC-DC 컨버터 회로도  
Fig 1. Bi-directional buck-boost converter circuit

### 2.1 토폴로지 최적화

3kW급 풀 브리지(하드스위칭, 소프트스위칭)컨버터와 인터리브드 방식의 벡 부스트(CCM, DCM)컨버터 토폴로지를 비교 및 분석하였다. 비교 및 분석 결과, 차량에 탑재할 수 있으며, 벡 부스트(CCM)컨버터가 효율 및 경량화 측면에서 우수하다. 따라서 본 연구의 토폴로지는 양방향 벡 부스트(CCM)컨버터로 선정하였으며, 표 1로부터 선정 근거를 제시한다.

토폴로지	H/W Size	Sensitive to noise	Efficiency
풀-브리지 컨버터 (하드 스위칭)	Large (275*290*155mm @9.4L)	Poor	Low (90% @2kW)
풀-브리지 컨버터 (소프트 스위칭)	Large (300*90*60mm @3.2L)	Good	Low (90% @1.8kW)
벡-부스트 컨버터 (CCM)	Small (227.5*172*6 4.35mm @2.5L)	Best	High (95.78% @2.5kW)
벡-부스트 컨버터 (DCM)	Large (250*225*80mm @4.5L)	Poor	Medium (91% @3.3kW)

표 1. 각 토폴로지 비교  
Table 1. Comparison of each topology

### 2.2 리플 전류 기준 선정 및 최적화

차량의 배터리 충전용 컨버터에서 큰 리플 전류는 배터리수명을 단축시킨다. 이에 따라 한국 산업표준시양의 기준인 2% 이하의 리플 전류를 기준으로 한다. 제안하는 컨버터는 리플 전류 기준을 만족하도록 두 가지 기술을 적용하였다.

첫 번째로 4상 인터리브드 방식을 통한 각 상의 전류 상쇄 효과로 리플 전류를 감소시킨다. 또한 각 상의 전류 감소로 인해 코어, 와이어 사이즈를 줄여 경량화를 달성 할 수 있다.

두 번째로 커플더 인덕터를 통한 리플 전류 감소를 달성한다. 공통모드 커플더 인덕터는 코어 내부자속이 증가하여 리플 전류가 증가한다. 이와 다르게 차동모드 커플더 인덕터는 코어 내부자속이 상쇄되어 리플 전류를 감소시킨다. 따라서 차동모드 커플더 인덕터를 통해 리플 전류를 감소시킨다.

### 2.3 주파수와 누설인덕턴스 최적화

리플 전류 2% 이하의 기준을 바탕으로 스위칭주파수와 현실적인 누설인덕턴스 값을 선정하였다. 주파수와 인덕턴스 값을 각각 10~300kHz, 5~20μH에 대한 배터리 충전 전류 리플의 크기를 분석하였다. 그 결과 한 상의 리플 전류가 25%범위 130kHz, 15μH에서 리플 전류 2%이하를 만족하면서 최적화된 사양을 달성할 수 있었다. 또한 4상 인터리브드 회로에서 각 상의 리플 전류가 25%이하 일 때, 총 리플 전류 기준인 2%이하를 달성함을 알 수 있다.

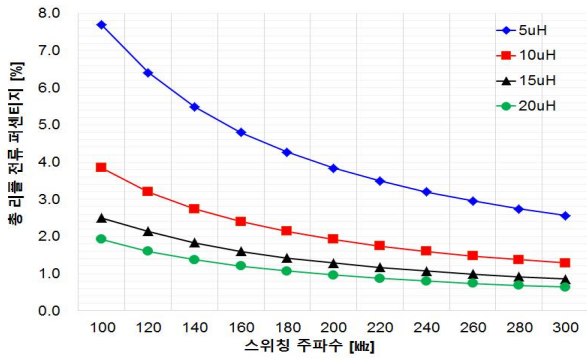


그림 2. 스위칭주파수 및 누설인덕턴스 최적화 시뮬레이션 결과  
Fig 2. Optimum switching frequency and leakage inductance

## 2.4 디바이스 최적화

앞서 적용된 기술과 최적화된 주파수와 누설인덕턴스를 바탕으로 효율을 분석하면서 최적 디바이스를 선정하였다. 표 2는 그 결과를 보여준다. 효율은 최소 약 96.28%에서 최대 약 98.22%로 예상된다.

Type	MOSFET	Capacitor	Efficiency
Lead	IRFP4468PBF	EGPA630ELL102ML35S	96.28% (27.92W @ 750W)
SMD	IPB180N10S4-02	MAL214699814E3	98.22% (13.38W @ 750W)

표 2. 디바이스 효율 비교

Table 2. Efficiency Comparison for optimization of devices

## 2.5 전류제어 개념도 및 시뮬레이션 결과

차동모드 커플더 인덕터의 4상 인터리브드 기법이 적용된 최적화 사양을 갖춘 시뮬레이션 회로 및 파형은 그림 3, 4와 같다. 시뮬레이션 결과, 각 상의 리플과 4상의 총 리플 전류는 각각 7%, 0.7%로 기준에 만족되는 것을 확인할 수 있다.

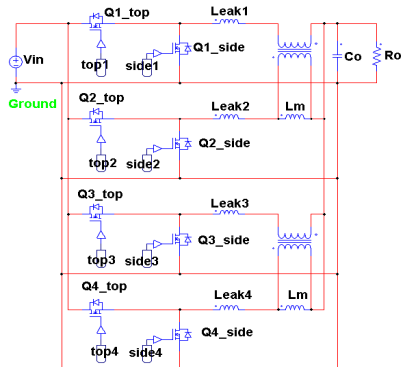


그림 3. 제안된 컨버터의 시뮬레이션 회로도  
Fig 3. Simulation circuit of prototype

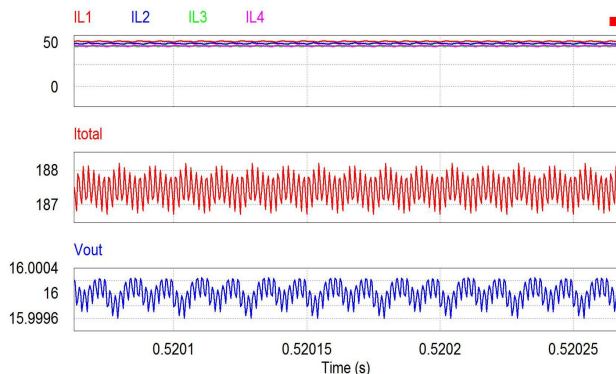


그림 4. 48/12V buck-mode 시뮬레이션 파형  
Fig 4. 48/12V buck-mode simulation waveform

그림5는 제안한 컨버터의 제어 블록다이어그램을 보여준다. 컨버터가 CC CV로 제어되도록 하였고, LA55 P를 이용하여 각 상의 전류제어가 밸런싱 되도록 하였다.

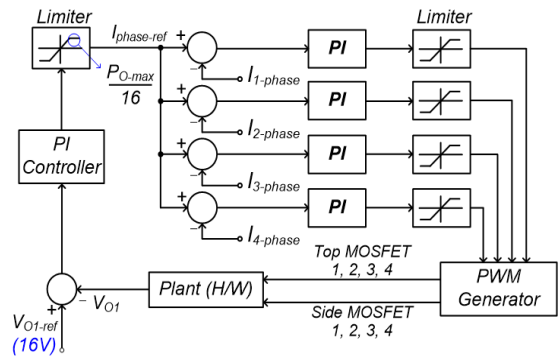


그림 5. 제어시스템 블록 다이어그램

Fig 5. Control system block diagram

현재 제안된 컨버터는 powder코어(CS777060) 5개를 적층하여 차동모드 커플더 인덕터 제작을 완료한 상태이다. 제작된 커플더 인덕터는 차동모드로 제작되었다. 상 당 45A의 전류일 때 자화인덕턴스(Lm)는 각각 30.5μH/27.44μH, 30.6μH/28.01μH 이고 누설인덕턴스(Lleak)는 각각 11.9μH, 12.3μH로 측정되었다.

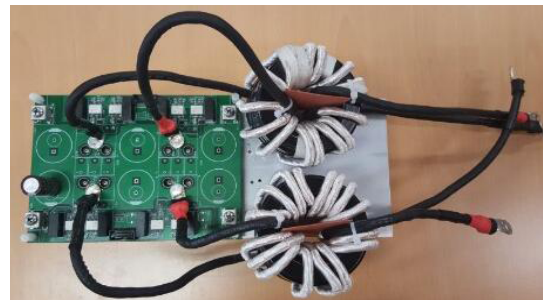


그림 6. 개발된 하드웨어  
Fig 6. Prototype hardware

## 3. 결론

본 논문에서는 자율주행차량의 ISG시스템에서 비상발전용 배터리 충·방전을 위한 컨버터를 제안하였고, 배터리 충전회로의 주요 설계 사양인 스위칭주파수, 리플 전류, 인덕턴스 선정 근거를 제안하였다. 개발 하드웨어는 차동모드 커플더 인덕터가 적용된 4상 인터리브드 벅 부스트(CCM)컨버터로, 리플 전류 기준 만족과 고효율 및 고전력밀도화를 달성한다. 최대 효율은 약 98.22%로 예상된다.

추후에는 DSP(TMS28335)의 제어보드로 개발 하드웨어의 타당성을 검증할 것이다. DSP로 개발 하드웨어 테스트 후, 차동모드 커플더 인덕터의 최적화 설계를 위한 연구를 진행하여 이를 토대로 최적화된 하드웨어를 개발하여 마무리할 예정이다.

본 논문은 2015년도 정부의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 공학분야 기초연구사업임. (NRF 2015R1C1A1A 1 51992)

## 참고 문헌

- [1] 양정우, 금문환, 최윤, 한상규, 김석준, 김삼균, 김종필, 사공석진 “하이브리드 자동차용 HDC를 위한 50kW급 고전력 밀도 양방향 컨버터”, 전력전자학회 논문지, 95 101p, 2016
- [2] Liqin Ni, "High Power Current Sensorless Bidirectional 16 Phase Interleaved DC DC Converter for Hybrid Vehicle Application", Proceedings of the IEEE, Vol. 27, No. 3, pp. 1141 1142, 2012, March.