

# 배터리 기반 고효율 냉동유닛용 고강압 700W급 LDC 컨버터 토폴로지 설계 및 분석

안효민, 성원용, 유승희, 이병국<sup>†</sup>  
성균관대학교 정보통신대학

## Design and Analysis of 700W LDC with High Step-Down Ratio for High Efficiency Refrigeration Unit Based on Battery

Hyo Min Ahn, Won Yong Sung, Seung Hee Ryu, and Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 입력 범위와 높은 강압비를 갖는 700W급 DC DC 컨버터의 구조에 대해 분석한다. 높은 강압비를 위해 2 stage로 구성되는 시스템에 강압을 위한 Buck 컨버터와 Bus 컨버터로 동작하는 Half bridge LLC 공진형 컨버터 직렬 구성 방법에 따라 달리 설계된 각각의 컨버터에서 발생하는 손실과 출력전압 레귤레이션 특성에 대해 시뮬레이션 툴과 수학적 분석을 통해 분석하였다.

### 1. 서 론

본 논문에서는 냉동탑차의 냉동 유닛을 전기에너지 기반으로 할 시, 기존의 알터네이터 (Alternator) 대체용 LDC (Low Voltage DC DC Converter)에 대해 다룬다.

냉동유닛용 LDC는 넓은 입력 범위와 높은 강압비를 갖는 700W급 LDC를 타겟으로 한다. 따라서 Buck 컨버터로만 구성할 경우 높은 강압비로 인해 듀티비 확보가 어렵고 Half Bridge LLC 공진형 컨버터 (HB LLC)로만 구성을 하면 변압기 코어크기와 권선수가 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서 다루는 고강압 LDC는 Buck 컨버터와 HB LLC 2 stage를 직렬 구성하는 구조이다. 구성 방법은 그림 1과 같으며 구성 방법에 따른 손실, 전력밀도, 출력전압 리플, 시스템 제어 특성에 대하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 통해 분석을 한다.

### 2. 2-stage DC-DC 컨버터 시스템 구성

#### 2.1. 2-stage DC-DC 컨버터 제어 방법

그림 1에서 HB LLC는 Bus 컨버터로써 Open Loop 동작을 하며, 높은 효율을 확보하기 위해 공진주파수 (100kHz)에서 동작을 한다.<sup>[1]</sup> Buck 컨버터는 Closed Loop 동작을 하며, 입력측에 위치를 할 경우에는 HB LLC의 입력전압, 출력측에 위치를 할 경우에는 부하 전압을 제어함으로써 HB LLC가 항상 공진주파수에서 동작을 하도록 제어 한다.

#### 2.2. 전압 전달비

Buck 컨버터와 HB LLC로 구성된 2 stage DC DC 컨버터의 전압 전달비는 식 (1)과 같다.<sup>[2]</sup>

$$G_v = n \frac{V_{out}}{V_{in}} \left| \frac{L_n \times (f_n)^2}{[(L_n + 1) \times f_n^2 + j(f_n^2 - 1) \times f_n \times Q_c \times L_n]} \right| \quad (1)$$

구성 방법에 관계없이 전체 시스템의 강압비는 동일하나, 도통전류의 크기와 소자선정 정격 차이에 의한 손실요인 파라미터 차이 때문에 손실 차이가 발생한다.

#### 2.3. 시스템 설계

5% 이내의 출력전압 리플과 30% 이상의 부하부터 CCM 동작을 하도록 설계하였으며 설계 파라미터는 표 1, 표 2와 같다.

표 1 Buck-HB LLC 구성방법 설계 파라미터  
Table 1 Design parameters of Buck-HB LLC configuration

Buck 컨버터		
출력 인덕터	인덕턴스	1.275 mH
	저항	165 mΩ
	코어	창성 CH610125
출력 커패시터	15 μF	
MOSFET	Infineon 社 IXP24N90P	
다이오드	IXYS 社 DSE12 10A	
HB LLC 컨버터		
공진 인덕터	61.2 μH	
공진 커패시터	40.72 nF	
변압기 권선비	10 : 1	
자화인덕턴스	186.6 μH	
출력 커패시터	650 μF	
MOSFET	Toshiba 社 TK13A45D	
다이오드	Fairchild 社 SS 60 0045B	

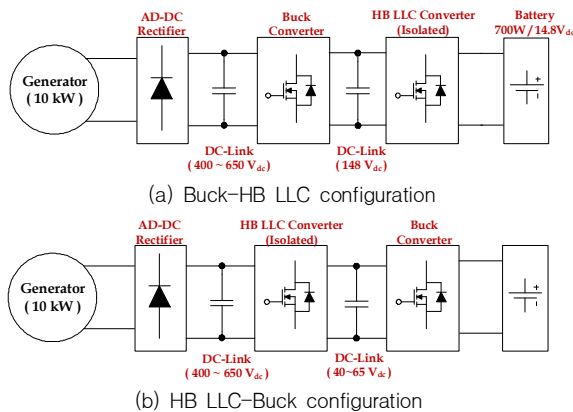


그림 1 2-stage DC-DC 컨버터 구성 방법  
Fig. 1 2-stage DC-DC converter configurations

표 2 HB LLC-Buck 구성방법 설계 파라미터  
Table 2 Design parameters of HB LLC-Buck configuration

HB LLC 컨버터		
공진 인덕터	61.2 $\mu H$	
공진 커패시터	40.72 nF	
변압기 권선비	10 : 1	
자화인덕턴스	186.6 $\mu H$	
출력 커패시터	300 $\mu F$	
MOSFET	Infineon 社 IXP24N90P,	
다이오드	Fairchild 社 SS 60 0045B	
Buck 컨버터		
출력 인덕턴스	인덕턴스	2.00 $\mu H$
	저항	25.8 m $\Omega$
	코어	창성 CH234125
출력 커패시터	100 $\mu F$	
MOSFET	Fairchild 社 AUIRFZ48Z	
다이오드	Fairchild 社 DSS 60 0045B	

### 3. 2-stage DC-DC 컨버터 시뮬레이션

시뮬레이션은 전력반도체소자의 도통손실과 스위칭손실 외에도 변압기손실 (출력전력의 1%로 가정)과 인덕터 손실을 고려하였다. HB LLC는 모든 입력력 조건에서 영전압 스위칭을 하고 HB LLC를 입력측에 구성하면 그림 2와 같이 도통전류가 작아지기 때문에 효율이 높다. Buck 컨버터는 출력측에 구성하면 도통전류는 높게 발생하나, 전력반도체 소자에 인가되는 전압이 입력측에 구성 할 때 보다 작기 때문에 스위칭손실이 적고, 낮은 전압정격의 소자를 사용하기 때문에 도통전류증가에 따른 손실증가분보다  $r_{ds(on)}$ 과  $V_F$ 의 감소로 인한 도통손실저감 이득이 크다. 따라서 중부하 조건에서는 그림 3과 같이 Buck 컨버터가 출력측에 위치 할 경우가 효율이 높다.

커패시터는 고주파 특성이 좋은 필름 커패시터로 설계하였다. 인덕터는 출력측에 Buck 컨버터를 구성하면 전류가 증가하나, 인덕턴스를 작게 설계를 할 수 있으므로 권선수를 작게 가져갈 수 있다. 그러므로 자화력이 감소하여 코어를 작게 설계할 수 있다. 따라서 출력측에 Buck 컨버터가 위치 할 경우에 그림 4와 같이 전체 시스템의 전력밀도가 높다.

출력전압 제어 측면에서는 출력측에 Buck 컨버터가 위치하게 되면, Buck 컨버터의 제어전달함수에 HB LLC로 인한 영향이 없기 때문에 입력력 변화에 따른 제어전달함수가 입력측에 구성을 할 때 보다 안정적이다.

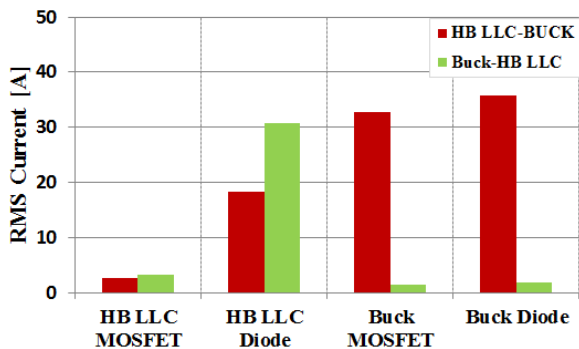


그림 2 최대부하에서 소자의 도통전류  
Fig. 2 Conduction current at the maximum load

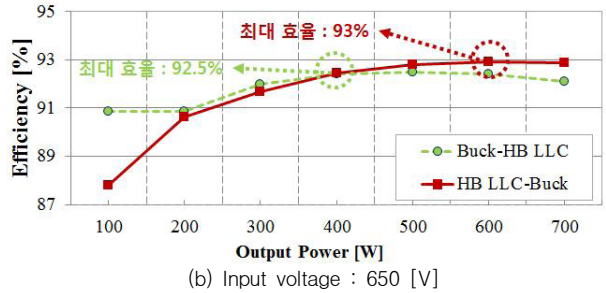
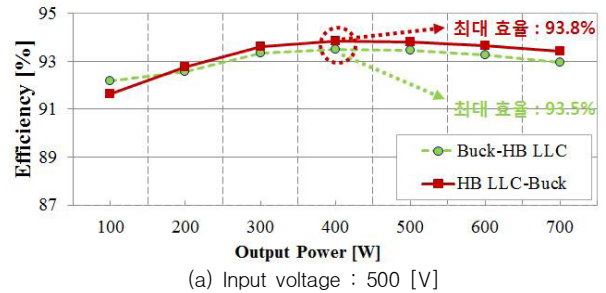


그림 3 입력전압에 따른 효율 곡선  
Fig. 3 Efficiency curve depending on the input voltage

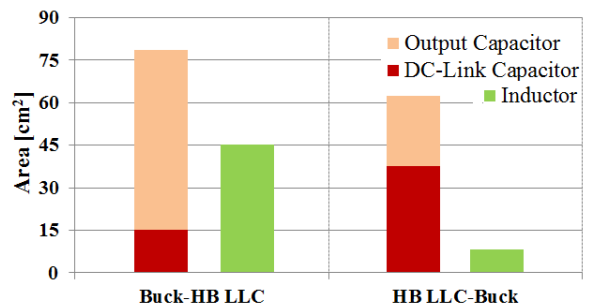


그림 4 출력 커패시터와 인덕터 면적  
Fig. 4 Area of output capacitors and inductors

### 4. 결론

Buck 컨버터와 HB LLC로 2 stage DC DC 컨버터를 구성할 경우, 중부하 영역에서 출력측을 Buck 컨버터로 구성하는 것이 효율이 높으며 전력 밀도가 높고 출력전압 제어가 안정적이다. 본 논문에서 타겟으로 하는 냉동유닛용 LDC는 중부하영역이 주 동작영역이기 때문에 입력측을 HB LLC, 출력측을 Buck 컨버터로 구성하는 것이 유리하다.

### 참고 문헌

[1] Moon Yong Kim, Bong Chul Kim, Ki Bum Park, Gun Woo Moon, "LLC Series Resonant Converter with Auxiliary Hold Up time Compensation Circuit", 8th International Conference on Power Electronics, 2011. pp. 628-633.  
[2] Texas Instruments, "Designing an LLC Resonant Half Bridge Power Converter", Power supply design seminar, 2010.