

# 효율과 무게를 고려한 태양광 성층권 드론용 공진형 벡 컨버터 설계

엄부현, 고영종

부경대학교 전기공학부 전기공학전공

## Design of Resonant Buck Converter for Photovoltaic Stratospheric Drones Considering Efficiency and Weight

BuHyeun Eom and Youngjong Ko

Department of Electrical Engineering, Pukyong National University

### ABSTRACT

본 논문은 효율과 무게를 고려한 성층권 드론용 태양광 발전을 위한 공진형 벡 컨버터를 설계한다. 설계 목적을 달성하기 위해 시스템 레벨에서 모듈화 구조를 고려한다. 컨버터 레벨에서는 고효율화를 위해 WBG 소자인 SiC-MOSFET, GaN-MOSFET를 고려한다. 또한, 모듈의 정격 전력을 주요 매개변수로 하여 무게에 큰 비중을 차지하는 인덕터와 방열 시스템을 고려하여 컨버터 무게 분석을 한다. 또한, 설계된 컨버터의 효율은 시뮬레이션을 통해 검증된다.

### 1. 서론

성층권 드론은 산불 등 자연재해를 감시하고 기상현상을 관측할 수 있어 주목받고 있다. 또한, 장기간 관측을 가능하게 하기 위해 드론의 장기 비행을 위한 연구가 진행되고 있다. 성층권 드론은 일반적으로 날개 상단에 부착된 태양광 패널로부터 필요한 에너지를 공급받아 태양광 성층권 드론이라고도 불린다. 태양광 패널에서 생성된 에너지는 DC-DC 컨버터를 통해 배터리와 같은 에너지 저장 시스템에 저장되어 야간 비행 시 사용된다.<sup>[1],[2]</sup>

태양광 성층권 드론의 장기 비행을 위해 컨버터의 고효율화와 경량화 설계가 필수적이다. 하지만, 컨버터 설계에 있어 고효율과 경량화 목표는 상충되는 문제가 있다. 예를 들어, 스위칭 손실을 저감할 수 있는 소프트 스위칭 방식의 DC-DC 컨버터가 고효율 설계에 채택되고 있다. 그러나 이 방식은 공진 소자가 추가적으로 필요하게 되어 컨버터의 무게를 증가시킨다.<sup>[3]</sup> 이러한 문제를 극복하기 위해 컨버터의 효율과 무게 분석을 통한 최적의 설계 조건을 찾는 것이 중요하다.

본 논문에서는 성층권 드론에서 태양광 발전을 위한 고효율 및 경량화 공진형 컨버터 설계를 제안한다. 고효율 및 경량화 설계를 위해 시스템 레벨에서 모듈화 구조를 고려한다. 즉, 모듈의 정격 전력을 설계변수로 한다. 또한, 컨버터 레벨에서 SiC-MOSFET 및 GaN-MOSFET 스위칭 소자에 따른 무게 및 효율 분석이 수행된다. 드론은 주로 성층권에서 작동하기 때문에, 드론의 내부 온도를  $-50^{\circ}\text{C}$ 로 가정하고 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

### 2. 효율 및 무게를 고려한 컨버터 설계

#### 2.1 시스템 레벨

본 논문에서 설계할 컨버터의 총 정격 전력은 6kW이다. 단일 유형의 컨버터로 설계할 경우, 큰 전류가 흐르게 되어 소자들의 크기가 커지며 컨버터의 무게가 증가한다. 반면, 모듈화 구조를 선정한다면 모듈의 수와 모듈당 정격 전력에 따라 최대 전류를 결정할 수 있으므로, 무게와 손실을 고려하여 컨버터의 유연한 설계가 가능하다. 그러므로 본 논문에서는 모듈화 구조를 고려하며, 모듈당 정격 전력을 기반으로 효율과 무게 분석을 통해 고효율 및 경량화 컨버터를 설계한다.

#### 2.2 컨버터 레벨

DC-DC 컨버터는 일반적으로 절연형과 비절연형으로 나뉘어진다. 절연형 토폴로지는 스너버 회로와 리셋 회로와 같은 추가적인 회로로 인해 무게가 증가하고 추가적인 손실이 발생한다. 하지만 비절연형 토폴로지는 절연형보다 구성 소자가 작고 추가적인 손실이 없다. 그러므로 고효율 및 경량화 설계에 있어 비절연형 토폴로지가 유리하고, 스위칭 손실을 저감하기 위해 소프트 스위칭 방식을 적용한다. 최종적으로 입력 전압을 낮출 수 있는 공진형 벡 컨버터를 선정한다.

### 3. 효율 및 중량을 고려한 공진형 벡 컨버터 설계

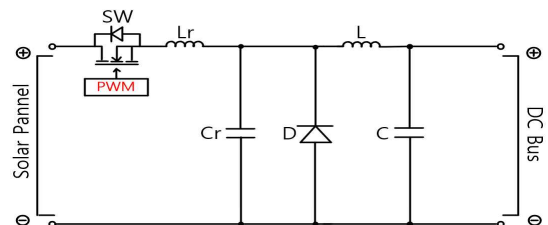


그림 1 공진형 벡 컨버터 토폴로지

Fig. 1 Resonant buck converter topology

표 1 모의실험 파라미터값

Table 1 Simulation parameters

|         |            |         |                     |
|---------|------------|---------|---------------------|
| 입력 전압   | 70 V       | 공진 인덕터  | 256 $\mu\text{H}$   |
| 출력 전압   | 48 V       | 공진 커패시터 | 0.444 $\mu\text{F}$ |
| 스위칭 주파수 | 100kHz     | 필터 인덕터  | 0.11mH              |
| 공진 주파수  | 149.254kHz | 필터 커패시터 | 3 $\mu\text{F}$     |

본 논문에서 설계할 공진형 벡 컨버터는 그림 1과 같다. 회

로는 스위칭 소자( $SW$ ), 공진 인덕터( $L_r$ ), 공진 커패시터( $C_r$ ), 다이오드( $D$ ), 필터 인덕터( $L$ ), 필터 커패시터( $C$ )로 구성된다. 표 1은 본 논문에서 사용한 시스템 파라미터값이다.

### 3.1 무게분석

필터 인덕터의 무게는 정격전류와 인덕턴스에 비례하다. 정격전류는 모듈당 정격전력으로, 인덕턴스는 스위칭 주파수에 의해 결정된다. 본 논문에서는 100kHz 스위칭 주파수 적용 시 모듈당 정격전력에 따른 인덕터의 무게를 분석한다.

방열판의 무게는 식 1과 같이 방열판의 열저항을 통하여 계산된다. 여기서  $\theta$ 는 전체 열저항,  $\theta_c$ 는 절연 열저항,  $\theta_{j-c}$ 는 케이스 사이 접합 열저항,  $\theta_s$ 는 접촉 열저항이다. 전체 열저항은 변화하는 접합 온도에 대한 컨버터의 손실로 계산할 수 있으며 식 2와 같다.

$$\theta_{f-a} = \theta - (\theta_c + \theta_{j-c} + 2\theta_s) \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\Delta T_j}{P_T} \quad (2)$$

그림 2는 자연공냉식 방열을 고려한 모듈당 정격전력에 따른 중량 분석 결과이다. 인덕터의 경우, 정격전류는 증가하지만 스위칭 주파수가 고정되어 있으므로 무게변화가 크지 않다.

방열판의 경우 정격전력이 증가할수록 컨버터의 손실이 증가하게 되어 필요한 전체 열저항이 낮아진다. 그러므로, 낮은 열저항을 갖는 방열판이 필요하고, 큰 면적을 차지하고 무거운 방열판이 사용된다. 즉, 1.5kW급 컨버터는 1kW급 컨버터보다 약 167g 더 무거운 방열판이 필요하다.

### 3.2 효율분석

본 논문에서는 전력반도체 소자별 전압, 전류, 접합온도로 구성된 3D 룩-업 테이블을 통해 스위칭 손실을 분석하였다. 전도 손실은 접합온도에 따른 순방향 전압강하와 전류로 구성된 2D 룩-업 테이블을 통해 분석하였다. 그림 3은 전력반도체 소자에 따른 공진형 벅 컨버터의 효율 결과이다. 입력전압, 스위칭 주파수, 모듈별 정격전력에 따라 알맞는 전력반도체를 사용하여 효율을 분석하였다. 분석 결과, 동일한 전력반도체에서 1kW급 컨버터가 1.5kW급 컨버터보다 전반적인 효율이 높으며, 동일한 정격전력에서는 GaN-MOSFET이 SiC-MOSFET보다 높은 효율을 달성했다. 결론적으로, GaN-MOSFET을 사용한 1kW급 공진형 벅 컨버터가 최고 효율 98.52%로 가장 우수한 효율을 보인다.

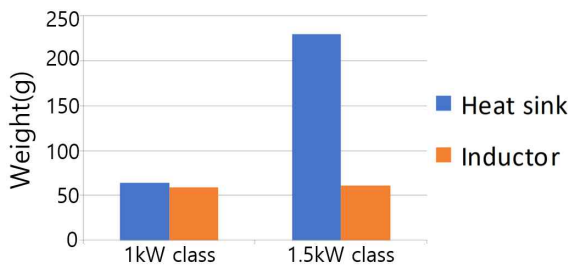


그림 2 모듈 정격 전력에 따른 무게 분석  
Fig. 2 Weight analysis according to rated power of a module

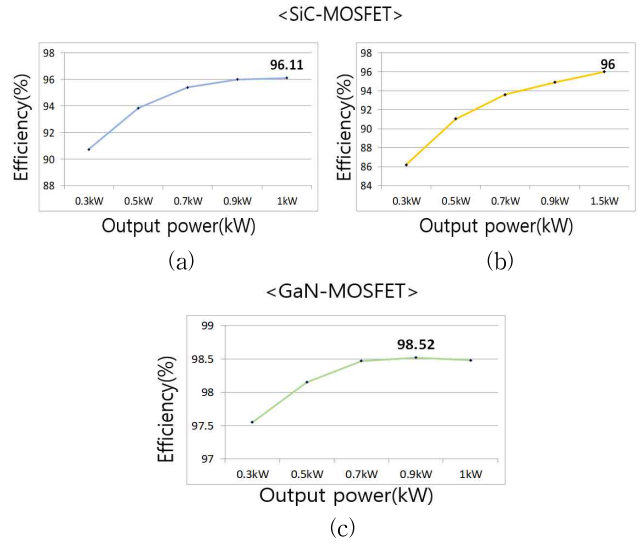


그림 3 효율 분석: (a) SiC-MOSFET 적용 1kW 급 모듈, (b) SiC-MOSFET 적용 1.5kW 급 모듈, (c) GaN-MOSFET 적용 1kW 급 모듈

Fig. 3 Efficiency: (a) 1kW module with SiC-MOSFET, (b) 1.5kW module with SiC-MOSFET, (c) 1kW module with GaN-MOSFET

## 4. 결론

본 논문에서는 성층권 드론을 위한 공진형 벅 컨버터의 고효율 및 경량화 설계를 제안한다. 효율 분석은 GaN-MOSFET을 사용한 1kW급 공진형 벅 컨버터가 최고 효율 98.52%로 SiC-MOSFET보다 약 2.41% 더 우수한 효율을 달성할 수 있다. 또한, 무게 분석 결과로써 모듈당 정격전력이 1.5kW급 컨버터보다 1kW급 컨버터가 약 168g 더 가벼운 설계가 가능하다. 결론적으로 GaN-MOSFET을 사용한 1kW급 공진형 벅 컨버터가 고효율 및 경량화 최적 설계임을 입증한다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022M3C1C7090948)

## 참고 문헌

- [1] Chang-Hee. Lee, "Journal of The Defense Science & Technology Information," Defense Agency for Technology and Quality, pp. 1-3, 2020.
- [2] 안일영, 배재성, 박상혁, "소형 태양광 무인 항공기의 비행 실험에 관한 연구," 한국태양에너지학회 2012년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 313-318, 2012.
- [3] 이성룡, 이은철, "PPT 기반 MPPT 컨버터에 의한 태양광 발전시스템의 효율 개선," 전기학회논문지 B권, vol. 55, no. 4(B), pp. 216-223, 2006.
- [4] S. Mounce, B. McPherson, R. Schupbach, and A.B. Lostetter, "Ultra-Lightweight, High Efficiency SiC Based Power Electronic Converters for Extreme Environments," 2006 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, pp. 19, 2006.