

# GaN-FET를 적용한 고방열 및 고전력밀도 모듈형 벅 컨버터

김성권, 양정우, 최윤화\*, 김구용\*\*, 한상규†  
국민대학교 POESLA<sup>1</sup>, 제엠제코(주)\*, (주)엠디엠(MDM)\*\*

## High Heat Dissipation and High Power Density Modular Buck Converter Based GaN-FET

Sung Kwon Kim, Jung woo Yang, Yun Hwa Choi\*, Ku Yong Kim\*\*, Sang Kyoo Han†  
Power Electronics System Laboratory, Kookmin Univ, JMJ Korea Co Ltd\*, MDM Co Ltd\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 Gallium Nitride Field Effect Transistor(GaN FET)를 적용한 고방열 및 고전력밀도 모듈형 벅 컨버터를 제안한다. Si MOSFET를 적용한 벅 컨버터는 높은 스위칭 손실로 인해 고주파수 구동 및 자기소자 사이즈 저감에 한계가 존재하여 고전력밀도화가 어렵다. 반면, 제안된 방식은 스위칭 특성이 우수한 GaN FET를 적용하여 고주파수 구동이 가능하며, 추가로 평면형 인덕터를 적용함으로써 자기소자의 부피 저감을 통해 컨버터의 고전력밀도화 및 모듈화가 가능하다. 특히, 방열 플레이트 및 케이스로 구성된 새로운 고방열 구조를 통해 방열 효과를 극대화시킬 수 있다. 제안된 모듈형 벅 컨버터의 타당성 검증을 위해 입력전압 48V, 출력전압 24V의 300W급 시제품 제작을 통한 실험결과를 제시한다.

### 1. 서론

최근 전자기기의 소형화 추세에 따라 전원회로의 고전력밀도가 요구되고 있으며, 고주파수 구동을 통해 자기소자의 부피를 저감함으로써 회로의 소형화가 가능한 스위칭 전원장치가 널리 사용되고 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 고전력밀도를 위해 동작 주파수를 증가시킬 경우, 주파수에 비례한 스위칭 손실이 발생하므로 스위칭 방열에 대한 대책이 필수적이다. 또한 부피 저감에 용이한 평면 인덕터를 적용하기 위해 다층 PCB를 사용할 경우, 내층의 인덕터 패턴 발열이 효과적으로 배출되지 못하는 문제가 존재한다. 따라서 본 논문은 스위칭 특성이 우수한 GaN FET를 적용함으로써 스위칭 손실을 저감하고, 효율적인 방열 구조를 제시하여 컨버터의 발열을 효과적으로 해결한다.

### 2. 고전력밀도를 갖는 동기식 벅 컨버터

기존 Si MOSFET을 적용한 Continuous Conduction Mode (CCM) 구동의 일반적인 벅 컨버터는 출력전류가 증가할수록 높은 다이오드 도통 손실이 발생한다. 또한 스위칭 손실과 다이오드의 역 회복 특성에 의해 고속 스위칭이 어렵기 때문에 자기소자의 사이즈 저감에 한계가 있다.

반면, 제안 방식은 그림 1의 동기식 벅 컨버터에 온 저항 및 기생성분이 작고 스위칭 특성이 우수한 GaN FET를 적용함으로써 도통 손실을 줄일 수 있으며, 고속스위칭이 가능해지므로<sup>[2]</sup> 자기소자의 사이즈 저감이 가능하다. 또한, PCB 패턴으로 인덕터

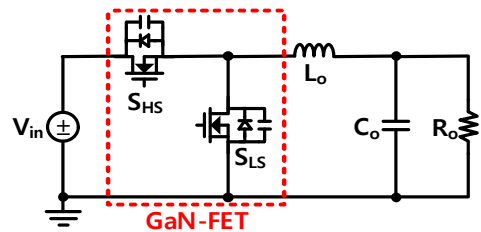


그림 1 GaN-FET를 적용한 동기식 벅 컨버터  
Fig. 1 Synchronous Buck converter with GaN-FETs

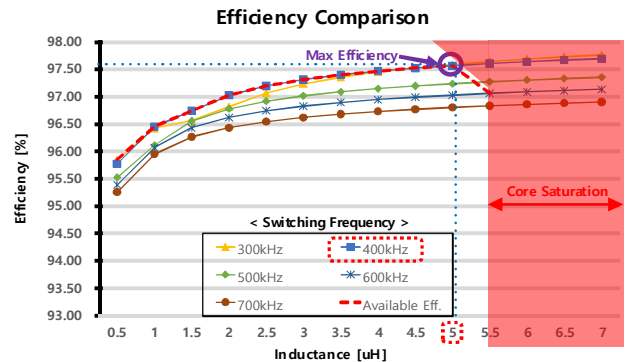


그림 2 스위칭 주파수 및 인덕턴스에 따른 효율 비교  
Fig. 2 Efficiency Comparisons according to Switching Frequency and Inductance

권선을 대체하여 별도의 보빈이 요구되지 않으며, 낮은 높이와 넓은 표면적을 가지는 평면형 자기소자를 적용함으로써 모듈화 및 방열에 유리하므로 고전력밀도화가 가능하다.

고전력밀도의 모듈형 컨버터는 소형화를 위해 주요소자의 손실과 발열을 최소화하는 것이 중요하다. 따라서 GaN FET EPC2021을 기반으로 이론적인 분석을 통해 주파수 및 인덕턴스에 따른 효율 비교 결과를 그림 2에 나타내었다. 제안 방식은 인덕턴스가 증가할수록 높은 효율을 갖지만, 코어 포화 와 코어 손실에 의해 인덕턴스 증가가 제한된다. 따라서 코어가 포화되지 않으며, 최고효율 97.54%를 갖는 스위칭주파수 400KHz와 인덕턴스 5uH를 최적 동작 파라미터로 선정한다.

### 3. 고방열 구조가 적용된 모듈형 컨버터

전력변환 회로에서 IC나 전력반도체는 PCB 표면에 실장되며, 손실로 인한 발열을 해결하기 위해 추가적인 방열 구조물이

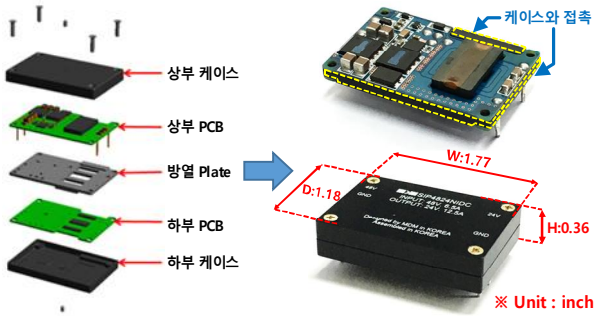
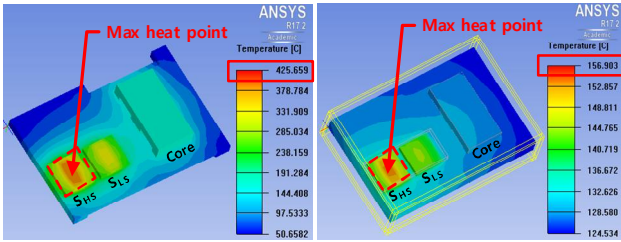


그림 3 방열 플레이트를 추가한 고방열 구조 및 모듈 사이즈  
Fig. 3 High heat dissipation structure and module size with heat dissipation plate



(a) 방열구조 미적용 [300W] (b) 방열구조 적용 [300W]

그림 4 (열해석) 제안 방열구조 적용에 따른 발열 비교  
Fig. 4 (Thermal analysis) Comparison of heat generation in accordance with the proposed heat dissipation structure

요구된다. 이로 인해 전체 시스템의 사이즈가 커지기 때문에 컨버터의 소형화 및 모듈화가 어렵다. 또한 평면형 자기소자를 적용하기 위해 다층 PCB구조를 사용 할 경우, PCB 내층의 인덕터 패턴 발열은 효과적인 배출이 어렵기 때문에 별도의 방열 수단 없이는 패턴 두께와 폭의 증가가 불가피하다. 반면 본 논문에서 제안하는 방열 구조는 그림 3과 같이 다층 PCB를 상·하부 두 부분으로 분리하고, 상부와 하부 PCB 사이에 절연 및 방열 효과가 우수한 아노다이징 플레이트를 삽입하여 다층 PCB 및 회로소자에서 발생하는 열을 효과적으로 분산시킨다. 또한 케이스는 주요 발열소자 및 방열 플레이트와 넓은 면적으로 접촉되는 방열경로를 가지므로, 회로에서 발생하는 열을 효과적으로 방출하여 냉각효율이 향상 된다.

제안 고방열 구조의 냉각성능을 검증하기 위해 상용 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램인 ICEPAK 17.2를 사용하여 열해석 시뮬레이션을 실시하였다. 해석의 수렴성 확보를 위해 모델링을 최대한 단순화했으며, 자연대류 조건에서 외기온도는 상온인 25°C로 설정하였다. 주요 발열소자에 이론적인 손실을 적용한 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타내었다. 방열 구조를 적용함으로써 발열 수준이 기존의 약 37%로 낮아지는 것을 확인하였으며, 이를 통해 제안 방열 구조의 냉각 방식이 효과적이라는 것을 검증하였다.

#### 4. 실험 결과

제안된 방식의 모듈형 벡 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 아래와 같은 사양으로 제작된 시제품을 통해 실험한 결과를 제시한다.

- $P_O = 300W$     •  $V_{in} = 48V$         •  $V_{out} = 24V$
- $L_O = 5\mu H$     •  $f_{sw} = 400kHz$     • GaN FET = EPC2021

표 1 부하 및 방열구조에 따른 주요소자 발열 비교

Table 1 Thermal comparison of main components based on load and heat dissipation structure

	부하 [W]	발열 [°C]			효율 [%]
		$S_{HS}$	$S_{LS}$	Core	
플레이트 미적용	60	101	90	88	95.64
플레이트 적용	90	107	91.8	87.1	96.34
플레이트 및 케이스 적용	150	103	100	93.9	96.98

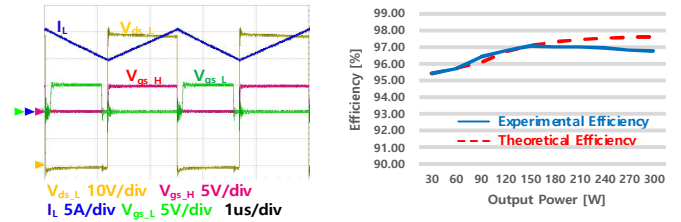


그림 5 주요 실험 파형 및 이론효율과 실험효율 결과 비교  
Fig. 5 Experimental key waveforms and comparison theoretical efficiency to experimental efficiency

부하 및 방열구조 적용에 따른 주요소자의 발열을 비교하여 표 1에 나타내었다. 외부 방열판 없이 방열 플레이트와 케이스를 모두 적용하여 출력 150W 구동이 가능하며, 96.98%의 효율을 갖는다. 이때, 상단과 하단 스위치 및 코어의 발열이 큰 차이 없이 고르게 측정되어 제안된 방열구조가 회로에서 발생하는 열을 효과적으로 분산시키며 외부로 방출함을 증명할 수 있었다.

그림 5는 최대 출력 300W에서 측정된 주요 실험파형과 효율 비교를 제시하고 있다. 제작된 모듈형 컨버터는 추가적인 방열판을 부착 시 300W 구동이 가능하며, 96.68%의 효율을 갖는다. 측정된 효율과 이론적인 효율이 전 출력부하 범위에서 1%의 오차를 가지므로, 앞선 이론적 분석이 타당함을 확인할 수 있었다. 또한 제작된 모듈형 컨버터는 전력밀도 364W/in<sup>3</sup>를 가지므로 제안 방식은 고전력밀도 구현에 적합하다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 동기식 벡 컨버터에 스위칭특성이 우수한 GaN FET 및 평판형 자기소자를 적용하여 컨버터의 부피 저감을 이루었으며, 열해석을 통해 검증된 방열구조를 적용하여 300W급 시제품을 제작하였다. 체적 0.8238in<sup>3</sup>에서 364W/in<sup>3</sup>의 고전력밀도를 갖는 모듈형 벡 컨버터를 구현함으로써 제안된 방식이 고전력밀도 및 모듈화에 적합함을 검증하였다.

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2313824, 고밀도 전원장치용 패키지 및 방열 기술 개발]

#### 참 고 문 헌

- [1] 신정민, 김수산, 박철완, 권기현, 허태원, 류동균, 최홍균, 김희욱, 한상규. “고 전력밀도 모듈형 전력컨버터를 위한 무손실 스너버”, 전력전자학회논문집, 271 272, 2015.
- [2] Duarte, Renan R., et al. "Performance comparison of Si and GaN transistors in a family of synchronous buck converters for LED lighting applications." Industry Applications Society Annual Meeting, 2016 IEEE, 2016.