

# SiC FET을 이용한 대용량 인버터 특성 분석

정하용\*, 임양택\*, 김시호\*, 김남준\*\*, 김종수†\*\*  
(주)다인산전\*, 대진대학교\*\*

## Evaluation of SiC FET-based High Power Inverter

Ha Yong Jeong\*, Yang Taek Lim\*, Si Ho Kim\*, Nam Jun Kim\*\*, Jong Soo Kim†\*\*  
Dainpower\*, Daejin University\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 SiC FET를 이용한 80kW 3상 PWM 인버터의 특성에 대해 다룬다. 기존 IGBT 인버터와 SiC FET 인버터의 게이트 특성, 각 부 손실, 시스템 효율 등을 시뮬레이션 및 실험하여 비교 분석한다.

### 1. 서론

실리콘 반도체 기반의 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)는 전압구동형 MOS Gate 구조를 가지고 있으면서 고전압 및 대전류를 처리할 수 있는 능력으로 인해 대용량 인버터 분야에서 절대적인 시장을 확보하고 있다. 최근 출시되는 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)의 경우 내압 및 FOM (Figure of Merit)이 크게 개선되어 IGBT 적용 응용분야에 일부 적용이 가능하기는 하나, 상대적으로 취약한 역회복 특성으로 인해 중대용량 이상의 인버터 분야에는 적용이 어려운 실정이다.

최근 이러한 단점이 충분히 보완된 SiC (SiC Silicon Carbide) FET이 기존 중대용량 IGBT Module의 표준 Package와 동일 Package로 출시되면서 (1200V/300A dual pack module) 중대용량 인버터 분야에도 더 높은 스위칭 주파수 구현으로 시스템의 전력밀도를 높이려는 시도가 이루어지고 있으며, 중소용량 분야에서는 일본 M사의 SiC FET 적용 태양광 PCS 제품이 출시되기도 했다.<sup>[1] 3회[5]</sup>

따라서 본 논문에서는 최근 출시된 대용량 SiC FET Module을 (1200V/300A) 이용하여 80kW급 3상 PWM 인버터를 구현하고, 기존 IGBT 대비 Gate 특성, 과도특성, 각 부 손실, 시스템 효율, 온도 특성 등을 시뮬레이션 및 실험을 통해 비교함으로써 SiC FET의 대용량 인버터 적용 가능성 및 한계 등을 고찰하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 SiC FET vs IGBT 소자 특성 비교

SiC FET은 소재와 제조특성 상 1) Si 기반 IGBT에 비해 10배 이상 높은 breakdown field를 가지기 때문에 동일 breakdown voltage 조건에서 더 낮은 온저항과 빠른 스위칭이 가능하고, 2) 3배 이상의 thermal conductivity를 가지기 때문에 보다 높은 current density를 가지며, 3) 3배 이상의

표 1 SiC FET와 IGBT의 주요 파라미터

Table 1 Key parameter of SiC FET and IGBT

Parameter	SiC FET	IGBT
Product	CAS300M12BM2	FF300R12KT4
$R_{DS(ON)}$ [mΩ]	5.7	7.17 (2.15V@25oC)
$t_r$ [ns]	144	200
$t_f$ [ns]	211	550
$V_f$ [V]	2.0	2.15
$Q_{rr}$ [μC]	3.2	31

bandgap으로 인해 더 높은 온도에서 동작이 가능한 소자로 알려져 있다. SiC FET 인버터 성능 성능평가를 위하여 Cree사의 1200V/300A SiC FET과 동일 사양의 Infineon사 IGBT를 선정하였고 표 1에 각 module의 주요 사양을 나타내었다.

#### 2.2 3상 PWM 인버터 시스템 구성 및 모의실험<sup>[4]</sup>

손실분석을 위한 모의실험을 PSIM thermal module을 이용하여 수행하였다. 그림 2는 모의실험을 위한 전체 schematic을 나타내고, 모의실험 조건은  $P_o=80kW$ ,  $V_{in}=600Vdc$ ,  $V_{out}=380Vac$ ,  $I_{out}=121Arms$ ,  $f_{sw}=5kHz$  &  $10kHz$ ,  $L_{PF}=0.75mH/130uF$ 이며 SiC와 IGBT의 실제 소자 특성곡선을 바탕으로 소자 모델링을 수행하였다.

표 2는 모의실험을 통해 도출된 SiC FET과 IGBT의 각 부 주요손실을 나타낸다. 모의실험 결과 SiC FET이 IGBT에 비해 스위칭 손실이 현저히 낮은 것을 확인할 수 있으며, 스위칭 주파수 증가에 따른 손실 증가 비율도 더 낮은 것을 확인할 수 있다.

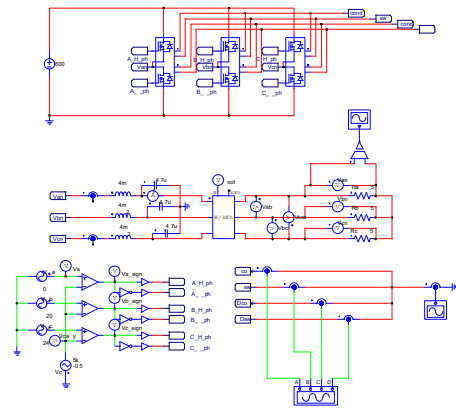


그림 2 모의실험 구성도

Fig. 2 Schematic for computer simulation

표 2 SiC FET와 IGBT의 주요 파라미터  
Table 2 Key parameter of SiC FET and IGBT

fsw/devices	5kHz		10kHz	
	SiC	IGBT	SiC	IGBT
Pcond [W]	215.46	392.76	204.4	377.59
Psw [W]	83.74	343.89	166.08	672.56
Dcond [W]	44.45	45.58	46.31	47.47
Dsw [W]	1.2	62.71	2.39	124.53
Total [W]	344.85	844.94	419.18	1,222.2

### 2.3 실험세트 구성

이론 및 모의실험 결과 검증에 위해 그림 3과 같이 실험세트를 구성하였으며 실험조건은 모의실험조건과 대부분 일치시켰으나 부하조건은 저항부하 대신 Reactor 부하로 v/f 제어를 통해 정격 출력전류만 동일크기로 제어하였다. SiC FET과 IGBT의 특성 비교를 위해 모든 조건은 동일하게 설정하였으나, SiC FET 제조사의 추천에 따라 SiC FET의 게이트는 +20/ 5V로 구동하였다.

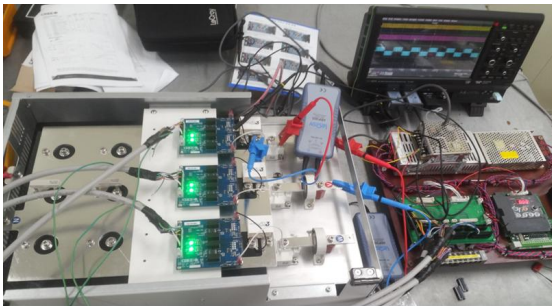


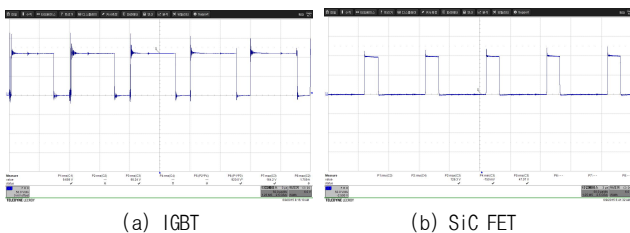
그림 3 실험세트  
Fig. 3 Test-bed setup

### 2.4 실험결과

그림 4는 각 소자의 게이트 전압을 나타내며 10ohm의 동일 게이트 저항 조건에서 측정되었다. Rising & falling time은 각각 2.3/2.06usec와 1.14/0.916usec로 SiC FET이 2배 이상 빠른 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 정격부하조건에서 스위치 오프 시 스위치 양단 전압 (Vce or Vds)의 과도특성을 나타낸다. 작은 기생성분과 우수한 역회복 다이오드 특성으로 인해 SiC FET의 과도특성이 더 우수한 것을 확인할 수 있다.



(a) IGBT  
그림 4 Gate 전압  
Fig. 4 Gate voltage



(a) IGBT  
그림 5 턴-오프 과도상태 Vce 전압  
Fig. 5 Vce voltage at gate turn-off

표 3 효율측정결과  
Table 3 Measuring result of system efficiency

구분 fsw[kHz]	SiC FET		IGBT	
	효율(%)	손실(W)	효율(%)	손실(W)
5	98.8	126.11	98	210.35
10	98.3	198.75	97.5	384.11

SiC FET 인버터의 경우 fsw가 5kHz 조건에서 효율이 98.8% IGBT 인버터는 98%이다. fsw를 10kHz로 증가시켰을 경우, SiC FET 인버터는 98.3%, IGBT 인버터는 97.5%의 효율을 보인다.

위의 두 값을 비교해보면 fsw가 5kHz에서 10kHz로 증가하였을 경우, SiC FET 인버터는 fsw가 10kHz 조건에서는 SiC 효율 98.5로 약 63% 손실이 증가 되는데 반해, IGBT의 경우 97.5%로 약 82% 손실이 증가되는 것을 볼 수 있다. fsw가 증가하는 고주파 스위칭 시 IGBT인버터보다 SiC FET을 적용한 인버터가 고효율 및 고밀도 획득이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 고효율 인버터를 개발하기 위하여 차세대 반도체로 평가 받는 와이드 밴드 갭 소자인 SiC FET를 이용하여, 인버터를 설계하고, 현재 가장 많이 사용되는 반도체 소자인 Si IGBT와 성능을 비교해 보았다. 시뮬레이션과 실험을 통해 SiC FET 인버터는 Si IGBT 인버터보다 스위칭 손실과 다이오드 역회복 손실 측면에서 매우 우수한 특성을 보이는 것을 확인하였다. 이를 통해 더 높은 스위칭 주파수 동작으로 IGBT 대비 고밀도 구현이 가능하고 또는 동일 전력밀도 구현 시 30% 이상의 효율 향상이 가능하다는 것을 확인하였다. 더불어 과도현상의 저감을 통해 EM 노이즈 측면에서도 장점을 가질 것으로 예상되어 향후 SiC FET의 IGBT 대체 가능성이 높을 것으로 예상된다.

### 참고 문헌

- [1] 안정훈, "Si MOSFET vs. GaN FET Power System의 손실 분석", 전력전자학회, pp. 190 191, 2013, 11.
- [2] 강인호, "SiC 전력반도체 소자기술 동향", 세라미스트, 제 16권 제 4호, pp. 7 16, 2013, 12.
- [3] [On line available] [www.mitsubishielectric.co.jp/taivo](http://www.mitsubishielectric.co.jp/taivo)
- [4] Ankit Patel, "Estimation of Junction Temperature and Power loss of IGBT used in VVVF Inverter using Numerical Solution from Data sheet Parameter", International Journal of Computer Communication and Information System(IJCCIS), ISSN : 0974 1349, July Dec 2010
- [5] 강경필, "고효율 컨버터 개발을 위한 Si 및 SiC MOSFET의 비교연구",