

태양광 PCS 개발을 통한 MNPC 타입의 전력반도체 모듈 성능 비교

김채린, 이기철, 노용수, 현병조, 박준성
 전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

A Comparative Analysis on Performance of MNPC Power Semiconductor Module through PV-PCS Development

Chae-Lyn Kim, Ky-Cheor Lee, Yong-Su Noh, Byong Jo Hyon, Joon Sung Park
 Intelligent Mechatronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

본 논문은 모듈 평가를 위한 태양광 PCS 개발과 이에 적용되는 모듈 성능 비교에 대해 다룬다. 개발되는 인버터는 3상 380V, 26.5kW 급으로 MNPC 타입의 전력반도체 모듈을 적용한다. 전력반도체 모듈 국내 개발품과 해외 선진사 제품(Vincotech 사)의 성능비교를 위해 데이터시트를 기반으로 손실 분석을 수행하였다. 그리고 이를 검증하기 위해 개발된 전력모듈을 평가용 인버터에 적용하여 부하별 효율 비교 평가를 진행하였다.

1. 서론

최근 환경오염 등의 문제로 전세계적으로 신재생 에너지에 대한 연구개발이 증가하는 추세로, 우리 정부에서는 2030년까지 재생에너지 비중을 20%로 높이는 계획을 발표하였다.^[1] 이 중 신규설비 95% 이상을 태양광과 풍력에너지 위주의 선정하여 무소음, 무제한 청정 에너지라는 장점을 갖는 태양광 발전 설비에 대하여 국·내외 연구소 및 기업에서 태양광 발전용 전력반도체 및 PCS(Power Condition System) 설계 기술 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[2]

태양광 PCS용 전력반도체의 성능에 따라 수동소자, 방열부 등의 설계 등 태양광 PCS의 전력밀도에 영향을 줄 뿐만 아니라 스위칭 손실 및 도통 손실로 인해 시스템의 효율에도 큰 영향을 끼치는 핵심 소자이다. 하지만 아직 태양광 전력반도체 시장은 해외 선진사를 중심으로 시장 점유율이 형성되어 있어 국내의 전력반도체에 대한 개발이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 국내에서 개발된 태양광 PCS용 전력반도체 모듈을 선진사의 제품과 PCS 레벨에서 비교하기 위한 평가용 인버터의 설계 및 제작과 실험 결과에 대해 다룬다. 평가용 인버터는 10kW급 이상의 태양광 PCS에 적용되고 있는 MNPC(Mixed-Voltage Neutral Point Clamped) 인버터로 구성되어 있으며, 동일한 주파수와 입출력 사양에서 부하별 효율비교를 통해 선진사의 전력모듈과 성능을 비교하였다.

2. 본론

2.1 MNPC 타입 인버터 토폴로지

MNPC(Mixed-voltage Neutral Point Clamped)의 각 레그는 4개의 IGBT와 4개의 다이오드로 구성된다. 이 중 DC 링크의

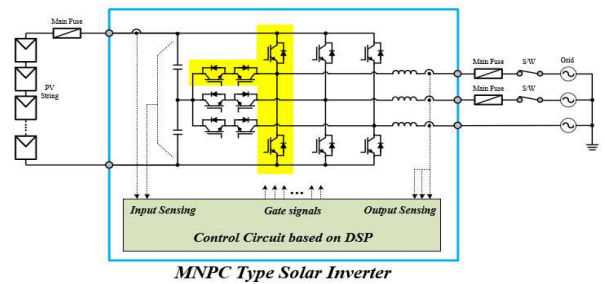


그림 1 MNPC타입 평가용 태양광 인버터의 구조
 Fig. 1 Structure of MNPC type solar inverter for evaluation

P, N 단과 연결되는 스위치는 동작 시 DC 링크 크기의 전압이 인가되고, 중성점과 연결된 스위치는 스위치는 DC 링크의 절반에 해당하는 전압이 인가된다. 본 논문에서 다루는 평가용 인버터는 MNPC 타입의 3상 인버터로, 그림 1과 같이 총 3개의 MNPC 타입의 전력반도체 모듈과 DC 링크, 출력 필터로 구성된다.^[2]

2.2 평가용 태양광 인버터 설계

그림 2는 평가용 태양광 인버터의 3D 모델링과 실물을 나타내고 있다. 평가용 인버터의 전력밀도를 높이기 위해 PCB는 전력변환부, 게이트 드라이브부, 제어부, 출력부로 크게 4부분으로 나누어 회로를 구성하였다. 전력반도체 모듈은 전력변환부와 방열판 사이에 위치하고 있으며, 그 위에는 순서대로 게이트 드라이브부, 제어부가 수직구조로 체결되도록 설계하였다.

방열팬은 인덕터와 전력변환부 사이에 위치하여 모듈과 인덕터를 방열시키도록 설계하였고, 출력부에는 출력전압 센싱과 아래에는 제어부에 전원을 공급하는 SMPS를 두어 최대한 인버터의 크기를 줄일 수 있도록 기구부의 빈 공간을 활용하여 설계하였다.

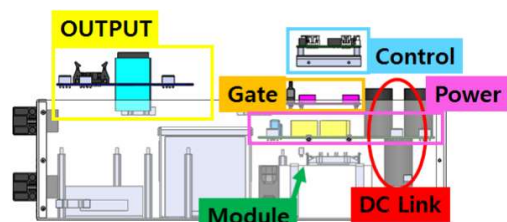


그림 2. MNPC 타입의 평가용 태양광 인버터의 3D 설계 단면도
 Fig. 2 3D design cross-section of MNPC type evaluation solar inverter

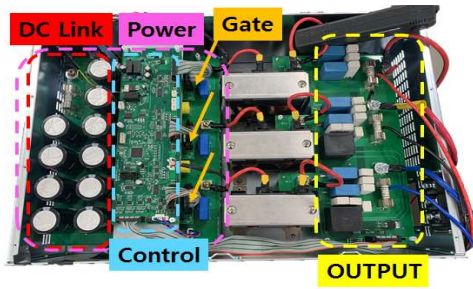


그림 3 26.5kW급 MNPC 타입의 평가용 태양광 인버터 시작품
Fig. 3 26.5kW MNPC type evaluation solar inverter

표 1 평가용 PCS에 적용된 전력모듈의 주요 사양
Table 1 Main specifications of power module applied to evaluation PCS

주요 파라미터		해외 선진사	국내 개발품
포화 전압	$V_{CE(sat)}$	2.0 [V]	1.25 [V]
턴-온 손실	E_{on}	183 [uJ]	160 [uJ]
턴-오프 손실	E_{off}	2.0 [mJ]	2.2 [mJ]

3. 시험 결과 및 분석

전력모듈 평가를 위해 제작한 MNPC 타입의 인버터는 그림 3과 같다. 정격 용량은 26.5kW이며, 평가 시 스위칭 주파수는 20kHz로 선정하였다. 평가용 인버터는 DC 파워서플라이를 통해 600V 입력전압을 인가받아 선간 380V_{RMS}를 출력한다. 인버터의 정상동작 확인을 위해 오실로스코프(HDO6104)를 통해 전압 및 전류 파형을 계측하였으며, 전력분석기(WT-1800)를 활용하여 인버터의 효율을 측정하였다. 성능 비교평가를 위한 전력모듈은 표1과 같은 국내 개발품(EcoSemitek)과 해외 선진사(Vincotech)로 선정하였다.

표 2 전력모듈 적용 인버터 출력 및 효율 결과
Table 2 Power module applied inverter output and efficiency result

해외 선진사 적용		국내 개발품 적용	
인버터 출력	인버터 효율	인버터 출력	인버터 효율
4.85 kW	98.76 %	4.84 kW	98.46%
8.71 kW	98.65 %	8.65 kW	98.52 %
13.46 kW	98.52 %	13.38 kW	98.57 %
17.23 kW	98.45 %	17.13 kW	98.48 %
21.89 kW	98.32 %	21.81 kW	98.35 %
26.57 kW	98.12 %	26.49 kW	98.18 %

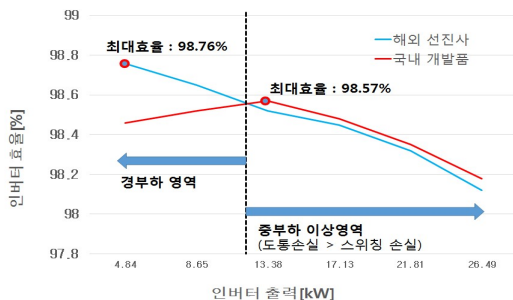


그림 4 전력모듈 비교 평가 시험 결과
Fig. 4 Power module comparison evaluation test result



그림 5 전력모듈 적용 인버터 최대효율
(a) 해외 선진사, (b) 국내 개발품
Fig. 5 Maximum efficiency of power module applied inverter
(a) Vincotech, (b) EcoSemitek

표 2와 그림 4는 국내 개발품 및 해외 선진사 제품을 적용한 경우 부하별 효율 측정 결과를 보여준다. 표 1에서 확인할 수 있듯이, 스위치 턴-오프 손실(E_{off})이 상대적으로 낮은 해외 선진사 제품을 적용한 경우 스위칭 손실이 차지하는 비중이 높은 경부하 조건에서 높은 효율이 계속되었다. 또한, $V_{CE(sat)}$ 특성이 좋은 국내 개발품을 적용한 경우, 중부하 이후 부하 조건에서 효율이 높게 계속되었다. 해외 선진사 전력모듈 반도체를 적용한 경우에는 그림 5(a)와 같이 경부하에서 최대효율 98.76%가 계속되었고, 국내 개발품을 적용한 경우 그림 5(b)와 같이 중부하 이후 조건에서 인버터 최대효율 98.57%가 계속되었다. 따라서 해외 선진사 제품은 상대적으로 스위칭 손실이 낮았고, 국내 개발품의 경우 도통 손실이 낮았다.

4. 결론

국내 전력모듈의 인버터 레벨에서의 성능 평가를 위한 평가용 태양광 PCS는 전력밀도 및 시험의 편의성을 위해 크게 4부분으로 나누어져 있으며, 입력 600V, 출력 3상 380V 조건에서 정격 용량 26.5kW로 설계하였다. 부하의 조건에 따라 전력반도체 모듈의 성능이 다름을 확인하였다. 해외 선진사 제품을 적용한 경우 상대적으로 스위칭 손실이 낮아 인버터의 최대 효율은 경부하 조건에서 계속되었고, $V_{CE(sat)}$ 특성이 좋은 국내 개발품을 적용한 경우 중부하 이후 조건에서 최대효율을 계속할 수 있었다.

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2683912]

참고 문헌

[1] 산업통상자원부, 재생에너지 3020 이행계획[안], 2017.12
[2] 조현기, 광상진. (2013). 태양광 발전시스템용 PCS 연구동향. 전력전자학회지, 18(1), 37-43.
[3] C. Schöner, D. Derix and A. Hensel, "Comparison and evaluation of different three-level inverter topologies for PV systems," 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications, Lappeenranta, 2014, pp. 1-10, doi: 10.1109/EPE.2014.6910810.