

# 10KW 급 태양광 발전용 3-Level NPC 인버터와 T-type 인버터 모듈의 손실 비교 분석

이광희, 장승용, 최재호  
 충북대학교 전력전자연구소

## The Comparative analysis of Power Losses for 3-Level NPC Inverter and 3-Level T-type Inverter Module used in 10kW Photovoltaic system

Kwanghee Lee , Seungyong Jang , Jaeho Choi  
 School of Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea

### ABSTRACT

본 논문에서는 NPC(Neutral Point Clamped) 및 T type IGBT 모듈을 이용하여 3상 3 레벨 인버터를 구성하고, 인버터에서 발생되어지는 도통손실과 스위칭 손실을 PSIM의 Thermal Module을 사용하여 확인한다. 또한 토폴로지 상의 차이에 의해 발생되어지는 스위칭 손실을 비교 하며, 시뮬레이션에 적용한 파라미터 값들을 수식에 직접 적용하여 손실에 영향을 미치는 파라미터를 확인하고, 각 파라미터의 값의 변화가 주어진 조건에서 전체 손실에 미치는 영향을 확인한다.

### 1. 서론

태양광이나 풍력발전에서 대용량 발전 시스템 설비가 늘어나면서, 인버터의 효율에 대한 많은 관심이 생겨나고 있다. 인버터의 효율을 높이는 방법으로는 NPC나 T Type, Cascade와 같은 멀티레벨 인버터를 활용하여 효율을 높이는 방법과, 발전 시스템 설계시 변압기를 없애고 구성하는 방법, PWM방식에 의해 효율을 높이는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 NPC 및 T 타입 모듈 IGBT를 이용하여 3 레벨 인버터를 구성하고, 인버터의 손실을 PSIM의 Thermal Module을 사용하여 확인한다. 또한 시뮬레이션에 적용한 파라미터 값들을 수식에 직접 적용하여 손실에 영향을 미치는 파라미터를 확인하고, 주어진 조건에서 각 회사별 모듈의 손실 계산과 시뮬레이션 결과를 비교한다.<sup>[1]</sup>

## 2. 태양광 발전 시스템

### 2.1 태양광 발전 시스템 블록도

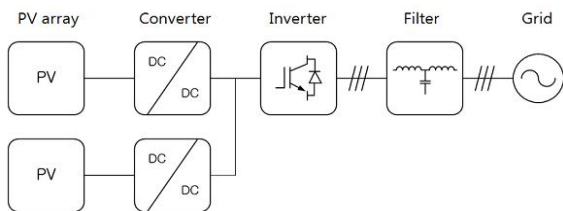


그림 1 태양광 발전 시스템 블록도

그림 1은 태양광 발전 시스템의 구조를 블록도를 이용하여 나타낸 것이다. 전체적인 구성은 앞쪽부터 빛을 전기에너지로 바꾸는 역할을 하는 PV array, 입력받은 DC전원을 인버터의 높은 입력 값을 만족시키기 위해 증폭시키는 역할을 하는 DC DC Converter, 또한 입력받은 전원을 AC 로 변환시키는 DC AC Inverter 그리고 필터로 구성되어 있다.

### 2.2 3-레벨 인버터 토폴로지

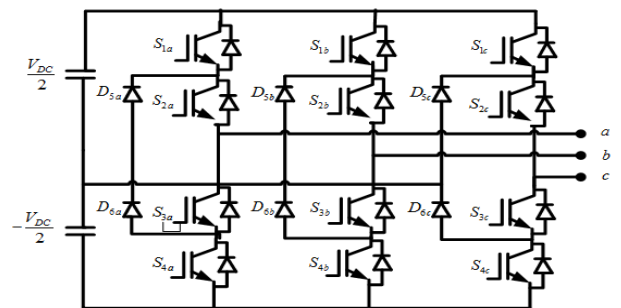


그림 2 3-레벨 NPC 인버터

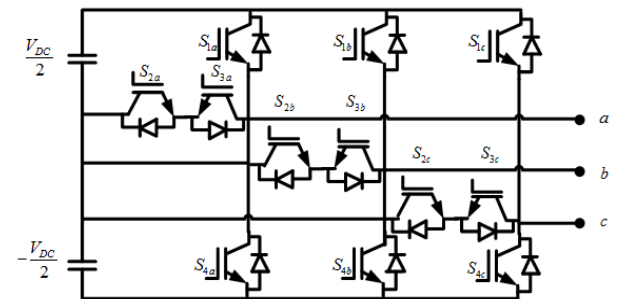


그림 3 3-레벨 T-타입 인버터

3 레벨 NPC 인버터는 그림 2과 같은 구조를 가지며, 각 상마다 4개의 IGBT와 역병렬 다이오드 그리고 2개의 클램핑 다이오드로 구성되며, T 타입 인버터에 비하여 소자의 개수가 많기 때문에 도통 손실이 상대적으로 크다. T 타입 인버터는 그림 3와 같은 구조를 가진다. 이는 NPC와 비교 할 경우 다이오드를 6개 줄인 구조이며, 최상단과 하단의 스위치 정격이 NPC 인버터의 2배이기 때문에 스위칭 손실이 크다는 단점이 있지만, 상단의  $S_1$  또는 하단의  $S_4$ 을 통해서 도통될 경우 도통 경로상 스위치 하나만 도통이 되므로 NPC보다 평균적으로 도통소자의 개수가 적어 도통손실이 적다는 장점이 있다.

### 2.3 인버터 손실 계산

스위칭 손실을 계산하기 위해서는 스위칭 주파수( $f_{sw}$ )와 스위치 온, 오프시 발생하는 에너지 손실( $E_{on}, E_{off}, E_{rr}$ )이 포함되며, 역병렬 다이오드(FWD)의 온 상태 손실의 경우 전체손실에 대해서 매우 작은 값을 가지므로 무시 한다. NPC 및 T 타입 인버터의 자세한 손실계산식은 참고문헌<sup>[5]</sup>에 정리되어 있다.

### 3. IGBT 모듈 선정

#### 3.1 IGBT 모듈 특성

아래의 표 1은 수식에 있는 파라미터를 정리한 것이며, 표 2는 각 NPC 와 T 타입 모듈의 세부 파라미터 값으로 이 값들을 시뮬레이션 값 및 손실계산 값으로 사용한다. 그 결과로 표 3과 표 4는 표 2를 토대로 NPC 및 T 타입 인버터의 손실 분석결과를 정리한 결과표이다.

표 1 수식 파라미터

$\hat{I}$	인버터 출력전류
$MI$	변조 지수
$\cos\phi$	역률
$f_{sw}$	스위칭 주파수
$E_{on/off}$	온 오프시 스위칭 에너지 손실

표 2 NPC 인버터 IGBT 파라미터

Parameter	Device A		Device B		Device C	
	NPC	T	NPC	T	NPC	T
$V_{CES}$	600	1200	650	1200	600	1200
$V_{CE(Sat)}$	1.83	2.33	1.60	1.55	1.65	2.20
$V_{ceo}$	1	1.7	1	1	0.7	1
$V_F$	1.40	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5
$V_{FO}$	1	1.35	1	1	0.9	0.9
$I_C$	75	80	75	75	75	75
$E_{On}(mJ)$	1.88	0.96	0.60	0.60	1.7	2.3
$E_{Off}(mJ)$	2.58	2.24	2.30	1.60	2.8	2.8
$E_{rr}(mJ)$	1.33	2.42	1.50	1.30	1.1	1.1

### 4. 시뮬레이션

#### 4.1 인버터 구성

앞서 언급한 NPC IGBT 모듈을 Thermal Module에 적용하여 구성한 NPC 인버터 회로이다. 시뮬레이션의 출력되어지는 전력은 10kW이며, 저항 부하를 이용하여 역률을  $\cos\phi = 1$ 로 하였고, 스위치의 변조 방식은 SPWM(Sinusoidal Pulse width Modulation)을 사용하였다.

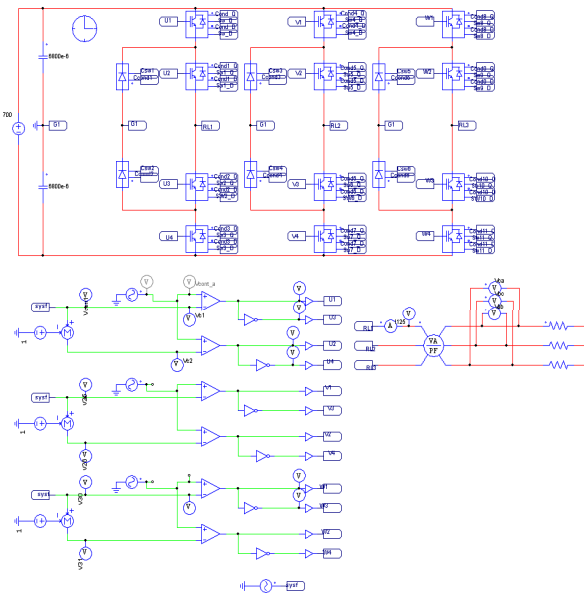


그림 4 3상 3-레벨 NPC 인버터 구성도

표 3 Device Module 별 손실 결과(NPC)

\* Device A: V사<sup>[4]</sup> Device B: I사 Device C: S사<sup>[3]</sup>

NPC	Device A		Device B		Device C	
$f_{sw} = 10kHz, \cos\phi = 1, MI = 1$						
도통손실(1 Phase)	24.0460		24.0820		26.0272	
스위칭손실(1 Phase)	19.2150		20.6818		21.7047	
1 Phase 전체손실	43.5575		44.7638		47.7319	
전체 손실	PSIM	Cal	PSIM	Cal	PSIM	Cal
	129	145	132	152	141.49	159

표 4 Device Module 별 손실 결과(T-타입)

\* Device A: V사 Device B: I사 Device C: F사<sup>[2]</sup>

T 타입	Device A		Device B		Device C	
$f_{sw} = 10kHz, \cos\phi = 1, MI = 1$						
도통손실(1 Phase)	19.1232		21.0291		20.6278	
스위칭손실(1 Phase)	10.7651		9.6307		13.2972	
1 Phase 전체손실	29.8883		30.7199		33.7348	
전체 손실(W)	PSIM	Cal	PSIM	Cal	PSIM	Cal
	88	108	91	111	99	110

### 4. 결론

본 논문에서는 태양광 인버터로써 사용되어지는 3 레벨 NPC와 T 타입 인버터의 손실을 분석하기 위하여 3가지 IGBT 모듈을 선정하였다. 각 타입의 모듈들은 서로 비슷한 정격을 갖지만 같은 시뮬레이션 조건에서 그 손실결과에서 다소 차이를 보였다. NPC의 경우 같은 정격이라 할지라도 많은 스위칭을 요구하는  $T_1, T_4$ 의 경우 스위치손실이 낮은 Device A 모듈을 가져감으로써 인버터에서 발생하는 스위치의 손실을 줄일 수 있겠다. 즉, 신재생에너지 시스템에서 사용되는 고효율 모듈의 스위치 손실에 의하여 발생하는 열은 심하게는 소자를 파괴시킬 수 있으므로 이러한 손실 분석이 신뢰성에 크게 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 모듈의 손실분석은 사용하고 자 하는 시스템의 열적 과부하로 인한 스위치 소자의 파괴를 막고 시스템의 효율을 높이기 위한 방법이 될 것이며, 시스템이 구성되기 전에 꼭 이루어져야 할 부분이다. 그러므로 손실 분석을 통하여 시스템에 맞는 전력변환스위치를 선택적으로 가져갈 수 있겠다.

본 연구는 “충청지역사업평가원”의 “고신뢰성 대용량 태양광 전력변환시스템 개발”로 수행된 연구결과임.

### 참고 문헌

- [1] Patam Alemi, Dong Choon Lee “Power Loss Comparison in Two and Three Level PWM Converters”, 8th International Conference on Power Electronics ECCE Asia May 2011
- [2] Fuji Electronics IGBT Module data sheet Online. Available : [www.fujielectronic.com](http://www.fujielectronic.com)
- [3] Semikron IGBT Module data sheet Online Available : [www.Semikron.com](http://www.Semikron.com)
- [4] Vincotech IGBT Module data sheet Online. Available : [www.vincotech.com](http://www.vincotech.com)
- [5] Semikron Application Note AN 11001 Online Available : [www.Semikron.com](http://www.Semikron.com)