

# 전압 레벨 증가를 위한 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터 개발

심현우\*, 이준석\*, 이교범\*, 이대봉\*\*  
아주대학교\*, 우진산전\*\*

## Cascaded H-bridge Multilevel Inverter Scheme for Increasing Voltage Level

Hyun Woo Sim\*, June Seok Lee\*, Kyo Beum Lee\*, Dae Bong Lee\*\*  
Ajou University\*, Woojin Industrial System Co.\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 출력 전압 레벨 수의 증가를 위한 모델과 스위칭 기법을 제안한다. 제안하는 모델은 기존의 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터 구조에서 각 H bridge 모듈의 출력단에 변압기를 연결하고, 변압기 2차측을 직렬로 연결한 모델이다. 이 구조에서 다수의 변압기의 턴비는 동일하고, 1개의 변압기 턴비만이 다른 턴비를 갖게 된다. 따라서 1개의 변압기 턴비를 조절하여 출력전압의 전압 레벨수를 증가시킬 수 있다. 스위칭 방법은 기존에 멀티레벨 인버터에서 주로 사용되는 Level shifted PWM 방식을 이용하여 간단하게 구현할 수 있다. 제안하는 모델의 검증에 위하여 시뮬레이션을 수행하여 제안하는 모델의 타당성을 확인한다.

### 1. 서 론

최근 고전압, 고출력 산업 응용분야가 증가함에 따라 멀티레벨 인버터의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터는 다수의 H bridge 모듈을 직렬로 연결함으로써 전압 범위를 손쉽게 증가시킬 수 있고, 유지 및 보수가 간편하고 높은 신뢰성을 갖는 장점이 있다. 특히 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 경우 출력전압 레벨 수를 증가시키기에 가장 효율적인 방법으로 알려져 있다. 하지만 전압 레벨 증가를 위해 다수의 H bridge 모듈과 함께 독립적인 입력전압원을 확보해야 된다는 단점이 있다.<sup>[1, 2]</sup>

따라서 본 논문에서 제안하는 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터 모델은 각 H bridge 셀의 출력단에 변압기를 연결한 형태로서, 독립적인 입력전원이 필요하지 않고 한 개의 모듈의 변압기 턴비를 조절해 다수의 전압 레벨을 얻을 수 있다. 제안한 모델에서 원하는 전압레벨을 얻기 위한 스위칭 방식은 기존의 멀티 캐리어 PWM 방식 중 Level shifted PWM 방식을 기반으로 하여 간단하게 구현할 수 있다.<sup>[3]</sup> 제안하는 모델과 스위칭 방식은 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증한다.

### 2. 제안하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터 모델

그림 1은 제안하는 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 회로도이다.

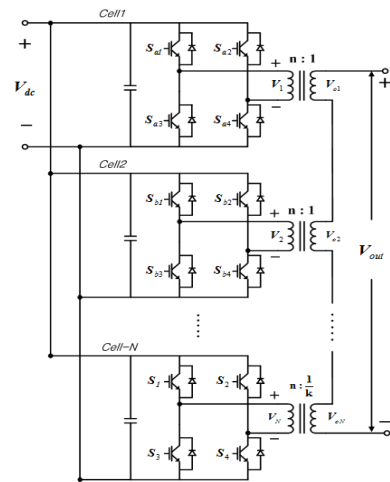


그림 1 제안하는 Cascaded H-bridge 멀티레벨 인버터 회로도  
Fig.1 Configuration of proposed cascaded H-bridge multilevel inverter

각 H bridge 셀의 출력단에 변압기를 연결하고, 변압기 2차측을 직렬로 연결한 형태이다. 따라서 출력측과 입력측이 절연되어 독립적인 입력전원이 필요없게 된다. 또한, N개의 H bridge 셀로 구성되어있을 때, (N-1)개의 Main bridge와 1개의 Sub bridge로 분류할 수 있고, 각 셀의 변압기 턴비는 다음과 같다.

$$\begin{cases} \text{Main bridge} - n : 1 \\ \text{Sub bridge} - n : \frac{1}{k} \quad (k = 2, 3) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 n은 1차측 턴비를 나타내고, k는 Sub bridge의 턴비를 나타내는 변수이다.

(N-1)개의 셀은 모두 같은 변압기 턴비를 갖고, Sub bridge 셀은 Main bridge의 1/2 혹은 1/3의 턴비를 갖는다. 이러한 Sub bridge의 턴비를 달리해줌으로써 전압레벨의 수를 증가시킬 수 있다. 따라서 Main bridge만으로 출력할 수 없는 전압을 Sub bridge의 낮은 출력전압을 이용하여 Main bridge 출력 간의 중간 전압 레벨 수를 증가시킨다. 이 때, Sub bridge의 변압기 턴비를 나타내는 k는 2 또는 3의 값의 제한적인 값을 갖게 되는데, k가 4 이상일 경우는 선형적으로 전압레벨을 생성할 수 없는 구간이 생긴다.

표 1에 H bridge 셀의 개수와 Sub bridge 변압기 턴비에 따

른 전압레벨 수를 나타내었다.

표 1 출력전압 레벨 수

Table 1 Number of output voltage levels

H bridge 개수	Turn ratio ( Sub bridge )		
	$n : 1$	$n : 1/2 (k=2)$	$n : 1/3 (k=3)$
2	5	7	9
3	7	11	15
4	9	15	21
$N$	$2N+1$	$4N-1$	$6N-3$

### 3. 정현 펄스폭 변조방식 기반의 스위칭 방법

다수의 반송파를 이용한 정현 펄스폭 변조 방식인 Level shifted PWM(LS PWM)방식을 사용하여 제안하는 모델을 구현할 수 있다. 먼저 (N=3, k=2)인 경우 각 전압레벨에 따른 스위칭 상태를 표2와 같이 나타낼 수 있다.

표 2 출력전압 레벨에 따른 스위칭 상태(N=3, k=2)

Table 2 Switching states according to output voltage levels

전압 레벨	Main1	Main2	Sub(k=2)
0	0	0	0
1	0	0	1
2	2	0	0
3	2	0	1
4	2	2	0
5	2	2	1

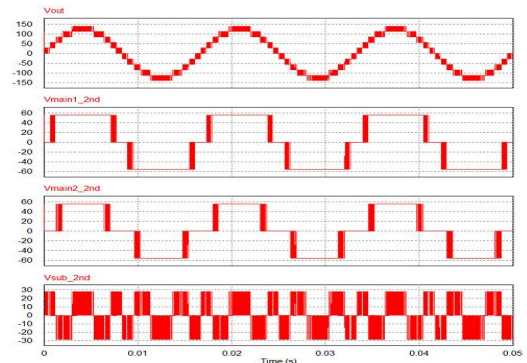
위와같은 경우 Main bridge의 출력전압은 Sub bridge의 2배이기 때문에 스위칭상태를 '2'로 나타내었다. 각 전압 레벨과 스위칭 상태에 따라 다수의 반송파를 사용하는 기존의 LS PWM방식을 적용하게 된다. 따라서 Main bridge는 기존의 스위칭 방식과 동일하게 동작한다. 반면, Sub bridge는 각 Main bridge의 출력전압의 중간전압을 만들어 주기 위해 모든 전압레벨 영역에서 스위칭 동작을 하게 된다. 따라서 한주기 동안 평균 스위칭 주파수는 Main bridge에 비해 훨씬 높게 된다.

### 4. 시뮬레이션 결과

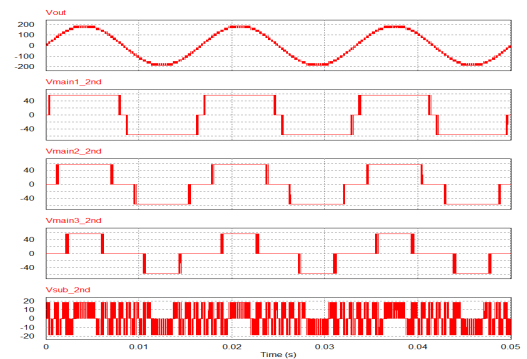
제안한 모델과 스위칭 기법의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 입력전원 450V, 스위칭 주파수 10kHz, Main bridge의 턴비는 8:1로 진행하였다.

시뮬레이션은 두 가지 경우에 대해 진행하였다. 먼저 그림 2(a)는 N=3, k=2인 경우이다. H bridge 모듈 3개를 직렬 연결하고 보조 H bridge의 변압기 턴비가 1/2인 경우로, 기존의 회로는 7레벨의 전압을 얻을 수 있지만, 제안한 방식에서는 11레벨의 전압을 출력하는 것을 볼 수 있다. 또한, 메인 H bridge의 출력전압은 기존의 Level shifted PWM방식의 출력과 동일한 것을 볼 수 있고, 보조 H bridge의 스위칭을 통해 더 높은 전압레벨을 얻을 수 있다.

그림3(b)는 N=4, k=3인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 마찬가지로 4개의 H bridge를 연결한 경우 기존에 9레벨의 전압을 출력할 수 있는데 비해, 제안한 방식에서는 21레벨의 출력전압을 얻을 수 있다.



(a) N=3, k=2 (11-레벨)



(b) N=4, k=3 (21-레벨)

그림 2 제안한 모델의 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation results of proposed multilevel inverter scheme

### 5. 결론

본 논문에서는 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 출력 전압 레벨의 증가를 위한 모델과 스위칭 방법을 제안하였다. 제안한 모델은 기존의 Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터의 출력단에 변압기를 연결된 형태로, 기존의 LS PWM방식을 사용하여 높은 출력 전압 레벨을 얻을 수 있다. 제안된 모델의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원을 받아 수행한 연구결과입니다.(13PRTD C063745 02)

### 참고 문헌

[1] J. Rodriguez, J. S. Lai and F. Z. Peng, "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 49, no. 4, pp. 724-738, Aug. 2002.

[2] M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez and M. A. Perez, "A Survey on Cascaded Multilevel Inverters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 7, pp. 2197-2206, July 2010.

[3] B. P. McGrath and D. G. Holmes, "Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 49, no. 4, pp. 858-867, Aug. 2002.