

# 저전압 고전류 사양에 적합한 고효율 인터리브 컨버터

조인호  
한국철도기술연구원 추진시스템연구팀

## A New High-Efficient Interleaved Converter for Low-Voltage and High-Current Power Systems

In-Ho Cho

Propulsion System Research Team, Korea Railroad Research Institute

**요약** 본 논문은 저전압-고전류 사양을 갖는 전력변환 시스템에 적합한 고효율 인터리브드 방식의 위상천이 풀브릿지 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 1차 측에 ‘3개의 스위치 브릿지와 2개의 트랜스포머’, 2차 측에 ‘2개의 정류단’으로 구성되어 있다. 2개의 트랜스포머는 각각 동일한 크기의 전력변환을 담당하고, 서로가 위상 차이를 두고 에너지를 전달하는 특징을 갖는다. 이를 통해 기존의 인터리브드 방식의 위상천이 풀브릿지 컨버터 수준의 높은 시스템 안정성을 가지게 된다. 제안하는 컨버터는 기존 컨버터의 효율향상 한계로 작용하였던 lagging-leg 스위치의 하드스위칭 특성을 개선하기 위해 새로운 회로 구조와 제어기법을 적용하였다. 이를 통해 제안하는 컨버터는 기존 컨버터에 비해 하드스위칭 조건을 갖는 스위치의 수를 절반으로 줄였으며, 기존 컨버터에 비해 회로 구성에 사용되는 스위치의 수를 줄여 시스템의 복잡도를 개선하는 효과도 얻었다. 제안하는 컨버터의 특성을 확인하기 위해 본 논문에서는 저전압-고전류 특징을 갖는 3kW 서버용 전원장치 스펙을 이용하여 기존 컨버터와 제안하는 컨버터 시스템을 설계하였고, PSIM 시뮬레이션 툴을 활용하여 두 회로의 동작 특징을 비교하였다.

**Abstract** This paper proposes a new high-efficient interleaved phase-shift full-bridge (PSFB) converter for low-voltage and high-current power systems. The proposed converter is composed of three switch-bridges and two transformers in the primary side and two rectifiers in the secondary side. Each transformer handles half of the total power with an interleaved operation, so that the proposed converter has high system reliability, as much as the conventional interleaved PSFB converter. The soft-switching characteristics of the proposed converter are better than those of the conventional converter due to the modulated primary side configuration. The proposed converter represents a single lagging-leg bridge, which has a poor soft switching condition in its operation, while the conventional converter has two lagging-leg bridges in its operation. Therefore, the number of switches having hard-switching conditions is reduced by half in the proposed converter. In addition, the reduced switch counts in the primary side of the proposed converter helps decrease the complexity of the proposed converter compared to that of the conventional converter. The operational principle and analysis are presented in this paper and the characteristics are verified using a PSIM simulation with 3kW server power specification.

**Keywords** : converter, interleaved, server power system, soft-switching, ZVS

### 1. 서론

IT 산업의 성장과 함께 모바일기기를 활용한 무선 오

피스 환경이 빠르게 자리 잡으면서, 다수의 서버를 운영  
하는 데이터센터의 에너지 사용량이 급격히 증가하고 있  
다. 이에 따라 데이터센터에서 사용하는 에너지양을 줄

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : In-Ho Cho(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5469 email: inhocho@krii.re.kr

Received August 23, 2016

Revised (1st October 5, 2016, 2nd October 6, 2016)

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

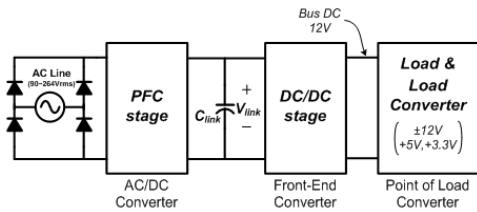


Fig. 1. 2-stage type server power system

이기 위한 목적으로 서버 시스템의 고 효율화에 대한 관심이 높아지고 있으며, 효율 향상을 위해 서버용 전원 공급 장치의 개선을 위한 연구가 널리 이루어지고 있다 [1-5]. 이러한 연구 추세는 국제적인 환경규제 강화와 함께 더욱 탄력을 받고 있으며, 이와 관련하여 미국 에너지국의 에너지 효율향상 프로그램인 ‘Energy Star’에서는 서버용 전원장치 시장에 적합한 에너지 효율 인증 제도를 만들어서 시행하고 있다. ‘80PLUS’라는 에너지 등급 기준은, 특정 에너지 효율 기준을 만족한 서버용 전원장치를 대상으로 Bronze, Silver, Gold, Platinum 등의 에너지 등급을 부여하고 있다[6].

Fig. 1에서는 power factor correction(PFC)단과 DC/DC 단으로 구성된 서버용 전원장치 시스템을 보여주고 있다. 입력 전원으로 공급된 AC 전압은 역률 보상을 위한 PFC 회로를 거치게 되고, PFC 컨버터의 출력으로 나온 높은 DC 전압은 다시 DC/DC 컨버터를 통해 전기적 절연 특성을 갖추게 됨과 동시에 출력 DC 버스전압에 맞는 12V로 정류되게 된다. 이 12V 전압은 연결되는 부하 특징에 따라 비절연 형태의 여러 부하 컨버터를 거쳐 다양한 부하 형태로 변환된다.

위 시스템 구성 중 PFC 단은 단순한 구성을 갖추면서도 높은 효율 특성을 얻을 수 있는 부스트 컨버터가 일반적으로 사용되지만, DC/DC 컨버터 단의 경우 전기적 절연 특성을 위해 트랜스포머의 사용이 필수적이면서 입력과 출력 간의 전압 차이가 커서 상대적으로 높은 손실이 발생하는 한계점이 있다. 따라서 고효율 서버용 전원장치 구성을 위한 연구로 DC/DC 단의 손실 절감을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 연구에서 목표 사양으로 선정된 대용량 서버용 전원장치 사양의 경우 저전압-고전류 특징으로 인해 인터리브드 타입의 위상천이 폴브릿지 컨버터가 크게 주목받고 있다[7-10]. 두 개의 위상천이 폴브릿지 컨버터를 병렬 연결한 구조를 갖는 인터리브드 타입의 위상천이 폴브릿지 컨버터는, 병렬 구성된 두 컨버터가 전체 전류를 각각 절반의 크기로 나

누어 전력변환하는 특징을 가지므로 시스템의 안정성을 높이는데 효과적이다. 또한 기존의 단독구동 형식의 위상천이 폴브릿지 컨버터가 갖는 영전압 스위칭 장점을 유지하면서, 두 병렬연결 컨버터들의 위상차 구동을 통해 출력 필터를 줄이는 효과도 얻을 수 있다. 하지만 입력 전압 변동이 큰 어플리케이션에서 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터가 가지는 환류전류에 의한 도통손실 문제는 여전히 남아있으며, 출력 부하에 따른 제한된 영전압 스위칭 특성으로 인해 경부하 시 지상 레그 스위치의 하드 스위칭 특징은 효율 향상에 제약사항이 되고 있다 [11-13].

본 논문에서는 DC/DC 컨버터 단의 효율향상을 위한 여러 가지 접근 방법 중 인터리브드 타입 위상천이 폴브릿지 컨버터의 지상 레그 스위치에서 발생하는 스위칭 손실을 절감하는 새로운 컨버터 및 구동방법을 제안하고자 한다. 제안하는 회로는 병렬로 구성된 서로 다른 두 개의 위상천이 폴브릿지 컨버터에서 영전압 스위칭 조건이 불리한 지상 레그 스위치와 항상 영전압 스위칭 조건을 갖춘 진상 스위치를 결합하는 구성을 갖추고 있다. 이를 통해 제안하는 컨버터는 기존의 컨버터에 비해 스위치 소자 수를 줄일 수 있으며, 영전압 스위칭이 가능한 스위치의 비율을 늘릴 수 있어 전반적인 시스템의 성능 향상 효과를 얻을 수 있다. 본문에서는 제안하는 회로의 특징을 설명하고 시뮬레이션을 통해 회로의 동작을 검증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 제안하는 회로의 구성

일반적으로 인터리브드 방식 컨버터는 높은 크기의 전력변환을 요구하는 환경에서 널리 사용된다. 인터리브드 컨버터 회로는 ‘1차 측 스위치, 트랜스포머, 정류단’이 병렬로 구성되는 특징을 가지며(Fig. 2.), 이를 통해 소자들에 부담되는 전류 스트레스를 줄일 수 있어 시스템의 발열문제를 개선하고 안정성을 향상시킬 수 있다. 또한, 병렬로 구성된 두 트랜스포머가 서로 위상차를 두고 에너지를 전달하는 동작특성을 나타내어, 출력단의 필터 사이즈를 경감하는 효과도 얻을 수 있다. 하지만 컨버터의 병렬 구성에 따라 시스템에 사용되는 수동소자 및 능동소자의 수가 기존 컨버터에 비해 크게 증가되고, 이는 시스템의 가격을 높이며 복잡도를 증가시키는 원인이 된다[10].

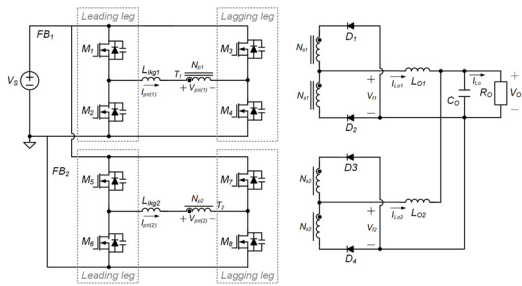


Fig. 2. Conventional Interleaved type phase-shifted full-bridge converter

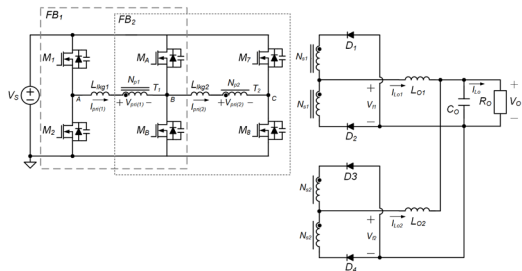


Fig. 3. Proposed converter

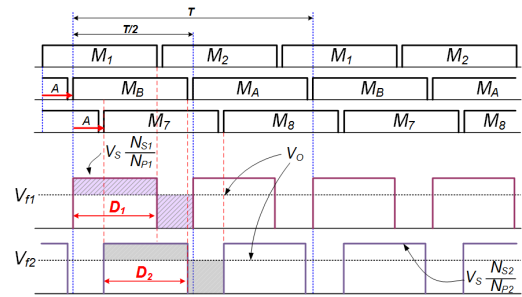


Fig. 4. Operational characteristics of the proposed converter (control signals and filter voltage)

Fig. 3 는 기존 회로를 변형한 제안회로의 구성을 보여주고 있다. 제안하는 컨버터는 기존의 인터리브드 풀브릿지 컨버터의(Fig. 2) 지상 레그 스위치 ( $M_3$ 와  $M_4$ )와 진상 레그 스위치( $M_5$ 와  $M_6$ )를 결합하여 새로운 한 쌍의 스위치( $M_A$ 와  $M_B$ )를 구성하는 특징을 가진다. 이를 통해 기존의 위상천이 풀브릿지 컨버터의 단점인 지상 레그 스위치의 hard-switching 문제점을 해결할 수 있게 된다 [10]. 제안 회로의 출력전압 레벨은 ‘ $M_1$ 와  $M_2$ ’ 와 ‘ $M_A$ 와  $M_B$ ’ 스위치 구동신호 간의 위상차(A)를 통해 제어되며, ‘ $M_7$ 와  $M_8$ ’ 스위치 역시 동일한 위상차(A)를 이용해 동작한다. 제안하는 컨버터의 두 트랜스포머,  $T_1$ 과  $T_2$ , 는 각각 출력전력 절반 크기의 에너지를 변환하여,

기존의 인터리브드 풀브릿지 컨버터가 가지는 전력 분산에 따른 장점을 유지할 수 있다.

## 2.2 제안하는 회로의 상세 동작원리

본 섹션에서는 제안하는 회로의 동작에 대해서 설명한다. 회로의 동작 특성에 대한 분석을 용이하게 하기 위해 다음과 같은 몇 가지 상태를 가정한다.

- 1) 컨버터는 정상상태 동작을 한다.
- 2) 스위치  $M_1, M_2, M_7, M_8, M_A$  와  $M_B$ 는 이상적인 소자이다.
- 3)  $L_{lk1}$  과  $L_{lk2}$ 는 각각 트랜스포머  $T_1$ 과  $T_2$ 에 직렬로 연결되는 인덕터를 명시하며, 각 트랜스포머가 가지는 누설 인덕턴스 값도 포함한다.
- 4)  $L_{m1}$  과  $L_{m2}$  는 각각 트랜스포머  $T_1$ 과  $T_2$ 의 자화인덕터를 의미한다.
- 5)  $L_{m1}$  과  $L_{m2}$  는 각각  $L_{lk1}$  과  $L_{lk2}$ 에 비해 상대적으로 훨씬 큰 값을 가진다. ( $L_{m1} \gg L_{lk1}, L_{m2} \gg L_{lk2}$ )
- 6) 출력인덕터  $L_{O1}$ 과  $L_{O2}$ 에는 연속적인 전류가 흐르면서 CCM (Continuous Conduction Mode) 동작을 한다.
- 7) 트랜스포머  $T_1$ 과  $T_2$ 의 턴 수와 턴 비는 동일하다.  $N_{P1}=N_{P2}=N_P, N_{S1}=N_{S2}=N_S$ .
- 8) 모든 스위치의 기생커패시터는 동일한 크기를 가지며  $C_{oss}$ 로 표기된다.

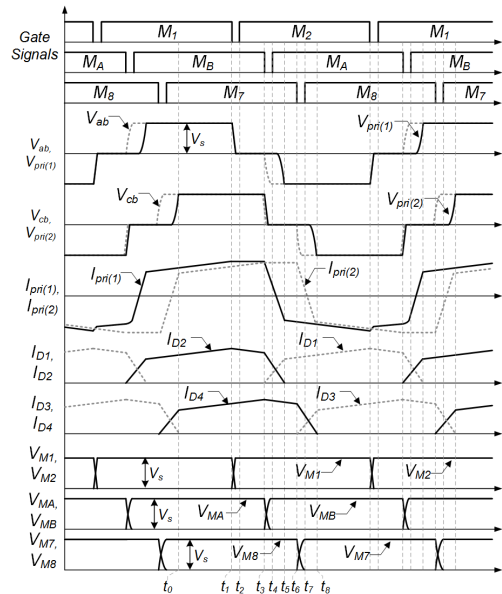


Fig. 5. Key waveform of the proposed converter

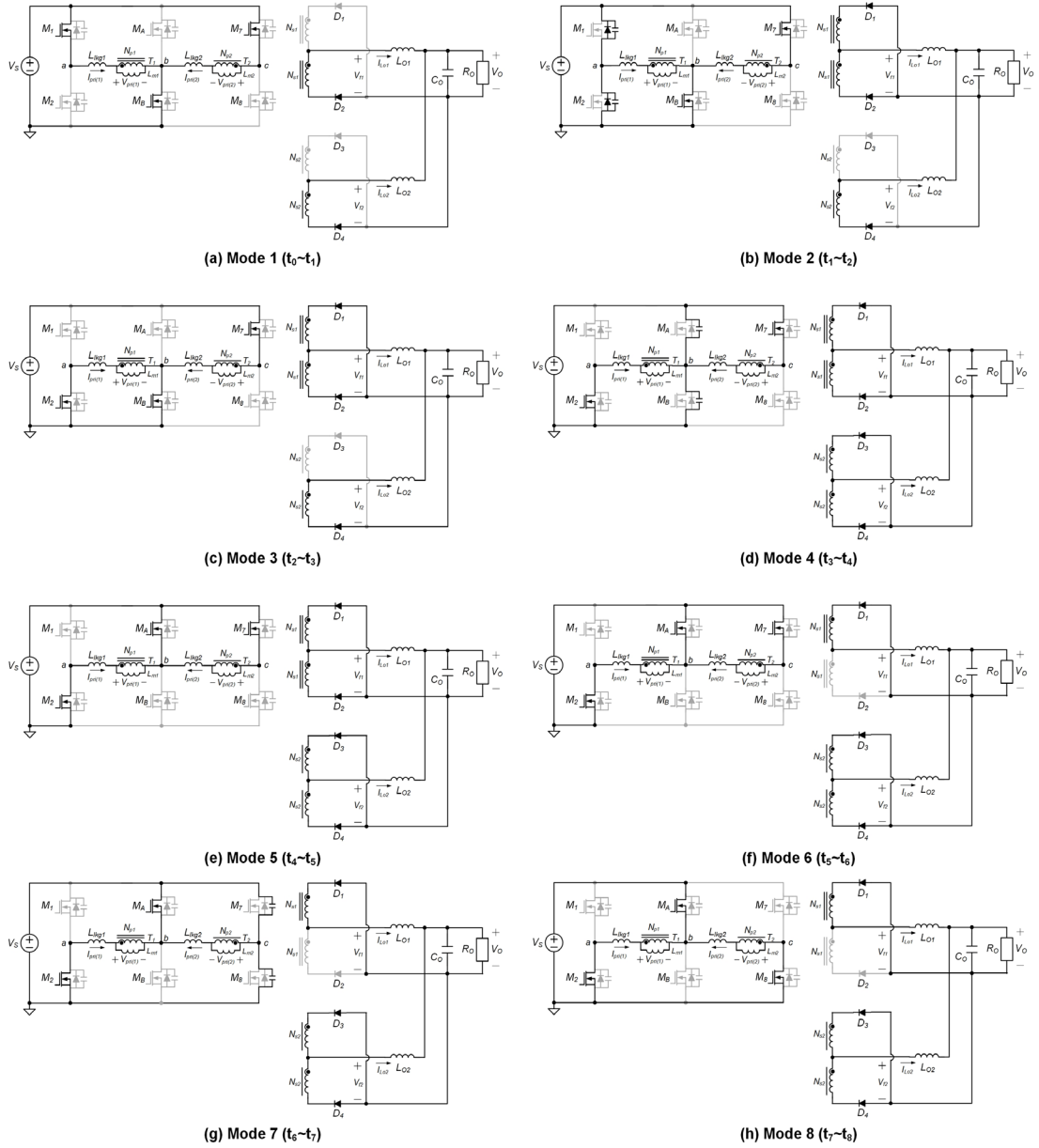


Fig. 6. Mode analysis of the proposed converter

제안하는 회로의 한 주기 동작은 총 16개의 서로 다른 모드로 나눌 수 있으며, 반주기를 기준으로 8개의 모드가 대칭 동작하는 특징을 가진다. 위 특징에 따라 본 논문에서는 앞의 8개 모드에 대한 설명만을 하고자 한다. 제안하는 회로의 동작 파형은 Fig. 5에 나타나 있다.

**Mode 1 ( $t_0 \sim t_1$ )** : 트랜스포머  $T_1$ 과  $T_2$  에 입력전압,  $V_s$ , 이 인가되고 입력단의 에너지가 출력으로 전달되는 동작이 나타난다.

**Mode 2 ( $t_1 \sim t_2$ )** :  $M_1$  스위치가 꺼지고, 스위치  $M_1$  과  $M_2$  의 기생 커패시터가 큰 에너지를 갖는 출력인덕터  $L_{o2}$ 와

함께 공진하는 동작을 보인다. 공진동작에 의해 스위치  $M_2$ 의 전압은 0V까지 떨어지며 영전압 스위칭 조건을 갖추게 된다.  $M_2$  전압의 감소와 함께, 트랜스포머  $T_1$ 의 1차 측 전압도 0V까지 감소한다.

**Mode 3 ( $t_2 \sim t_3$ )** :  $M_2$ 의 기생 커패시터에 걸린 전압이 0V까지 방전 되면, 1차 측 전류,  $I_{pri(1)}$ , 는  $M_2$  스위치와  $M_B$  스위치를 통해 흐르게 된다. 이때,  $T_1$ 에는 0V가 걸리게 되어 트랜스포머  $T_1$ 을 통한 에너지 전달동작은 끊기게 된다.

**Mode 4 ( $t_3 \sim t_4$ )** :  $M_B$  스위치가 꺼지게 되면,  $M_A$ 와  $M_B$  스위치의 기생 커패시터들은 큰 에너지를 갖는 출력인덕터  $L_{O1}$ 와 함께 공진 한다. 공진 동작에 의해 스위치  $M_A$ 의 전압은 0V까지 떨어지며,  $M_A$  스위치의 영전압 스위칭 조건을 갖추게 된다.

**Mode 5 ( $t_4 \sim t_5$ )** :  $M_A$  스위치가 켜지게 되면,  $V_{ab}$ 에는 역방향의  $V_S$  전압이 걸리게 되고 회로의 2차 측에는 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$  사이의 전류 전이(commutation) 동작이 발생하게 된다. 2차 측 전류 전이 동작 진행되는 시간동안 입력 전압은 모두 인덕터  $L_{lkgl}$ 에 인가되게 되고  $I_{pri(1)}$  전류는 ‘(-) $V_S/L_{lkgl}$ ’의 기울기를 가지고 크게 감소한다. 이 때,  $FB_2$  회로에 흐르는  $I_{pri(2)}$  전류는 크기는 유지한 채 스위치  $M_A$ 와  $M_7$ 를 흐르는 환류 동작을 보인다.

**Mode 6 ( $t_5 \sim t_6$ )** : 2차 측 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$  사이의 전류 전이 동작이 완료되면, 트랜스포머  $T_1$ 의 1차 측에 입력 전압이 인가되면서  $T_1$ 을 통해 입력 에너지가 출력으로 전달되는 동작이 시작된다.

**Mode 7 ( $t_6 \sim t_7$ )** :  $M_7$  스위치가 꺼지게 되면  $M_7$ 와  $M_8$  스위치의 기생 커패시터들은 각각 공진 형태로 충전과 방전 동작을 하게 된다. 이때, 트랜스포머  $T_2$ 에는 0V의 전압이 걸려있는 상태이고  $M_7$ 와  $M_8$  스위치의 기생커패시터들과  $L_{lkq2}$  인덕터 사이의 공진 동작에  $M_8$  스위치의 영전압 스위칭 조건이 만들어 진다.

**Mode 8 ( $t_7 \sim t_8$ )** :  $M_8$  스위치가 켜지게 되면  $L_{lkq2}$ 에는 입력전압이 걸리게 되고  $FB_2$ 에 흐르던  $I_{pri(2)}$  전류는 2차 측 다이오드  $D_3$ ,  $D_4$  사이의 전류 전이 진행되는 동안 계속적으로 감소하는 동작으로 보인다. 전류 전이 동작이 끝나게 되면 이 동작 모드도 종료되고,  $FB_2$  회로는  $T_2$ 를 통해 입력 전원의 에너지를 출력으로 전달하는 동작을 시작하게 된다.

## 2.3 제안하는 컨버터의 특징

본 섹션에는 제안하는 회로의 기본적인 특성을 알 수 있는 입출력 전압 관계식을 도출하고 제안 회로의 영전압 스위칭 특징을 기존 인터리브드 풀브릿지 컨버터와 분석한다.

### 2.3.1 입출력 전압 관계식

제안하는 회로의 입출력 전압 관계식은 출력 인덕터의 전압-시간 평형조건을 통해 구할 수 있다. Fig. 4의 음영으로 표시된 부분은 출력 인덕터  $L_{O1}$ 과  $L_{O2}$ 에 걸리는 전압을 나타내고 있다. 제안하는 회로에서 두 개의 위상천이 풀브릿지 컨버터  $FB_1$ 과  $FB_2$ 는 동일한 위상각, ‘A’, 을 가지고 동일한 트랜스포머의 턴 비를 가지고 있다. 따라서 제안하는 회로는 기존의 위상천이 풀브릿지 컨버터와 동일한 입출력 전압 관계식을 가지게 되며, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\frac{V_O}{V_S} = 2D_1 \times \frac{N_{S1}}{N_{P1}} = 2D_2 \times \frac{N_{S2}}{N_{P2}} = 2D \times \frac{N_S}{N_P} \quad (1)$$

### 2.3.2 영전압 스위칭 조건

제안하는 회로는 기존의 인터리브드 방식의 위상천이 풀브릿지 컨버터에 비해 우수한 영전압 스위칭 특성을 가진다. 1차 측이 2개의 풀브릿지 컨버터로 구성된 기존 컨버터의 경우, 각 풀브릿지 컨버터의 지상 레그 스위치들이( $M_3, M_4, M_7, M_8$ ) 경부하시에 하드 스위칭 특성을 보인다[11]-[13]. 반면 제안하는 회로의 경우 풀브릿지  $FB_1$ 의 진상 레그 스위치와( $M_3, M_4$ ) 풀브릿지  $FB_2$ 의 지상 레그 스위치를( $M_5, M_6$ ) 결합하여 동일한 스위치로 구성하여 ( $M_A, M_B$ ) 1차 측 스위치들의 영전압 스위칭 조건에 장점을 가질 수 있다(참조 Fig.3). 제안하는 회로에서 진상 레그 스위치로 동작하는  $M_1, M_2, M_A, M_B$ 의 스위치 들은 큰 에너지를 가지는 출력 인덕터의 도움을 받아 우수한 영전압 스위칭 조건을 가지고 되고,  $M_7, M_8$  스위치는  $L_{lkq2}$ 의 도움을 받아 영전압 스위칭 조건을 갖출 수 있게 된다. 두 스위치의 영전압 조건을 얻기 위한  $L_{lkq2}$ 의 크기는 식 (2)에 의해 결정되게 된다.

$$2C_{OSS} \times V_S^2 \leq L_{lkq2} \times \left( \frac{N_S I_O}{N_P 2} \right)^2 \quad (2)$$

Table 1. Design guideline for soft-switching condition

	Conventional converter	Proposed converter
Number of switches having limited ZVS condition	4 switches (M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , M <sub>7</sub> , M <sub>8</sub> )	2 switches (M <sub>7</sub> , M <sub>8</sub> )
Soft-switching condition	<p>&lt;Switches M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>&gt;</p> $\rightarrow 2C_{OSS} \times V_S^2 \leq L_{lkq1} \times \left( \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \frac{I_O}{2} \right)^2$ <p>&lt;Switches M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>&gt;</p> $\rightarrow 2C_{OSS} \times V_S^2 \leq L_{lkq2} \times \left( \frac{N_{S2}}{N_{P2}} \frac{I_O}{2} \right)^2$	<p>&lt;Switches M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub>&gt;</p> $\rightarrow 2C_{OSS} \times V_S^2 \leq L_{lkq2} \times \left( \frac{N_{S2}}{N_{P2}} \frac{I_O}{2} \right)^2$

Table 2. Key parameter values in simulation circuits

	Conventional converter	Proposed converter
Primary inductors (L <sub>lk1</sub> , L <sub>lk2</sub> )	15uH	15uH
Transformer turn ratio (T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> )	24:1	24:1
Output capacitance of switches	300pF	300pF

### 2.4 시뮬레이션 결과

제안하는 회로의 특성을 확인하기 위해 아래와 같은 3kW 서버용 전원장치 스펙을 이용하여 제안하는 회로와 기존의 인터리브드 방식의 위상천이 폴브릿지 컨버터를 설계하고 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 툴로는 PSIM을 활용하였고, 시뮬레이션 상의 1차 측 인덕터 값은 Table. 1에 나타난 ‘영전압 스위칭 조건식’을 기준으로 50% 부하 조건에서 모든 스위치가 영전압 스위칭이 가능하도록 설계하였다. 각 회로들의 영전압 스위칭 동작을 확인하기 위한 기생커패시턴스 값은 Infineon社 IPP60R125CP 소자의(650V/23.8A) ‘Effective output capacitance 값’의 참조하여 선정하였다(Table. 2).

< 시뮬레이션 스펙 >

- 출력 파워 : 3kW (12V/250A)
- 스위칭 주파수 : 100kHz (주기 : 10uS)
- 입력전압 범위 : 330V~400V(정상상태 400V)

Fig. 7과 Fig. 8 는 각각 제안하는 회로와 기존 회로의 시뮬레이션 회로구성과 시뮬레이션 동작파형을 보여주고 있다. 기존 회로에서 트랜스포머 T<sub>1</sub> 과 T<sub>2</sub> 를 이용한 전력전달 동작이 2.5uS (1/4\*주기)의 위상차를 가지고 동작하는 것에 반해, 제안하는 회로에서는 1uS의 위상차를 두고 동작함을 확인할 수 있다. Fig. 9과 Fig. 10에서는 기존 회로와 제안하는 회로의 각 부하별 스위칭 동작을 비교특성을 비교하고 있다. 기존회로와 제안하는 회로 모두 100% 부하와 50% 부하에서는 영전압 스위칭 특성을 보이고 있다. 하지만 20% 출력 부하 상황에서 제안하는 컨버터가 M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub> 스위치를 제외한 모든 스위치가 영전압 스위칭 특성을 보이고 있다. 반면, 기존의 인터리브드 방식의 위상천이 폴브릿지 컨버터의 경우 총 8개의 스위치 중 4개의 스위치(M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub>)에서 하드 스위칭 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

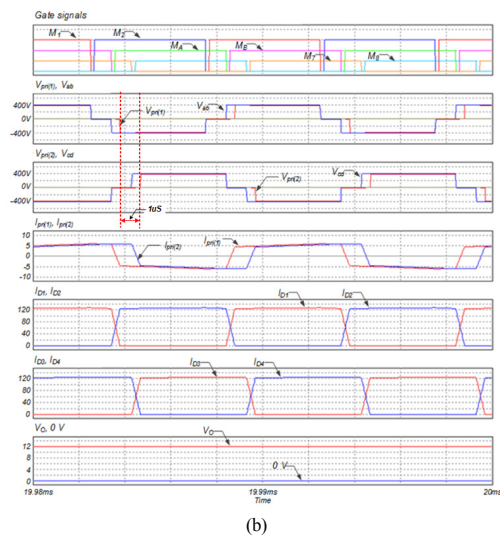
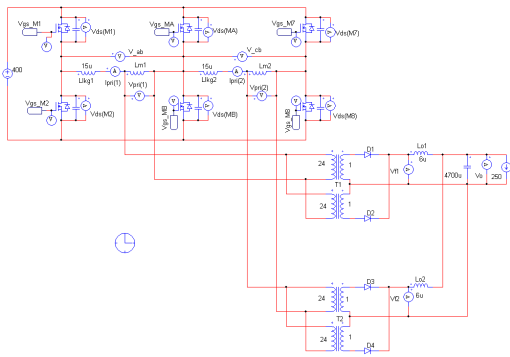


Fig. 7. Simulation circuit and waveform of the proposed converter  
(a) Simulation circuit (b) Simulation waveform

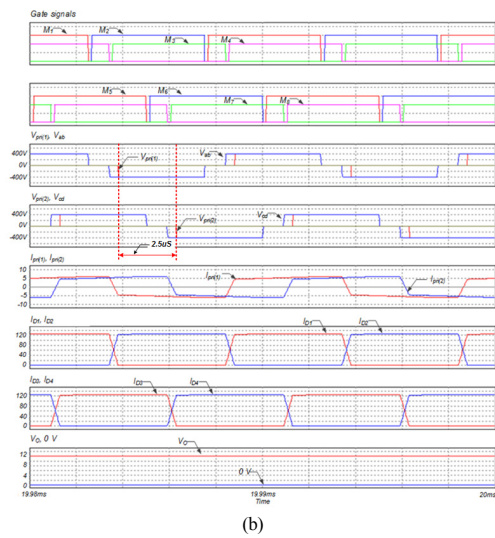
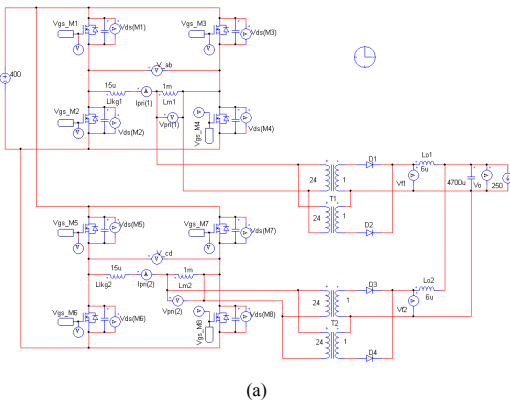
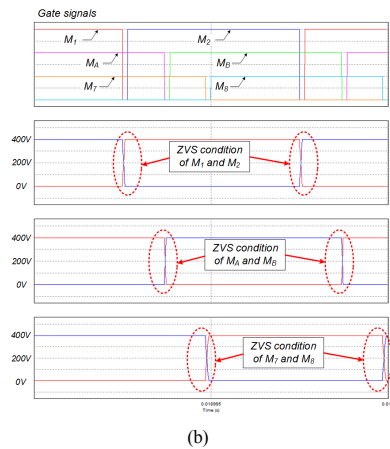
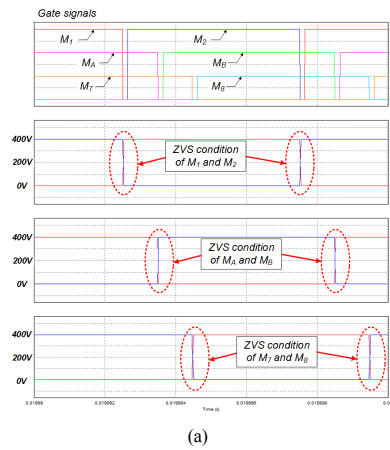


Fig. 8. Simulation circuit and waveform of the proposed converter  
(a) Simulation circuit (b) Simulation waveform



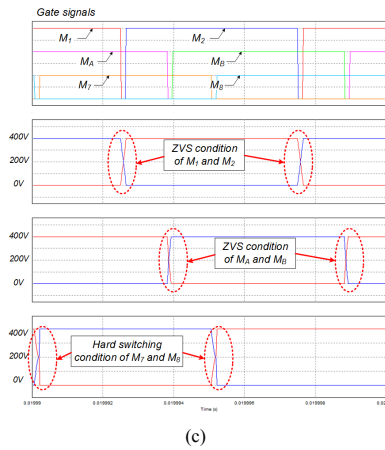


Fig. 9. Switching condition of the proposed converter (a) 100% load (b) 50% load (c) 20% load

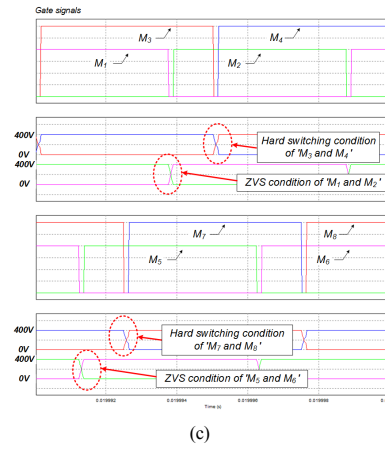
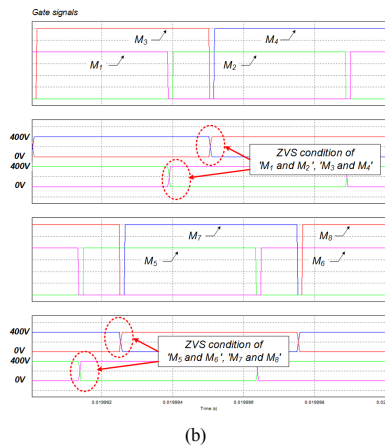
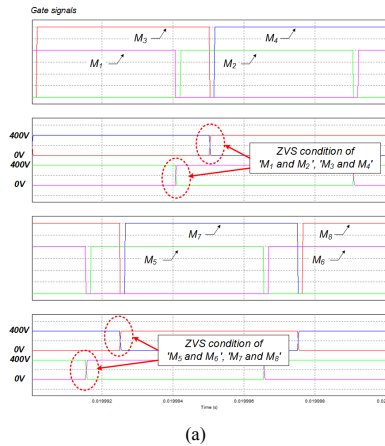


Fig. 10. Switching condition of the conventional converter (a) 100% load (b) 50% load (c) 20% load



### 3. 결론

본 논문에서는 스위치의 영전압 스위칭 특성을 강화한 새로운 위상천이 폴브릿지 컨버터를 제안하였다. 제안하는 컨버터는 기존의 인터리브드 위상천이 폴브릿지 컨버터가 가지는 특징인 위상 제어 방식을 유지하면서, 두 개의 1차 측 폴브릿지 컨버터의 진상 레그 스위치들과 지상 레그 스위치들을 결합하는 구조를 가지고 있다. 이와 같은 회로 구조 변화를 통해 제안하는 회로는 기존에 비해 1차 측 스위치 소자 수를 약 25% 줄일 수 있게 되었고, 기존 회로의 단점으로 지적되었던 경우하지 지상 레그 스위치의 하드 스위칭 특성도 개선할 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 확인해 본 바와 같이, 경우하 조건에서 제안하는 회로가 기존 회로에 비해 하드 스위칭 특성을 보이는 스위치 수를 50% 줄일 수 있었다(기존회로 : 4개, 제안회로 : 2개). 또한 기존 컨버터와 동일한 2차 측 병렬 회로 구성은 시스템의 안정성을 높이는 특징을 가지며, 인터리브드 방식의 전력변환 특징은 출력 필터의 부담을 줄이고 노이즈 문제를 완화하는데 도움을 준다. 이와 같이 제안하는 회로는 기존 회로가 가지는 인터리브드 구조의 장점을 유지하면서도 스위치 사용을 줄였으며, 컨버터의 영전압 스위칭 특성을 개선하였다. 이러한 특성으로 인해 제안하는 컨버터는 저전압-고전류 사양의 전력변환장치에 적용 가능한 고효율 컨버터의 훌륭한 대안이 될 수 있다. 본 주제와 관련하여 제안하는 회로의 타당성을 보충하기 위한 특성비교 및 스위칭 특성



개선을 통한 효율 비교 등의 실험은 추가적으로 진행될 예정에 있다.

## References

- [1] J. P. Bryant, "AC-DC power supply growth variation in China and North America," in Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo., pp. 159-162, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/apec.2005.1452910>
- [2] L. H. Mweene, C. A. Wright, and M. F. Schlecht, "A 1 kW 500 kHz front-end converter for a distributed power supply system," IEEE Trans. Power Electron., vol. 6, no. 3, pp. 398-407, Jul. 1991.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/63.85908>
- [3] C. Calwell, A. Mansoor, E. Consulting, and C. O. Durango, "AC-DC server power supplies: Making the leap to higher efficiency," in Proc. Appl. Power Electron. Conf. Expo., pp. 155-158, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/apec.2005.1452909>
- [4] K. G. Brill. (2007). Data center energy efficiency and productivity. presented at the Uptime Institute Symposium 2007[Online]. Available : [http://www.energystar.gov/ia/products/downloads/WF\\_3\\_Handout\\_DataCenter\\_efficiency.pdf](http://www.energystar.gov/ia/products/downloads/WF_3_Handout_DataCenter_efficiency.pdf)
- [5] F. C. Lee, P. Barbosa, P. Xu, J. Zhang, B. Yang, and F. Canales, "Topologies and design considerations for distributed power system applications," Proc. IEEE, vol. 89, no. 6, pp. 939-950, Jun. 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/5.931492>
- [6] U. S. Department of Energy and U.S Environmental Protection Agency's National Data Center Energy Efficiency Strategy Workshop. 2008, "Energy Efficiency in Data Centers: Recommendations for Government-Industry Coordination," Available : [http://www.energystar.gov/ia/partners/prod\\_development/downloads/energy\\_eff\\_data\\_centers\\_rec.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/energy_eff_data_centers_rec.pdf)
- [7] W. Li and X. He, "A family of interleaved DC-DC converters deduced from a basic cell with winding-cross-coupled inductors (WCCIs) for high step-up or step-down conversions," IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 4, pp. 1791-1801, Jul. 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2008.925204>
- [8] KH Yi, and GW Moon, " Novel two-phase interleaved LLC series-resonant converter using a phase of the resonant capacitor," IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 56, no. 5, pp. 1815-1819, May. 2009.
- [9] B.R. Lin, W.R. Yang, J.J. Chen, and C.L. Huang, " Interleaved LLC series converter with output voltage doubler," in Proc. IEEE IPEC'10, pp. 92-98, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ipec.2010.5543842>
- [10] X. Wu, H. Chen, J. Zhang, and F. Peng, " Interleaved Phase-Shift Full-Bridge Converter with Transformer Winding Series-Parallel Autoregulated (SPAR) Current Doubler Rectifier," IEEE Trans. Power Electron., vol.30, no.9, pp. 4864-4873, Sept. 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2014.2362941>
- [11] I.H. Cho, K.M. Cho, J.W. Kim, and G.W. Moon, "A

New Phase-Shifted Full-Bridge Converter With Maximum Duty Operation for Server Power System," IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 12, pp. 3491-3500, Dec. 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2011.2129532>

- [12] W. Chen, F.C. Lee, M. M. Jovanovic, and J. A. Sabate, "A comparative study of a class of full bridge zero-voltage-switched PWM converters," in Proc. IEEE APEC'95, pp. 893-899, 1995.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/apec.1995.469046>
- [13] R. Redl, N.O. Sokal, and L. Balogh, "A novel soft-switching full-bridge DC/DC converter: Analysis, design considerations, and experimental results at 1.5 kW, 100 kHz," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 6, pp. 408-418. July 1991.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/63.85909>

## 조인호(In-Ho Cho)

[정회원]



- 2009년 2월 : 카이스트 (전기 및 전자공학 석사)
- 2013년 2월 : 카이스트 (전기 및 전자공학 박사)
- 2013년 1월 ~ 2014년 9월 : LG전자 선임연구원
- 2014년 10월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도추진시스템, 전기자동차 충전기술, 철도물류