

# 공진컨버터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

이승민, 박준형, 서함, 김은수<sup>†</sup>, 오성진\*, 배영상\*  
 전주대학교, 카코뉴에너지(주)\*

## Bidirectional DC-DC Converter using Resonant Converter

S.M Lee, J.H Park, XU Han, E.S Kim<sup>†</sup>, S.J Oh\*, Y.S Bea\*  
 JeonJu University, KACO new energy Inc.\*

### 1. 서 론

최근 배터리 충·방전 시스템, 무정전 전원 공급시스템(UPS), 하이브리드 전기자동차(HEV), 태양광발전 계통연계시스템 등 여러 분야에 대전력 양방향 DC DC컨버터가 주목되고 있다. 기존 양방향 DC DC컨버터는 전압원 소스로만 이루어진 방식과 전압원과 전류원 소스가 접목된 양방향 DC DC컨버터 등이 개발되어 왔다. 하지만 기존 양방향 DC DC컨버터는 기본적으로 주 스위칭 소자가 하드스위칭(Hard Switching)을 하기 때문에 스위칭손실에 의한 전력변환손실이 큰 단점을 가지기 때문에, 주스위칭소자의 영전압스위칭(ZVS: Zero Voltage Switching)과 2차측 정류다이오드 영전류스위칭(ZCS: Zero Current Switching)이 모두 가능한 LLC공진컨버터가 주목되고 있다.<sup>[1]</sup> 그러나 기존 양방향 LLC공진컨버터에서는 1차측과 2차측 공진캐패시터의 값에 따라 그림 1(a)와 같은 CLLC전압이득 특성 및 그림 1(b)와 같은 SRC전압이득특성을 가지게 되어 전 부하범위에서 제어가 매우 어렵다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 그림 2(a)와 그림 2(b)와 같이 간단한 보조스위치와 양방향보조스위치를 사용하여 전 부하범위에서 제어가 가능하도록 전압이득특성을 개선함으로써 전력변환손실을 최소화 할 수 있고 단가를 저감 할 수 있는 양방향 공진컨버터에 대해 1kW급으로 적용 실험하였으며 그림 2(a)에 대한 회로에 대해 서술하고자 한다.

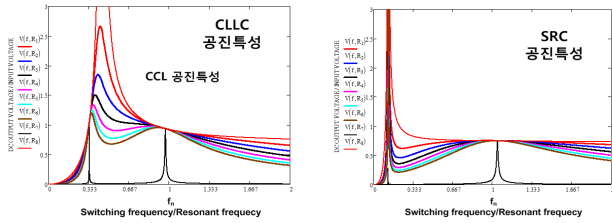


그림 1. 1, 2차측에 적용된 공진캐패시터 값에 따른 이득 특성

### 2. 공진컨버터 적용 양방향 DC-DC 컨버터

본 논문에서 공진컨버터 적용 양방향 DC DC컨버터는 그림 2와 같이 보조스위치(D<sub>R1</sub>, S<sub>R1</sub>, D<sub>R2</sub>, S<sub>R2</sub>, D<sub>R3</sub>, S<sub>R3</sub>, D<sub>R4</sub>, S<sub>R4</sub>)와 양방향보조스위치(S<sub>A1</sub>, S<sub>A2</sub>)를 사용하여 양방향으로 전력전달이 가능한 공진컨버터이다. 양방향보조스위치(S<sub>A1</sub>, S<sub>A2</sub>)를 턴 온, 턴 오프 제어하게 함으로써 1차측 및 2차측 공진캐패시터(C<sub>T1</sub>, C<sub>T2</sub>, C<sub>T3</sub>)와 1차측 및 2차측 보조스위치(D<sub>R1</sub>, S<sub>R1</sub>, D<sub>R2</sub>, S<sub>R2</sub>, D<sub>R3</sub>, S<sub>R3</sub>, D<sub>R4</sub>, S<sub>R4</sub>)가 연결 또는 차단 함으로써 순방향 및 역방향 전력전달 동작 시 그림 3과 같이 LLC 공진컨버터 전압이득특성을 갖도록 하여 줌으로써 높은 전압이득특성 및 영전압스위칭(ZVS)과 영전류스위칭(ZCS) 동작이 가능하도록 하여 고효율 특성을 갖는 양방향 공진컨버터를 제안하였다<sup>[3]</sup>.

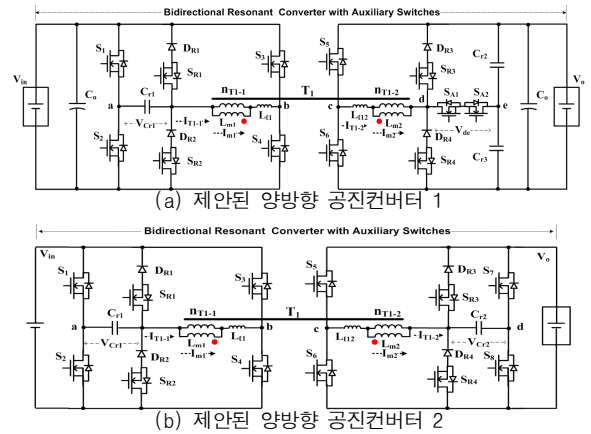


그림 2. 간단한 보조스위치 적용 양방향전력수급 가능한 공진컨버터

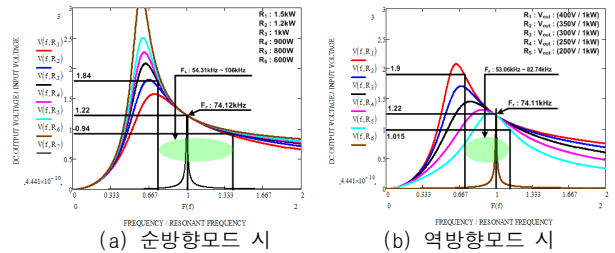


그림 3. 공진컨버터 적용 양방향 DC-DC 컨버터 전압이득특성

#### 2.1 순방향 동작

순방향 동작 시 그림 4와 같이 1차측 스위칭소자(S<sub>1</sub>, S<sub>4</sub>)와 (S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>)는 각각 고정된 듀티비(50%)를 가지고 턴 온, 턴 오프로 인가되고 1차측 보조스위치(D<sub>R1</sub>, S<sub>R1</sub>, D<sub>R2</sub>, S<sub>R2</sub>)는 턴 오프 상태이다. 2차측 스위칭소자(S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>)와 양방향보조스위치(S<sub>A1</sub>, S<sub>A2</sub>)는 턴 오프 상태로 유지되고 2차측 보조스위치(D<sub>R3</sub>, S<sub>R3</sub>, D<sub>R4</sub>, S<sub>R4</sub>)는 항상 턴 온 되어 2차측 스위칭소자(S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>)의 바디다이오드를 통해 정류되어 동작된다. 이 때 양방향보조스위치(S<sub>A1</sub>, S<sub>A2</sub>)는 항상 턴 오프 상태이므로 2차측 공진캐패시터(C<sub>T2</sub>, C<sub>T3</sub>)에 전류가 흐르지 않기 때문에 그림 3과 같이 높은 전압이득특성을 갖는 LLC 공진컨버터처럼 동작을 하게 된다. 순방향 모드 시에는 Full Bridge 회로로 동작하고 입력전압의 2배 범위(200V<sub>DC</sub>~400V<sub>DC</sub>)까지 주파수 제어를 통해 일정 출력과파를 제어할 수 있다.

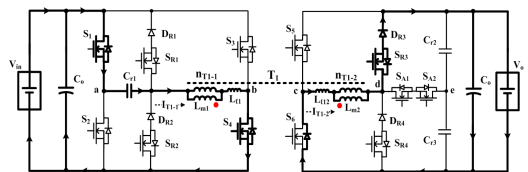


그림 4. 순방향모드 시 동작모드

## 2.2 역방향 동작

역방향 동작 모드 시 그림 5와 같이 양방향보조스위치( $S_{A1}$ ,  $S_{A2}$ )는 항상 턴 온 되어 Half Bridge 회로로 동작한다. 변압기에는 입력전압의 1/2 전압이 걸리므로 출력전압 2배 범위 ( $200V_{DC} \sim 400V_{DC}$ )까지 주파수 제어를 통해 일정 출력과위를 제어할 수 있다. 나머지 동작모드는 순방향 모드와 같다.

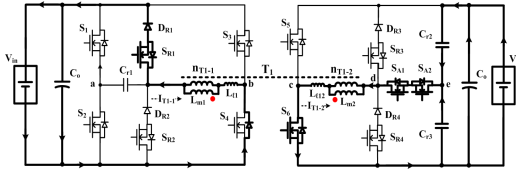


그림 5. 역방향모드 시 동작모드

## 3. 실험결과

본 논문에서는 1kW 출력용량을 갖는 제안된 양방향 공진컨버터를 적용하여 순방향 모드시 입력전압 200V~400V, 최대정격출력용량 400V/2.5A, 역방향 모드시 입력전압 400V, 최대정격출력용량 200~400V/2.5A~5A에 대해 각각 실험하였다. 그리고 적용된 주요정격과 사용된 파라미터 및 소자에 대해 표 1과 표 2에 각각 나타내었다.

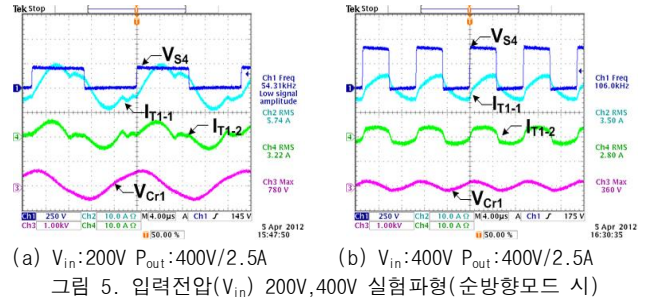
표 1. 제안된 공진컨버터 실험조건

순방향모드	
입력전압( $V_{in}$ )	200V~400V
출력용량( $P_o$ )	400V / 2.5A (1kW)
스위칭주파수( $f_s$ )	54.31kHz~106kHz
공진주파수( $f_r$ )	74.12kHz
역방향모드	
입력전압( $V_{in}$ )	400V
출력용량( $P_o$ )	200V~400V / 2.5A~5A (1kW)
스위칭주파수( $f_s$ )	53.06kHz~82.74kHz
공진주파수( $f_r$ )	74.12kHz

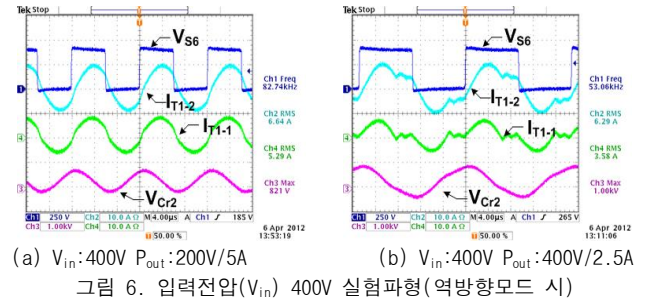
표 2. 제안된 공진컨버터 파라미터 및 사용된 소자

1,2차측 자기인덕턴스( $L_p, L_s$ )	313.4uH/313.4uH
1, 2차측 누설인덕턴스( $L_{l1}, N^2L_{l2}$ )	57.71uH/57.71uH
등가누설인덕턴스( $L_{eq}$ )	104.8uH
턴수비( $N_1/N_2$ )	30/30
공진 커패시터( $C_{r1} \sim C_{r3}$ )	44nF, 22nF, 22nF
주 스위칭 소자( $S_1 \sim S_6$ )	SPW47N60CFD(600V/46A)
양방향보조스위치소자( $S_{A1}, S_{A2}$ )	SPW47N60CFD(600V/46A)
보조스위칭소자( $S_{R1} \sim S_{R4}$ )	CMF20120(1200V/20A)
보조다이오드( $D_{R1} \sim D_{R4}$ )	DSEP06 12A(1200V/30A)
적용된 제어 IC	MC34067

그림 5와 그림 6은 그림 2의 제안된 양방향 공진컨버터 실험파형으로 순방향모드 시 그림 5(a)는 입력전압 200V, 출력전압 400V에 대하여 1kW 용량일 때, 단자전압( $V_{S4}$ ), 공진전류( $I_{T1,1}$ ,  $I_{T1,2}$ )와 공진캐패시터 전압( $V_{Cr1}$ )을 측정된 파형이고 그림 5(b)는 입력전압 400V, 출력전압 400V에 대하여 1kW 용량일 때, 단자전압( $V_{S4}$ ), 공진전류( $I_{T1,1}$ ,  $I_{T1,2}$ )와 공진캐패시터 전압( $V_{Cr1}$ )을 측정된 파형이다. 역방향모드 시 그림 6(a)는 입력전압 400V, 출력전압 200V에 대하여 1kW 용량일 때, 단자전압( $V_{S6}$ ), 공진전류( $I_{T1,2}$ ,  $I_{T1,1}$ )와 공진캐패시터 전압( $V_{Cr2}$ )을 측정된 파형이고 그림 6(b)는 입력전압 400V, 출력전압 400V에 대하여 1kW 용량일 때, 단자전압( $V_{S6}$ ), 공진전류( $I_{T1,2}$ ,  $I_{T1,1}$ )와 공진캐패시터 전압( $V_{Cr2}$ )을 측정된 파형이다.



(a)  $V_{in}$ :200V  $P_{out}$ :400V/2.5A (b)  $V_{in}$ :400V  $P_{out}$ :400V/2.5A  
그림 5. 입력전압( $V_{in}$ ) 200V,400V 실험파형(순방향모드 시)



(a)  $V_{in}$ :400V  $P_{out}$ :200V/5A (b)  $V_{in}$ :400V  $P_{out}$ :400V/2.5A  
그림 6. 입력전압( $V_{in}$ ) 400V 실험파형(역방향모드 시)

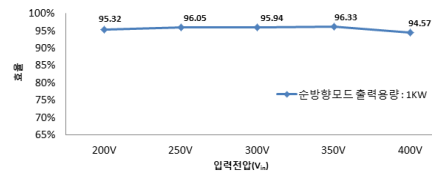


그림 7. 입력전압 200V~400V일 때의 각 부하별 효율

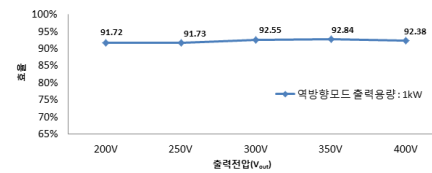


그림 8. 출력전압 200V~400V일 때의 각 부하별 효율

그림 2의 제안된 양방향 공진컨버터의 효율측정으로 순방향 모드시 입력전압 350V에서 최대부하(1kW)일 때 96.33% 효율이 측정되었고, 역방향모드시 출력전압 350V에서 최대부하(1kW)일 때 92.84%의 효율 특성을 보여주었다. 그림 2(b)의 양방향 공진컨버터 적용 시 역방향 전력전달의 경우 그림 2(a) 회로에 비해 높은 효율특성을 갖는다. 이와 관련된 내용은 추후 발표하고자 한다.

이 논문은 카코뉴에너지(주) 산학협력연구과제 지원으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] K.Wang, Lizhi Zhu, Dayu Qu, Hardus Odendaal, Jason Lai, and Fred C. Lee, "Design, Implementation and Experimental Results of Bidirectional full bridge DC/DC converter with unified soft switching scheme and soft starting capability," IEEE PESC 2000, pp. 1058 1062.
- [2] Wei Chen, Ping Rong, and Zhengyu Lu, "Snubberless Bidirectional DC DC Converter With New CLLC Resonant Tank Featuring Minimized Switching Loss", IEEE Trans. Ind. Electron. vol. 57, No. 9, September 2010., pp.3075 3086.
- [3] 김은수, "양방향 직류 직류 컨버터", 특허출원(10 2012 0043433).