

# 1kW급 계통연계형 연료전지용 병렬연결 고효율 컨버터

한동화, 이영진, 최중묵, 정병환\*, 최규하  
건국대학교, 삼성 탈레스\*

## Parallel connection High Efficiency Converter For 1Kw Grid interconnected Fuel cell System

Han D.H Lee Y.J Choi J.M Jung B.H\* Choe G.H  
Konkuk University, Samsung Thales\*

### ABSTRACT

본 연구는 다른 에너지원에 비해 출력전류가 커짐에 전압의 드롭이 심한 에너지원을 대상으로하며, 기존의 고효율특성을 갖는 공진형 컨버터가 듀티의 변화에 자유롭지 못한 단점을 보완하기위해 캐패시터를 이용하여 기존의 공진형 Push-Pull 컨버터와 부분전압제어가 가능한 Boost컨버터 2대를 결합하여 입력전압의 변화에도 일정한 DClink전압이 형성되도록 하고 있다. 각각 컨버터의 출력전압은 입력전압에 따라 변동하지만 고효율을 위하여 공진형 컨버터부에서 전압할당이 크도록 구성 되었으며, 본 논문은 공진형 Push-Pull컨버터, Boost 컨버터의 동작원리 및 2대의 컨버터를 결합구성 할 경우의 전력의 분담 및 전체적인 제어원리를 다루며, 시뮬레이션을 통하여 이를 입증하고자 한다.

### 1. 서론

화석연료의 고갈로 인해 신재생에너지의 중요성이 부각되고 있는 현재, 전력전자에서는 신재생에너지로부터 생산된 에너지를 얼마나 효율적으로 변환하여 사용가능한가가 중요한 관사가 된다. 본 논문에서는 다른 대체에너지원(태양광, 풍력 등등)에 비하여 주변의 환경에 영향을 받지 않고 지속적인 에너지생산이 가능한 장점을 가지는 소용량급(1kW급)가정용 연료전지 시스템에서 높은 승압비를 지녀야하는 컨버터부를 연구의 대상으로 한다.

현재 널리 사용되어지고 있는 하드스위칭 방식의 컨버터에서는 Mosfet, IGBT등의 반도체 소자를 스위칭 소자로 사용하고 있는데 이 반도체 소자들은 소자의 물성적 특성에 의하여 Turn-On/Off시 지연시간이 발생하고 이로 인해 스위치에 전압과 전류의 중복구간이 발생되어 스위칭으로 인한 전력의 손실이 생겨난다. 반면스위칭시의 스위치의 전압이나 전류가 0(Zero)가 된다면 스위칭 동작 시 발생하는 손실은 현저히 줄일 수 있게 되며, 이를 공진형 컨버터라 하며 이는 컨버터에 존재하는 L,C성분에 의한 공진주파수와 스위칭주파를 맞춰서 이용하는 것이므로 일정 듀티에서 동작해야하며 듀티의 변동시 컨버터의 효율이 급감하는 단점을 지닌다. 그러나 본 논문에서 대상으로 하는 연료전지는 다른 에너지원에 비해 전류가 증가하면 전압이 현저히 낮아지는 특성으로 인하여, 일정 듀티에서 동작해야하는 공진형 컨버터는 적합하지 않다. 본 논문에서는 연료전지의 변동하는 전압에 대하여 부분 전압제어가 가능한

직렬 결합형태의 고효율 컨버터를 제안하며, 두 대의 직렬 결합형태의 컨버터의 연료전지 전압에 따른 전력분배와 설계 및 전체적인 제어방법에 대해 다룬다.

### 2. 제안한 컨버터의 해석

#### 2.1 연료전지 시스템의 구성 및 컨버터 제어방법

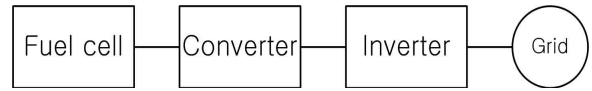


그림 1 연료전지 시스템의 구성

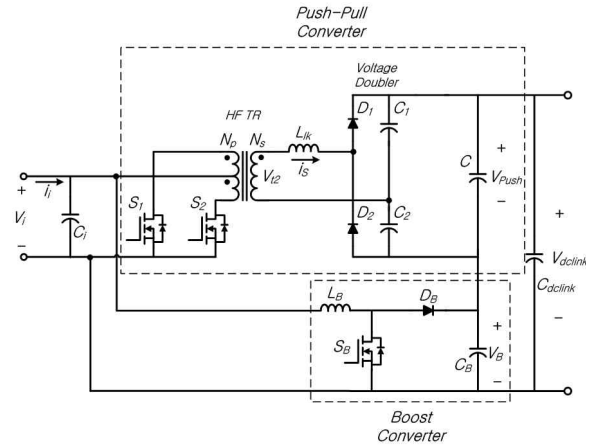


그림 2. 제안한 결합형 컨버터

본 연구의 대상인 연료전지 전력변환시스템의 구성을 살펴보면 그림 1과 같다. 시스템은 Fuel Cell - Converter - Inverter - Grid 으로 구성되며, 에너지원인 연료전지는 30~60[V] 사이의 변동하는 낮은 전압을 가진다. 이를 계통전압(220Vac)전압과 연계하기위해서는 인버터 전단 DClink 전압이 360[Vdc]로 형성되어야하며, 이는 연료전지 출력전압에 비하여 6~12배의 높은 전압이다. 이 승압은 컨버터부에서 이루어져야하므로 컨버터 인버터가 직렬로 연결된 전체 시스템에서 고효율화를 위해 높은 승압비를 담당하는 컨버터부는 고효율의 특성을 지녀야한다.

전술한바와 같이 기존의 하드스위칭 방식에서는 고효율화를

기대하기는 어려우며, 고효율화를 위해서는 공진형 컨버터의 사용이 필수적인 반면, 다른 대체에너지원에 비하여 전류의 증가에 따른 전압강하가 심한 연료전지에서는 듀티의 제어가 어려운 공진형 컨버터를 그대로 적용하여 고효율을 기대하기는 힘들다. 제안한 직렬구성 컨버터는 그림 2와 같이 2대의 컨버터로 구성되며 2대 컨버터의 출력전압의 합으로 DClink전압을 형성하게 된다. 이는 절연형과 절연형, 절연형과 비절연형의 구성으로만 가능하며 비절연방식 컨버터의 직렬연결로는 -가 공통이므로 불가하다. 제안한 직렬구성 컨버터는 절연형-공진형 컨버터, 비절연형-부스트컨버터의 조합으로 구성되어지며, 절연형-공진형 컨버터는 일정듀티로 동작되는 반면, 비절연형-부스트 컨버터는 DClink전압을 360[V]로 얻기 위하여 DClink 지령치 전압(360[V])과 공진형 컨버터 전압의 차가 부스트 컨버터의 지령치 전압이 되어 부스트컨버터의 전압을 제어하며 그림 3에서 컨버터의 전체적인 제어방식을 나타내고 있다. 직렬로 연결된 컨버터의 전력배분은 각각의 컨버터의 전압비에 의해 결정되어지게 되며, 효율면에서 많은 전력을 공진형 컨버터에서 할당하는것이 유리하므로, 입력전압이 60[V]일 경우 공진형 컨버터는 300[V],부스트 컨버터는 60[V]를 할당하도록 공진형 컨버터의 전압 이득비를 선정하였다. 만약 공진형 컨버터가 선형적이라고 가정한다면 입력전압의 변동에 따른 공진형 컨버터의 출력전압과 DClink전압을 360[V]로 유지하기 위한 부스트 컨버터의 출력전압과 그때의 듀티를 그림 4에 나타내어졌다.

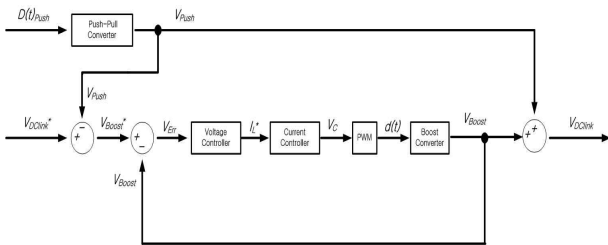


그림 3 결합형 컨버터의 제어

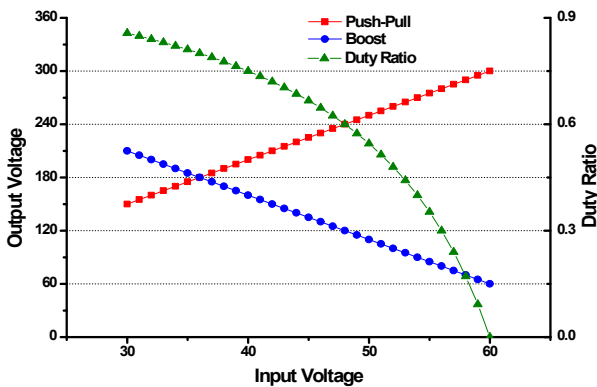


그림 4 직렬연결컨버터의 입력전압에 따른 각각의 전압과 부스트 컨버터의 듀티

## 2.2 공진형 푸시풀 컨버터의 동작

공진형 푸시풀컨버터의 회로도를 살펴보면 그림 2의 위쪽의 구성과 같다. 전체적인 동작상태는 일반적인 구성의 푸시풀

컨버터의 동작과 같고 고주파변압기 2차측의 연결된 Voltage doubler에 의해 출력전압이 기존의 푸시풀 컨버터에 비해 2배로 승압되어진다. 고주파 변압기를 설계하는 과정에서 생겨나는 누설인덕턴스와 Voltage doubler의 커패시터와 2차측공진을 일으켜 컨버터가 공진형으로 동작하게 된다.

### Mode 1. S1-Off S2-Off

출력전압은 Voltage doubler의 커패시터 전압  $v_{cr1}(t)$ 와  $v_{cr2}(t)$ 의 합으로 구성되며, Mode1의 이전 모드에서  $v_{cr2}(t)$ 가 충전되어  $v_{cr2}(t)$ 는 최대값,  $v_{cr1}(t)$ 는 최소값을 가지며, 입력측으로부터 출력으로의 에너지는 전달되지 않는다.

$$v_{cr1}(t) + v_{cr2}(t) = V_{Push} \quad (2-1)$$

$$i_s(t) = 0 \quad (2-2)$$

### Mode 2. S1-ON S2-Off

입력측으로부터 S1스위치와 변압기, 전압더블러를 통해 에너지가 전달되는 구간이며, 변압기 2차측에 유기되는 전압

$v_{T2}(t)$ 는 이 구간에서  $V_{T2} = \frac{N_s}{N_p} V_I$  가 되며, 전압 방정식을 세우면 식(2-3)와 같다.

$$V_{T2} = v_{Llk}(t) + v_{cr1}(t) = v_{Llk}(t) + V_{Push} - v_{cr2}(t) \quad (2-3)$$

변압기 2차측의 전류방정식은 식(2-4)와 같고 위의 식(2-3)를 대입하면 아래와 같다.

$$i_s(t) = C_{r1} \frac{dv_{cr1}(t)}{dt} - C_{r2} \frac{dv_{cr2}(t)}{dt} \quad (2-4)$$

$$= (C_{r1} + C_{r2}) \frac{dv_{cr1}(t)}{dt} = C_r \frac{dv_{cr1}(t)}{dt}$$

$C_{r1}$ 에 걸리는 전압  $v_{cr1}(t)$ 는 식(2-5)와 같이 표현된다.

$$v_{c1}(t) = V_{T2} - v_{Llk}(t) = V_{T2} - L_{lk} \frac{di_s(t)}{dt} \quad (2-5)$$

위의 식에 (2-4)식을 대입하면,

$$v_{c1}(t) = V_{T2} - L_{lk} C_r \frac{d^2 v_{cr1}(t)}{dt^2} \quad (2-6)$$

$$v_{c1}(t) + L_{lk} C_r \frac{d^2 v_{cr1}(t)}{dt^2} = V_{T2}$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{L_{lk} C_r}, \quad \omega_r^2 \cdot v_{c1}(t) + \frac{d^2 v_{cr1}(t)}{dt^2} = \omega_r^2 \cdot V_{T2} \quad (2-7)$$

윗식을 풀면

$$v_{c1}(t) = V_{T2} - (V_{T2} - V_{cr1}^{Low}) \cos \omega_r t \quad (2-8)$$

윗 식을 전류 방정식에 대입하면

$$i_s(t) = C_r \frac{d(V_{T2} - (V_{T2} - V_{cr1}^{Low}) \cos \omega_r t)}{dt} \quad (2-9)$$

$$= \frac{V_{T2} - V_{cr1}^{Low}}{Z_r} \sin \omega_r t$$

윗 식에 의해 공진주파수  $f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{Llk} C_r}}$ 로 얻어지며, 푸시풀 컨버터의 스위칭주파수를  $f_{SW}$ 라 하면 스위칭주파수는  $f_{SW} \leq f_r$ 로 선정되며, 이 경우 스위치 및 변압기 1,2차측, 다이오드 전류는 식 2-9와 같이 유사 정현파형의 형태로 흐르게 된다.

**Mode 3.4는 Mode 1,2 와 2차측 유기전압만 반대이며 설계적**

**인 동작상태는 같다.**

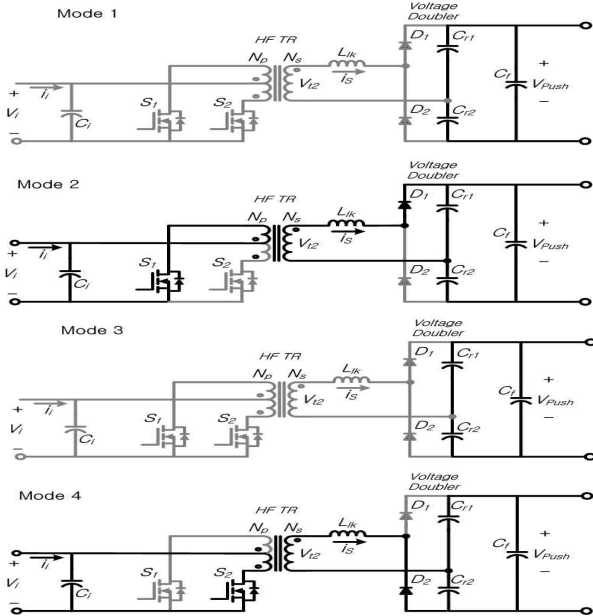


그림 5 공진형 Push-Pull 컨버터의 모드별 동작

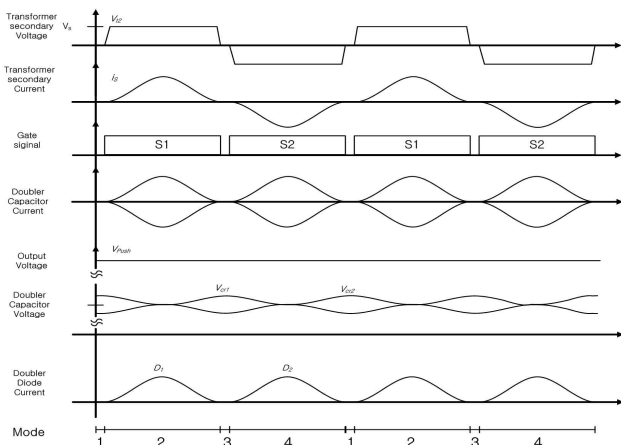


그림 6. 공진형 Push-Pull 컨버터의 모드별 파형

**2.3 부분전압제어 부스트 컨버터 동작**

부스트 컨버터는 공진형 컨버터의 전력분담을 최대로 하고 연료전지의 출력전압의 변동분배에 대하여 부분적인 전압을 제어한다. 그림 X와 같이 정격상태인 연료전지의 출력전압이 50[V] 경우 부스트컨버터의 출력전압은 110[V]이 되며, 연료전지의 출력전압의 변동분배에 의해 부스트 컨버터는 60~210[V]의 출력전압을 가져 이를 위의 공진형 Push-Pull 컨버터와 합쳐져 DCLink 전압을 형성한다.

**3. 제안한 컨버터 시뮬레이션**

제안한 컨버터의 시뮬레이션은 PSIM을 이용하였으며, 연료전지 시스템의 구성에서 인버터부와 계통부를 저항으로 등가하였다. 시뮬레이션의 결과를 살펴보면 출력전압은 공진형 푸시풀 전압과 부스트컨버터의 전압으로 구성되어 일정전압으로 유지

됨을 알수있다. 입력전류 또한 푸시풀입력전류와 부스트 컨버터 입력전류로 유지되며, 푸시풀컨버터의 입력전류가 정현파형태를 지녀, 공진형으로 동작됨을 알수있다.

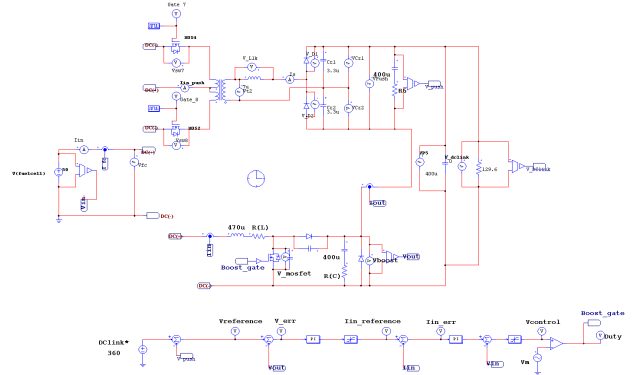


그림 6 결합형 컨버터의 시뮬레이션 구성

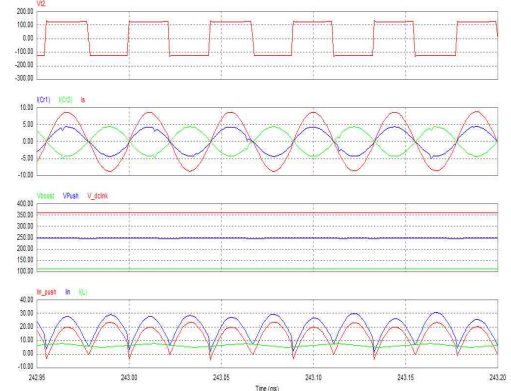


그림 7 결합형 컨버터의 시뮬레이션 결과

**4. 결론**

본 제안한 컨버터 시스템은 입력전압이 변동할 경우 듀티의 변화가 자유롭지못한 공진형 컨버터의 사용을 위해 제안되었으며, 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

이 논문은 지식경제부(R-2007-1-015-01) 지원에 의하여 연구되었습

**참고 문헌**

- [1] Isamu Yamamoto, A Power Factor Correction with Two-input Current Mode using Voltage Doubler Rectifier, IEEE 14-magazine 2001
- [2] Alou, P, Comparison of current doubler rectifier and center tapped rectifier for low voltage applications, 10.1109. APEC 2006
- [3] Joseph M. Beck, Using Rectifiers In Voltage Multiplier Circuits, General Semiconductor, 14 June 2001