

# 가변 위상변위 스위칭방식을 적용한 연료전지용 변압기 직렬형 DC/DC 컨버터

朴魯植\*, 權純在\*\*, 朴晟濬†

## Series Connected DC/DC Converter for Fuel Cell System using Variable Phase Shift Switching Method

Noh-Sik park, Soon-Jae Kwon and Sung-Jun Park

### 요 약

본 논문에서는 연료전지용 전력변환 장치에서 높은 승압비를 구현하기 위하여 절연형 풀브릿지 컨버터의 고주파 변압기 2차측을 직렬로 연결한 새로운 DC/DC 컨버터와 이에 적합한 가변 위상변위 스위칭 방식을 제안하였다. 제안된 컨버터는 기존 방식에 비해 정류부와 필터부의 일원화가 가능한 구조로 출력레벨의 증가를 위해 컨버터의 수를 증가 하더라도, 수동소자의 수를 대폭 줄일 수 있다. 제안된 직렬 방식의 컨버터의 출력전압은 기존의 일정위상변위 스위칭 방식으로는 극성이 반대로 되는 구간이 발생하므로, 제안된 전력변환기에 적합한 간단한 가변 위상 변위 스위칭 방식을 적용함으로써, 출력전압의 감소문제를 해결하였으며, 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안된 방식의 타당성을 검증하였다.

### ABSTRACT

This paper presents a novel series connected DC/DC converter and a proper variable phase shift switching method in order to obtain high voltage ratio for fuel cell system. The proposed series connected DC/DC converter has same rectifier and LC filter for DC output voltage, so it can reduce the number of passive devices regardless of the converter number. In the conventional constant phase shift switching method, the proposed series connected DC converters have inverse bias output voltage. In order to overcome this problem, a simple but proper variable phase shift switching method is proposed in the a novel series connected DC/DC converter. In order to verify the proposed system, simulation and experiments are implemented.

**Key Words** : Fuel cell power system, Series DC/DC converter, Variable phase shift switching, High voltage ratio

## 1. 서 론

연료전지는 조만간 고갈될 석유 등 화석연료를 대체하는 에너지원으로 인류의 장래를 위해 반드시 개발해야 할 기술이란 점에서 연료전지 연구에 대한 그 의의가 매우 크다. 화석연료가 고갈될 경우 사용가능한 에너지는 환경성, 경제성, 기술성을 고려했을 때 현재로서는 연료전지가 최적의 대안으로 사료된다. 따라서 연료전지는 미래에 대부분의 가정과 교통수단의 동력원으로 활용될 것으로 전망된다. 그러나 상용화를 위해

†교신저자 : 정희원, 전남대 전기공학과 부교수

E-mail : sjpark1@chonnam.ac.kr

\*정희원, 세웅테크 대표

\*\*정희원, 부경대 기계공학부 교수

접수일자 : 2008. 8. 5

1차 심사 : 2008. 8. 28

2차 심사 : 2008. 10. 21

심사완료 : 2008. 10. 30

넘어야 할 기술 장벽으로는 경제성 확보와 연료전지 스택과 전력변환시스템의 효율 개선이 선결과제라 하겠다. 연료전지 에너지의 실용화를 위한 전력변환 기술에서 연료전지용 DC/DC 컨버터는 낮은 전압의 가변 직류전원으로부터 높은 직류전압을 출력할 수 있는 형태를 요구하고 있다. 특히 전압형 PWM DC/DC 컨버터는 전력변환기의 효율과 경제성 측면에서 산업계에서 널리 이용되고 있으며, 능동 및 수동 소자의 저감을 구현함과 동시에 효율 및 성능 개선에 대한 다양한 토폴로지가 제안되고 있다<sup>[1][2]</sup>.

최근 대체에너지의 사용과 더불어 산업화가 진행됨에 따라 낮은 전압의 가변 직류전원으로부터 높은 직류전압을 출력할 수 있는 DC/DC 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 특히 전압형 PWM DC/DC 컨버터는 전력변환기의 효율과 경제성 측면에서 산업계에서 널리 이용되고 있으며, 능동 및 수동 소자의 저감을 구현함과 동시에 효율 및 성능 개선에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다<sup>[3][4]</sup>.

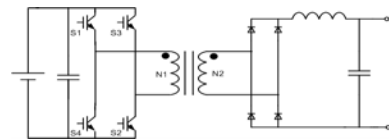
일반적으로 높은 승압비를 갖는 DC/DC 컨버터를 구성하는 방법으로는 크게 다단 승압기를 갖는 방식과 여러 개의 DC/DC 컨버터를 사용하여 컨버터의 출력을 직렬 또는 병렬로 구성하는 방식이 있다. 전자의 방식에서 컨버터의 총 효율은 각 승압컨버터의 효율의 곱으로 나타남으로 컨버터의 효율을 증대시키는 방법으로는 바람직하지 않는 방식으로 알려져 있다<sup>[5]</sup>. 후자의 방식은 전체 DC/DC 컨버터를 구성함에 있어 컨버터 수가 증가함에 따라 스위칭 소자 수가 비례적으로 증가되는 단점이 있다. 최근 다수의 컨버터를 이용하여 높은 승압비를 구현함과 동시에 컨버터의 성능향상을 위한 다양한 방법들이 제안되고 있다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 높은 승압비를 갖는 DC/DC 컨버터를 구성함에 있어 기존의 멀티 컨버터방식에서 다이오드, 콘덴서 및 리액터를 줄이고, 2차측 변압기 출력을 직렬 연결한 새로운 멀티 DC/DC 컨버터의 구조를 제안하고, 제안된 전력변환기 구조에서 출력전압의 리플을 줄일 수 있는 새로운 가변 위상 변위형 스위칭 방식을 제안한다. 제안된 컨버터의 구성에 대하여 3[kW]급 프로토타입 컨버터를 제작하여 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

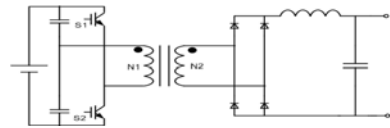
## 2. 기존의 연료전지용 DC/DC 컨버터

### 2.1 연료전지용 절연형 DC/DC 컨버터의 기본 토폴로지

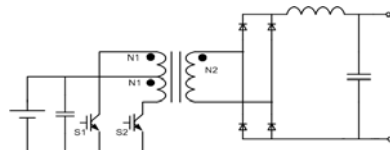
그림 1은 높은 승압비를 갖는 대표적인 DC/DC 컨버터의 구성들을 나타냈다. 그림 1(a)는 풀 브리지 컨버터로 변압기의 권선비가 적은 장점이 있으나, 교류전원을 인가하기 위한 인버터의 스위칭 소자수가 많고 스위치손실이 큰 단점이 있다. 그림 1(b)는 하프 브리지 컨버터로 스위칭 소자 수는 풀 브리지 컨버터의 절반이 되는 장점이 있으나, 변압기의 권선비가 2배가 되고, 스위칭 소자에 흐르는 전류가 두 배가 되는 단점이 있다. 그림 1(c)는 푸시풀 컨버터로 스위칭 소자의 전압 스트레스가 크며, 1차 측 권선이 2조가 필요한 단점이 있으나, 스위칭 소자 수가 적어 전체 스위칭 온 손실이 작고, 변압기의 권선비가 적은 장점으로 저 전압 대 전류용으로 많이 사용되는 방식으로 입,출력의 전압, 전류, 전력에 따라 가장 유리한 방식을 선택해야 성능이 좋은 컨버터가 완성된다.



(a) 풀 브리지 컨버터  
(a) Full bridge DC/DC converter



(b) 하프 브리지 컨버터  
(b) Half bridge DC/DC converter



(c) 푸시풀 컨버터  
(c) Push-pull DC/DC converter

그림 1 연료전지용 전력시스템의 DC/DC 컨버터  
Fig. 1 DC/DC converter for fuel cell power system

### 2.2 높은 승압비를 갖는 DC/DC 컨버터

그림 2는 높은 승압비를 갖는 대표적인 멀티 DC/DC 컨버터의 구조로 기존의 절연형 풀브릿지 타입의 DC/DC 컨버터를 사용하여 출력 직류 측을 직렬로 연결하는 구조를 취함으로써 높은 승압비를 구성하게 하였다.

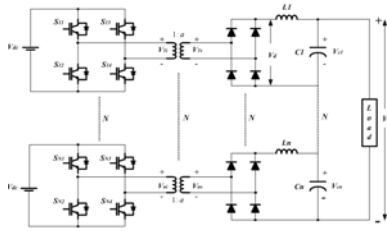


그림 2 기존의 멀티레벨 DC/DC 컨버터  
Fig. 2 Conventional multi-level DC/DC converter

이 구성은 각 컨버터가 독립적인 필터회로를 가지고, 필터회로에 필요한 소자의 개수는 컨버터 수에 비례하여 증가한다.

또한 각 컨버터의 출력전압은 스위칭 소자의 변조비 (Modulation index)에 의해서 제어되며 필터단 입력전압은 식 (1)과 같다.

$$V_d = m a V_{dc} + a \frac{2V_{dc}}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin(k\pi m) e^{j(2\pi f_s k)t} \quad (1)$$

단,  $m$  : 변조비,  $a$  : 변압기 권수비,  
 $f_s$  : 스위칭 주파수

식 (1)에서 보는바와 같이 필터단 입력전압은 직류성분과 스위칭 주파수의 배수인 고주파 성분으로 구성된다. 따라서 필터에 의해 고주파 성분이 제거된다면 출력전압은 직류성분만 나타나게 되어 입출력 관계식과 컨버터의 개수를  $N$ 개라고 가정할 경우의 최종 출력 전압은 다음과 같다.

$$V_c = m a V_{dc} \quad (2)$$

$$V_o = N V_c \quad (3)$$

식(2)와 식(3)으로부터 전체 컨버터의 승압비는 식(4)와 같다.

$$\frac{V_o}{V_{dc}} = N m a \quad (4)$$

식 (4)에서 알 수 있듯이 전체 컨버터의 승압비는 컨버터의 개수의 함수로 컨버터의 개수를 증가시켜 높은 승압비를 구성할 수 있다.

그림 2와 같은 각 DC/DC 컨버터에서 인덕터 전류 리플은 식 (5)와 같다.

$$\Delta I_L = \frac{a V_{dc} - V_c}{L} m T_s \quad (5)$$

각 인덕터의 전류 리플은 각 평활용 콘덴서의 전압 리플로 나타나며 출력전압 리플은 식 (6)과 같다.

$$\Delta v_c = \frac{1}{LC} \frac{a V_{dc} (1-m)m}{8f_s^2} \quad (6)$$

변조비에 따른 출력전압 최대 리플은 식 (6)을 미분함으로써 구해지며 그 값은 변조비가 0.5일 때이다. 따라서 변조비에 따른 최종 출력전압 최대 리플은 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta v_o = \frac{N}{32} \frac{a V_{dc}}{L C f_s^2} \quad (7)$$

식 (7)에서 알 수 있듯이 각 DC/DC 컨버터의 출력전압의 리플은 스위칭 주파수, 인덕터 및 콘덴서의 용량, 변조비, 그리고 입력전압에 의해 결정되며 출력전압의 리플 저감을 위해서는 스위칭 주파수를 높이거나 필터용 인덕터 및 콘덴서의 용량을 키우거나 입력전압을 낮추어야 한다.

### 3. 제안된 직렬형 DC/DC 컨버터

#### 3.1 제안된 직렬형 DC/DC 컨버터

그림 3은 제안된 멀티 DC/DC 컨버터의 구조를 나타내고 있다. 기존의 절연형 풀브릿지 타입의 DC/DC 컨버터를 사용하여 다수의 컨버터용 변압기 2차측 출력을 직렬로 구성함으로써 높은 승압비를 구현 하였다.

이 구조에서는 기존의 보편적인 스위칭 방식이나, 일정 위상 변위형 스위칭 방식을 사용할 경우 고주파 변압기의 출력에 무효전력이 발생하여 선형적인 출력전압이 형성되지 않아 높은 승압비를 구현 할 수가 없다.

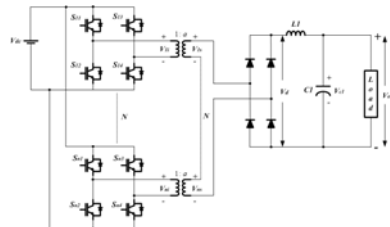


그림 3 제안된 직렬형 DC/DC 컨버터  
Fig. 3 Proposed multi-level series DC/DC converter

따라서 이러한 컨버터의 구조에 적합한 스위칭 방식이 구현된다면 다이오드 및 LC필터의 소자수를 대폭 저감할 수 있는 전력변환기를 구현할 수 있게 된다. 그림 3의 제안된 컨버터와 그림 2의 컨버터에서 다이오드 수와 L, C 소자를 비교하면 표 1과 같다.

기존의 컨버터 시스템으로 높은 승압비를 구현하기 위해 컨버터 수를 증가시키면 다이오드 및 L, C의 수가 비례적으로 증가하나, 제안된 컨버터 시스템은 표 1에서 보는 바와 같이 컨버터의 수가 증가하여도 다이오드 및 L, C의 수가 증가하지 않는 구조가 된다. 기존방식에 비하여 다이오드 및 콘덴서의 내압이 증가하는 단점이 있으나 다이오드 및 필터의 수가 많아서 구조가 복잡한 기존 방식에 비하여 구성이 간단해진다.

표 1 DC/DC 컨버터의 수동 소자 수 비교  
Table 1 Comparison of passive device numbers at DC/DC converter

직렬 컨버터 수	기존 컨버터	제안된 컨버터
다이오드 수, 내압	$4N, V_o/N$	$4, V_o$
리액터 수, L(인덕턴스), 정격전류	$N, LN, I_o$	$1, L, I_o$
콘덴서 수, C(커패시턴스), 내압	$N, C, V_o/N$	$1, C/N, V_o$

3.2 제안된 DC/DC 컨버터의 스위칭 신호

제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위해 2-레벨 컨버터를 그림 4와 같이 구성하였다. 이러한 2-레벨 컨버터에서 기존의 일정 위상변위 스위칭신호를 사용하면 그림 5와 같은 결과가 나타난다. 그림 5(a)는 변조비가 1/3인 경우로 각 컨버터의 출력파형의 위상차는 90°로 나타나며 최종 출력전압의 주파수는 각 컨버터의 주파수의 2배 효과가 나타남을 알 수 있다.

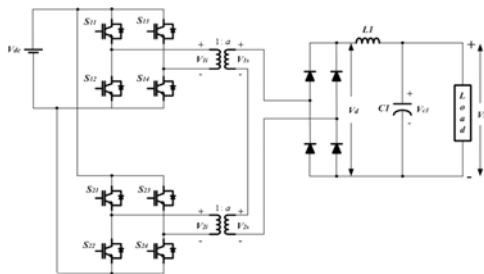
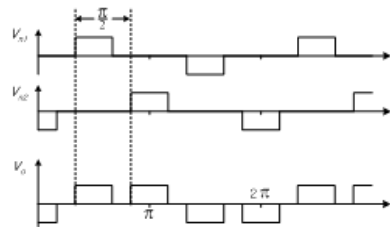
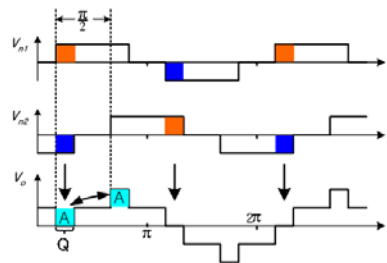


그림 4 제안된 방식의 2-레벨 DC/DC 컨버터  
Fig. 4 2-level DC/DC converter using the proposed series structure

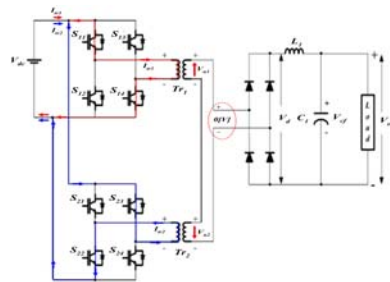
변조비가 1/3인 경우는 출력전압의 정, 부 폭이 60°로 위상차 90°보다 적어 변압기 2차측에 무효전력 발생 부분이 존재하지 않아 변조비에 비례하여 출력전압이 형성되는 영역이 된다.



(a) 변조비가 1/3인 경우  
(a) In the Case of 1/3duty ratio



(b) 변조비가 2/3인 경우  
(b) In the Case of 2/3duty ratio



(c) (b)의 Q부분 동작모드  
(c) Operational mode of Q parts on the (b)

그림 5 동일 위상 변위 스위칭 방식  
Fig. 5 Constant phase shift switching method

그림 5(b)는 변조비가 2/3인 경우로 출력전압의 정, 부 폭이 120°로 위상차 90°보다 30°가 크게 되어 30°영역동안 출력전압이 발생하나, 두 컨버터의 출력전압극성이 반대가 되어 최종 출력전압이 0이 되는 부분이

나타난다. 이 영역의 동작모드는 그림 5(c)와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 컨버터 1 스위치  $S_{11}$ ,  $S_{14}$ 이 On되어  $V_{n1}$ 은 정의 전압이 발생하나, 컨버터 2 스위치  $S_{23}$ ,  $S_{22}$ 이 On되어  $V_{n2}$ 은 부의 전압이 발생하여 정류 다이오드 입력전압은 0이 되나, 각 컨버터에서는 변압기의 여자전류가 발생하여 무효전력이 발생하게 된다. 또한 이 영역 동안은 고주파 변압기 2차측 직렬전압은 2배의 전압이 발생하여야 출력전압의 증대를 가지나, 이 영역과 2배의 전압을 발생하는 영역의 구간이 동일하게 존재하여 변조비를 증가 시켜도 출력전압의 증대가 없는 영역이 된다. 따라서 변조비 1/2 이상에서는 변조비를 증대시켜도 출력전압의 증대는 없이 변압기 2차측의 무효전력이 증대하는 악영향을 초래한다.

따라서 출력 전압은 기존의 방식대비 50% 이상 발생할 수가 없다. 두 컨버터의 고주파 변압기의 출력이 다른 극성을 형성하는 신호에 의해 출력전압이 저감하게 됨으로 스위칭 신호의 조건을 두 컨버터의 변압기 2차 출력의 극성을 동일하게 만들어 무효전력발생부분이 없어지는 그림 6과 같은 가변 위상 변위형 스위칭 신호 방식을 제안한다.

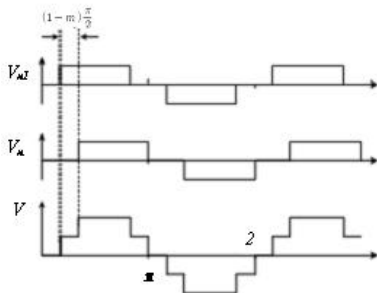


그림 6 제안된 위상변위 가변형 스위칭 방식  
Fig. 6 Proposed variable phase shift switching method

위상변위는 아래와 같이 매우 간단하게 결정 될 수 있다.

$$\phi = (1-m) \frac{\pi}{2} \tag{8}$$

만일 N개의 컨버터를 사용할 경우 각 컨버터의 위상 변위는 다음과 같다.

$$\phi_n = \frac{(n+1)}{N} (1-m) \frac{\pi}{2} \tag{9}$$

단  $n : 1, 2, 3 \dots N-1$

그림 6에서 보는 바와 같이 두 컨버터의 출력신호는 식 (9)와 같은 위상 변위 신호를 발생함으로써 각 컨버터의 출력극성이 부가되는 영역이 존재하지 않게 되어 컨버터의 고주파 변압기에는 무효전력 발생부분이 없어지고 기존의 방식과 같은 승압비를 갖게 된다.

그림 7은 제안된 컨버터의 구조에 기존의 일정 위상 변위형 스위칭 신호를 인가한 경우와 제안된 가변 위상 변위형 스위칭 신호를 인가한 경우에 대하여 듀티비에 따른 출력전압을 나타낸 것이다.

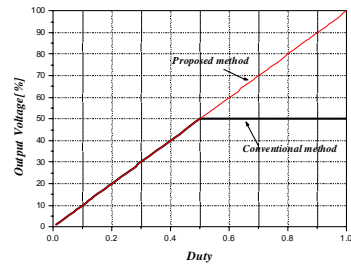


그림 7 스위칭 방식에 따른 출력전압의 크기  
Fig. 7 Output voltage according to switching topology

#### 4. 시뮬레이션 및 실험결과

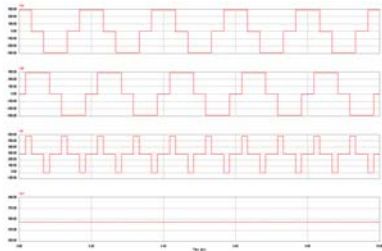
표 2 전력변환기 사양  
Table 2 Specification of the power system

Rated power	3 [kw]
Operating voltage range	48-57.6[V]
Rated current of the converter	63[A]
Converter switches	IRFP90N20D
Winding ratio of the transformer	1:6
Converter diodes	APT100S20B
Inverter switches	SPW47N60C3
Switching frequency	16[kHz]
Inductor of converter	660[uH]
Capacitor of converter	555[uF]
Output voltage	AC220[V]

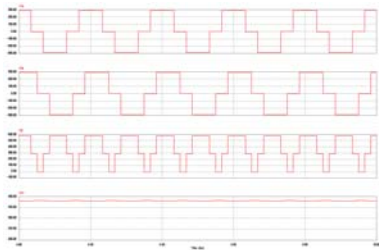
본 연구에서 12[V] 배터리 4개를 사용한 낙도용 전원공급용 전력변환기에 제안된 직렬형 DC/DC컨버터를 적용하여 그 타당성을 검증하였으며, 전력변환기의 사양은 표 2와 같다.

그림 8은 제안된 직렬형 DC/DC 컨버터 구조에서 일

정 위상 변위 스위칭 방식을 적용한 경우와 제안된 가변 위상 변위 방식의 스위칭을 적용한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서 변조지수는 2/3으로 설정하였다. 그림 8의 (a),(b)에서 고주파 변압기 2차측에 발생하는 출력전압의 형상은 동일하지만, 그림 8(a)의 경우에는 두 컨버터의 위상차가 90°, 그림 8(b)의 경우에는 30.6°의 위상 차이를 가지게 된다.



(a) 일정 위상 변위 스위칭 방식의 시뮬레이션 결과  
 (a) The result of simulation constant phase shift switching method



(b) 제안된 가변 위상 변위 스위칭 방식의 시뮬레이션 결과  
 (b) The result of simulation of proposed variable phase shift switching method

그림 8 변조비 2/3일 때 스위칭 방식에 따른 시뮬레이션 결과  
 Fig. 8 Simulation results according to switching method at 2/3 duty ratio

이 위상차의 차이로 인해 일정한 위상 변위신호의 경우에는 출력전압이 약 280[V]가 되고, 가변 위상변위 신호의 경우에는 출력전압이 약 380[V]가 됨을 알 수 있다. 따라서 제안된 가변 위상변위 신호를 사용할 경우 제안된 컨버터의 출력발생 범위를 최대한 발생하면서, 기존 컨버터에 비하여 다이오드 및 필터회로 수를 줄일 수 있다. 그림 9는 실험에 적용한 제안된 직렬형 DC/DC 컨버터의 시제품의 구조를 나타내고 있다.

CPU로는 Texas Instruments사의 DSP로 150[MHz]의 높은 연산 속도를 가진 TMS320F2812를 사용하였다.

두 개의 EVM Module과 16채널의 12bit ADC와 QEP 모듈이 자체적으로 내장되어 있으므로 ASIC와 같은 부가적인 소자를 사용하지 않아도 된다.



그림 9 실험에 적용된 제안된 방식의 3[kW]급 직렬형 DC/DC 컨버터  
 Fig. 9 Proposed 3[kW] series DC/DC converter for experiments

그림 10은 다중레벨 DC/DC 컨버터의 변압기 2차측 출력전압으로 기저레벨과 함께 양호하게 나타났다. 그림 10(a)와 같이 레벨의 변동 경계선에서는 출력전압의 체트링이 발생하나, 그림 10(b), (c)에서는 이러한 현상이 없어짐을 알 수 있다.



(a) 2/3 시비율  
 (a) 2/3 Duty rate



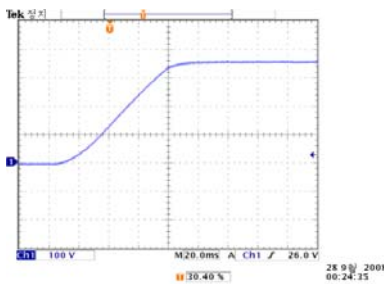
(b) 3/4 시비율  
 (b) 3/4 Duty rate



(c) 최대 시비율  
(c) Max rate



(b) 1,000[W] 출력시  
(b) In the case of 1,000[W] output



(d) 컨버터의 기동 특성  
(d) Starting characteristic of converter



(c) 2,500[W] 출력시  
(c) In the case of 2,500[W] output

그림 10 제안된 연료전지용 DC/DC 컨버터 특성파형  
Fig. 10 Output characteristics of the proposed DC/DC converter for fuel cell system

그림 11 연료전지용 인버터 특성파형  
Fig. 11 Output characteristics of inverter for fuel cell system

그림 11은 연료전지용 DC/DC 컨버터 및 인버터 특성을 분석하기 위한 출력전압, 전류, 순시전력 파형을 나타내고 있다. 그림 11(a), (b), (c)는 400[W], 1,000[W], 2,500[W] 출력인 경우이며, 출력전압, 전류 및 순시전력이 양호하게 나타남 알 수 있다.

그림 11(d)는 컨버터의 기동특성을 조사하기 위한 파형으로 그림에서 보는바와 같이 그 시정수는 약 50[ms]정도로 나타났다



(a) 400[W] 출력시  
(a) In the case of 400[W] output

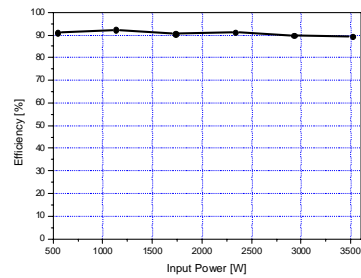


그림 12 제안된 연료전지용 전력변환기의 총 효율 특성  
Fig. 12 Efficiency of the proposed power system for fuel cell

그림 12는 출력에 따른 연료전지용 DC/DC 컨버터 및 인버터 시스템의 총 효율 곡선을 나타내고 있다. 총 효율은 약 90 [%]로 양호하게 나타났다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 3kW급 연료전지용 DC/DC 컨버터용으로 새로운 다중레벨 컨버터를 제안하였다. 연료전지용 DC/DC 컨버터는 절연형 풀브릿지 컨버터에서 고주파 변압기의 2차측을 직렬로 연결할 경우, 구조적으로는 후단의 다이오드 부와 필터 부를 하나로 사용이 가능하나, 그 동작에 있어 기존의 스위칭 방식으로는 멀티 DC/DC컨버터의 기능 중 가장 중요한 부분인 높은 승압비를 이룰 수 없는 단점을 극복하기 위해 제안된 멀티 DC/DC 컨버터에 적합한 스위칭 방식을 제안하였다. 제안된 전력변환기의 구조에 적합한 상 스위칭 신호방식은 변조지수에 따른 가변 위상변위 신호를 제안함으로써 기존의 멀티 DC/DC컨버터의 높은 승압비를 해결하였다. 제안된 절연형 풀브릿지 컨버터의 고주파 변압기 2차측을 직렬로 연결한 새로운 전력변환 방식으로 출력전압의 리플을 저감할 수 있다. 또한 제안된 컨버터는 기존 방식에 비해 정류부와 필터부의 일원화가 가능한 구조로 수동소자의 수를 대폭 줄일 수 있다.

본 논문에서 제안된 DC/DC 컨버터는 실험 결과 90% 이상의 효율특성을 나타내었다.

**감사의 글**

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임

### 참 고 문 헌

[1] P. W. Lee, Y. S. Lee, D. K. W. Chaeng and X. C. Liu, "Steady-State Analysis of an Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors", *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, Vol. 47, No. 4, pp. 787-795, 2000.

[2] M.S. Elmore, "Input current ripple cancellation in synchronized, parallel connected critically continuous boost converters", in *Proc. of IEEE APEC*, pp. 152-158, 1996.

[3] R. Lenk, *Practical Design of Power Supplies*, McGRAW-HILL & IEEE Press, pp. 6-29, 1988.

[4] B. K. Bose, *Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications*, IEEE Press, 1977.

[5] 김윤호, 문현욱, 김수홍, 광영찬, 원충연, "멀티레벨 컨버터를 기반으로하는 고효율 연료전지시스템의 전압강하대책", *전력전자학회 학술대회논문집*, pp. 696-700, 2003. 7.

[6] 조진상, 정상민, 이진희, 최세완, 한수빈 "연료전지자동차에서 연료이용율과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC컨버터의 제어기법", *전력전자학회논문지*, 제10권 제5호, pp. 428-435, 2005. 10.

### 저 자 소 개



**박노식(朴魯植)**

1959년 9월 7일생. 2006년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~현재 세종테크 대표.



**권순재(權純在)**

1951년 11월 4일생. 1982년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1982년~현재 부경대 기계공학부 (메카트로닉스자동화정보전공) 교수.



**박성준(朴晟濬)**

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 거제대학 전기과 조교수. 2000년~2003년 동명대학 전기과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대 전기공학과 부교수. 현재 당 학회 편집위원.