

## 1.2[kW]급 연료전지용 전력변환장치의 개발

(Development of 1.2[kW]Class Fuel Cell Power Conversion System)

서기영\* · 김철용 · 조만철 · 김정도 · 윤영변 · 김홍신 · 박도형 · 하성현

(Ki-Young Suh · Chil-Ryong Kim · Man-Chul Cho · Jung-Do Kim · Young-Byun Yoon ·  
Hong-Sin Kim · Do-Hyung Park · Sung-Hyun Ha)

### 요 약

연료전지 발전시스템에서는 DC-DC 승압용 컨버터와 DC-AC 인버터가 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 연료전지의 전압을 380[VDC]로 승압하기 위한 절연형 DC-DC 컨버터와 단상 220[VAC]로 변환하기 위한 LC필터를 가진 PWM 인버터로 구성된 전력변환장치를 제안하였다. 특히 제안한 연료전지 시스템용 고효율 DC-DC 컨버터는 위상천이 PWM 제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하였으며, 일정 스위칭 주파수화 및 스위치의 스위칭 손실, 피크 전압과 전류를 저감시켰다. 그리고, 정류회로에 2개의 인덕터를 첨가하여 리플성분이 저감된 직류 전압과 전류를 부하측에 안정하게 공급할 수 있었다. 또한, 넓은 출력 전압 조정에도 효율을 92[%]정도 얻을 수 있다. 이상과 같이 결과는 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 확인하였다.

### Abstract

Recently, a fuel cell with low voltage and high current output characteristics is remarkable for new generation system. It needs both a DC-DC step-up converter and DC-AC inverter to be used in fuel cell generation system. Therefore, this paper, consists of an isolated DC-DC converter to boost the fuel cell voltage 380[VDC] and a PWM inverter with LC filter to convert the DC voltage to single-phase 220[VAC]. Expressly, The fuel cell system which it proposes DC-DC the efficient converter used PWM the phase transient control law and it depended to portion resonance ZVS switching, loss peak voltage and electric current of realization under make schedule, switching frequency anger and the switch reduction. And, mind benevolence it sprouted 2 in stop circuit and it added and a direct current voltage and the electric current where the ingredient is reduced in load side ripple stable under make whom it will be able to supply. Besides the efficiency of 92[%]is obtained over the wide output voltage regulation ranges and load variations. Also, under make over together the result leads simulation and test, the propriety confirmation.

Key Words : Fuel cell generation system, Loss peak voltage and electric current

\* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 교수  
Tel : 055-249-2630, Fax : 055-249-2839  
E-mail : skiyoung@kyungnam.ac.kr  
접수일자 : 2007년 5월 8일  
1차심사 : 2007년 5월 17일  
심사완료 : 2007년 6월 1일

### 1. 서 론

다양한 에너지 자원의 효율적 활용 및 고품질의

## 1.2[kW]급 연료전지용 전력변환장치의 개발

전력을 공급하기 위한 방법으로 태양광 발전, 연료전지 발전, 열병합 발전, 풍력 발전 등의 연구가 활발히 전개되고 있다. 연료전지는 다양한 연료를 사용할 수 있고, 저공해 특성을 가지고 있다. 그리고 부하가 밀집된 대도시 혹은 변전소에 분산 설치가 용이하여 송전 손실을 줄일 수 있고, 또 운전 중에 발생하는 열을 이용하여 열병합 발전이 가능하여 가장 효율적인 차세대 에너지 전원으로 주목 받고 있다 [1-9]. 연료전지용 전력변환 장치의 토폴로지는 연료전지의 출력전압, 용량 및 응용분야에 따라 다양한 형태에 따라 그림 1과 그림 2로 나눌 수 있다. 먼저, 연료전지 발전을 위한 전력변환시 낮은 연료전지전압을 승압하기 위한 방식으로는 그림 1과 같이 두 가지방식이 있다. 그림 1 (a)는 연료전지의 낮은 전압을 우선 DC-AC 인버터로 낮은 교류전압으로 변환한 후에 저주파(60[Hz]) 변압기를 이용하여 승압과 절연을 하는 전력변환방식으로 비교적 높은 효율을 얻을 수 있는 반면에 저주파 변압기를 사용하기 때문에 무게(10[kg/kW])와 부피가 커지며, 직류전압이 조정되지 않기 때문에 출력전압의 품질이 저하되는 단점이 있다. 그림 1 (b)는 연료전지의 낮은 전압을 고주파 변압기를 사용한 DC-DC 컨버터로 높은 직류링크 전압(400[V])으로 승압 및 조정 후에 이를 DC-AC 인버터로 부하에 요구되는 교류전압으로 만들어 준다. 이때 DC-DC 컨버터에서 사용하는 고주파 변압기는 부피 및 무게가 작아 전체 변환기의 소형화가 가능하며, 직류링크 전압이 조정되므로 출력전압의 품질이 좋다. 그러나 두 단의 전력변환을 거치므로 높은 효율을 얻기 힘들다. 예컨대 DC-DC 컨버터의 효율이 92[%]이고 DC-AC 인버터의 효율이 96[%]이라도 전체 전력변환장치의 효율은 88.3[%]밖에 되지 않는다. 특히 연료전지의 전압이 낮은 경우에는 DC-DC 컨버터에서 높은 효율을 얻기는 더욱 어려우므로 컨버터의 효율을 높이는 연구가 최근 활발히 진행 중이다[9-15].

본 논문에서는 실제 연료전지의 V-I 출력특성을 갖는 연료전지를 시뮬레이터화 하여 실제 연료전지와 특성을 비교하였으며, 380[VDC]로 승압하기 위해 배전류 정류방식을 이용한 새로운 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터를 제안하고자 한다. 제안한 연

료전지 시스템용 DC-DC 컨버터는 기존의 절연형 풀-브리지 컨버터에 인덕터 2개를 첨가하여 변압기 2차측의 전류가 부하측에 발생하는 전류의 반으로 줄려 출력전류의 리플을 줄일 수 있는 특성을 가지며, 위상 천이 PWM 제어법으로 일정한 주파수 제어를 함으로서 영전압 스위칭을 달성하여 스위칭 손실을 감소시키고자 한다. 그리고 승압되어진 전압을 상용부하에 공급하기 위한 1.2[kW]급 단상 풀-브리지 DC-AC 인버터를 설계, 제작하여 연료전지용 전력변환장치로서 타당함을 실험과 시뮬레이션을 통하여 증명하고자 한다.

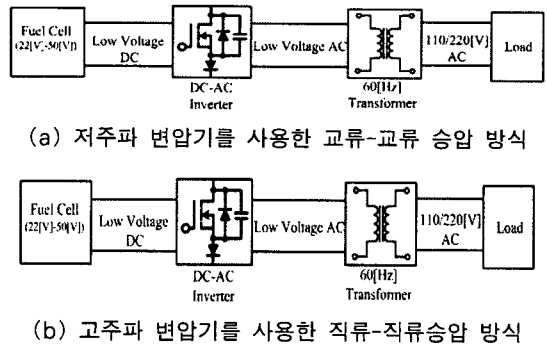


그림 1. 승압 방식  
Fig. 1. Boost method

## 2. 일반적인 연료전지 발전시스템

### 2.1 연료전지 발전시스템의 구성

그림 2는 일반적으로 연료전지 발전시스템에 적용되어지는 전력변환장치들의 장·단점을 나타낸 것이다.

그림 2에서 비절연방식의 컨버터는 높은 승압비를 얻기 어려우므로 고주파 변압기를 사용하는 절연 방식을 주로 사용하였으며, 코어 이용률이 낮은 토폴로지에 대해서는 고려하지 않았다. 그리고 절연형 풀-브리지 컨버터는 스위치의 턴-오프시 스위치에 흐르던 전류가 변압기의 누설 인덕터에 의하여 갑자기 전류의 방향을 바꿀 수 없기 때문에 누설 인덕터에 의해 급격한 전압 변화가 생긴다. 이러한 갑작스러운 전압의 증가는 소자의 파손을 가져올 수 있으

며, 고주파 동작에서의 스위칭 손실을 발생시켜 심각한 노이즈 발생의 근원으로 작용한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 저항과 커패시터로 구성된 RCD 스너버 회로가 사용되어지고 있지만 저항에서의 손실로 대전력 응용에는 적합하지 못한 단점이 있다[13-15].

	Primary	Secondary	Efficiency	Character
	Push-Pull Type	Half-Bridge Type	Discharge : 90[%] Charge : 87[%]	Low Power - A Few Devices
	Full-Bridge Type	Full-Bridge Type	Discharge : 94[%] Charge : 95[%]	- Charge : ZVZCS Synchronous Rectifier - Discharge : Active Clamp - High Medium Power
	Push-Pull Type	Forward Type	Discharge : 80[%]	Medium Power

그림 2. 일반적인 연료전지 발전시스템용 전력변환장치  
Fig. 2. Conventional fuel-cell generation system power conversion system

그러므로 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 배전류 정류 방식을 이용한 새로운 연료전지 시스템용 고주파 절연형 ZVZCS PWM DC-DC 컨버터를 제안하였으며, 인버터 및 연료전지 발전시스템을 안정적이고, 효율적으로 제어하여 새로운 연료전지용 전력변환장치의 특성을 서술하였다.

### 3. 제안한 연료전지용 전력변환장치

#### 3.1 연료전지의 시뮬레이터

그림 3은 제안한 연료전지 발전시스템의 전체 구성도를 나타낸 것이다. 제안한 연료전지 발전용 전력변환시스템은 Ballard사의 1.2[kW]급 연료전지와 연료전지의 저전압(39~60[VDC])을 승압(380[VDC])시키기 위한 DC-DC 컨버터, 그리고 승압된 DC link 전압을 교류 전압(220[VAC], 60[Hz])으로 변환하기 위한 단상 풀-브리지 인버터로 구성되어 가

정용 기기에 적용이 가능하게 된다. 그림 4는 연료전지 단위셀의 V-I 특성 곡선을 나타낸 것이다. 실제 연료전지 발전시스템에서의 동작영역은 Ohmic 모드로써 본 연구에서 Activation 모드와 Ohmic 모드로 동작하도록 연료전지 시뮬레이터를 제어하였다. 검출된 전류가 연료전지의 출력특성 중 Activation 영역에서 Ohmic 영역으로 변환되는 지점의 기준전류 이하일 경우에는 Activation 모드로 동작하여 일정전압이 출력되도록 제어되며, 설정된 기준전류 이상의 경우에는 Ohmic 모드로 동작하도록 제어하게 된다. 그림 5는 연료전지용 시뮬레이터의 구성도를 나타낸 것이다. 마이크로프로세서(TMS320C31DSP)에 의한 제어 블록도에서 출력전압 및 전류를 검출하여 A/D 컨버터를 통해 DSP로 입력되면 연료전지의 V-I 특성 곡선에 해당하는 기준값을 생성하여 D/A 컨버터로 출력한다. D/A 컨버터를 통해 출력되는 아날로그 신호는 스위치를 제어하기 위해 PWM 제너레이터 회로의 입력으로 사용된다. PWM 제너레이터 회로의 출력신호는 강압용 컨버터의 게이트 신호로 인가되도록 제어하였다. D/A 컨버터로 출력되는 제어신호와 톱니파의 비교에 의해 만들어진 PWM 신호는 플로팅 게이트 드라이브를 통하여 시뮬레이터의 게이트 신호로 인가된다.

그림 6은 DSP 내부 제어 알고리즘의 흐름도를 나타내었다. 전체 제어루프에서 우선적으로 소자 및 시스템을 보호하기 위하여 출력전압 및 출력전류를 검출함과 동시에 과전압, 과전류, 저전압에 대한 소프트웨어 보호기능을 삽입하여 보다 안정적인 동작을 하도록 구현하였다.

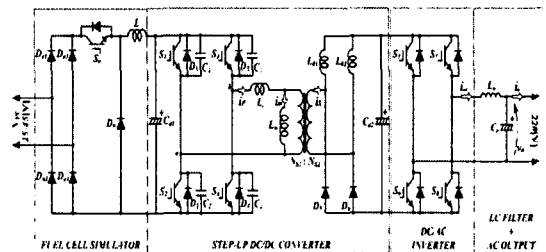


그림 3. 제안한 연료전지 발전시스템의 구성도  
Fig. 3. Composition of proposed fuel-cell generation system

## 1.2[kW]급 연료전지용 전력변환장치의 개발

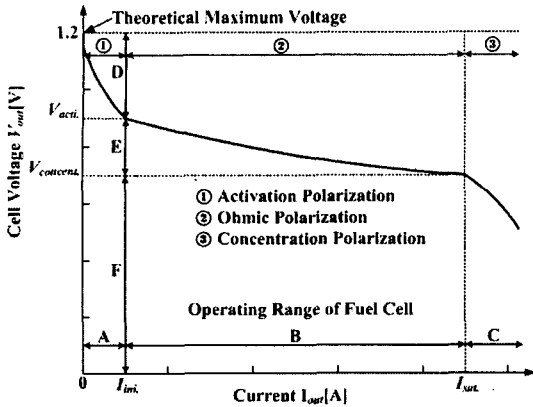


그림 4. 단위 셀의 V-I 특성 곡선  
Fig. 4. Characteristic of a single cell

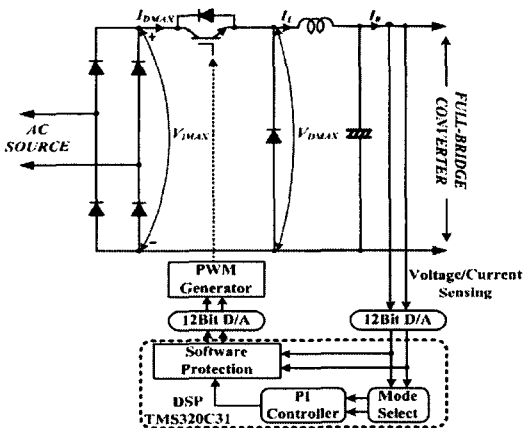


그림 5. 연료전지 시뮬레이터의 구성도  
Fig. 5. Composition of fuel-cell simulator

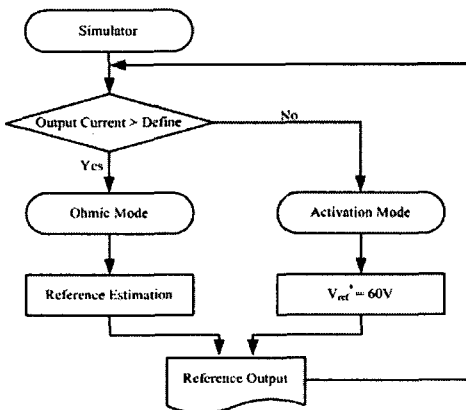


그림 6. 제어 알고리즘 흐름도  
Fig. 6. Control algorithm flowchart

## 3.2 제안한 고주파 절연형 ZVZCS PS-PWM DC-DC 컨버터의 설계

인버터에 직류 380[VDC]의 전압을 공급하기 위해서는 연료전지의 저전압 29[VDC]를 최고 10배까지 승압할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 7과 같이 고주파 절연형 ZVZCS PS-PWM DC-DC 컨버터를 제안하여 나타내었다. 제안한 고주파 절연형 ZVZCS PS-PWM DC-DC 컨버터는 전력용 반도체 스위치 각각에 ZVS용 무손실 커패시터를 병렬 접속한 풀-브리지형으로 구성하였으며, 모든 스위치는 지연시간을 포함한 반주기동안 교차적으로 (S2-S3, S1-S4) 턴-온 한다. 그리고 제어 신호는 스위치 S1을 턴-온한 후 임의의 위상차 이후에 S4를 턴-온하는 방식으로 출력전력을 얻는 위상전이 PWM 제어법을 사용하였다. 이 제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하였으며, 일정 스위칭 주파수화 및 스위치의 스위칭 손실, 피크 전압과 전류를 저감시켰다. 그리고 변압기는 누설 인덕턴스  $L_l$ , 여자 인덕턴스  $L_m$  및 권수비  $n=(N_S/N_P)$ 를 고려한 고주파 변압기로 역 L자형 등가 회로로 구성하였다. 고주파 변압기에 의해 전달된 전압과 전류는 출력 인덕터를 2개 사용한 배전류 정류방식을 통해 평활된 직류 전압과 전류를 부하측에 공급하는 시스템으로 구성하였다.

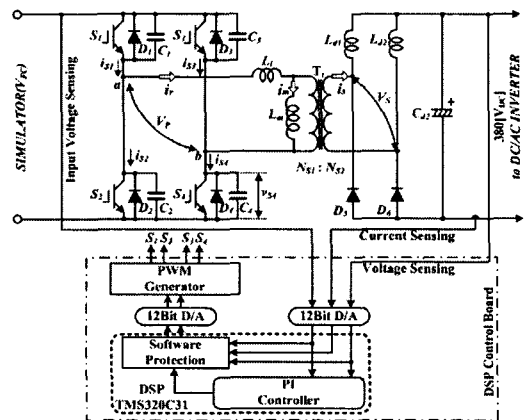


그림 7. 제안한 고주파 절연형 ZVZCS PS-PWM DC-DC 컨버터  
Fig. 7. Proposed High-Frequency Isolated Type ZVZCS PS-PWM DC-DC Converter

본 연구에서는 스위치의 실제적인 요소인 서지 전압과 전류를 고려하여 설계한 값 보다 높은 정격의 소자를 선정 하였으므로 Fairchild semiconductor사의 MOSFET FQP65N06(65[A], 60[V], Ron=16[m])을 사용하였다. 그림 8은 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터의 각부 전압과 전류 동작 파형을 나타낸 것으로 게이트 신호를 포함한 한 주기의 동작 파형을 나타내었다.

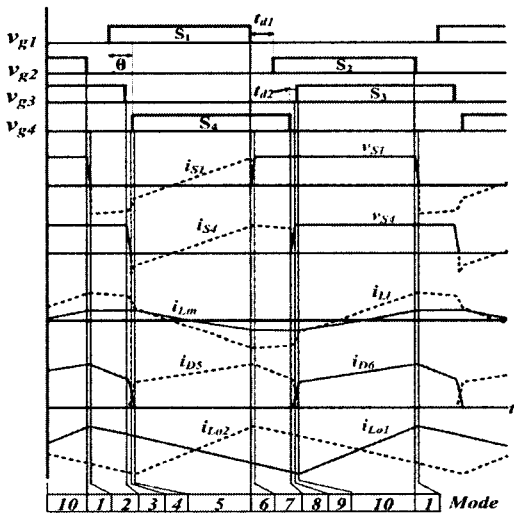
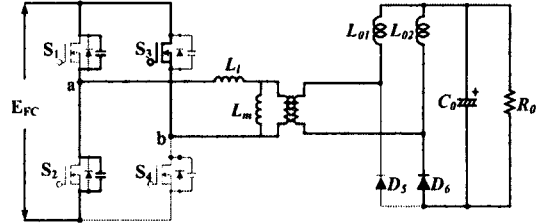
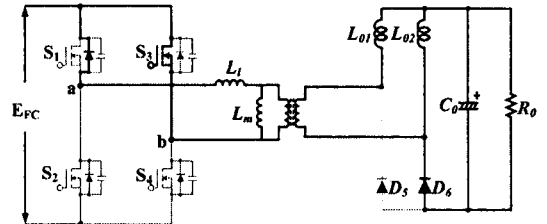


그림 8. DC-DC 컨버터의 각부 전압과 전류 동작 파형  
Fig. 8. The each voltage and current operation waveforms of the DC-DC converter

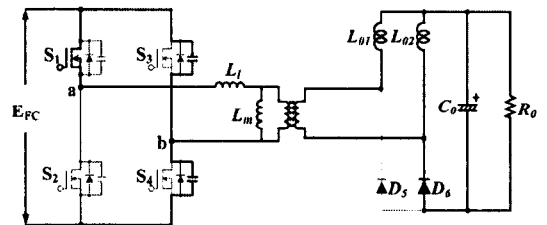
그림 9는 제안한 연료전지 시스템용 DC-DC 컨버터의 모드 등가 회로를 나타낸 것이며, 동작원리를 설명하기 위해 먼저 스위치 S2와 스위치 S3가 모두 온 상태로서 부하에 전력을 공급하는 모드 10 이후에서부터 다시 동작이 시작되는 것으로 가정한다. 그리고 컨버터의 제어기는 TMS320C31을 이용하여 출력전압을 검출하여 제어하고자 하는 기준전압과 비교하고, PI제어기를 거쳐 컨버터를 구성하고 있는 스위치의 게이트 신호를 만들게 된다. 또한 시스템 보호를 위하여 입력전압, 출력전압 및 전류에 대한 과전압, 과전류, 저전압 보호기능을 가진다.



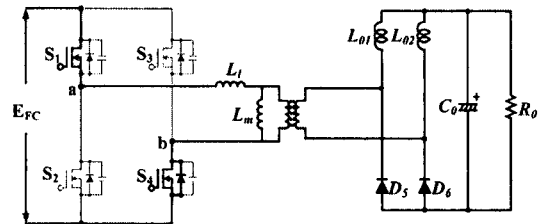
(a) 모드 1



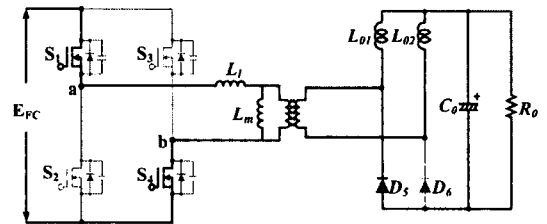
(b) 모드 2



(c) 모드 3



(d) 모드 4



(e) 모드 5

그림 9. DC-DC 컨버터의 1/2주기 동안 동작 모드  
Fig. 9. Equivalent circuit during a half period of the DC-DC converter

1.2[kW]급 연료전지용 전력변환장치의 개발

3.3 TMS320C31 DSP에 의한 풀-브리지 인버터

풀-브리지 인버터는 풀-브리지 컨버터에 의해 승압된 직류전압을 단상 교류 전압(220[VAC], 60[Hz])으로 변환시키는 장치이며, 그림 10과 같다. 풀-브리지 인버터의 입력전압은 연료전지 출력전압 변동과는 무관하게 일정전압을 유지한다.

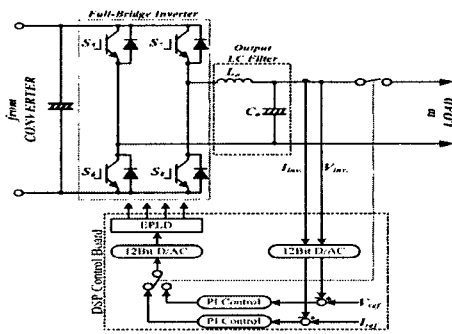


그림 10. 단상 풀-브리지 인버터 시스템  
Fig. 10. The single-phase full-bridge inverter

4. 실험 결과 및 고찰

연료전지 발전시스템을 구현하는데 사용한 툴은 전력전자분야 전용으로 개발된 PSIM6.0으로 회로를 구성하여 Matlab의 subcircuit으로 연동하여 사용하였으며, 실험에 사용된 Ballard사의 1.2[kW]급 연료전지 스택의 사양은 다음과 같다.

1. 정격출력과 전류 : 1.2[kW], 46[A]
2. DC전압범위 : 29~46[Vdc]
3. 동작수명 : 1500시간
4. 순도 : 99.99[%] 건조 수소가스
5. 공급압력 : 10~250[PSIG]
6. 외부온도 : 3~30[°C]
7. 상대습도 : 0~95[%]

그리고 공기는 대기에서 공급받고 용량47[l], 순도 99.99 [%]의 탱크에서 청정하고 건조한 수소를 공급받았다. 그림 11과 그림 12는 실험으로 측정된 연료전지 V-I 특성곡선과 정격전력에서 무부하시 순수 출력전력의 특성곡선을 나타낸 것이다.

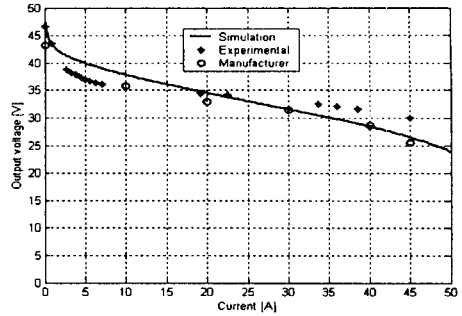


그림 11. 연료전지의 V-I 특성 곡선  
Fig. 11. V-I Characteristic of fuel cell

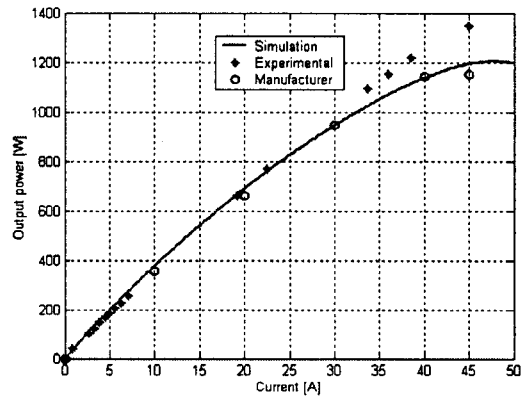
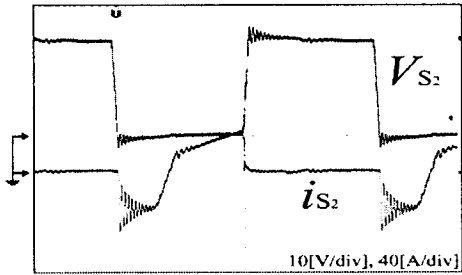


그림 12. 정격전력에서 무부하시 순수 출력전력  
Fig. 12. Net output power from no load to rated power

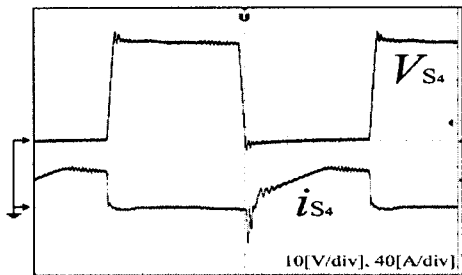
그림 11과 그림 12에서 개방과 무부하 상태에서 가장 높은 출력 전압이 도달하며, 전압이 떨어지면 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 분극 곡선 특성은 전류의 함수에 의한 전압이므로 요구하는 전기적인 전력을 획득하기 위해 각각의 연료전지를 연료전지 스택의 형태로 결합하였다.

그림 13~15는 듀티비가 0.36, 1.2[kW]의 정격출력인 경우의 각부 파형을 나타낸 것으로서 시뮬레이션 파형과 거의 일치하고 있다.

그림 13은 스위치의 전압과 전류 파형을 나타낸 것으로서 각각의 스위치는 ZVS로 동작하고 있음을 알 수 있으며, 그림 14는 변압기의 전압과전류 파형을 나타내는 것으로서 30[V]의 입력전압이 약 400[V]로 승압되고 있는 것을 알 수 있다. 그림 15는 정류부의 전압과 전류 파형을 나타낸 것으로서 다이

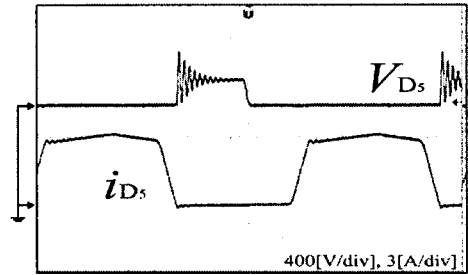


(a) 스위치S2의 전압과 전류파형

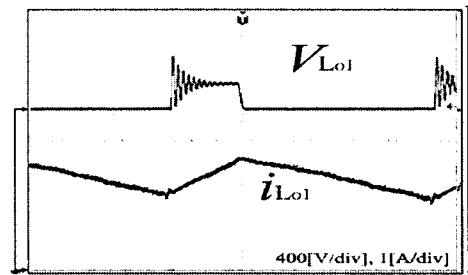


(b) 스위치S4의 전압과 전류파형

그림 13. 스위치의 전압과 전류파형  
Fig. 13. Voltage and Current waveforms of switch

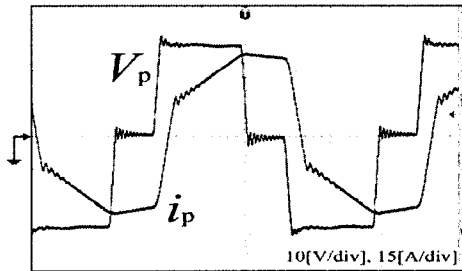


(a)다이오드D5의 전압과 전류 파형

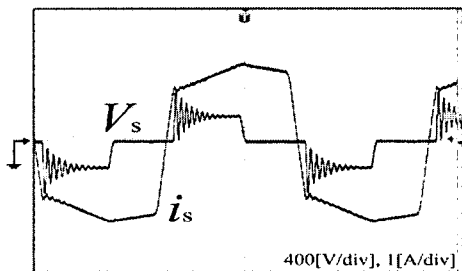


(b)인덕터L01의 전압과 전류의 파형

그림 15. 정류부 전류와 전압파형  
Fig. 15. Voltage and Current waveforms of rectifier

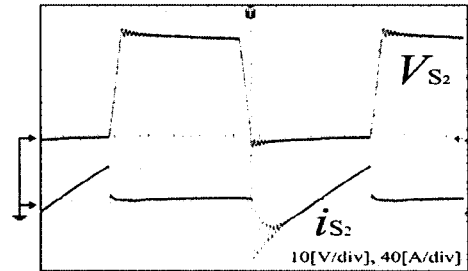


(a) 변압기 1차측의 전압과 전류파형

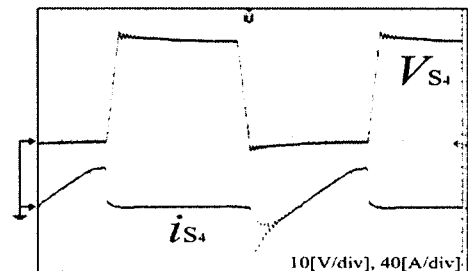


(b) 변압기 2차측의 전압과 전류파형

그림 14. 변압기의 전압과 전류파형  
Fig. 14. Voltage and Current waveforms of transformer



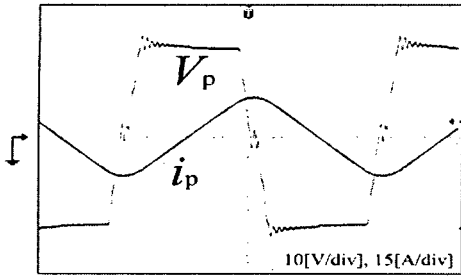
(a) 스위치S2의 전압과 전류파형



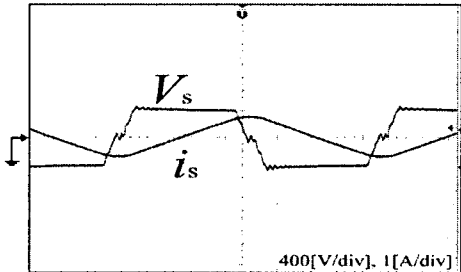
(b) 스위치S4의 전압과 전류파형

그림 16. 스위치의 전압과 전류파형(듀티율 최대인 경우)  
Fig. 16. Voltage and Current waveforms of switch(The state of duty ratio maximum)

## 1.2[kW]급 연료전지용 전력변환장치의 개발



(a) 변압기 1차측의 전압과 전류파형



(b) 변압기 2차측의 전압과 전류파형

그림 17. 변압기의 전압과 전류파형(듀티율 최대인 경우)  
Fig. 17. Voltage and Current waveforms of transformer (The state of duty ratio maximum)

오드 D5는 양의 반주기 동안 도통되고 있으며, 인덕터에 걸리는 전압과 전류의 파형을 통해 전류 리플이 줄어들음을 알 수 있다.

그림 16과 그림 17은 듀티비가 최대인 경우(DMAX = 0.4)의 각부 파형을 나타낸 것이다. 그림 16과 그림 17에서 스위치는 최대 듀티비 0.4인 경우에 ZVS로 동작하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 18은 출력전류에 따른 효율 특성을 나타낸 것이다. 그림 18에서 알 수 있듯이 최대 효율은 92[%]이다. 그림 19는 1.2[kW]저항 부하에서의 풀-브리지 인버터 출력전압과 전류 및 연료전지의 전압과 전류의 파형을 나타내고 있으며, 거의 역률 1에 가까운 것을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 연료전지의 발전특성과 동일한 출력특성을 가지는 연료전지 시뮬레이터, 연료전지의 낮은 출력전압을 승압하는 절연형 DC-DC 컨버터,

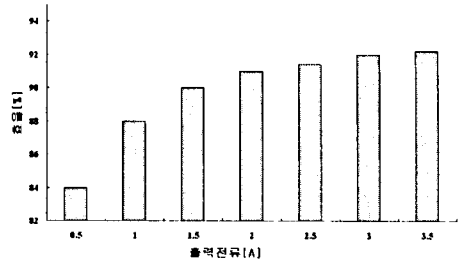


그림 18. 출력전류에 따른 효율 특성  
Fig. 18. Efficiency characteristics for output current

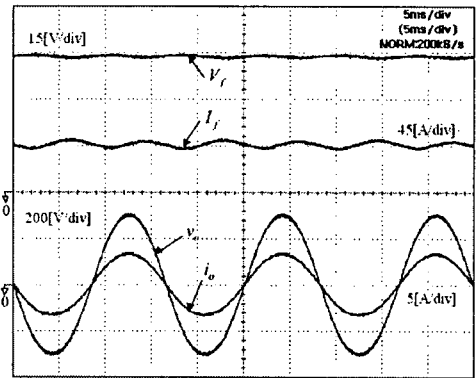


그림 19. 연료전지의 전압과 전류 및 인버터의 출력전압과 전류의 파형  
Fig. 19. Experimental of output voltage and current responses of fuel cell and inverter

가정용으로 적합한 교류전원으로 변환하는 인버터를 설계하고 제작하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) TMS320C31 DSP와 승압형 컨버터를 사용하여 1[kW]급, 직류 29~46[VDC]의 출력을 갖는 연료전지 시뮬레이터를 구현하였으며, 연료전지와 동일한 출력 특성을 얻을 수 있었다.
- (2) 제한한 승압시스템은 기존의 컨버터보다 부품수가 적고 제어가 쉬우며, 대용량에 적합한 새로운 고주파 절연형 ZVZCS PWM DC-DC 컨버터를 설계하고 제작하였다.
- (3) 새로운 고주파 절연형 ZVZCS PWM DC-DC 컨버터의 배정류 방식과 위상천이 PWM제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하였으며, 일정 스위칭 주파수화 및 스위치의



스위칭 손실, 피크 전압과 전류를 저감시켰다. 그리고 스위치 및 변압기의 턴-온, 턴-오프시에 오버슈트를 방지하였다.

- (4) 단상 풀-브리지 인버터를 설계, 제작하여 TMS320 C31 보드와 EPLD를 이용한 SPWM 스위칭 기법에 의하여 가정용 교류전압을 구현하였다.

본 연구에서 제안한 TMS320C31DSP칩에 의해 제어되는 연료전지용 전력변환장치의 결과를 바탕으로 향후 가정내 도시 가스를 입력으로 사용하는 가정용 연료전지 전력변환장치설계에 응용할 수 있을 것으로 판단되어진다.

이 연구결과물은 2007학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의하여 이루어졌음.

## References

- [1] 최세완, "연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지, 제 8권, 제4호, pp. 30~35, 2003.
- [2] A. B. Stambouli and E. Traversa, "Fuel cells, an alternative to stansources of energy," Renewable Sustainable Energy Rev., vol. 6, pp. 297 306, 2002.
- [3] Patterson and D. M. Divan, "Pseudo-resonant full bridge DC/DC converter", IEEE PESC Record, Vol. 2, pp. 424~430, 1987.
- [4] J.A. Sabate, B.H. Cho, "Design considerations for high voltage high-power full-bridge zero-voltage switched PWM converter", Proc. IEEE APEC conf., pp. 275~284, 1990.
- [5] E.S.Kim, B.D.Yoon, "An improved soft-switching PWM FB DC/DC converter for reducing conduction losses", IEEE Trans., Vol. 14, No.2, pp. 258~263, 1999.
- [6] J.G. Cho, J.W. Back, C.Y. Jeong, D.W. Yoo, and K.Y. Joe, "Novel zero-voltage and zero-current-switching full bridge PWM converter using transformer auxiliary winding", IEEE Trans., Vol. 15, No. 2, pp. 250~257, 2000.
- [7] S.J. Jeon, G. H. Cho, "A zero-voltage and zero-current switching full bridge DC-DC converter with transformer isolation", IEEE Trans., Vol. 16, No. 5, pp. 573~580, 2001.
- [8] 권형남, 정홍주 외3인, "연료전지용 전력변환장치의 DC-DC 컨버터개발", 전력전자학회 추계학술대회, pp.94~96, 2002.
- [9] M. C. Simoes, P. K. Sen, "Resonant AC link System Converter for Fuel Cell Grid Interface", IEEE IECON Conf. Rec., pp. 1953~1958, 2001.
- [10] Andrew Dicks, "Fuel Cell Handbook, sixth Edition" EG &

G Technical Services Inc., May 2002.

- [11] J. E. Laminie and A. Dicks, "Fuel Cell Systems Explained. Chichester", U.K.: Wiley, 2000, p. 308.
- [12] Nergaard, Jih-Sheng Lai, "Design considerations for a 48[V]fuel cell to split single phase inverter system with ultracapacitor energy storage", in Conf. Rec. of IEEE PESC, pp.2007~2012, 2002.
- [13] S.J.Jang, T.W.Lee, W.C.Lee, C.Y.Won, "Bi-directional DC-DC Converter for Fuel Cell Generation System", Conf. Rec. of IEEE PESC, pp.4722~4728, 2004.
- [14] 장수진, 김진태, 원충연, "능동 클램프 전류형 하프 브리지 컨버터를 적용한 연료전지 발전시스템", 전력전자학회논문지, 제10권 1호, pp.78~86, 2005.
- [15] 조진상, 정삼민, 최세완, "연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법", 전력전자학회논문지, 제10권 1호, pp.428~435, 2005.

## ◇ 저자소개 ◇

### 서기영 (徐基永)

1942년 4월 18일생. 1965년 한양대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경남대 전기공학과 교수.

### 김철용 (金七龍)

1960년 5월 15일생. 2003년 경남대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현 2007년 동 대학원 전기공학과 박사과정.

### 조만철 (趙萬哲)

1979년 12월 16일생. 2006년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.

### 김정도 (金正道)

1963년 9월 11일생. 2007년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.

### 윤영변 (尹永便)

1969년 8월 6일생. 2007년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.

### 김홍신 (金烘伸)

1971년 2월 21일생. 2007년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.

### 박도형 (朴度炯)

1976년 10월 21일생. 창원대 경제학과 졸업. 현재 2007년 경남대 대학원 전기공학과 석사과정.

### 하성현 (河成弦)

1978년 12월 27일생. 2003년 경남대 전기공학과 졸업. 현재 2007년 동 대학원 전기공학과 석사과정.