

# 디지털제어 DC-DC컨버터로 구성된 계통연계 연료전지발전 시뮬레이션모델 개발

논 문
58-9-12

## Development of Simulation Model for Grid-tied Fuel-Cell Power Generation with Digital Controlled DC-DC Converter

주영아\* · 차민영\* · 한병문† · 강태섭\*\* · 차한주\*\*\*  
(Young-Ah Ju · Min-Young Cha · Byung-Moon Han · Tae-Sub Kang · Han-Ju Cha)

**Abstract** - This paper proposes a new power conditioning system for the fuel cell power generation, which consists of a ZVS DC-DC converter and 3-phase inverter. The ZVS DC-DC converter with a digital controller boosts the fuel cell voltage of 26-50V up to 400V, and the grid-tie inverter controls the active power delivered to the grid. The operation of proposed power conditioning system was verified through simulations with PSCAD/EMTDC software. The feasibility of hardware implementation was verified through experimental works with a laboratory prototype, which was built with 1.2kW PEM fuel-cell stack, 1kW DC-DC converter, and 3kW PWM inverter. The proposed system can be utilized to commercialize an interconnection system for the fuel-cell power generation.

**Key Words** : Fuel Cell Power Generation, PEM(Proton Exchange Membrane) Fuel Cell, ZVS(Zero Voltage Switching) DC-DC Converter with Digital Control

### 1. 서 론

연료전지는 높은 에너지 효율, 친환경적, 저소음, 시스템 구축이 용이해 설치장소의 제약이 적고 상시발전이 가능한 장래성 있는 신·재생 에너지원이다. 연료전지의 종류 중 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 고체고분자막을 이용하여 수소와 산소 연료의 전기화학적 반응을 통해 전기에너지를 생성하고 부산물로 열에너지와 물을 생산하는 발전 형태로 시스템의 단순성과 높은 전력밀도를 갖는다.[1] 그러나 분극현상에 따른 손실로 비선형적인 특성을 가지며 수십 볼트의 저전압 출력 특성으로 인해 220V, 60Hz의 전력계통에 연계하여 발전하기 위해서는 반드시 고효율 전력변환기가 요구된다.

본 연구에서는 연료전지발전의 낮은 직류 출력전압을 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터를 사용하여 400V로 승압시키고 이를 DC-AC 인버터로 보내어 60Hz 교류로 변환하는 전력변환기를 제안하였다. 제안하는 전력변환기의 동작을 분석하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 연료전지의 시뮬레이션 모델과 제안하는 전력변환기의 시뮬레이션모델을 개발하였다. 이 시뮬레이션모델의 분석결과를 바탕으로 하드웨어장치의 모의실험을 실시하여 성능을 검증하였다.

### 2. 연료전지(PEMFC)동작원리 및 특성

고분자 전해질 연료전지(Proton Exchange Membrane Fuel Cell, 이하 PEMFC)는 단순성과 높은 동력밀도 때문에, 분산전원과 같은 발전설비용뿐만 아니라 현재 유일하게 승용차용 동력발생장치로 고려되고 있을 정도로 뛰어난 성능을 가지고 있다.

PEMFC는 연료전극(anode)에서 수소가 산화되면서 생성된 양성자 또는 수소이온(proton)이 고체 고분자막을 통해 산소의 환원이 일어나는 음극(cathode)쪽으로 전달되는 전기화학반응을 통해 전기에너지를 생산하는 발전시스템으로서 부산물로 물(H<sub>2</sub>O)과 열에너지를 생산한다. 기스 자유에너지에 의한 Nernst모형을 통해 이상적인 연료전지 전위를 구할 수 있지만 실제 연료전지 출력전압은 평형전위에서 분극(Polarization)현상에 따른 손실로 비선형적인 특성을 보인다. 분극현상에 따른 전압 손실분은 활성화분극(Activation polarization)과 농도분극(Concentration polarization), 저항분극(Ohmic polarization)손실로 3가지로 분류할 수 있다. 이로 인해 정격일 때의 전압이 무부하의 약 50%에 달하는 심한 전압 변동이 나타나게 된다.[2]

연료전지 단위 셀 전압은 교환전류밀도를 고려한 평형 전위에서의 3가지의 분극 손실을 뺀 전압으로 표현되며, 비선형적인 특성을 보이며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$E_{cell} = E_{rev} - E_{act} - E_{con} - E_{ohm} \quad (1)$$

여기서  $E_{rev}$ 는 평형전위,  $E_{act}$ 은 활성화분극 손실,  $E_{con}$ 은 농도분극 손실,  $E_{ohm}$ 은 저항분극 손실이다.

한편  $E_{act}$ 는 전극표면에서 발생하는 반응속도의 차에 의

† 교신저자, 정회원 : 명지대 공대 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail : erichan@mju.ac.kr

\* 준 회원 : 명지대 공대 전기공학과 석사과정

\*\* 준 회원 : 충남대 공대 전기정보통신공학부 석사과정

\*\*\* 정 회원 : 충남대 공대 전기정보통신공학부 조교수

접수일자 : 2009년 7월 23일

최종완료 : 2009년 8월 12일

한 분극으로써 식 (2)로 표현된다. 이 식에서  $i_0$ 는 교환전류 밀도로 연료전지 전극과 전해질 사이에서 지속적인 정반응과 역반응과 관계된 전류의 밀도를 의미한다. 교환전류 (Exchange current)는 압력, 촉매, 활성화 에너지, 온도 등에 영향을 받으며, 이 값이 크면 활성화 분극이 줄어들므로써 연료전지의 출력전압  $E_{cell}$ 이 증가하여 연료전지의 효율에 매우 중요한 파라미터이다.

$E_{oon}$ 은 반응물의 농도 기울기 차이에 의한 분극으로써 식 (4)로 표현되고,  $E_{ohm}$ 은 전해질저항, 전극저항, 도선저항으로 인한 분극으로써 식 (5)과 같이 표현된다.

$$E_{act} = \frac{RT}{\alpha F} \ln\left(\frac{i+i_{loss}}{i_0}\right) \quad (2)$$

$$i_0 = i_0^{ref} a_c L_c \left(\frac{P_r}{P_{ref}}\right) \exp\left[-\frac{E_c}{RT}\left(1 - \frac{T}{T_{ref}}\right)\right] \quad (3)$$

$$E_{con} = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{i_L}{i_L - i}\right) \quad (4)$$

$$E_{ohm} = iR_s \quad (5)$$

따라서 연료전지의 출력전압은 이상에 설명한 5가지 수식에 의해 표현된다. 따라서 주어진 연료전지에 대해 관련 파라미터의 값을 알고 있으면 출력전압의 특성을 쉽게 분석할 수 있다.

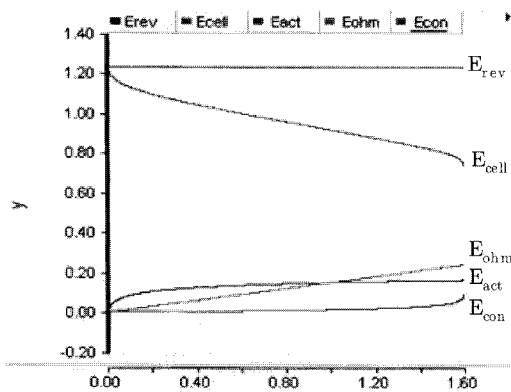


그림 1 연료전지의 전압 특성  
Fig. 1 Voltage Characteristic of Fuel-cell

그림 1은 대표적인 연료전지에 대해 출력전압의 특성을 나타낸 그래프이다. 평형전위에 대해 세 가지 손실성분에 의해 실제 출력 전압  $E_{cell}$ 이 비선형적으로 감소됨을 확인할 수 있다.

연료전지발전은 다수의 셀이 직렬로 결합된 스택으로 구성되어 출력단자전압을 형성한다. 따라서 스택의 전압-전류 특성을 정하기 위해서는 단위 셀의 전류밀도에 셀의 단면적을 곱해 전류 값을 구하고 단위 셀의 출력전압에 직렬로 결합된 셀의 수를 곱하여 출력전압을 구한다.

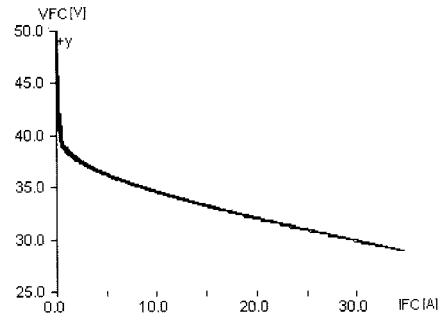


그림 2 연료전지스택의 출력특성 모델링  
Fig. 2 Output Characteristics Modeling of Fuel Cell Stack

그림 2는 47개 셀로 구성된 연료전지스택의 출력특성을 나타낸 곡선이다. x축은 연료전지의 전류, y축은 연료전지의 출력전압인데 평형전위에 대해 세 가지 손실성분에 따른 실제 출력전압을 나타낸 것이다. 이 곡선은 부하변동에 따라 가변하는 연료전지의 전류-전압 특성을 나타낸 것으로 연료전지 발전용 DC-DC 컨버터를 설계하는데 필요하다.

### 3. 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터

제안하는 연료전지용 DC/DC 컨버터는 직류 400V로 승압시키기 위해 높은 승압을 필요로 하고 전류리플에 큰 영향을 받는 연료전지의 특성으로 인하여 전류형 컨버터를 제안하였다. 또한 3상 전력변환을 적용함으로써 스위치에 흐르는 RMS전류를 저감시키고, 필터소자용량 및 부피를 감소시키고 ZVS(Zero Voltage Switching)동작을 통한 스위칭 손실 저감에 따른 소부피 고효율의 컨버터를 제안함으로써 최종적으로 그림 3과 같이 DC/AC변환부, 3상 고주파 변압기, AC/DC변환부로 이루어진 연료전지용 3상 전류형 능동클램프 DC/DC 컨버터를 구현하게 되었다. 6개의 IGBT 주 스위치는 일반적인 3상 인버터구조를 가지며 능동 클램프 회로를 구성하는 1개의 IGBT 보조 스위치와 클램프 캐패시터, 전류원으로 동작하는 직류 인덕터로 구성되어 있다. 주 스위치와 보조 스위치는 고주파 변압기의 누설 인덕턴스와 클램프 캐패시터 및 출력 캐패시터의 공진을 이용하여 영전압 스위칭을 한다. 고주파 변압기의 델타-델타 결선으로 누설 인덕턴스(Llk)는 Llk/3로 증가시킬 수 있다. 3상 정류기를 통해 AC/DC변환하므로 직류 출력 전압을 얻게 된다.

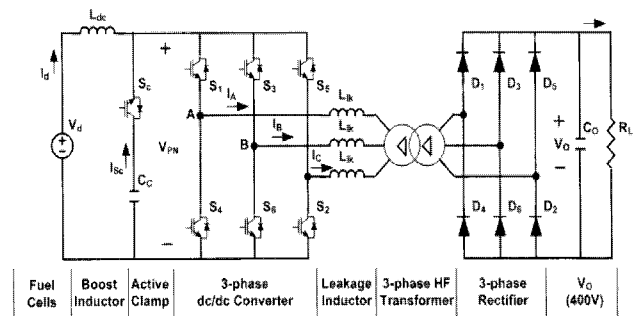


그림 3 3상 전류형 능동클램프 DC/DC 컨버터  
Fig. 3 A three-phase Current-fed DC/DC Converter with Active Clamp

그림 4는 구간별 3상 전류형 능동클램프 DC/DC 컨버터의 동작 모드를 나타낸 것으로 그림 2에서의 연료전지전압과 부스트 인덕터는 전류원으로 등가화하여 설명하였다. 그림 4(a) 구간은 S1과 S2를 제외한 네 개의 스위치 S2~S5는 턴 오프된다. 이에 따라 브리지전압(V<sub>pn</sub>)이 상승하면서 클램프 전압(V<sub>c</sub>)으로 클램프된다. 이 시점에서 클램프 스위치 전류(I<sub>sc</sub>)의 초기값은 -I<sub>d</sub>이다. 누설 인덕턴스(L<sub>lk</sub>)에 흐르는 전류는 클램프 전압(V<sub>c</sub>)과 출력전압의 1차측 환산값인 V<sub>o</sub>와의 전압차가 L<sub>lk</sub>의 관계에 의하여 상승한다. 이 구간에서의 I<sub>a</sub>와 I<sub>sc</sub>를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I_a = \frac{V_c - V_o'}{(2/3)L_{lk}}t \quad (2)$$

$$I_{sc} = -(I_d - I_a) \quad (3)$$

여기에서

$$V_c = \frac{V_d}{1-D} \quad (4)$$

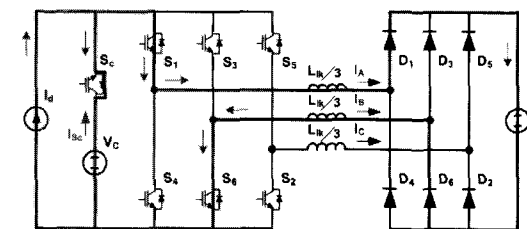
$$V_o' = \frac{V_o}{n} \quad (5)$$

이며 n은 변압기의 권수비(= N<sub>2</sub>/N<sub>1</sub>)이다.

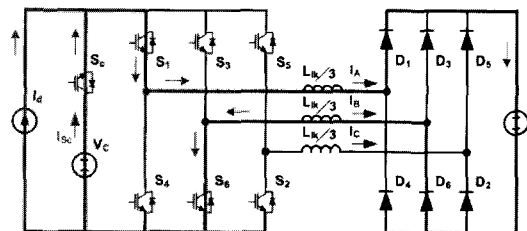
그림 4(b) 구간은 클램프 전류(I<sub>sc</sub>)는 양의 값으로 바뀌고 클램프 IGBT SC를 통하여 흐른다. 이 구간에서 클램프 전류(I<sub>sc</sub>)는 계속 증가하고 있는 변압기 1차측 a상 전류(I<sub>a</sub>)와 입력 전류(I<sub>d</sub>)와의 차이만큼 공급하고 변압기 1차측 전류(I<sub>a</sub>)는 입력전류(I<sub>d</sub>)와 클램프 전류(I<sub>sc</sub>)의 합이므로 2I<sub>d</sub>까지 상승한다.

그림 4(c) 구간은 t<sub>2</sub>에서 능동 클램프 스위치 SC가 턴 오프된다. 이 때 변압기 누설 리액턴스에 축적된 에너지에 의하여 S3과 S4 IGBT의 커패시터가 방전되면서 브리지전압(V<sub>pn</sub>)은 영전압이 되고 역다이오드가 도통하게 되면서 S3과 S4는 영전압 턴 온을 할 수 있게 된다.

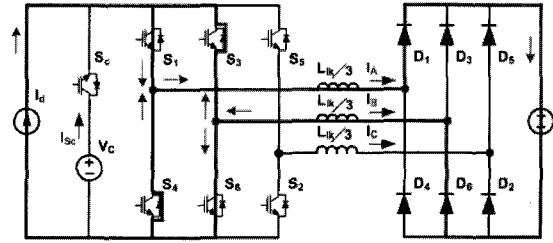
그림 4(d) 구간은 t<sub>3</sub>에서 변압기 1차측 a상 전류(I<sub>a</sub>)는 영으로 감소한다. 6개의 스위치 모두 턴 온되고 부스트 인덕터는 에너지를 축적한다. 이와 같은 과정은 같은 방식으로 반복된다.[6]



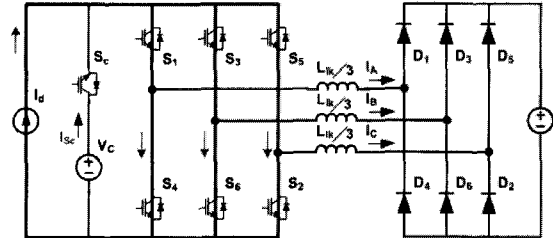
(a) t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>



(b) t<sub>1</sub>~t<sub>2</sub>



(c) t<sub>2</sub>~t<sub>3</sub>



(d) t<sub>3</sub>~t<sub>0'</sub>

그림 4 3상 전류형 능동클램프 DC/DC 컨버터의 동작  
Fig. 4 Operation of A three-phase Current-fed DC/DC Converter with Active Clamp

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구에서 제안한 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터를 이용하여 연료전지발전이 전력계통과 연계되었을 시 1kW의 전력을 안정적으로 출력하도록 C 인터페이스를 이용한 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션을 수행하였다.

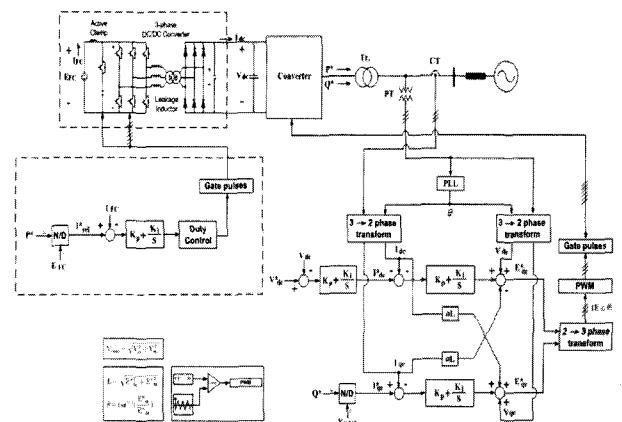


그림 5 전체 시스템의 구성도  
Fig. 5 Configuration of Whole System

그림 5는 연료전지발전 계통연계시스템의 제어구성도이다. 제어기의 구성은 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터 제어부와 계통연계 인버터 제어부로 나눌 수 있다. DC-DC 컨버터 제어부는 점선박스로 표시하였으며 유효전력 P 제어를 수행하고 DC-AC 인버터 제어부는 전류제어 입력의 유효 측에서는 DC 커패시터 전압을 일정하게 유지하는 제어를 수행하고 무효 측에서는 무효전력 Q의 제어를 수행한다. 먼저 DC/DC 컨버터 제어부는 유효전력 레퍼런스(P\*)를 연료전지 출력전압(V<sub>FC</sub>)으로 나눠 연료전지

전류 레퍼런스( $I_{ref}$ )를 생성한다. 이를 연료전지 전류( $I_{FC}$ )와의 오차를 PI제어기를 통해 duty를 제어하여 6개의 주 IGBT와 1개의 보조 IGBT로 게이트 펄스를 인가하는 방식으로 유효전력을 제어한다. DC-AC 인버터 제어부는 3상 계통 전압/전류를 센싱받아 기준위상  $\theta$ 를 설정하여 d-q 변환한다. DC link 전압 400V를 레퍼런스로써 DC link 전압과의 오차를 PI제어기를 통해 d축 전류 레퍼런스를 생성한다. 이는 DC link 전압 제어를 수행하게 되고 무효전력 Q레퍼런스에서 정격전압을 나눈 q축 전류와 d-q 변환한 전압/전류를 입력으로 전류제어기를 수행한다. 이로써 d축 q축 기준전압을 생성하게 되고 역변환과 PWM을 통해 인버터 6개의 주 IGBT에 게이트 펄스를 인가한다.

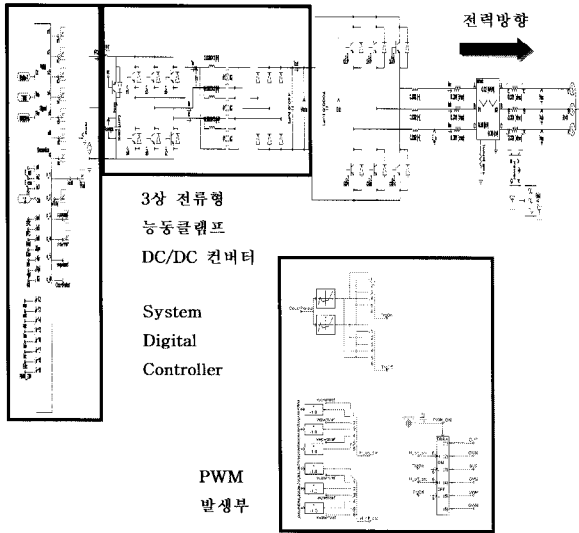


그림 6 시뮬레이션의 구성도  
Fig. 6 Configuration of Simulation

표 1 시뮬레이션의 동작 시나리오  
Table 1 Operation Scenario of Simulation

Interconnected Inverter	전원 전압	220V
	전원 주파수	60Hz
	DC링크 커패시터	1750uF
	계통연계형 리액터	4mH
DC/DC Converter	Boost Inductor	2mH
	Clamp Capacitor	240uF
	Switching Frequency	25kHz
	Leakage Inductor	13uH
	변압기 결선	$\Delta - \Delta$
	변압비	1 : 4
	출력 캐패시터	440uF
	DC link 전압	400V
출력 전력	1kW	

그림 6은 PSCAD/EMTDC를 이용한 연료전지발전 계통연계시스템 회로도이다. System Digital Controller 내부에는 C-언어를 이용하여 연료전지발전 모델링과 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터 그리고 3상 계통연계형 인버터 제어를 포함하고 있다. 그리하여 연료전지발전 모델링의 출력 전압과 디지털 제어방식 고효율 DC-DC 컨버터의 게이트 펄스를 공급하고 3상 인버터를 통해 전력계통과 연계된다. 시뮬레이션을 수행함으로써 DC 커패시터 전압 400V를 유지하면서 전력계통으로 유효전력

1kW를 안정적으로 출력하도록 제어하였다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수는 표 1에 나타내었다.

디지털 제어방식 DC-DC 컨버터에서 출력되는 유효전력에 따라 연료전지발전에서 출력되는 전압 및 전류 변동을 확인하기 위해 표 2의 시뮬레이션 시나리오와 같이 실행하였다.

표 2 시뮬레이션의 동작 시나리오  
Table 2 Operation Scenario of Simulation

시간 [s]	0~1 <sup>1)</sup>	1~2 <sup>2)</sup>	2~3 <sup>3)</sup>	3~5 <sup>3)</sup>	5~6	6~7	7~8
P[W]	100	300	500	1000	500	300	100

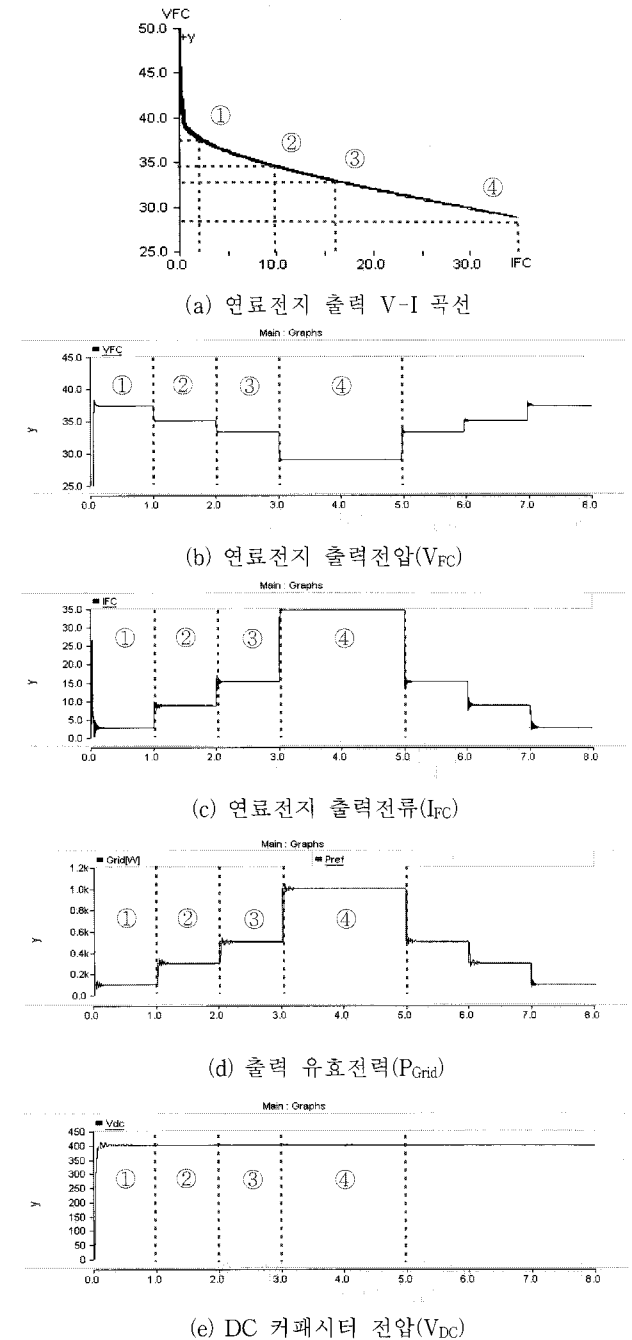
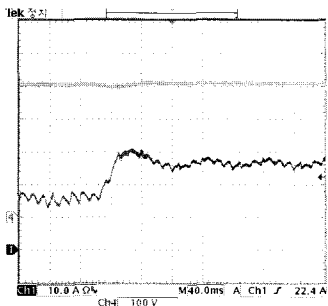


그림 7 컴퓨터 시뮬레이션 결과  
Fig. 7 Computer Simulation Results

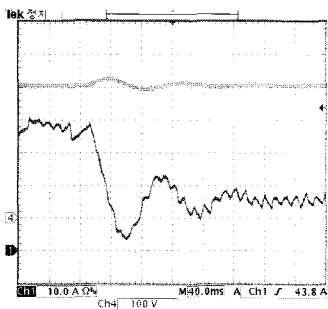
표 2와 같이 시뮬레이션한 결과 그림 7의 결과 파형을 얻었다. 그림 7(a)는 그림 2에서 언급한 고분자전해질 연료전지(PEMFC)의 모델링이다. 그림 7(a)에 ①~④으로 표시한 것과 같이 유효전력이 증가함에 따라 연료전지 출력 전압 및 전류의 동작점이 변동되고 있음을 알 수 있다. 그림 7(b)는 모델링한 연료전지의 출력전압( $V_{FC}$ )의 변동을 나타낸 것으로, 유효전력의 변동에 따라 동작전압이 변동하고 있음을 확인하였다. 그림 7(c)는 연료전지의 출력전류( $I_{FC}$ )의 변동을 나타낸 것으로, 연료전지 출력전압과 반대로 유효전력이 증가함에 따라 동작점은 올라가는 것을 알 수 있다. 그림 7(d)는 전력계통으로 출력되는 유효전력의 추종특성을 나타낸 파형이다. 실측 유효전력은 안정화되는 데까지 0.5초미만의 과도현상을 보이지만 곧 기준값을 추종함을 나타내 유효전력의 제어가 잘 수행되었음을 알 수 있다. 그림 7(e)는 DC 커패시터 전압을 나타낸 것이다. 유효전력의 변동에도 불구하고 400V로 일정하게 유지되는 것을 확인해 일정전압 제어가 잘 수행되었음을 알 수 있다.

### 5. 하드웨어 결과 및 분석

연료전지발전시스템의 신뢰성을 검증하기 위해 계통연계 실험 전 단계로 먼저 연료전지와 디지털 제어방식 DC-DC 컨버터의 부하테스트를 시행하였다.



(a) 부하변동 파형(300W → 500W)



(b) 부하변동 파형(800W → 500W)

그림 8 DC/DC 컨버터 부하 테스트  
Fig. 8 Load Test of DC/DC Converter

그림 8은 컨버터의 부하 변동 실험을 나타낸 것이다. 먼저 그림 8(a)의 동작 조건은 입력전압 26V, 컨버터 출력 전압 400V에서 300W의 부하로 출력 전압이 제어되고 있으며, 300W에서 500W로 부하 변경 시 출력 전압 및 입력 전류를 측정하였다. 부하의 변동 후 약 30msec의 시간 후에 출력

전압 및 입력 전류가 정상상태로 가는 것을 확인할 수 있다. 채널 1번이 입력전류를 나타내고, 채널 4번이 출력전압을 나타낸다. 그림 8(b)는 부하감소에 따른 부하변동 실험한 파형이다. 800W에서 500W로의 부하변동 후에도 400V 안정된 컨버터 출력전압을 보여주고 있다.

실험결과 부하 증감에 따른 변동에도 관계없이 안정된 400V 컨버터 전압을 보여 제어기 성능이 정상적으로 작동함을 알 수 있다.

그림 9는 각 부하별 출력전압 수치를 그래프로 나타낸 것이다. 기준 제어 출력전압 400V로 지정하였으면 부하변동에 따른 실제 제어 출력전압은 약 +0.9%, -0.42% 이내로 안정적인 제어가 이루어지고 있음을 확인하였다.

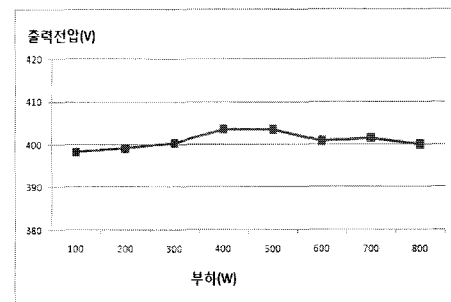


그림 9 컨버터 출력전압 그래프  
Fig. 9 Converter Output Voltage Graph

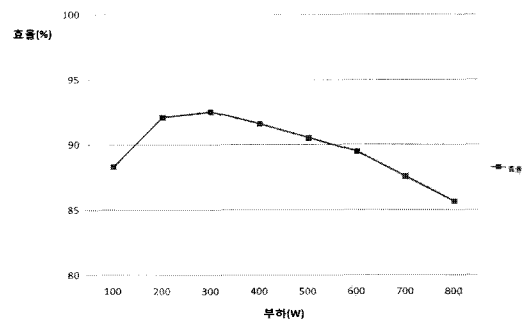


그림 10 부하변화에 따른 효율  
Fig. 10 Efficiency with Load Changes

본 연구를 검증하기 위하여 시뮬레이션 결과를 바탕으로 그림 11과 같이 하드웨어 프로토타입을 제작하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용될 연료전지는 고분자전해질연료전지(PEMFC)타입으로서 모델명은 Ballard Nexa Power Module System이고 1.2kW의 정격 출력을 갖는다. 3상 전류형 능동 클램프 DC-DC컨버터는 3상 PWM패턴을 계산하는 DSP2808제어기, FPGA(EPM7128), 게이트 드라이브, 3폴의 Half-bridge와 Clamp-bridge가 장착된 4개의 히트 싱크 및 3상 고주파변압기로 설계하였다. 계통연계형인버터를 동작시키기 위한 제어보드는 Texas Instrument사의 실수형 DSP인 TMS320vc33-150와 Altera사의 EP1k100QC208로 구성되어 있다. 계통연계형인버터는 PT 및 CT의 계측기를 통해 계통 3상 전압 및 전류 그리고 DC 커패시터 전압 및 전류를 측정하여 디지털 제어를 수행하게 된다.

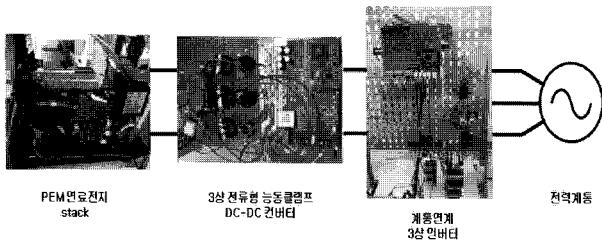


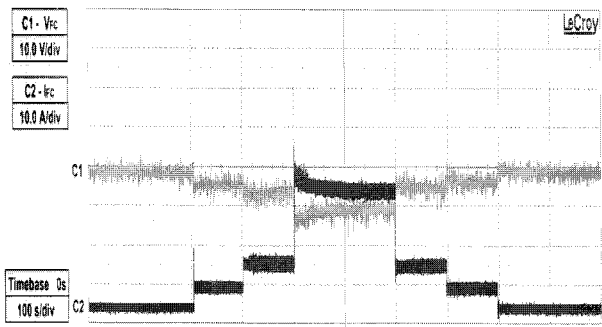
그림 11 프로토타입의 실험장치  
Fig. 11 Experimental Set-Up of Prototype

실제 연료전지스택의 경우 계통에 공급되는 유효전력의 변동이 빠르게 이루어질 경우 화학반응 속도가 이를 추종하기 어려워 충분히 안정적인 동작을 고려하여 표 2에 보인 것처럼 시뮬레이션과 달리 변동의 지속시간을 100초로 하여 실험을 실시하였다.

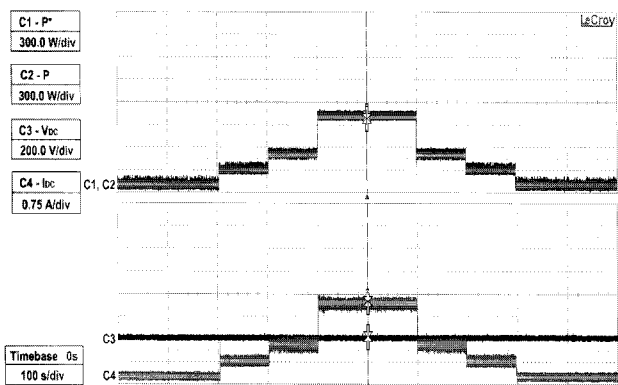
표 3 하드웨어 실험의 동작 시나리오

Table 3 Operation Scenario of Hardware Experiment

시간 [s]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
P[W]	100	300	500	1000	500	300	100			



(a) 연료전지 동작 전압 및 동작 전류



(b) 출력 유효전력과 DC 커패시터의 전압과 전류

그림 12 하드웨어 프로토타입의 실험 결과

Fig. 12 Experimental Results of Hardware Prototype

그림 12는 제안하는 계통연계시스템과 연료전지를 이용하여 실험을 한 결과 파형이다. 그림 12(a)는 연료전지의 동작전압 및 동작전류를 나타낸 것이다. 오실로스코프를 이용하여 10V(A)/div로 맞추어 연료전지 전압 및 전류를 측정하였다. 유효전력 변동 시 연료전지의 전압이 안정화되는 점을 확인하여야 하므로 시간은 유효전력의 변동구간은 100s로 하였다. 유효전력이 증가하면 연료전지의 전압은 감소하게 되고 연료전지의 전류는 증가하게 된다. 반대로 유효전력이 감소하면 연료전지의 전압은 증가하게 되고 연료전지의 전류는 감소하게 된다. 그림 12(b)는 출력 유효전력과 DC 커패시터 전압과 전류를 나타낸 것이다. 첫 번째 디스플레이는 출력 유효전력을 나타낸 것으로 시뮬레이션과 유사하게 표 3의 시나리오에 따라 실측 유효전력이 잘 추종하고 있음을 알 수 있었다. 두 번째는 DC 커패시터의 전압과 전류를 나타낸 것인데, DC 커패시터의 전압은 유효전력의 변동에도 불구하고 400V를 잘 유지하여 시뮬레이션결과와 유사하게 DC-DC 컨버터는 DC 커패시터의 전압을 잘 제어함을 알 수 있었다. 결과적으로 DC 커패시터의 전압이 일정하여 유효전력의 변동은 DC 커패시터의 전류에 비례함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 연료전지발전용 고효율 계통연계 전력변환기를 모의하는 시뮬레이션모델에 관해 기술하였다. 연료전지발전 계통연계시스템에서 1kW의 전력을 고효율로 계통에 출력하기 위한 전력변환기로서 디지털 제어방식 고효율 DC-DC 컨버터를 제안하였고, 3상 인버터를 연계하여 전체적인 시스템을 개발하였다. 이는 PSCAD/EMTDC소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션 및 실험결과를 통해 분석하였고 이 모델을 바탕으로 향후 구성할 하드웨어장치의 기본설계를 실시하였다.

본 연구 결과의 검증을 통해 연료전지발전시스템의 효율적인 운용과 직류급전과 스마트그리드에 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Gregor Hoogers, "FUEL CELL TECHNOLOGY HANDBOOK", CRC Press, 2003
- [2] J.Haubrock, G. Heideck and Z. Styczynski, "Dynamic Investigation on Proton Exchange Membrane Fuel Cell Systems", IEEE, 24-28 June 2007 Page(s):1 - 6
- [3] Mousavi, A.; Das, P.; Moschopoulos, G.; "A ZCS-PWM Full-Bridge Boost Converter for Fuel-Cell Applications", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE 15-19 Feb. 2009 Page(s):459 - 464
- [4] Lin, B.-R.; Hsieh, F.-Y.; Wang, D.; Huang, K., "Analysis, design and implementation of active clamp zero voltage switching converter with output ripple current cancellation", Electric Power Applications,

IEE Proceedings -Volume 153, Issue 5, September 2006 Page(s):653 - 663

- [5] Rathore, A.K, Bhat, A.K.S. Oruganti, R, "A Comparison of Soft-Switched DC-DC Converters for Fuel Cell to Utility Interface Application", Power Conversion Conference - Nagoya, 2007. PCC '07 2-5 April 2007 Page(s):588 - 594
- [6] Hanju Cha; Jungwan Choi; Byung-moon Han, "A new three-phase interleaved isolated boost converter with active clamp for fuel cells", Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE 15-19 June 2008 Page(s):1271 - 1276

저 자 소 개



**주 영 아 (朱永雅)**

1986년 1월 26일생.  
 2008년 명지대 전기공학과 졸업.  
 2008년 동 대학원 전기공학과 입학.  
 Tel : 031-335-6563  
 Fax : 031-330-6816  
 E-mail : younakouki@mju.ac.kr



**차 민 영 (車珉英)**

1987년 1월 1일생.  
 2009년 명지대 전기공학과 졸업.  
 2009년 동 대학원 전기공학과 입학.  
 Tel : 031-335-6563  
 Fax : 031-330-6816  
 E-mail : vmansev@mju.ac.kr



**한 병 문 (韓炳文)**

1976년 서울대 전기공학과 졸업.  
 1988년 미 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).  
 미 Westinghouse 중앙연구소 선임연구원 현재 명지대학교 전기공학과 교수  
 Tel : 031-330-6366  
 Fax : 031-330-6816  
 E-mail : erichan@mju.ac.kr



**강 태 섭 (强泰燮)**

1985년 5월 30일생.  
 2008년 대덕대학 전기과 졸업.  
 2009년 충남대학교 대학원 전기공학과 입학.  
 Tel : 042-821-7603  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : saiter@hanmail.net



**차 한 주 (車翰周)**

1965년 11월 20일생.  
 1988년 서울대 전기공학과 졸업.  
 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사).  
 2004년 미국 Texas A&M University, College station 졸업(공학박).  
 1990~2001년 LG산전 연구소 책임연구원.  
 2005년 - 현재 충남대학교 전기정보통신공학부 전기전공 조교수.  
 Tel : 042-821-7006  
 Fax : 042-821-8895  
 E-mail : hjcha@cnu.ac.kr