

DSP기반 연료전지 하드웨어 시뮬레이터 구현

(Implementation of a DSP Based Fuel Cell Hardware Simulator)

엄준현* · 임영철 · 정영국**

(Jun-Hyun Oum · Young-Cheol Lim · Young-Gook Jung)

요 약

분산전원으로서 연료전지 발전장치는 100w부터 수백[kw]의 용량을 가지며 종전의 대규모 전력설비와 비교하여 높은 신뢰도를 갖는 고품질의 전력을 공급할 수 있다. 본 연구에서는 소형 분산전원으로서 PEMFC(polymer electrolyte membrane fuel cell) 연료전지 발전장치에 대한 PSIM(power electronics simulation tool) 모델을 설정하고 이를 바탕으로 DSP(digital signal processor)기반의 연료전지 하드웨어 시뮬레이터를 구현하였다. 연료전지 전류와 출력전압과의 관계는 연료전지의 전압-전류(V-I) 곡선 중 ohmic영역에서 1차 함수로 간략화 하였다. 구현된 시스템은 PEMFC 하드웨어 시뮬레이터, 절연형 풀 브리지 직류 부스트 컨버터 그리고 60[Hz] PWM인버터로 구성되어 있다. 부하변동 및 과도상태에 대한 연료전지 하드웨어 시뮬레이터의 전압-전류-전력(V-I-P) 특성을 파악하였으며, 저항 부하 및 비선형 부하에 대한 전력변환기의 60[Hz] 정현파 교류출력 전압파형을 고찰하였다.

Abstract

Fuel cell generators as the distributed generation system with a few hundred watt~a few hundred kilowatt capacity, can supply the high quality electric power to user as compared with conventional large scale power plants. In this paper, PEMFC(polymer electrolyte membrane fuel cell) generator as micro-source is modelled by using PSIM simulation software and DSP based fuel cell hardware simulator based on the PSIM simulation model is implemented. The relation of fuel cell voltage and current(V-I curve) is linearized by first order function on the ohmic area in voltage-current curve of fuel cell. The implemented system is composed of a PEMFC hardware simulator, an isolated full bridge dc boost converter, and a 60[Hz] voltage source PWM inverter. The voltage-current-power(V-I-P) characteristics of the implemented fuel cell hardware simulator are verified in load variation and transient state and the 60[Hz] output voltage sinusoidal waveform of the PWM inverter is investigated under the resistance load and nonlinear diode load.

Key Words : DSP(Digital Signal Processor), PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), Fuel Cell Hardware Simulator, Polarization Curve

* 주저자 : 전남대학교 전기공학과 졸업(석사)

** 교신저자 : 대불대학교 융합기술학부 부교수

Tel : 061-469-1263, Fax : 061-469-1299, E-mail : jyg@mail.daebul.ac.kr

접수일자 : 2008년 7월 11일, 1차심사 : 2008년 7월 22일, 심사완료 : 2008년 10월 31일

1. 서 론

고유가에 대한 에너지 자원의 대처 수단으로 풍력 발전, 태양광 발전, 바이오매스 등 신 재생 에너지원에 대한 연구가 진행 중이다. 연료전지는 가장 주목을 받고 있는 분산발전 및 대체 에너지 기술 중의 하나로 환경 오염문제를 해결하고, 전력수요 및 에너지 수요에 효율적으로 대비할 수 있는 일종의 전기 화학 장치이다. 연료전지는 발전 효율이 40~60% 정도이며, 연료전지의 전력생산을 위한 연료로 천연가스, 메탄올, 석탄가스등 다양한 연료를 사용할 수 있으며 배출가스 중 NO_x 나 SO_x 및 분진발생이 없고 고온의 증류수를 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 풍력 발전이나 디젤 발전 등 회전기기를 사용하는 발전방식에 비하여 소음이나 진동이 없으며 다량의 냉각수도 불필요하다. 또한 전력 수요지 내에 설치가 용이하며 점유면적이 작아서 단독으로 또는 이를 조합하여 구성이 가능하다[1-3].

본 연구는 전력전자전용 시뮬레이터인 PSIM을 활용하여 소형 분산 에너지원으로서 연료전지 발전 장치의 모델을 구하고, 이를 바탕으로 DSP2812에 의해 제어되는 연료전지 하드웨어 시뮬레이터를 구현하였다. 부하전류와 출력전압과의 관계는 연료전지의 V-I(전압-전류)곡선 중 ohmic영역에서 1차함수로 근사화[4-5]하고, 벽 직류 컨버터는 근사화된 함수에 의하여 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC) [6-13] 하드웨어 시뮬레이터를 제어한다.

전체 회로 구성과 동작은 다음과 같다. 다이오드 정류기에 의하여 정류된 교류 실효치 220[v]는 DSP2812로 제어되는 벽 직류 컨버터에 의하여 부하 전류에 상응하는 직류전압 20~40[v]로 변환된다. 이 직류전압을 절연형 풀 브리지 부스트 직류 컨버터에 의하여 직류 350[v]로 부스트한 후, 피드백 루프를 갖는 단상 전압형 PWM 인버터에 의하여 실효치 220[v] 교류전압을 출력한다. 부하의 급변한 변동에 대하여 구현된 시스템의 연료전지 V-I-P(전압-전류-전력) 특성을 실험하였으며 또한 저항 부하와 비선형 부하에 대하여 연료전지 발전장치로서의 특성을 파악하였다.

2. 연료전지 전력변환장치

그림 1은 연료전지 스택을 이용한 전력변환장치의 일반적인 구성을 보이고 있다. 연료전지는 연료극(Anode), 공기극(Cathode), 그리고 이온 전도성 전해액으로 구성된다. 연료극에서 수소가 이온화되어 수소이온의 형태로 전해액을 통해 공기극으로 이동하고, 이온화시 발생하는 전자는 외부회로를 통해 공기극으로 흘러가게 된다. 공기극에서 만난 산소, 수소이온 그리고 전자가 반응하여 물을 생성한다. 즉 연료전지는 수소와 산소를 전기 화학적 방법으로 반응시켜서 전기를 생산하는 장치이다. 이때 생성물이 물이며 부수적으로 반응열도 생성된다. 따라서 연료전지는 발전효율이 높고 원천적으로 소음이 없으며 대기오염 물질을 배출하지 않는다. 또한 수요지 부근에 설치하여 송전설비 투자비 및 손실을 저감할 수 있다.

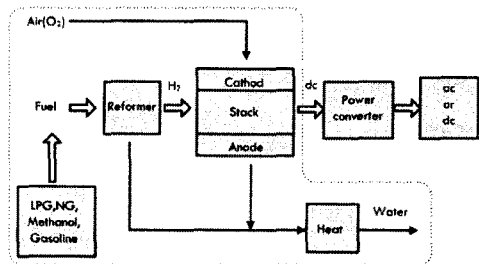


그림 1. 연료전지 스택과 전력변환기
Fig. 1. Fuel cells stack and power converter

본 연구에서는 일반적인 가정용 전원(RPG) 및 운송용에 적합한 PEMFC의 하드웨어 시뮬레이터 구현에 중점을 두고 있다. 그림 2는 PEMFC를 이용하는 전력변환장치를 나타내고 있다. PEMFC로부터 발생된 20~40[v]의 직류전압을 절연형 풀 브리지 직류 컨버터에 의하여 350[v]로 승압한 후 단상 60[Hz] PWM인버터에 의하여 실효치 220[v] 교류전압으로 변환한다. PEMFC는 무 부하 출력전압이 일반적으로 42.2[v]이지만, 부하의 조건에 따라서 26~40[v]로 출력전압이 변동하며 또한 시동 시간이 수 초에서 수 십초로 매우 느린 시동 시간을 갖고 있다.

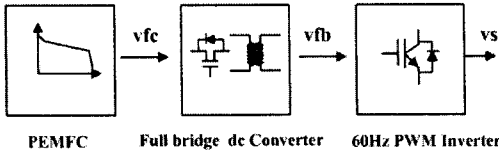


그림 2. PEMFC 전력변환장치
Fig. 2. PEM fuel cell power generator

2.1 연료전지 모델

그림 3은 PEMFC의 V-I특성 곡선을 나타내고 있다. 본 연구에서 직류전원으로 사용하는 PEMFC 연료전지 모델은 Ballard NEXA(1.2[kw])[12-13]이며 그림 4와 같이 벽 직류 컨버터를 연료전지 하드웨어 시뮬레이터로 사용하고 있다.

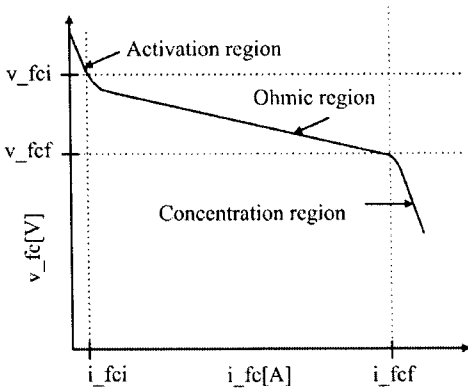


그림 3. PEMFC의 V-I곡선
Fig. 3. V-I curve of the PEMFC

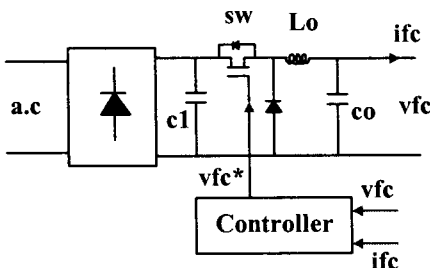


그림 4. PEMFC 시뮬레이터로서 buck컨버터
Fig. 4. Buck converter as a PEMFC simulator

벽 컨버터를 연료전지 시뮬레이터로 사용할 수 있는 이유는 그림 3의 PEMFC V-I특성 곡선 중 연료

전지가 대부분 동작하는 영역인 ohmic loss영역을 전류-전압에 대하여 1차 함수로 모델링 하여 직류 벽 컨버터를 제어할 수 있기 때문이다. 연료전지의 출력전압은 반응온도 및 실온온도, 양극과 음극 압력, 상대습도 그리고 부하전류에 대하여 영향을 받는다[8-10]. 따라서 연료전지 하드웨어 시뮬레이터는 이러한 모든 조건을 고려하여야 온전한 연료전지로서의 특성을 갖는다.

본 연구의 목적은 연료전지 전원을 이용하는 전력 변환기를 개발함에 있어서 고가의 연료전지를 사용하지 않더라도 연료전지 특성을 갖는 간단한 연료전지 모의 장치를 개발하는 것에 있다. 보통의 경우 중 전에는 직류전원 공급 장치의 전압을 수동으로 급변시켜 부하전류와 무관한 연료전지를 모의하는 방법이 사용되고 있다. 앞에서 언급한 반응온도 및 실온온도, 양극과 음극 압력, 상대 습도 등이 결정된 특정 동작 점에서 운전 중인 연료전지는 오직 부하전류에 따라서 출력전압이 자동으로 결정된다.

이와 같이 전압에 대한 변수로서 전류를 사용하게 된 이유는 반응온도 및 실온온도, 양극과 음극 압력, 상대습도 등 화학적인 요소보다는 전류가 전기 회로적으로 접근하기 용이하기 때문이며, 본 연구에서 다루는 연료전지 하드웨어 시뮬레이터의 출력전압은 (1)과 같이 전류의 함수로 표현되기 때문이다. 그림 3의 ohmic loss영역은 (1)과 같이 1차 방정식으로 구해진다[4-5].

$$v_{fc}(i_{fc}) = v_{fci} \quad (0 < i_{fc} < i_{fci})$$

$$v_{fc}(i_{fc}) = \left[\frac{v_{fcf} - v_{fci}}{i_{fcf} - i_{fci}} \right] i_{fc} - \left[\frac{v_{fcf} - v_{fci}}{i_{fcf} - i_{fci}} i_{fci} - v_{fci} \right] \quad (1)$$

$$(i_{fci} < i_{fc} < i_{fcf})$$

$$v_{fc}(i_{fc}) = 0 \quad (i_{fc} > i_{fcf})$$

여기서 v_{fci} 는 ohmic영역의 초기전압, v_{fcf} 는 ohmic영역의 최종전압, i_{fci} 는 ohmic영역의 초기전류, i_{fcf} 는 ohmic영역의 최종전류이다.

2.2 절연형 풀 브리지 직류 컨버터

그림 5는 PEMFC의 42.2[V]의 직류전압을 350[V] 직류전압으로 승압하기 위한 절연형 풀 브리지 부스트 직류 컨버터를 나타내고 있다. 풀 브리지 방식은 다른 방식에 비하여 소자 수가 많이 필요하나 전류 정격이 크기 때문에 연료전지에 적합한 방식이다. 또한 고주파 변압기의 권선비 n 을 조절하면 출력전압 v_{fb} 를 쉽게 부스트시킬 수 있으나, 변압기 크기가 커져 공간을 많이 차지하는 단점이 있다.

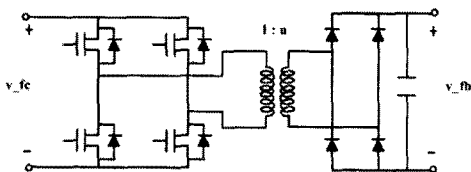


그림 5. 절연형 풀 브리지 직류컨버터
Fig. 5. Isolated full bridge dc converter

2.3 60[Hz] PWM 인버터

그림 6은 절연형 풀 브리지 직류 컨버터에 의하여 350[V]로 승압된 직류전압을 실효치 220[V] 교류전원으로 변환하는 인버터를 나타내고 있다.

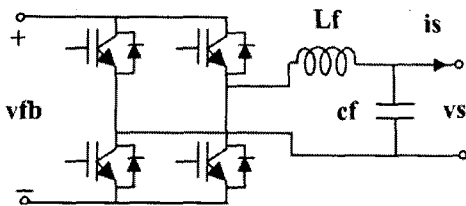


그림 6. 60[Hz] PWM 인버터
Fig. 6. 60[Hz] PWM inverter

여기의 인버터는 여러 종류를 사용할 수 있으나 본 연구에서는 범용 전압형 PWM인버터를 사용하며 출력 필터에 의하여 정현파 교류전압을 얻을 수 있다. 부하에 따라서 출력전압 v_o 이 변동되는 문제점은 출력전압의 피드백 제어에 의하여 해결 가능하다.

3. 모의실험

그림 7은 본 연구에서 구현하고자 하는 연료전지 하드웨어 시뮬레이터의 PSIM모델을 나타내고 있으며, 비선형 다이오드 부하가 연료전지 발전장치와 연계하고 있다. PEMFC는 Ballard NEXA(1.2[kw]) 연료전지를 모델로 하였으며 42.2[V]의 무부하 전압을 가지고 있다. 50k[Hz]의 스위칭 주파수로 동작하는 절연형 풀 브리지 부스트 직류컨버터는 고주파 링크 변압기(1:n)를 포함하고 있으며, 42.2[V]의 PEMFC 직류전압 v_{fc} 를 $v_{fb}=350[V]$ 로 승압한다. PWM인버터는 10k[Hz] 주파수를 갖는 SPWM (sinusoidal PWM) 방식에 의하여 $v_{fb}=350[V]$ 를 교류전압 v_s 로 변환하며, 최종적으로 L_f-C_f 필터에 의하여 실효치 $v_o=220[V]/60[Hz]$ 의 정현파 교류전압이 출력된다.

그림 8 (a)는 본 연구의 연료전지 발전장치의 직류전원으로 사용한 PEMFC의 V-I-P(전압-전류-출력)곡선을 모의 실험한 결과이며, 그림 8 (b)는 Ballard NEXA(1.2[kw])의 실효치 데이터[13]를 인용한 것이다. 모의 실험의 경우 매 0.05[s]마다 저항 부하를 20회 변화시킨 결과, 실제 Ballard NEXA (1.2[kw]) 연료전지와 유사한 특성을 얻을 수 있었다.

0.05[s]마다 연료전지 모의 장치에 연결된 부하저항을 20회 릴레이로 온 오프 하기 때문에 전류파형이 급변하는 부분에서 스파이크가 나타난다. 부하저항을 더 미세하게 분할하면 이러한 문제점은 해결되리라 생각되나, 모의실험 시 연산시간이 너무 많이 소요되므로 전체의 추세만을 살펴보기 위하여 20회로 하였다.

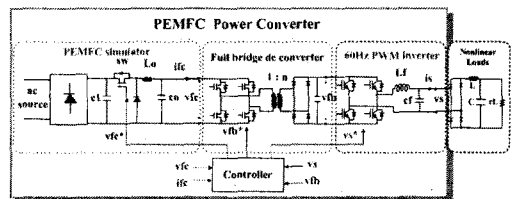
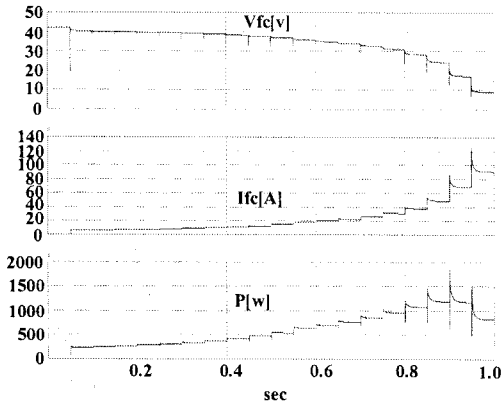
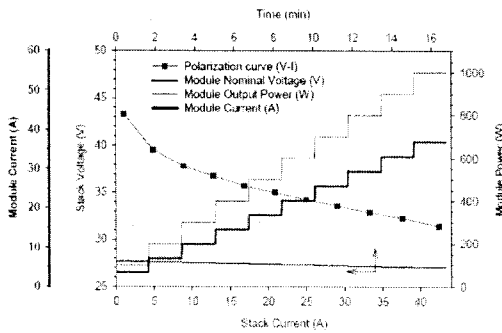


그림 7. 단상 연료전지 발전장치의 PSIM모델
Fig. 7. PSIM model of a single-phase fuel cell power generator



(a) simulated result



(b) ballard NEXA(13)

그림 8. PEMFC의 V-I-P곡선
Fig. 8. V-I-P curve of PEMFC

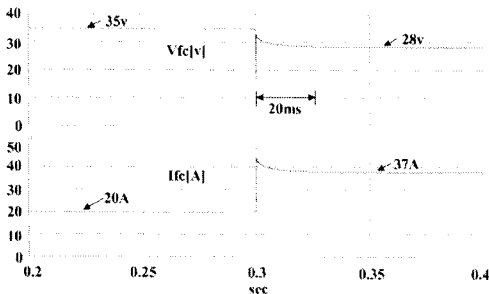


그림 9. 200(%) 부하 증가에 따른 PEMFC의 동특성
Fig. 9. Dynamic response of PEMFC to a 200(%) step increase

그림 9는 본 연구에서 모델링 한 PEMFC의 동특성을 나타내고 있다. 0.3[s] 지점에서 부하가 20[A] → 37[A]로 급증하는 경우, 약 20[ms] 지연하고 난 후 전압은 35[V] → 28[V]로 감소되는데 이는 그림 8의

0.8s지점에서의 V-I-P곡선에서 그 특성을 살펴볼 수 있다.

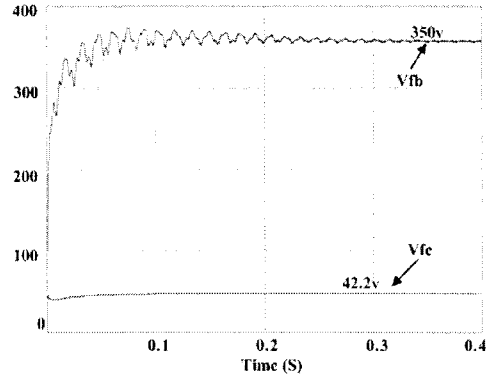
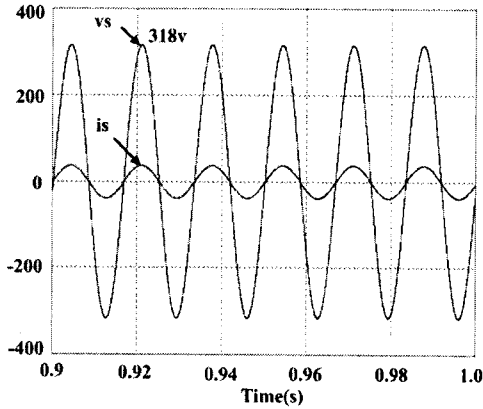


그림 10. 연료전지 발전장치의 직류전압
Fig. 10. Dc voltages of a fuel cell power generator

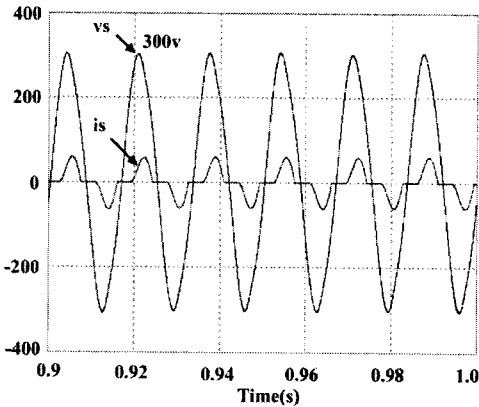
그림 10은 연료전지 발전장치의 풀 브리지 직류 변환기의 출력전압 v_{fb} 와 PEMFC의 무부하 전압 v_{fc} 를 서로 비교한 것이다. 연료전지 시뮬레이터의 무부하 전압 $v_{fc}=42.2[v]$ 를 풀 브리지 직류 변환기에 의하여 $v_{fb}=350[v]$ 의 직류전압으로 승압시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 11은 본 연구에서의 연료전지 발전장치의 PSIM모델이 소형 분산에너지원으로 동작하는지 저항 부하와 다이오드 비선형 부하를 연결하여 그 특성을 살펴보았다. 우선 그림 11 (a)는 저항부하(9[Ω])인 경우로서 $v_s=318[v]$ (실효치 220[v])와 i_s 는 완전한 정현파를 보이고 있다. 그림 11(b)는 $L=2.5[mH]$, $C=1,000[uF]$, $r_L=4[Ω]$ 인 다이오드 비선형 부하조건에 대한 v_s 와 i_s 를 나타낸 것이다. 그림 11 (a)와 비교해 보면 v_s 는 약간 왜형되어 있으며 이때 그 최대치는 300[v](실효치 210[v])이다. v_s 가 이와 같이 왜형되고 최대치가 약간 감소된 것은, 스파이크 형태의 비선형 부하전류 i_s 에 포함된 고조파의 전압강하가 그 원인이라 할 수 있다.

DSP기반 연료전지 하드웨어 시뮬레이터 구현



(a) R-load(9(Ω))



(b) Nonlinear diode load($L=2.5(\text{mH})$,
 $C=1000(\mu\text{F})$, $r_L=4(\Omega)$)

그림 11. 정상상태에서의 v_s 와 i_s
Fig. 11. v_s and i_s in steady state

4. 실험 결과 및 고찰

그림 12는 본 연구에서 구현한 연료전지 하드웨어 시뮬레이터와 전력변환기의 사진을 나타내고 있다. 표 1은 연료전지 하드웨어 시뮬레이터의 파라미터이다. Ballard NEXA(1.2[kw])연료전지의 i_{fc} 는 0.5~70[A]범위에서 ohmic영역을 갖고 있으나, 본 연구에서는 전자부하(electronic load)의 제한된 용량으로 인해 10배 축소하여 0.5~7[A]범위를 ohmic영역으로 하였다. 전자부하는 UPS, 인버터 및 트랜스의 부하 시뮬레이션이 가능한 부하장치로서, 보통 시험에 이용되는 저항 부하 뿐 만 아니라 콘덴서 입력형 정

류 부하의 시뮬레이션도 가능한 부하 장치를 말한다. 본 연구에서 사용된 전자부하로서 Prodigit사의 3257를 사용하였다. 표 2는 절연형 풀 브리지 직류 컨버터의 파라미터를 나타내고 있다.

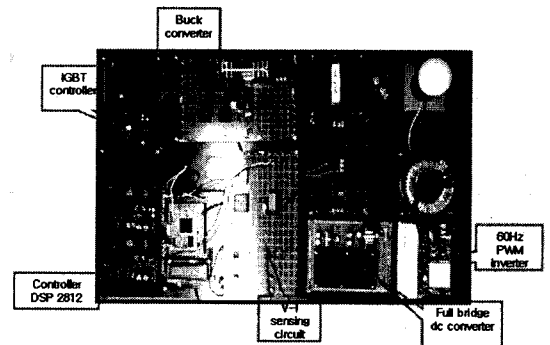


그림 12. 실험 시스템
Fig. 12. Experiment system

표 1. PEMFC 하드웨어 시뮬레이터의 파라미터
Table 1. Parameters of PEMFC H/W simulator

P	1[kw]
v_s	220[v](rms)
v_{fc}	20~40[v]
i_{fc}	0.5~7[A]
f_{sw}	20k[Hz]
L_o	2.2[mH]
C_o	2,200[μF]

구현된 시뮬레이터의 출력전압 v_{fc} 는 절연형 직류 컨버터에 의하여 $v_{fb}=350[\text{v}]$ 로 승압되며, 고주파 변압기의 1차측과 2차측의 권선비는 1:15로 하였다. 표 3은 60[Hz] PWM인버터의 파라미터를 나타내고 있다. 전압형 PWM인버터는 절연형 풀 브리지 직류 컨버터의 출력전압 $v_{fb}=350[\text{v}]$ 을 직류전원으로 하여 최대치 $v_s=318[\text{v}]$ 인 정현파 교류전압을 발생한다. 부하가 변동되더라도 v_s 를 일정하게 제어하기 위하여 v_s 피드백 제어 루프가 사용된다.

표 2. 절연형 풀 브리지 부스트 컨버터의 시스템 파라미터

Table 2. System parameters of isolated full bridge boost converter

P	1[kw]
v_{fc} (input)	24[v]
v_{fb} (output)	350[v]
f_{sw}	200k[Hz]
Isolated winding ratio	1 : 15

표 3. 60[Hz] PWM인버터의 시스템 파라미터
Table 3. System parameters of 60[Hz] PWM inverter

P	1[kw]
v_{fb} (input)	350[v]
v_s (output)	220[v](rms)
f_{sw}	20k[Hz]
L_f	7[mH]
C_f	1000[uF]

그림 13과 그림 14는 0.5~7[A]범위를 갖는 i_{fc} 에 대하여 v_{fc} 가 20~40[v]범위로 변동되는 경우의 전압-전류-전력(V-I-P)을 측정된 결과를 나타내고 있다. 측정된 V-I-P곡선은 Ballard NEXA(1.2[kw])의 V-I-P특성과 유사함을 알 수 있다. i_{fc} 의 전 부하 전류인 70[A]까지 견디는 부하저항과 0~70[A]까지 균등하게 변화시킬 가변 저항을 실험실 수준에서 구현하기 어렵기 때문에, 본 연구에서는 전 부하 전류의 10[%]범위 내에서 부하변동을 균등하게 할 수 있는 전자부하(전 부하 전류의 10[%] 용량)를 사용하였다.

따라서 전 부하 전류 조건을 갖는 그림 8과 그림 9의 시뮬레이션 결과와는 다르게 실험 결과의 연료 전지 부하전류는 0.5~7[A]범위에 있다. 만약 0.5~7[A]범위의 전자부하에 의하여 실험을 시뮬레이션과 동일 조건하에서 수행하게 되면, 0.5~7[A]범위에서 실측된 전압변동은 40[v]부근의 초기전압 부근에서만 나타나게 되므로 전류변화에 대한 전압변동을 그래프 상으로 표현하기 어렵게 된다. 이를 해결하기 위하여, 전 부하 전류 범위에서 발생하는 부하전압 변동(약 40~20[v]범위)을 전 부하 전류의 10[%]

인 0~7[A]범위 내에서 발생하도록 DSP C-프로그램을 수정하였다.

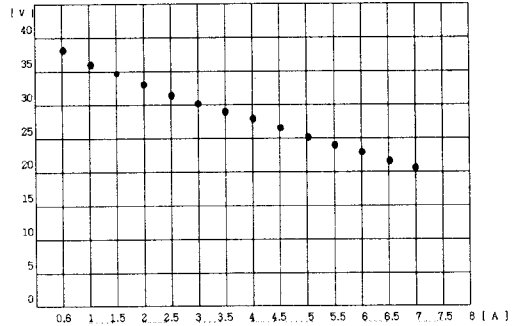


그림 13. 측정된 V-I 곡선(20~40(v))
Fig. 13. Measured V-I curve(20~40(v))

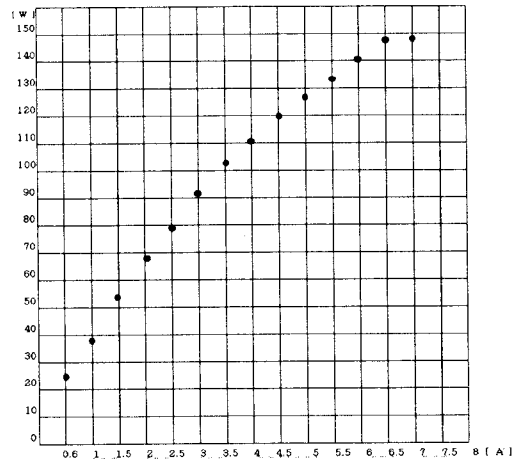
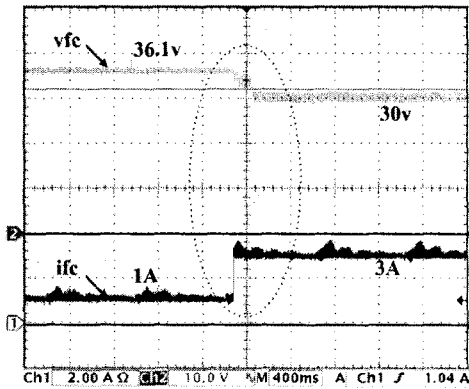
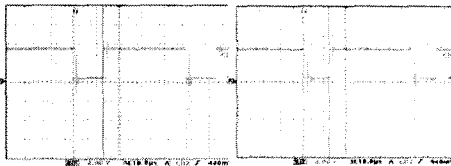


그림 14. 측정된 I-P 곡선(20~40(v))
Fig. 14. Measured I-P curve (20~40(v))

그림 15는 $i_{fc}=1[A] \rightarrow 3[A]$ 급증한 경우에 대한 v_{fc} 의 응답특성을 실험 한 결과로서 그림 9에서의 PSIM시뮬레이션의 결과와 유사함을 알 수 있다. 본 연구에서는 회로 시스템적 관점에서 전류만을 연료 전지 응답에 영향을 주는 변수로 고려하였기 때문에, 출력전압의 지연은 크게 발생하지 않는다. 그러나 실제의 경우에는 연료전지 스택의 전기화학적, 열화학적 특성이 늦기 때문에 바람직할 정도로 신속하게 과도상태에 대응할 수 없다. 이러한 문제는 배터리 저장장치나 슈퍼 캐패시터와 같은 전력저장장치에 의하여 해결 가능하다.



(a) v_{fc} and i_{fc}



D=0.268 D=0.232
(b) duty ratio(D)

그림 15. 300(%) 전류(i_{fc})증가에 대한 전압(v_{fc}) 응답특성
Fig. 15. Voltage response characteristics for 300(%) current increase

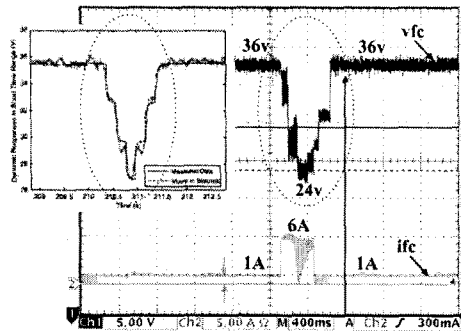


그림 16. $i_{fc}=1[A] \rightarrow 6[A] \rightarrow 1[A]$ 변화에 대한 전압(v_{fc})의 동 특성
Fig. 16. Dynamic response of v_{fc} for $i_{fc}=1[A] \rightarrow 6[A] \rightarrow 1[A]$ variations

그림 16은 $i_{fc}=1[A] \rightarrow 6[A] \rightarrow 1[A]$ 로 3단계로 급변하는 경우에 대한 v_{fc} 의 응답특성을 나타내고 있다. 그림 16의 좌측 파형은 실제 연료전지의 3단계 i_{fc}

$=1[A] \rightarrow 6[A] \rightarrow 1[A]$ 변동에 대한 v_{fc} 의 응답특성이며, 배경 화면은 본 연구에서 구현된 시뮬레이터의 v_{fc} 의 응답특성 결과를 나타낸 것이다. 두 결과로부터 구현된 시스템은 실제 연료전지와 비슷한 전압응답 특성을 보이고 있다.

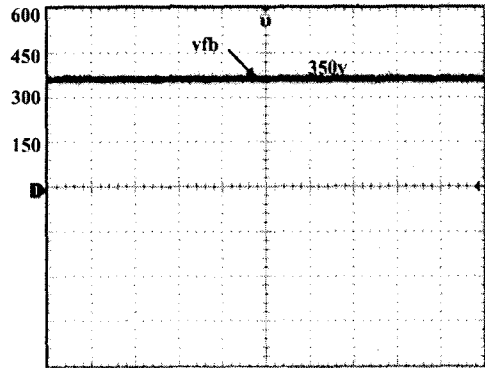
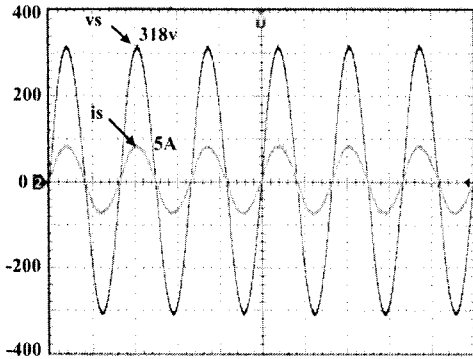


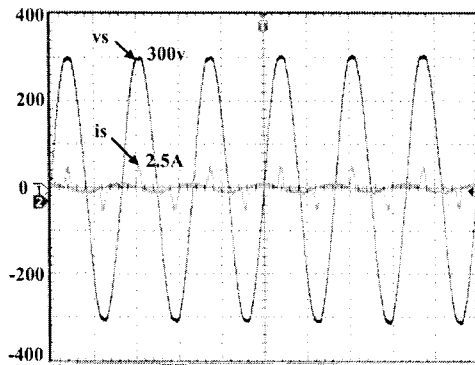
그림 17. 풀 브리지 직류 컨버터의 출력 전압 v_{fb}
Fig. 17. Output voltage v_{fb} of a full bridge dc converter

그림 17과 그림 18은 $v_{fc}=20 \sim 40[V]$ 범위의 연료전지 특성을 전력 컨버터를 이용하여 전력 변환한 결과이다. 풀 브리지 부스트 직류 컨버터로 입력되는 24[V]를 $v_{fb}=350[V]$ 로 부스트하여 출력하고 있다. 그림 17은 풀 브리지 부스트 직류 컨버터의 출력전압 $v_{fb}=350[V]$ 을 60[Hz] PWM인버터의 입력으로 하여 교류전압 v_s 와 교류전류 i_s 를 부하의 종류에 따라 나타낸 결과이다.

우선 그림 18 (a)는 저항 부하에 대한 결과이며 직류단의 스위칭의 영향으로 인해 전류파형에는 약간의 노이즈가 있다. 그림 18 (b)는 다이오드 정류기를 부하로 연결한 경우에 대한 실측파형이다. 저항 부하의 경우 $v_s=318[V]$ (실효치 220[V])와 i_s 는 완전한 정현파를 보이고 있으나 비선형 부하조건에 대한 v_s 는 약간 왜형되어 있으며 최대치는 300[V](실효치 210[V])이다. 비선형 부하의 경우, 전압파형에 약간의 전압강하가 발생되는데, 이는 비선형 부하에 함유된 고조파 전류로 인해 발생한 전압강하가 그 원인이라 생각된다.



(a) R-load



(b) nonlinear diode load

그림 18. 정상상태에서의 v_s 와 i_s

Fig. 18. v_s and i_s in steady state

5. 결 론

본 연구에서는 PEMFC(고분자 전해질막 연료전지)를 모의할 수 있는 연료전지 하드웨어 시뮬레이터에 의하여 60[Hz] 정현파 교류전압을 얻을 수 있는 단상 연료전지 발전장치를 구현하였다. 구현된 장치는 PEMFC를 모의할 수 있는 벽 직류 컨버터, 절연형 풀 브리지 부스트 직류 컨버터, 60[Hz] PWM 인버터로 구성하였다. 먼저 본 시스템의 PSIM 모델을 설정하였으며 부하의 종류에 대한 교류전압과 전류에 대하여 고찰하였다. 연료전지의 출력전압에 영향을 주는 반응온도 및 실온온도, 양극과 음극 압력, 상대습도는 간단한 회로 시스템적 접근을 위하여 본 연구에서는 고려하지 않았으며, 오직 부하전류 변동만을 고려하여 시뮬레이터를 구현하였다. 부하전류

와 출력전압과의 관계는 연료전지 V-I곡선중의 ohmic영역에서 1차함수로 근사화하였으며, 이 함수에 의하여 PEMFC 하드웨어 시뮬레이터로 동작하는 벽 직류 컨버터를 제어하였다. 전류 변화에 따른 연료전지 출력전압과 듀티비 연산은 DSP2812에 의해 제어되었다.

부하전류에 대한 출력전압 20~40[V]범위의 연료전지 특성을 살펴보았으며, Ballard NEXA(1.2[kw])의 실제 특성과 유사함을 비교하였다. 구현된 연료전지 하드웨어 시뮬레이터의 유용성을 검증하기 위하여 절연형 풀 브리지 부스트 직류 컨버터와 PWM 인버터로 구성된 전력변환기에 의하여 60[Hz] 220[V]정현파 교류전압을 발생하였다. 이 전력변환기에 저항부하와 비선형 다이오드 부하를 연결해 본 결과, 구현된 시스템이 연료전지 발전장치로서의 기능을 잘 발휘함을 알 수 있었다

References

- [1] S. Chakraborty, M.G. Simoes, "Advanced active filtering in a single phase high frequency ac microgrid", in Conf. Rec. of IEEE PESC'06, 2006, pp.191-197.
- [2] S. Pasricha, M. Keppler, S.R. Shaw, and M.H. Nehrir, "Comparison and identification of static electrical terminal fuel cell models", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.22, no.3, pp.746-754, 2007.
- [3] 최상열, 박지웅, 이종주, "연료전지 발전시스템의 PSCAD/ EMTDC모델링 및 계통연계에 따른 전력신호 분석에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제22권 제5호, pp.21-30, 2008.
- [4] P.J.H. Wingelaar, J.L. Duarte, and M.A.M. Hendrix, "Dynamic characteristics of PEM fuel cells", in Conf. Rec. of IEEE PESC'05, 2005, pp.1635-1641.
- [5] Y.R. de Novaes, R.R. Zepelini, and I. Barbi, "Design considerations of a long term single-phase uninterruptible power supply based on fuel cells", in Conf. Rec. of IEEE PESC'05, 2005, pp.1628-1634.
- [6] C.J. Hatziaodiu, A.A. Lobo, F. Pourboghra, and M. Daneshoost, "A simplified dynamic model of grid-connected fuel-cell generators", IEEE Trans. Power Delivery, vol.17, no.2, pp.467-473, 2002.
- [7] S.J. Son, G.G. Park, C.S. Kim, "The analysis of operating characteristics in a 600w air-cooling portable PEMFC", Fuel Cell Science -Engineering and Technology'04, 2004, pp.239-241.
- [8] W.K. Na, B. Gou, and B. Diong, "Nonlinear control of PEM fuel cells by exact linearization", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.43, no.6, pp.1426-1433, 2007.
- [9] F. Grasser and A. Rufer, "A fully analytical PEM fuel cell system model for control applications", IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.43, no.6, pp.1499-1506, 2007.

DSP기반 연료전지 하드웨어 시뮬레이터 구현

- [10] S. Pasricha, and S.R. Shaw, "A dynamic PEM fuel cell model", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.21, no.2, pp.484-490, 2006.
- [11] 최우진, "양자 교환막형 연료전지의 등가임피던스 모델을 이용한 인버터에 의한 맥동전류의 영향에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 논문지 제18권 제6호, pp.230-237, 2004.
- [12] W.J. Choi, "New approaches to improve the performance of the PEM based fuel cell power systems", ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Texas A & M University, August 2004.
- [13] The houston advanced research center (www.harc.edu/fuelcell), "Ballard Nexa ® RM INTERIM SYSTEM performance report", (Technical bulletin: TB-06-001), August 2004.

◇ 저자소개 ◇

엄준현 (嚴俊鉉)

1981년 3월 29일생. 2006년 조선대학교 제어계측공학 졸업. 2008년 8월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).

Tel : (062)530-0852

E-mail : delete47@nate.com

임영철 (任永徹)

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1977년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 호주 모나시대학교 Visiting Scholar. 1998~2007년 산업자원부 지정 전남대학교 고품질 전기전자부품 및 시스템 연구센터 소장. 현재 전남대학교 전기공학과 교수.

Tel : (062)530-1743

E-mail : yclim@chonnam.ac.kr

정영국 (鄭榮國)

1963년 11월 10일생. 1986년 전남대학교 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 대불대학교 융합기술학부 부교수.

Tel : (061)469-1263

Fax : (061)469-1299

E-mail : jyng@mail.daebul.ac.kr