

마이크로프로세서에 의해 제어되는 독립형 연료전지용 전력변환 회로 설계

(Stand alone type Fuel Cell generation system controlled by micro-processor)

이원철*, 이태원, 장수진, 김진태, 문승필, 원충연,
(Won-chul Lee · Tae-won Lee · Su-jin Jang · Jin-tae Kim · Seung-phil Moon · Chung-Yuen Won)

Abstract

Recently, a fuel cell is remarkable for new generation system. The fuel cell generation system converts the chemical energy of a fuel directly into electrical energy. The fuel cell generation is characterized by low voltage and high current. For connecting to general load, it needs both a step up converter and an inverter. The step up converter makes DC to DC and the inverter changes DC to AC.

In this paper, full bridge converter and the single phase inverter are designed and installed for fuel cell. Simulation and experimental results are displayed under several load conditions.

1. 서론

오늘날 인구의 증가와 산업의 고도화로 인해 전력 수요가 날로 증가하고 있다. 이에 따라 발전 설비의 건설이 필요하지만 지역주민의 반대로 부지선정의 어려움을 겪으면서 설비의 확충에 문제점을 가지고 있다.

이에 따라 다양한 에너지 자원의 효율적 활용 및 고품질의 전력을 공급하기 위한 방법으로 태양광 발전, 연료전지 발전, 열병합 발전, 풍력 발전 등의 분산형 발전에 대한 연구가 관심을 받고 있다.

연료전지는 다양한 연료를 사용할 수 있고, 저공해 특성을 가지고 있으며, 부하가 밀집된 대도시 혹은 변전소에 분산 설치가 용이 하여 송전 손실을 줄일 수 있고, 또 운전 중에 발생하는 열을 이용하여 열병합 발전이 가능하여 가장 효율적인 차세대 에너지 전원으로 각광 받고 있다.[1]

한전 상용 계통이 사고나 정전 등으로 전력 공급이 중단 되었을 경우, 도서 지역이나 산간지방 등의 전원으로 전력을 공급할 수 있는 독립형 연료전지 발전 시스템에 대해서도 연구되고

있다.[2]

저전압·대전류 발전 특성을 가지는 연료전지를 380[Vdc]로 승압하기 위한 풀 브리지 컨버터를 설계하였다.

연료전지 발전시스템에 적용 가능한 단상 인버터에는 크게 전류형 인버터와 전압형 인버터로 구분할 수 있다. 또한 풀 브리지 인버터와 하프 브리지 인버터, 푸쉬-풀 인버터가 대표적이다.

본 논문에서는 연료전지와 동일한 전기적 출력 특성을 얻을 수 시뮬레이터와 승압형 컨버터 및 적은 소자로 높은 효율을 얻을수 있는 단상 풀 브리지 인버터로 설계하여 제작하였다.

또한 DSP TMS320C31을 이용하여 연료전지 발전 시스템의 안정적이고 효율적인 제어방법을 구현하였다.[3]

2. 연료전지 발전시스템 구성

2-1. 연료전지 발전시스템

연료전지는 연료(수소)의 화학에너지가 전기에너지로 직접 변환되어 직류 전력을 생산하는 능력을

갖는 전지(Cell)로 정의되며, 효율도 다른 발전 시스템에 비해 우수하다. 또한 종래의 전지와 달리 외부에서 연료와 공기를 공급하여 연속적으로 전력을 생산한다.

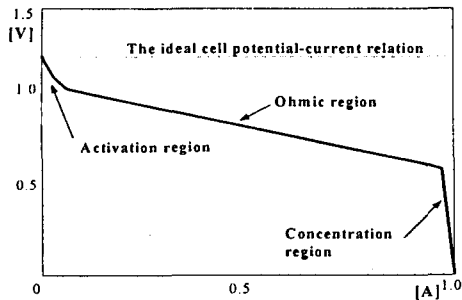


그림 1. 연료 전지 단위 cell의 V-I 특성곡선
Fig 1. V-I characteristic of a unit fuel cell

그림 1은 연료전지 단위셀의 V-I 특성 곡선을 보여 주고 있다. 실제 연료전지 발전시스템에서의 동작영역은 Ohmic 영역으로써 본 연구에서 제작된 시뮬레이터를 Activation 영역과 Ohmic 영역에서 동작할 수 있도록 설계하였다.

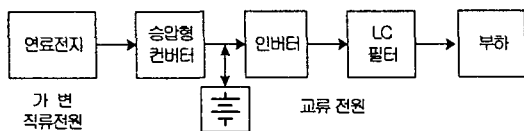


그림 2. 독립형 연료전지 발전시스템의 전력 흐름도
Fig 2. Power flow chart of stand alone fuel cell generation system

그림 2는 연료전지에서 발생된 직류 저전압을 승압하여 가정용에 적합한 단상 교류전압을 얻을 수 있는 독립형 연료전지 발전시스템이다.[4]

2-2. 연료전지 발전시스템 구성

그림 3은 연료전지 발전시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다.

본 논문에서는 가격이 높고 제어가 복잡한 연료전지를 대신하여 동일한 전기적 출력 특성을 갖는 시뮬레이터를 사용하여 시스템을 구성하였다.[3]

연료전지 시뮬레이터는 벡 컨버터로 구성되어

PEMFC(고체고분자형 연료전지)의 특성을 나타내도록 제작 되었다.

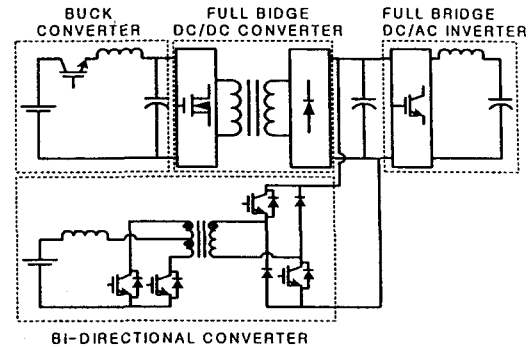


그림 3. 전체 시스템 구성도
Fig 3. The overall system block

연료전지의 출력전압을 승압하기 위한 풀 브리지 DC/DC 컨버터, 상용 부하에 전력을 공급하기 위한 풀 브리지 DC/AC 인버터와 양방향 컨버터로 구성된다.

연료전지 발전시스템을 안정적이고 효율적으로 제어하기 위하여 제어부에는 DSP TMS320C31을 사용하였고 역할은 다음과 같다.[5]

- 연료전지 시뮬레이터의 출력이 실제 연료전지와 동일한 전압-전류 출력특성을 얻을 수 있도록 벡 컨버터 제어
- 인버터 DC link 전압을 380[Vdc] 정전압 제어하기 위한 승압형 풀 브리지 컨버터 제어
- 부하에 220[Vac], 60[Hz]인 교류를 공급하기 위한 인버터의 IGBT 게이트 신호 발생
- 부하변동에 따른 출력전압의 제어
- 전체 시스템의 감시와 보호기능

2-3 마이크로 프로세서에 의한 연료전지 시뮬레이터 구현

그림 4는 연료전지용 시뮬레이터의 제어 블록도를 나타낸다. 출력전압 및 전류를 검출 하여 A/D 컨버터를 통해 DSP(TMS320C31)로 입력되면 연료전지의 V-I 특성 곡선에 해당하는 Reference를 생성하여 D/A컨버터로 출력된다.

검출된 전류가 연료전지의 출력특성 중 Activation 영역에서 Ohmic 영역으로 변환되는 지점의 전류(기준전류) 이하일 경우에는 Activation 모드로 동작하여 일정전압이 출력되도록 제어된다.

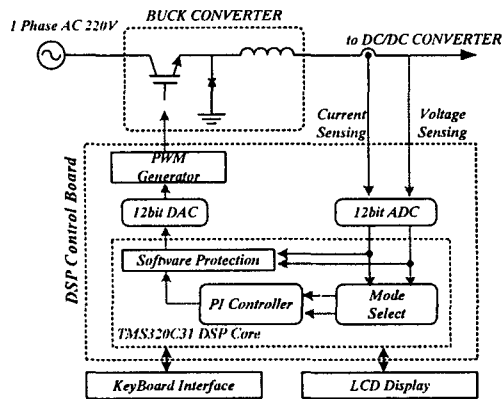


그림 4. 시뮬레이터 디지털 제어 구성도
Fig 4. Digital control of simulator

또한 설정된 기준전류 이상의 경우에는 Ohmic 모드로 동작하도록 제어하게 된다. Ohmic 모드에서는 연료전지의 특성곡선을 1차 함수형태로 간이화한 출력특성을 가지도록 제어한다.

표 1은 연료전지 시뮬레이터의 파라미터에 대한 정격을 나타내고 있다.

표 1. 연료전지 시뮬레이터 파라미터
Table 1. Fuel cell simulator parameters

파라미터	정격
용량	3[kW]
입력 전압	311[Vdc]
스위칭주파수	15[kHz]
출력 전압	39~72[Vdc]
출력 전류	41.6~76.9[A]
출력 인덕턴스(L)	2.2[mH]
출력 커패시턴스(C)	6600[uF]

2-4 마이크로 프로세서에 의한 DC-DC컨버터 구현

그림 5는 승압형 컨버터 제어 블록도를 나타낸다. 연료전지 시뮬레이터의 출력전압은 풀 브리지 DC/DC 컨버터의 입력전압으로 인가되며, DSP 제어

회로에서는 풀 브리지 DC/DC 컨버터의 입력전압과 출력전압을 고속 A/D컨버터를 통하여 검출한다.

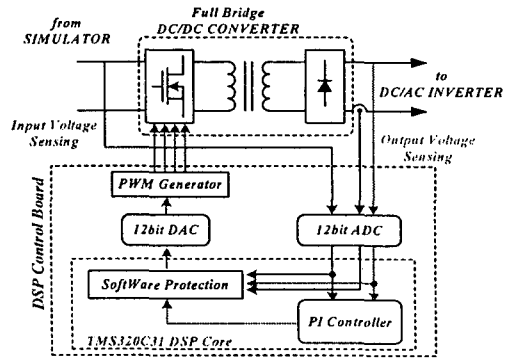


그림 5. 승압형 컨버터 디지털 제어 구성도
Fig 5. Digital control of full bridge converter

검출된 입력전압과 출력전압은 DSP 내부의 연산을 통해 PI 제어기를 거쳐 Power MOSFET 소자로 구성된 브리지에 인가되는 게이트 신호를 발생한다.

이렇게 변환된 전압은 다시 고주파 변압기의 턴 수비에 의해 승압하는 형태로 출력전압을 얻도록 제어하고 있다.

소프트웨어에는 컨버터의 입력 및 출력을 검출하여 과전압, 과전류에 대한 보호 기능이 추가 되어 시스템의 안정적인 운전이 가능하도록 하였다.

입력전압, 출력전압 및 출력전류의 검출은 풀 브리지 DC/DC 컨버터의 제어주기 내에 여러 번 검출 후 평균화 하는 기법을 이용하여 좀더 안정적인 검출이 가능하도록 하였다.

표 2. 풀 브리지 컨버터 파라미터
Table 2. Full bridge converter parameters

파라미터	정격
용량	3[kW]
입력 전압	39~72[Vdc]
스위칭주파수	17[kHz]
변압기 권수비(n1:n2)	1:13
출력 전압	380[Vdc]
출력 전류	7.5[A]
출력 인덕턴스(L)	2.5[mH]
출력 커패시턴스(C)	1100[uF]

표 2는 풀 브리지 컨버터의 파라미터에 대한 정격

을 나타내고 있다.

2-5 양방향 컨버터

그림 6에서의 양방향 전력 수수가 가능한 컨버터는 인버터의 입력에 DC/DC 컨버터와 병렬로 연결된다. 연료전지의 응답특성이 상당히 느리기 때문에 부하의 급격한 증가에 대해서 연료전지의 출력 전력과 부하의 요구량의 차이만큼 전력을 순간적으로 방전시켜 연료전지의 느린 응답 특성을 보완하게 되는 것이다.

본 논문에서는 입력 9~72[Vdc]로 출력 전압 380[Vdc] 낼 수 있는 컨버터 기능과 충전 기능을 낼 수 있는 양방향 전력변환 장치를 구성 하였다.

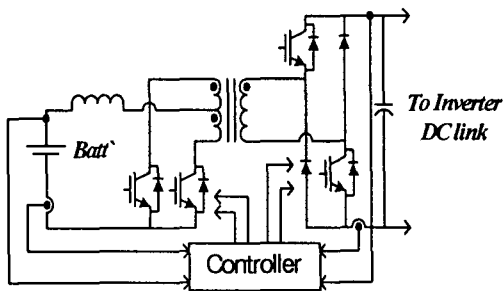


그림 6. 양방향 DC/DC 컨버터 구성도
Fig 6. Block diagram of Bi-directional DC-DC Converter

2-6 풀 브리지 인버터의 제어

풀 브리지 인버터는 풀 브리지 컨버터에 의해 승압된 직류 전압을 단상 교류 전압으로 변환시키는 장치이다.

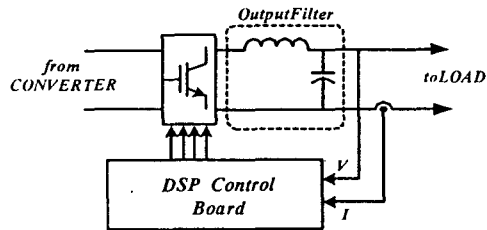


그림 7. 인버터 디지털 제어 구성도
Fig 7. Digital control of inverter

2-4절의 승압용 컨버터의 출력전압 즉, 풀 브리지 인버터의 입력전압은 연료전지 출력 전압 변동과는 무관하게 일정전압을 유지한다.

그림 7은 풀 브리지 인버터 구성도를 나타내고 있으며, 표 3은 풀 브리지 인버터의 파라미터이다.

표 3. 인버터 파라미터
Table 3. Inverter parameters

파라미터	값
용량	3 [kW]
입력 전압	380 [Vdc]
출력 전압	220 [Vac]
스위칭 주파수	4.5 [kHz]
출력 인덕턴스(L)	900 [μ H]
출력 커패시턴스(C)	20 [μ F]

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

3.1 시뮬레이션

그림 8은 연료전지 발전시스템 전체 시뮬레이션 회로를 나타내고 있다. 시뮬레이터 부분과 컨버터 및 인버터의 제어기 회로는 subcircuit을 이용하여 구성 하였다.

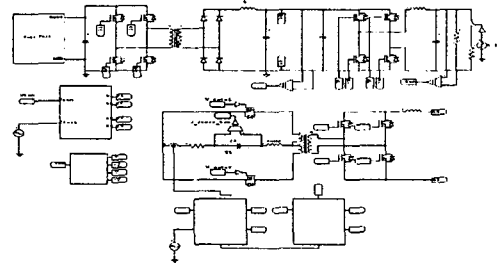


그림 8. 연료전지 발전시스템 회로
Fig 8. Fuel cell generation system

그림 9는 3[kW] 저항 부하를 연결하였을 경우의 풀 브리지 컨버터의 변압기 1차측 권선전압, 정류다이오드 양단 전압, 인덕터 전류의 파형을 보여주고 있다.

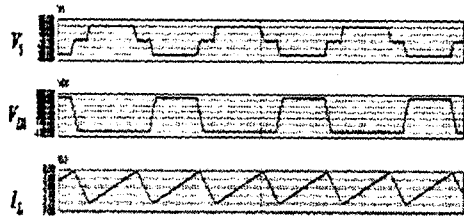


그림 9. DC/DC 컨버터 출력 파형
Fig 9. DC/DC Converter output waveforms

그림 10은 단상 풀 브리지 인버터의 시뮬레이션 출력 파형을 나타낸다. 출력 전압이 220[Vac], 60[Hz]로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

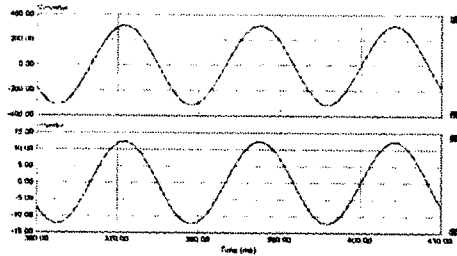


그림 10. 인버터 출력 전압 및 출력 전류
Fig 10. Inverter output voltage and current

그림 11은 970[W]에서 1.94[kW]로 부하 변동시 인버터 DC Link 전압, 인버터 출력 전류, 양방향 컨버터 출력 전류를 나타내고 있다. 부하의 급격한 증가에 대하여 출력전력과 부하 요구량의 차만큼 양방향 컨버터에서 발전함을 확인할 수 있다.

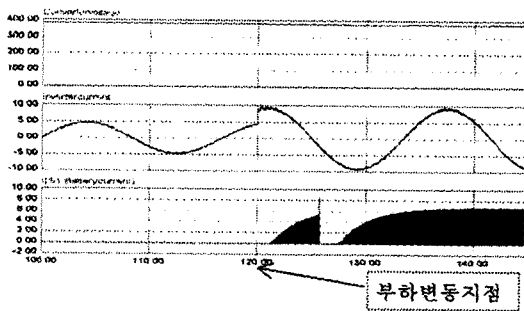


그림 11. 양방향 컨버터의 출력 파형
Fig 11. Bi-directional converter output waveforms

3.2 실험 결과

본 논문에서 제안한 전력변환장치의 타당성을 실험을 통해 검증하였다.

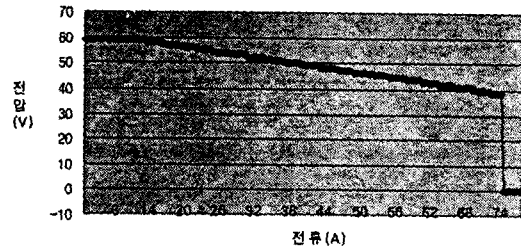


그림 12. 연료전지 시뮬레이터 V-I곡선
Fig 12. V-I Characteristic of fuel cell simulator

그림 12는 실험을 통하여 측정된 연료전지 시뮬레이터의 V-I 특성곡선을 나타낸다.

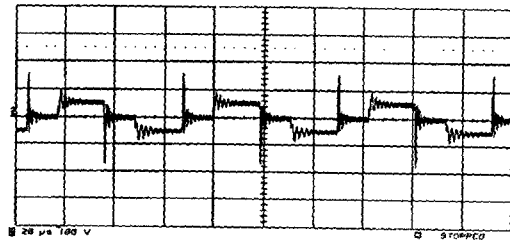


그림 13. 변압기 1차측 권선에 걸리는 전압
Fig 13. Transformer primary winding voltage (100V/div, 20μs/div)

그림 13은 연료전지 시뮬레이터의 출력전압을 입력으로 하는 풀 브리지 컨버터의 고주파 변압기 1차측 전압을 나타낸다.

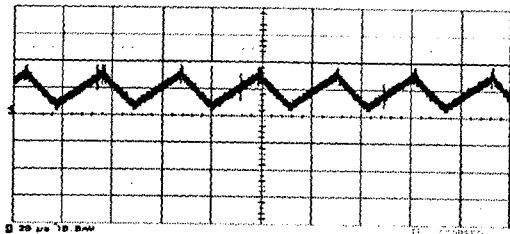


그림 14. 2차측 출력 인덕터전류
Fig 14. Transformer primary winding voltage (5A/div, 20μs/div)

그림 14는 컨버터 출력 인덕터 전류를 나타내고 있다.

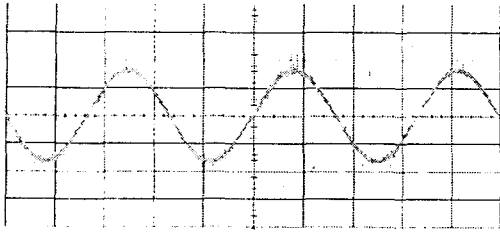


그림 15. 풀 브리지 인버터 출력 전압
Fig 15. Inverter output voltage
(200V/div, 5ms/div)

그림 15는 3[kW] 저항 부하 시 LC필터를 거친 풀 브리지 인버터 출력 전압을 나타내고 있다.

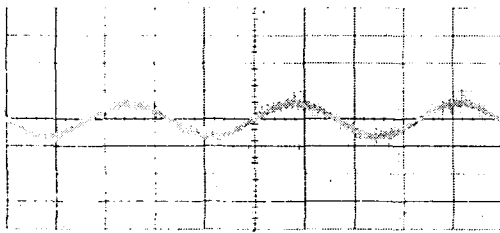


그림 16. 풀 브리지 인버터 출력 전류
Fig 16. Inverter output current
(40A/div, 5ms/div)

그림 16은 3[kW] 저항 부하 시 풀 브리지 인버터 출력 전류를 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 연료전지 대신에 연료전지용 시뮬레이터, 낮은 전압을 승압하는 DC-DC 컨버터, 가정용에 적합한 교류전원으로 변환하는 인버터를 설계하고 제작하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 연료전지와 유사한 특성을 얻기 위해 TMS320C31 DSP 보드와 벡 컨버터를 사용하여 3[kW]급, 직류 39~72[V]의 출력을 갖는 연료전지 시뮬레이터를 구현하였다.
- 2) 부하 급변시 연료전지의 느린 응답을 보상하기 위

해서 양방향 컨버터를 추가하여 시뮬레이션 하였다.

3) 기존의 토폴로지 중에서 부품수가 적고 제어가 쉽고 대용량에 적합하며, 고주파 변압기의 권선비를 이용하여 쉽게 승압이 가능한 DC-DC 풀브리지 컨버터를 설계하고 제작하여 실험하였다.

4) 직류를 교류로 변환하기 위해 풀 브리지 인버터 및 SPWM스위칭 기법을 적용하고 정현파 출력을 위해 L-C필터를 사용하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원사업의 지원에 의해서 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 권형남, 정홍주, 김래영, 최태식, 송중환, "연료전지용 전력변환장치의 DC-DC 컨버터 개발", 추계전력전자학술대회, pp. 94-97, 2002.
- [2] 김용상, 김호용 "연료전지 발전시스템의 배전계통 연계운전시 고장시험에 관한 연구" 전기학회, 전기학회논문지 제 47권, 제 11호, pp. 1812-1816, 1998.
- [3] Yoon-Ho Kim, Snag-sun kim, "An Electrical Modeling and Fuzzy Logic Control of a Fuel Cell Generation System", IEEE, Trans. on Energy Conversion, vol.14, no.2 pp.239-244, June, 1992.
- [4] A. M. Tuckey, J. N. Krese, "A Low-Cost Inverter for Domestic Fuel Cell Applications", PESC 02. 2002 IEEE 33rd Annual, vol.1, pp. 339-346, 2002.
- [5] Nergaard, T.A.; Ferrell, J.F.; Leslie, L.G.; Jih-Sheng Lai "Design Considerations for a 48V Fuel Cell to Split Single Phase Inverter System with Ultracapacitor Energy Storage", Power Electronics Specialists Conference, IEEE, vol. 4, pp. 2007-2012, 2002.