

## 연료 전지 시스템과 전력제어기술

윤병도 김윤호 \*최원범\*

중앙대학교 전기공학과 \*한국가스공사 연구개발원

### Fuel Cells Power Generating System and Power Control Techniques

Yoon, Byung Do, Kim, Yoon Ho, and \*Choi, Won Beom\*

Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University,

\*K.G.C. R&D Center

#### Abstract

Fuel cells power generating system converts the chemical energy of a fuel directly into electrical energy.

The merits of fuel cells power generating system are pollution free and high energy conversion efficiency.

Fuel cells power generating system includes the DC/AC converter.

DC source obtained from stack is converted to the constant AC voltage or current by the inverter.

In this paper, the power control techniques for the fuel cells power generating system are described.

#### 1. 서론

연료전지는 1960년대 우주선 전원용으로 개발하기 시작한 것으로서, 주로 전해질과 작동온도에 따라 분류하고 있으나, 일반적으로 전해질의 종류에 따라서 알카리연료전지, 인산연료전지, 용융탄산염연료전지, 고체전해질연료전지 등으로 구분한다.

연료전지 발전시스템은 연료로부터 수소를 발생시키는 개질기와 전기화학반응으로 직류를 발생시키는 스택 그리고 직류를 교류로 변환시키는 전력변환기로 구성된다.

연료전지의 특징은 연료가 가지고 있는 화학적 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전 방식으로 공해가 없고, 현지에서 설치 가능하여 송·배전 설비 및 손실이 적고, 폐열 회수이용이 가능하다. 따라서 차세대 발전기술로서 주목을 받고 있다. 현재 실용화 단계에까지 도달한 인산연료전지의 단위전지 성능은 0.6-0.7 [V], 210-370 [mA/cm<sup>2</sup>] 이다. 그러므로 연료전지는 저전압, 대전류로서 사용전압이 낮다. 따라서 직류초퍼를 사용, 승압하여 사용가능한 교류가 되게 한다. 연료전지 발전시스템이 운전되어 직류가 발생되기까지 시스템효율은 80-85% 정도로 추정하고 있다<sup>(4)(1)(6)(7)</sup>. 그러므로 전력제어장치에서 고효율이 되어야 전체발전시스템의 부가 가치를 높일 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 국내에서 개발되지 않은 연료

전지발전용 전력제어장치부분을 특성에 맞게 디지털제어 방식을 고안, 실시간처리가 가능하도록 필요에 따라 요소별 기능을 추가시켜 고성능, 고신뢰도에 만족하고자 디지털 제어방식을 제안하였다.

#### 2. 전력 제어 장치

연료전지의 특성상 스택으로부터 저전압, 대전류로 출력된다. 그러므로 제어 장치의 효율을 양호하게 하기위해 고전압으로 해야 한다. 그러므로 전력제어장치부분에서는 (1) 고전압화를 하기위해서는 승압 초퍼를 사용하며 승압된 직류에서 교류로 변환되기전에 능동 필터를 사용하여 교류에서 최대도 양호한 정현파가 되도록하여 기존의 부하에 공급시 장애요인이 발생하지 않도록 한다. (2) 승압 기능을 하는 DC 초퍼부에서는 일정한 전압을 유지시켜 동일한 직류전압을 공급할 수 있어야 하며, 교류측에도 고정된 전력량을 부하에 공급해야 한다. (3) 동시에 제어장치에는 과전류 유입시 혹은 오동작시 자체 보호기능과 경보기능이 있어야 한다.

또한 출력된 전력이 저압일 경우 변압기를 사용해야 하나, 변압기에서 제어장치의 효율을 저하시키므로 변압기를 사용하지 않고 전력을 공급하는 방법이 좋다. 따라서 이와같은 특성을 고려하여 하드웨어 시스템을 구성하였으며, 이에 따라 제안된 순서도는 다음그림 2와 같다.

그림 1은 전력제어 장치의 개요이다.

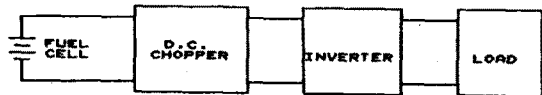


그림 1. 전력 제어 장치의 개요

Fig.1. Schematic Diagram of Power Control System.

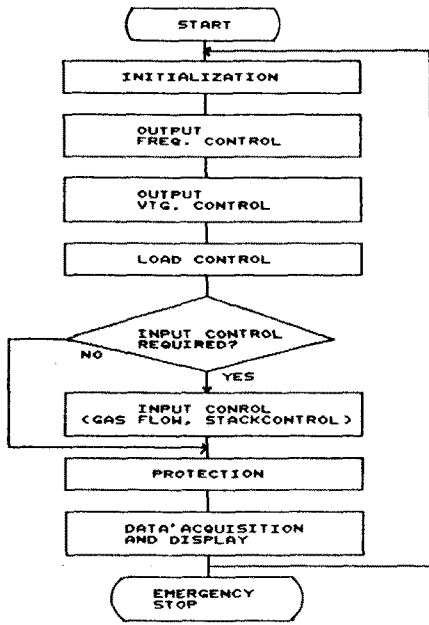


그림 2. 주 흐름도  
Fig.2. Main Flow Chart.

3. 전력 제어 장치의 계통도 구성 및 제어

스택 부분에서 출력된 직류물 교류로 변환시켜 부하에 공급하는 과정에서 인버터의 효율이 우수해야 연료전지 시스템이 경제성이 있다. 그러므로 고효율의 인버터가 되기 위해서는 직류가 교류로 변환되기 전에 고조파가 상당히 제거되어야 하며 또한 인버터 내부에서는 PWM방식을 채택한다[1][2][3]. 시스템 운전에 필요한 부대설비는 중앙 제어장치라 할 수 있는 주 컴퓨터를 중심으로, 계속 및 제어에 관련된 기기, 순간 정전시 시스템 보호를 위한 UPS가 필요하다. 중앙 제어 장치와 계속 제어기기에서는 소모 연료량, 냉각공기의 유량, 온도, 압력, 전압, 전류, 전력량등이 고속으로 측정되며 동시에 제어가 된다.

제어회로부에서는 물리적인량을 감지하여 신호변환기에 의해 직·교류 출력과 부하전력등이 측정, 변화된다. 이것을 신호조정장치에서 받아 적정신호로 조정된 후 A/D변환 과정을 거쳐 중앙제어장치에서 제어 및 기록, 저장한다. 감시회로부에서는 주로 발전설비의 안전을 위해 운전상태를 계속적으로 항상 점검가능하게 설계한다.

감시회로부에서는 운전상태 감시는 모니터 화면을 활용한다. 제어용 소프트웨어에서는 발전중에는 중앙제어 장치에서 제어를 하고, 비상정지시 경보음이 울려야하며, 부하로 공급되는 전원을 차단시킨다. 또한 스택 내부의 잔류 연료와 반응공기를 제거하여 스택이 보호되어야 한다.

비상정지상태에서 정지후, 모든 상황 점검 완료후 다시 기동되어 정상 운전을 할 수 있어야한다. 다음 그림 3은 전력제어 장치의 계통도 구성을 나타내고 있다.

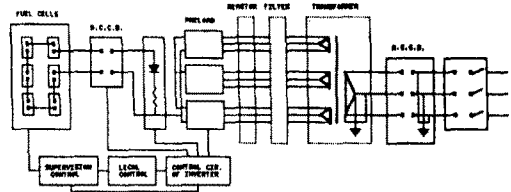


그림 3. 전력제어 장치의 계통도  
Fig.3. Power Control System Diagram.

4. 전력제어 장치의 디지털 제어방식

4.1. 독립형 인버터의 하드 웨어 설계

인버터 제어반 (Inverter Control Board, I.C.B.)는 범용 컴퓨터에 의존하는 종속형 인버터와 독립적인 처리기능을 갖는 독립형 인버터로 분류할 수 있다.

종속형 인버터는 데이터를 범용 컴퓨터로 전송하여 범용 컴퓨터 상에서 각종 처리를 행한후 처리결과를 다시 인버터로 전송하여 표시하는 방식을 취한다. 따라서 인버터의 하드웨어는 간단하게 되지만 취득한 데이터의 전송에 불필요한 시간이 소요되며 처리 수행속도 및 길이 호스트 컴퓨터의 성능에 따라 결정된다.

반면, 독립형 인버터는 내장된 처리 장치를 이용하여 직접 처리를 행한다. 따라서 종속형 인버터와는 달리 데이터의 전송에 소요되는 시간이 없으므로 실시간 응용에 적합하다. 또한 공장 자동화 등의 실제 응용분야에서 범용 컴퓨터를 설치하기 어려운 경우에도 용이하게 설치하여 사용할 수 있다는 장점이 있다.

인버터는 그림 4와같이 전체 시스템의 제어를 담당하는 시스템 제어부와 데이터의 취득 및 표시를 담당하는 입, 출력부 그리고 취득한 데이터에 대하여 각종처리를 수행하는 처리부로 구성된다.

인버터 내의 각기능부간의 통신을 위하여 콘트롤 프로세서인 68000 MPU의 신호체계를 중심으로하여 16메가 바이트의 주소 공간을 액세스하기 위한 어드레스버스와 16비트 데이터 버스, 그리고 콘트롤 신호버스로 구성된 인버터 버스 체계를 고안하고 이를 두개의 96핀 콘넥터를 사용하여 실현하고자한다. I.C.B.는 단일버스 체계를 갖고 있으므로 임의의 순간에 있어서 버스 마스터는 하나뿐이다[5].

그런데 정상시에는 68000 MPU가 버스 마스터이지만 처리요소 (Processing Element, P.E.)나 IBM PC/AT도 버스 마스터가 될 수 있으므로, 이들간에는 버스 사용권의 우선 순위를 정해주어야 한다. I.C.B.에서는 IBM PC/AT, P.E.0, P.E.1, P.E.2의 순으로 우선순위를 정했으며, 이들의 버스 사용요구는 데이지 체인 방식으로 결합하여 버스에 충돌이 발생하지 않도록 하였다.

다음 그림 4는 I.C.B.의 블록 다이어그램이다.

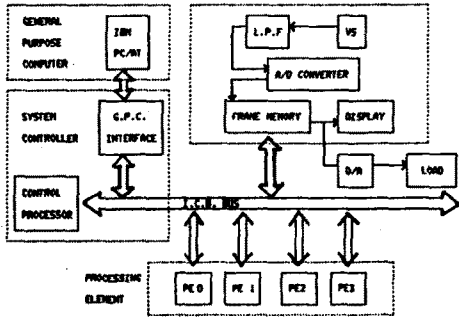


그림 4. I.C.B.의 블록 다이어그램  
Fig.4. Block Diagram of I.C.B..

4.2. 시스템 제어부

시스템 제어부는 그림 5와같이 입출력부, P.E.등의 동작을 제어하는 콘트롤 프로세서 모듈과 범용 컴퓨터와의 인터페이스를 담당하는 범용 컴퓨터 인터페이스 모듈로 구성된다.

1) 콘트롤 프로세서 모듈

본 인버터는 독립형이므로 그림 5와 같이 콘트롤 프로세서 모듈을 구성하여 전체 시스템의 동작을 제어하도록 했다. 그림 5에서 사용된 P.E. 및 I.C.B. 메모리용량등의 시스템 초기화에 필요한 변수를 DIP 스위치로 설정하도록 하였다.

또한 512킬로 바이트의 시스템 메모리를 설치하여 시스템 운용에 필요한 프로그램 및 변수들을 저장하도록 했다. 이 시스템 메모리의 내용은 P.E. 및 범용 컴퓨터가 액세스할 수 있다.

그리고 콘트롤 로직은 특정 P.E.에 처리를 요구하기 위한 인터럽트신호의 발생과 전체 시스템에서의 버스 할당을 담당한다.

다음 그림 5는 콘트롤 프로세서 모듈의 블록 다이어그램이다.

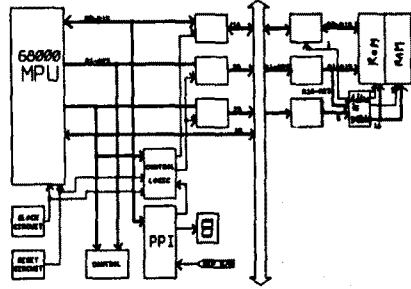


그림 5. 콘트롤 프로세서 모듈의 블록 다이어그램  
Fig.5. Block Diagram of Control Processor Module.

2) 범용 컴퓨터 인터페이스 모듈

범용 컴퓨터 인터페이스 모듈은 그림 6과 같이 구성되며 IBM PC와 데이터 전송의 기능을 갖는다. 본 논문에서는 그림 6의 PPI에 전송할 프로그램 및 데이터 영역의 시작번지를 설정하고, IBM PC가 I.C.B.의 메모리를 액세스하면 어드레스 카운터가 자동적으로 증가하도록 했다. 이런 방법으로 하면 I.C.B.의 16메가 바이트의 어드레스 공간을 지정하기 위한 24비트 어드레스를 일일이 조작할 필요가 없으므로 고속의 데이터 전송이 가능하게 된다.

다음 그림 6은 범용 컴퓨터 인터페이스부의 블록 다이어그램이다.

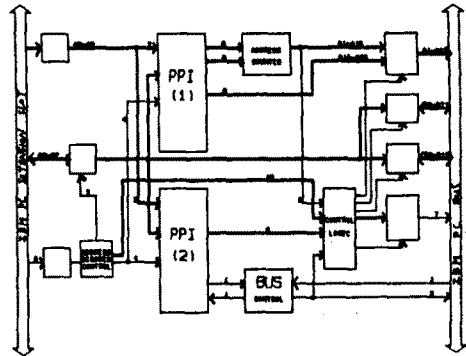


그림 6. 범용 컴퓨터의 인터페이스부의 블록 다이어그램  
Fig.6. Block Diagram of Gen. Purpose Inverter Interface Circuit.

3) 신호 처리부

I.C.B.에서 신호처리 속도를 높이기 위해 고속 DSP인 TMS 320C25를 사용한 P.E.를 최대 4개까지 접속하여 병렬 처리가 가능한 멀티 프로세서 시스템으로 설계했다.

각각의 P.E.는 그림 7과 같이 TMS320C25를 탑재하고 버스 제어부는 각 P.E.의 버스 사용 요구를 데이지 체인 방식으로 결합하여 병렬처리를 해도 버스상의 충돌을 방지하도록했다.

다음 그림 7은 P.E.의 블록 다이어그램이다.

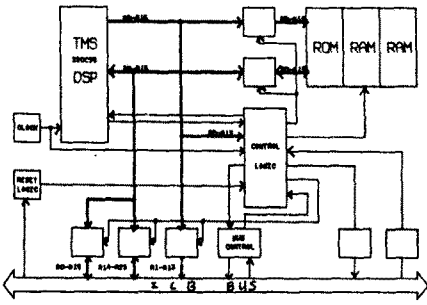


그림 7. P.E.의 블럭다이어그램  
Fig.7. Block Diagram of P.E..

### 5. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전시스템의 효율과 신뢰도를 향상시키고, 동시에 안전하게 운영할 수 있도록 하기 위한 방법으로 디지털 제어 방식을 제안했다.

따라서 P.E.는 68000 MPU와의 통신을 통하여 인버터 출력량을 제어하는데 사용할 수 있으며 P.E.를 용도에 따라 추가 장착함으로써 기능별로 제어가 가능하다.

모든 처리는 실시간 처리가 가능토록 병렬처리방식을 채택했다.

연료 전지발전시스템용 전력제어 장치로서 디지털방식을 더 연구하여 용도에 적합하도록 하는 개선이 필요할 것으로 사료된다.

제안한 회로구성을 토대로 제어장치를 시제작하여 특성 시험을 수행하고, 실제 시스템에 적용할 수 있도록 더욱 보완, 연구하여 성능시험을 할 예정이다.

### 참고문헌

1. TAKAO KAWABATA, "parallel operation of voltage source inverters", IEEE Trans., Vol. 24, No.2, 1988.
2. ROBERT CHAUPRADE, "Inverters for uninterruptible power supplies", IEEE Trans., Vol. IA-13, No.4, 1977.
3. TOSHIMASA HANEYOSHI, "Waveform Compensation of PWM Inverter with Cyclic Fluctuating Loads", IEEE Trans., Vol. 24, No.4, 1988.
4. TSUTOMU TSUKUI, "Study on Fuel Supplying Method and Methanol Concentration Sensor for the High Efficient Operation of Methanol Fuel Cells", 電學論B, 110卷1號, 1990.
5. LANCE A. LEVENTHAL, "68000 Assembly Language Programming", McGraw-Hill International, 1987.
6. 堤 泰行, "磷酸形燃料電池의 特性解析", 電學論B, 109卷4號, 1989.
7. 望月 國春, "發電用大容量燃料電池", 電學論B, 110卷3號, 1990.