

## 전기설비전원용 연료전지 전력제어기에 관한 연구

A study on a Fuel Cells Power Conditioner for Electric Power Source of Electrical Equipment.

윤 병도  
김 윤호  
최 원범\*  
김 춘삼  
김 찬기

중앙대학교 전기공학과  
"  
"  
"  
"

### 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 conditioner for the fuel cells power generating system are described. Some experiments are performed, for the power conversion system. The results show that the implimented experimental system may be applied to the practical fuel cells power generating system.

공해가 없고, 현지에 설치 가능하여 송·배전 설비 및 손실이 적고, 폐열 회수이용이 가능하다. 따라서 차세대 발전기술로서 주목을 받고있다. 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 발생되기까지는 폐열 회수를 포함하여 시스템효율은 80-85%정도로 추정하고있다[4][6][7]. 그러므로 전력 제어장치에서 고효율이 되어야 전체발전시스템의 부가가치를 높일 수 있다.

연료전지 발전용 전력제어기는 실시간처리가 필요하고, 고신뢰도 고성능이어야 한다. 본 논문에서는 이것을 만족시키기 위해 디지털 제어방식을 제안하고 시스템을 구성했다.

### 1. 서론

연료전지는 1960년대 우주선 전원용으로 개발하기 시작한것으로서, 주로 전해질과 작동온도에 따라 분류하고 있으나, 일반적으로 전해질의 종류에 따라서 알카리연료전지, 인산연료전지, 용융탄산염연료전지, 고체전해질연료전지등으로 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

### 2. 전력 제어 장치

연료전지의 특성상 스택으로부터 저전압, 대전류로 출력된다. 그러므로 제어 장치의 효율을 양호하게 하기위해 고전압으로 해야한다. 그러므로 전력제어장치 부분에서는 (1) 고전압화를 하기위해서는 승압 초퍼를 사용하며 승압된 직류에서 교류로 변환되기전에 능동 필터를 사용하여 교류에서 최대의 양호한 정현파가 되도록하여 기존의 부하에 공급시 장애요인이 발생하지 않도록한다. (2) 승압 기능을 하는 DC 초퍼부에서는 일정 전압을 유지시켜 동일한 직류전압을

공급할 수 있어야하며, 교류측에도 고정된 전력량을 부하에 공급해야한다. (3) 동시에 제어장치에는 과전류 유입시 혹은 오동작시 자체 보호기능과 경보기능이 있어야한다.

또한 출력된 전력이 저압일 경우 변압기를 사용해야하나, 변압기에서 제어장치의 효율을 저하시키므로 변압기를 사용하지않고 전력을 공급하는 방법이 좋다. 따라서 이와같은 특성을 고려하여 하드웨어 시스템을 구성하였으며, 이에 따라 제안된 순서도는 다음 그림 3과 같다.

그림 1은 연료전지 발전시스템 제어도이며, 그림.2는 전력제어 장치의 개요이다.

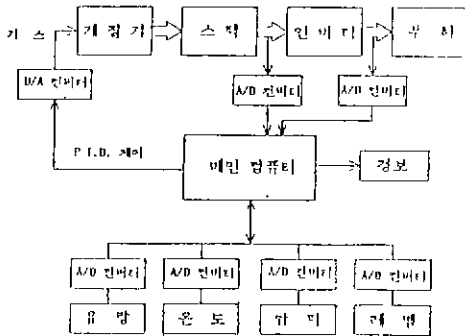


그림1. 연료전지 발전 시스템 블럭선도

Fig.1. Block Diagram of Fuel Power Generating System

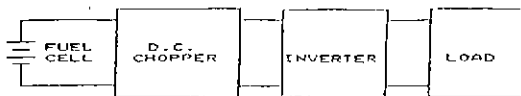


그림 2. 전력 제어 장치의 개요

Fig.2. Schematic Diagram of Power Control System.

### 3. 전력 제어 장치의 계통도 구성 및 제어

스택 부분에서 출력된 직류를 교류로 변환시켜 부하에 공급하는 과정에서 인버터의 효율이 우수해야 연료전지 시스템이 경제성이 있다. 그러므로 고효율의 인버터가 되기 위해서는 직류가 교류로 변환되기전에 고조파가 상당히 제거되어야 하며 또한 인버터 내부에서는 PWM방식을 채택한다[1][2][3]. 시스템 운전

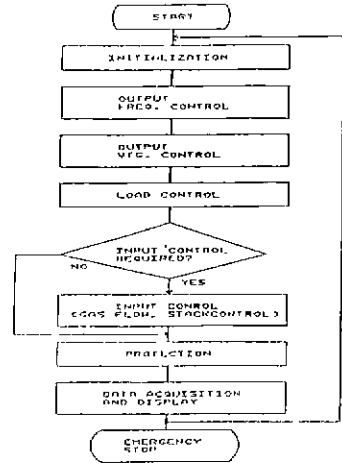


그림 3. 주 흐름도

Fig.3. Main Flow Chart.

에 필요한 부대설비는 중앙 제어장치라 할 수 있는 주 컴퓨터를 중심으로, 계측 및 제어에 관련된 기기, 순간 정전시 시스템 보호를 위한 UPS가 필요하다. 중앙 제어 장치와 계측 제어기기에서는 소요 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/D변환과정을 거쳐 중앙제어장치에서 제어 및 기록, 저장한다. 감시회로부에서는 주로 발전설비의 안전을 위해 운전상태를 계측량으로 항상 점검가능하게 설계한다.

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

비상정지상태에서 정지후, 모든 상황 점검 완료후 다시 기동되어 정상운전을 할 수 있어야한다. 다음 그림 4는 전력제어 장치의 계통도 구성을 나타내고 있다.

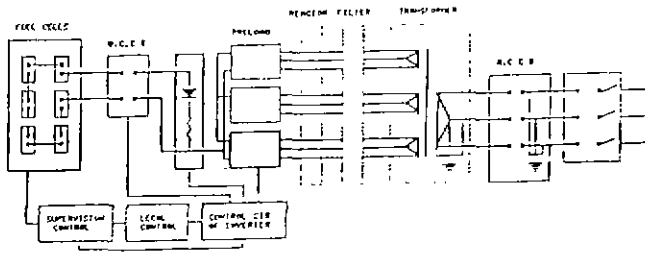


그림 4. 전력제어 장치의 계통도  
Fig. 4. Power Control System Diagram.

#### 4. 전력제어 장치의 디지털 제어방식

##### 4.1. 독립형 인버터의 하드 웨어 설계

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

중속형 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 질이 호스트 컴퓨터의 성능에 따라 결정된다.

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

인버터는 그림 5와같이 전체 시스템의 제어를 담당하는 시스템 제어부와 데이터의 취득및 표시를 담당하는 입, 출력부 그리고 취득한 데이터에 대하여 각종 처리를 수행하는 처리부로 구성된다.

인버터 내의 각기능부간의 통신을 위하여 콘트롤 프로세서인 68000 MPU의 신호체계를 중심으로하여 16MB의 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 5는 I.C.B.의 블럭도이다.

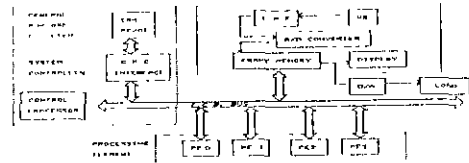


그림 5. I.C.B.의 블럭도  
Fig. 5. Block Diagram of I.C.B.

##### 4.2. 시스템 제어부

시스템 제어부는 그림 6과같이 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 6과 같이 콘트롤 프로세서 모듈을 구성하여 전체 시스템의 동작을 제어하도록했다. 그림 6에서 7세그먼트는 시스템의 동

작모드나 시스템 에러등의 상태를 표시하기위한것이며, 사용된 P.E. 및 I.C.B. 메모리용량등의 시스템 초기화에 필요한 변수를 DIP 스위치로 설정하도록 하였다.

또한 512 KB의 시스템 메모리를 설치하여 시스템 운용에 필요한 프로그램 및 변수들을 저장하도록 했다. 이 시스템 메모리의 내용은 P.E. 및 범용 컴퓨터가 액세스 할 수 있다.

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

다음 그림 6은 콘트롤 프로세서 모듈의 블럭도이다.

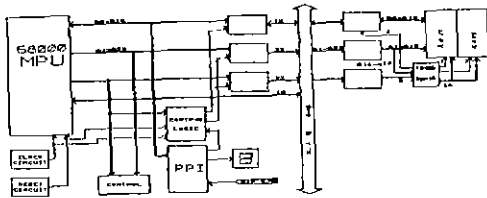


그림 6. 콘트롤 프로세서 모듈의 블럭도  
Fig. 6. Block Diagram of Control Processor Module.

2) 범용 컴퓨터 인터페이스 모듈

범용 컴퓨터 인터페이스 모듈은 그림 7과 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 16 MB의 어드레스 공간을 지정하기 위한 24비트 어드레스를 일일이 조작할 필요가 없으므로 고속의 데이터 전송이 가능하게 된다.

다음 그림 7은 범용 컴퓨터 인터페이스부의 블럭도이다.

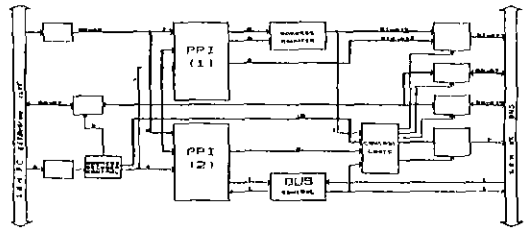


그림 7. 범용 컴퓨터의 인터페이스부의 블럭도  
Fig. 7. Block Diagram of Gen. Purpose Inverter Interface Circuit.

3) 신호 처리부

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

각각의 P.E.는 그림 8과 같이 TMS320C25를 탑재하고 버스제어부는 각 P.E.의 버스 사용 요구를 데이터 체인 방식으로 결합하여 병렬처리를 해도 버스상의 충돌을 방지하도록했다.

다음 그림 8은 P.E.의 블럭도이다.

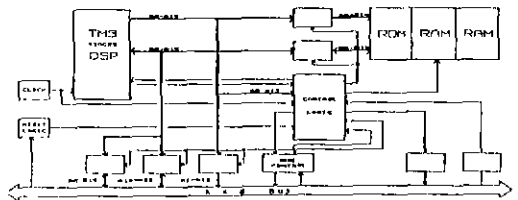


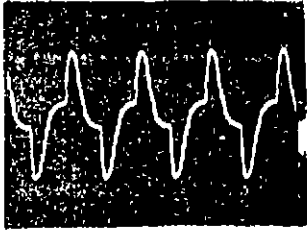
그림 8. P.E.의 블럭도  
Fig. 8. Block Diagram of P.E.

5. 실험 및 결과

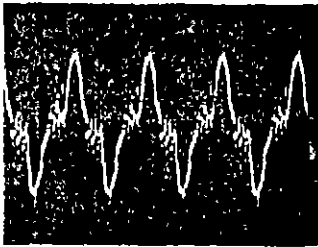
본 논문에서는 실시간 처리를 하기위해서 Turbo C TMS320C25 어셈블러와 68000 MPU 어셈블러 프로그램으로 제어 할 예정이었으나, 제어 프로그램의 일부 미완성으로 본 실험에서는 하드웨어의 아나로그 파형을 측정했다. 실험은 P.I.D 제어 프로그램으로 가스공급량을 제어하여 Const.Volt.을 유지시켜야 하나 본

실험에서는 여건상 가스 대신 인버터에 유입되는 전력량을 제어하여 전압 강하가 없음을 알 수 있었다. 부하로 사용한 모터사양은

220(V), 1/2(HP), 60(HZ)이다. 다음 그림은 9(a)는 무부하시의 파형이며, (b)는 전부하시를 측정된파형이다.



a) 무부하



b) 전부하

그림 9. 부하에 따른 전압파형  
Fig. 9. Voltage Waveform of Load

실험결과 전부하시에도 전압 변동 없이 Const.Volt 을 유지함을 확인할수있었으며, 연료전지 발전시스템의 특성상 상용주파수 60(Hz)에서 파형을 측정할결과 노이즈가 다소 포함되었으나 필터 부분을 보완하면 더욱 양호 한 파형을 얻을수 있을것으로 사료된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전 시스템의 연계기술의 일환으로서 효율과 신뢰도를 향상시키고, 동시에 안전하게 운영할 수 있도록 하기 위한 방법으로

디지털 제어 방식을 제안 고찰하였다. 따라서 처리요소는 68000 MPU와의 통신을 통하여 인버터 출력량을 제어하는데 사용할 수 있으며, 처리요소를 용도에 따라 추가 장착하므로써 기능별로 제어가 가능하다. 본 실험에서는 제어 프로그램의 미완성으로 인버터를 중심으로 한 전력회로를 연결하여 실제의 연료전지 발전시스템의 특성에 맞게 동작하는 것을 실험을 통해 고찰해 보았다. 본 논문의 취지대로 실시간 처리에는 미흡했으나, 노이즈가 다소 포함된, 비교적 우수한 파형을 얻었다. 연료전지 발전시스템용 전력제어 장치로서 디지털 방식을 더 연구하여 용도에 적합하도록 하는 개선이 필요할 것으로 사료된다. 제안한 회로 구성을 토대로 제어장치 및 제어프로그램을 완성하여 특성 시험을 수행하고, 더욱 보완 연구하면 실제 시스템에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 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. 提 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용大容量燃料電池", 電學論B, 110卷3號, 1990.