

## 1kW급 보조전원용 연료전지 시스템 개발

한세영, 최동민, 신범수, 심재휘, 이호준  
(주)효성 중공업연구소

## Development of 1kW Class Fuel Cell System for Auxiliary Power

Se-young Han, Dong-min Choi, Bum-su Shin, Ho-jun Lee  
Power & Industrial R&D Center, Hyosung Corp.

**Abstract** - 본 연구에서는 고분자전해질연료전지(PEFC)를 이용하여 보조전원용으로 사용할 수 있는 계통연계 연료전지 시스템을 개발하였다. 또한 본 연구에서는 DSP(Digital Signal Processor)를 이용한 계통연계형 전력변환장치(PCS, Power Conditioning System)와 시스템 제어기의 개발도 병행하여 수행되었다. 개발된 1kW급 보조전원용 연료전지 시스템은 다양한 조건에서의 스택 성능 실험 및 BOP 연계 시험을 통해 최적의 운전점을 도출할 수 있었으며, PID(Proportional, Integral, Differential) 운전제어 방식을 통하여 시스템의 안정적인 운전 특성을 확보하였다. 향후 본 시스템은 계통연계용은 물론 독립전원용으로도 사용이 가능할 수 있도록 전력변환장치를 설계하여 적용할 예정이다.

## 1. 서 론

연료전지는 무공해 청정에너지원이라는 장점을 지님과 동시에 폐열 이용을 통하여 전체 에너지 효율의 향상을 도모할 수 있기 때문에 신재생에너지원의 선두주자로 부상하고 있다. 환경적인 측면을 검토해 보면 NOx, SOx 등을 거의 발생시키지 않아 환경보호에 공헌함으로써 본격 도입이 기대되고 있는 기술이다.

특히 여러 연료전지 중 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Fuel Cell)는 전해질로 액체를 사용하지 않고 고분자 막을 사용하는 연료전지이기 때문에 취급이 용이하고, 다른 종류의 연료전지에 비해 부피와 무게가 작고 상온에서 동력밀도가 높으며 시동과 정지가 용이한 장점이 있다. 이러한 특징을 살릴 수 있는 분야로 차세대 자동차의 새로운 동력원, 주택용 전원, 분산전원, 비상전원 및 노트북 컴퓨터의 전원으로서 실용화 가능성이 높아 전세계적으로 개발이 활발하게 진행되고 있다.[1]

기존의 이동형 PEFC 장치는 독립전원형의 전원장치[2],[3]로 개발되었지만 본 연구에서 개발한 시스템은 계통연계형으로 가정 내 순간 전기 부하 발생 시 보조 전원용으로 사용이 가능하도록 하였다. 또한, 본 시스템은 99.99%의 순수 수소를 공급하여 사용하므로 기동 속도가 빠르고 설치 및 이동이 용이한 시스템이다.

## 2. 본 론

## 2.1 시스템 설계

본 시스템은 아래의 Fig 1에서 보는 바와 같이 설계되었으며, 크게 스택과 가습기, 연료공급부, 전력변환부로 나눌 수 있다.

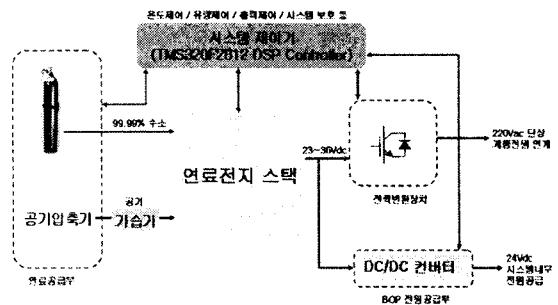


Fig 1. Design of the System

## 2.1.1 스택

본 시스템에 적용하기 위해 설계한 스택은 고성능 촉매와 MEA 기술을 이용하여 활성 면적 100cm<sup>2</sup>에서 충분히 성능을 발휘할 수 있도록 컴팩트하게 설계하였다. 전체 셀의 수는 35개 셀이며, 스택 상부에 냉각을 위한 팬을 설치하여 스택 냉각을 담당하도록 설계하였다.

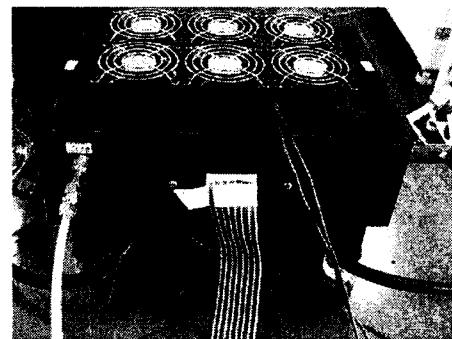


Fig 2. Air-cooled Stack(한국에너지기술연구원)

또한 스택 내부의 적절한 습도 유지를 위해 스택 하부에 Membrane 방식의 가습기를 설치하였으며, 사이즈를 최소화하고 스택과 가습기 사이의 유로 손실을 최소화하기 위해 Cathode 배출구와 가습 공기의 주입구를 스택과 일체화시켜 설계하였다.

## 2.1.2 연료공급부

스택의 Anode로 공급되는 연료는 직접 수소 방식으로 수소 탱크에서 1차 압력 조정기를 통해 25psig로 김압한 후 스택 전단의 2차 압력 조정기를 통해 0.1bar 이하로 조정하여 공급한다. 수소의 순도는 99.99%의 순수 수소를 사용한다.

Cathode로는 공기 압축기를 통해 공기를 공급하게 되

는데 연료전지용 공기 압축기의 선정 및 설계에는 다음에 나열된 바와 같이 몇 가지 고려되어야 할 사항이 있다.

- 구동 모터는 방폭형이어야 한다(BLDC 권장).
- 압축기 윤활 장치로 인한 기름 유출이 없어야 한다.
- 스택 부하에 따라 압력은 유지되면서 토출 유량 제어가 가능하여야 한다.
- 저압에서 비교적 큰 유량을 공급해 주어야 한다.
- 압축기 air-end부의 기계적인 마찰로 인한 먼지 혹은 파티클이 스택에 유입되어서는 안 된다.
- 소비 전력이 적어야 한다.

특히, 방폭 여부에 주의하여야 하는데 이는 만일의 경우 발생할 수 있는 수소 누출로 인한 치명적인 폭발 사고를 미연에 방지하기 위함이다.

### 2.1.3 전력변환부

전력변환부는 연료전지 스택에서 출력되는 직류 전력을 컨버터와 인버터를 통하여 가정에서 상용 전원으로 사용하는 단상 교류 220V로 변환한다. 일반적으로 연료전지의 출력은 직류 저전압, 대전류 형태이므로 그림과 같이 승압형 DC/DC 컨버터를 통해 연료전지 스택의 낮은 출력 전압을 승압시키고, 승압된 직류 전력을 DC/AC 인버터를 통하여 교류 전력으로 변환되어 전력 계통과 연계 제어를 수행한다.

다음의 Fig 3은 전체 전력변환장치 회로와 DSP를 사용한 디지털 제어기의 구성을 나타낸다. 연료전지의 출력과 전력 계통을 절연 분리하기 위하여 고주파 절연 방식을 채택하였으며, Push-pull 방식의 DC/DC 컨버터와 Full-bridge 단상 인버터 방식을 채택하였다.

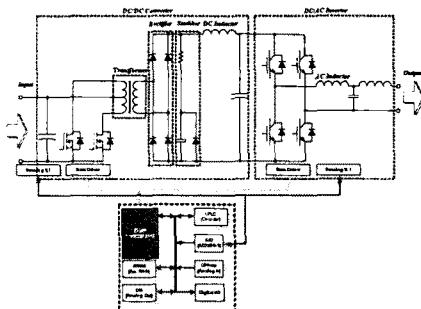


Fig 3. Circuit diagram of PCS

Table 1. Input and Output Spec. of PCS

입력 전압 정격	23 Vdc
입력 전압 범위	21 ~ 34 Vdc
정격 입력 용량	1,100 W
정격 전류	47 A
출력 전압	단상 220Vac 10%
출력 주파수	60 Hz
제어 방식	Digital Control(DSP)

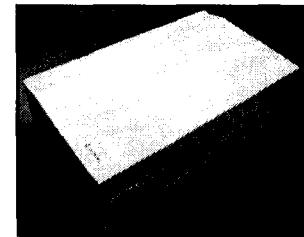


Fig 4. Developed 1kW Class PCS

설계된 전력변환기의 사양은 Table 1과 같이 21~34Vdc 직류 입력을 220Vac 단상 교류로 출력시키며, 최대 정격용량은 1.1kW이다. Fig 4는 설계/제작한 전력변환기의 사진이다.

### 2.1.4 제어부

연료전지시스템의 제어기는 각종 센서를 통하여 취득한 동적 데이터와 각종 BOP의 상태값을 취득하여 주어진 조건에 따라 필요한 신호를 생성하고, BOP를 구동시키는 등 연료전지시스템이 안정적이고 효율적으로 운전될 수 있도록 하는 역할을 담당한다. 또한 주어진 조건의 입력 및 저장을 가능하게 하고, 시스템이 운전 중 검출된 상태의 출력을 가능하게 하는 사용자 인터페이스 기능을 포함한다.[4]

본 시스템의 제어기는 Texas Instrument社의 TMS320F2812 DSP를 이용하여 각종 Data를 처리하는 Main Processor부를 설계하였고, 시스템의 입/출력 제어 신호를 처리하는 주변회로부를 설계하였다.

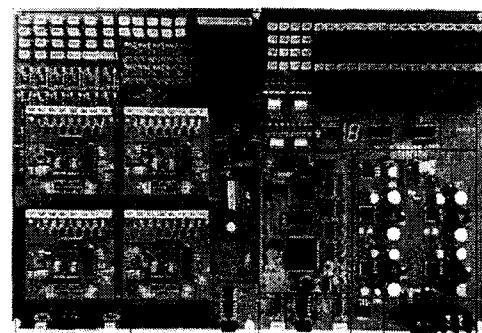


Fig 5. Control board

Table 2. Function of Control Board

세부 항목	기능
Power input	제어기 ON/OFF
CPU Module	제어 동작 및 각종 연산
Power부	제어기 내부 Power 공급
Serial RS485	통신 모듈
7 Segment	상태 표시창
PWM	PWM 출력
TC Module	온도 센서 측정
Analog Input	유량 센서, 압력 센서, 전류 센서, 전도도 센서 등 측정
Analog Output	펌프, 블로워, 압축기 등 유체기계류 제어, PCS 제어 신호 출력
Digital Input	레벨 센서 및 각종 접점 입력 신호
Digital Output	솔레노이드밸브, 릴레이 및 스위치류, 각종 접점 출력 출력 신호
Battery Input	셀전압 모니터링

설계된 시스템 제어기의 사진은 Fig 5에서 볼 수 있으며, 세부 항목 및 기능은 위의 Table 2에서 정리된 바와 같다. 주변회로부는 각종 신호를 처리하는 Analog In/Out부와 Digital In/Out부, 스택의 셀전압을 측정하는 셀전압측정부, 시스템의 온도 포인트를 열전대를 통하여 측정하는 열전대 변환부, 원격 제어 및 모니터링이 가능하도록 각종 통신을 수행하는 통신부, PWM 제어 수행이 가능한 PWM부로 구성되어 있다.

이상과 같이 설계된 제어기를 통하여 공랭식 시스템의 초기 구동, 운전, 정지 및 비상 정지를 수행하며 각종 센서를 통해 시스템의 상태를 체크하고 시스템에 이상이 발생할 경우 안정적인 정지 절차로 들어가도록 설계하였다.

## 2.2 시스템 구성

위의 설계안을 바탕으로 Fig 6과 같이 시스템 구성도가 도출되었다. 공기 유량, 수소 압력, 스택 온도, 부하 등을 측정하여 운전 로직에 따라 스택 냉각팬과 공기압축기, 솔레노이드 밸브 등이 작동되게 된다. 스택의 출력과 BOP 소모 전력의 측정은 CT 센서를 통하여 측정한다.

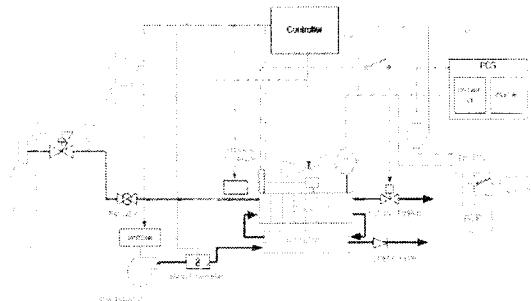


Fig 6. Schematic of the System

본 시스템은 초기 구동 시 배터리를 이용해 BOP 전원을 공급하고 스택의 운전이 안정화되면 BOP 전원 공급용 DC/DC 컨버터를 통해 전원 공급이 이루어진다. 배터리의 충전은 시스템이 운전되는 동안 DC/DC 컨버터를 통해 이루어지며, 이때 배터리에서의 역전류 유입 방지를 위해 다이오드를 삽입하였다.

시스템 구성도를 통하여 제작된 시스템은 다음의 Fig 7과 같다.

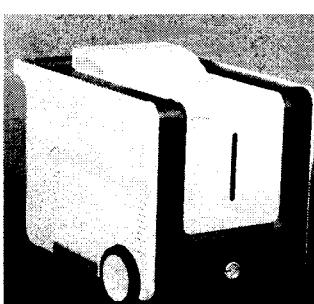


Fig 7. 1kW class Fuel Cell System

## 2.3 시스템 운전

본 시스템은 직접 수소를 적용하여 Dead-End 운전 방식[5]을 적용하였다. Dead-End 운전 방식의 경우 스택의 Anode 출구관을 막고 운전하기 때문에 운전을 지속함에 따라 Anode 라인에 생성된 물이 축적되게 된다. 이렇게 축적된 물에 의해 수소 공급 및 이온들의 이동

경로가 막혀 셀 전압이 하강하게 되고 셀 간 전압 편차가 커지게 된다. 따라서 생성된 물이 배출될 수 있도록 스택 Anode 출구단에 퍼징을 수행하기 위한 퍼지 밸브를 달아 주었다. 설정 퍼지 셀 전압보다 높은 셀 전압이 낮을 경우, 현재의 셀 편차가 설정 셀 편차보다 큰 경우를 감지하여 퍼지 밸브를 열어 주도록 하였다.

시스템 기동 시에는 가스 누출 감지와 수소 공급 압력 체크를 통하여 안정적으로 기동이 이루어지도록 하였다. 또한 시스템 정지 시에는 시스템 전원 공급이 배터리로 이루어지면서 스택 OCV(Open Circuit Voltage) 상태가 이루어진다. 이때 스택에 남아있는 공기를 제거하기 위해 공기를 먼저 차단하고 Bleed Resistor를 연결하여 저부하를 인가하여 스택의 기전력이 제거되도록 하였다.

## 3. 결 론

본 연구를 통하여 개발된 1kW급 보조전원용 연료전지 시스템은 다양한 조건에서의 스택 성능 실험 및 BOP 연계 시험을 통해 최적의 운전점을 도출할 수 있었으며, PID 운전제어 방법을 적용하여 시스템의 안정적인 운전 특성을 확보하였다. 또한 본 시스템은 향후 전력변환장치의 재설계를 통해 계통연계형 뿐만 아니라 독립전원형으로도 사용할 수 있도록 구성할 예정이다.

## 【참 고 문 헌】

- [1] James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", pp67-118, Wiley, 2003
- [2] T. Susai, A. Kawakami, "Development of a 1 kW polymer electrolyte fuel cell Power source", Journal of Power Sources ;92, 131-138, 2001
- [3] J.J.Hwang, D.Y. Wang, "Development of fuel-cell-powerd electric bicycle", Journal of Power Sources ,133, 223-228, 2004
- [4] Jay H. Lee, Jin Hoon Choi, Kwang Soon Lee, "Overview of Process Control", pp20-31, 1997
- [5] F. Dundar, F. Barbir, H. Gorgun, " Designing PEM Fuel Cell for Portable Applications", Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2005