

PEM형 연료전지 전력처리시스템 설계 연구

정학근, 한수빈, 정봉만, 박석인, 유승원, 김규덕
전기에너지연구팀, 한국에너지기술연구소

A Study On Fuel Cell Powertrain System Design

Hak-Geun Jeong , Su-Bin Han, Bong-Man Jung, Suk-In Park, Seung-Weon Yu, Ku-Deok Kim
Electric Energy Research Team, Korea Insitute of Energy Research

ABSTRACT

에너지 절약과 환경 공해문제 그리고 최근에 부각되고 있는 지구 온난화 문제 등을 해결하기 위해 고효율, 저공해 발전시스템인 연료전지가 주목을 받고 있다. 연료전지는 연소과정 없이 화학에너지를 전기 화학적으로 직접 전기로 변환시키는 시스템으로 효율이 높고 공해 물질의 배출이 거의 없기 때문에 매우 이상적인 발전장치이다. 연료전지 발전시스템의 최적 제어기 설계를 위해 필요한 운전 조건, 즉 운전 온도, 압력 등의 운전 조건과, 연료 농도, 공급량이 전지의 성능에 미치는 영향에 대한 특성을 분석하였고 이들을 정리하여 최적제어를 위한 기본 방식을 얻기 위해 이용하였다. 실제 스택에 적용하기 위한 관련 측정시스템과 제어기는 dSPACE-1103과 ControlDesk를 사용하여 구성하였다.

1. 서 론

고효율, 무공해의 신발전 기술인 연료전지 발전은 발전 용량 및 스택구성에 따라 차이가 있으나 기본적으로 저전압, 대전류 특성과 부하에 따라 발전 전압이 크게 변동하는 특성을 갖는 직류전원으로써 이를 상용으로 이용하기 위해서는 연료전지 발전 전력을 안정된 전력으로 변환하여 주는 장치가 필요하며, 이러한 전력변환장치가 연료전지 발전의 최종 출력 전원의 질을 결정한다. 연료전지 전력변환장치는 전압조절기능, 승압 기능을 가져야 하고, 연료전지 본체와 부하를 안정하게 운전하기 위해 전력변환장치 뿐만 아니라 부하와 연료전지 본체의 운전상태 감지 기능, 각종 장치의 보호와 제어기능을 가져야 한다.

대부분의 연료전지 발전시스템의 출력제어장치는 전지 스택의 연료공급제어 및 전력변환장치의 출력

제어가 동시에 연동해서 동작되어야 최적의 동작을 수행하게 된다. 즉 전력소모의 양(등가적으로는 부하의 변화량 또는 전지의 출력전류에 해당된다고 볼 수 있음)에 따라서 연료공급이 적절히 제어되어야 하며 여기서 연료공급제어란 연료의 농도제어 및 연료 및 공기량의 조절을 모두 포함한 동작을 의미한다. 부하가 커지는 경우는 연료의 양을 늘이고 부하가 작아지는 경우는 연료의 양을 줄이는 동작을 하는 동시에 발전효율을 향상시킬 수 있도록 연료 대 공기량의 비를 조절하는 동작이 필요하다. 만약 부하가 증가하는데 연료공급의 조절이 안되면 단위전지의 전압은 비례해서 감소하게 되거나 발전효율이 급속히 저하되는 현상을 유발한다.

연료전지 출력 제어시에는 시스템 전체를 통합하여 제어하는 기술이 요구되며 연료전지의 운전상태의 감지분석과 운전조건이 시스템의 환경에 따라 가변될 수 있는 제어기가 필요하다. 이 장치는 물론 전력변환장치의 전압조절기능을 동시에 같은 하드웨어에서 수반하여야 하는 다기능이며 복합적인 제어시스템으로 구성되어야 한다.

이를 위해 시스템 구성을 MathWorks사의 MAT LAB과 dSPACE사 DS1103을 이용하여 제어기를 구현하고, 모의실험을 수행하였다.

2. 연료전지 발전 원리 및 운전특성

연료전지스택은 [그림 1]과 같은 구조의 단위전지를 기본 구성단위로 하여 직·병렬 연결에 의해서 구성되며 단위전지에서는 외부에서 공급된 공기 및 수소와 두 전극사이의 전해질과의 전기적 화학반응에 의한 이온화 과정이 발생되어 두 전극사이에는 이론적으로는 1.2V의 전위차가 생기게 되고 부하가 두 전극사이에 걸리면 전류의 경로가 형성되어 에너지는 전지에서 부하로 공급되게 된다. 이때 전지는 내부저항에 의한 영향에 의해서 부하가

클수록 출력전압은 떨어지며 정격전류(전지에 손상을 주지 않고 흐를 수 있는 최대전류로 정의)되는 약 전지전압이 0.5V-0.6V가 되게 한다. 따라서 부하에 따른 전압 변동율이 매우 큰 특징을 갖게 된다. 또한 전지의 전류밀도는 통상 150~300mA/cm²으로서 단위면적이 100cm² 이상인 경우 100A이상인 전류가 흐르므로 저전압 대전류 특성의 전압원으로 전지를 모델링할 수 있다.

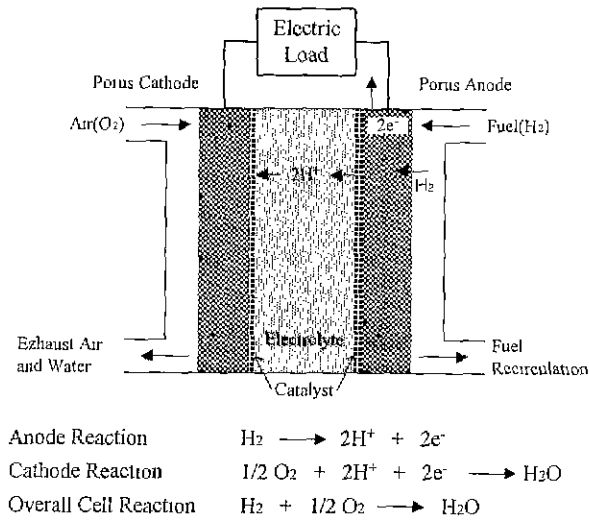


그림 1 연료전지 구조와 발전원리
 Fig. 1 Principle of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Operation

연료전지의 전기적 특성은 큰 전압 변동율을 갖는 저전압 대전류 특성의 전압원으로서 전지스택도 같은 특성을 갖게되고 특히 소출력일수록 그 경향은 뚜렷해진다. 이 두 가지 특성이 연료전지용 전력변환에 가장 큰 영향을 주는 요소이다.

연료전지의 I-V 특성은 [그림 2]과 같이 전류가 증가함에 따라 전압이 감소하며 공급되는 연료 및 공기의 이용율과 동작온도에 따라 I-V특성이 변화하게 된다. 실용적인 발전시스템으로서 동작되기 위해서는 스택의 I-V 특성을 일정하게 유지시켜 주는 것이 필요하며 따라서 상용시스템에서는 온도 이용율과 공기 이용율을 고정시켜서 운전하며 스택의 동작 온도도 일정하게 유지되도록 제어한다. 비록 온도, 공기 및 연료 이용율이 일정하게 유지되더라도 부하에 따라 스택에 공급되는 공기 및 연료의 유량이 조절되지 않으면 실제 동작점은 I-V 특성곡선을 이탈하게 된다.

공기 및 연료유량제어 응답속도는 전지내의 전기화학반응보다 매우 느리게 되므로 스택이 부하변화에 반응하는 응답속도는 결국 공기 및 연료의 유량제어 특성에 지배되며 특히 사용하는 연료로부터 수소성분을 얻어내는 개질기의 응답특성이 시스템의

전체 응답특성을 지배하게 된다.

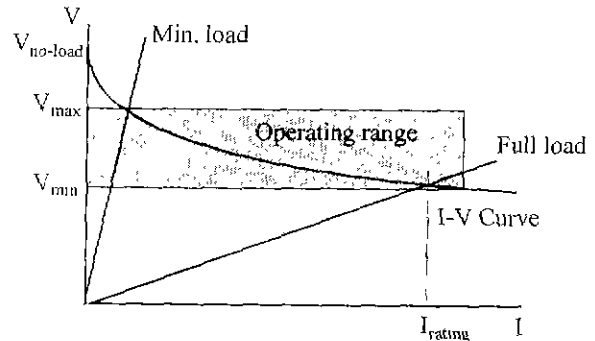


그림 2 연료전지 I-V 특성 및 동작영역
 Fig. 2 The I-V curve and operation range

3. 연료전지 제어기 설계

연료전지 출력 제어시스템 구성을 MathWorks사의 MATLAB과 dSPACE사 DS1103을 이용하여 제어기를 구현하고, 모의실험을 수행하였다. [그림 3]은 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 설계한 연료전지 제어기 모의실험 블록선도이다. 연료전지 제어기는 부하의 전압, 전류, 연료전지 스택의 전압, 전류를 계측하여 연료량을 제어하는 구조이다.

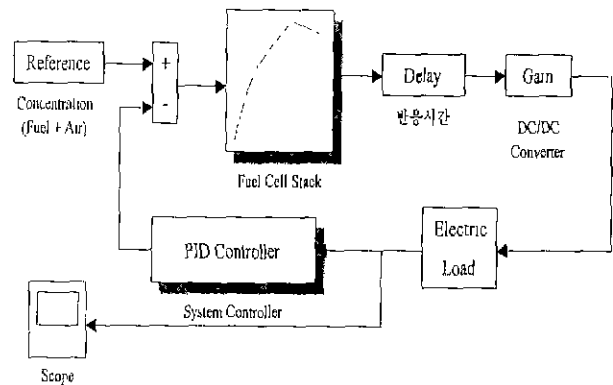


그림 3 연료전지 출력제어 모의실험 블록선도
 Fig. 3 Simulation Block for fuel cell power system control

연료전지 발전시스템의 모의실험의 간소화를 위해 연료처리장치, 공기공급장치, 연료전지 및 전력변환장치만을 대상(전지냉각장치, 폐열회수장치는 제외)으로 하고, 연료전지 입력은 일정한 양의 연료에 농도 가변으로 제한하였다. 그리고 연료전지의 반응 조건인 압력, 온도는 일정한 것으로 가정하고, 전력변환장치의 응답 시정수는 연료전지 반응계의 응답 시정수보다 충분히(통상 10배이상) 빠르므로 과도상태는 고려하지 않아도 되므로 DC/DC Converter의 경우 Gain 블록으로, 스택에서 발생하는 연료와 공기의 화학반응 시간은

Delay 블록으로 모델링하였다.

실제 실험을 위한 제어기 구현은 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 [그림 4]와 같이 구성하였고, dSPACE DS1103 하드웨어에서 실시간으로 동작하는 제어기 모델의 Parameter를 모니터링, Calibration, 변경이 가능하도록 ControlDesk를 이용하여 [그림 5]와 같이 구현하였다.

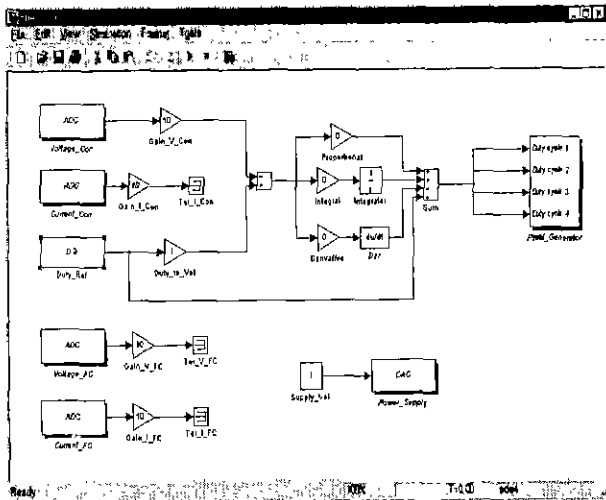


그림 4 연료전지 제어기 설계
Fig. 4 The design of fuel cell controller using the MatLab/Simulink

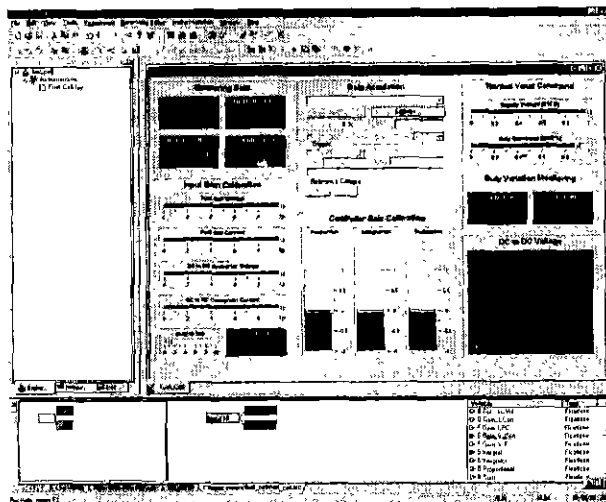


그림 5 ControlDesk를 이용한 연료전지 제어기
Fig. 5 Fuel cell controller using the ControlDesk

모의실험 결과는 [그림 6]과 [그림 7]에서 볼수 있듯이 20셀로 구성하였다고 가정한 경우 무부하 및 부하 응답특성 모두 0.3초 정도 빨라졌다. 제어기 구현 후에도 0.2초 정도의 응답시간을 갖는 이유는 스택에서의 반응 시간을 Delay 블록으로 모델링하였기 때문이다.

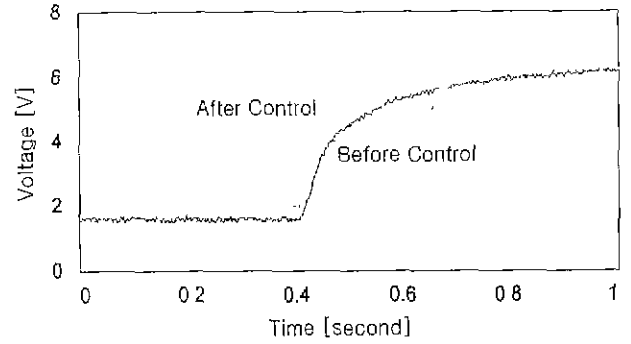


그림 6 제어 전과 후의 연료전지 무부하 응답특성
Fig. 6 No load response characteristic of fuel cell

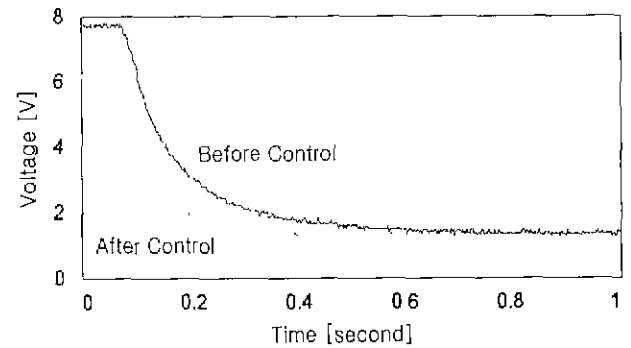


그림 6 제어 전과 후의 연료전지 부하 응답특성
Fig. 6 Load response characteristic of fuel cell

4. 결론

본 논문에서는 연료전지 발전시스템의 모의실험의 간소화를 위해 연료처리장치, 공기공급장치, 연료전지 및 전력변환장치만을 대상으로 하고, 연료전지 입력은 일정한 양의 연료에 농도 가변으로 제한하였다. 그러나 연료전지의 출력 제어를 위해서는 시스템 전체를 통합하여 제어하는 기술이 요구되며 연료전지의 운전상태의 감지분석과 운전조건이 시스템의 환경에 따라 가변 가능한 제어기가 필요하다. 이를 위해 향후에는 연료 전지스택을 최적으로 운영하기 위해서 스택의 전기적인 제어와 주변 설비의 공정제어는 물론 연료전지를 보호하기 위한 장치들을 통합하는 다기능이며 복합적인 제어 시스템으로 구성되는 제어 알고리즘의 구현에 대한 연구가 수행될 것이다.

참고 문헌

- [1] R.Mosdale, Commercializing Fuel Cell Vehicles 97, Intertech Conference Records of Commercializing Fuel Cell Vehicles 97, 1997.