

연료전지 차량용 PEMFC 발전모듈의 셀전압 측정

박 현석¹⁾, 전 윤석²⁾, 구 본웅³⁾, 최 서호⁴⁾

Cell Voltage Monitoring of PEMFC Power Module for Fuel Cell Electric Vehicle

Hyunseok Park, Ywunseok Jeon, Bonwoong Ku, Seoho Choi

Key words : Fuel cell(연료전지), Voltage monitoring(전압측정), Fuel cell electric vehicle(연료 전지 자동차), Fuel cell stack(연료전지 스택)

Abstract : In this paper, Cell voltage monitoring method is studied for fault detection of PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) for FCEV(fuel cell electric vehicle). To measuring several hundred of cells in fuel cell stack, The demanded feature of hardware and software is studied and several types are analysed. Finally, 3.26% maximum measuring error is acquired and verified experimentally.

Nomenclature

ppm : part per million

subscrip

FC : fuel cell

PEMFC : proton exchange membrane fuel cell

SVM : stack voltage monitoring

FCEV : fuel cell electric vehicle

1. 서 론

연료전지는 전기화학 반응에 의하여 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전장치이다. 이 중 차량에 주로 적용되는 PEMFC 연료전지는 여러 개의 연료전지 셀의 적층형태로 제작되게 된다. 이 때 주로 봉인이상(leaky seal), 전해막의 층격 또는 자연적인 물리적 특성저하 등의 원인으로 연료전지 스택 내부의 일부 셀에서 수소가스가 이온화 되지 않고 전극을 통과하는 경우가 발생하게 되며 이 경우 정상적인 발전이 되지 않는 형태의 일시적 또는 영구적인 고장이 발생할 수 있다. 이러한 고장을 수 초간 방치할 경우 연료전지 스택의 고장 확산

및 영구적인 손상을 줄 수 있으므로 고장 초기에 이를 진단하여 연료전지의 운전을 정지시키는 보호 장치가 존재해야 한다.²⁾ 이러한 보호 장치는 주로 스택의 각종 운전정보를 취합하여 셀 및 스택의 건전성 여부를 판별하게 되며 이 때 각각의 셀 전압 정보를 수집하기 위하여서는 일반적인 셀전압인 수 Volt 이하의 정밀전압 측정이 가능한 장치가 필요하게 된다. 전압측정 모듈은 연료 전지 스택 내부에 장착되며 연료전지 각각의 셀 전압을 측정하여 상위제어기에 데이터를 전송하는 역할을 수행하는 장치로서 본 연구에서는 이러한 전압측정 모듈의 설계에 있어서 필요요소들을 분석함으로써 보다 정밀한 측정 장치의 개발을 가능하게 하였다.

1) (주) 케피코

E-mail : pbs2145@kefico.co.kr

Tel : (031)450-9274 Fax : (031)450-9278

2) (주) 케피코

E-mail : sskonan@kefico.co.kr

Tel : (031)450-9273 Fax : (031)450-9278

3) (주) 케피코

E-mail : bwku@kefico.co.kr

Tel : (031)450-9260 Fax : (031)450-9278

4) 현대자동차(주)

E-mail : seoho@hyundai-motor.com

Tel : (031)368-7092 Fax : (031)368-6787

2. 연료전지 셀의 고장특성

연료전지 차량(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)은 구동 동력원으로서 전기모터를 사용하게 되며 출력밀도를 높이며 소형 경량화 하기 위해 그 전압원을 고압화하는 추세에 있다. 따라서 차량에 주로 적용되는 PEMFC 연료전지는 필요한 전압을 얻기 위해 수백개에 이르는 연료전지 셀을 적층한 스택 구조를 가지게 된다. 이 때 각각의 PEMFC 연료전지의 구조는 그림 1과 같이 전해질, 백금촉매로 이루어진 전극(Anode, Cathode) 및 연료 및 공기를 공급하는 유로(流路)로 이루어져 있다. Anode에 이온 수소분자는 이온화 되어 양이온은 전해질을 통과하며 상대적으로 가벼운 전자들은 부하를 통과하게 됨으로서 전류가 흐르게 된다.

연료전지 차량은 연료전지에 필요한 수소를 저장 또는 공급하는 방식에 따라 저장방식 및 개질기 사용방식으로 구분된다. 이 때 각각의 방식에 따라 수소 이외에 불순물이 혼합되어 연료전지 셀에 공급되게 되며 불순물의 농도가 높아지면 이에 의해 고장이 발생하게 된다. 표 1에서 이러한 수소 공급방식 및 이 때 발생하는 불순물에 대하여 나타내었다.³⁾

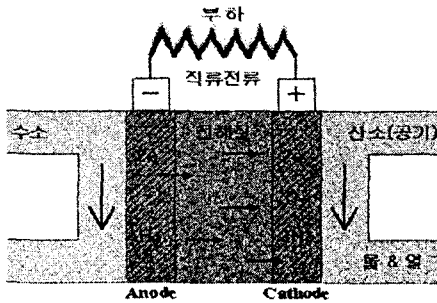


Fig. 1 Fuel cell

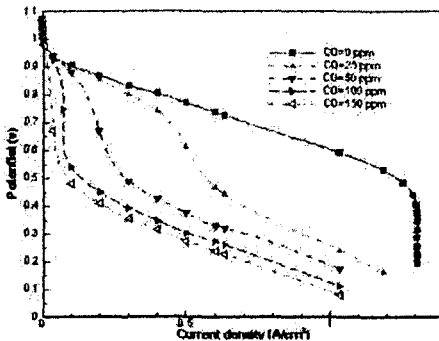


Fig. 2 Influence of CO in hydrogen

Table 1 Impurities according to hydrogen source

Hydrogen source	Impurity
Methanol reforming	CO
	Formaldehyde
	formic acid
	methane
Gasoline reforming	CO
	Hydrogen sulfide
	sulfur dioxide
	benzene
Low purity hydrogen	CO
	methane
	benzene
	hydrogen sulfide sulfur dioxide

Table 2 State of poisoning according to impurity

Impurity	State of poisoning
CO	Recoverable poisoning
HCHO	Recoverable poisoning
HCOOH	Recoverable poisoning
CH ₄	No poisoning
H ₂ S	Permanent poisoning
SO ₂	Permanent poisoning
C ₆ H ₆	Recoverable poisoning

이러한 불순물이 공급되는 수소 연료에 혼합되어 있을 때 그 농도에 따라 그림 2와 같이 출력전압 및 출력전류의 저하 현상이 나타나게 된다. 고장현상은 원인이 되는 불순물의 종류에 따라 표 2와 같이 그 현상이 일시적 또는 영구적으로 나타나며 수백 개의 셀에서 동시에 시작되는 것보다는 국부적인 셀에서 먼저 발생하며 주변으로 확산되게 된다. 이러한 고장의 원인은 여러 가지가 있으므로 이를 효과적으로 진단하기 위해서는 여러 가지의 발생 원인을 측정하는 것보다 결과적인 현상을 측정하는 것이 효과적이며 그림 2에서 보는바와 같이 동일 전류에서 출력전압이 급감하게 됨으로 고장 시 국부적으로 셀 전압이 강하하는 것을 측정하는 것이 제일 효율적이다. 따라서 본 논문에서는 스택 내부의 각각의 셀에서 발생시키는 전압을 측정하여 특정전압 이하의 발전전압을 가지는 셀을 감지함으로써 해당 셀의 고장 유무를 판별할 수 있는 감지 모듈을 개발하였다.

3. 스택 전압의 측정

다수개의 전원인 셀이 직렬로 결합된 형태와 같은 스택에서 전압을 측정하여야 하는 총 셀의 개수는 수백 개에 이르며 따라서 한 개의 전압 측정 회로로는 이를 모두 측정할 수 없다. 따라서 여러 개의 전압 측정 모듈이 필요하며 이를 스택에 적용하기 위해서는 회로적인 네트워크를 구성해야만 한다. 이러한 회로 네트워크는 차량 적재가 가능한 협소한 공간을 가진 스택 외함 및 수백개의 측정 셀 개수를 감안할 때 신호배선(Wire Harness)을 최소화 하는 방향으로 구성하여야 한다. 그림 3에서는 스택 셀의 전압을 측정하기 위한 SVM(Stack Voltage Monitoring) 모듈의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 이러한 SVM 회로의 각각의 블록의 기능은 다음과 같다.

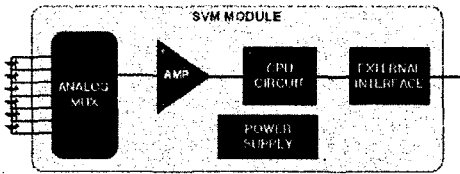


Fig. 3 Block diagram of SVM

1) CPU circuit

SVM 모듈의 스택내부에서의 배선을 최소화하기 위하여 스택 내부에 장착되게 되며 이 때 협소한 공간 등을 고려할 때 CPU의 주변회로를 최소화해야 한다. CPU의 기능은 셀 전압 측정을 위한 다수의 A/D 채널과 통신을 위한 포트만이 필요하므로 본 연구에서는 이에 필요한 최소한의 기능을 가진 16bit 소형 마이콤을 사용하였다.

2) Power supply

본 연구의 측정대상인 스택에서의 각각의 셀은 전압원으로써 수백 개의 직렬결합 구조를 가지고 있으므로 여기에 연결된 SVM 모듈 또한 직렬결합의 형태를 가지게 된다. 따라서 SVM 모듈간의 전압차는 최대 수백 Volt에 이르게 되며 각 모듈에 동일한 전원을 사용할 경우 전압차에 의한 회로 파손이 있을 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 절연형태의 DC/DC 컨버터 등을 사용해야만 한다.

3) External interface

SVM에서 측정된 전압에 의해 각 셀의 건전성을 판단하기 위해서는 최종적으로 상위제어기에 모든 정보를 전송해야 한다. 그러나 각 SVM 모듈의 신호전위레벨은 전술한 바와 같이 서로 다르게 되므로 이를 이용한 통신을 위해서는 기존

의 차량용 CAN 이나 LIN 통신회로에 통신속도 레벨에 적합한 포토커플러 등을 사용하여야 한다.

4) Analog MUX. 및 Amplifier

다수의 셀 전압을 측정하기 위해서는 Analog MUX 및 아날로그 신호용 증폭기가 필요하게 된다. 일반적인 연료전지 셀 전압은 1 Volt 이내이므로 이를 측정하기 위해서는 높은 정밀도, 낮은 Offset, 낮은 노이즈 레벨 및 각 채널별 편차가 적어야만 한다. 일반적으로 사용하는 OP-amp를 이용한 증폭기의 경우 OP amp에서 발생시키는 20mV 레벨의 잡음전압 및 각 증폭회로간 발생하는 오차의 표준편차에 의해 낮은 전압에서의 정밀한 증폭률을 얻기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 이를 극복하기 위해서 정밀저항을 사용하였다.

5) 소프트웨어

SVM은 개당 수~수십 개의 셀 전압을 측정하지만 전체적으로 수백 개의 셀 개수를 고려할 때 순차적 측정의 경우 수십에서 수백 ms가 소요되므로 측정의 동시성에 문제가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 그림 4와 같이 상위 제어기의 기준 지령에 의해 모든 SVM이 동작함으로써 측정의 동시성을 확보할 수 있는 알고리즘을 사용하였다. 이 때 각 SVM에서의 A/D 변환시간은 극히 짧으며 SVM 모듈간의 변환시간의 차이도 A/D 변환 명령전송에 필요한 시간차이밖에 나지 않으므로 측정의 동시성을 확보할 수 있다. 이 때 통신회선에서는 동시에 한 개의 정보만이 전송 가능하므로 실제로 샘플링 내에서 가장 큰 시간을 소요하게 된다.

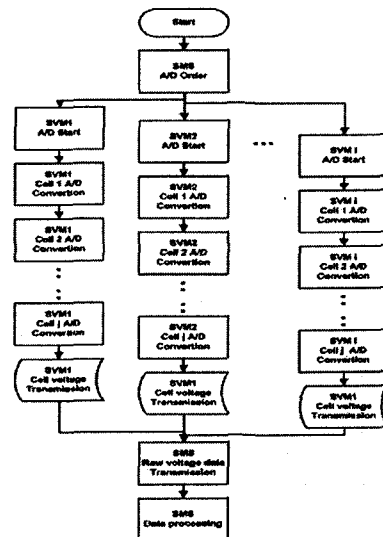


Fig. 4 Network algorithm

4. 시뮬레이션 및 실험

본 연구에서는 SVM 모듈 개발을 위하여 분석 및 시험에 의한 방법을 사용하였다. 전술한 바와 같이 높은 정밀도, 낮은 Offset, 낮은 노이즈 레벨을 얻기 위하여 일반 분압, 정밀저항 및 OP-AMP를 사용하였을 때의 최대 측정오차를 PSpice를 이용하여 비교한 각각 23.8%, 3.26% 및 3.5%의 결과를 얻을 수 있었다. 그림 5에서는 정밀저항을 사용한 경우 측정오차의 분포를 나타내고 있다.

그림 6과 7에서는 셀의 개수가 8개인 경우 셀 전압 및 측정되는 A/D 변환값의 raw data를 나타내고 있다. 이 때 각 A/D 컨버터에 측정되는 전압은 다시 A/D 컨버터 사이의 전압인 셀 전압으로 환산되어야 하며 이 때 상위 셀과 하위 셀과의 오차율이 달라지게 된다. 본 연구에서는 실험결과 약 3.5%의 측정최대오차를 얻을 수 있었다.

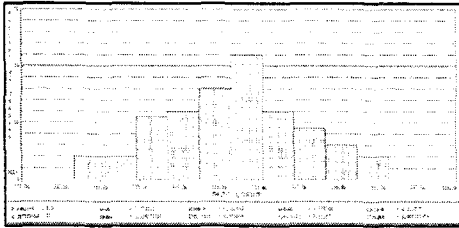


Fig. 5 Distribution of measuring error

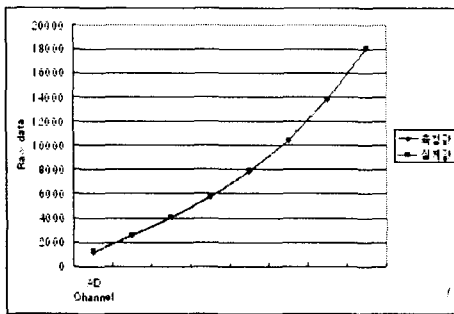


Fig. 6 Channel voltage vs. measuring raw data

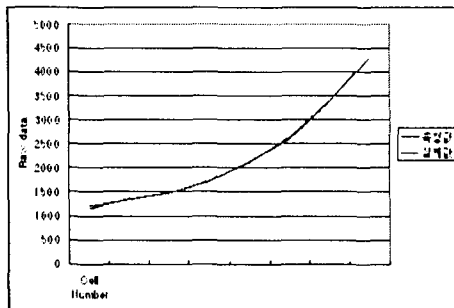


Fig. 7 Cell voltage vs. measuring raw data

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 PEMFC 연료전지 스택용 셀 전압 감시 장치에 대한 연구를 수행하였다. 우선 셀의 고장원인에 대해 분석을 수행하였으며 이 때 여러 가지 고장원인이 존재할 수 있으므로 고장원인 보다는 고장 결과로서 나타나는 전압강하를 감시하는 방법이 보다 적합하다고 판단하였다. 이 때 수백 개의 셀 전압을 감지하기 위하여 하드웨어 및 소프트웨어적으로 요구되는 사항에 대한 검토를 수행하였으며 이를 통하여 수 Volt 이하의 셀 전압 측정에 있어서 약 3.26%의 최대 오차범위를 가지는 정밀한 측정기를 설계하였으며 실험을 통한 검증은 수행하였다. 이 때 시험결과 3.5% 정도의 최대 오차범위가 발생하였으며 분석과 측정의 결과에 발생한 약간의 오차율의 차이는 측정 장비의 오차 및 A/D 컨버터의 분해능 범위에서의 실제값의 위치에 따른 오차로 추정된다. 향후 이러한 연구결과를 바탕으로 네트워크 구성의 측면을 확대함으로써 전체적인 연료전지 스택 감시 장치의 개발을 완성시켜 나갈 수 있으리라 기대된다.

References

- [1] Tim Rehg, Nguyen Minh, "Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies - IV.D Fuel Cell Stack Subsystem and Components", FY 2002 Progress Report. 2002
- [2] Mark Alexander Meltser, "PEM Fuel Cell Monitoring System", United States Patent. 5763113, 1998
- [3] Yushi Kamiya, "R&D Trend survey of fuel cell vehicles", 연료전지 특별강좌, HCEM, 2005
- [4] James Larminie, John Lowry, "Electric vehicle thchnology", WILEY, 2003
- [5] 복득규, "환경친화형 자동차의 개발동향과 향후 대응전략", 삼성경제연구소. 2003