

## 연료전지 스택의 셀 전압 감시를 위한 장치 개발

정 재욱<sup>1)</sup>, 김 태후<sup>2)</sup>, 박 현석<sup>3)</sup>, 전 윤석<sup>4)</sup>, 구 본웅<sup>5)</sup>

### Development of Cell Voltage Monitoring Module for PEMFC

Jaewook Jung, TaeHoo Kim, HyunSeok Park, YwunSeok Jeon, BonWoong Ku

**Key words** : precision resistor(정밀 저항), zebra type connector(제브라형 커넥터), voltage monitoring(전압 측정)

**Abstract** : In this paper, stack voltage monitoring module is developed which monitor cell voltage of the fuel cell stack and transfer it to the main controller for monitoring fault and stopping drive when the trouble is happened in the fuel cell stack. Especially, the circuit, for monitoring each cell voltage of several hundreds cells in stack, is designed and analyzed. The connector is also developed for making wire harness simple and low cost because wire harness is complicated when the cells are connect each monitoring circuit.

subscrip

SVM : Stack Voltage Monitoring  
PEMFC : Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

### 1. 서 론

최근 자동차 산업의 급속한 발달과 더불어 석유 에너지의 고갈 및 지구 온난화, 산성비, 오존층 파괴 등 화석연료 자동차의 운행으로 심각한 환경오염 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 배기가스 배출이 적은 전기자동차, 하이브리드 자동차, 연료전지 자동차 등의 개발 및 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이 중 연료전지 자동차에 주로 적용되는 PEMFC 연료전지는 여러 개의 연료전지 셀의 적층 형태로 제작되는데 이 때 주로 봉인이상(leaky seal), 전해막의 충격 또는 자연적인 물리적 특성저하 등의 원인으로 연료전지 스택 내부의 일부 셀에서 수소소스가 이온화 되지 않고 전극을 통과하는 경우가 발생하게 된다. 이 경우 정상적인 발전이 되지 않는 형태의 일시적 또는 영구적인 고장이 발생할 수 있다. 이러한 고장을 수조간 방치할 경우 연료전지 스택의 고장 확산 및 영

구적인 손상을 줄 수 있으므로 고장 초기에 이를 진단하여 연료전지의 운전을 정지시켜야 한다. 일반적으로 고장이 발생하였을 경우의 대표적인 특징은 셀 전압의 강하로 나타나므로 이를 감지하여 고장을 판별한다.

본 논문에서는 스택의 고장을 감지하고 운전을 정지시키기 위하여 SVM 모듈에 대한 개발을 수행하였다. SVM 모듈은 연료전지 스택 내부에 장착되며 연료전지 각각의 셀 전압을 측정하여 주 제어기에 데이터를 전송하는 역할을 수행한다. SVM은 수 mV 이하의 전압을 측정하여 고장을 판별

- 
- 1) (주)케피코  
E-mail : JaeWook.Jung@kefico.co.kr  
Tel : (031)450-9492 Fax : (031)450-9278
  - 2) (주)케피코  
E-mail : TaeHoo.Kim@kefico.co.kr  
Tel : (031)450-9604 Fax : (031)450-9278
  - 3) (주)케피코  
E-mail : HyunSeok.Park@kefico.co.kr  
Tel : (031)450-9274 Fax : (031)450-9278
  - 4) (주)케피코  
E-mail : YwunSeok.Jeon@kefico.co.kr  
Tel : (031)450-9273 Fax : (031)450-9278
  - 5) (주)케피코  
E-mail : BonWoong.Ku@kefico.co.kr  
Tel : (031)450-9260 Fax : (031)450-9278

하여야 하므로 이를 위해서는 정밀한 셀 별 전압 측정이 필요하다.

또한 도선의 접촉 단자가 연료전지 스택을 구성하는 다수의 연료전지 흑연판을 각기 개별적으로 연결할 수 있도록 되어 있기 때문에, 다수의 도선에 의한 구조의 복잡화 및 스택 부피 증가, 진동에 의한 접촉 신뢰도 저감, 작업 시 흑연판 파손 우려, 유지 보수 등의 문제점을 안고 있다.

따라서 본 논문에서는 정밀함과 가격 그리고 조립이 용이한 구조를 위해 일반적으로 사용되는 증폭기 회로 대신 정밀 저항을 이용한 측정회로를 개발하였고 종래 커넥터의 문제점을 해결하기 위해 새로운 방식의 제브라형 커넥터를 개발하였다.

## 2. 스택 전압 모니터링 시스템

### 2.1 SVM 시스템

수백 개에 달하는 셀 전압을 각각 측정하고 이에 대한 데이터를 처리하기 위해서는 여러 개의 모듈을 사용하는 것이 하나의 모듈을 사용하는 것보다 효과적이다. 각각의 모듈은 수-수십 개의 셀 전압을 측정하며 상위 제어기가 이 모든 셀의 전압을 취합하고 이에 대한 정보를 처리하게 된다.

그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 각각 모듈간의 전위는 측정 셀의 전위로서 수십-수백 Volt의 전위차를 가지게 됨으로써 이에 대한 접지 분리가 필수적이다.

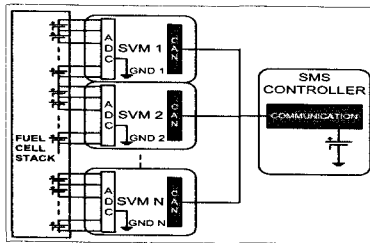


Fig. 1 SVM system.

### 2.2 정밀 저항을 이용한 SVM 모듈

다수의 셀 전압을 측정하기 위해서는 analog MUX 및 아날로그 신호용 증폭기가 필요하다. 일반적으로 사용하는 OP-AMP를 이용한 증폭기의 경우 OP-AMP에서 발생시키는 20mV 레벨의 잡음 전압 및 각 증폭 회로 간 발생하는 오차의 표준편차에 의해 낮은 전압에서도 정밀한 증폭률을 얻기 힘들다.

또한 좁은 장착 위치 및 다수의 셀 구성에 따른 가격 상승도 하나의 단점이다. 따라서 본 논문

에서는 이를 극복하기 위해 그림 2와 같이 정밀 저항을 사용하였다. 그림 2는 각각의 셀 전압과 측정 전압과의 관계를 나타내었다. 각 셀의 전압은 기준점으로부터의 셀 전압과 그 셀의 바로 아래 셀 전압과의 차에 의해서 얻을 수 있다.

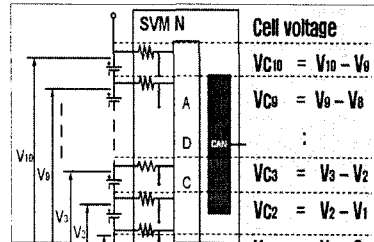


Fig. 2 SVM with precision resistor.

따라서 측정 전압의 오차 및 편차가 일정하다라고 저항에 걸리는 전압 오차에 의해 셀 전압 측정의 오차 및 편차는 서로 달라지게 된다.

표 1은 0.1% 정밀 저항을 사용하였을 경우, 측정되는 오차값을 나타내고 있다. 실제값이 10V라고 가정하였을 때, 셀 전압의 측정 오차율이 최대 3.26%이다.

Table 1 Error when used precision resistor.

노드 전압(V)	증폭 오차(%)	양자화 오차(V)	결정 오차(V)	셀 전압 오차(%)
10	0.1200	0.0049	0.0169	3.2575
9.0000	0.1200	0.0049	0.0157	3.0175
8.0000	0.1200	0.0049	0.0145	2.7775
7.0000	0.1200	0.0049	0.0133	2.5375
6.0000	0.1200	0.0049	0.0121	2.2975
5.0000	0.1200	0.0049	0.0109	1.5775
4.0000	0.1200	0.0049	0.0049	0.9775
3.0000	0.1200	0.0049	0.0049	0.9775
2.0000	0.1200	0.0049	0.0049	0.9775
1.0000	0.1200	0.0049	0.0049	0.4888
0.0000	0.1200	0.0000	0.0000	0.0000

## 3. 스택 셀 전압 측정 커넥터 개발

전압 측정 모듈과 연료 전지 스택을 구성하는 각 연료 전지의 흑연판을 도선의 접촉 단자를 통해서 각각 개별적으로 연결할 경우 연료전지 스택을 전반적으로 연결하는 작업시간이 장시간으로 소요될 뿐만 아니라, 단자 연결 작업 시에 흑연판에 손상을 초래할 수 있다는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복할 수 있도록 제브라형 커넥터 개발을 수행하였

다. 제브라는 전도성 물질과 절연물이 교번적으로 결합된 구조로서 작은 점유 공간을 차지하면서 연료 전지의 흑연판에 대해 압력을 가하여 높은 접촉 신뢰성을 확보하며, 이웃한 전지 셀 간의 단락 가능성을 줄일 수 있도록 한다.

그림 3은 제브라형 커넥터의 구조를 보여주고 있다. 상부에는 PCB 기판이 형성되고, PCB 기판의 하단에는 흑연판 간격에 맞도록 전압 측정 단자가 패턴 형태로 돌출되어 있다. 그 하부에는 제브라가 고정적으로 장착되며, 전압 측정 단자와 각 흑연판의 위치를 일치시킴으로써 연료 전지 스택의 각각의 셀 전압을 회로로 전달한다.

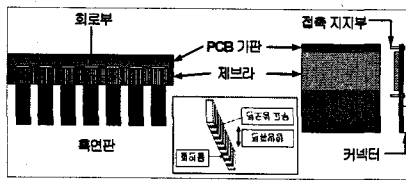


Fig. 3 configuration of zebra type connector.

이러한 구조의 특징은 PCB 기판 하부에 있는 전압 측정 단자와 흑연판의 연결이 셀 전지의 간격보다 세밀한 간격으로 교차 배열되어 있는 다수의 절연물과 전도성 물질을 통하여 연결됨으로써, 각 전도성 물질이 각 셀 전지와 일대다수(즉, 전도성 물질 : 흑연판 = 다수개 : 1)로 접촉되는 특징을 가진다. 따라서 일대일 접촉에 비해서 보다 안정적인 접촉 특성을 가질 수 있다. 본 연구에서 사용된 제브라는 실리콘 재질로 이루어진 탄성을 가진 절연 물질과 전도성 물질로 이루어져 있으며 낮은 접촉저항을 보장하기 위하여 전도성 물질로는 은합금의 금속 물질을 사용하였다.

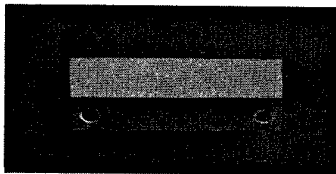


Fig. 4 manufactured zebra type connector.

그림 4는 제작된 제브라형 커넥터의 사진을 보여주고 있다. 개발단계에서 회로 설계의 유연성을 보장하기 위하여 현재 커넥터와 회로는 분리되어 개발되어 있으며 이를 flexible PCB를 통하여 연결한 구조로 제작되어 있다.

#### 4. 실험

임의의 셀 전압을 발생시키기 위해 자체 제작한 시뮬레이터를 이용하여 10개의 셀을 직렬 연결한 경우의 실험을 수행하였다. 그림 5는 모든 셀에 0.6V를 인가한 경우 각 노드의 측정 전압을 나타내고 있다. 접지점을 제외하고 형성된 총 10개의 노드 전압에 대하여 선형 회귀 분석을 한 결과 기울기 1.00215, 오프셋 0.009852의 값이 측정되었다. 또한 계산상으로 양자화 오차는 10bit A/D 변환기의 분해능 계산을 통하여 구할 수 있으며 5V 기준으로 1bit 당 0.0049V이므로 2bit의 오프셋을 구할 수 있다.

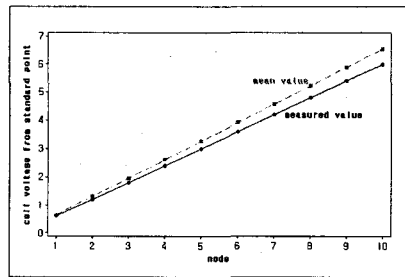


Fig. 5 cell voltage from standard point

그림 6은 측정 전압을 이용하여 계산한 각 셀 압값을 나타낸 그래프이며 그림 7은 이를 정규분포화 시킨 그래프이다.

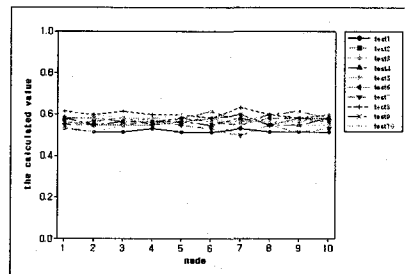


Fig. 6 the calculated value of each cell.

그림 7에서 알 수 있듯이 각각의 셀 전압의 평균과 표준편차는 약간의 차이가 있으나 최대 3.5%의 오차를 가짐을 알 수 있다. 또한 첫 번째 셀에서 전압 평균이 다른 셀에 비하여 약 0.08V 차이가 나는 것은 모든 셀의 전압 계산이 각 노드 간 차에 의해서 이루어짐으로써 각 A/D 변환기의 오프셋이 서로 상쇄되거나 첫 번째 셀 단은 접지점에 대해 계산이 이루어짐으로써 오프셋이 상쇄되지 않기 때문이다.

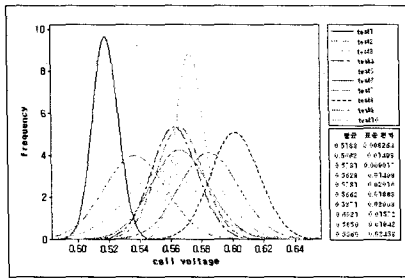


Fig. 7 normal distribution curve of cell monitoring voltage

## 5. 결론

본 연구에서는 자동차용 PEMFC 연료전지 스택용 셀 전압 감시 장치에 대한 연구를 수행하였다. 정밀 저항을 사용할 때 발생하는 전압 측정에 대한 최대 오차 범위는 10셀을 기준으로 할 경우 이론적으로 3.26% 이며, 본 논문에서는 이에 대한 검증 실험을 통하여 수행하였다. 이 때 시험 결과 3.5% 정도의 최대 오차 범위가 발생하였으며 분석과 측정의 결과에 발생한 약간의 오차를 차이는 측정 장비의 오차, A/D 컨버터의 분해능 범위 및 A/D 컨버터의 레퍼런스 전압 오차에 따른 오차로 추정된다. 또한 첫 번째 셀에서 발생하는 옴셋의 경우 샘플마다 그 특성이 달라지게 되므로 이를 개선하기 위해서는 제너 다이오드를 사용한 보정회로의 설계가 필요함을 알 수 있었다.

그리고 연료전지 자동차의 고분자 전해질 스택의 생산성 향상과 내구성 강화를 위해 스택의 각 흑연판과 셀 전압 측정 모듈을 연결하는 제브라형 커넥터를 개발하였다. 개발된 커넥터는 전선의 대폭적인 감소로 인한 점유 공간의 축소, 흑연판 파손 가능성 저감, 운전시의 진동에 대한 신뢰성 강화 그리고 유지 보수가 쉽도록 하였다.

이로써, 연료전지 스택과 전압측정 회로부의 일체화를 가능하게 하고, 다수의 전선을 사용하지 않아 구조를 최소화함으로써 생산성과 내구성을 향상시킬 수 있는 발판을 마련하였다.

## References

- [1] Andre Lanz, 2001, James Heffel, Colin Messer, "Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies Revision 0" United States Federal Transit Administration(FTA).
- [2] Mark Alexander Meltser, 1998, "PEM Fuel

Cell Monitoring System", United States Patent. 5763113.

[3] Tim Rehg, Nguyen Minh, 2002, "Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies - IV.D Fuel Cell Stack Subsystem and Components".

[4] Yushi Kamiya, 2005, "R&D Trend survey of fuel cell vehicles", 연료전지 특별강좌, HCEM,

[5] James Larminie, 2003, John Lowry, "Electric vehicle technology", WILEY.

[6] 복득규, 2003, 환경친화형 자동차의 개발동향과 향후 대응전략" 삼성경제연구소.

[7] 조진상, 정상민, 이진희, 최세완, 한수빈, 2005.10, "연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법", 전력전자학회 논문지, Vol.10, No.5, pp.428-435.