

연료전지 셀 전압 모니터링 방법에 관한 연구

김동락*, 김현**, 이치노세토시히코**
삼성SDI*

Fuel Cell Stack Cell Monitoring Method

Dong-Rak Kim*, Hyun Kim**, Toshihiko Ichinose**
Samsung SDI*

Abstract - The voltages of unit cells of a fuel cell stack are one of the most significant factors to detect failure conditions and thereof safely control and operate the fuel cell system. In this paper, we describe two methods to monitor the voltages of the unit cells of a stack in consideration of data accuracy, circuit extensibility to various numbers of cells, and cost. The reported methods are approached by (i) the power isolation of cell voltage monitoring part from the communications part and (ii) the utilization of a commercially available cell monitoring integrated circuit IC of a Li-ion battery.

1. 서 론

미래의 에너지문제와 공해문제를 해결할 수 있는 하나의 대안으로 연료전지가 있다. 연료전지는 수소와 산소가 가진 화학적 에너지를 전기 에너지로 직접 변환시키는 전기화학적 장치로서, 수소와 산소를 양극과 음극에 공급하여 전기를 생산한다. 연료전지 발전 시스템은 H기를 함유한 연료 (LPG, 메탄, 메탄올 등)를 수소로 변환하는 연료 개질 장치, 연료 개질 장치에서 변환된 수소와 공기 중의 산소로부터 직류 전기를 발생시키는 연료 전지 본체(Stack), 연료 전지에서 발생된 직류 전기를 발전 시스템의 출력 형태로 변환시키는 전력 변환 장치, 각 장치에 연료를 공급하기 위한 펌프와 시스템의 온도를 조절하기 위한 팬(BOP)등으로 구성된다. 일반적으로 연료전지는 전기화학반응이 일어나는 단위전지(Single Cell)를 수십 혹은 수 백 개씩 적층한 형태로 구성되어 있으며, 연료전지 발전 시스템의 구동 중에 Cell 전압을 실시간으로 모니터링 하고 있다. Cell 전압을 측정하는 이유는 크게 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 연료전지 운전 중에 1개의 Cell 전압이라도 급격하게 강하되거나 역 전압이 되면 연료전지의 성능이 크게 떨어지거나 운전이 불가능한 상태가 되기 때문에 이를 방지하는 기능이 있어야만 한다. 둘째, 연료전지 운영을 최적의 전압에서 제어할 경우 연료의 효율 향상에 큰 영향을 준다. 셋째, 각 cell 전압들의 표준편차는 연료전지의 열화를 감지하고 수명을 예측할 수 있는 중요한 인자이며, 연료전지의 시동 및 운전 시의 안정성 등을 판단하는 데이터이다.

본 논문에서는 연료전지 Cell전압을 측정하기 위한 두 가지 방법을 제안하고 각 방법을 실제 회로보드로 구현하여 장단점을 비교하였다. Differential AD Converter와 Isolator를 이용하여 Cell 전압 측정부와 통신부의 전원을 분리시킨 Voltage Monitoring 방법과, Li-ion Battery Monitoring IC를 이용하여 연료전지 Cell전압을 Monitoring 하는 것이다.

2. 본 론

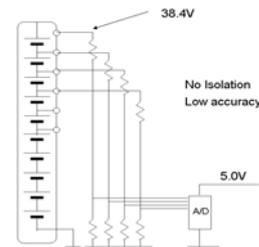
2.1 Fuel Cell Voltage Curve

고체 고분자 전해질 형 연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 통해 전기를 발생시킨다. 연료전지가 전류를 발생시키지 않는 가역 상태인 Open Circuit Voltage(OCV)일 때 이론적 Cell 전압은 약 1.2V이다. 그러나 실제 연료전지의 반응은 비가역 반응이며 이 비가역 손실에 의해 연료전지의 Cell전압은 이론적 OCV 보다 낮게 측정된다. 이러한 이론치와 실제치의 사이의 전압 손실을 분극(Polarization)이라 한다. 일종의 내부저항으로 발생하는 전압 감소이다. 전력을 발생시키기 위해서는 전류를 생성하여야 하고 연료전지의 특성상 전류가 발생하면서 전압이 하강 된다. 일반적으로 낮은 전압 영역에서 운전할 경우 연료전지

의 출력 밀도가 증가하게 되고 부피가 감소하게 되는 반면 효율이 감소하고, 높은 전압 영역에서 운전할 경우 연료전지의 효율이 증가하는 반면 부피가 증가하게 된다. 연료전지의 부피와 효율을 고려한 최적 운전 시 Cell의 정격 운전 전압은 일반적으로 0.6V ~ 0.8V이다. 위와 같이 연료전지 운전 전압은 연료전지의 특성을 결정하는 중요한 제어 요소이며 특히, 연료전지의 Cell 전압은 여러 요인에 의하여 동적으로 변동하고 있기 때문에 연료전지 운전 상태를 파악하기 위하여 실시간 Monitoring 이 반드시 필요하다.

2.2 일반적인 연료전지용 Cell Monitoring 방법

그림 1은 연료 전지의 각 Cell 전압을 Monitoring 하는데 사용하는 가장 일반적인 방법을 보여주고 있다. 연료전지 각 Cell 전압을 저항 divider를 이용하여 AD Converter의 sensing 전압 범위인 0V~5V로 분압하여 직접 측정하는 방법이다. 32cell로 구성된 연료전지를 고려하였을 때 연료 전지 최대 전압(OCV) 38.4V를 측정하기 위해서는 1/7.7 전압 Divider를 사용해야만 한다. 이 방법은 측정 오차가 7.7배 증폭이 되는 부작용을 동반한다. AD Converter 측정 오차를 제외한 저항 오차 2%(Max)와 전압 Divider의 오차 증폭만을 고려하면 최종 측정 오차는 최대 15.4% 발생할 수 있다. 당사에서는 Cell 전압의 표준 편차를 연료전지 제어에 중요한 인자로 사용하고 있기 때문에 그림 1의 방법으로 Monitoring된 값을 제어에 사용할 수 없다. 또한 연료전지와 Monitoring 회로간에 비절연 회로로 구성되어 있어 연료전지 과전압이나 leakage 전류로 인하여 Monitoring 회로의 과손을 초래할 위험이 있다. 따라서 회로보드의 안정성을 위하여 연료전지와 Monitoring 회로간의 절연 회로를 구성할 필요가 있으며, Cell 전압의 측정 오차를 감소하여 연료전지 제어인자로 활용하기 위하여 AD Converter의 Full range(5V)를 사용한 Cell 전압 측정이 필요하다.



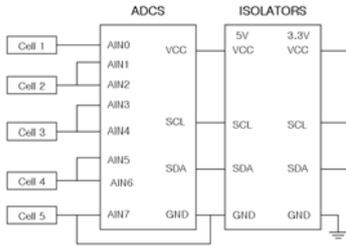
〈그림 1〉 Voltage Divider

2.3 제안된 연료전지용 Cell Monitoring 회로

2.3.1 Cell Monitoring method using Isolated ADC

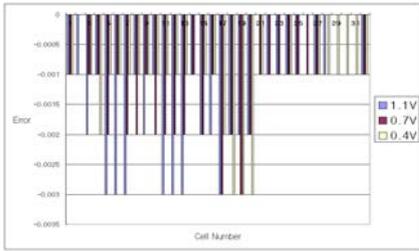
그림 2는 4개의 Cell 전압을 측정하기 위하여 Isolator를 이용한 ADC회로도들 간략히 표현한 것이다. Isolator를 이용하여 전압 측정부와 통신부간의 전원과 신호(SDA, SCL)를 분리 시켜 절연회로를 구성하였다. 전압 측정부에는 5번째 Cell 전압을 가상의 GND화하고 Cell1~ Cell 4까지의 전압을 Differential AD Converter를 이용하여 전압을 측정한다. 4개의 Cell만 측정하면 되므로 Voltage divider를 적용하지 않은 상태에서 최대 Cell전압인 1.2V를12bit ADC를 이용하여 직접 측정할 수 있으며,

4096단계로 분해할 수 있으므로 약 1mV의 분해능을 가질 수 있다. Isolator는 전압 측정부의 GND와 통신부의 GND를 분리시켜 절연회로를 구성하며 측정 range를 크게 한다. 측정된 data는 I2C 통신을 이용해 제어부로 전달된다. 동일한 구조를 series로 연결하여 32Cell Voltage data를 Monitoring 할 수 있다.



〈그림 2〉 ISOLATED ADC

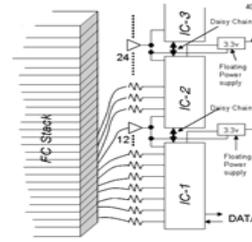
그림3은 위와 같은 방식을 이용하여 32Cell로 구성된 연료전지의 각 Cell 전압을 직접 측정한 결과이다. 연료전지 구동 중에 발생할 수 있는 0.4V ~ 1.1V의 전압을 측정하였고, Cell 전압 측정 오차는 최대 3mV로 ± 2 bit 정도의 정밀한 측정이 가능하였다. 측정 오차 3mV는 최저 측정 전압 0.4V를 기준으로 측정오차 0.75% 수준이다. 하지만 Isolator를 사용하여 전원과 신호를 분리하였기에 적지 않은 발열이 발생하고 이로 인한 Power 소모가 크다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Cell 전압 측정하는 구간에만 Isolator에 전원을 공급하는 방법을 적용하여, Monitoring 주기에 따라 Isolator를 ON/OFF 함으로써 1/5가량의 Power 소모를 줄 일 수 있었다.



〈그림 3〉 Cell voltage error using Isolated ADC

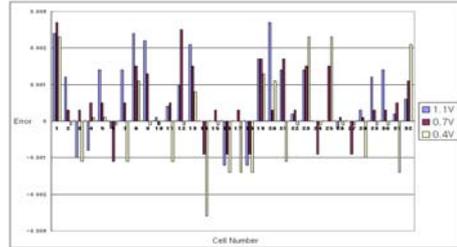
2.3.2 Cell Monitoring method using Li-ion IC

최근 전자제품의 사용전압이 높아짐에 따라 Li-ion 전지를 직렬 형태로 여러 개 연결하여 사용하는 경우가 많아지고 있다. 전지의 안전성을 높이기 위하여 모든 전지 전압의 Monitoring이 중요하며 또한 필요성이 커지고 있어, 여러 IC 업체에서는 Li-ion 전지 Monitoring 전용 IC를 개발하고 제품을 출시하고 있다. 이러한 IC는 100개 이상으로 직렬 연결된 전지의 전압을 측정할 수 있다. 새로운 방식의 Li-ion 전지 Monitoring IC중 연료전지에 용이하게 적용 할 수 있다고 판단되는 MAXIM社의 MAX11068 IC를 MAXIM社와 협력하여 연료전지 Cell Monitoring 회로를 구현하고 검토하였다. 이 IC는 최대 12개의 Cell 전압을 측정 할 수 있고 bucket brigade와 같은 방법으로 측정 데이터를 제어부로 보내는 Daisy chain 방식을 사용하였다. 그림 4는 Max11068 IC를 연료전지에 적용한 형태를 보여주고 있으며, 몇 가지의 개선이 필요한 점을 포함하고 있다. 첫째, 연료 전지의 Cell 전압은 Li-ion 전지 전압의 최대 1/5 수준이다. 둘째, 연료전지 발전시스템이 동작하지 않을 경우 Cell 전압은 0V 가 되므로 IC가 동작하지 않는다. 셋째, Cell에 역 전압이 발생되면 IC는 Latch-UP 상태가 되며 파손될 경우가 발생한다. 위 세 가지 문제점을 해결하기 위해 IC전원 공급용 3.3V Floating 전원을 별도로 사용하여 MAX11068용 전원으로 공급하고, ADC입력 단자에 전류 제한 저항을 설치하여 IC 파손을 방지하는 회로를 구성하였다. 또한 12번 Cell단자와 24번 Cell 단자에는 IC 소비전류에 의한 전압 감소가 발생하지 않도록 Buffer를 적용하였다.



〈그림 4〉 Circuit Block Schematic

그림 6과 같이 연료전지 발전 시스템에 MAX11068을 적용한 Monitoring 회로를 장착하여 Monitoring Test한 결과는 그림 5와 같다.



〈그림 5〉 Cell voltage error using MAX11068 IC

측정 오차는 ± 2.4 mV로 ± 2 bit 측정 오차가 발생하였고 최저 측정 전압 0.4V를 기준으로 측정오차 0.6% 수준이다. 5V를 12bit ADC의 기준전압으로 사용하였으며 2.5V를 기준전압으로 사용할 경우에는 1mV의 측정오차가 발생할 것으로 예상된다. 또한 1개의 IC로 12개의 Cell 전압을 측정할 수 있으므로 Cell Monitoring용 회로보드를 제작 시 크기의 소형화와 개발 비용을 저감할 수 있는 장점이 있다.



〈그림 6〉 Fuel Cell Stack Monitoring Driver

3. 결 론

본 논문에서는 연료전지 Cell Monitoring에 있어 두 가지 방법을 제안하였다. 첫째, Isolator를 이용한 ADC 방법은, 전압측정부와 통신부를 절연시켜 AD Converter의 안전성과 분해능을 향상시켰다. 둘째, Li-ion 전지 Monitoring 전용 IC의 주변회로를 변경하여 연료전지 Cell 전압 측정에 적용함으로써, Cell 전압의 측정 오차를 개선하였고 더불어 회로보드의 소형화 및 제작단가 저감을 달성할 수 있었다. 연료전지 Cell 전압의 정밀한 측정은 연료전지에 있어 필히 적용되어야 할 기술이며, 앞으로의 연료전지 시장의 성장을 고려하면 연료전지 Cell 전압 측정을 위한 전용 IC의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Tommy Ichinose, Fuel cell Voltage Monitoring Circuit used HEV Battery Monitor ASIC, the 49th Battery Symposium, 185 page, 2008
- [2] Chi-Seung Lee et al, Effect of Thermal Management on Performance and Stability of PEM Fuel Cell Stacks, 한국전기화학회 춘계학술대회, 2008
- [3] jong-soo Kim, "Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC) Modeling for High Efficiency Fuel Cell Balance of Plant (BOP)", 2007년 하계 학술대 논문집, 2007