

VRFB를 위한 BOP 구성 및 BMS 기능구현에 관한 연구

(A Study on the Configuration of BOP and Implementation of BMS Function for VRFB)

최정식* · 오승열 · 정동화 · 박병철**

(Jung-Sik Choi · Seung-Yeol Oh · Dong-Hwa Chung · Byung-Chul Park)

Abstract

This paper proposes a study on the configuration of balancing of plant(BOP) and implementation of battery management system(BMS) functions for vanadium redox flow battery(VRFB) and propose a method consists of sensor and required design specifications BOP system configuration. And it proposes an method of the functions implementation and control algorithm of the BMS for flow battery. Functions of BMS include temperature control, the charge and discharge control, flow control, level control, state of charge(SOC) estimation and a battery protection through the sensor signal of BOP. Functions of BMS is implemented by the sensor signal, so it is recognized as a very important factor measurement accuracy of the data.

Therefore, measuring a mechanical signal(flow rate, temperature, level) through the BOP test model, and the measuring an electrical signal(cell voltage, stack voltage and stack current) through the VRFB charge-discharge system and analyzes the precision of data in this paper. Also it shows a good charge-discharge test results by the SOC estimation algorithm of VRFB. Proposed BOP configuration and BMS functions implementation can be used as a reference indicator for VRFB system design.

Key Words : Redox Flow Battery, Balancing Of Plant, Battery Management System, Data Measuring, State Of Charge

* 주저자 : 전자부품연구원 에너지변환연구센터
선임연구원
** 교신저자 : 전자부품연구원 에너지변환연구센터
책임연구원
* Main author : Senior Researcher, Energy
Convergence Research Center, KETI
** Corresponding author : Managerial Researcher,
Energy Convergence Research Center,
KETI
Tel : 062-975-7056, Fax : 062-975-7069
E-mail : cjs1108@keti.re.kr
접수일자 : 2014년 9월 24일
1차심사 : 2014년 9월 27일
심사완료 : 2014년 10월 31일

1. 서 론

화석연료 고갈과 CO₂ 감축의무에 따라 신재생에너지의 중요성이 대두되고 있으며, 이에 따라 풍력발전이나, 태양광발전의 설치가 점점 확대되고 있다. 대규모 풍력 발전이나 태양광 발전의 경우 환경에 따라 출력의 변동이 있어 바로 계통에 연계시킬 경우 주파수 변동을 발생시켜 고장의 원인이 될 수 있다. 또한 환경변수에 의해 풍력 발전단지나 태양광 발전단지의

설치용량 대비 이용률에 대한 문제가 제기되고 있는 실정이다. 따라서 안정한 전기에너지의 공급과 고효율의 에너지 변환 및 저장시스템의 연구 및 개발이 필요하며 이와 같은 문제 해결의 한 방법으로 대용량, 고효율의 이차전지 개발에 대한 요구가 점차 증가되고 있다. 현재 대용량 전지로는 lead/acid 전지, Ni/Cd 전지 등의 상용전지와 NaS 전지, Zn/Br 전지 및 Ni/MH 전지 등 여러 종류의 전지가 있으나 수백 MW급 또는 그 이상의 대용량 전지를 대체할 수 있는 전지는 출력과 용량 증설이 유리한 레독스 흐름전지(Redox-Flow Battery)가 가장 유리하다. 이밖에 전기자동차용 이차전지로 레독스 흐름전지, Zn/Air 전지 및 외부에서 연료나 공기 등을 공급하여 에너지를 발생시키는 연료전지 등을 들 수 있다[1]. 이 중 레독스 흐름전지는 최근 들어 많은 주목을 받고 있는 대용량의 이차전지로서 미국의 NASA, 호주의 NSWU 및 일본의 Moon Light Project의 일환으로서 통산성 산하 전자 기술 종합 연구소와 몇 군데의 민간 연구소 등에서 연구가 수행 중에 있는 유망한 에너지 저장시스템이다[2-3]. 특히 활물질로 바나듐을 사용하는 바나듐 레독스 흐름 전지(V-RFB, vanadium redox-flow battery)는 재생에너지의 원활한 전력공급과 부하 평준화, 비상용 전력을 위한 전력저장 시스템으로 연구가 진행되고 있다[4-9].

레독스 흐름전지는 수용액 중에 서로 다른 산화수를 갖는 2종류의 화학종 레독스 쌍을 전극 반응시킴으로써 충방전 하는 전지이다. 이 전지는 레독스 쌍의 조성이 충방전에 따라 가역적으로 변화하는 것과는 대조적으로 전극에서는 단순히 전자의 주고받음만 행해지기 때문에 전극 자체의 변화가 거의 없고 전극과 활물질이 분리되어 있어 복잡한 전극반응이 일어나지 않으며 전지의 수명이 길고 용량 증설이 비교적 용이한 장점이 있다[10]. 또한 양쪽 전극 액이 탱크에 의해 분리 저장되기 때문에 유입 액량에 의해 전지의 출력 제어가 가능하고, 전지 보수 및 관리가 용이하며 탱크의 용량을 변경하는 것만으로도 전력 저장량의 추정이 가능하다. 현재 레독스 흐름전지에 관한 연구는 주로 전지의 소재(전해액, 분리막, 커플 등) 부분에 대한 내용이 주를 이루고 있으며 이에 대한 연구가 활발히

진행 중이다[11-13]. 그러나 바나듐계 레독스 흐름전지(VRFB)를 이용한 전력저장용 시스템 구성에 있어 주변기기인 BOP(Balance of Plant) 구성과 BMS(Battery Management System)의 기능 및 제어에 관한 연구는 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 VRFB 시스템의 BOP 구성 기술과 흐름전지용 BMS의 기능 구현에 관한 내용을 기술하고 향후 전력저장용 시스템 구성 시 설계 지표를 나타내고자 한다.

2. 시스템 구성

2.1 BOP(Balance of Plant) 구성

그림 1은 전 바나듐계 레독스 흐름전지의 BOP 구성을 나타내고 있다. 레독스 흐름전지는 양극과 음극의 전해질의 흐름에 의해 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 전지로서 이에 대한 BOP 요소는 다음과 같다. 다음 그림 중 anode tank는 양극전해질 탱크, cathode tank는 음극 전해질 탱크, stack은 VRFB 전지 스택을 나타내며 pipe window는 전해질이 흐르고 있는 상태를 확인할 수 있는 창을 나타낸다.

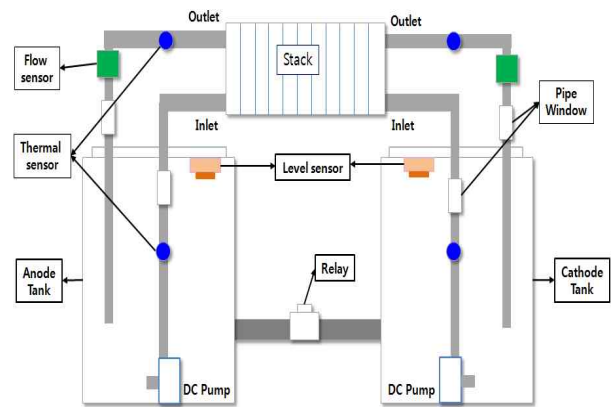


그림 1. 바나듐계 레독스 흐름전지용 BOP 구성
Fig. 1. BOP Configuration for VRFB

2.1.1 전해질 펌프(DC Pump)

바나듐 전해질 흐름을 위한 펌프는 100W 미만의 DC 펌프로 구성해야 하며 용량은 3kW 스택 기준 20L/min 이하의 사양이며 BMS에서 제어 가능하도록

구성하고 펌프의 위치는 초기 구동을 위해 반드시 전해질 탱크의 아래 부분과 수평이 되도록 설치한다.

2.1.2 유량센서(Flow Sensor)

유량센서는 양극과 음극의 유로에 모두 설치하며 전해질 유량에 따라 전지의 특성이 바뀌며 특히 유량펌프의 기계적 출력과 전지의 전기적 출력에 밀접한 관계가 있으므로 최적의 유량 제어를 위해 반드시 요구된다.

2.1.3 온도센서(Thermal Sensor)

온도센서는 양극과 음극의 유로에 모두 설치되며 전해질이 스택을 통해 반응 후 온도를 체크해야 하므로 스택 통과 전과 후로 나누어 2쌍으로 설치한다. 또한 전해질의 경우 40°C 이상 온도에서 석출이 일어나므로 향후 냉각시스템을 설치할 경우 온도센서의 출력값을 기준으로 냉각 장치의 On/Off를 제어할 수 있다.

2.1.4 레벨센서(Level sensor)

레벨센서는 전해질 탱크의 양을 계측하기 위해 설치된 것으로서 흐름전지는 장시간 운전 시 이온의 전도로 양극과 음극의 전해질 양이 크게 차이가 난다. 이러한 차이는 전지의 시스템 용량을 감소시킬 뿐만 아니라 최종적으로 시스템 정지 상태까지 초래하므로 일정 차이 후에는 탱크 사이의 밸브 제어를 통해 전해질량을 균등하게 배분할 수 있다.

2.2 BMS(Battery Management System) 구성

그림 2는 바나듐계 레독스 흐름전지용 BMS 구성을 나타내고 있다. 기계적인 센서와 전기적 센서의 신호를 수용하는 센싱부와 센싱 데이터를 통해 알고리즘 구현을 위한 MCU(Micro Controller Unit), 보호부, 표시장치부 및 외부 인터페이스부로 나눌 수 있다.

2.2.1 센싱부

BOP에서 구성된 온도, 유량, 레벨 및 전압, 전류의

아날로그 값을 센싱하는 부분으로 고정밀 계측을 위한 센서 선정 및 회로설계가 중요하다. 센싱된 값을 이용하여 SOC 추정, 유량제어 및 레벨제어를 수행할 수 있으며 이를 통해 전지의 이용률을 높일 수 있다.

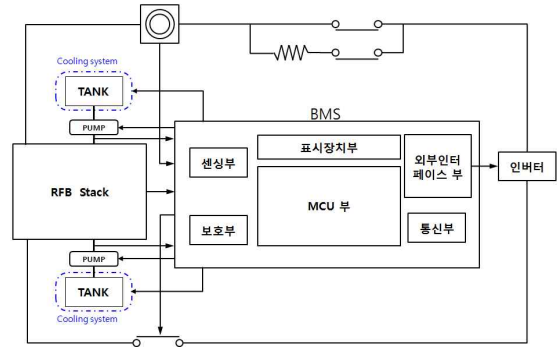


그림 2. 바나듐계 레독스 흐름전지용 BMS 구성
Fig. 2. BMS Configuration for VRFB

2.2.2 보호부

보호부는 전지의 충·방전 상태에 따라 과충전 및 과방전 시의 인버터와 전지사이에 위치한 보호 릴레이를 동작하는 기능으로서 과전압, 과전류, 저전압 및 비상정지 등으로 나누어 동작하게 된다.

2.2.3 MCU부

MCU부는 BMS의 핵심 부분으로 SOC 추정, 각 센서에서 계측된 값을 이용한 레벨 및 유량 제어 알고리즘을 수행한다.

2.2.4 표시장치부

표시장치부는 BMS 내부 표시장치부와 외부 모니터링부로 나눌 수 있으며 내부 표시장치부는 LCD 모듈로 구성하여 VRFB 스택과 양극과 음극의 상태 점검을 즉시 확인할 수 있으며 외부 표시장치부는 PC를 이용한 BMS 정보 송신을 통해 스택 및 시스템에 대한 상태를 모니터링 할 수 있도록 구성해야 한다.

2.2.5 외부인터페이스부

외부인터페이스부는 외부 표시장치인 PC와의 인터페이스를 위한 모니터링 시스템으로 통신부와 데이터

처리부 및 사용자 인터페이스부로 구성된다.

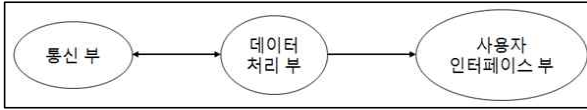


그림 3. 외부 인터페이스부 구성
Fig. 3. Configuration of Exterior Interface

사용자 인터페이스 부분은 PC에서 표시되는 전지 상태를 전체적으로 디스플레이하며 BMS에서 송신되는 데이터의 항목은 다음과 같다.

- ① 레독스 흐름 전지 셀 전압
- ② 레독스 흐름 전지 스택 전압
- ③ 레독스 흐름 전지 스택 전류
- ④ 레독스 흐름 전지 전해액 온도
- ⑤ 레독스 흐름 전지 전해액 유량 정보
- ⑥ 레독스 흐름 전지 탱크 레벨 정보
- ⑦ 레독스 흐름 전지 충·방전 상태 정보
- ⑧ 레독스 흐름 전지 잔존용량 정보
- ⑨ 레독스 흐름 전지의 각 셀 이상 정보

2.2.6 펌프 구동부

그림 4는 VRFB의 전력흐름도를 나타낸 것으로서 전해액 흐름을 위한 펌프는 기본적으로 전지의 전원인 DC를 이용하기 때문에 DC 펌프 구동을 위한 DC/DC 컨버터로 구성된다. 전지의 전압(50Vdc)을 펌프 구동 전압(24Vdc)으로 강압하는 100W급 Buck 컨버터로 전압제어를 통해 펌프 유량을 제어할 수 있다.

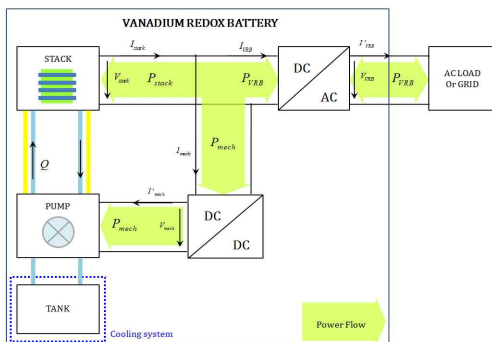


그림 4. 레독스 흐름 전지의 전력 흐름도
Fig. 4. Power Flow of RFB

3. 제어 알고리즘 및 기능구현

VRFB용 BMS에 포함되는 제어알고리즘 및 기능은 온도제어, 유량제어, 레벨제어, 충·방전 제어 및 SOC 추정 기능으로 구성된다.

3.1 온도제어 알고리즘

VRFB의 경우 전해질의 온도 상승에 따라 셀 및 스택의 출력이 현저히 감소하게 되는 특성을 가지고 있다. 이를 위해 센싱부에서는 전해질의 온도를 검출하게 되고 그 데이터를 통해 시스템 설치 장소의 공조 시스템 또는 전해질 탱크 주위의 냉각 시스템의 On/Off 제어를 수행하게 되며 그림 5는 이에 대한 제어 흐름도를 나타낸다. 여기서 온도 기준값은 실험값 기준으로 40°C로 설정한다.

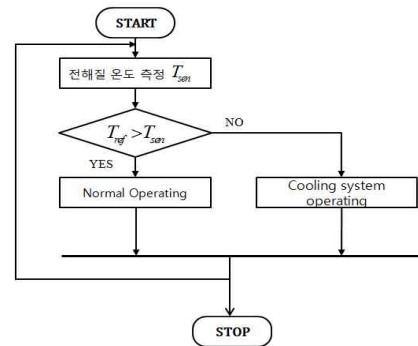


그림 5 전해질 온도에 따른 냉각 제어 알고리즘
Fig. 5. Cooling Control Algorithm with Electrolyte Temperature

3.2 유량제어 알고리즘

그림 6은 VRFB BMS의 유량제어 알고리즘을 나타낸다. BMS의 유량제어는 자동모드와 수동모드로 구성된다. 수동모드는 배터리 관리 시스템에서 외부 key 조작으로 DC 펌프를 제어하는 PWM duty를 증가시키거나 또는 감소시킴으로써 유량을 제어할 수 있다. 유량제어의 자동모드는 그림 7과 같이 나타낼 수 있으며 스택의 전압, 전류, 펌프의 전압 및 유량을 센싱하

고 기계적인 전력(펌프 소모전력)과 스택의 출력전력을 계산한다. 스택전류의 양, 부에 따라 충·방전 상태를 정할 수 있으며 충·방전 조건에 대한 실제 스택의 출력전력을 계산하고 이를 통해 자동으로 펌프의 전압을 가변하여 최적의 전압을 유지하는 알고리즘이다.

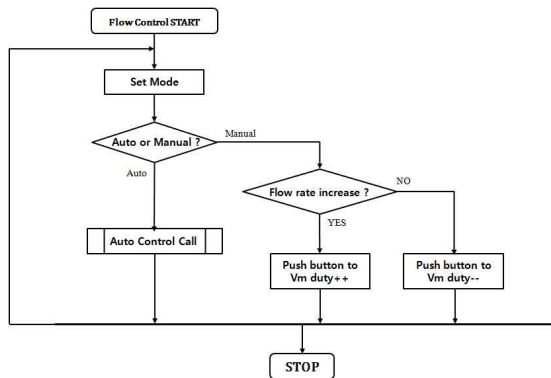


그림 6. VRFB BMS 유량제어 알고리즘
Fig. 6. Flow Control Algorithm of VRFB BMS

자동모드 제어 알고리즘은 기본적으로 기계적인 모델링을 통해 전기적 출력과 기계적 출력의 계산으로 구성된다.

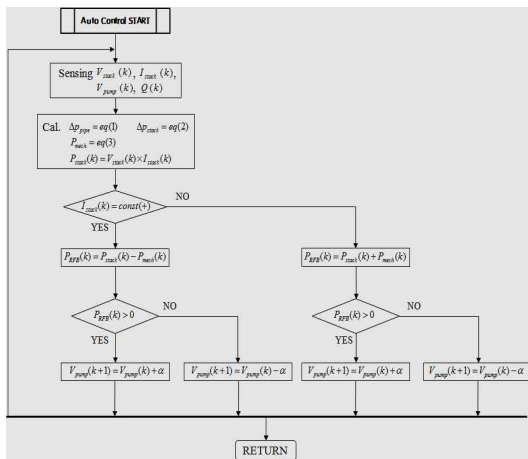


그림 7. 유량제어 자동모드 알고리즘
Fig. 7. Auto Mode Algorithm of Flow Control

다음 식 (1)은 유로 파이프의 압력을 나타내며 식 (2)과 식 (3)은 스택내부 압력 및 기계적인 출력을 나타낸다.

$$\Delta p_{pipe} = -\gamma \left(\frac{\Delta V_s^2}{2g} + \Delta z + h_f + h_m \right) \quad (1)$$

$$\Delta p_{stack} = Q(k) \times \tilde{R} \quad (2)$$

$$P_{mech} = 2 \frac{(\Delta p_{pipe} + \Delta p_{stack}) Q(k)}{\eta_{pumps}} \quad (3)$$

여기서 ΔV 는 유체속도변화, z 는 높이, h_f 는 수두 손실, h_m 은 부차적 손실, γ 는 특정계수, \tilde{R} 은 유로 저항 및 Q 는 유량을 나타낸다.

3.3 레벨제어 알고리즘

전해질 탱크의 유체 레벨제어를 위한 알고리즘은 그림 8로 나타낼 수 있으며 탱크에 부착된 레벨센서를 통해 전해질 레벨을 센싱받고 전해질 레벨 차이의 정도를 설정한다. 전해질 양극과 음극의 레벨 차이에 대한 절대값을 계산하고 그 절대값이 설정한 값보다 이상일 경우 양극 전해질탱크와 음극 전해질 탱크 사이에 설치된 릴레이를 동작시켜 두 탱크의 전해질 레벨을 조절한다.

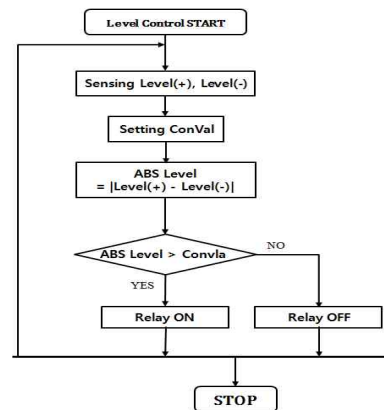


그림 8. 전해질 탱크 레벨제어 알고리즘
Fig. 8. Level Control Algorithm of Electrolyte Tank

3.4 충·방전 제어 알고리즘

배터리 관리 시스템의 중요한 기능 중 하나인 충·

방전 제어는 VRFB와 같은 장주기용 이차전지에 적합한 피크 전력 관리 제어 알고리즘을 적용할 수 있다. VRFB는 기동 시간이 60s 이내로 순간정전 등과 같은 순시적인 반응에는 어려우며 피크 전력의 특정 시간과 SOC를 통해 제어할 수 있다. 먼저 RTS를 통해 로컬 시간을 설정하고 배터리 관리 시스템의 SOC를 계측한다. 전력 피크 시간을 오전 10:00에서 오후 02:00로 가정하고 배터리의 SOC가 0.2 이상일 경우 방전, 심야 시간인 밤 12:00에서 새벽 04:00에 SOC가 0.8 이하일 경우에는 충전하며 이외의 경우에는 레독스 흐름 전지는 동작하지 않도록 제어 알고리즘을 구성할 수 있으며 그림 9와 같이 나타낼 수 있다.

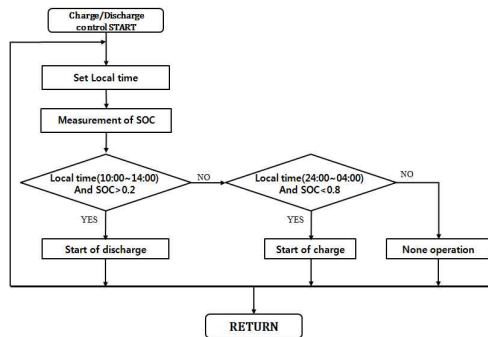


그림 9. 전력피크 관리용 총방전 제어 알고리즘
Fig. 9. Charging-Discharging Control Algorithm for Power Peak Management

3.5 SOC 추정

VRFB의 SOC는 BMS에서 계측한 전압 정보에 의해 추정할 수 있으며 계측된 초기전압을 통해 초기 SOC를 구할 수 있으며 다음 식의 적산법을 통해 SOC를 추정할 수 있다.

$$V_{measure} = V_{cell} \cdot n + k \cdot \ln\left(\frac{SOC}{1-SOC}\right) \quad (4)$$

$$SOC_{ini} = \left(\frac{\exp(V_{measure} - V_{cell} \cdot n)}{k + \exp(V_{measure} - V_{cell} \cdot n)}\right) \quad (5)$$

여기서 k 는 온도계수, $V_{measure}$ 는 측정 전압, V_{cell} 은

단위 셀 전압 및 n 은 셀의 개수를 나타낸다.

$$SOC_{t+1} = SOC_t + \Delta SOC \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta SOC &= \frac{\Delta E}{E_{cap}} = \frac{P_{stack} \cdot Time_{step}}{E_{cap}} \\ &= \frac{I_{stack} \cdot V_{stack} \cdot Time_{step}}{P_{rating} \cdot Time_{rating}} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 E_{cap} 은 배터리 용량, P_{stack} 은 배터리 출력, V_{stack} 은 스택 전압, I_{stack} 은 스택전류 및 $Time_{rating}$ 은 정격시간을 나타낸다.

4. 시스템 설계

VRFB의 BMS에 대한 기능을 정의하여 이를 기반으로 실제 시스템을 설계하였다. BMS 시스템은 하드웨어 기반의 BMS 시제품과 모니터링 시스템으로 구성하였다. 하드웨어 기반의 BMS는 3층 PCB로 제작되었으며 MCU 및 전원부, 데이터 센싱부, 펌프 구동부로 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다.



그림 10. 하드웨어 기반 BMS 설계 및 제작
Fig. 10. BMS Design and Manufacture Based Hardware

VRFB를 위한 BOP 구성 및 BMS 기능구현에 관한 연구

모니터링 시스템은 전체 계통도를 통해 스택 전압, 전류, 온도 및 SOC를 나타낼 수 있도록 구성하였으며 세부 프로그램은 각 셀에 대한 보호 정보와 상태 트렌드를 나타낼 수 있도록 구성하였다. 그림 12의 셀 이상정보는 과 충전 또는 과 방전에 대한 해당 셀의 색깔 변화로 나타낸다.

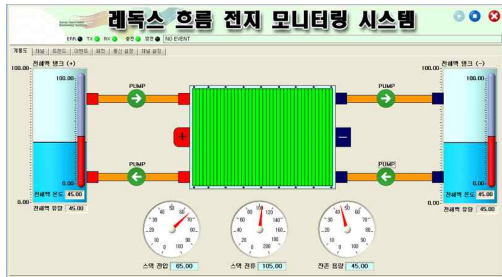


그림 11. 모니터링 시스템 전체 계통도
Fig. 11. Overall Diagram of Monitoring System

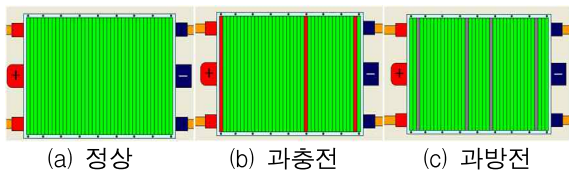


그림 12. 각 셀에 대한 이상 정보 표시
Fig. 12. Error Information Indication for Cell



그림 13. 트렌드 정보 표시
Fig. 13. Trend Information Indication

5. 성능시험 및 결과

제작된 BMS의 성능시험은 BOP 테스트 모델을 통해 유량, 온도 및 레벨 센서의 계측 및 기능 시험을 수행 하였으며 그림 14는 제작된 BOP 테스트

모델을 나타낸다.

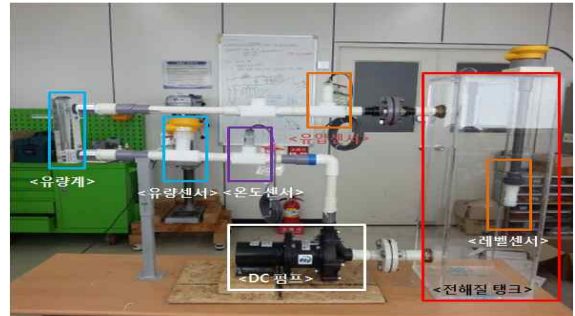


그림 14. 제작된 BOP 테스트 모델
Fig. 14. Manufactured BOP Test Model

그림 15~17은 BOP 테스트 모델을 통한 유량계측, 온도계측 및 레벨계측에 대한 데이터 정확도를 나타낸 것으로서 실 계측값과 BMS 출력 데이터값을 비교하였다.



그림 15. 유량 데이터 계측 정보
Fig. 15. Flow Data Measure Information



그림 16. 온도 데이터 계측 정보
Fig. 16. Temperature Data Measure Information

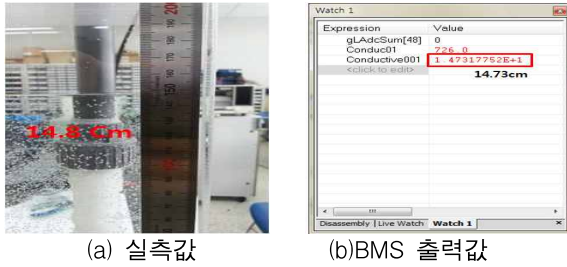


그림 17. 전해질 레벨 데이터 계측 정보
Fig. 17. Electrolyte Level Data Measure Information

그림 18은 BMS의 전압, 전류 및 SOC 측정을 위한 4.8kWh급 스택의 VRFB 충방전 시스템을 나타내고 있다. 충방전 전류는 100A로 설정하여 실험하였으며 전기적인 데이터는 오실로스코프로 실 계측하고 BMS 출력값과 비교하였다.



그림 18. 4.8kWh급 VRFB 충방전 시스템
Fig. 18. VRFB Charging Discharging System of 4.8kWh

그림 19~21은 3kW급 VRFB 충방전 시스템을 이용하여 셀 전압과 스택전압 및 스택 전류의 계측 정확도를 분석하였다.

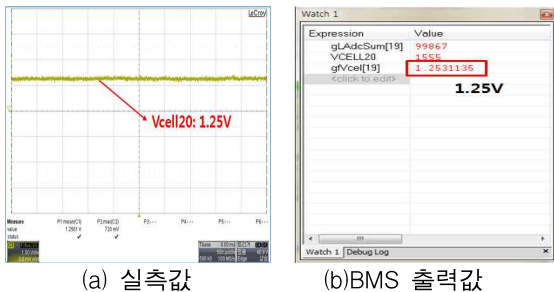


그림 19. 셀 전압 데이터 계측 정보
Fig. 19. Cell Voltage Data Measure Information

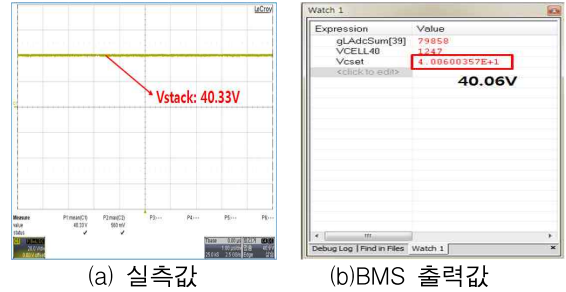


그림 20. 스택 전압 데이터 계측 정보
Fig. 20. Stack Voltage Data Measure Information

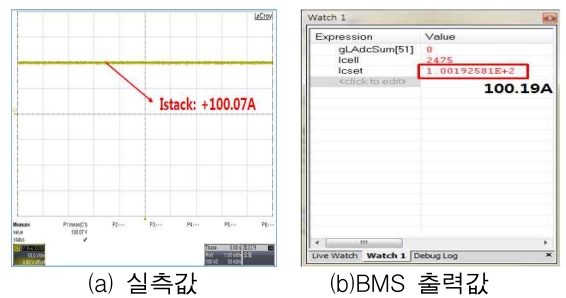


그림 21. 스택 전류 데이터 계측 정보
Fig. 21. Stack Current Data Measure Information

VRFB의 SOC 추정을 위해 다음 그림 22와 같이 PSIM을 통해 VRFB의 모델링을 수행하였으며 이는 VRFB와 SOC 추정 및 전해액 펌프의 소모 전력을 포함하게 된다. 그림 23은 VRFB의 PSIM 모델링에 의한 OCV(Open Circuit Voltage)와 SOC 변화 결과를 나타낸 것이다.

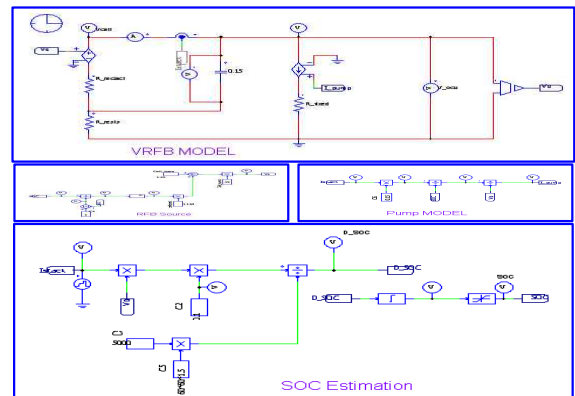
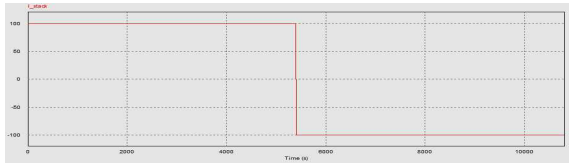
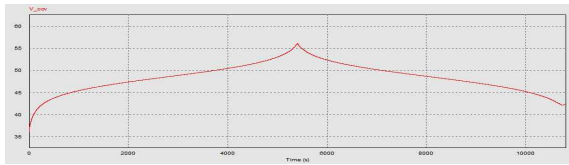


그림 22. VRFB PSIM 모델링 및 SOC 추정 모델
Fig. 22. VRFB PSIM and SOC Estimation Model

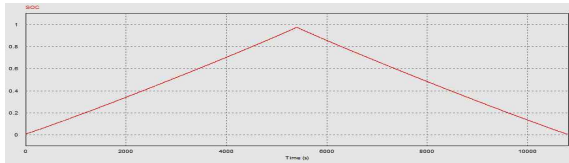
그림 23 (a)는 초기부터 4,800s까지는 100A로 충전하고 4,800s 이상부터는 100A로 방전할 경우의 전류를 나타내며 23 (b)는 이에 대한 OCV 및 23 (c)는 SOC 변화를 나타낸다.



(a) 충전방전 전류 조건



(b) VRFB OCV 응답결과



(c)VRFB SOC 변화

그림 23. VRFB PSIM 시뮬레이션 결과
Fig. 23. VRFB PSIM Simulation Result

그림 24는 4.8kWh급 VRFB 충전방전 시스템을 통한 SOC 추정 실험 파형을 나타낸 것이다. 초기 SOC값을 통한 충전방전 데이터에 의해 SOC 변화가 양호하게 나타나고 있다.

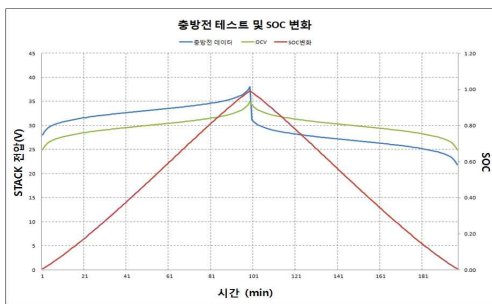


그림 24. 4.8kWh급 VRFB 충전방전 시스템을 통한 SOC 추정 실험 파형
Fig. 24. SOC Estimation Waveform for VRFB Charging Discharging System on 4.8kWh

표 1은 VRFB용 BMS 센싱 데이터에 대한 계측 오차를 나타내고 있다. 6개 항목 모두 높은 계측 정확도를 나타내고 있다.

표 1. BMS 센싱 데이터 분석
Table 1. BMS Sensing Data Analyze

구분	계 측 값	BMS출력값
셀 전압	1.25V	1.25V
스택 전압	40.33V	40.06V
스택 전류	+ 100.07A	+ 100.19A
전해액 유량	25L/min	25.31L/min
전해액 온도	27.1℃	27.1℃
전해액 탱크 레벨	14.8cm	14.73cm

6. 결 론

본 논문은 VRFB를 위한 BOP 구성 및 BMS 기능구현에 관한 연구로서 BOP 구성에 있어 요구되는 설계 사양 및 각종 센서들을 나타냈다. 또한 BMS에서는 구성된 BOP의 센서 신호를 통해 온도제어, 유량제어, 레벨제어, 충전방전 제어 및 SOC 추정 기능 구현에 대해 설명하였다.

BMS 기능은 센서들의 계측 신호에 의해 구현될 수 있으므로 계측 데이터에 대한 높은 정밀도가 요구된다. 이러한 센서신호는 기계적인 신호와 전기적인 신호 나눌 수 있으며 BOP 테스트 모델과 실제 VRFB 충전방전 시스템을 통해 계측 데이터의 정밀도를 분석하였다.

BOP 테스트 모델을 통해 기계적인 센서 신호인 유량, 온도 및 레벨 센서의 신호를 계측하였고 VRFB 충전방전 시스템을 통해 전기적인 신호인 셀 전압, 스택전압, 스택전류를 계측하였으며 실 계측값과 BMS의 출력값을 비교 분석해 보면 정확도는 98% 이상으로 매우 우수한 정밀도를 나타내고 있다. 또한 계측된 VRFB 스택 전압과 누적 적산법에 의한 SOC 추정 알고리즘은 충전방전 테스트 결과 양호하게 추정함을 알 수 있다.

따라서 제시한 VRFB용 BMS는 ESS 시스템 구성을 위한 전력변환장치에 적용이 가능하며 본 논문에

서 제시한 BOP 구성 및 BMS 기능구현은 국내의 연구개발이 미흡한 VRFB용 BMS 개발에 대한 설계 자료 및 필수 기능구현 자료 등의 정량적 지표로 활용이 가능할 것이다.

본 연구는 전자부품연구원 K-Initiative(5kW급 레독스 플로우전지 및 전력저장시스템 기술 개발) 사업의 일환으로 수행되었음.

References

- [1] T. Horie, Y. Ishida and H. Fujioka, "New Trends in Power Storage System", NTT Building Technology Institute, Engineering report, 2004.
- [2] L. H. Thaller, "Electrical Rechargeable Redox Flow Cells", NASA TMX-71540, 1974.
- [3] M. S. Kazacos, D. Kasherman, D. R. Hong and M. Kazacos, "Characteristic and Performance of 1kW·UNSW Vanadium Redox Battery", J. Power Sources, 35, 399, 1991.
- [4] S. J. Choi, J. H. Jeong, Y. C. Shin, M. S. Lee, D. H. Chu, C. H., Kim, and K. P. Park, "haracteristics of Poly(aryleneether sulfone) Membrane for Vanadium Redox Flow Battery," Korean Chem. Eng. Res.(HW/AHAK KONGHAK), 51, 671-676, 2013.
- [5] J. G. Kim, S. H. Lee, S. I. Choi, C. S., Jin, J. C Kim, C. H. Ryu, and G. J. Hwang, , "Application of Psf-PPSS-TPA Composite Membrane in the All-vanadium Redox Flow Battery," J. Ind. Eng. Chem., 16, 756-762, 2010.
- [6] Sumitomo Electric Industries Ltd., Power system solution with vanadium redox-flow battery (V-RFB), Presentation paper, 2010.
- [7] Xing, F., Zhang, H. and Ma, X., "hunt Current Loss of theVanadium Redox Flow Battery," J. Power Sources, 196, 10753-10757(2011).
- [8] Prifti, H., Parasuraman, A., Winardi, S., Lim, T. M. and Skyllas-Kazacos, M., "embranes for Redox Flow Battery Applications," Membranes, 2, 275-306, 2012.
- [9] Chen, D., Hickner, M. A., Agar, E. and Kumbur, E. C., "elective Anion Exchange Membranes for High Coulombic Efficiency Vanadium Redox Flow Batteries," Electrochem. Com., 26, 37-40, 2013.
- [10] H. S. Choi, J. C. Kim C. H. Ryu, G. J. Hwang, "Research review of the all vanadium redox-flow battery for large scale power storage", Member J., Vol. 21, No. 2, pp. 107-117, 2011.
- [11] I. Y. Jang, O. H. Kweon, K. E. Kim, G. J. Hwang, S. B. Moon and A. S. Kang, "Covalently cross-linked sulfonated poly(ether ketone)tungstophosphoric acid composite membranes for water electrolysis application", J. Power Source, 181, 127, 2008.

- [12] I. Y. Jang, O. H. Kweon, K. E. Kim, G. J. Hwang, S. B. Moon and A. S. Kang, "Application of polysulfone and polyether ether ketone tungstophosphoric acid composite membrane for water electrolysis" J. Membrane Sci., 322, 154, 2008.
- [13] W. H. Wang and X. D. Wand, "Investigation of Ir-modified carbon felt as the positive electrode of an all vanadium redox flow battery", Electrochimica Acta, 52m 6755, 2007.

◇ 저자소개 ◇



최정식(崔正植)

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대 전기 제어공학과 졸업. 2007년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2011년 1월~현재 전자부품연구원 에너지변환 연구센터 선임연구원.



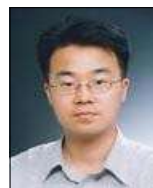
오승열(吳承烈)

1975년 5월 16일생. 2004년 전남대 대학원 전공학과 졸업(석사). 2013년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2005~2006년 네오엔비 PM. 2007년~현재 전자 부품연구원 에너지변환연구센터 책임 연구원.



정동화(鄭東和)

1979년 영남대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주)기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대 전기 제어공학과 교수.



박병철(朴丙哲)

1973년 6월 15일생. 1996년 건국대 전기 공학과 졸업. 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003~2012년 LS산전 전력 연구소 책임연구원. 2012년~현재 전자 부품연구원 에너지변환연구센터 책임 연구원.