

C-rate에 따른 바나듐 레독스 플로우 배터리 특성분석

장소희*, 김종훈**
조선대학교*, 충남대학교**

Characterization analysis according to C-rate of Vanadium redox flow battery

So Hee Jang*, Jong Hoon Kim**
Chosun University*, Chungnam National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 바나듐 레독스 플로우 배터리의 동작원리를 설명하고, C rate에 따른 특성 분석을 하였다. 전해질 양이 18mL, 22mL일 때 0.1C, 0.3C, 0.5C, 0.7C, 0.9C, 1.0C로 전류의 크기에 변화를 주어 용량을 측정 후 비교 분석하였다. 더불어 HPPC(Hybrid pulse power characterization) 실험에서 1.0C 일 때 잔존 용량(State of charge, SOC)의 변화에 따른 저항을 추출하였고 분석하였다. 그 결과 바나듐 레독스 플로우 배터리의 효율 분석을 위한 파라미터 값을 확인하였다.

성 흑연 막의 사이를 흐르면서 전하의 교환이 이루어지는 방식으로 충전과 방전을 한다.^[3]

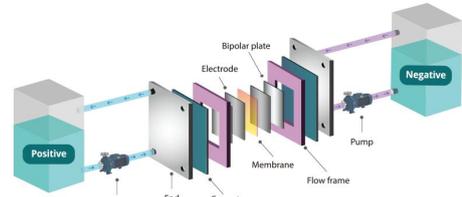


그림 1 바나듐 레독스 플로우 배터리 구조^[2]
Fig. 1 The structure of vanadium redox flow battery

1. 서 론

이산화탄소의 증가로 인한 환경문제 때문에 신재생 에너지에 대한 연구가 많이 이뤄지고 있다. 그러나 태양광, 풍력 같은 신재생 에너지원은 출력 변동이 심해 이에 대한 대응이 어려워 전력공급의 안전성을 확보하기가 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 에너지 저장 시스템(Energy storage system, ESS)의 기술이 주목 받고 있다.

에너지 저장 시스템의 배터리로써 바나듐 레독스 플로우 배터리는 조작과 설계가 간단하며, 수명이 길고 대기 전력의 손실이 낮으면서 기동이 빠르고 유지보수가 쉽고, 안전하다는 장점을 가지고 있어 주목 받고 있지만 기존의 리튬 배터리보다 기전력이 낮다는 단점을 가지고 있어 에너지 효율의 증가에 다양한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 바나듐 레독스 플로우 배터리의 에너지 효율 향상 연구와 관련하여 C rate의 변화에 따른 방전 용량과 SOC 90% 10%까지 내부 저항의 변화를 비교하였고 전해질 양의 변화에 따른 전기화학적 특성 분석을 수행하였다.^[1]

2. 본 론

2.1 바나듐 레독스 플로우 배터리의 동작 원리

그림1은 바나듐 레독스 플로우 배터리의 구조를 보여준다. 바나듐 레독스 플로우 배터리는 이온 교환막이 분리되어있으며 흑연 막을 통해 활물질과 전자 교환이 이루어지도록 하는 셀이 있고 바나듐 활물질이 저장되어있는 탱크, 충·방전 시 활물질을 순환시키는 펌프 및 계통장치, 열 교환기/벨브로 구성되어 있다. 바나듐 이온을 함유하고 있는 각 탱크의 전해질이 다공

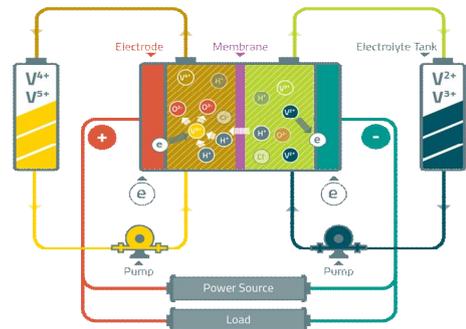
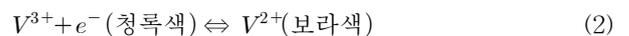
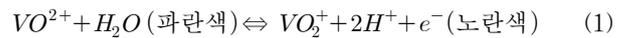


그림 2 바나듐 레독스 플로우 배터리 동작 원리^[4]
Fig. 2 Operating principle of vanadium redox flow battery

그림 2는 바나듐 레독스 플로우 배터리의 동작 원리를 나타내었다. 배터리의 양극에서 식(1)과 같은 반응이 일어나고 음극에서 식(2)와 같은 반응이 일어난다. 또한 Vanadium 이온의 상태에 따라 색이 바뀌는 특징을 가지고 있기 때문에 색깔 변화 따라 충전, 방전 상태를 파악할 수 있다.



충전할 때 전자의 이동으로 인해 V^{4+} (파란색)는 V^{5+} (노란색)으로 바뀌고, V^{3+} (청록색)는 V^{2+} (보라색)으로 바뀌는 것을 알 수 있다. 전자가 반대 방향으로 이동하기 때문에 V^{5+} (노란색)는 V^{4+} (파란색)으로 바뀌고, V^{2+} (보라색)는 V^{3+} (청록색)으로 바뀌게 된다.

2.2 바나듐 레독스 플로우 배터리의 특성실험

2.2.1 실험 조건



그림 3 바나듐 레독스 플로우 배터리 실험 조건
Fig. 3 The experimental conditions of vanadium redox flow battery

각 탱크에 전해질을 동일하게 넣어 실험을 진행하였다. 1.0C로 만충(Fully Charged) 한 후 C rate별로 만방(Fully Discharged)하는 전류 프로파일을 적용하여 C rate별 방전 용량을 측정하였고 HPPC test를 기반으로 한 전류프로 파일을 적용하여 90% 10%까지 각 SOC별 내부저항을 추출하였다.

2.2.2 전해질 양과 C-rate에 따른 용량 변화

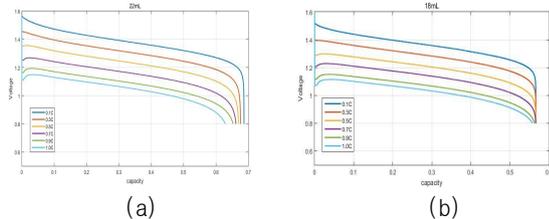


그림 4 전해질 (a)22mL, (b)18mL일 때 C-rate에 따른 용량 변화
Fig. 4 Capacity change according to the C-rate (a)22mL, (b)18mL

표 1 전해질 22mL, 18mL일 때 C-rate에 따른 용량
Table 1 Capacity according to the C-rate by using electrolyte 22mL, 18mL

	0.1C	0.3C	0.5C	0.7C	0.9C	1.0C
18mL	0.5661	0.5664	0.5661	0.5657	0.5628	0.5576
22mL	0.6865	0.6755	0.6692	0.6612	0.6525	0.6284

표 1과 그림 4의 (a), (b)를 보고 전해질이 22mL일 때와 18mL일 때 파라미터 차이를 비교 하였다. 전해질 양이 많아지면서 반응할 수 있는 시간이 증가해, 용량도 증가하는 것을 볼 수 있다. 전해질 양이 용량에 영향을 미친다는 것을 볼 수 있다.

그림 4의 (a), (b)에서는 C rate에 따른 용량변화를 볼 수 있다. C rate값이 커질 수 록 용량이 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 Peukert's 법칙에 의해서 증명된다.

$$C_p = I^k t \quad (3)$$

식(3)의 C_p 는 전류가 동일 할 때 방전 속도에 따른 용량, I 는 방전전류, t 는 방전시간, k 는 Peukert 상수로 정의 된다. 전류가 0.1C일 때보다 1.0C일 때 방전 속도가 더 크다. 속도가 크다는 것은 그만큼 방전시간이 줄어든다는 것을 의미하기 때문에 1.0C일 때 0.1C보다 용량이 감소하는 것을 알 수 있다. 또 전해질 양이 적을수록 반응시간이 차이가 적어지기 때문에 용량의 변화는 적어진다는 것을 알 수 있다.^[5]

2.2.3 전해질 양과 SOC에 따른 저항 변화

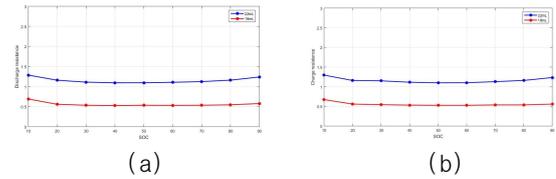


그림 5 1.0C 일 때 SOC에 따른 (a)방전, (b)충전 저항 변화
Fig. 5 (a)Discharge resistance, (b)Charge resistance change according to the SOC 1.0C

표 2 1.0C 일 때 SOC에 따른 (a)방전, (b)충전 저항
Table 2 (a)Discharge resistance, (b)Charge resistance, according to the SOC 1.0C

(a)	10%	30%	50%	70%	90%
18mL	0.6909	0.5348	0.5348	0.5348	0.5772
22mL	1.2865	1.1103	1.0948	1.1237	1.2379
(b)	10%	30%	50%	70%	90%
18mL	0.6724	0.5428	0.5268	0.5375	0.5586
22mL	1.2954	1.1497	1.0995	1.1288	1.2332

그림 5와 표2는 전해질 양에 따라 C rate가 1.0C일 때 SOC별 저항을 비교하였다. 전해질 양이 증가할수록 저항도 증가하는 것으로 보인다. 이는 전해질 양이 증가에 따른 바나듐 이온이 증가가 배터리에 항상 좋은 영향을 미치는 게 아니라는 것을 알 수 있다. 또한 Low SOC와 High SOC 일 때 저항이 커지는 것을 볼 수 있다. 기존 18650배터리와 마찬가지로 Low SOC 영역과 High SOC영역이 배터리의 상태에 안 좋은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

바나듐 레독스 플로우 배터리를 C rate에 따른 특성 분석을 하였다. 전해질 양이 증가함에 따라서 반응할 수 있는 시간이 증가하기 때문에 용량은 전체적으로 증가 하고, C rate는 증가할수록 Peukert's법칙에 따라 용량이 감소하는 것을 보인다. 1.0C일 때 내부 저항 값은 22mL일 때가 18mL일 때 보다 높은 것을 확인하였다. 이를 통해 전해질 양의 증가로 인한 바나듐 이온의 증가가 항상 배터리에 좋은 영향을 미치는 게 아니라는 것을 검증하였다. 향후 이 데이터를 기반으로 전해질 양과 유속에 의한 효율 분석과 모델링에 대한 연구를 할 예정이다.

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 이공분야기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF 2014R1A1A2057893)

참고 문헌

- [1] Ho Sang Choi, Jae chul Kim, Cheol Hwi Ryu, Gab Jin Hwang "Research Review of the All Vanadium Redox flow Battery for Large Scale Power Storage", membrane journal, Vol. 21, No. 2, pp. 107 117, 2011.
- [2] <http://www.h2aec.com/sub/tech/tech.php>
- [3] <https://sites.google.com/site/amenityenergy/ess/vanadium-redox-flow-battery>
- [4] <http://australianvanadium.com.au/vanadium-batteries>
- [5] James Larminie, John Lowry "Electric Vehicle Technology Explained" pp. 57