

해수이차전지의 사용 환경에 따른 특성 및 내부 저항 분석

강승표* · 김장목** · 조현준***†

* 부산대학원 공과대학 전기전자공학과 전기에너지시스템전공(석박사통합과정), (재)한국조선해양기자재연구원,

** 부산대학교 전기공학부 교수,

*** 한국해양대학교 기계IT융합공학과 기계공학전공 박사과정, (재)한국조선해양기자재연구원

Analysis of Characteristics and Internal Resistance of Seawater Secondary Battery according to its Usage Environment

Seung-pyo Kang* · Jang-mok Kim** · Hyun-jun Cho***†

* PhD Candidate, M.S., Dept. Electrical Engineering, Pusan National University, Korea, Korea Marin Equipment Research Institute

** Professor, Dept. Electrical Engineering, Pusan National University, Korea

*** PhD Candidate, Dept. Mechanical IT Convergence Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Korea, Korea Marin Equipment Research Institute

요 약 : 해수이차전지는 해수를 양극으로 사용하는 차세대 이차전지이다. 해양 자원을 사용하여 가격 경쟁력과 높은 친환경성, 그리고 해양 애플리케이션에 적합한 구조를 가진다. 이러한 장점을 기반으로 지속적 연구개발을 통해 자연 해수 노출을 가정한 파우치 타입 및 각형 타입이 개발되어 왔다. 그러나 이차전지는 전기적 특성상 사용 환경에 따라 용량 및 내부 임피던스가 달라진다. 이러한 특성은 전지의 수명 예측에 활용될 뿐만 아니라 활용하고자 하는 상황에 맞는 용량과 출력에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 해수이차전지의 사용 환경에 따른 용량 측정과 SoC-OCV 측정 방법을 통한 내부 저항을 분석하고자 한다.

핵심용어 : 해수이차전지, 내부저항, 용량분석, 신뢰성, Battery Aging

Abstract : Seawater batteries are next-generation secondary batteries that use seawater as a cathode. They utilize marine resources to provide competitive prices, high eco-friendliness, and a structure suitable for marine applications. Based on these advantages, pouch types and prismatic types have been studied and developed assuming natural seawater exposure. However, because of the electrical characteristics of the secondary battery, its capacity and internal resistance vary depending on the use environment. These characteristics are not only utilized for predicting the life of a battery but also have a direct effect on the capacity and power suitable for a specific situation. Therefore, the internal resistance was analyzed in this study by measuring the capacity depending on the seawater battery use environment and the state-of-charge–open-circuit-voltage measurement method.

Key Words : Seawater secondary battery, Internal resistance, Capacity analysis, Reliability, Battery Aging

1. 서 론

우리나라 정부가 2020년에 발표한 방안으로 ‘2050 탄소중립 추진전략’이 있다. 크게 3+1 전략으로 구성되어 경제구조의 저탄소화, 新유망 저탄소산업 생태계 조성, 탄소중립사회의 공정전환 + 탄소중립 제도적 기반 강화가 그것이다. 이를 위해서는 무엇보다 석탄발전 및 내연기관차 등 화석연료 중심의 에너지 체계를 신재생에너지로 전환하는 작업이 요

구되며, 현재 친환경·저탄소·에너지신산업 분야에 여러 기술들이 개발되고 있다.

이 중 해수이차전지를 이용한 발전기술이 있으며, 이는 해수를 이용한다는 관점에서 친환경적이고, 해양산업 여러 분야에 적용이 가능한 고부가가치 기술이다. 또한 해수담수화, 해수살균, CO₂ 포집 및 해수 수소생산 기술 등 해수를 자원화하는 기술로의 확장 가능성을 가지고 있다(Park et al., 2010).

다만, 해수이차전지는 상용화 전단계의 기술로 여러 환경인자에 대한 내구성 및 신뢰성 검증이 확보되지 않아 여러 학술적 연구를 통해 상용화 기술 확보가 필요하다.

* First Author : kspkorea77@komeri.re.kr, 051-400-5455

† Corresponding Author : cho1130@komeri.re.kr, 051-400-5432

2. 해수이차전지 기술

2.1 해수이차전지 개요

해수이차전지는 바닷물을 통해 전기를 생산하는 친환경적이고 경제적인 재생에너지로, 해수에 녹아있는 나트륨 이온과 물의 화학 반응을 이용하여 에너지를 생산할 수 있다. 이는 침수에도 안전하다는 장점을 가지고 있으며, 스마트 등부표, 스마트 구멍조끼, 수중 로봇 및 소형 선박 등 해상에서 운용되는 다양한 장비와 이동체에도 적용이 가능하다.

2.2 리튬이온전지와 차이점

Table 1은 리튬이온전지와 해수이차전지의 특성을 비교한다. 알려진 바와 같이 리튬이온전지는 이차전지의 한 종류로, 리튬이온이 사용 시 음극에서 양극으로, 충전 시 양극에서 음극으로 이동하는 원리로 전지 내부에는 양극과 음극, 전해질과 분리막으로 구성되어 있다. 리튬이온전지는 전압이 높고 에너지 밀도가 크지만 수분에 반응하여 화재 위험성이 있기 때문에 해상용으로는 많은 위험요소를 가지고 있다. 하지만 에너지밀도가 높아 에너지저장기술의 발전으로 리튬이온전지의 보급이 기하급수적으로 증가하여 지금은 모든 생활과 기술에 반영이 되어 사용되고 실정이다.

Table 1. Comparison of Seawater Cell and Lithium Ion Cell

	Seawater Cell	Lithium Ion Cells
Advantage	<ul style="list-style-type: none"> · Eco-friendly · Less risk of fire or explosion · Using countless seawater as an energy material · Affordable for high-capacity batteries 	<ul style="list-style-type: none"> · Light weight · High output
Disadvantage	<ul style="list-style-type: none"> · Research and development stage · Long time to charge and discharge · Possibility of performance degradation due to marine attachment organisms due to exposure of cells to seawater 	<ul style="list-style-type: none"> · High cost · Risk of an explosion · Use rare resources as energy materials · Vulnerable to shock, temperature and pressure

리튬이온전지의 충·방전 주기는 약 300회에서 500회 이내로 그 이상이 되면 기존 용량 대비 약 40% 이상의 성능저하가 나타난다. 또한 방전 패턴, 온도와 같은 물리적 요소에 의해 불안정한 축력을 가지며, 자연적으로 발생하는 방전으로 인하여 사용하지 않더라도 배터리의 노화가 발생하게 된다. 그리고 기존 리튬이온전지로 구성된 해양기기용 배터리

는 해상의 가혹한 환경에 따른 잦은 고장과 빠른 교체 주기로 인하여 높은 유지보수 비용이 발생하고 있다.

이에 비해 해수이차전지는 리튬이온전지에 비해 절반의 크기와 무게로 동일한 전력 공급이 가능한 이점과 더불어 기존 이차전지의 단점을 극복하고 세계 에너지 시장을 선도할 수 있는 차세대 에너지 기술로 각광받고 있다. 다만 이를 위해서는 해수이차전지에 대한 여러 환경적 요인에서의 충·방전 시 성능 저하 부분의 신뢰성 확보가 무엇보다 필요하다.

2.3 작동 원리

해수이차전지는 바닷물 속에 있는 나트륨 이온을 이용하여 전기를 생산하는 장치로, Fig. 1과 같이 바닷물에 녹아있는 염화나트륨에서 나트륨 이온이 전지의 음극과 양극을 이동하며 전기를 생산하게 된다. 구성은 양극과 음극, 전해질과 분리막, 집전체로 되어 있고, 양극은 바닷물, 음극은 나트륨 금속 또는 탄소전극, 전해질은 세라믹 고체전해질을 사용한다. 충전 시에는 바닷물의 나트륨이 집전체에 저장되면서 전기가 발생되고, 이 때 염소 기체 또는 산소 기체가 발생하게 된다. 그리고 방전 시에는 반대로 나트륨 집전체에서 나트륨이 바닷물로 나가면서 발생된다. 해수이차전지의 원리는 다음과 같다(Choi, 2019).

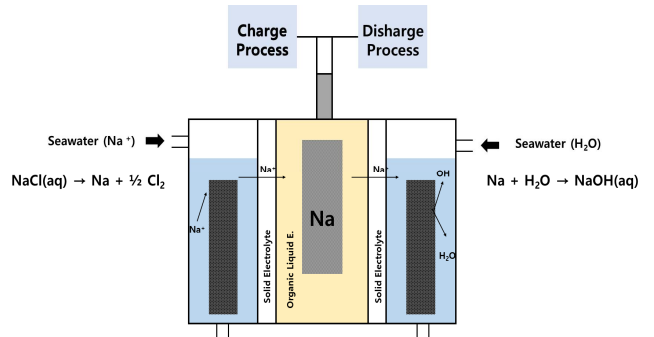


Fig. 1. Principles of Seawater Secondary Battery.

3. 해수이차전지의 성능 특성 분석을 위한 실험

3.1 실험 목표

앞서 소개한 바와 같이 배터리는 여러 가지 애플리케이션의 주요 에너지원으로 사용되고 있다. 그러나 배터리는 비선형적 화학적 반응으로 전기에너지를 발생시키는 특성을 가지고 있어, 배터리의 정확한 상태 예측이 어려워 성능을 최대한 사용하지 못하고 있는 실정이다(Choi et al., 2020). 배터리 종류와 상관없이 배터리의 수명은 다양한 사용 환경과 운용 상황에 따라서 변동된다. 배터리에 수명에 큰 영향을 미치는 요소는 충·방전 시 C-rate, 사용 온도, 방전 심도(DOD:

Deep of Discharge)이다(Park et al., 2020). 일반적으로 리튬이온 전지의 경우 C-rate가 클수록, 사용 온도가 높을수록, 방전 심도가 클수록 배터리 수명의 열화 속도는 빨라진다.

그러나 해수이차전지 특성 상 열악한 해양 환경에서 사용되고 리튬이온전지와 화학적 작용 원리가 다르므로 본 연구에서는 기존 연구에서 수행되지 않은 해수이차전지의 사용 환경에 따른 특성을 분석하고자 한다. 사용 환경은 해양 환경에서 해수이차전지를 사용 시 영향을 미칠 수 있는 1) 해수 온도, 2)해수 염도가 해수이차전지에 미치는 영향에 대해서 분석하고자 한다. 이러한 환경에서 해수이차전지의 내부저항(DCIR : Direct Current Internal Resistance)과 State-of-Charge(SOC)-Open circuit voltage(OCV) 시험을 통해 전기적 파라미터를 추출하고, 각 사용 환경에서 충전 및 방전 용량 시험을 수행하였을 경우 파라미터 변화와 용량 변화에 대해 관측하고자 한다.

3.2 실험 조건

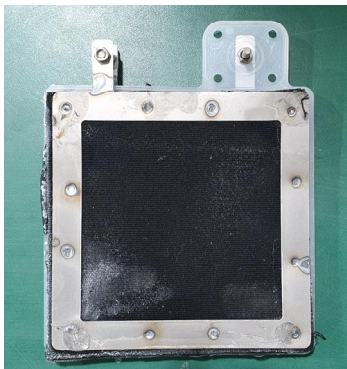


Fig. 2. Seawater secondary batteries used in the study.

Table 2는 본 연구에 사용한 해수이차전지의 Specification을 나타낸다. 사용된 해수이차전지는 ‘1 kWh급 이상 해수이차전지 단위모듈 적용 해양기기 제품개발’을 위한 과제를 위해 UNIST와 4 TO ONE의 Prismatic Type의 개발 제품이다. Fig 2의 Prismatic Type 해수이차전지는 기존의 Coin Cell, Rectangular Cell에 비해 구조적 차이를 통해 에너지 밀도를 향상시킬 수 있다. 특히 NA Super Ion Conductor(NASICON)에 대한 지속적인 연구를 통해 Ionic conductivity를 높일 수 있게 되었다.

NASICON은 음극부 내 Sodium (Na)-biphenyl (BP) Dimethoxy-Ethane (DME)과 함께 전해액 역할을 수행하여 충전과 방전이 진행된다(Lee et al., 2020). 해수이차전지에 사용되는 NASICON은 Von Alpen Type NASICON으로 기존 연구에 따라 일반적으로 8.6×10^{-4} S/cm의 이온전도도를 지닌다. 본 연구에 사용된 해수이차전지의 NASICON을 샘플링하여 이온전도도를

측정해본 결과, 8.89×10^{-4} S/cm, 8.68×10^{-4} S/cm으로 측정되어 유사함을 확인하였다. 또한 셀 구성요소의 연속적인 층을 압연하여 에너지 및 재료 효율을 최대화하는 Roll to Roll 공정으로 제조할 수 있는 리튬이온전지와 달리 해수이차전지는 NASICON과 개방형 음극 시스템이므로 리튬이온전지와 동일한 프로세스를 활용할 수 없다. 따라서, 우수한 전기화학적 성능을 향상을 위해 해수이차전지에 적합한 고유 최적화된 셀 플랫폼을 사용하여 제작되는 차이점이 있다. 앞서 소개한 특성을 가진 Prismatic Type 해수이차전지는 396 cm²의 Cathode Current Collector와 함께 Ar atmosphere에서 제작된 Organic anolyte (3M-Sat. Na-BP in DME)로 제작되었다(Kim et al., 2022).

이러한 해수이차전지를 실용화하기 위해 부이, 구조용 조끼 등에 사용되기 위해 개발 중인 제품으로 실제 해양 환경에서 사용될 예정이나, 해수이차전지 특성을 파악하기 위해 실험실에서 제한적으로 수행하기 위해 제조사 권장 사양에 따라 해수량 50 L 이상, 해수 유속 >0.3 cm/s로 구현하여 실험하였다.

Table 2. Seawater secondary batteries Specification of using in the study

Parameter	Specification
Rated Voltage	2.5 V
Rated Current	3 Ah
Current of Charge	50 mA
Current of Discharge	50 mA
Charge Cut- Off Condition	4.0 V or 3 Ah
Discharge Cut- Off Condition	1.8 V or 3 Ah

해수 속에 용해되어 있는 물질을 염류라고 하며, 해수 1 kg 속에 용해되어 있는 염류의 질량비를 염도이라고 한다. 전 세계 해수의 염도는 3.1%에서 3.8% 사이로 평균이 약 3.5%이다. 그러나 IEC 60068-2-11 및 ISO 9227 등의 국제 표준에서는 실제 조건보다 가혹한 환경을 구현하기 위해 환경시험의 염도에 대한 기준을 (5±1)%로 규정하고 있다. 그러므로 이러한 해수의 조건을 재현하기 위해 실험에서는 3.5%의 염수와 5%의 염도로 구분하여 조건을 선정하였다.

또한 실험 조건에서 온도 조건은 상온과 저온 조건인 5℃로 구분하였다. 대한민국 연안의 수온은 한겨울에 (5~10)℃까지 내려간다. 동해와 여수 동쪽 남해안은 아무리 추워도 겨울철 해수온도가 (8~11)℃로 비교적 높게 유지되는 반면, 여수 서쪽부터 서해인 여수 6.9℃, 진도 5℃ 등 수온이 7도 이하이다. 그러므로 최저 온도 조건인 5℃ 환경을 선정하여 실험을 진행하였다. 고온 조건은 해수온도가 예전보다는 울

랐다고 하나, 평균 약 22.5 °C로 기록되어 고온의 온도 조건은 실험에서 제외하였다.

해수이차전지의 특성을 분석하기 위해 충전 및 방전 용량 실험을 수행하였다. Table 2의 제조사의 권장 사양에 따라 50 mA로 각 충전과 방전을 수행하였으며, 충전과 방전 각 1 사이클 수행 후 SOC-OCV 시험을 통해 내부 임피던스를 측정하였다. 제조사의 사양에 따른 용량을 기반으로 100%~0% 까지 5% 단위로 방전 및 휴지 구간을 반복하여 내부 임피던스 추정을 위한 파라미터를 측정하였다.

3.3 실험 결과

Table 3. Cell discharge results according to experimental conditions

Cell No.	Test Condition	Amount of discharge		Fade Ratio(%)
		1st	2nd	
1	25 °C_5 %	2.085	1.838	11.84
2	25 °C_5 %	2.209	1.827	17.26
3	25 °C_3.5 %	1.688	1.660	1.63
4	5 °C_3.5 %	2.000	1.565	21.72
5	5 °C_3.5 %	2.350	1.817	22.68

Fig. 3은 실험 조건에 따른 방전 곡선의 그래프를 나타낸다. 동일한 조건의 방전 종료 조건을 설정하여 반복하였음에도 불구하고, 2차 방전 용량은 1차 용량 대비 감소함을 확인할 수 있다. 또한 Table 2에 제시한 방전 종료 조건에 도달 시 방전은 종료되며 배터리의 특성에 따라 전압이 순간적으로 상승함을 관찰할 수 있다. 그러나 제조사 사양에 따른 방전 Cut Off 전압과 용량에 따라 완전 방전으로 간주한다. 또한 Table 3에서 셀 별 방전 용량 차이를 수치화하여 나타내는데, 셀 제조사 권장 사양에 따라 상온_3.5% 염도 조건으로 충전과 방전을 수행하였을 때 1차의 방전 용량 대비 2차의 방전 용량은 0.028 Ah가 감소하였다. 이와 달리 상온_5%의 염도 조건에서는 0.314 Ah가 감소하였고, 저온_3.5% 조건에서는 0.483 Ah가 감소하였다. 이를 통해 주위 환경 조건에 따라 방전 시 전지에 가해지는 스트레스가 상이하다는 점을 확인할 수 있다.

Fig. 4(a)는 방전 횟수에 따른 Cell의 용량을 나타내며, Fig. 4(b)는 Cell의 용량 편차를 그래프로 나타내었다. Table 2에 따라 정한 시험 조건에서 특히 저온 조건의 해수이차전지 사용 환경이 Cell의 용량 Fade Ratio에 가장 큰 영향을 미치는 점을 확인할 수 있다. 배터리의 전기적 특성인 용량과 저항은 C rate와 온도에 영향을 받는다. 따라서 주위 환경 조건에

따라 배터리의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 실제 어플리케이션에 적용하기 위해선 다른 C-rate와 온도조건에서 배터리의 전기적 특성을 분석할 필요가 있다(Choi and Park, 2020). 실험 결과에서도 마찬가지로 상온 조건과 달리 저온에서는 방전 용량이 감소함을 알 수 있는데, 이는 배터리 내부 저항의 크기 변화와 상관 관계가 있다.

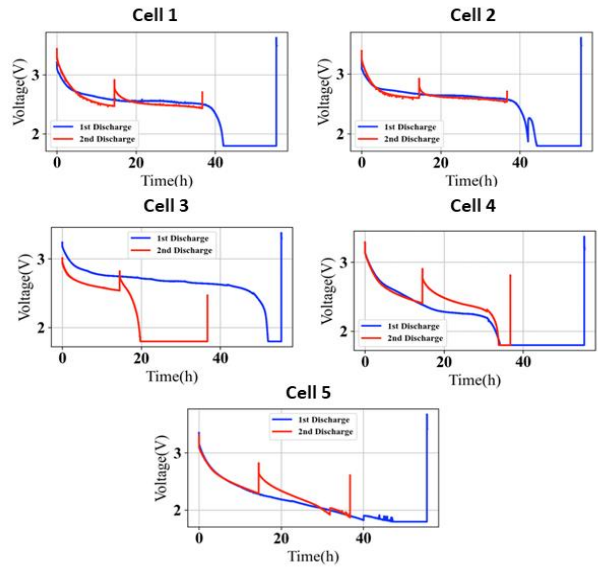


Fig. 3. Cell discharge results according to experimental conditions.

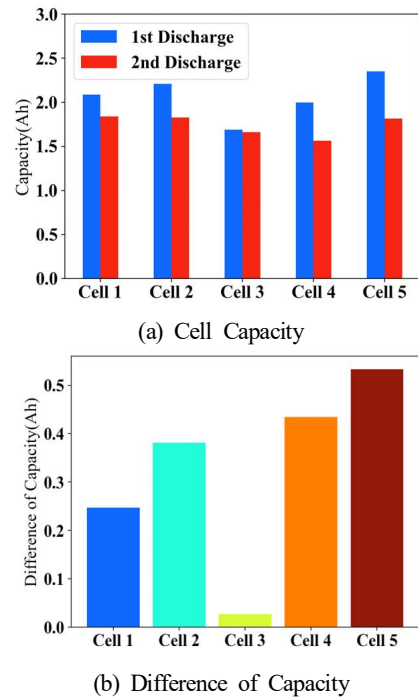


Fig. 4. Deviation of cell results according to experimental conditions.

배터리는 사용 횟수가 증가함에 따라 배터리 내부 물질 사이에 화학 반응이 일어나면서 노화되는데 특히 저항이 증가함과 동시에 용량이 감소한다. 그 이유는 저항값이 증가하여 단자 전압이 배터리의 완충 전압에 빠르게 도달하기 때문이다. 배터리 단자 전압은 완충 전압에 도달하였다 하더라도 실제 모든 전하가 이동한 것이 아니기 때문에 충전 후 배터리 전압이 안정적인 상태가 된 OCV(Open Circuit Voltage)를 확인하면 노화된 배터리일수록 위 원리와 같이 내부 물질의 화학적 반응에 따른 내부 저항 증가로 인한 전압 강하로 완충 충전 후 전압이 낮아진다(Lee and Park, 2014).

따라서 해수이차전지의 SOC-OCV의 상관 관계를 얻기 위해 KS C IEC 61960-3:2017 규격을 참고하여 배터리의 SOC 100%~0%에서 5% 단위 간격으로 방전 및 휴지를 반복 수행하여 이를 측정하였다. 또한 배터리의 현재 상태와 잔존 수명을 예측하기 위해 사용되는 다양한 모델에서 Randles model of batteries을 통해 Fig. 5로 나타낼 수 있고, 이를 통해 내부 임피던스 값을 얻을 수 있다. 등가회로에서 전하전달 저항(R_i)는 배터리 전극에서 화학 반응을 통해 발생하는 전하가 배터리 외부로 전달될 때 나타나는 전위 손실을 의미한다. 확산 저항(R_{diff})은 전극 표면에서 발생하는 전기 화학 반응을 등가한 값이다(Park et al., 2020).

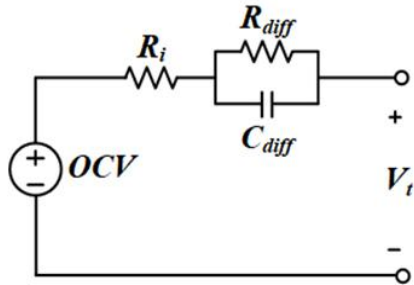


Fig. 5. Simplified equivalent circuit model of batteries.

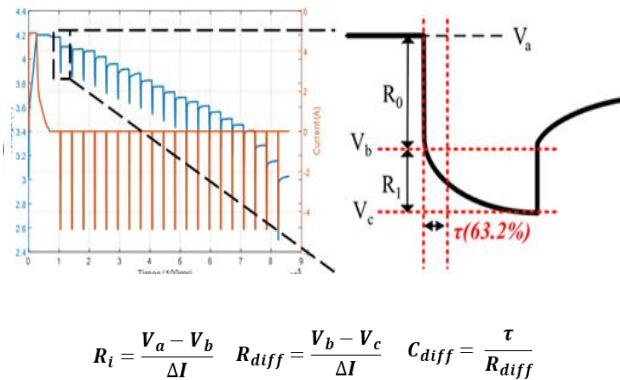
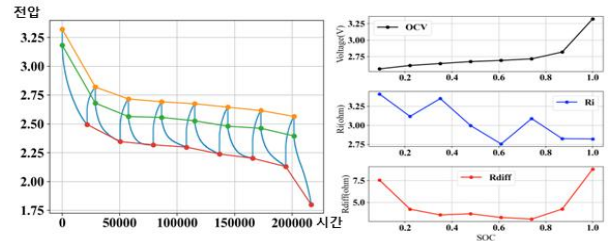
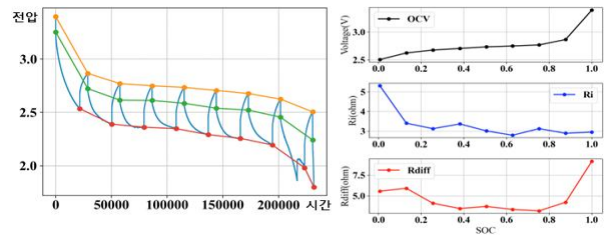


Fig. 6. Pulse charger for Impedance measurement.

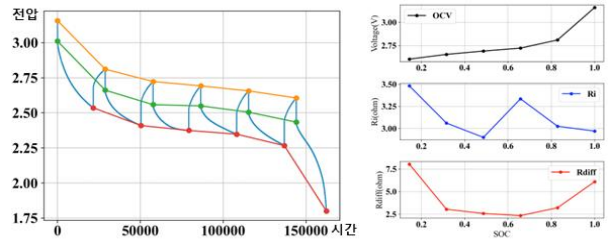
등가 회로에 R_i , R_{diff} , C_{diff} 값을 도출하기 위해 Fig. 6과 같은 수식으로 1차 충전과 방전 전, 그리고 2차 충전과 방전 후 SOC-OCV 시험을 통해 Fig. 7과 같이 배터리 내부 임피던스 값을 계산하였다. 여기서 상온 3.5%의 온도 조건은 방전



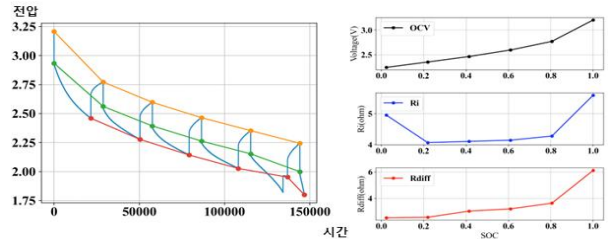
(a) Cell No.1 SoC-OCV Test result



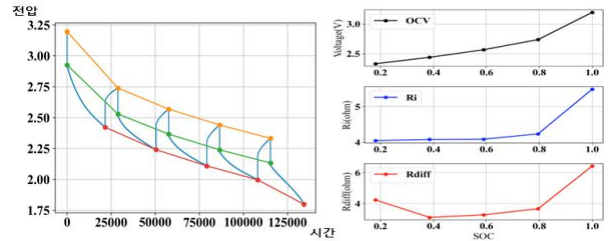
(b) Cell No.2 SoC-OCV Test result



(c) Cell No.3 SoC-OCV Test result



(d) Cell No.4 SoC-OCV Test result



(e) Cell No.4 SoC-OCV Test result

Fig. 7. SOC-OCV test results for each cell according to test conditions.

용량의 변화가 없으므로 SOC-OCV 시험에 대한 비교를 제외하기로 한다. Fig. 8은 내부 임피던스 R_i 에 대해 상온_5%의 염도 조건일 경우와 저온_3.5% 조건에서 1차 SOC-OCV 시험 대비 2차에 대한 결과이다. 충전과 방전을 반복 후 SOC-OCV를 통해 얻은 R_i , R_{diff} 값은 1차 대비 상승한 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유로 배터리의 충전 및 방전 사이클 횟수가 증가함에 따라 방전 용량이 감소함을 확인할 수 있다. 또한 앞서 제시한 Table 3과 같이 Cell 4, 5번의 Fade Ratio가 큰 값을 가지는 이유 또한 아래의 R_i 와 R_{diff} 값의 변화를 통해 추측할 수 있다. 이를 통해 해수이차전지의 사용 조건 중 염도가 높을수록 R_{diff} 에 영향을 미치고, 온도가 낮을수록 R_i 에 영향을 미치는 점을 확인할 수 있다. 또한 염도보다 온도가 더 배터리의 수명에 높은 영향을 주는 점도 확인할 수 있다.

Fig. 9(a)는 환경에 따라 배터리 수명에 대한 영향을 분석하였다. 먼저 상온_5%의 조건과 상온_3.5%의 조건을 비교하였다. Table 3에 따라 방전 용량의 Fade Ratio(%) 결과와 동일하게 충전 및 방전 사이클을 반복할수록 개방전압과 방전 용량이 줄어든 해수이차전지에 대해 R_i 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 Fig. 4(b)에서 저온 환경에서 방전 용량의 Difference of Capacity(%)는 급격하게 증가하였는데, 이와

동일하게 Fig. 8, Fig. 9의 R_i 의 급격한 증가를 확인할 수 있다. 이를 통해 각 사용 환경에 따른 방전 용량과 기대수명의 관계를 예측할 수 있다.

이를 통해 배터리의 사용 환경에 따른 방전 용량과 SOC-OCV 시험을 통한 내부 임피던스 측정을 통해 실제적인 용량 감소에 대한 원인 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 충전과 방전 과정에서 직류 전류를 인가해 전압의 변화를 통해 해수이차전지의 저항 및 캐패시턴스 파라미터를 추출하였다. 이는 직관적이고 빠른 시간 내 수행할 수 있다는 장점이 있지만, 배터리 내부 화학적 현상에 의한 전기적 특성

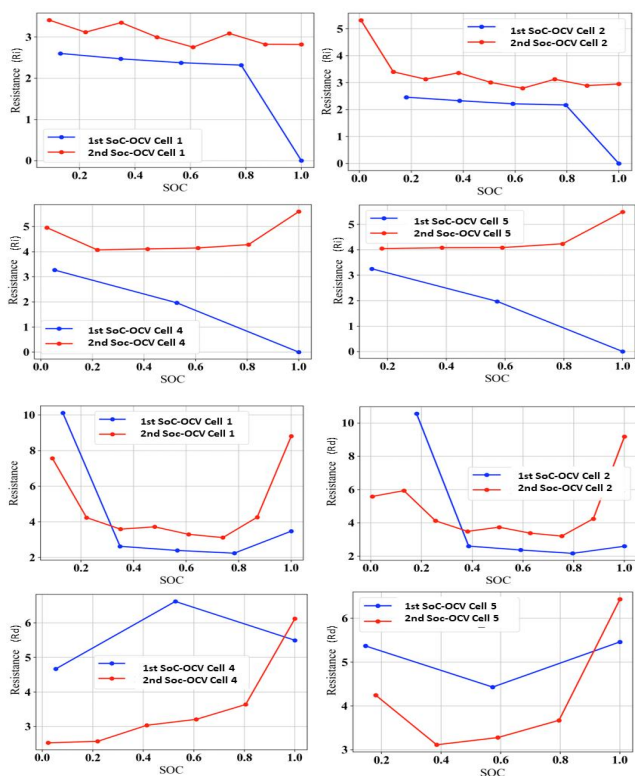
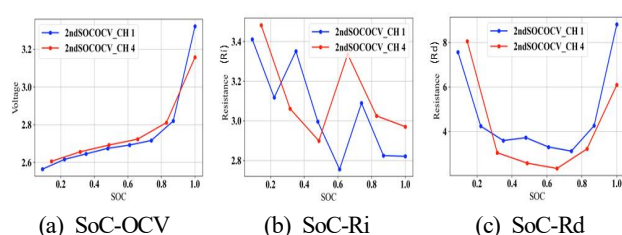
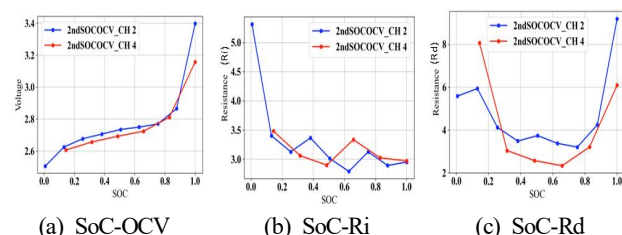


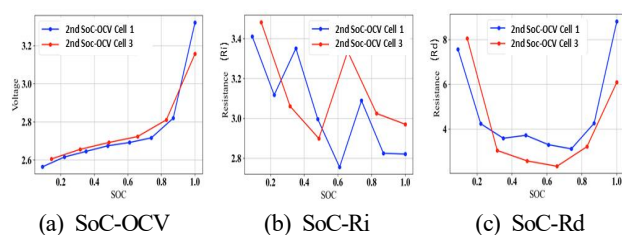
Fig. 8. Comparison of SOC-OCV test results by cell (Seawater 25 °C 3.5%. Seawater 25 °C 5% and Seawater 25 °C 3.5%).



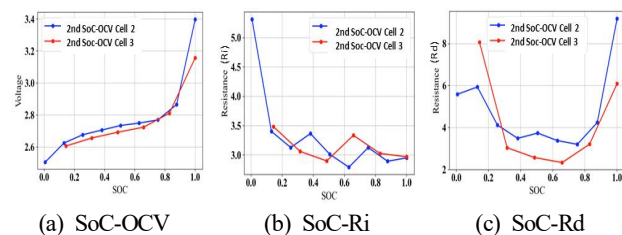
(a) SoC-OCV (b) SoC-Ri (c) SoC-Rd
Fig. 9-a. Comparison of SOC-OCV test results by cell Case 1 (Seawater 25 °C_3.5% and Seawater 5 °C_5%).



(a) SoC-OCV (b) SoC-Ri (c) SoC-Rd
Fig. 9-b. Comparison of SoC-OCV test results by cell Case 2 (Seawater 25 °C_3.5% and Seawater 5 °C_5%).



(a) SoC-OCV (b) SoC-Ri (c) SoC-Rd
Fig. 9-c. Comparison of SoC-OCV test results by cell Case 1 (Seawater 25 °C_3.5% and Seawater 5 °C_5%).



(a) SoC-OCV (b) SoC-Ri (c) SoC-Rd
Fig. 9-d. Comparison of SoC-OCV test results by cell Case 2 (Seawater 25 °C_3.5% and Seawater 5 °C_5%).

과 커패시턴스를 모사하기에는 한계가 있다. 반면에 전기화학 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)을 이용하면 내부 전기화학적 상태에 대한 분석이 가능하기 때문에 기존 전기적 모델의 한계를 보완할 수 있다. EIS는 고주파수 영역에서 저주파수 영역까지 미소한 정현파 전류 및 전압 신호를 인가해 배터리의 전기적 평형 상태와 열적 평형 상태를 벗어나지 않는 범위에서 응답된 전압 및 전류 신호를 통해 진폭과 위상의 변화를 측정하여 임피던스를 분석이다(Lee et al., 2014). 그러나 리튬이온전지와 달리 해수이차전지의 경우 내부 임피던스가 1Ω 이상의 값을 가지므로, 측정할 수 있는 기기의 장비적 한계가 있으므로 본 연구에서는 배제하였다.

4. 결론

차세대 전지로 각광받고 있는 해수이차전지에 대해 셀 별 사용환경을 다르게 설정하여 충방전을 진행하고, 이에 대해 내부저항과 방전 용량을 실험을 통해 분석하였다. 해수이차전지의 경우 해수에 직접 접촉하여 사용되고, 해수와 화학적 반응을 통해 충전과 방전이 수행되므로, 이에 대한 환경 조건이 해수이차전지의 특성과 관계되는 파라미터로 작용한다. 따라서 해수의 염도와 해수의 온도에 따라 배터리의 충전과 방전 특성, 이를 기반으로 내부 임피던스 도출을 통해 방전 특성과 이에 따른 내부 저항 변화를 도출하였다. 그 결과 일반적인 상온, 3.5%의 염도 조건보다 염도가 높거나 온도가 낮으면 배터리의 내부 저항이 높아져 방전 용량이 줄어들음을 확인할 수 있었다. 특히 내부 임피던스 변화와 방전 용량 변화의 관점에서 분석하였으며, 나아가 추후 추가 연구를 통해 방전 용량 감소에 따라 추후 수명과 관련하여 예측할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 해수이차전지 대용량화 및 MWh급 기술개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구결과물입니다.

References

[1] Choi, B. I.(2019), A study on the development of environment-friendly battery using seawater cell, Silla University, a master's thesis, pp. 48-49.
 [2] Choi, W. S. and T. S. Park(2020), Modeling and Performance

Analysis of Electric Vehicle considering Electrothermal Model of Lithium-ion Battery, The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 807-814.
 [3] Lee, M. Y., S. Y. Han, J. H. Park, J. H. Kim(2021), A Study on the Selection of Failure Factors for Transient State Lithium-Ion Batteries based on Electrochemical Impedance Spectroscopy, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 38(10), pp. 749-756.
 [4] Lee, S. H. and M. K. Park(2014), Battery State of Charge Estimation Considering the Battery Aging, Journal of IKEEE, 18(3), pp. 298-304.
 [5] Lee, S., I. Y. Cho, D. Kim, N. K. Park, J. Park, Y. Kim, and S. Y. Hong(2020), Redox Active Functional Electrolyte for High Performance Seawater Batteries. ChemSusChem, 13(9), pp. 2220-2224.
 [6] Kim, Y., K. Shin, Y. Jung, W. G. Lee, and Y. Kim(2022), Development of Prismatic Cells for Rechargeable Seawater Batteries, Advanced Sustainable Systems, 6(6), 2100484.
 [7] Park, S. J., G. S. Song, and S. M. Park(2020), A Study on the Parameters Estimation for SOC and SOH of the Battery, The Korean Society of Industry Convergence, pp. 853-863.
 [8] Park, Y. S., J. Y. Jeong, and J. S. Kim(2010), A Study on the Minimum Safety Distance between Navigation Vessels based on Vessel Operator's Safety Consciousness, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 17, No. 47, pp. 401-402.

Received : 2023. 02. 09.

Revised : 2023. 04. 05.

Accepted : 2023. 04. 27.