

알루미늄이온(AI-Ion) 배터리의 전기화학적 특성분석

한동호*, 김종훈*, 고희호**, 탁용석**
충남대학교 전기공학과*, 인하대학교 화학공학과**

Electrochemical Characteristic Analysis of Aluminum-Ion Battery

J. H. Park*, J. H. Kim*, H. H. Y. S. Tak**
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*
Department of Chemical Engineering, Inha University**

ABSTRACT

기존의 리튬계열 전지의 한계성을 극복하기 위해 전 세계적으로 차세대전지(new generation battery)가 연구되고 있다. 이 중, 알루미늄이온(Aluminum Ion) 배터리는 저렴한 가격과 고용량 가능성으로 큰 각광을 받고 있다. 이에, 본 논문에서는 향후 전기자동차(EV)와 에너지 저장장치(ESS)에 사용이 기대되는 알루미늄이온 배터리를 소개하고, 이의 직접 제조 및 전기화학적 특성분석을 실시하였다. 이를 통해, 기존 리튬계열 전지와 유사성 및 차이점을 파악하고 어플리케이션의 적용 타당성을 판단하였다.

1. 서론

화석연료 사용 증가에 따른 환경오염을 극복하기 위한 전 세계의 신재생에너지 관련 연구(계통연계, 발전/저장 등)는 날이 확대되고 있다. 특히, 태양광, 풍력, 조력 등 신재생에너지 저장을 위한 배터리의 연구도 매우 활발하다[1]. 현재, 에너지 저장을 위한 대표적인 배터리는 리튬계열 전지로서 높은 에너지 밀도, 낮은 자가 방전, 장수명 등의 장점을 가지고 있으며, 전기자동차(EV)와 에너지 저장장치(ESS)에 광범위하게 사용되고 있다[2]. 그렇지만, 전기자동차와 에너지 저장장치의 사용 증가 대비 리튬(Li)의 공급은 한계가 있으며, 아직까지 높은 가격은 해결하기 쉽지 않은 문제점으로 대두되고 있다. 이에, 이를 대체하기 위한 금속이온(Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} 등) 기반 차세대전지(new generation battery)의 개발이 시작되었으며, 특히 한번의 산화 환원반응에서 3개의 전자를 방출하는 알루미늄이온(Aluminum Ion) 배터리가 주목을 받고 있다[3] [5]. 본 논문에서는 알루미늄이온 배터리를 소개하고, 이의 직접 제조 및 전기화학적 특성분석을 통해 기존 리튬전지와 유사성 및 차이점을 파악한다. 더불어, 전기자동차와 에너지 저장장치에 있어 알루미늄이온 배터리의 타당성을 판단한다.

2. 알루미늄이온(AI-Ion) 배터리 소개

알루미늄이온 배터리는 전 세계적으로 풍부한 Al 부존량으로 저가이며, 인화성이 없어 높은 안정성을 갖는 배터리이다. 더불어, 3개의 전자를 방출하는 산화 환원 반응에 의해 고용량이 가능하다[3]. 에너지 밀도는 대략 200Wh/kg, 300Wh/L의 값을 가지며, 가격은 \$250/kWh로서 저가이다. 그림 1은 알루미늄이온 배터리의 동작원리 및 이의 반응식을 나타내었다. 충전 기준을 양극/산화전극(anode)에 알루미늄을, 음극



그림 1 알루미늄이온(AI-Ion) 배터리 동작원리[3]

(cathode)에 흑연재질을 사용한 것으로서 알루미늄염화물(AlCl_3) 농도에 따른 전해질의 이온 조성 및 반응에 따른 AlCl_4^- 와 Al_2Cl_7^- 의 내부 조성에 따라 배터리의 상이한 전기화학적 특성이 나타난다[3]. 대표적인 연구수행기관은 미국 스탠퍼드 대학교로서, 0.1 2.45V대의 전압 범위, 70mAh/g의 용량, 98%의 충전 효율을 달성하였으며, 7500회 이상의 충전 및 방전실험을 수행해도 용량 축소 현상이 일어나지 않음을 연구하였다[3].

3. 알루미늄이온(AI-Ion) 배터리 전기화학적 특성실험 및 이의 분석

이 장에서는 알루미늄이온 배터리를 직접 제조하고 이의 전기화학적 특성실험 및 분석을 실시하였다. 알루미늄이온 배터리는 인하대학교 전기화학실험실[6]에서 직접 제조하였으며, 알루미늄금속의 여러 세부특성에 따른 차별화된 제조로 다양한 전기화학적 특성실험이 가능하게 하였다. 우선, 15 250 μm 의 두께를 가지는 알루미늄 포일을 사용하여 양극/산화전극을 만들고 음극의 경우 흑연재질을 사용하되, 수산화나트륨(NaOH)를 1분간 처리한 극소량의 알루미늄을 적용하였다. 전해질의 경우, 이온성 액체(Ionic liquid; [EMIM]Cl)와 알루미늄염화물(AlCl_3)의 혼합물을 사용하되 여러 몰농도(mole ratio)를 적용하였다. 참고로, AlCl_3 의 농도 증가에 따라 전해질 내 이온의 변화를 확인할 수 있으며, 전해질의 색이 점점 짙고 투명한 노란색으로 변한다[3]. 그림 3은 알루미늄 포일, 전해질 및 배터리이다.

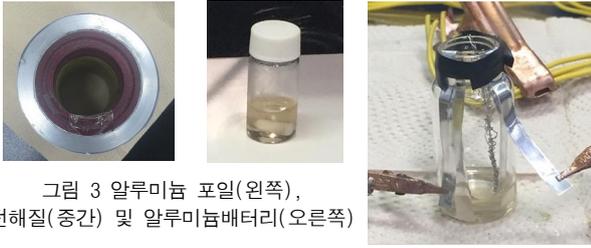


그림 3 알루미늄 포일(왼쪽), 전해질(중간) 및 알루미늄배터리(오른쪽)

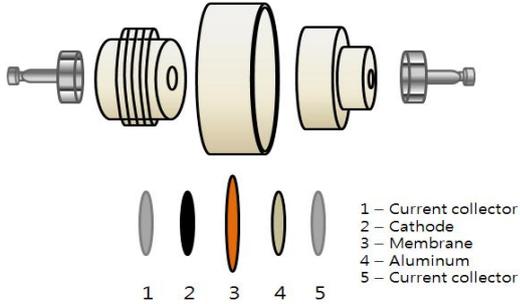


그림 4 전기화학적 실험을 위한 자체제작 Swagelok cell 모형도

알루미늄이온 배터리의 전기화학적 특성실험을 위해 그림 4의 Swagelok cell을 자체 구성하여 효율적인 실험이 가능하게 한다(각 current collector 사이 양극/산화전극, 음극, 막 결합). 그림 5는 알루미늄이온 배터리의 사이클 증가 대비 CV(cyclic voltammetry)와 방전/충전용량 기반의 특성시험 결과를 각각 나타낸다. CV의 경우 0.3V 사이에서 1mV/s의 scan rate를 적용하였으며, 사이클 증가에 따른 CV의 변화를 확연히 알 수 있다. 충방전 실험을 통한 방전/충전용량은 0.01 2.45V 범위에서 1.5A/g의 전류를 적용하였다(그림 6 참고). 개방전압(OCV; open circuit voltage)은 1.9 2.0V 사이에서 형성되었으며, 사이클(총 20회)에 따라 방전/충전용량이 저하됨을 확인할 수 있다. 하지만, 그림 7에서 볼 수 있듯이, 초기 사이클에서의 용량 저

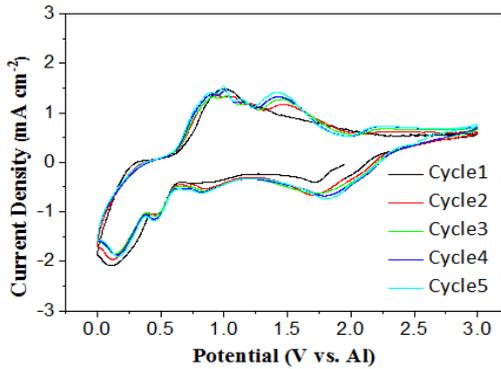


그림 5 알루미늄이온 배터리의 CV(사이클 1-5)

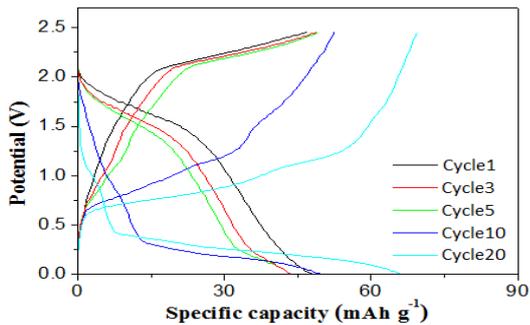


그림 6 알루미늄이온 배터리의 방전용량 및 충전용량(사이클 1-20)

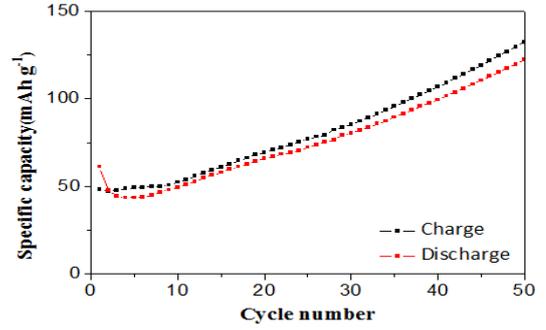


그림 7 알루미늄이온 배터리의 사이클 특성실험(사이클 1-50)

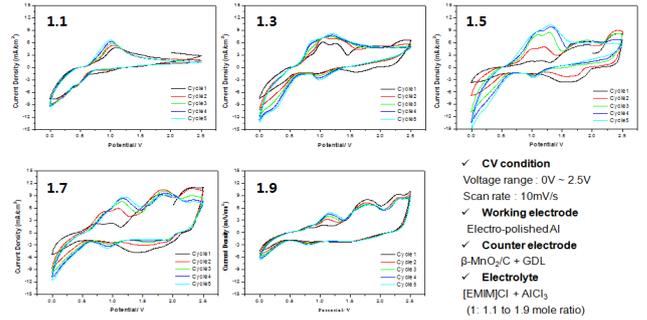


그림 8 알루미늄이온 배터리의 CV(전해질 농도 1.1-1.9)

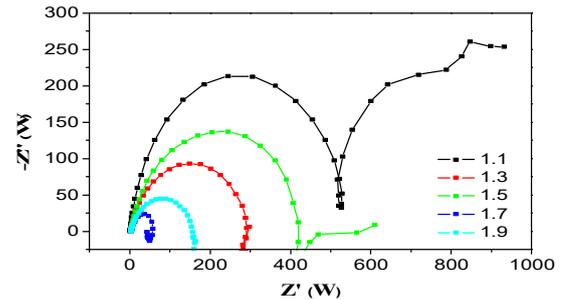


그림 9 알루미늄이온 배터리의 임피던스 특성(전해질 농도 1.1-1.9)

하가 관찰되지만, 사이클이 지속될수록 이온성 액체 전해질에서 알루미늄 전극이 반응을 지속하면서 활성화되는 표면적이 넓어짐으로 인해 용량이 오히려 증가되는 경향을 확인할 수 있다. 그림 8은 전해질 농도를 1.1에서 1.9까지 변화시켰을 때의 CV를 나타내며, 2.2 2.4V에서의 전류밀도 증가를 확인할 수 있다. 동일 전해질 농도조건에서의 임피던스 특성시험결과를 그림 9에 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 알루미늄이온 배터리를 소개하고, 이의 직접 제조 및 전기화학적 특성분석을 실시하였다.

참고 문헌

- [1] S. Chopra and P. Bauer, "Driving range extension of EV with on-road contactless power transfer-A case study," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 1, pp. 329-338, Jan. 2013.
- [2] M. E. Orchard, P. Hevia-Koch, B. Zhang, and L. Tang, "Risk measures for particle-filtering-based state-of-charge prognosis in lithium-ion batteries," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 11, pp. 5260-5269, Nov. 2013.
- [3] Meng-Chang Lin et al., "An Ultrafast rechargeable Aluminum-Ion Battery" *Nature*, 520, 2015.
- [4] L. A. Archer et al., "The Rechargeable Aluminum-ion Battery," *Chem. Comm.*, 47, 2011.
- [5] Jiao Shuqiang et al., "New Aluminum-Ion Battery with High Voltage, High Safety and Low cost," *Chem. Comm.*, 51, 2015.
- [6] <http://mecl.inha.ac.kr/>