

대용량 전력저장용 이차전지 세라믹 소재 개요 및 향후 전망

이경민 수석연구원, 윤중락 연구소장 (삼화론텍서공업(주))



지구 온난화, 화석 원료의 고갈, 환경 문제 및 신흥 개발국의 산업 발전에 따른 에너지 수요의 급증으로 인해, 안정적인 대용량 전력 공급원의 확보 및 유지가 과거 어느 때보다 그 중요성이 높아지고 있다. 이와 같은 에너지/자원/환경적 난제를 해결하기 위한 대안으로 풍력, 태양력, 조력과 같은 신재생 에너지 보급을 확대하고 있다. 신재생 에너지는 시간과 날씨에 따라 전력 생산량의 변동이 있어 기존 국가 전력 전송망(Grid)에 직접 연결이 불가능할 정도로 저품위의 전력이므로 현재 예상되고 있는 규모로 신재생 에너지의 보급이 확대될 경우 전력 계통의 안정성에 위협이 증가될 수 있다. 신재생 에너지 기술을 전력산업기술에 실질적으로 연계하기 위해서는 『저품위 신재생 에너지 → 대용량 에너지 저장 장치 → 부하 레벨링 → 고품질 전력의 안정적 공급』과 같은 기술 체인이 구축되어야 하며 그림 1과 같이 전력분야에 적용되어 정보통신기술을 이용한 양방향 전력공급 체계의 구축과 송배전 전력계통의 유연성을 제고, 정전사태 등을 미연에 방지하여 신뢰성을 제고, 그리고 경제적 측면에서의 전력관리의 효율성 제고 등에 기여할 것이다. 스마트 그리드사업에 신재생 에너지를 효율적으로 운영하기 위해서는 대용량 전력 저장 분야의 개발이 요구되며 중대형 전력 에너지 시장은 2015년 60조 원, 2030년에는 348조로 성장될 것으로 예측

된다. 현재 전력 에너지 저장 기술로는 양수 발전, 공기압축, Flywheel, Super-capacitor, 이차전지(Lithium-ion batteries, Sodium-based batteries) 등이 적용되고 있으며 최근에는 Na-S, Zn-Cl₂, Zn-Br₂, Redox-Flow 전지와 같은 기술이 개발되고 있으며 Zn-Cl₂, Br₂는 Cl₂와 Br₂가 양극에서 사용되는데 유독 가스로서 전지 충·방전 공정에서의 가스 누출 문제와 음극의 아연 전극 수명 문제가 해결되지 않아 상품화가 포기되었으며, Redox-flow 전지는 나트륨 기반 전지(Sodium-based batteries)에서 구현할 수 있는 에너지 밀도가 1/5 정도 수준에 있고 신뢰성 및 경제성 측면의 약점이 부각되어 활발한 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다. 표 1과 그림 2에 대표적인 전력 저장 장치의 에너지 저장 기술의 관점에서의 장, 단점을 분석한 자료와 전력 용량, 저장 시간별 최적 전력저장장치의 특성을 나타내었다. 표 1과 그림 2를 기준으로 전력 저장의 에너지 밀도, 대용량, 환경 친화성 및 기존 전력 시스템과의 조화 등의 장점을 고려하면 리튬이온 전지와 Na-S 전지의 적용 가능성이 높을 것으로 예상된다. 본고에서는 전기화학적 대용량 에너지 저장이 가능한 혁신 소재와 에너지 저장 장치로 응용되는 리튬이온 전지와 나트륨 기반 전지(Sodium-based batteries) 전지의 기술 개요에 전자세라믹 관련 소재에 대하여 기술하고자 한다.

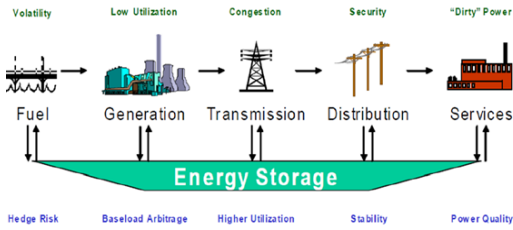


그림 1. 에너지 저장장치 적용 시 기대효과.

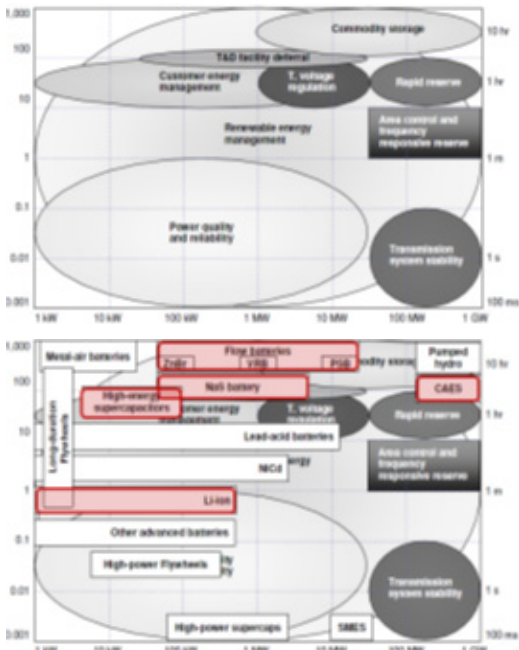


그림 2. 전력용량/저장 시간별 최적 전력저장 장치.

2. ESS용 리튬 이차 전지 (Lithium-ion battery, Li-ion battery)

리튬 이차전지는 충전 시 리튬을 제공하는 양극물질과 리튬이온을 받아들이는 음극물질, 리튬이온 전달 매개체인 전해질, 양극과 음극을 분리시켜주는 분리막 및 기타 부품으로 이루어진 에너지 저장기기이다. 세계 ESS (Energy Storage System)용 리튬이온 전지

표 1. 대표적인 전력 저장 장치의 에너지 저장 기술의 장·단점.

분류	장점	단점	비고
Lead acid battery	· 낮은 가격 · 모듈화 용이 · 높은 기술 성숙도	· 낮은 에너지 밀도 · 짧은 수명 · 향후 납사용 규제	· 기술의 안정 · 가장 널리 사용됨
Super capacitor	· 높은 출력 밀도 · 반영구적 수명	· 낮은 에너지 밀도 · 높은 가격	· 단시간용 적합
Lithium battery	· 높은 에너지 밀도 · 고전압 (3.7 V-평균)	· 대용량화 한계 · 높은 가격	· 보호회로 필요 · 안전성 문제점
NaS battery	· 높은 출력 밀도 · 높은 효율	· 고온 작동형 (> 300℃) · 높은 가격 · 부가장치 필요	· 운전 단가 높음 · 대용량 : 모듈화
Redox flow battery	· 대형화 유리 · 상온 작동형 · 초기 비용 낮음	· 낮은 에너지 밀도	· 용량 제한 없음 · 용량 출력의 독립적 설계 가능 · 15 MW 보급

시장은 2012년 6천억 원 수준에서 2020년 약 12조원 수준으로 연평균 35% 이상의 폭발적인 성장세를 이어갈 것으로 예상되지만 비용적인 측면과 대용량화의 한계에 따른 에너지 저장 능력의 차이로 인해 아직 해결해야 할 일들이 많이 있다.

2.1 리튬 이차 전지 구조 및 작동원리

리튬 이차전지는 양극재, 음극재, 전해질, 분리막, 패키징 부품으로 구성되어 있으며 대표적인 구조는 그림 3과 같이 Polymer, Cylindrical, Prismatic 등이 있다. 작동원리는 그림 4와 같이 충전 시 양극 활물질에 포함된 Li 이온이 전해액을 거쳐 음극으로 이동한 후 층상구조의 음극 활물질 사이로 삽입되며, 방전 시 음극 활물질에 삽입되어 있던 리튬이온이 다시 양극으로 이동함에 따라 전지가 작동하게 된다.

2.2 리튬이온 전지용 양극소재

리튬이온 이차전지 양극 소재는 리튬이온 전지 및 안정성을 결정하는 핵심소재로 일반적으로 전이금속 산화물이며, 요구 특성은 높은 작동전압, 충·방전 중 작은 분극, 높은

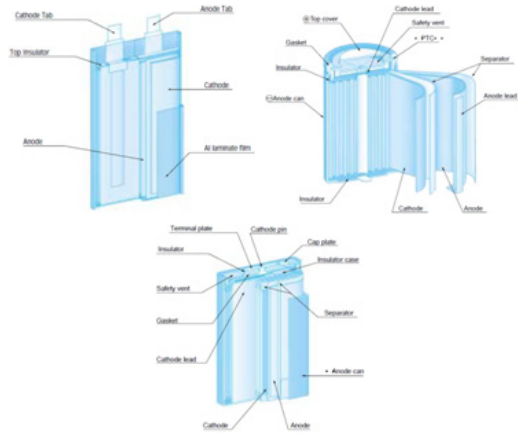


그림 3. 리튬이온 전지의 대표적인 구조 (a) Polymer, (b) Cylindrical, (c) Prismatic.

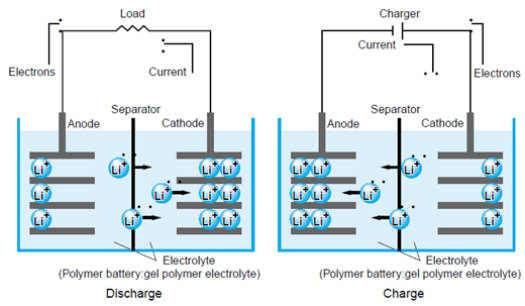


그림 4. 리튬이온 전지 작동 원리.

용량 및 효율, 수명특성, 전해액과의 안정성, 재료의 수급 용이성, 가격 등이 된다. 상업적으로 가장 많이 사용되는 음극 소재는 흑연, 양극 소재로는 층상의 리튬 코발트 산화물 (Lithium cobalt oxide)과 같은 산화물, 인산철 리튬 (Lithium iron phosphate, LiFePO_4)과 같은 소재가 있으며 표 2에 대표적인 양극 소재의 종류 및 특성을 정리하였다.

리튬 이차전지 초기에 사용한 양극재는 LiCoO_2 리튬 금속 복합 산화물로서 O_3 암염 구조의 111면을 따라 Li^+ 와 Co^{3+} 가 규칙적으로 배열하는 O_3 구조로서 최근까지 대부분의 리튬 이차 전지에 사용하였다. LiCoO_2 는 높은 전위와 리튬이온 확산계수 및 용량을 가지고 있으나 4.2 V 이상으로 상한전압을 올

표 2. 대표적인 양극소재 구조 및 특성.

분자식	LiCoO_2	$\text{Li}[\text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}] \text{O}_2$	$\text{Li}[\text{Ni}, \text{Co}, \text{Al}] \text{O}_2$	LiMn_2O_4	LiFePO_4
구조	층상구조	층상구조	층상구조	스파넬 구조	올리빈 구조
구조					
전자용량	145 mAh/g	120 mAh/g	160 mAh/g	100 mAh/g	150 mAh/g
작동전압	3.7 V	3.6 V	3.6 V	4.0 V	3.2 V
안전성	높음	다소 높음	낮음	높음	매우 높음
수명	높음	중간	높음	낮음	높음
국내업체	엘앤에프	엘앤에프 에코프로	에코프로	휘너스소재	한화케미칼
해외업체	Umicore Nichia	Umicore Nichia	Nichia Toda	Nichia BYD	A123 BYD

리면 Hexagonal과 Monoclinic 간의 상전이가 발생하여 사이클 특성을 열화시키는 단점이 있다. 상전이를 억제하여 수명 특성을 향상을 위한 연구가 진행되고 있으며 상업적으로는 Al_2O_3 코팅과 Mg이 도핑된 LiCoO_2 가 적용되고 있다. 코발트 대비 낮은 원재료 가격과 높은 에너지 밀도 특성을 구현할 수 있는 양극 재료개발에 많은 관심이 집중되고 있고 있다. 그 중에서도 LiCoO_2 와 동일한 결정구조 ($\alpha\text{-NaFeO}_2$)를 가지는 LiNiO_2 는 70% 이상의 리튬이 가역적으로 충·방전할 수 있어 고용량 재료로서 많은 연구가 진행되었으나, 리튬이온과 니켈이온의 자리바꿈 현상으로 제조가 용이하지 않고 고온에서 안정성에 크게 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 Ni의 일부를 Co로 치환하고 이종금속인 Mn, Al 등을 추가 도핑하여 안정화 시킨 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ 의 조성이 적용되고 있지만 안전성 등에서 문제점이 있어 이를 해결 하고자 하는 지속적인 연구가 진행 중에 있다. LiMn_2O_4 양극 소재는 용량은 조금 낮지만 구조적으로 안정하여 충전상태에서도 안정한 구조를 유지하고 전지의 안전성을 향상시킬 뿐만 아니라 LiCoO_2 대비 낮은 원재료 가격, 우수한 충·방전 특성, 높은 열안정성 등으로 자동차나 에너지 저장 장치와

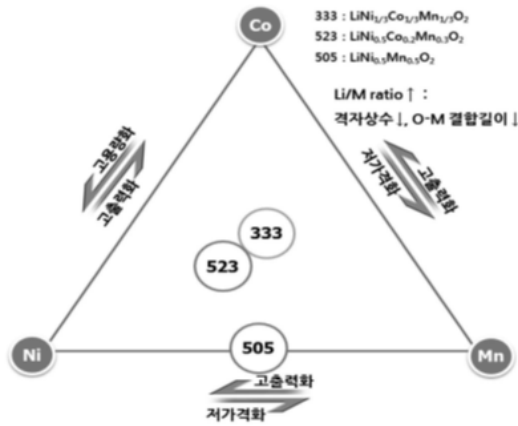


그림 5. $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ 삼성분계의 금속조성비에 따른 특성.

같은 대형전지의 양극 소재로 적용 중에 있다. 단점으로는 용량의 한계가 있으며 양극으로부터 용해된 Mn이온이 전해액으로 용출되어 나오면서 고온 성능이 저하되는 문제점이 있으며 이를 해결하기 위한 방법으로 표면 코팅, 이중 금속 도핑, 타 양극 소재와의 혼합 등에 관한 연구를 진행하고 있다. 최근에는 LiCoO_2 , LiNiO_2 및 LiMn_2O_4 의 장점을 혼합한 3성분계 $\text{Li}[\text{NiMnCo}]\text{O}_2$ 양극재에 대한 Li/M비에 따른 광범위한 연구를 통하여 그림 5와 같은 특징들이 보고되었다.

양산 중인 대표적인 삼성분계 조성은 $\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$, $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_2$ 등이며 셀 업체에서는 $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ 삼성분계를 LiCoO_2 와 혼합한 조성이나 단독으로 사용 중에 있다. 친환경적이고 충·방전 간의 구조 유사성으로 인해 우수한 사이클 및 우수한 열안정성을 갖고 있는 Orthorhombic 구조를 갖는 LiFePO_4 양극재가 전기차용 전원, 에너지 저장장치와 같은 대형전원에 적용되고 있다. 올리빈계 LiMPO_4 는 NASICON $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ 와 Monoclinic $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 와 같은 폴리아니온 화합물의 일종으로 2차원 리튬 확산 채널을 갖고 있어 Li 이온의 이동이 원활하지 못하

고 제한되어 낮은 전기전도도를 갖는 단점을 가지고 있다. LiFePO_4 입자의 전기전도도를 높이기 위해서 입자크기를 줄이거나 도전성 카본 코팅, Nb 등과 같은 원소를 도핑하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 합성방법으로는 고상법과 액상법이 있으며 고순도 원료를 얻을 수 있는 고상법이 가장 많이 사용된다. 고상법은 고온에서 합성하기 때문에 시료의 입자크기가 급격히 증가하여 표면적이 감소하고 리튬이온의 확산이 감소하여 전지성능이 저하되는 단점을 안고 있다. 액상법에는 졸겔법, 수열합성법 등이 있는데 이러한 방법들은 분말의 미립자화가 가능하지만 여러 금속 성분의 혼합 분말에서 화학 양론적 조성을 유지하기는 다소간의 어려움이 있어 이를 해결하고자 하는 합성 방법들에 대한 연구가 진행되고 있다.

3. 나트륨 기반 전지 (Sodium-based batteries, Na-S 전지)

3.1 Na-S 전지 구조 및 원리

NAS 전지는 양극 활물질에 '유황'을, 음극 활물질에 '나트륨'을, 전해질에 'β-alumina'라는 파인세라믹스를 이용한 전지다. β-alumina는 나트륨 이온을 통과시키는 성질이 있는 세라믹스이다. 이 β-alumina를 사이에 두고 음극과 양극 사이를 나트륨 이온이 이동하면서 충/방전이 이뤄진다. Na-S 전지의 기본원리는 1967년에 J.T. Kummer와 N. Weber에 의하여 처음 발표되었으며, 그림 6(a)와 같은 구조로써 음극으로 용융나트륨과 양극으로 용융황 그리고 나트륨이온 선택성 전도체인 세라믹 전해질 Na-β-alumina로 이루어져 있다. Na-β-alumina의 이온전도성은 최소한



280℃ 이상에서 유지되기 때문에 Na-S 축전지는 300~350℃의 온도에서 작동된다. 그림 6(b)는 Na-S 전지 모듈로써 단위 셀 사이 빈 공간에는 모래로 채워져 있는데, 이들은 절연체와 측면의 지지체 역할을 한다. 음극 집전체로는 SUS 혹은 알루미늄 봉을 사용하며, 양극에는 SUS나 알루미늄 재질의 외부 케이스가 사용된다. 전해질의 외부에 양극 물질 (Na)을 충전 할 경우, 충·방전 깊이에 따른 Na 전극의 접촉 단면적 차이로 인한 출력밀도의 변화 및 충·방전 시 변화하는 Na의 부피 증감으로 인한 전해질의 기계적 스트레스 등의 문제가 발생하므로 이를 해결하기 위하여 전해질 내부에 Na을 담근 구조를 이용한다. 양극 (S) 전극의 구조는 탄소섬유에 S가 공극률 90% 이상으로 함침되어 있는 형태이며, Na-β-alumina 전해질 외부를 둘러싼 구조이다. Na-S 전기화학 반응은 나트륨과 황이 전기화학적으로 반응하여 다황화 나트륨을 형성하면서 작동하게 된다. 화학적 반응은 3단계나뉘어질 수 있다. 식(1)과 같이 액상 나트륨은 액상 나트륨은 고체 전해질인 β-alumina를 통해 이동하고 나트륨과 β-alumina의 계면에서 산화되어 나트륨 이온 (Na⁺)과 전자가 형성된다. 나트륨 이온은 β-alumina를 통해 양극으로 이동하고 식(2)에 의해서 생성된 황이온과 반응하여 식(3)과 같이 다황화나트륨을 생성하게 된다. 그리고 셀이 충전하게 되면 전기화학반응은 역반응이 일어나서 다황화나트륨 (Na₂S_x)은 양극에서 분해되고 나트륨이온은 음극으로 되돌아 간다

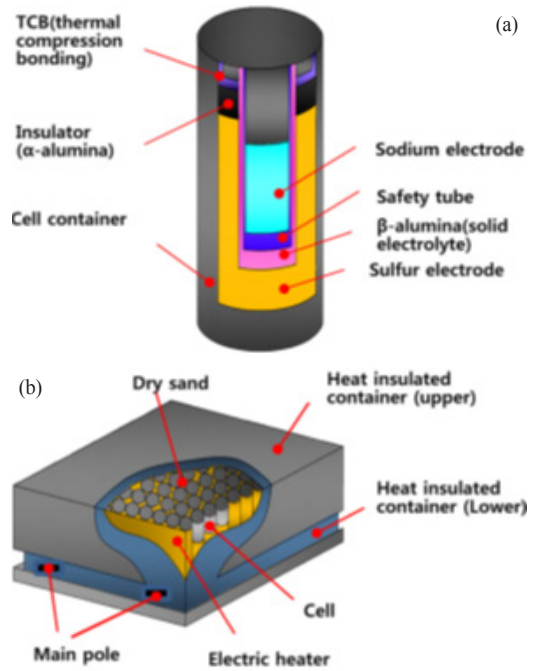
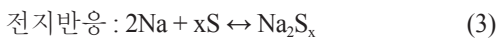
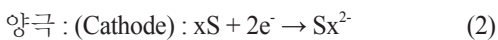
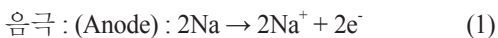


그림 6. Na-S 전지의 단전지 및 모듈 구조 (a) 단전지, (b) 모듈.

3.2 Na-S 전지용 전도성 세라믹 소재

Na-S 전지의 구성부품 중 세라믹 소재인 고체전해질인 β-alumina 튜브는 전지의 용량, 출력 그리고 수명에 결정적인 영향을 미치고 있으며 높은 이온전도도와 강도 및 치밀한 미세구조에 의한 고 신뢰성을 지닌 β-alumina 고체전해질의 개발 Na-S 전지의 상용화에 핵심 기술이다. β-alumina는 분리막과 전해질로 작용하면서 동시에 상대적으로 높은 고온 분위기에서 전체적인 내구성을 책임지는 소재로서 Na₂O의 휘발문제 해결 및 치밀 소결체의 제작 등이 핵심사항이다. Na-S 전지의 핵심 소재인 β-alumina는 두 개의 상이한 결정구조 (β, β')가 공존하고 있으며, 화학식은 Na₂O □ nAl₂O₃ (5.33 ≤ n ≤ 8.5)과 같다. β-alumina는 그림 7(a)와 같이 Hexagonal 구조인 반면, β'-alumina의 결정은 그림 7(b)와 같이 Rhombohedral



구조이다. 격자 상수는 β -alumina와 a축 (=0.56 nm)은 비슷하나 c축 (=3.40 nm)이 1.5배 길고, 전도면에 알칼리 이온의 농도가 높아서, 300℃에서 β -alumina는 약 30 Ω , β'' -alumina는 약 5 Ω 의 저항을 나타낸다. β -alumina의 장점에도 불구하고, Na₂O-Al₂O₃ 이성분계에서 β'' -Al₂O₃는 불안정한 상으로써 1,400℃ 이상의 온도에서는 β'' -에서 β -alumina 상으로의 전이가 일어난다. β'' -alumina 상을 고온에서 열역학적으로 안정시키고 또한 최대 분율을 얻기 위해서, 상안정화제로 양이온은 Mg²⁺ 또는 Li⁺ 이온을 도핑한 조성으로 MgO계열의 경우에는 8wt% Na₂O, 2wt% MgO, 90wt% Al₂O₃가 Li₂O의 경우에는 8.9wt% Na₂O, 0.7wt% Li₂O, 91.4wt% Al₂O₃ 등이 제시되어 있다. 안정화제로 Li₂O를 사용하는 제타 프로세스 (Zeta process)는 미국 포드사가 적용한 공정으로 불안정한 β -alumina의 재현성을 높인 방법으로 널리 사용되고 되었으나, 유기 용매를 사용하는 등 공정이 복잡한 단점이 있는 반면 Na-S 전지의 상용화에 성공한 NGK社의 경우 수용액으로 공정이 가능한 MgO계열을 적용하였다. NGK 방식의 장점은 하소공정을 생략한 직접 소결 방식으로 화학 조성의 정밀한 제어, 출발물질의 순도 조절과 구성 재료들의 균질한 혼합이 가능하다. 단점으로는 소결 공정 가스 성분에 의한 중량 감소와 반응 물질과 반응 생성물의 밀도차로 인한 체적변화로 기인한 문제가 발생하여 소결공정의 승온 단계에서 균열이 발생할 가능성이 높다, 소결 공정에서는 1,650℃ 이상의 고온 소결에서 β'' 상의 최적화, 이방성 미세구조의 치밀화를 위한 기술이 요구된다.

3.3 Na-S 전지 응용

대용량 전력저장 장치로 적합한 NaS 전지는 2006년 7월에 AEP (American Electric Power)의 변전소 용도로 1 MW급 NaS 전

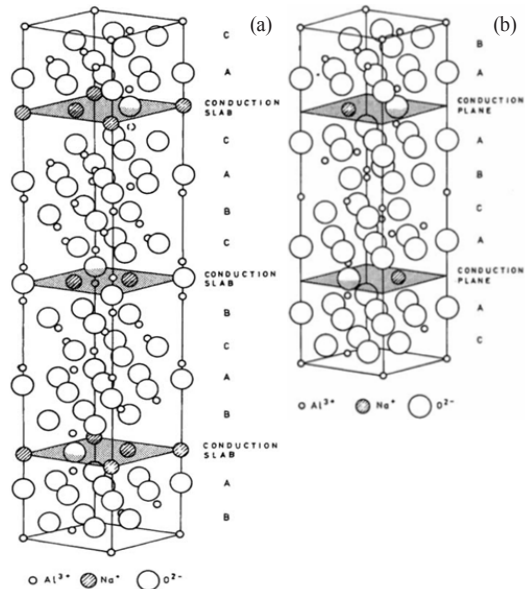


그림 7. β'' -alumina, β -alumina 결정 구조 (a) β'' -alumina, (b) β -alumina.

지 시스템이 운전을 개시하였으며 일본에서는 2006년 6월까지 NaS 전지시스템이 전국적으로 90개소에 설치되었으며 축전용량은 130 MW에 이르러 실용화되기 시작한 2002년 이후 급격히 증가하고 있는 추세이다. 대표적인 회사로는 일본 NGK社, YUASA社로써 YUASA는 NEDO 프로젝트에 참여하여 NaS 전지를 개발하였으며 100 kW급 이상의 나트륨-유황전지를 제작하여 실증운영 하였다. 특히, NGK社는 세계 시장점유율이 2008년 기준 51%로 15년간 장수명, 공해물질 배출가스가 없다는 점, 무진동, 저노이즈 등의 장점을 부각시키면서 MW급의 NaS전지를 상업화하여 일본과 미국뿐만 아니라 전 세계 지역을 상대로 사업을 진행하고 있다.

중국의 경우는 SICCAS (Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences)에서 1980년부터 NaS 전지에 대한 연구가 진행하여 2009년도 단전지 및 모듈 제작에 성공하였으며, 상해 엑스포에서 200 kW급 저장장치를 설치 시험 운전하



었다. 2010년도 상해전력과 공동으로 MW급 NaS전지 시스템 개발 중에 있다.

미국에서는 2002년부터 DOE (Department of Energy)/EPRI (Electric Power Research Institute) 프로그램에 AEP, ABB 등이 참여하고 NGK의 NaS 전지를 적용하여 전력저장 시스템으로의 실용화를 추진하고 있다. 최근 들어 장주기 ESS용 Na계 전지의 중요성이 부각되면서 일본과 미국을 중심으로 활발히 연구되어 기초단계에서 응용단계로 전환되고 있다.

국내는 Na-S 전지와 직접 관련된 기술 수준은 빈약한 실정이며 β -alumina 고체 전해질의 경우, 폐열로 부터 전기를 생산하는 AMTEC (Alkali Metal Thermoelectric Converter) 소자의 핵심 부품으로 사용되어 일부 연구가 진행되었으나, 소형으로써 50 cm 가량의 대형 튜브형태 제조 기술에 활용되기 어려움이다. 세라믹 분체 제조는 α -alumina 위주의 국내 제조업체가 2004년 까지 존재 하였으나 이후 자취를 감추고 국외로부터 수입에 전량 의존하는 실정이다. 최근 에너지 분야의 신사업을 추진하고 있는 RIST (POSCO)와 같은 기업들을 중심으로 전력저장용 Na-S 전지 개발에 대한 관심이 고조되고 있는 상황에서 정부의 중장기적인 연구 지원이 동반된다면 단기간 내에 상용화 기술 확보뿐만 아니라 세계의 Na-S 기술개발을 선도할 수 있는 토대를 마련할 수 있을 것으로 전망된다.

4. 결론

대용량 에너지 저장 기술은 스마트그리드 사업에 신재생 에너지 기술을 효율적으로 통합할 수 있는 기술로써 전력 수요 증가에 따른 수요 자원 관리 및 전력 품질 안정화에 핵심이다. 본고에서 제시한 전기화학적 대용량 에너지 기술로써 리튬 이온 전지와 Na-S 전

지에 대하여 기술하였으며 경제성, 기술적 성능을 고려한 새로운 첨단 소재 및 ESS 장치의 개발이 필요함을 확인 하였다. 특히, 리튬 이온전지를 대용량 에너지 저장장치로 응용하기 위해서는 경제성 측면에서 유리한 대체 소재를 개발하거나 새로운 리튬 이온 전지의 개발하는 것이 유리할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 스마트그리드 ESS 기술동향 보고서, 지능형 전력망회, 2012.9
- [2] 박홍규, "리튬이차전지용 양극재 개발 동향", Journal of the Korean Electrochemical Society, Vol. 11, No. 3, 2008, 197-210
- [3] 이승원, 최수안, "리튬이차전지용 양극활물질 개발 동향" 세라미스트, 제 13권 제5호, 2010, 32-38
- [4] 황진하, 배승묵, 김민경, "대용량 전력 저장용 NaS 전지 기술", 세라미스트, 제15권 제2호, 2012년 4월
- [5] 임성기, 대용량 전력저장용 Na/S 축전지 기술, 화학연합
- [6] 김돌선, 강성환, 김준영, 안주현, 이창희, 정기영, 박윤철, 김고운, 조남웅, "대용량 에너지 저장 시스템을 위한 나트륨 유황전지", J. Korean Electrochem. Soc., Vol. 16, No. 3, 2013
- [7] J. Fally, C. Lasne, Y. Lazennec, Y. Le Cars, and P. Margotin, J. Electrochem. Soc., 120, 1296 (1973).



저자약력



성명 : 이경민
 ◆ 학력
 • 1995년
 상지대학교 자연대학
 화학과 이학학사
 • 1997년
 명지대학교 대학원
 화학과 이학석사
 이학박사

◆ 경력
 • 1997년 - 2000년 태일정밀(주) 대리
 • 2000년 - 현재 삼화콘덴서공업(주)
 신상품개발팀 수석연구원



성명 : 윤중락
 ◆ 학력
 • 1991년
 명지대학교 공과대학
 전기공학과 공학사
 • 1993년
 명지대학교 대학원
 전기공학과 공학석사
 • 1999년
 명지대학교 대학원
 전기공학과 공학박사

◆ 경력
 • 1994년 - 1996년 한국쌍신전기 선임연구원
 • 1996년 - 현재 삼화콘덴서공업(주) 연구소
 연구소장

