

소듐 이차전지 개발 동향

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
정경인 선임연구원(gorapaduck@kdb.co.kr)

I. 소듐 이차전지 개요 II. 소듐 이차전지 개발 동향

III. 시사점

최근 전기차 시장 캐즘으로 저렴한 차세대 전지에 대한 요구가 높아지고 있다. 기존 리튬 이차전지는 주요 광물이 수급에 따라 높은 가격 변동성을 보이고 특정 국가에 높은 공급 의존도를 보여 가격 안정성이 낮은 편이다. 반면 소듐은 지구상에서 6번째로 풍부한 원소로 리튬 대비 30배 이상 저렴해 이를 이용한 소듐 이차전지에 관한 관심이 높아지고 있다.

소듐 이차전지의 구성요소는 양극재, 음극재, 전해질, 분리막으로 리튬 이차전지와 동일하며 리튬 이차전지의 리튬 대신 소듐 이온이 양극과 음극을 오가며 전류를 생성한다. 양극재 소재로는 금속화합물, 프러시안블루 등이, 음극재 소재는 하드카본이 유력하게 연구되고 있다.

소듐 이차전지의 가장 큰 장점은 높은 가격경쟁력으로 리튬 이차전지 대비 생산원가가 절반에 달할 것으로 전망된다. 또한 저온 안전성과 충전 속도도 주요 장점으로 꼽힌다. 다만 리튬 이차전지 대비 낮은 에너지 밀도와 출력을 보여 시장 초기에는 ESS와 소형 전기차 위주로 보급될 전망이다.

소듐 이차전지 기술개발은 중국이 주도하고 있으며 낮은 에너지 밀도를 리튬 이차전지 수준으로 끌어올리기 위해 노력 중이다. 국내 셀 업체들은 차세대 전지로 전고체전지 개발에 집중하고 있어 현재 소듐 이차전지 출시 계획은 없다. 다만 일부 소재 업체들이 소듐 이차전지 소재 기술개발을 하는 수준이다.

국내 이차전지 산업은 초기에 가격이 저렴한 LFP 전지 개발에 소홀하면서 중국 업체들에 점유율을 잃은 사례가 있는 만큼 소듐 이차전지 등 저렴한 차세대 전지 기술 확보가 필요한 상황이다.

* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

I. 소듐 이차전지 개요

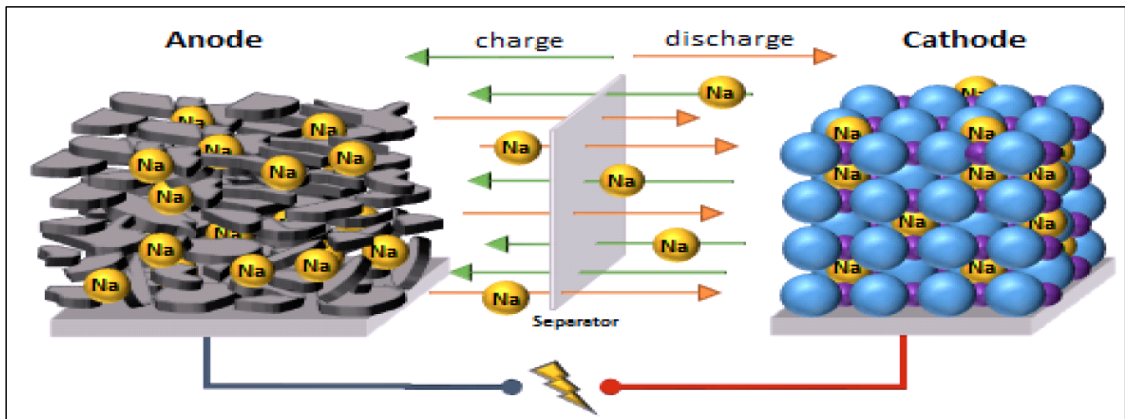
1. 원리 및 구성요소

□ 소듐¹⁾ 이차전지의 작동 원리와 구성은 리튬 이차전지와 동일

- (작동 원리) 소듐 이차전지는 소듐 이온이 양극과 음극 사이를 이동하면서 전기를 발생시키는 이차전지로, 작동 원리는 리튬 이차전지와 동일
 - 소듐 이온이 충전 시 양극에서 음극으로 이동하면서 에너지를 저장하고, 방전 시 음극에서 양극으로 이동하며 전류를 생성해 리튬 이차전지에서 리튬 이온이 하는 역할을 소듐 이온이 수행

〈그림 1〉

소듐 이차전지 작동 원리



자료 : MDPI(2019), "Exploring the Economic Potential of Sodium-Ion Batteries"

- (구성요소) 작동 원리가 리튬 이차전지와 동일하여 양극재(Cathode), 음극재(Anode), 전해질(Electrolyte) 및 분리막(Separator)으로 구성
 - 양극재의 경우 금속산화물 및 프러시안블루 등이, 음극재의 경우 소듐 이온의 큰 반경을 수용할 수 있는 하드카본이 활발히 연구되고 있으며 전해질은 소듐염이, 분리막은 리튬 이차전지와 동일한 고분자 필름이 사용

1) 소듐 원소기호의 구명칭은 나트륨으로, '16년 대한화학회가 화합물 명명법을 개정하면서 미국식 발음인 소듐을 권장(나트륨도 함께 사용 가능)

〈표 1〉

구성 요소별 소재 비교

구성	리튬 이차전지		소듐 이차전지	
양극재	NCM	니켈(Ni), 코발트(Co), 망간(Mn) 등	금속산화물(NMO)	소듐(Na), 금속산화물(MO ₂)
	LFP	리튬(Li), 인산철(FePO ₄)	프러시안블루*	소듐(Na), 전이금속(철(Fe), 망간(Mn) 등)
	LCO	니켈(Ni), 코발트(Co) 등	다중음이온	XO ₄ ^{y-} (X=황(S),인(P) 등)
음극재	흑연	천연흑연, 인조흑연	탄소계	하드카본, 소프트카본
	실리콘	실리콘 첨가하여 용량 증가	실리콘 합금	실리콘+주석, 황화구리
전해질	LiPF ₆ 등	유기용매 + 리튬염	NaPF ₆ 등	유기용매 + 소듐염
분리막	고분자 필름 (PP, PE 등)			

* 짙은 파란색을 띠어 프러시안블루로 불리며 소듐 이온의 이동이 빠른 결정구조를 유지하여 상용화 가능성이 높음

자료 : 당행 작성

〈참고 1〉

양극재 결정구조

□ 양극재의 결정구조 역시 리튬 이차전지와 유사하게 판상형 구조, Olivine 구조 등이 존재

양극재 구조 비교

구성	리튬 이차전지	소듐 이차전지
판상형		
Olivine		NaFePO4晶体结构

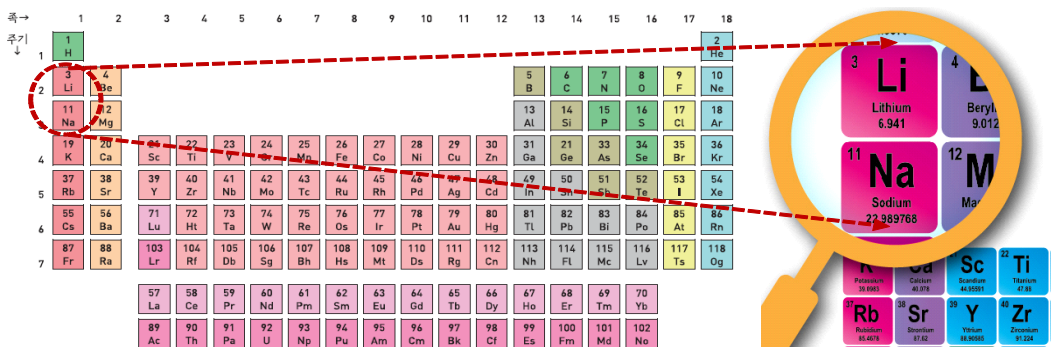
자료 : ZHONGTAI SECURITIES (2022)

2. 소듐의 특징

□ 소듐은 리튬과 화학적 특성이 비슷하나 물리적 특성이 상이

- (화학적 특성) 소듐(원자번호 11번)과 리튬(원자번호 3번) 모두 주기율표상 1족에 위치해 동일한 화학적 특성을 보임

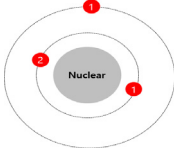
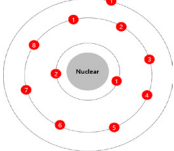
〈그림 2〉 주기율표상 리튬과 소듐 비교



자료 : FLASH Battery 등

- (물리적 특성) 소듐은 리튬보다 이온 부피가 크고 원자량이 무거워 충·방전 시 결정구조 내 이온의 확산 및 저장에 상대적으로 어려워 전류 생성 속도가 리튬 이차전지 대비 느림

〈표 2〉 리튬 원자와 소듐 원자 차이

구분	리튬	소듐
구조도		
이온 부피	$1.84 \text{ \AA}^3$	$4.44 \text{ \AA}^3$
원자량	6.9g/mol	23.0g/mol

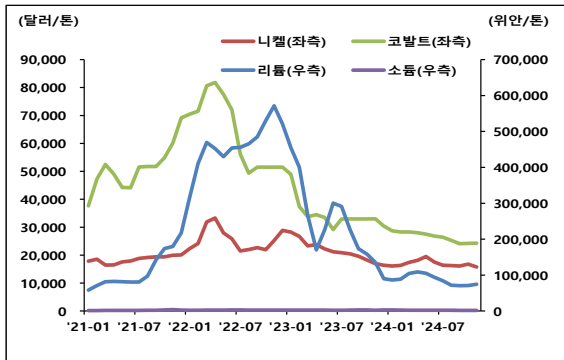
자료 : 당행 작성

3. 소듐 이차전지 장·단점

□ 장점 : 리튬 이차전지 대비 가격경쟁력과 저온 안전성 등이 우수

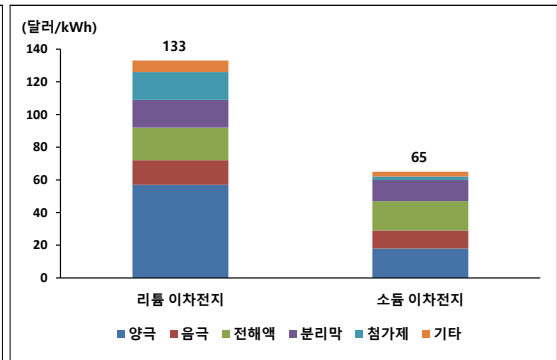
- (가격경쟁력) 소듐 이차전지의 소듐은 지구상에서 6번째로 풍부한 부존량을 보이는 원소로 리튬 대비 가격이 30배 이상 저렴하며, 리튬 이차전지와는 다르게 코발트, 니켈과 같은 비싼 금속을 사용하지 않아 가격경쟁력이 우수
 - 소듐 이차전지는 리튬 이차전지 셀 가격의 절반 수준에 달할 것으로 전망됨

〈그림 3〉 원자재 가격 비교



자료 : 한국자원정보서비스

〈그림 4〉 생산원가 비교



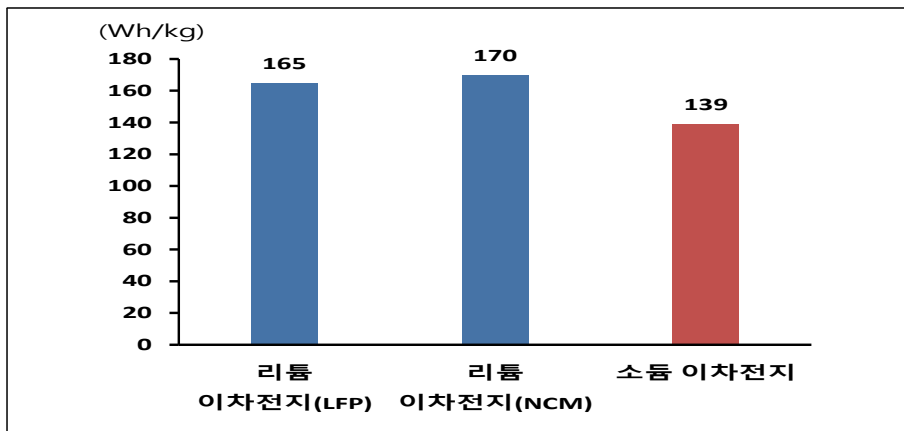
자료 : 유진투자증권(2023), "나트륨이온배터리"

- (안전성) 소듐 이차전지는 리튬 이차전지 대비 안전성과 저온 특성이 우수
 - 소듐 이온의 반응성이 리튬 이온보다 낮고 발열이 적어 열폭주 현상이 리튬 이차전지보다 덜하여 화재 발생 시 진압이 비교적 용이
 - 소듐 이차전지의 작동 온도는 영하 70℃~100℃로, 영하 70℃에서도 실온 용량의 70% 이상을 유지 가능
- (충전 속도) 소듐 이차전지는 전해질의 높은 유동성 및 전극 구조 설계로 이온의 이동 속도를 높여, 전기차 충전 시간 줄일 수 있음
 - 리튬 이차전지 충전 시간의 1/5 수준으로 충전 가능하며 중국의 CATL은 15분 만에 80% 수준까지 충전 가능한 소듐 이차전지를 발표

□ 단점 : 낮은 에너지 밀도와 출력 특성

- (에너지 밀도) 소듐 이차전지는 리튬 이차전지 대비 에너지 밀도가 80% 수준으로 낮아 전기차에 사용 시 주행거리가 짧은 단점 보유
 - 소듐 이차전지 전압은 3.0V 수준으로 리튬 이차전지 전압(3.2V~3.7V) 대비 낮고 이론 용량이 낮아 리튬 이차전지 대비 16% 이상 낮은 에너지 밀도를 보임

〈그림 5〉 이차전지 종류별 에너지 용량 비교



자료 : MDPI(2019), "Exploring the Economic Potential of Sodium-Ion Batteries"

- (출력 특성) 소듐 이온은 리튬 이온 대비 큰 이온 반경을 가지고 있어 양극활 물질과 전해질의 확산 및 저장에 불리하여 낮은 출력 특성을 보유
 - 소듐 이온의 부피는 리튬 대비 약 2.4배 크고 원자량도 약 3.3배 무거워 이동 속도가 느림

〈표 3〉 리튬 이차전지와 소듐 이차전지 특성 비교

구분	리튬 이차전지	소듐 이차전지
비용	높음	낮음
에너지 밀도	높음	낮음
안전성	낮음	높음
출력 특성	우수	열위

자료 : 당행 작성

II. 소듐 이차전지 개발 동향

1. 글로벌 기술 및 산업 동향

□ 중국 업체들은 타 국가 대비 소듐 이차전지를 적극적으로 개발 중

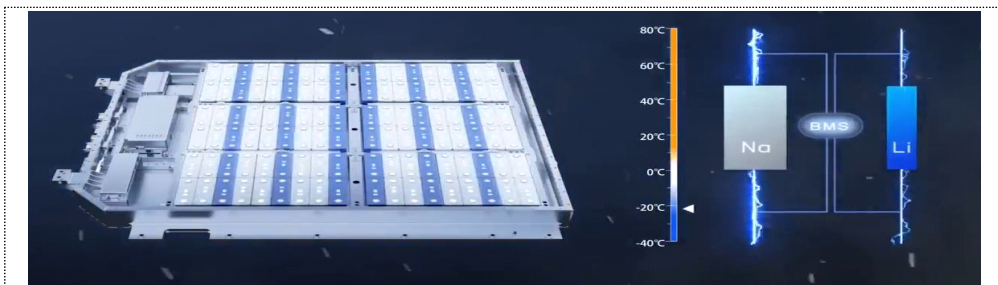
- (중국) 소듐 이차전지는 '70년대부터 연구개발이 이루어져 왔으나 리튬 이차전지가 먼저 상용화되면서 오랜 기간 개발 단계에 머물렀으며, 최근 리튬 가격의 변동으로 차세대 전지로 주목받기 시작했고 중국을 중심으로 상용화 준비 중임
- (CATL) '21년 1세대(135Wh/kg) 개발을 완료하였으며, 현재 에너지 밀도를 개선한 2세대(160Wh/kg) 및 리튬 이차전지와 융합을 통한 용량 확대 기술을 개발 중
- 목표 시장은 가격경쟁력을 기반으로 ESS 제품에 우선 적용하고 저사양 전기차 시장에서 LFP 전지를 대체하는 전략을 추진

<참고 2> CATL의 소듐 이차전지 + 리튬 이차전지 혼합 적용

□ '21.7월 CATL은 소듐 이차전지와 리튬 이차전지를 혼합한 모델인 'AB 배터리 시스템'을 공개함

- 소듐 이차전지의 부족한 에너지와 출력 특성을 리튬 이차전지를 통해 보완하고 동시에 가격 및 저온 특성의 강점을 활용할 수 있는 기술
- 일반 주행의 경우 소듐 이차전지를 활용하고, 고출력이 필요한 경우 리튬 이차전지로 전환하는 방식

AB 배터리 시스템 구조도



자료 : 유진투자증권(2023), "나트륨이온 배터리"

- (BYD) '23년 소형 전기차 전문기업 화이하이 그룹과 소듐 이차전지 합작공장을 착공하여 '25년 소형 전기차 탑재 계획
 - 현재 에너지 밀도 130Wh/kg 수준으로 향후 160Wh/kg 수준의 제품 출시 목표
- (기타) 중국이 소듐 이차전지 산업을 주도하는 가운데 미국과 유럽 기업들도 상용화를 위한 제품 개발 및 양산 계획 중
- 미국의 네이트론 에너지는 연간 600MW의 소듐 이차전지를 생산할 수 있는 공장을 '24.4월 가동하였으며 향후 기가와트 규모로 증설 예정
 - 스웨덴의 노스볼트는 에너지 밀도 160Wh/kg 이상의 소듐 이차전지 개발 발표
 - 프랑스의 스타트업 티아마트는 자동차그룹 스텔란티스, 신소재 기업 아르케마 등의 지원으로 소듐 이차전지 생산공장 건설을 계획 중임

〈표 4〉 소듐 이차전지 글로벌 개발 동향

국가	업체명	리튬 이차전지
중국	CATL	'21년 에너지 밀도 160Wh/kg 제품 공개 2세대 제품 개발 중으로 Geely 등 전기차 도입 계획
	BYD	100억위안 규모의 소듐 이차전지 공장 건설 계획 소형차 제조사인 화이하이와 제휴하여 소형 전기차에 탑재 계획
	HiNa Battery	5GWh 규모의 생산 목표로 양산라인 건설발표 '24.1월 JAC와 나트륨 이차전지 탑재 전기차 출시
미국	네이트론 에너지	'24.4월부 미국 미시간주에 연간 600MW까지 생산 가능한 공장 가동 발표
미국	아르곤국립연구소	'24.1월 니켈망간철(NMF) 양극재 특허 등록
스웨덴	노스볼트	'24.1월 160Wh/kg 에너지 밀도의 제품 개발 공개
프랑스	티아마트	'29년까지 연간 5GWh 생산 규모의 공장 착공 계획 '25년까지 700MWh 생산능력 확보
영국	파라디온	'21.12월 인도 릴라이언스그룹에 피인수 '22.12월 호주에 소듐 이차전지가 사용된 ESS 공급

자료 : 언론사 자료 종합

2. 국내 기술 및 산업 동향

□ 국내는 중국에 비해 개발에 미온적이며 소재 업체 위주로 개발 중

- 국내 이차전지 셀3사(LG엔솔, 삼성SDI, SK온)는 차세대 전지로 전고체전지에 집중하고 있으며 소듐 이차전지 개발에 미온적임
 - 소듐 이차전지 사업에 진출한 회사는 대부분(약 83%) 중국 회사이며 한국 업체는 글로벌 영향력 미미한 수준

<표 5> 소듐 이차전지 업체 국가별 분포

국가	비중
중국	83%
유럽	7%
미국	5%
일본	4%
한국	1%
합계	100%

자료 : SNE리서치(2024), "SIBs 주요기업"

<표 6> 국내 셀3사 차세대 전지 개발 현황

업체	전지	양산 계획
LG엔솔	전고체	'26년~
	LFP	'26년~
삼성SDI	전고체	'27년~
	LFP	'26년~
SK온	전고체	'28년~
	LFP	'26년~

자료 : 하이투자증권(2024), "이차전지"

- 에코프로, 프리원, 애경케미칼 등 소재 전문기업 중심으로 개발 계획을 발표
 - (에코프로) 최근 중국보다 용량과 수명이 뛰어난 소듐 이차전지용 양극재 개발 계획 발표
 - 충·방전 효율과 전압을 높여가는 상황으로 국내 배터리 3사가 소듐 이차전지 출시를 계획하면 이에 대응하여 상용화 전략
 - (애경케미칼) 나트륨 이차전지 음극재 소재인 하드카본계 기술개발 발표

<표 7> 소듐 이차전지 국내 개발 동향

업체명	주요 분야	동향
에코프로	양극재	양극재 용량 및 수명 개선을 위한 기술개발
애경케미칼	음극재	하드카본계 음극 소재 기술개발 및 양산
프리원	음극재	음극재 '25년 양산 계획

자료 : QY Research(2023), "나트륨 이온 배터리 시장 전망"

Ⅲ. 시사점

1. 연구개발 필요성

□ 전기차 캐즘 상황 극복을 위해 저렴한 차세대 이차전지 개발 확보 필요

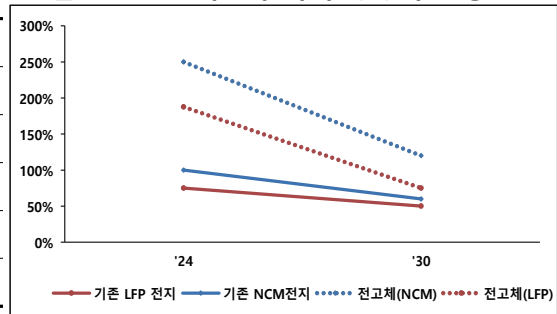
- 전기차의 대중화가 늦어지고 있는 주요 원인 중 하나가 높은 가격임에 따라 가격경쟁력을 장점으로 한 소듐 이차전지 기술 및 투자에 관심과 지원 필요
 - 주요 국가들은 전기차 구매 보조금을 폐지하거나 축소하고 있어 소듐 이차전지의 우수한 가격경쟁력은 전기차 캐즘 극복을 위한 대안이 될 수 있음
 - 국내 업체들이 집중하고 있는 전고체전지의 경우 출시 되더라도 가격경쟁력이 낮아 단기간 내 대중화는 어려울 전망

〈표 8〉 주요 국가 보조금 정책 변화

국가	기존	변경 ('24~)
한국	580만원~680만원	100만원씩 감소
중국	최대 1,126만원	'23년 폐지
영국	최대 233만원	'23년 폐지
독일	최대 45백 유로	폐지 ('23.12~)
프랑스	최대 70백 유로	지급 기준 강화

자료 : 언론사 자료 종합

〈그림 6〉 전고체전지 가격 경쟁력 전망



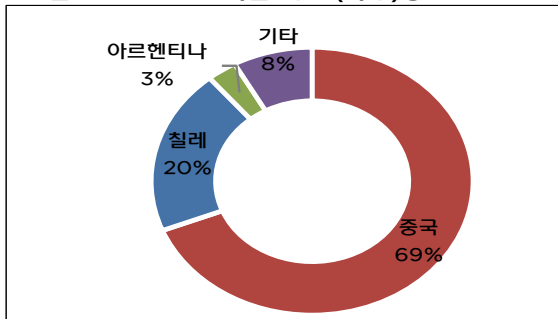
자료 : BloombergNEF(2024)

- 국내 이차전지 산업은 초기에 LFP 전지 개발에 소홀한 결과, 최근 가격경쟁력과 용량을 강화한 중국 업체들에 시장점유율을 잃고 있음
 - 글로벌 전기차용 이차전지 시장에서 국내 셀3사의 점유율은 '24.1~11월 기준 19.8%로 전년 동기 대비 3.7%p 하락한 반면, 중국 업체(CATL, BYD)의 점유율은 전년 동기 대비 1.8% 증가한 53.9%를 차지

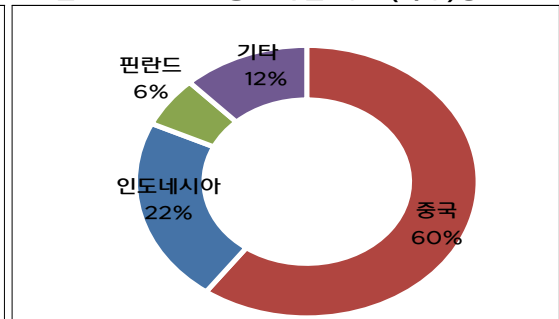
□ 이차전지 주요 광물의 지역 불균등 해소 가능

- 소듐은 리튬, 니켈, 코발트 등에 비해 다양한 지역에 풍부하게 존재하여 공급망 다양화에 적합
 - 리튬 이차전지는 리튬, 니켈, 코발트 등 핵심 광물의 중국 의존도가 매우 높고, 미국의 IRA 규정 등 글로벌 규제 리스크 존재
 - 소듐을 생산할 수 있는 원료는 소다회분, 석회석, 바닷물 등으로 다양하며, 각국 환경에 맞는 공정으로 생산 가능함
 - 소다회분(Soda ash)은 대부분 미국에서 생산되며, 중국은 자국 내 소다회분 자원 부족으로 석회석과 소금을 원료로 생산 중

〈그림 7〉 '23년 리튬 생산(가공)량



〈그림 8〉 '23년 황산니켈 생산(가공)량



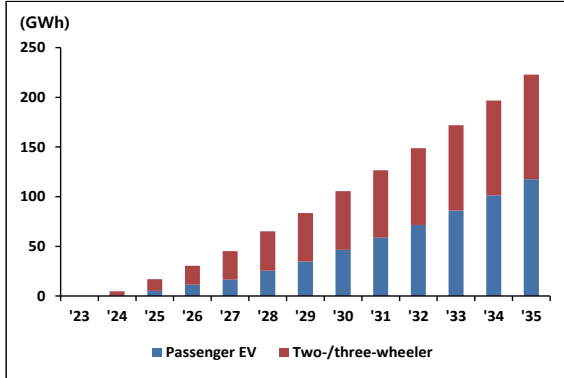
자료 : USGS(2024) "Mineral Commodity Summaries", BloombergNEF 당행 재구성

2. 소형 전기차 및 ESS 시장 중심으로 확대 전망

□ 전기차 시장 경우 소형 전기차 위주로 보급될 전망

- 소듐 이차전지는 기존 리튬 이차전지 대비 절반 수준의 가격으로 생산 가능해, 리튬 등 주요 광물 가격 상승 시 상용화 및 판매 확대 가능성 높아질 전망
- 또한 소듐 이차전지는 개발 초기 단계임을 감안 시, CTP(Cell to Pack)과 같은 설계변경 등 기술개발로 주행거리 단점 극복도 기대됨
 - '24년 JAC(中)에서 단일 용량이 12Ah이고 에너지 밀도가 130Wh/kg인 HiNa Battery의 소듐 이차전지를 사용한 전기차를 인도

〈표 9〉 소듐 이차전지 수요 전망(전기차)



자료 : BloombergNEF(2024)

〈그림 9〉 중국의 소듐 이차전지 탑재 전기차

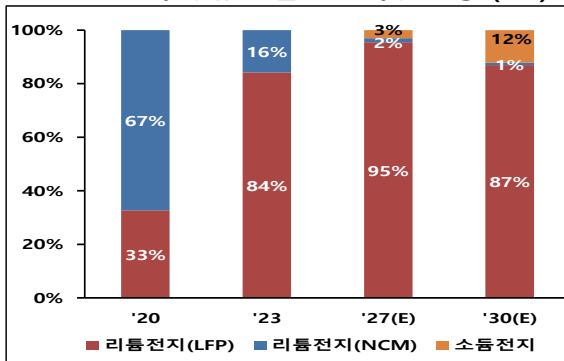


자료 : SNE리서치(2024)

□ 저온 성능과 안전성으로 ESS 산업에서 확산 속도가 빠를 전망

- 소듐 이차전지의 단점인 낮은 에너지 밀도는 ESS 산업에서 중요도가 낮으며 높은 안전성과 저온 특성으로 ESS 산업에 우선 적용될 것으로 전망
- ESS용 이차전지 시장은 LFP 전지가 높은 안전성과 가격경쟁력으로 현재 약 84% 점유율을 보이고 있으며, 소듐 이차전지는 상용화 시 '30년 12% 수준까지 확대될 전망
 - 중국은 '24년 세계 최초로 소듐 이차전지를 사용한 ESS를 중국 내에 설치하고 가동을 시작했다고 발표함

〈표 10〉 전지 종류별 글로벌 비중 전망 (ESS)



자료 : BloombergNEF(2024)

〈그림 10〉 중국의 소듐 이차전지 ESS 전경



자료 : 뉴스핌 (2024)

참고문헌

[국문자료]

고원석·구본영 외 (2022), “나트륨 이차전지 양극활물질 연구 개발 동향”, Ceramist
김나래·윤현지 외 (2017), “나트륨이온 전지용 음극소재의 소개와 연구 동향”, KIC
김수지·김유진 외 (2019), “나트륨 이차전지용 음극 소재 기술 동향”
허원도, “나트륨이온 이차전지의 기대와 전망”, 한국과학기술정보연구원
허원도, “나트륨이온 이차전지용 전극재료의 개발”, 한국과학기술정보연구원
이승현, 남승훈(2024), “나트륨 이차전지용 양극재의 최근 발전동향”, Ceramist
유철휘·강성구 외(2015), “나트륨을 활용한 이차전지 연구 동향”
QY리서치(2023), “나트륨 이온 배터리 시장 전망”
한국과학기술기획평가원(2023), “차세대 이차전지”
SNE리서치(2024), “나트륨이온배터리의 경제성 분석과 전망”
SNE리서치(2024), “중국 나트륨 이온전지 업체들의 경쟁력”
SNE리서치(2024), “나트륨이온 배터리 양극재 특허 분석”
SNE리서치(2024), “나트륨이온배터리 주요 기업”
SNE리서치(2024), “중국 나트륨이온전지 상용화 현황”
유진투자증권(2023), “나트륨이온배터리”
유진투자증권(2024), “나트륨이온배터리, 게임체인저가 될 것인가?”

[영문자료]

Advanced Energy Materials(2018), “Sodium and Sodium-Ion Batteries:50 Years of Research”
Jang-Yeon Hwang, Seung-Taek Myung(2016), “Sodium-ion batteries:present and future”
Natron Energy(2023), “Prussian Blue Sodium-Ion Batteries”
Jens F.Peters, Alexandra Pena Cruz 외(2019), “Exploring the Economic Potential of Sodium-Ion Batteries”, MDPI
BloombergNEF(2024), “Solid-State Battery Tech update 2024”
BloombergNEF(2023), “Sodium-ion Batteries Make Inroads in Passenger Cars”