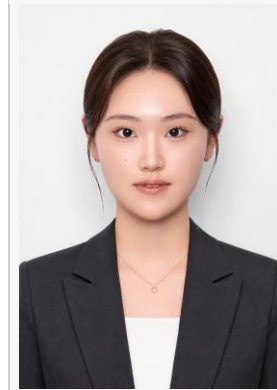


안수연

배터리 소재 R&D · 공정개발

010-2474-4712 | cbhaaenk@naver.com | 서울



지원 요약

NCM-LFP 양극재의 전구체 합성부터 열처리, 전극·셀 평가까지 수행했으며, 재활용 원료의 정제와 불량 양극재 재생 공정 경험을 보유하고 있습니다. 구조·조성·계면 및 전기화학 데이터를 연계해 성능 저하 원인을 분석하고, 공정 조건을 최적화하는 것이 강점입니다.

학력

- 2025.03–2027.02 세종대학교 대학원 에너지자원공학과 석사
학위논문: 「 "Challenges of direct recycling: Impurity-driven degradation in LiNiCoMnO₂ cathodes" 」 | 학점 4.33/4.50
- 2023.03–2025.02 세종대학교 지구자원시스템공학과 학사
학점 3.95/4.50 (전공)
- 2021.03–2023.02 수원대학교 화학공학과 자퇴
학점 4.36/4.50 (전공) , 4.08/4.50 (전체)

연구경력

- 2025.02–2027.02 석사과정 연구원 | 세종대학교 전기화학에너지변환/저장 연구실
· 페리튬이온전지 유래 원료의 정제·재생 및 NCM/LFP 양극재 합성 연구
· 기업과제 및 산학협력 연구 수행, 실험 설계·데이터 분석·결과 보고 참여
- 2025.03–2025.12 Skon 기업과제
· MHP 유래 침출액 정제 조건 최적화 및 공정 규모 확대 검증
· 실험 조건 설계, ICP-OES 분석 및 정제 효율 평가 담당

대표 연구

01 직접재활용 공정에서 잔존불순물에 따른 양극재 구조·전기화학 특성 분석

Al, C, F 유래 불순물을 각각 독립적으로 모사하여 NCM 양극재의 구조·계면 특성과 전기화학적 열화 메커니즘을 규명했습니다.

성과 SCI(E) 논문 1 편 및 학술대회 발표 1 건으로 연결했습니다.

02 MHP 유래 침출액의 NCM 양극재 제조를 위한 Ca·Mg 정제 공정 최적화

NaF 기반 선택적 침전 공정을 설계하고, 소규모 조건에서 대량 조건으로 확대하여 공정 적용성을 검토했습니다.

성과 소규모 실험에서 Ca·Mg 제거율 97% 이상을 확보하고, 대량 실험에서 검출한계 미만까지 저감했습니다.

03 공침 기반 LFP 제조 공정 최적화 및 불량 활물질 재생

공침 전구체 기반 LFP의 혼합비, 열처리 분위기 및 소성 조건에 따른 성능을 비교하며 제조 공정 최적화를 진행하고 있습니다. 또한 탄소 코팅이 불균일한 불량 활물질을 대상으로 탄소층 제거·재코팅·재소성 공정을 설계했습니다.

성과 재생 LFP에서 약 152 mAh g⁻¹의 초기 방전용량을 확보하여 불량 활물질의 성능 회복 가능성을 확인했습니다.

논문·학회 및 기술

논문·학회

- SCI(E) 논문 1 편 (제 1 저자 1 편)
- 국내외 학술대회 발표 1 건 (한국자원공학회)
- 수상 2 건 (교내 학술대회, 성적우수상)
- 특허 1 건 ("양극 활물질용 전이금속의 회수 방법" (KR pending 10-2026-0189400))

기술·자격

- 공정: 공침, 열처리, 정제
- 분석: ICP-OES, CHNS, F⁻ ISE, SEM, TEM/STEM-EDS, XRD, XPS
- 평가: Coin cell, 수명/율속평가, CV, EIS, GITT
- 어학·자격: toeic speaking AL (160/200)

[데이터 기반 분석과 협업으로 쌓은 배터리 공정 최적화 역량]

FePO₄ 전구체 공침 기반 LFP 제조 공정 최적화 프로젝트에서 문헌 조건을 재현했으나 초기 방전용량은 110 mAh/g 에 그쳤습니다. 충방전 곡선의 평탄구간 불안정성을 근거로 LFP/FP 상전이 과정에서 구조적 균일성과 Li⁺ 이동성이 충분히 확보되지 않았을 가능성에 주목했고, 선행연구의 TGA-DTA 분석을 참고해 예비 열처리 온도를 350°C 에서 500°C 로 상향하고 aging 시간, 열처리 분위기 등 추가 변수를 검토했습니다. 소재 조건을 고정한 뒤에는 전극 제조 단계로 변수를 이동했습니다. 바인더/NMP 용액에 도전재를 선분산한 후 활물질을 투입하는 방식에서 성능이 향상됐고, 전기전도도가 낮은 LFP 에서는 도전재 분산성과 전도 네트워크 형성이 핵심 변수임을 확인했습니다. 팀원이 공침 단계 투입 순서를 달리한 문헌을 제안했고, 데이터를 공유하며 함께 검토한 결과 최종 143 mAh/g 에 도달했습니다. 이 경험을 통해 합성-전극-셀 평가 데이터를 연결해 변수를 좁혀가는 것이 공정 최적화의 핵심임을, 팀원과의 데이터 공유가 개인의 변수 범위를 실질적으로 확장해준다는 것을 체감했습니다. 도전재 분산성과 전도 네트워크 형성이 셀 성능을 좌우한다는 이 경험은 SSB/LMB 전극 공정에서 슬러리 조성과 혼합 조건 최적화에 활용하겠습니다.

[설비 구조 이해를 기반으로 한 스케일업 공정 설계 경험]

SK 온 기업과제로 MHP 로부터 전이금속을 침출해 NCM 양극재를 제조하는 연구에서 NaF 를 이용한 Ca-Mg 정제 공정을 담당했습니다. 소량 스케일에서 최적화를 완료한 후 공침 가능한 용액을 확보하기 위해 연구실 내 scale-up 정제를 진행했습니다. 스케일 확대 시 액량 증가와 교반 조건 변화로 시약 분산이 불균일해져 정제 효율이 떨어질 수 있다고 판단했습니다. 그러나 배플과 상하 교반기가 만드는 와류가 오히려 시약 분산을 더 균일하게 만들었고, 소량 스케일에서 Mg 139ppm, Ca 16ppm 이었던 불순물이 scale-up 정제 후 ICP 기준 검출되지 않는 수준까지 낮출 수 있었습니다. 소규모 최적화 조건이 대규모에서 그대로 통하지 않을 수 있으며, 설비 구조 변화가 공정 결과에 직접 영향을 준다는 것을 이 경험으로 체감했습니다. 이 시각을 SSB/LMB 연구장비의 공정 조건을 검토할 때도 설비 구조와 공정 변수의 영향을 함께 고려하겠습니다.

[연구 설계부터 열화 메커니즘 규명까지 주도한 데이터 분석 역량]

저는 성능 열화 원인을 분석할 때 변수를 분리하고 각 메커니즘을 독립적으로 추적하는 방식으로 접근합니다. 직접재활용 불순물 연구에서는 Al, C, F 변수 설정과 시료 제조부터 분석 계획 수립, 데이터 해석 및 논문 작성까지 연구 전 과정을 직접 수행했습니다. Al 과 F 는 모두 표면 불순물층 형성을 통해 계면 저항을 증가시키지만, Al 은 불균일한 LiAlO₂ 기반 표면층을, F 는 LiF 층의 Li⁺ 확산 차단을 유발합니다. HRTEM, XPS 로 각 코팅층의 분포와, EIS 로 계면 저항 증가를 정량화해 사이클 열화까지 단계적으로 연결했습니다. 한편 도전재 유래 C 는 고온 소성 과정에서 대부분 소실되어 표면 불순물층이 형성되지 않았고, C 의 잔존 영향이 미미한 조건에서도 성능 저하가 나타나, 이를 단순한 불순물 영향으로 설명하기 어렵다고 판단했습니다. 이에 재생 공정 자체로 시야를 넓혀 열처리 조건과 입자 성장, 전기화학 성능 변화를 다시 연결해 분석한 결과, 열처리로 인한 1 차 입자 성장이 내부 응력 증가와 용량 저하로 이어질 수 있음을 규명했습니다. 계면 저항 기반 열화와 공정 조건에서 유발된 구조적 열화를 분리해 진단한 것이 이 연구의 핵심이었습니다. 불순물 유입, 열처리 조건, 표면층 형성 여부가 계면 저항과 수명 특성에 미치는 영향을 분석한 경험을 SSB/LMB 전극 및 셀 제조 공정에서 품질 변동 원인을 체계적으로 규명하겠습니다.

[장비 구조 이해를 바탕으로 분석 중단 문제를 해결하고 운영 기준을 표준화한 경험]

석사과정 중 약 8개월간 ICP-OES 장비 담당자로서 운영과 유지관리를 맡았으며, 토치 얼라인먼트 중단 문제를 해결하고 대응 절차를 매뉴얼화해 연구실 구성원들과 공유했습니다. 토치와 axial-radial window 를 질산용액으로 세척한 뒤 Zn 2 ppm 표준용액으로 얼라인먼트를 진행하던 중, 절차가 반복적으로 1/4 단계에서 멈추는 문제가 발생했습니다. 해당 단계에서 radial 신호가 충분히 확보되지 않는 것으로 판단해 토치와 axial-radial window 를 재세척했지만 문제가 지속됐습니다. 이에 장비 매뉴얼과 광학계 구조를 검토한 결과, radial window 의 오염뿐 아니라 방출광을 전달하는 fore-optics mirror 의 열화나 오염도 감도 저하와 얼라인먼트 실패를 유발할 수 있음을 확인했습니다. Window 세척 후에도 신호가 회복되지 않은 점을 근거로 내부 미러 상태를 유력한 원인으로 판단했습니다. 그러나 즉시 미러를 정비하기 어려웠고 예정된 분석 일정도 유지해야 했습니다. 이에 신호 감도 저하를 고려해 얼라인먼트용 Zn 농도를 2 ppm 에서 20 ppm 으로 높였고, 그 결과 토치 얼라인먼트를 정상적으로 완료해 예정된 분석을 진행할 수 있었습니다. 이후 동일한 문제가 발생했을 때 신속하게 대응할 수 있도록 오류 발생 단계, 점검 순서, 추정 원인, 임시 대응 방법 및 미러 정비 필요 조건을 정리한 ICP-OES 매뉴얼을 제작해 연구실 구성원들과 공유했습니다. 이 경험을 통해 장비 이상을 단순한 조작 오류로 판단하지 않고 설비 구조와 신호 특성에 근거해 원인을 진단하는 역량을 갖추었으며, 개인의 문제 해결 경험을 조직의 장비 운영 기준으로 전환했습니다.