



발표 시나리오

1페이지



안녕하십니까!

K-cell 불량률 최소화를 위한 TF 팀장 송준희입니다.

현재 불량 급증 문제를 해결하기 위해 모인 전문가들로

이차전지 화성공정 최적화를 통한 불량률 최소화 브리핑 진행하겠습니다.

2페이지



브리핑은 추진배경부터 개선안 및 적용방안까지 진행하겠습니다.

3페이지 [공정 소개]



발표할 내용

K-cell 공장은 파우치형 리튬배터리를 생산하는 공장으로서 저희 분석팀은 공정 중에서 전지의 품질, 수명, 생산 비용에 영향을 미치는 핵심 인자들의 데이터가 수집되는 화성 공정을 집중 분석하였습니다. 화성공정은 크게 5단계로 구성되어 있습니다.

자연방전을 통한 불량선별 단계인 Aging 단계,

배터리를 활성화 시키는 Formation 단계,

전지 품질 평가단계인 IR/OCV 단계,

등급을 부여하고 충전을 시키는 Grading과 Charging 단계,

마지막으로 특성을 측정하는 단계가 있습니다.

화성공정은 열, 연, 단으로 이루어진 설비에서 진행되며, 25개 cell이 1개의 Tray에 담겨

공정과정을 거치고 있습니다.

4페이지 [추진배경]



발표할 내용

현재 리튬배터리 시장은 전기자동차 성장속도의 증가와 함께 빠른 속도로 증가하고 있으며,

향후 수요량은 매우 클 것으로 예상됩니다. 그러나 우리 회사는 갑작스러운 수요량의

급증과 배터리 성능 저하로 인하여 불량이 급증한 상황입니다.

현재의 위기를 극복해야만 동종 업계 회사의 리콜 사태와 같이 대규모 품질 비용 발생을

방지할 수 있어 저희 TF는 현상을 파악하여 개선 기회를 도출했습니다.

5페이지 [현상 및 개선 기회]



발표할 내용

불량률 3.5% 급증에 따른 문제로는 생산성 저하로 인한 납기 지연과 이에 따른 고객사의

불만 증가입니다. TF에서는 불량 cell 발생에 따른 매출액 손실을 품질 기회 비용으로

정의하고, 불량률과 품질기회비용을 측정 지표로 선정하여 25년까지 목표를 달성할 수

있도록 개선안을 도출하고자 합니다.

6페이지 [잠재원인 도출]



발표할 내용

이렇게 도출한 잠재 원인을 중요도와 분석 가능성 측면에서 1점, 3점, 9점 척도로 우선순위를 부여해 다음과 같이 5건을 선정하였습니다.

7페이지 [분석 계획]



발표할 내용

크게 언급하지 말고 가볍게 넘어갈 페이지이다. 불량과 불량률을 여기서 설명하고 가자

저희의 분석의 목표변수는 크게 불량 판정과 불량률로 구분되어있습니다. 불량 판정은

cell의 양품 또는 불량 여부지표이고, 불량률은 tray 내의 불량 cell 개수를 tray 내

전체 cell의 수로 나눈 값입니다. 분석은 해당 목적에 맞추어 진행되었으며, 세부사항은

다음 슬라이드를 통해 전달하겠습니다.

8페이지 [데이터 정제]



발표할 내용

21년 12월 1일부터 17일까지 수집된 45개의 LOT에 대하여 분석을 진행하였습니다.

결측치와 이상치는 다음과 같이 처리하였습니다.

9페이지 [설비 유의차 확인]



발표할 내용

Formation은 충전과 방전이 반복되어 총 7단계로 진행됩니다.

이 때 설비의 열과 단은 변하지 않고 일정합니다.

(가운데 그림)은 Formation 설비 위치에 따른 불량 차이를 Heatmap을 통해 시각화

한 자료입니다. 해당 자료를 보시면 충전 1단계에서의 불량빈도를 나타낸 heatmap이고,

x축이 열, y축이 단, 그리고 오른쪽 하단에 진하게 보이는 부분이 불량률이 높은 부분입니다.

22열의 1단부터 5단까지 불량률이 높은 것으로 확인하였습니다.

또한 공정이 진행되는 Tray단위와, 각각의 cell 단위로 통계적 검정을 실시했습니다.

카이제곱과 ANOVA를 이용했고 p-value가 0.01보다 매우 작아서 설비 위치가 불량에 영향을

미친다는 것을 확인하였습니다.

설비 차이가 발생하는 원인을 구조물 하단의 배기구로 파악하였습니다.

아래 참조문헌의 사진을 보시면 배기구 주변은 유속이 빠른 공기가 외부로 나가기 때문에

다른 곳보다 온도가 낮은 것을 확인할 수 있습니다.

- 개인적으로 넣었으면 하는 것(이현희): 저희는 한 논문을 통해 설비 상의 환기 시스템이 대류에 간섭으로 작용한다는 것을 알게 되었는데요. 특히 배기구 주변 CELL 온도가 낮아진다는 결과를 보고 저희 공정에서도 불량률이 높았던 하단부에, 배기구가 가까이 위치하기 때문에 온도가 낮아진 것이 아닐까 추측했습니다.

10페이지 [핵심인자 도출]



발표할 내용

설비 간 불량 차이가 있음을 확인하였고 이후에는 불량 발생 원인을 분석하였습니다.

불량률이 높은 모서리 위치를 Bad Group으로, 불량률이 낮은 중심부를 Good Group으로

나누고 Formation의 각각의 단계에서 다양한 분류 모델을 통해 영향인자를 확인했습니다.

변수 간에 선형성이 뚜렷하지 않아 Logistice Regression에서는 핵심인자를 파악하기

어려웠고, 결과가 직관적이고 해석이 쉬운 Decision Tree를 이용하여 핵심인자를

선택했습니다. 또한 교차검증을 위해서 cell 단위로도 분석을 했습니다.

TF에서는 두 가지 분석에서 공통적으로 온도와 시간을 중요한 인자로 확인했습니다.

참고문헌을 통해 온도의 감소는 내부 저항을 증가시켜 성능을 감소시키는 것을 확인했고,

너무 높은 온도에서는 전해액이 증발하거나 타기 때문에 불량 Cell이 발생하는 것을

확인했습니다.

시간은 온도에 따라 조절이 가능한 변수이기에 최종 핵심인자로는 온도만을 선정했습니다.

11페이지 [최적 조건 도출]



발표할 내용 : 해당 슬라이드에서 최소 1분 30초 이상 투자해야 한다.

핵심 영향 인자인 온도 최적 조건을 도출하기 위해, Decision Tree로 분석을 진행하였습니다.

상단의 그래프는 Formation의 각 단계마다의 최적온도를 시각화한 자료입니다.

충전 1단계의 경우를 확인하면 최적 온도 조건에서는 불량률이 1.59%로 크게 감소한 것을

확인할 수 있고, 그 이외의 온도에서는 불량률이 급격히 증가함을 확인할 수 있습니다.

또한 대부분의 경우 낮은 온도로 인하여 불량률이 발생하는 것을 확인하여 온도상승이

중요한 조절 요인임을 확인하였습니다.

분석을 통해 도출된 최적 온도를 시뮬레이션을 통해 실제 효과를 입증하였습니다.

DT, RF, GB 들 중 Train data의 정확도가 가장 높았던 DT를 이용하여 기존 온도 조건의

테스트 데이터와 최적 온도 구간의 시뮬레이션 데이터를 학습시켜 불량률을 비교한 결과,

1.76%가 감소한 0.62%로 23년 목표수준에 93% 도달한 수준으로 확인되었습니다.

12페이지 [개선안 도출 - 열선 설치]



분석 결과를 실제 공정에 효과적으로 적용하기 위한 개선안을 제시하고자 합니다.

Formation에서 21열과 22열의 낮은 단에서는 불량률이 높게 나타났습니다.

해당 설비의 온도를 증가시켜 최적 조건 온도 범위에서 조절한다면 불량률을

감소시킬 수 있습니다.

기존의 높은 불량률을 잡지 못한다면 연간 3만6천건의 불량이 발생하게 됩니다.

열선 설치를 통한 불량 개선으로 연간 2만건의 불량 감소 효과를 가져올 수 있습니다.

이를 통해 연간 품질 기회비용을 42%까지 감소시킬 수 있으며, 해당 수치는

23년 목표수준의 65%입니다.

13페이지 [개선안 도출 - 제약 조건하 최적화]



발표내용

공정 조건을 최적의 상태로 유지하더라도 다양한 요인에 의해 최적 상황에서 벗어나는

경우가 발생할 수 있습니다. Formation에서 최적 온도 조건을 거치지 못한 cell은 불량률이

6.51%로 증가하게 됩니다. 이러한 cell을 다음 공정인 Charging에서 온도를 최적화시킨다면

3.11%까지 불량을 개선할 수 있습니다.

해당 개선안은 제약 조건이 발생함에 따라 추가로 설치되는 비용이 없이 추후 공정에서

설비의 재배치를 통해 불량을 감소시키기 때문에 설치비용이 절약되는 장점이 있습니다.

14페이지 [개선안 도출 - 관리도]



발표할 내용

도출한 개선방안의 효과를 확인하고, 추후 공정에서 안정성을 모니터링 하기 위하여 관리도를 제작하였습니다.

충전 1단계에서 개선 전/후 관리도를 비교하면 이상치가 감소한 것을 확인할 수 있습니다.

해당 관리도를 이용하여 앞으로 공정에서 지속적인 모니터링으로 불량 발생하였을 때, 우연히 발생한 것인지, 원인이 있는 문제인지 구분하여 원인을 해결하고 불량을 감소시킬 수 있습니다.

이상원인으로는 작업자 부주의, 불량자재, 생산설비 이상 등이 있습니다.

판정 기준에는 3시그마 영역을 벗어나는 지,

9개의 점이 중심선에 대하여 같은 쪽에 있는 지,

6개의 점이 증가또는 감소, 14개의 점이 교대 증감

연속하는 3개 중 2개가 3시그마 영역 또는 그 이상에 존재

15페이지 [Pilot Test]



개선안을 실제 공정에 적용하기 전 개선 효과를 검증하고자, Pilot Test를 진행할 예정입니다.

금년 11월 21일부터 14일동안, 12월 15일부터 25일까지 총 2회 진행하겠습니다.

5개의 LOT를 대상으로 전체 프로세스

5단계 중, Formation과 Charging단계에 개선 프로세스를 적용하여 시행할 예정입니다.

따라서 해당 Test를 진행하는 공장에서는 개선안에 따라 최적 온도 조건으로 파라미터를 변경할 것을 요청하겠습니다.