

승용차용 2차 전지 화성 공정 최적화를 통한 불량률 개선

23기 C반 2조 POBA

김주보 권태준 신가현 여한솔 차우아



목차

1. POBA 2차 전지 공정과정 소개
2. 추진 배경
3. 현상 파악 / 개선 기회
4. 분석 계획
5. 분석 결과
6. 개선안
7. APPENDIX



1. POBA 2차 전지 공정과정 소개

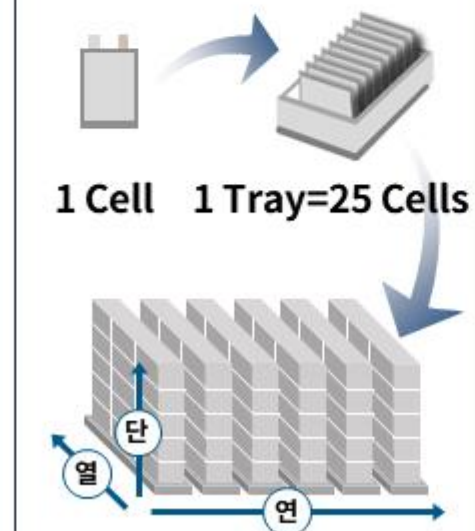
전지 종류

1차 전지	2차 전지
일회성	충전가능
재활용 불가	반복, 장기간 사용 가능
건전지, 알칼리전지	니켈계, 리튬이온 배터리 등

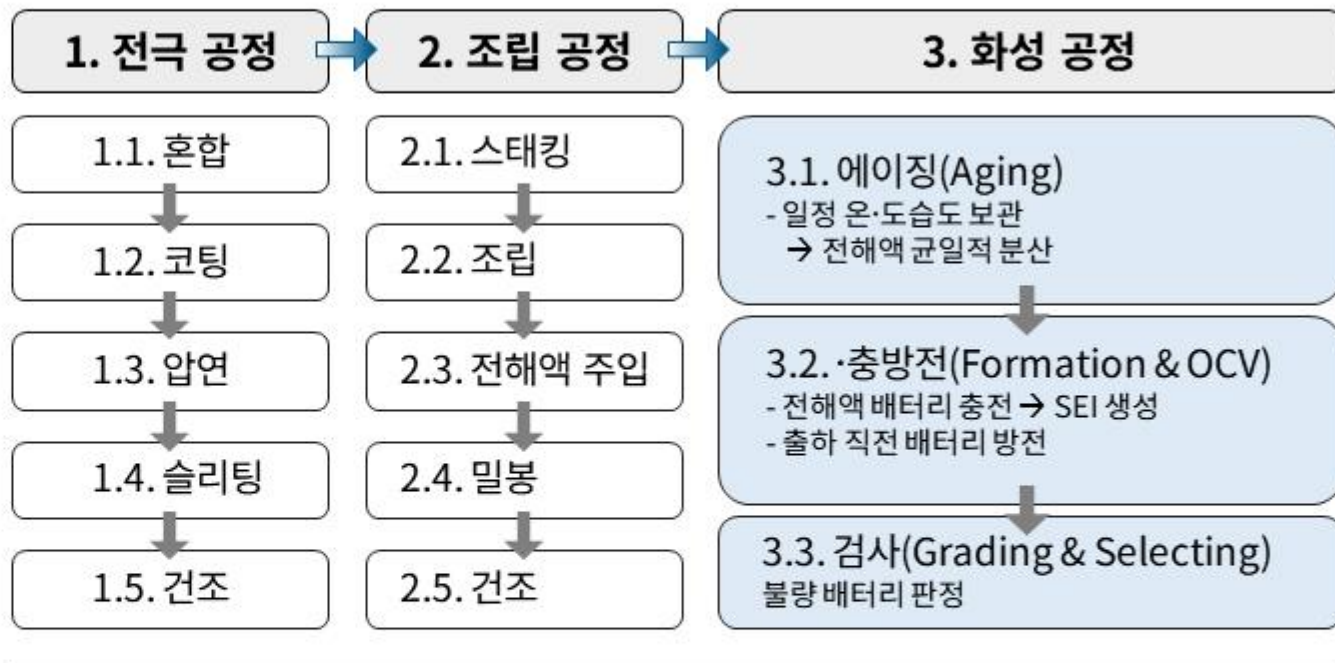
2차 전지 형태



공정 단위/설비 구조



제조 공정



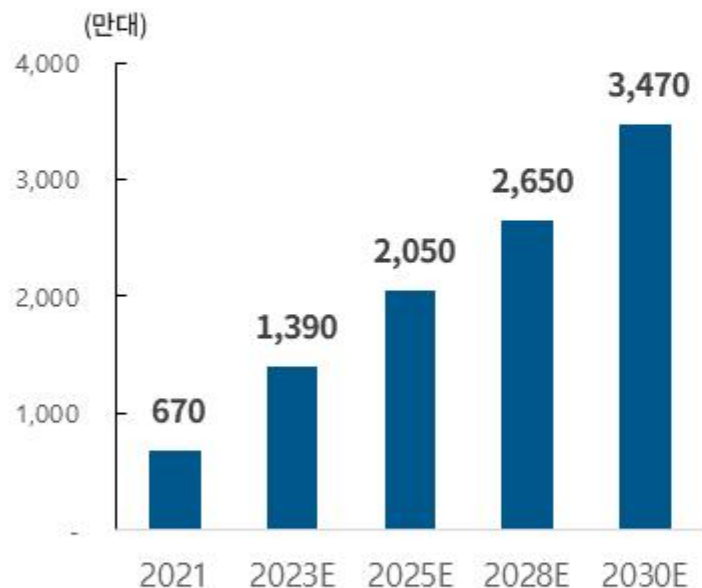
Aging
Formation
IR / OCV
Grading
Selecting

일정 온도·습도에서 일정기간 보관을 통한 배터리 양극 이동 최적화 상태 부여
배터리 충·방전을 통한 전기적 상태 부여
주파수 및 전류에 따른 전기적 특성 측정
품질 등급 부여
불량 판정 및 선별

2. 추진 배경

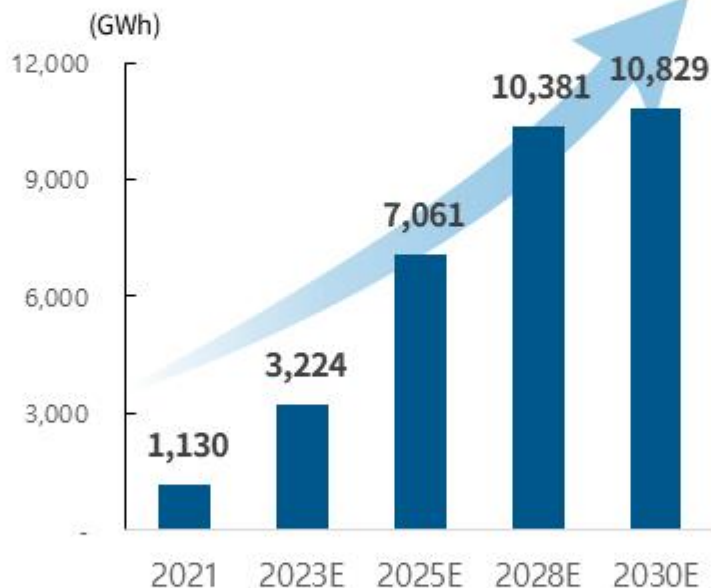
전기차 배터리 시장 규모 증가 추세에 맞춰 2025년 자사 생산량을 540GWh(약 900만대) 확대 예정
 현 수준 불량률(3.12%)이 유지될 경우, 2025년 2021억원 규모의 손실액 추정

글로벌 전기차 시장



자료 : 삼성증권

글로벌 전기차 배터리 시장



자료 : 삼성증권

자사 생산량 · 손실액 규모



자료 : 자사 영업팀

→ 막대한 품질비용 방지를 위한 “불량률 개선” 필요

* Wh(와트시) : 1시간 동안 소비하는 전력량의 단위

* 손실액 = 생산량 x 불량률(3.12%) x 평균판매단가 x 10⁶ kWh

3. 현상 파악 / 개선 기회

· 현상 파악

1. 공정의 설비 유의차 파악 미흡
2. 최적 공정 조건 파악/적용 미흡
3. 통합적 품질 관리 체계 부재

공정 불량품 양산 장기화로 인한 손실액 증가

· 개선 기회

설비 유의차 분석을 통한
관리 및 개선 대상 설비 파악

[S사 설비 분석 시스템]

설비 유의차 분석 결과를 바탕으로 생산 계획 수립, 성능 및 품질 개선에 활용

공정 분석을 통한
최적 공정 조건 도출 및 적용

[S사 품질 오차 분석 시스템]

데이터 분석을 통한 품질 문제 진단으로
공정 조건 최적화, 생산성 향상

불량 판정 ~ 검사 정보 ~ 작업 조건
모니터링을 통한 통합 관리 체계 구축

[S사 통합 관리 시스템]

전공정의 데이터를 전체적인 파악을 통한
품질관리 측면 효율성 향상

개선 목표 : 2025년까지 불량률 1.56% 개선 (현재 3.12%)

4. 분석 계획 - 데이터 수집

“불량 판정 & 불량률”에 영향을 주는 검사 및 공정 정보를 수집하여 데이터 분석 진행

공정 과정	데이터명	속성	수집방법	담당자	수집가능성	주요특성
Aging	Aging 온도	연속형	Sensor	신가현	○	자동측정
	Aging 습도	연속형	Sensor	장연수	○	자동측정
	Aging 시간	연속형	MES	허삼범	○	자동측정
	작업 설비(열, 연, 단)	범주형	Tray	김주보	○	자동측정
Formation	·충방전 온도	연속형	Sensor	황달준	○	자동측정
	·충방전 시간	연속형	MES	황달준	○	자동측정
	평균 전압	연속형	Sensor	차우아	○	자동측정
	용량	연속형	MES	차우아	○	자동측정
	작업 설비(열, 단)	범주형	Tray	김주보	○	자동측정
OCV	절연저항	연속형	Sensor	여한솔	○	자동측정
	전압	연속형	Sensor	여한솔	○	자동측정
	공정 시간	연속형	MES	허삼범	○	자동측정
Selecting / Grading	공정 시간	연속형	MES	허삼범	○	자동측정

* MES(Manufacturing Execution System) : 생산 관리 시스템. 기업의 생산 현장에서 작업 일정, 작업 지시, 품질 관리, 작업 실적 집계 등 제반 활동을 지원하기 위한 관리 시스템

4. 분석 계획

목적	분석내용	분석방법
1. 변수 분포 파악	데이터 분포 및 결측치, 이상치 확인	<ul style="list-style-type: none"> Box plot Bar Graph Histogram
2. 설비 유의차 분석	설비별 불량 판정/불량률에 대한 유의차 검정 (불량률:Tray 기준 불량률 산출) 유의미한 설비 도출	<ul style="list-style-type: none"> Chi Square (Cell 불량판정) ANOVA (불량률) Decision Tree (Cell 불량판정, 불량률) Heatmap(상관성 검정)
3. 불량 영향 인자 분석	공정 설비 조건에 대한 불량 판정 영향 인자 도출	<ul style="list-style-type: none"> T-test Decision Tree Random Forest Gradient Boost XGBoost
	불량 판정에 대한 주요 영향 조건 도출	<ul style="list-style-type: none"> Decision Tree Random Forest Histogram
	공정별 측정값에 대한 공정 조건	<ul style="list-style-type: none"> Decision Tree Random Forest
4. 불량 예측	선정된 영향인자를 활용한 다양한 불량 예측 모델 개발 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> Decision Tree Random Forest Gradient Boost XGBoost

5. 분석 결과 - 데이터 요약

데이터 정보



공정, 설비 데이터
row : 44078 entries
column : 113 entries

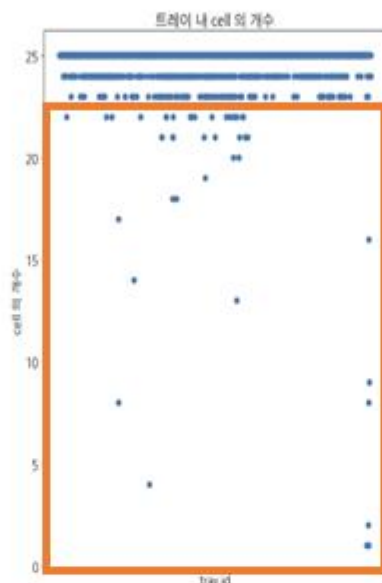


작업 시간 데이터
row : 44078 entries
column : 25 entries



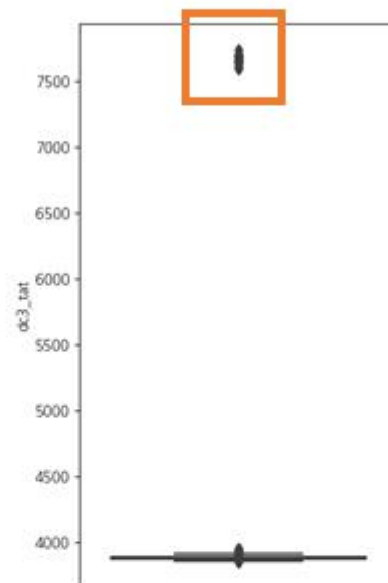
Inner Join 데이터
row : 44078 entries
column : 137 entries

분석 대상 설정



Tray 내 셀의 개수 22 이하

이상값 처리



3sigma 이상, 과도한 이산 데이터

결측값 처리

```
socv2_ocv      27
sa3_box_col    27
sa3_box_row    27
sa3_box_dan    27
socv3_ocv      27
ocv2_deltaocv 27
ocv1_deltaocv 27
m1_thick       97
m1_voltage     97
m1_res_ac      97
m1_mv          97
m1_voltage_an  97
sa4_box_row    27
sa4_box_col    27
sa4_box_dan    27
sa2_tat        27
socv2_tat      27
sa3_tat        27
socv3_tat      27
sa4_tat        27
```

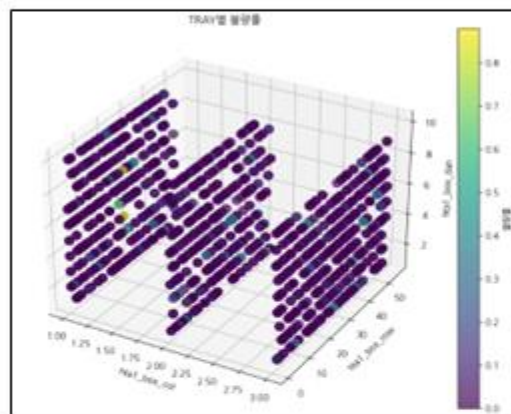
결측치 행이 총 100 개 미만

구분	행 x 열	수집 기간	변수	Cells in Tray(< 23)	이상치	결측치
공정, 설비	44,078 x 113	22.10.01 ~ 22.10.19	공정 : 온도, 전류, 전압 등 설비 : 열, 연, 단 등	1635 행 제거	1093 행 제거	97 행 제거
작업 시간	44,078 x 25		공정별 작업시간			

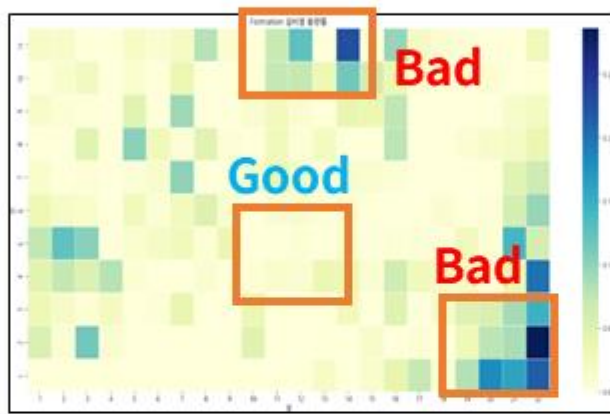
5. 분석 결과 - 유의성 검정1

공정과정별 설비위치 구분에 따른 불량률

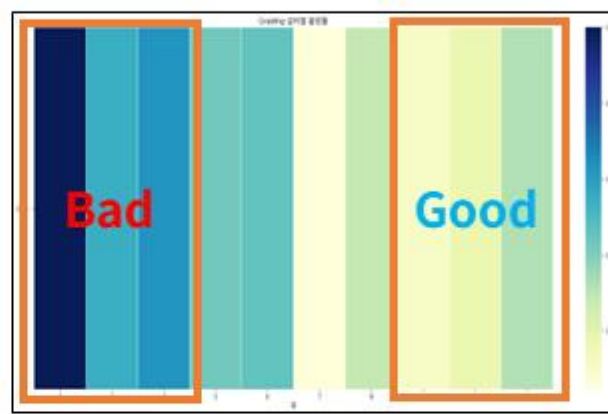
Aging



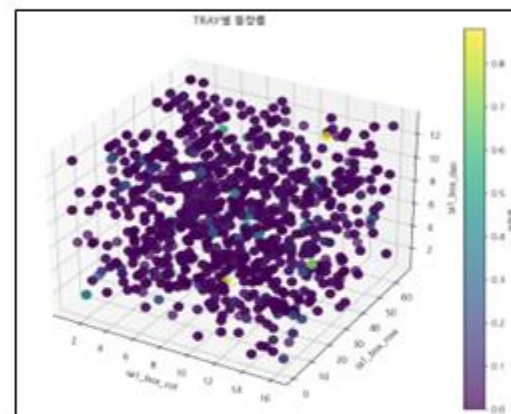
Formation / OCV



Grading



출하 Aging



가설 1) 설비 위치에 따라 불량률 차이는 있다.

[검정결과 - 유의함]

설비 위치별 불량률 차이가 있다고 할 수 있다.

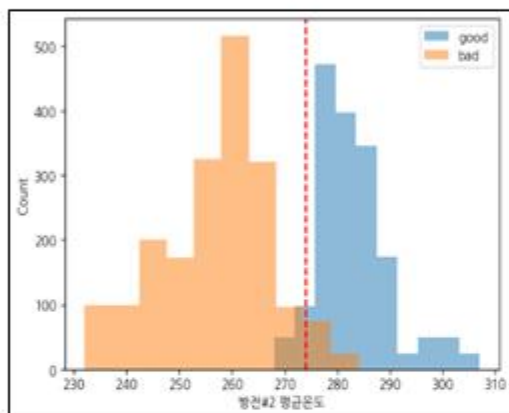
Good vs Bad 간 설비, 공정 조건 유의차 분석

구분	검정방법	변수	검정 결과
가설 1	ANOVA	[Aging, Formation, Grading, 출하 Aging] 공정과정 열, 연, 단 간의 불량률 차이 검정	Aging, 출하 Aging : 유의하지 않음 Formation, Grading : 유의함
가설 2	카이제곱 검정	[Formation] 총·방전 1~4 단계 평균온도 [Grading] PowerGrading 평균온도	Formation 온도 : 유의함 Grading 온도 : 유의함

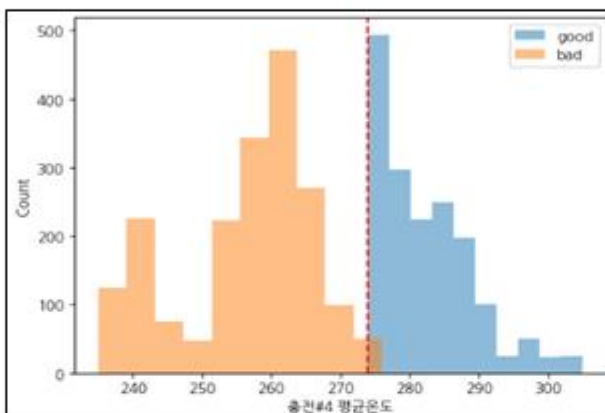
5. 분석 결과 - 유의성 검정2

공정과정별 온도 구분에 따른 불량판정

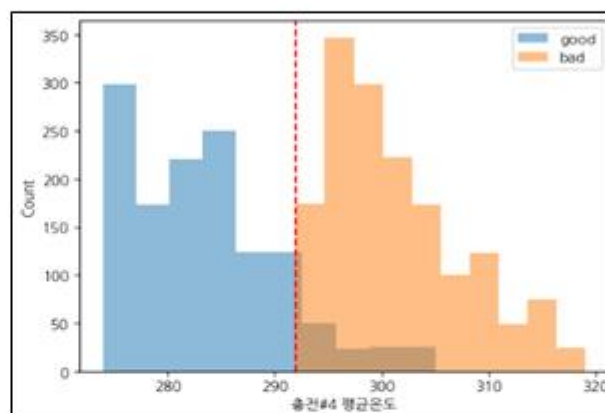
Formation 설비 하단_방전



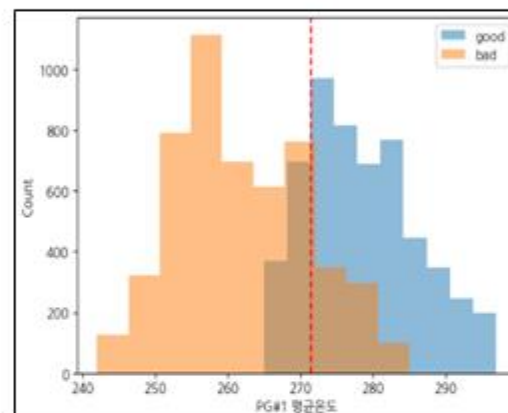
Formation 설비 하단_충전



Formation 설비 상단_충전



Grading 설비 좌측_PG

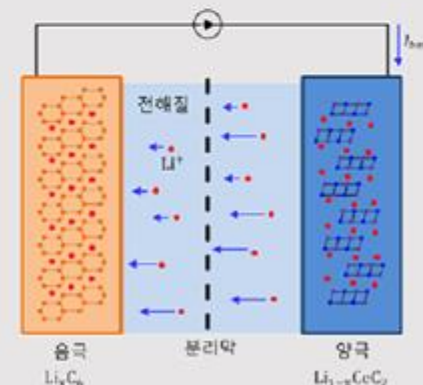


가설 2) 공정 온도에 따라 불량 판정 차이는 있다.

[검정결과 - 유의함]
온도 구분별 불량 판정 차이가 있다고 할 수 있다.

온도가 낮을 수록 배터리 내 화학종의 이동에 따른 반응률이 낮아져(화학반응속도) 전지용량이 감소해 (배터리에 충전되는 E양 감소) 배터리 성능이 저하된다.

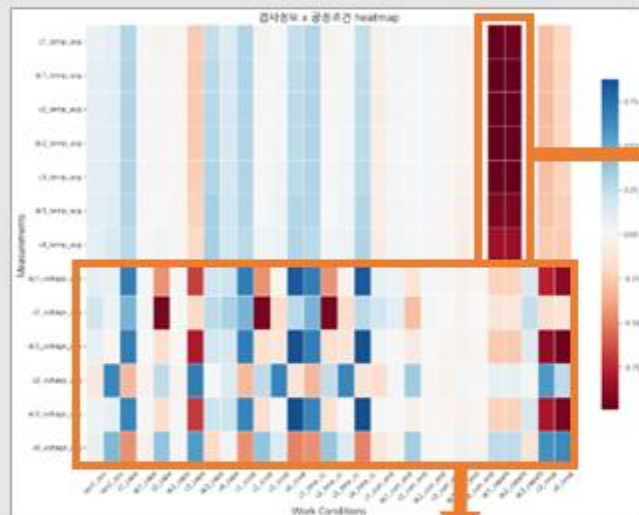
참고 : 장경민, 김광선. 2017. "급격한 온도 변화에 따른 리튬 이온 배터리의 전해질 내 염 농도 분포 특성." 반도체디스플레이기술학회지 제16권, 제1호. 2017년 3월.



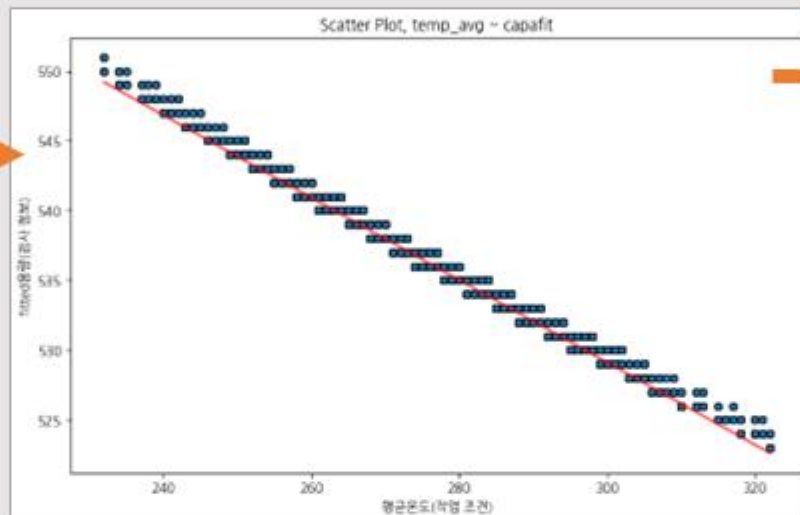
5. 분석 결과 - 공정조건 ~ 검사정보 관계성

공정조건 ~ 검사정보 ~ 불량판정의 관계성

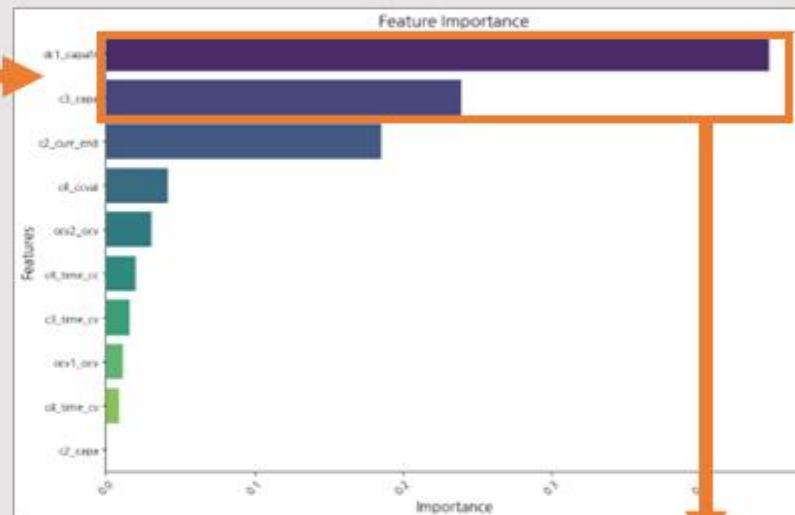
공정조건 ~ 검사정보



온도 & 적합용량 상관관계



검사정보 불량판정 영향인자



공정조건 & 검사조건 상관분석 결과

- 전압 & 일부 검사정보 강한 상관관계 도출

불량판정 분석결과

- 상관관계가 높은 검사정보가 낮은 영향인자로 도출

결론

- 전압 & 일부 검사정보는 상관관계가 존재함
- 그러나 불량판정에 유의미한 검사정보가 도출되지 않음

공정조건 & 검사조건 상관분석 결과

- 온도 & 적합용량이 음의 강한 상관관계로 도출
- 온도 상승에 따라 적합용량이 감소하는 경향을 의미

불량판정 분석결과

- 검사정보인 적합용량이 높은 영향인자로 도출
- 적합용량이 불량판정에 중요한 변수로 도출된 것은 공정조건 온도의 영향

결론

- 온도 상승에 따라 적합용량이 감소하고 이에 불량판정이 증가
- 적합용량을 최적화하기 위한 온도 조건 설정의 필요성, 온도 조절 시스템 개선 필요

공정조건
(온도)



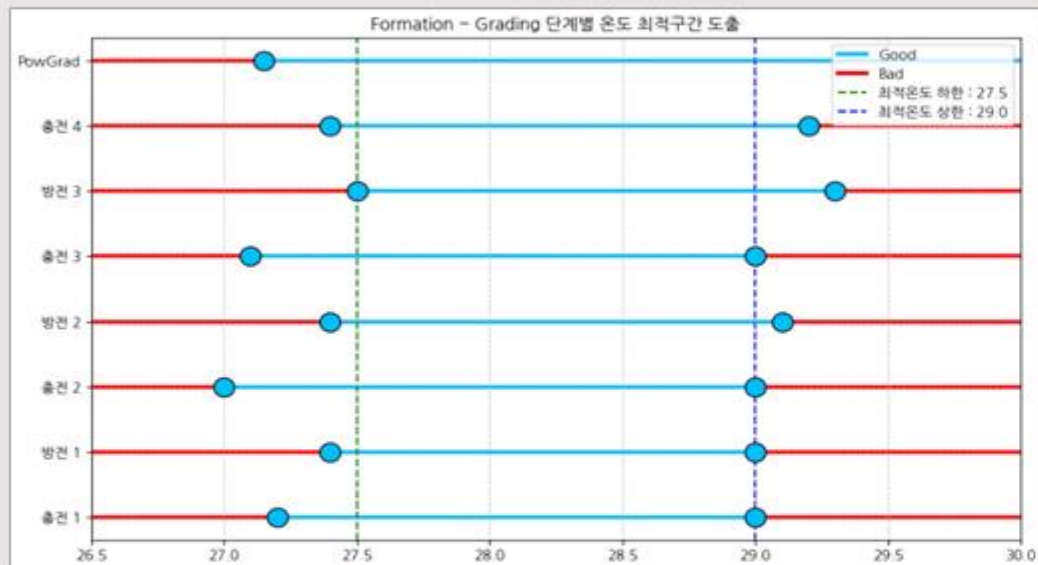
검사정보
(적합용량)

불량판정

5. 분석 결과 - 공정조건 최적화

각 단계별 공정조건 최적화

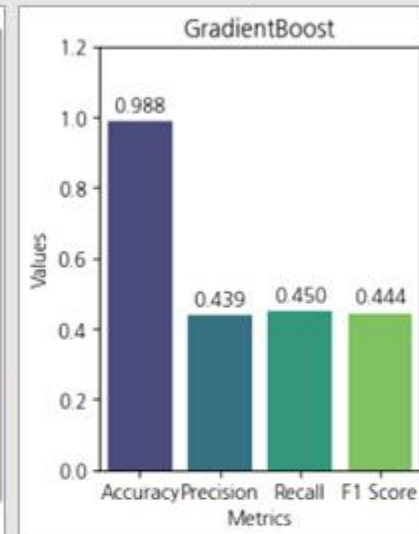
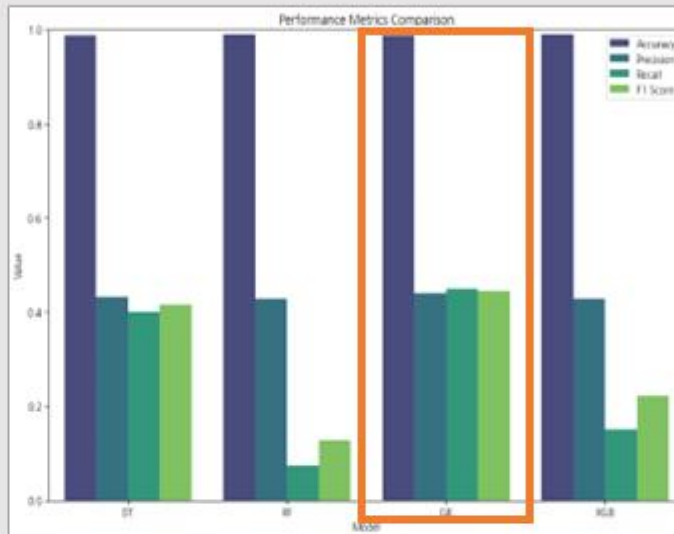
Formation ~ Grading 최적 온도 도출



단계별 최적 온도를 적용한 불량률 시뮬레이션 결과

구분	불량 cell	전체 개수	불량률
Bad 구간	1078 개	24271 개	4.44%
개선 전	1376 개	44078 개	3.12%
Good 구간	154 개	13255 개	1.16%

개선된 공정 불량탐지 모델 성능평가 및 적용계획



GradientBoost

모델성능 비교결과 대부분의 모델 Accuracy 성능이 우수
그 중 DT, GB 는 F1-score, Recall 성능 또한 우수

고객을 대상으로 2차전지의 품질 또한 중요시하는 현 프로젝트에서
FalseNegative 오분류율이 낮은 GB 를 최종 모델 선정

Data pipeline 을 구축, pilot test 를 통해 데이터 검증
추후 API 개발, 서버 배포 및 모델 모니터링과 정기적 업데이트 계획

6. 개선안 및 적용방안

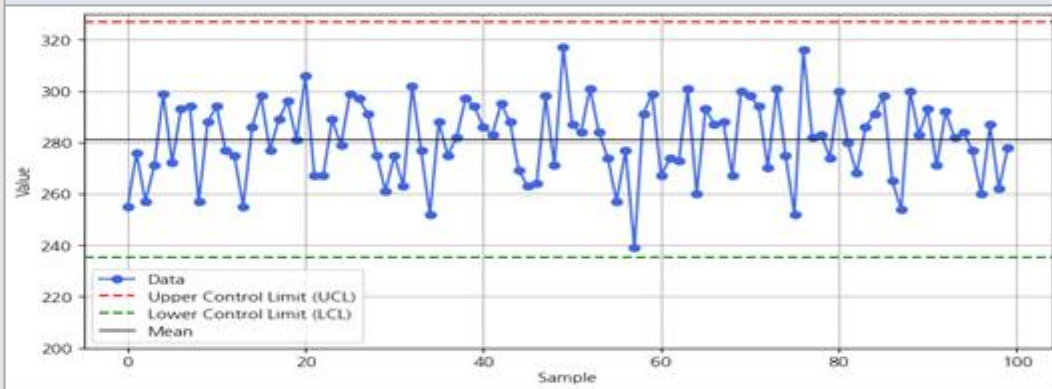
Pilot Test 계획

구분	내용
목적	<ul style="list-style-type: none">최적 온도에 대한 실제 적용을 통한 개선 결과 검증확대 적용 비용 예측 및 추가 적용
Pilot Test 적용 개요	<ul style="list-style-type: none">적용 대상 : Formation 공정 충/방전 설비적용 대상 : Grading 공정 PowerGrading 설비적용 프로세스 : 공정 작업 조건 중 최적 온도적용 일정: 3개월간 매월 1일부터 일주일간 실시<ul style="list-style-type: none">- 2023년 07월 01일 ~ 2023년 07월 07일- 2023년 08월 01일 ~ 2023년 08월 07일- 2023년 09월 01일 ~ 2023년 09월 07일검증 도구 : ANOVA, Chi-square, 관리도
요청 사항	<ul style="list-style-type: none">공장 대표 : 공정 설비에 개선안 적용 협조 요청공정 엔지니어 : 개선안으로의 공정 파라미터 조정 및 모니터링 협조 요청시스템 파트: 7월, 8월, 9월 개선안 적용 cell에 대한 양품/불량품 데이터 수집

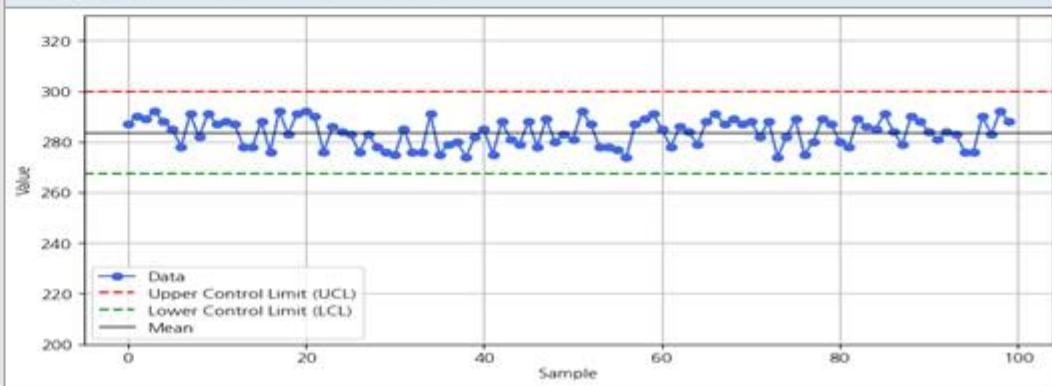
공정 모니터링 및 관리계획

- 주요 공정 설비 조건은 지속적으로 관리가 필요
- 관리도를 통해 3시그마 범위로 관리

개선 전 3sigma 온도 관리도



개선 후 3sigma 온도 관리도



6. 개선안 및 적용방안

데이터 분석 결과를 바탕으로 불량률을 낮추기 위한 개선안을 도출함

설비 내 온도 편차 해소

AS - IS

설비 내 위치에 따라 온도 편차 발생

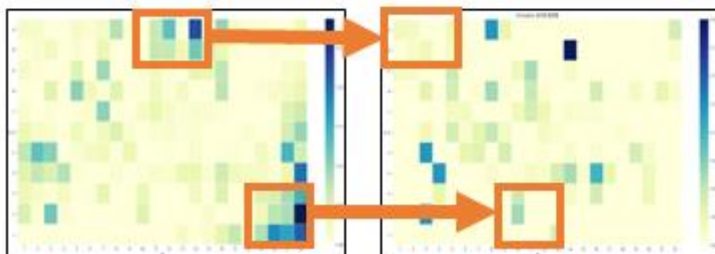


TO - BE

복수 공정 활용(작업 Box 위치이동)
설비 단계를 이분화하여 온도 편차 개선

충전 1-1

충전 1-2



최적화된 공정 온도 적용

AS - IS

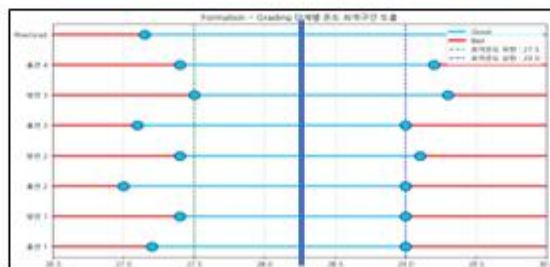
공정 단계별 최적 온도 파악 & 적용 미흡



TO - BE

최적 온도 공정 적용
공정단계별 불량률 개선

최적 온도 : 28.25



통합적 품질관리체계 구축

AS - IS

단일 공정 중심 관리체계
전 공정과 후 공정의 연계 미흡



TO - BE

전 공정의 검사정보, 불량 예측정보 기반
후 공정의 공정조건 조정

충전 1



충전 2

특정 설비 위치
적합 용량 높음
→
불량 발생 확률 ↑

해당 설비 위치
적용 온도 상향
→
불량 발생 확률 ↓

Q & A



APPENDIX



Appendix - Pottery Business Model



주요 자원

고급 제조 기술과 생산 인프라

전문가 및 연구자들

공정 정보 빅데이터

핵심 가치

**고객사 품질 요구를
충족하는 제품**

자동화된 생산 시스템과
데이터 분석을 활용한
엄격하고 지속적인 품질 관리

주요 활동

새로운 2차 전지 기술 개발 및
기존 기술 개선을 위한 연구 활동

고급 재료 및 기술을 사용한
2차 전지 대량 생산

생산과정 품질 관리 및
제품 품질 보장

참고. 잠재 원인 도출 - SIPOC

SIPOC을 이용하여 Target 변수에 영향을 주는 원인변수(Process 및 Input Indicator)를 도출함

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
<ul style="list-style-type: none">- 조립공정- 금속 및 화학물질 공급자- 제조장비 및 시스템 공급자	<ul style="list-style-type: none">- 셀- 설비- 작업기준- 작업자	<ul style="list-style-type: none">화성 공정- 에이징- 검사 (IR/OCV)- Selecting, Grading	<ul style="list-style-type: none">- 2차 전지 cell- 2차 전지 등급- 양/불 판정	<ul style="list-style-type: none">- OEM 제조업체- 전지 팩 제조업체- 이해관계자 및 규제기관- 인증기관
Input Indicator		Process Indicator		Output indicator
<ul style="list-style-type: none">- 셀 개수- 에너지소비량- 에이징 설비 효율		<div>에이징</div> <ul style="list-style-type: none">- 온도 제어- 습도 제어- SEI 두께, 균일도- 시간	<div>충·방전</div> <ul style="list-style-type: none">- 종료 전압- 효율- 내부 저항- 사이클 수명- 용량 <div>검사</div> <ul style="list-style-type: none">- 전류- 전압- 주파수	<div>불량판정</div> <div>불량률</div>

참고. 잠재 원인 도출 - 잠재 원인 우선 순위화

불량률에 영향을 미치는 잠재원인을 중요도와 분석가능성 측면에서 우선순위화하여 잠재원인 5건 선정함

공정 과정	잠재원인	선정	중요도	분석가능성	합계
에이징	온도	0	9	9	18
	습도		3	9	12
	시간	0	9	9	18
충·방전	·충방전 온도	0	9	9	18
	·충방전 시간		3	3	6
	내부저항	0	9	9	18
	용량		1	9	10
검사	절연저항		3	9	12
	전압	0	9	9	18
	주파수		1	9	10

[9점 척도 : 1(약), 3(중), 9(강)]

참고. 조사 내용

불량률에 영향을 미치는 잠재원인을 분석하기 위해 조사가 필요한 자료 검토

잠재원인	조사대상	자료출처
설비 유의차 대응 부족	설비에 적재되는 Tray의 위치별 불량률 (열,연,단)	MES
	공정 설비별 핵심 영향 인자	MES
공정 조건 최적화 미흡	공정별 작업 데이터	MES
	변수 간 상관 관계	MES
통합적 관리 시스템 부재	전후 공정 간 데이터 흐름	MES
	전후 공정 간 정보 전달 방식	MES

* MES(Manufacturing Execution System) : 생산 관리 시스템. 기업의 생산 현장에서 작업 일정, 작업 지시, 품질 관리, 작업 실적 집계 등 제반 활동을 지원하기 위한 관리 시스템