



전기자동차용 2차 전지 제조공정 최적화를 통한 품질개선 및 수익성 증대

양진미

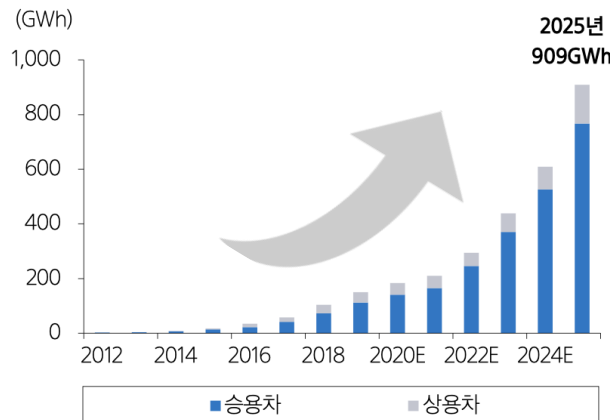
목차

1. 추진 배경
2. 현상 및 개선 기회
3. 분석 계획
4. 분석 결과
5. 개선안 및 적용방안
6. Learned Lessons
7. Appendix

1. 추진 배경

전기 자동차 수요 증가에 따른 2차 전지의 안정적 공급 필요
최근 증가한 자사 2차 전지 불량률 개선을 통해 고객 신뢰도 회복과 수익 향상

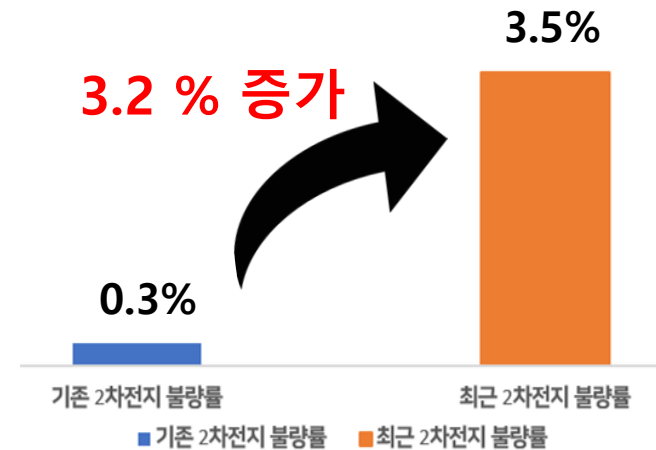
EV배터리 시장 전망



자료: 삼성증권 추정

전기 자동차 시장이 각광 받으면서 **2차 전지 수요 급증**

K케미컬 2차전지 불량률

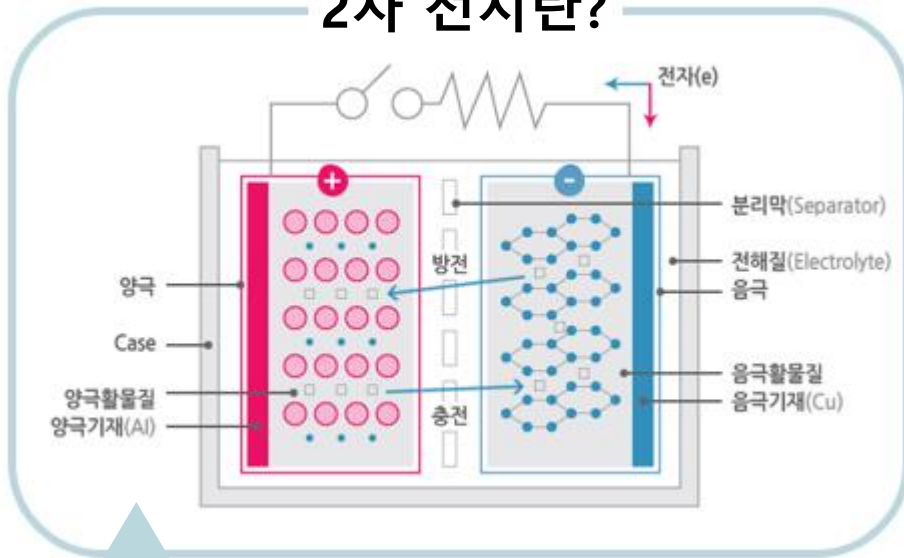


최근 자사의 2차 전지 불량률 **3.5%로 급증**

최적의 공정 조건 도출 및 적용으로 **불량률 최소화**
→ 고품질 2차 전지 생산 및 공급으로 자사의 신뢰도와 수익 향상

2. 현상 및 개선 기회

2차 전지란?



- 양극재

금속 양이온을 포함하고 있는 활물질, 배터리의 용량과 전압을 결정

- 음극재

전자를 도선으로 내보내는 역할

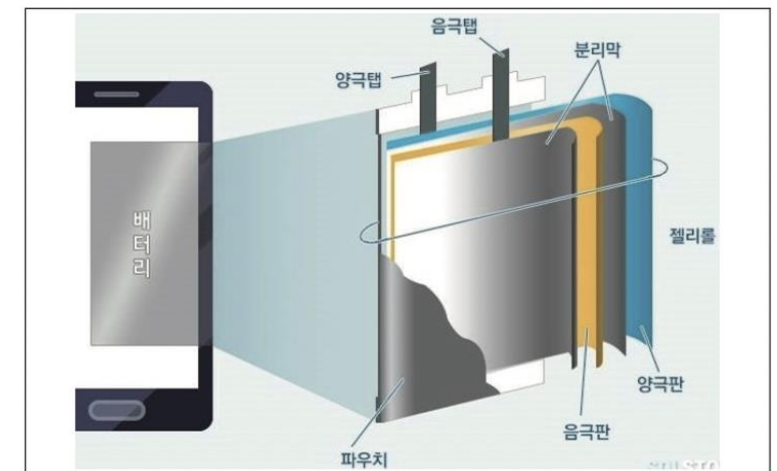
- 전해액

이온전도도가 높은 물질로, 양극과 음극 사이를 이온만 이동하게 하는 매개체

- 분리막

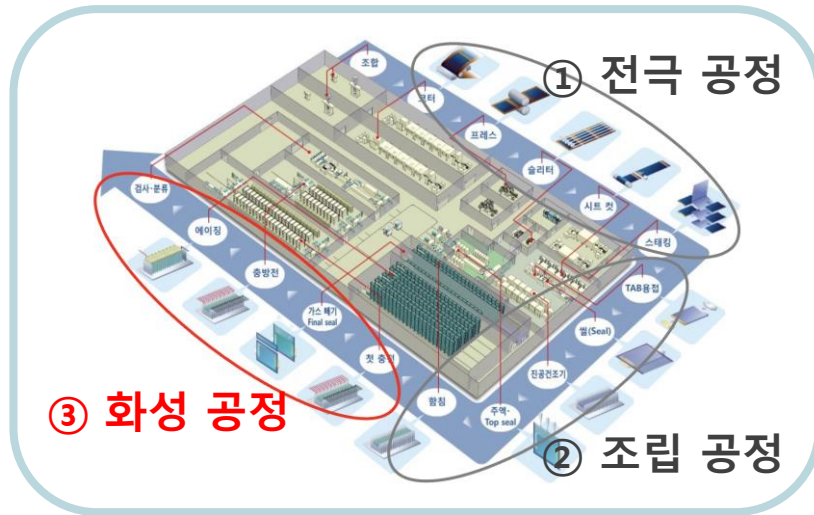
양극과 음극이 섞이지 않도록 물리적으로 막는 역할

파우치형 2차 전지

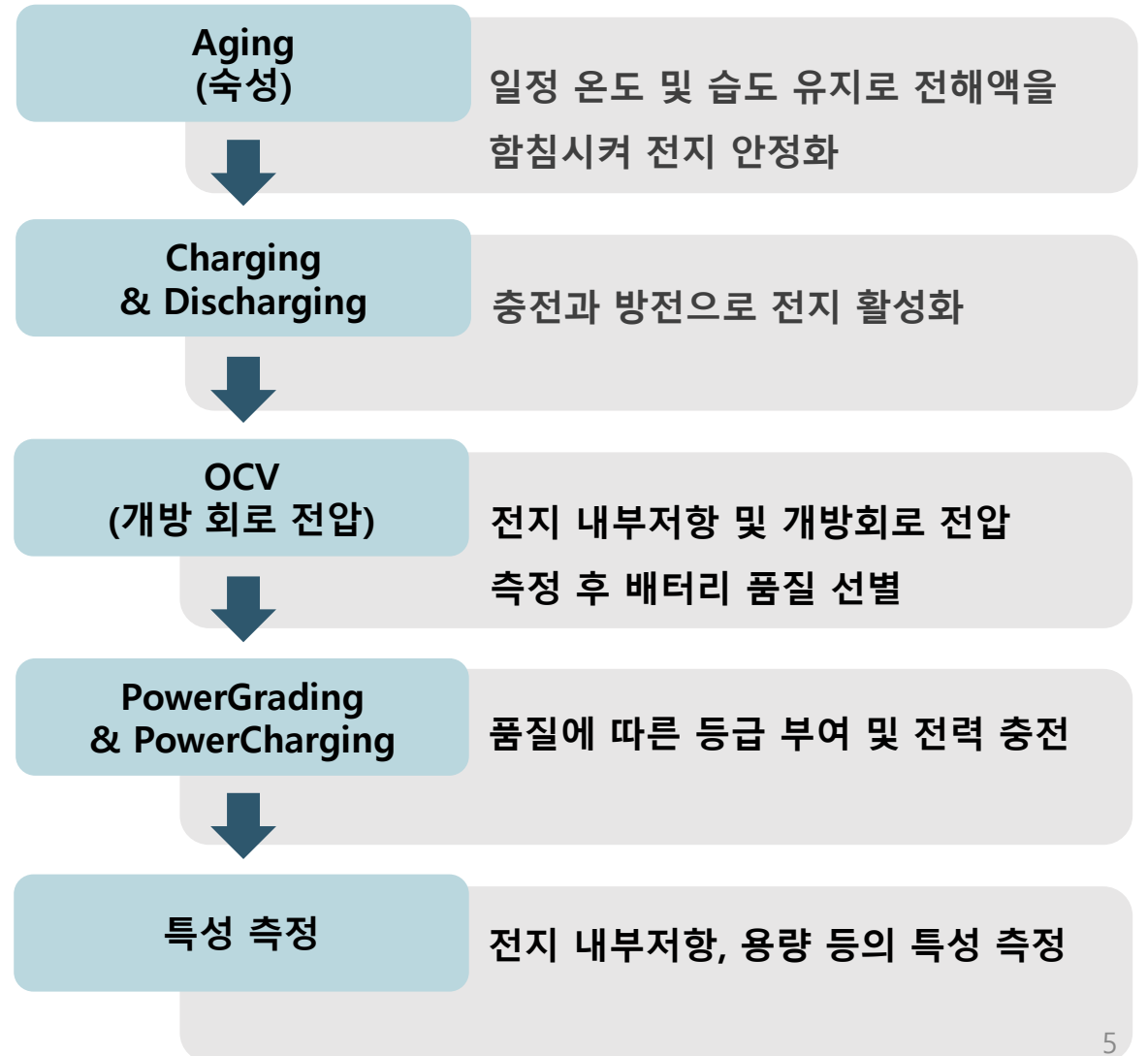


2. 현상 및 개선 기회

- 2차 전지 제조공정

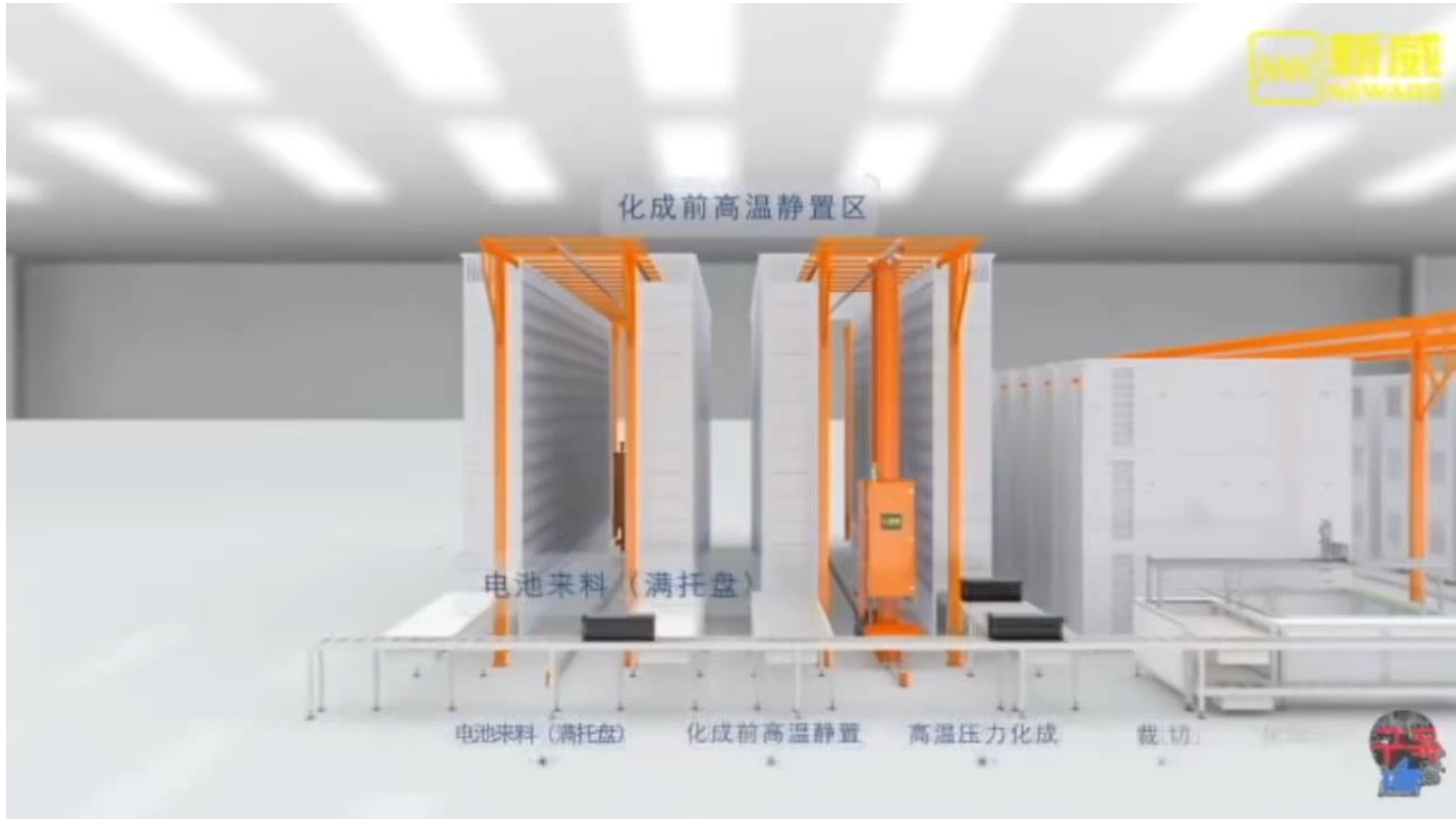


- 화성공정



2. 현상 및 개선 기회

- 화성공정



2. 현상 및 개선 기회

- 제약 조건 하 최적의 공정 조건 도출 후, 불량률 0.01% 까지 개선

KPI : 불량률

현 수준
불량률 3.5%

2021년 6월 기준



1차 목표
불량률 0.3%

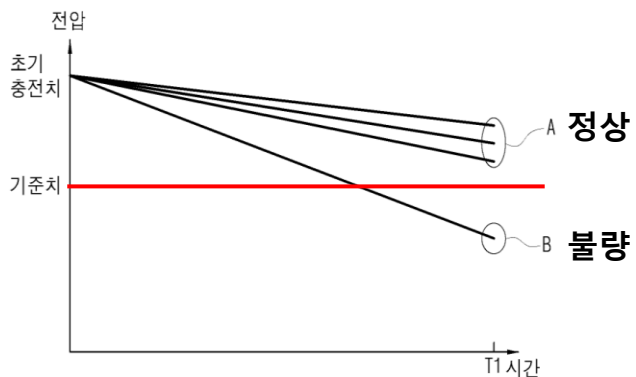
2021년 하반기



2차 목표
불량률 0.01%

2023년 하반기

불량 판단기준



기준치 이하 → **불량**

현상	개선 방향	최종목표
공정 설비간 (열, 연, 단) 유의차로 인한 불량	제약 조건 하 공정 최적화	제약 조건 하 최적의 공정 조건 적용 ↓ 불량률 0.01%
공정 작업 조건(온도, 전압, 전류) 으로 인한 불량	최적의 공정 조건 도출	
작업시간 지연/단축으로 인한 불량	최적의 작업시간 유지	

3. 분석 계획

- 데이터 분석 목적 및 방법

목적	분석 방법	분석 내용
불량률에 영향을 미치는 공정 변수 도출 및 특성 파악	Bar Plot	열, 연, 단에 따른 불량률 차이 확인
	카이제곱 검정	공정 변수간 불량률 차이 검정 및 가장 영향이 큰 공정 단계 확인
	Histogram	유의차가 확인된 공정 변수와 불량률간 상관관계 확인
	ANOVA 검정	불량률 차이가 나는 열, 연, 단 사이의 특성(온도, 전압, 공정 시간 등) 차이 확인
	Decision Tree	공정 변수의 중요도 확인 후 Vital Few 도출
불량 예측 모델 개발 및 도출한 최적 공정 조건 확인	Decision Tree	도출한 핵심인자를 기반으로 Hyper Parameter 조정 후 예측 모델 개발
	Random Forest	
	Gradient Boosting	
	LightGBM	

3. 분석 계획

- 데이터 정제

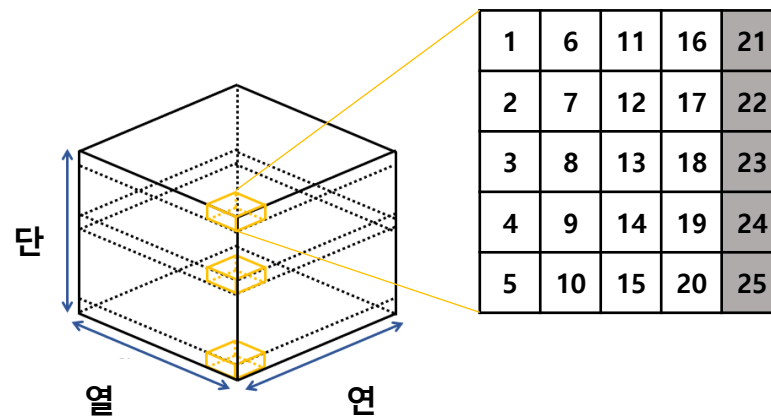
- ① Null 제거

- ② 미입력값('.') 제거

- 공정 과정 중 불량으로 판정된 이후 과정 데이터 값 : '.' 제거

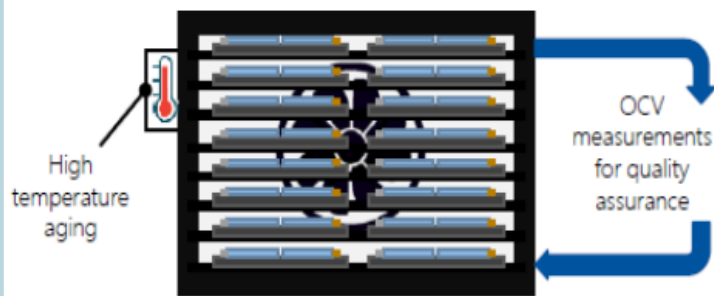
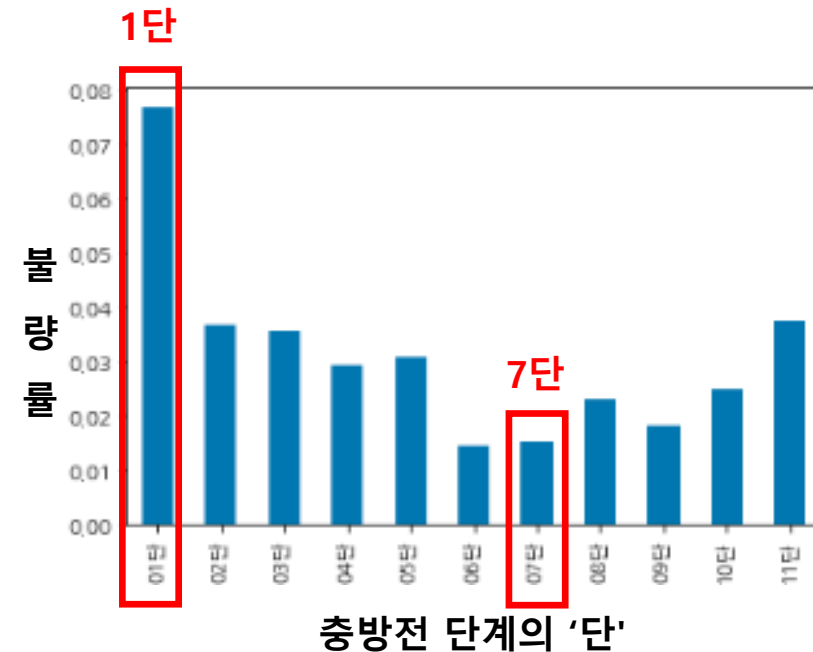
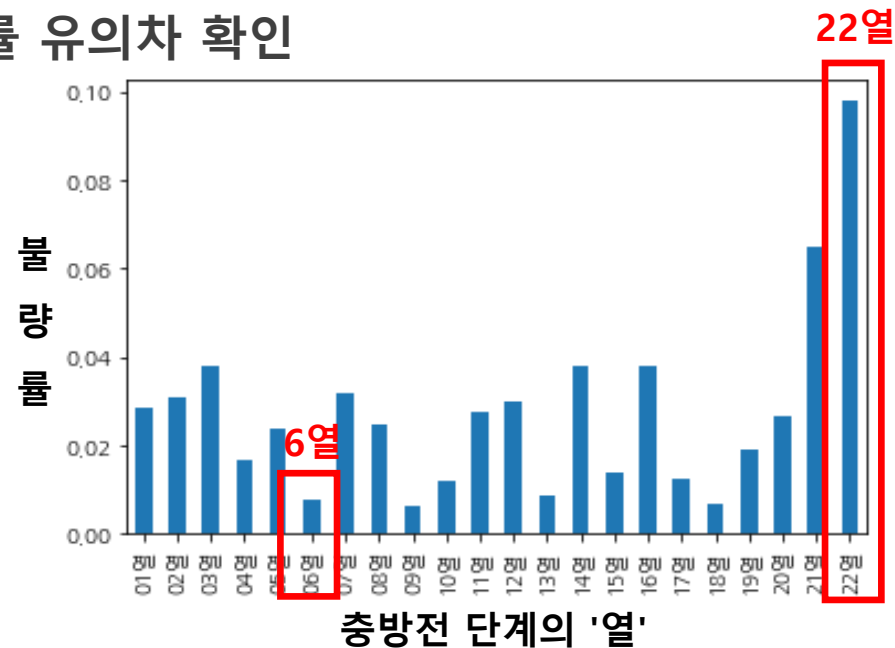
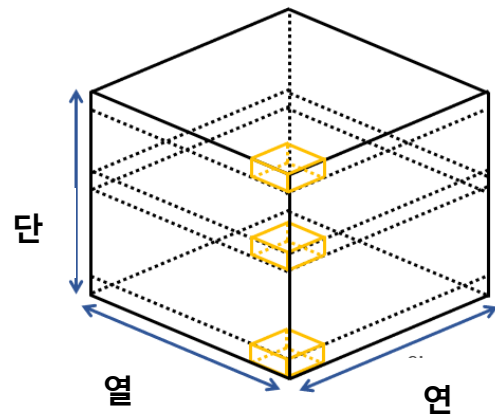
- ③ 셀의 개수 20개 미만 TRAY 데이터 제거

- 셀의 개수 20개 미만인 TRAY는 25개의 셀이 존재하는 TRAY와 달리 비어 있는 공간으로 셀당 열전달량이 달라져 공정 조건이 다름 → 전체 데이터의 0.2%이므로 제거



4. 분석 결과

- 공정 설비 간의 불량률 유의차 확인



설비공정 '열'별 불량률 차이 有

22열 : 9.99% → **6열** : 0.82%

설비공정 '단'별 불량률 차이 有

1단 : 7.86% → **7단** : 1.67%

화성 공정의 Heating System 특성상, 끝 '열'과 '단'에서는 열 공급이 부족하여 전해액이 제대로 안정화되지 않고, 그로 인해 **불량률 상승**

참고 - "도출한 VF(온도, 전류, 전압) 가 실제로 공정 불량에 영향 미치는지에 대한 논문"

4. 분석 결과

- 공정 설비 간의 불량률 유의차 확인

공정 설비의 '열'과 '단' 사이의
차이 검정

설비간 **공정변수** 유의차 확인

H_0 : 설비(열/단)간에 불량률에 차이가 없다.
"카이제곱 검정"

H_0 : 설비(열/단)간 공정변수 평균이 같다.
"ANOVA 검정"

Decision Tree 중요도분석

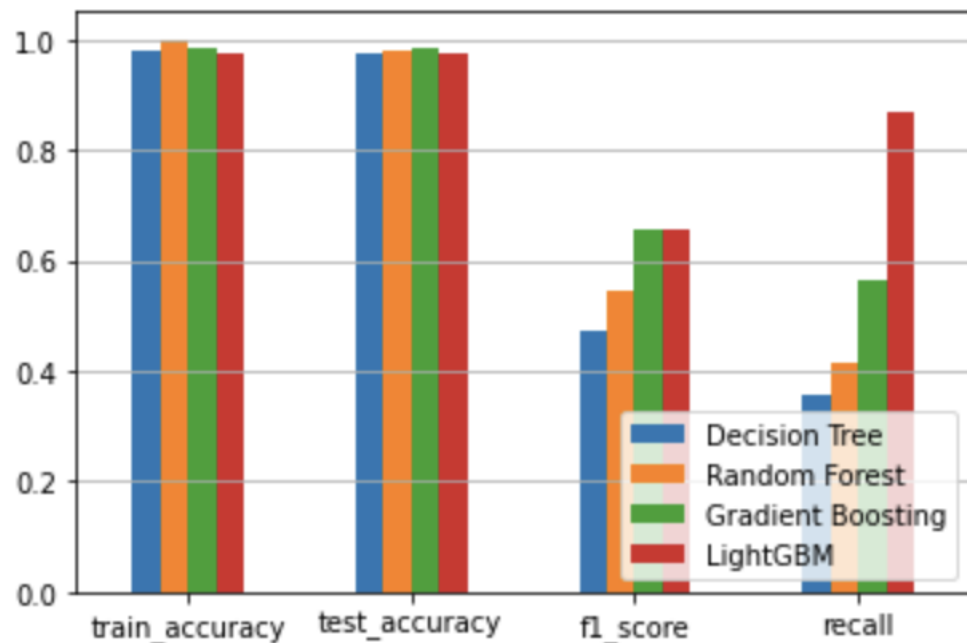
중요도 표	열 (p-value)	단 (p-value)
1	Charging1~4 (0.000-)	Charging1~4 (0.000-)
2	Discharging1~3 (0.000-)	Discharging1~3 (0.000-)
3	출하 Aging 2 (0.000-)	출하 Aging 2 (0.000-)
4	출하 Aging 3 (0.000-)	출하 Aging 2 (0.000-)
5	상온 Aging 1 (0.000-)	고온 Aging 1 (0.000-)

순위	공정변수	중요도
1	Charging3 전압	0.108
2	Discharging2 온도	0.099
3	Charging2 전류	0.097
4	Discharging3 온도	0.091
5	Charging3 온도	0.080

➡ 최종 **Vital Few**
3개 도출

4. 분석 결과

- 최적의 예측 모델 생성



최적의 모델로 "LightGBM" 선정

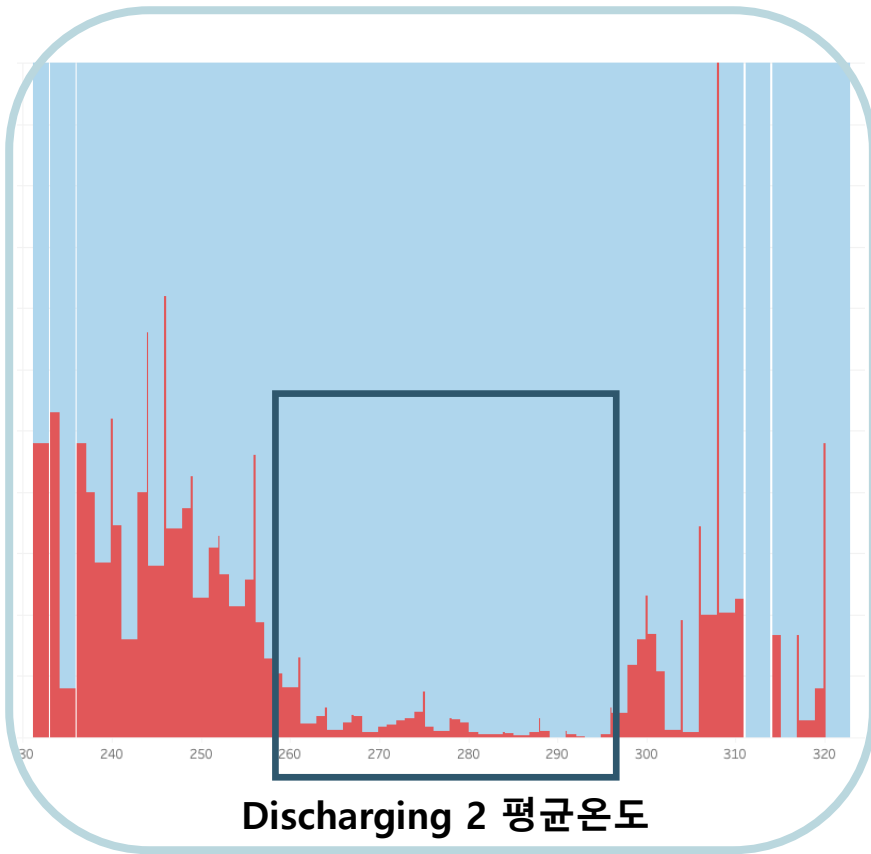
Recall score (불량 예측률) 87.01%
신뢰도 높은 예측 모델 구축

Confusion Matrix		예측	
		불량	정상
실제	불량	335	50
	정상	304	12518

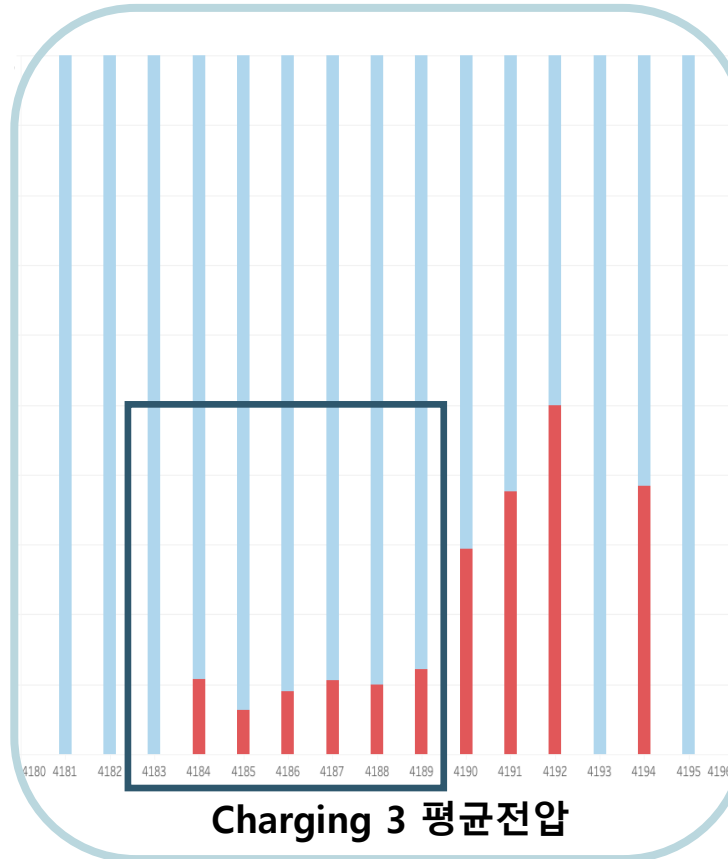
	Train Accuracy	Test Accuracy	F1Score	recall
DecisionTree	0.977	0.977	0.713	0.675
Random Forest	1.000	0.980	0.583	0.423
Grandient Boosting	0.986	0.983	0.656	0.564
LightGBM	0.977	0.973	0.654	0.870

5. 개선안 및 적용방안

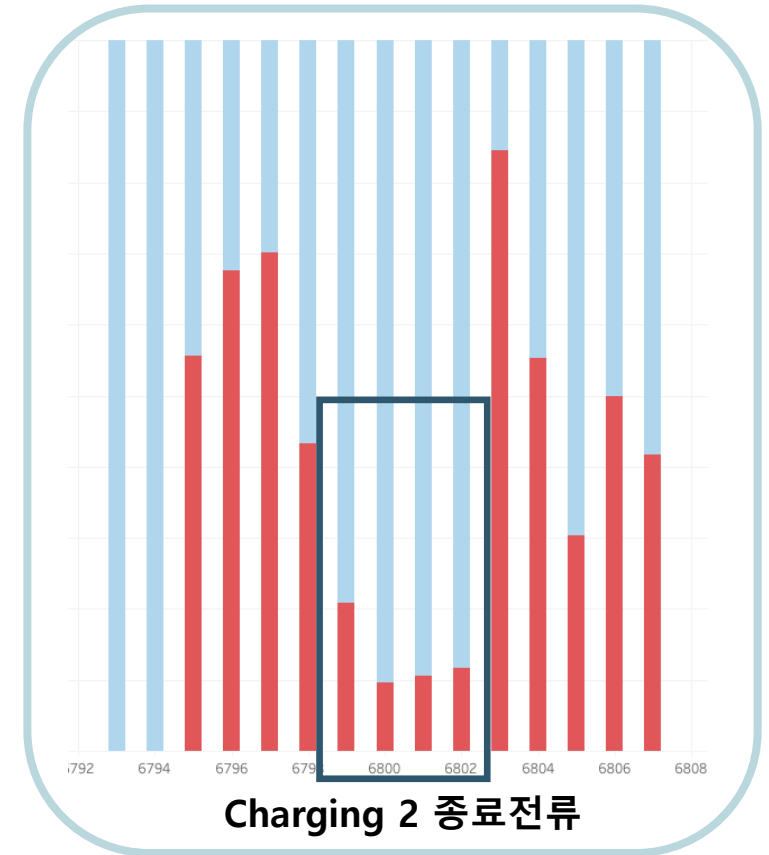
- Vital Few의 최적 조건 도출



최적의 Discharging 평균 온도
262 K ~ 295 K



최적의 Charging 평균 전압
4183 mV ~ 4189 mV



최적의 Charging 종료 전류
6799 mA ~ 6802 mA

5. 개선안 및 적용방안

• 시뮬레이션 결과

불량률 (양품:불량)	
개선 전	3.5% (42841 : 1376)
개선 후 (1차 Simulation)	0.7% (993 : 7)
개선 후 (2차 Simulation)	0.7% (993 : 7)
개선 후 (3차 Simulation)	0.9% (991 : 9)

개선 후 평균 불량률 0.77%

1차 목표

불량률 3.5% → 0.3%(3.2%p 감소)

시뮬레이션 결과

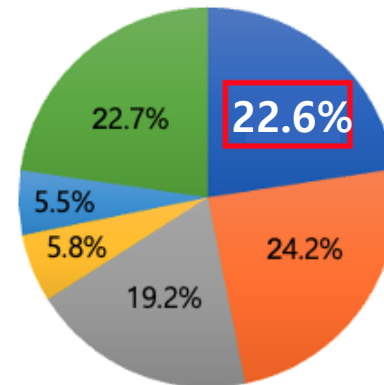
불량률 3.5% → 0.77%(2.73%p 감소)



1차 목표 85% 달성

• 기대효과

전기차용 배터리 팩 가격 = 870(만원/개)
2020년 전기차 총판매량 320만대 중 72.5만개 납품



2차 전지 시장점유율

■ K케미컬 ■ CATL ■ 파나소닉 ■ 삼성SDI ■ SK이노베이션 ■ 기타

개선 전 매출손실 -> 2368.8억원
개선 후 매출손실 -> 521.136억원

매출액 **1847.6억원 상승** 기회

5. 개선안 및 적용방안

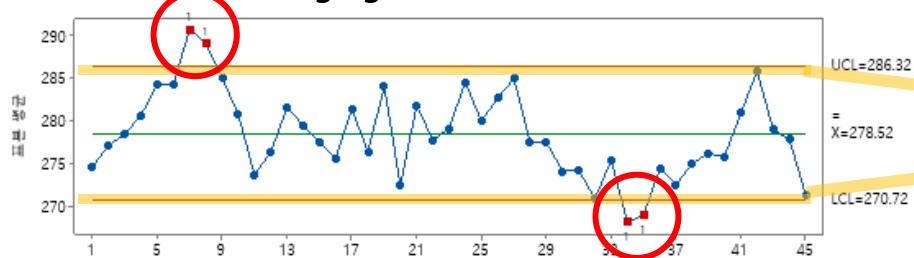
- Pilot Test 계획

구분	내용
목적	<ul style="list-style-type: none">• 개선안에 대한 실제 적용을 통한 개선 결과 검증• 온도, 전류, 전압 등을 고려하여 선정된 개선안의 실현 가능성 확인 및 추가 개선사항을 도출• 확대 적용에 필요한 학습 독려 : 인력의 규모와 비용을 예측 및 확보하고, 확대 적용함
Pilot 적용 개요	<ul style="list-style-type: none">• 적용대상 : 이차전지 제조공정 중 충방전공정, 3000셀• 적용 프로세스 : 개선 후 프로세스(LOT 3개, 3000셀)• 적용 일정 : 2021년 6월 7일 ~ 2021년 6월 9일 (1000셀/일)
현업 요청사항	<ul style="list-style-type: none">• 오창공장장 파일럿테스트 요청• 공장 생산부와 생산 일정 조율 및 생산 데이터 요청

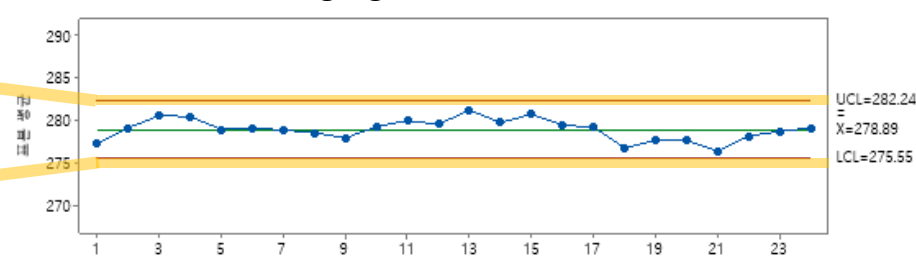
5. 개선안 및 적용방안

- 주요 공정 조건 최적으로 유지 및 관리

관리 전 Discharging 2 평균 온도 Xbar-S관리도

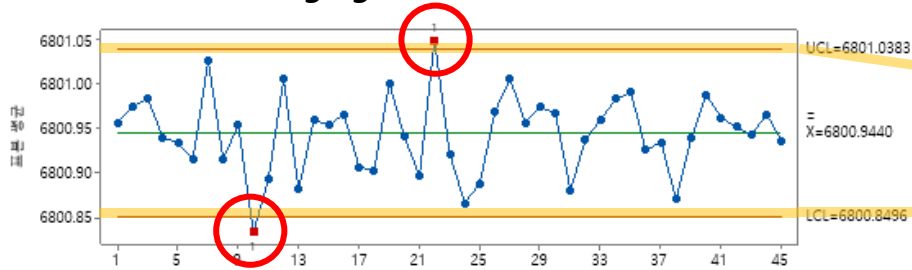


관리 후 Discharging 2 평균 온도 Xbar-S관리도

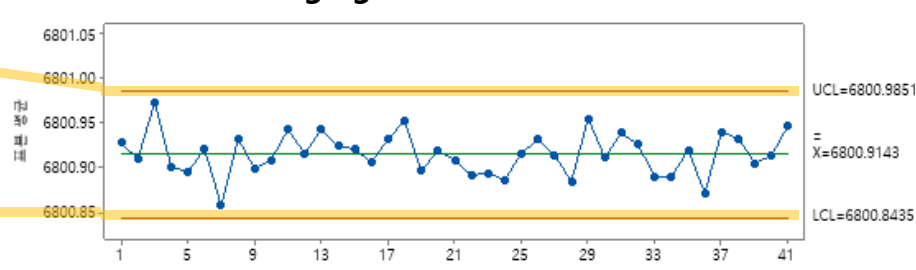


269~289K 온도로 관리
→ 3시그마 이내로
Discharging 2 온도 유지

관리 전 Charging 2 종료 전류 Xbar-S관리도



관리 후 Charging 2 종료 전류 Xbar-S관리도



6799~6802mA 전류로 관리
→ 3시그마 이내로
Charging 2 종료 전류 유지

- 주요 공정 조건인 **Discharging2 평균 온도**와 **Charging2 종료 전류**를 최적의 범위로 유지
- 3시그마 수준의 관리 한계선 이내로 지속 관리함으로써 **불량이 발생하지 않도록 조기 관리**

7. Appendix

참고자료

1. "리튬 2차 전지의 저장 수명에 관한 연구" – 국방기술품질원 국방신뢰성연구센터
2. Influences of Various Electrolytes on the Low-Temperature Characteristics of Ni-MH Secondary Battery. Chae-gyu Park, Jong Su
3. Characterization of SEI layer for Surface Modified Cathode of Lithium Secondary Battery Depending on Electrolyte Additives. Sung jin Lee, Eun Hee Cha, Soo A Lim
4. Aging Mechanism Analysis based on SEI layer of Li-ion Battery. Ilkyu Park, Daesik Kim, Hanju Cha
5. A study on Data Acquisition System for Battery Automatic Charging and Discharging. Kyung-Sung Lee, Chae-Joo Moon, Moon-Seon Jeong, Sang-Man Kim