

# EV 배터리 화성 공정 설비 최적화를 통한 불량 저감

2024. 06. 07

강성은, 김지원, 김창현, 명수현, 임환규, 홍아름

# CONTENTS

01 이차 전지 소개

02 추진 배경

03 현상 파악 및 개선 기회

04 데이터 정제

05 데이터 분석 계획

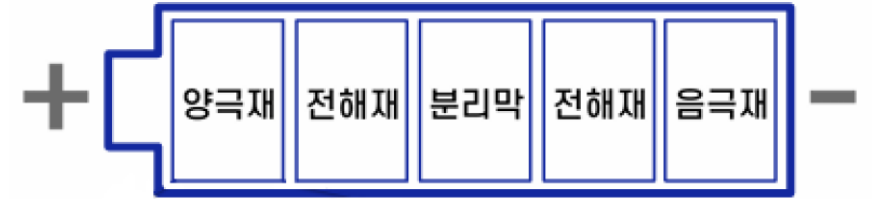
06 분석 결과

07 개선안 도출 및 적용 방안

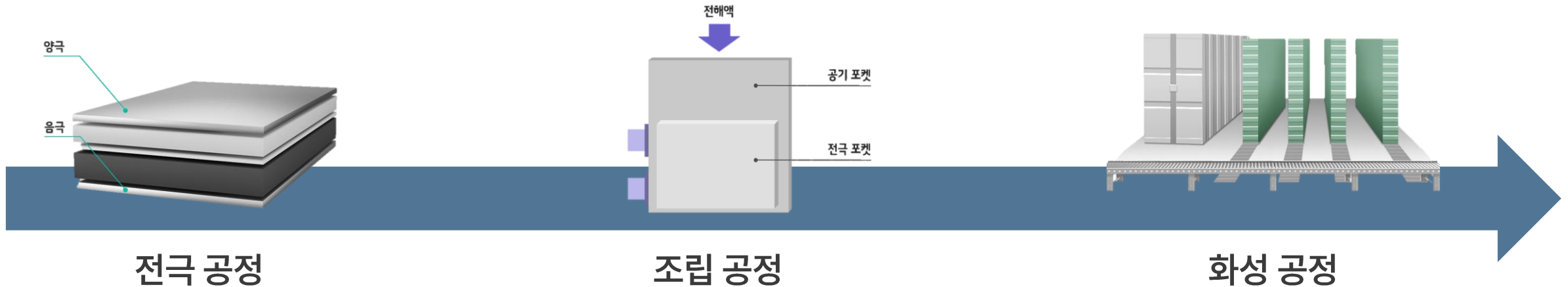
# 01 이차 전지 소개

## 이차 전지란?

한 번 사용한 후에도 충전하여 재사용이 가능한 전지  
충전과 방전을 반복할 수 있는 전지로 양극, 음극, 전해질, 분리막으로 구성



## 이차 전지 주요 공정



양극재와 음극재를 각각 알루미늄  
극판과 동박 극판에 붙이는 공정

제조된 양극판과 음극판을 분리막과  
함께 조립하고 전해액을 주입하여  
완성품 셀을 만드는 공정

셀에 **전기적 특성을 활성화 및  
안정화**시켜 전지의 품질을 향상시키는  
매우 중요한 공정

# 01 이차 전지 소개\_화성 공정

X (공정 조건)

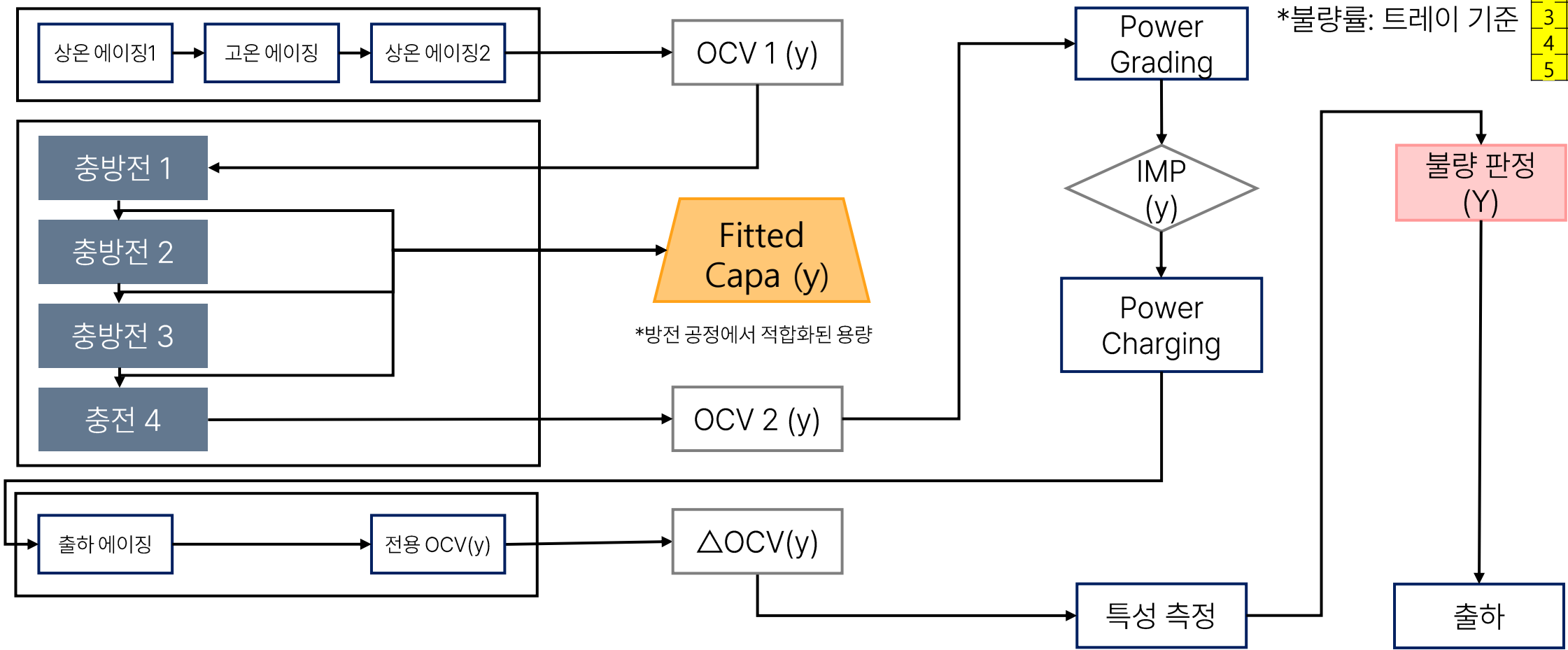
y (측정 검사)

Y

트레이 내 셀 구조  
(1 트레이 = 25 셀)

1	6	11	16	21
2	7	12	17	22
3	8	13	18	23
4	9	14	19	24
5	10	15	20	25

\*불량 판정: 셀 기준  
\*불량률: 트레이 기준

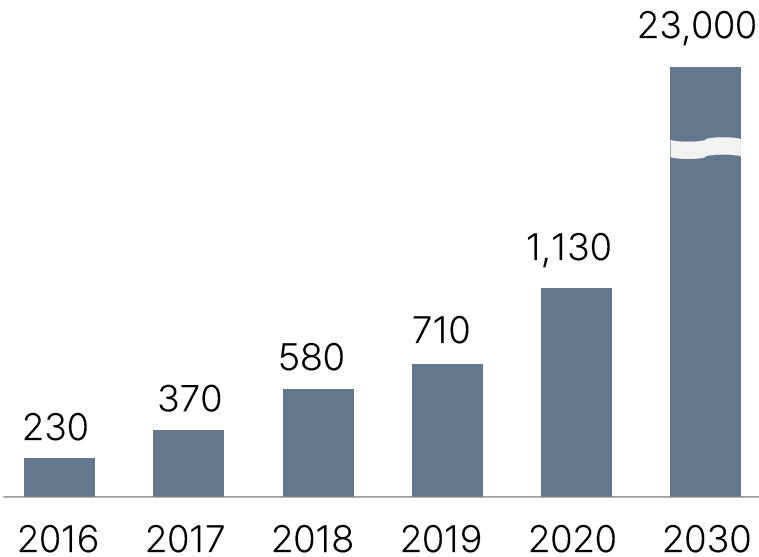


## 02 추진 배경

전기차 누적 판매량 증가로 인한 전기차 배터리 시장 규모 확대 예상  
현재 불량률은 3.15%로 최대 28억의 품질 실패 비용 발생

### 글로벌 전기차 누적판매량 증가

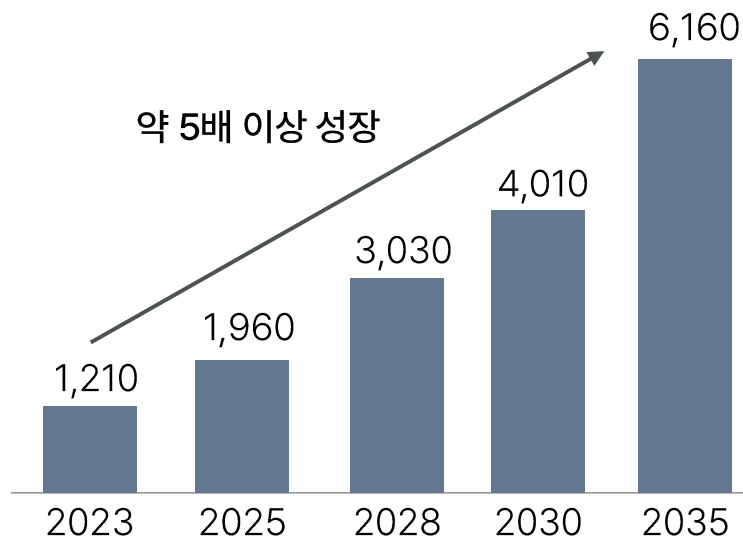
단위 : 만대



자료: IEA, 2030년은 전망치

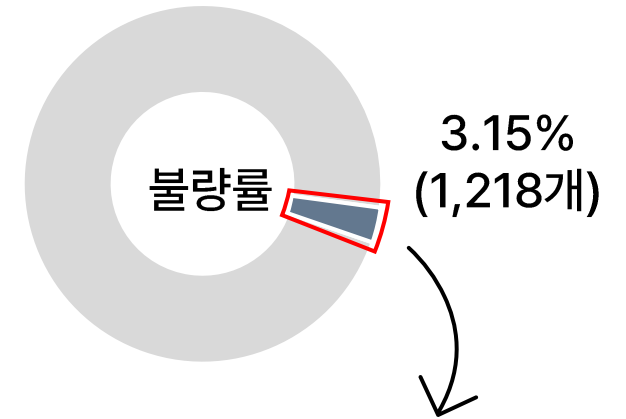
### 전기차용 이차전지 시장 규모 확대

단위: 억달러



자료: SNE리서치

### 높은 불량률로 인한 실패 비용



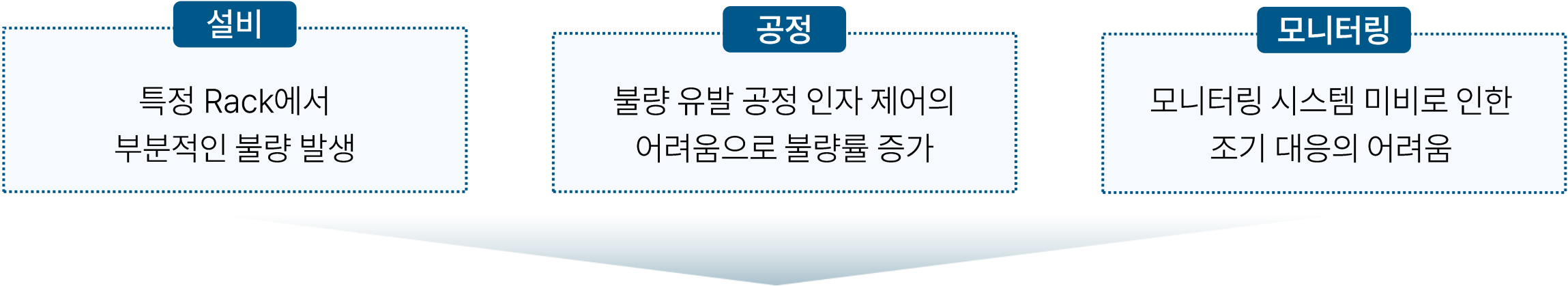
품질 실패 비용: 최대 28억 (17일 기준)

\*셀 비용: 52,471원  
([kwh]\*[달러/kwh]로 계산)  
\*데이터셋 lot 기준

높은 불량률은 제조 비용 증가와 생산성 하락을 불러옴으로, 효율적인 설비와 공정 조건이 필요

# 03 현상 파악 및 개선 기회

3.15%의 높은 불량률로 인한 제조 비용 증가와 생산성 하락



최적의 공정 조건 및 설비 유의차 분석을 통한 개선 방안 확보  
측정 데이터를 활용한 조기 모니터링 시스템 구축

성과 지표				
KPI	현수준	목표수준		
		'24년	'25년	'26년
불량률 (%)	3.15	2.7	1.3	0.5

## 04 데이터 정제 방안

23.11.25 ~ 23.12.11까지 17일 동안 측정된 데이터로 분석 진행

### | 데이터 분석 대상 선정 |

셀 개수	트레이 개수	누적 비율 (%)
25	698	39.21
24	128	46.40
23	156	55.16
22	77	59.49
21	186	69.94
20	66	73.65
19	41	
...	...	

트레이 내 셀의 개수가 다른 공정 시 인가되는 열에너지가 달라져 차이를 없애기 위해 분석 대상에서 제외

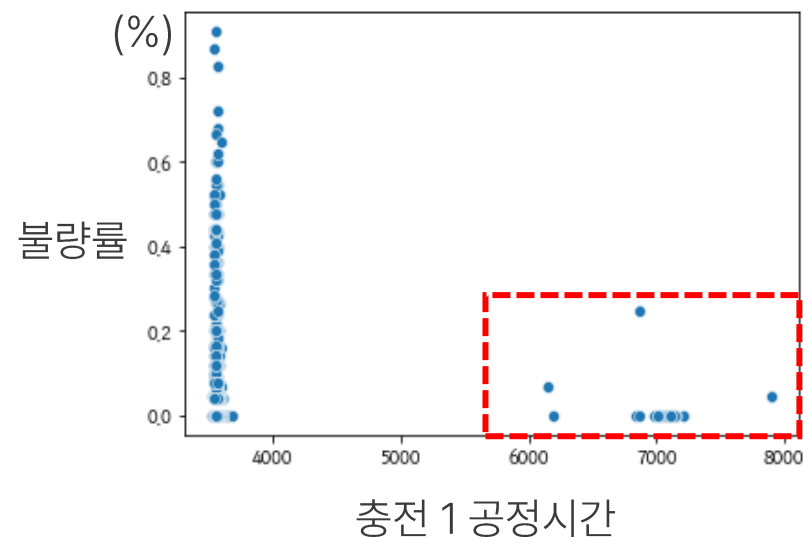
### | 결측치 처리 |

공정
상온 에이징1
고온 에이징1
상온 에이징1
...
전용 OCV2
출하 에이징3
전용 OCV3
출하 에이징4
특성측정

24 + 50 = 74  
총 74개의 결측치 확인

이전 공정에서 불량률로 인해 발생한 결측치는 불량률 분석에 중요하므로 처리하지 않고, 남은 데이터는 누락된 것으로 보고 삭제

### | 이상치 확인 |



실제 공정 시간이 두 시간 정도 운영되기 때문에 크게 문제가 되지 않는다고 판단하여 제거하지 않음

데이터 정제 결과 기존 38,595개 셀에서 31,019개 셀로 변경

05 데이터 분석 계획

목적	주요 내용		분석 방법
불량 영향 인자 탐색	온도, 전압, 전류 등 양품과 불량 판정에 영향 미치는 요인 확인		Histogram
설비 유의차 분석	불량률	각 공정의 설비 위치별 불량률 차이 분석	ANOVA
		불량률에 영향 미치는 핵심 공정 설비 위치 파악	회귀 모델(DT, RF, GB)
	불량 판정	각 공정의 설비 위치별 불량 빈도 차이 분석	Chi-squared
		불량 판정에 영향 미치는 핵심 공정 설비 위치 파악	분류 모델(DT, RF, GB)
		핵심 공정 설비 불량 차이 확인 및 원인 분석	Heatmap, Histogram
불량 유발 공정 인자 파악	X (공정 조건)와 Y (불량 판정) 간의 관계 파악		분류 모델 (DT, RF, GB, XGB)
	X (공정 조건)와 y (측정 검사) 간의 관계 파악		회귀 모델 (DT, RF, GB)
	y (측정 검사)와 Y (불량 판정) 간의 관계 파악		분류 모델 (DT, RF, GB)

X (공정 조건) : 온도, 전압, 전류 등  
y (측정 검사) : OCV, Fitted Capa





## 06 분석 결과\_설비 유의차 분석

각 공정의 설비 위치별 불량 차이 분석 및 불량에 영향 미치는 핵심 공정 파악

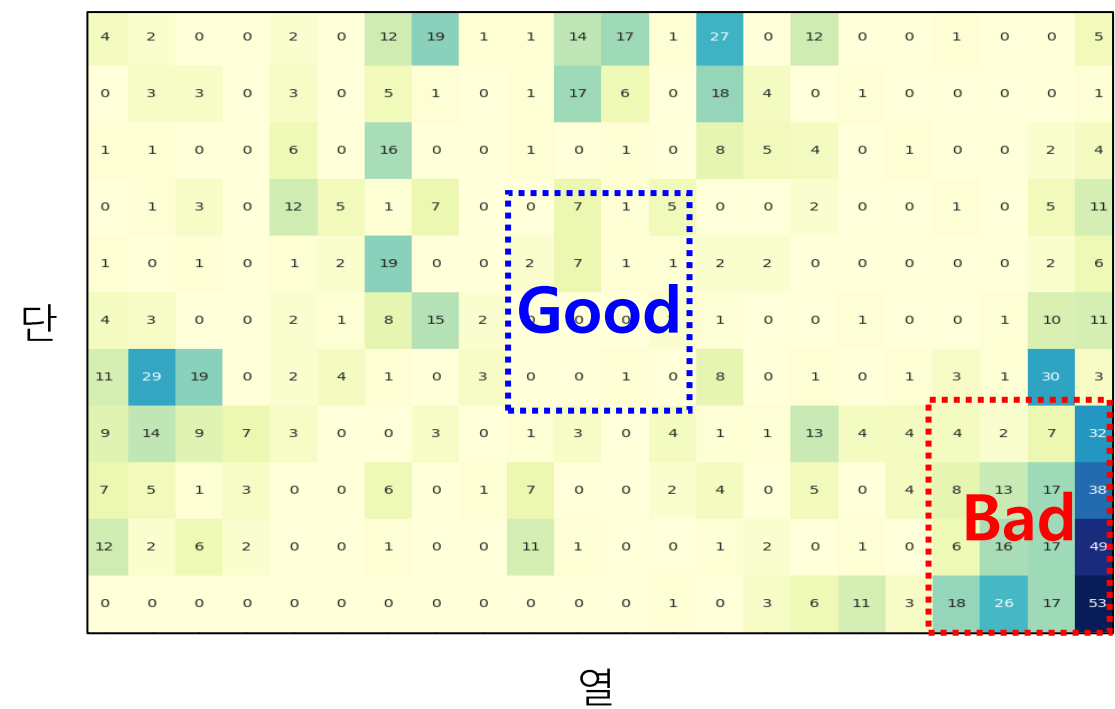
공정	불량 판정				불량률			
	DT	RF	GB	Chi-squared	DT	RF	GB	ANOVA
상온 에이징 1	3	3	4	( $p < 0.001$ )	4	3	3	연 ( $p < 0.001$ ) 열, 단 ( $p > 0.05$ )
고온 에이징	2	3	3	( $p < 0.001$ )	2	2	4	연 ( $p < 0.001$ ) 열, 단 ( $p > 0.05$ )
상온 에이징 2	4	2	2	( $p < 0.001$ )	3	2	2	연 ( $p < 0.001$ ) 열, 단 ( $p > 0.05$ )
충방전	1	1	1	( $p < 0.001$ )	1	1	1	열, 단 ( $p < 0.001$ )

분석 결과, 충방전 설비가 개별 Rack 마다 불량 차이가 있는 것으로 나타났으며,  
불량에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있음

06 분석 결과\_설비 유의차 분석

충방전 설비 위치별 불량 차이 발생 확인 및 원인 분석

| 충방전 공정 설비 위치별 불량 개수 |



Good 영역과 Bad 영역의 t-test 검정 결과  
 $p < 0.001$  로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타남

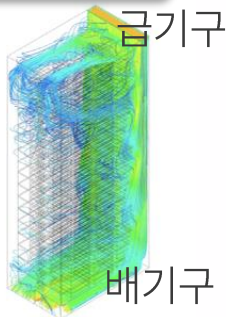
| 설비 위치별 불량 차이 원인 분석 |

공정	DT	RF	GB
평균 온도	1	1	1
평균 전압	6	6	6
용량	5	3	5
정전류	3	5	3
정전류 시간	4	4	2
종료 전류	2	2	4



충전 1\_온도

논문참고



급기구에서 배기구 방향으로  
공기가 흘러 대류에 문제 발생

구조물 중심부에 비해 외각 영역의  
온도가 저하함에 따라 다량의 불량 셀 발견

## 06 분석 결과\_ 불량 유발 공정 인자 분석

X (충방전 공정 작업 조건)와 Y (불량 판정) 간의 관계 파악

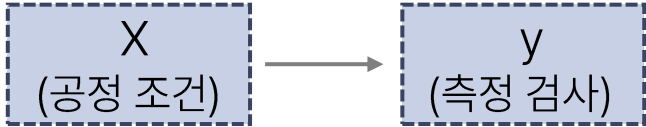


공정	변수	충방전 1				모든 변수			
		DT	RF	GB	XGB	DT	RF	GB	XGB
충전1	평균 온도	3	2	2	2	1	2	3	
	정전류	2	3			2	1		
	정전류 시간	4	4	5	5	5	3		
방전1	평균 전압			3	3				
	종료 전류			4					
	평균 온도	1	1	1	1	3	5	1	1
충전2	정전류					4	4		
	종료 전류							2	2
방전2	평균 전압							5	3
	평균 온도							4	5

초기 충방전의 변수가 불량에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며,  
특히 온도 변수의 영향이 높은 것으로 나타남

06 분석 결과\_ 불량 유발 공정 인자 분석

X (충방전 공정 작업 조건)와 y (초기 충방전 후 측정 검사\_Capafit) 간의 관계 파악



공정	변수	DT	RF	GB
충전 1	평균 온도	2	2	2
	종료 전류			4
	정전류		4	5
	정전류 시간		5	
방전 1	평균 온도	1	1	1
	종료 전류		3	3

온도가 Capafit에 가장 많은 영향을 미치는 인자로 드러남

논문 참고

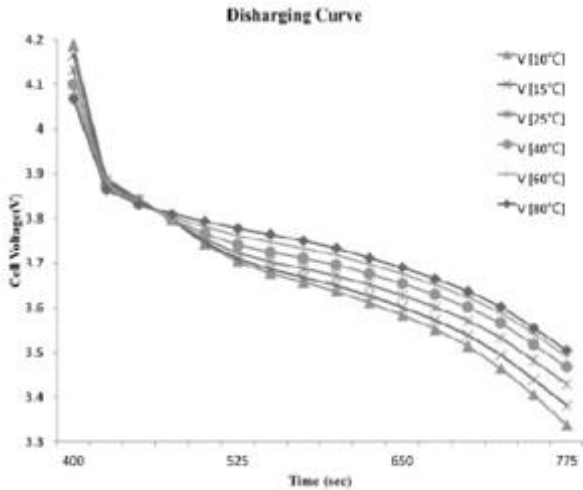


Fig. 4. The discharge curves at each temperature.

저온일수록 전해질의 점도가 증가하여 이온 이동성이 줄어들어  
내부 저항이 증가하며 셀 전압이 급격히 감소함  
전기화학적 반응성이 낮아져 방전 용량이 줄어들어  
배터리 수명이 감소함

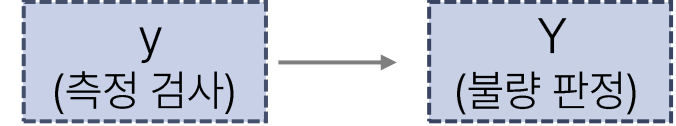
장경민, 김광선. (2017) 급격한 온도 변화에 따른 리튬 이온 배터리의 전해질 내 염 농도 분포 특성 [반도체디스플레이기술학회지 제16권 제1호]

## 06 분석 결과\_ 불량 유발 공정 인자 분석

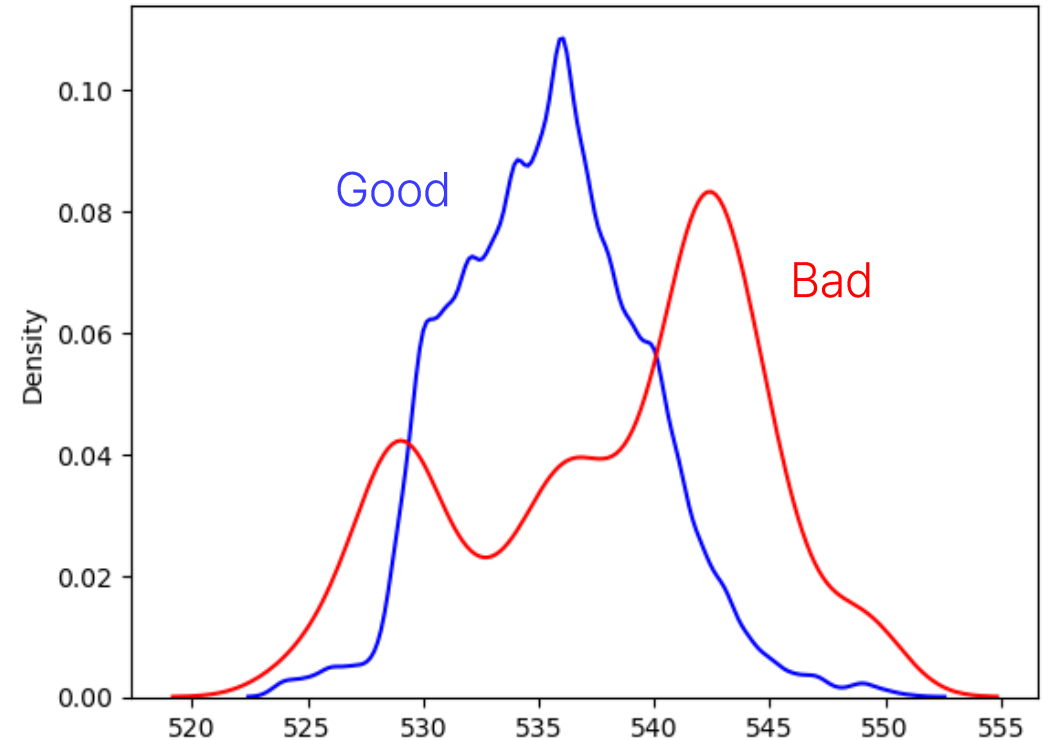
y (측정 검사)와 Y (불량 판정) 간의 관계 파악

공정	변수	DT	RF	GB	XGB
OCV1	OCV	5		5	4
방전 1	Capafit	2	2	1	1
방전 2	Capafit				3
충전 3	Capa	4	5	4	5
Power Grading1	IMPfit	3	3	3	
	IMP		4		
Power Charging1	IMP	1	1	2	2

영향을 주는 인자이지만 불량을 조기 발견하는 목표에 부합하지 않아 핵심 인자로 선정하지 않음



방전1\_Capafit과 불량 판정 비율

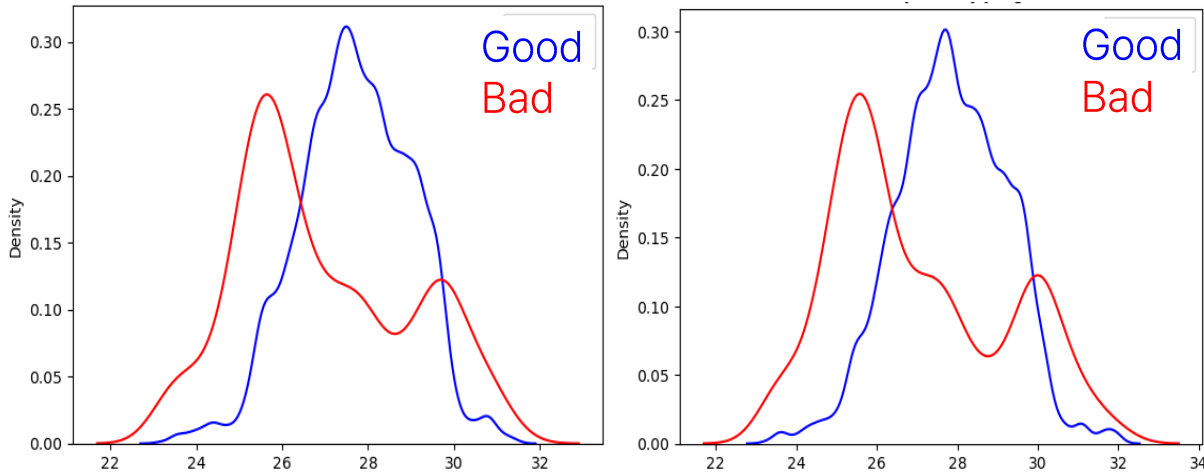


방전1에서 측정한 Capafit 변수가  
불량에 영향 미치는 인자로 나타남  
>> 충방전 1 공정이 중요하다고 판단

## 06 개선안 도출 및 적용 방안

온도가 낮을수록 전지의 성능과 수명이 감소하며, 지나치게 높은 온도는 품질을 저하시킴

| 온도에 따른 불량 비율 |



| 평균 온도 구간별 불량률 |

평균온도(°C)	27 미만	27이상~ 29이하	29 초과
충전1	6.46% (590/8,541)	1.33% (221/16,376)	4.03% (213/5,078)
방전1	7.13% (585/7,623)	1.27% (207/16,097)	3.57% (232/6,275)

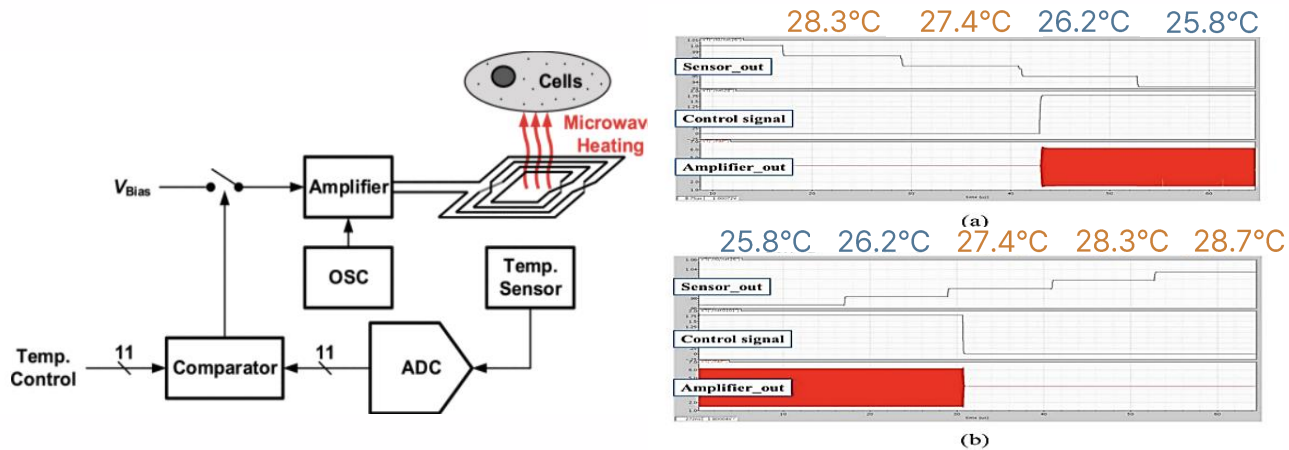
충방전 평균 온도를 27°C 이상 29°C 이하 유지방안 필요

개선안1 : 최적 범위내 온도를 관리하기 위한 설비보완

개선안2 : 조기 모니터링 관리시스템 도입

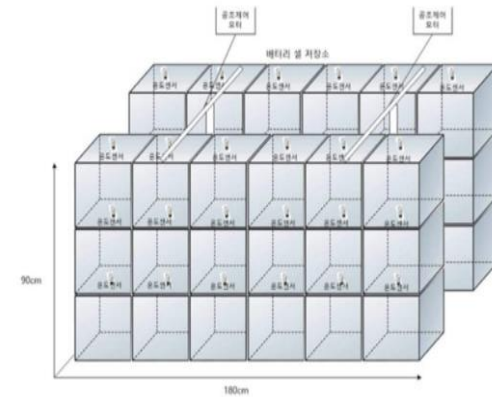
## 개선 방안 1. 최적온도 자동관리시스템 도입

### Localized Heating System



각각의 Rack에 온도센서를 설치하여, 온도가 임계점 이하로 내려갈 경우, 마이크로파로 온도를 높임

### Localized cooling system



온도가 임계점 이상으로 올라갈 경우 열의 확산 및 발산 특성을 이용해 물체의 표면에 지속적인 바람을 주입하여 온도를 낮춤

(논문 참고) Tzu-Yu Tseng, Hsiao-Chin Chen. (2021) Monolithic CMOS Microwave Heater With Programmable Thermostat Function for Thermo-therapy [IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: EXPRESS BRIEFS, VOL. 68, NO. 1, JANUARY 2021]

(논문 참고) 강윤희, 이준현 and 이진경. (2020). ESS용 Rack 내부의 공기유동에 따른 배터리 열관리에 관한 해석적 연구 [동력시스템공학회지 제24권 제2호 pp. 37-44]

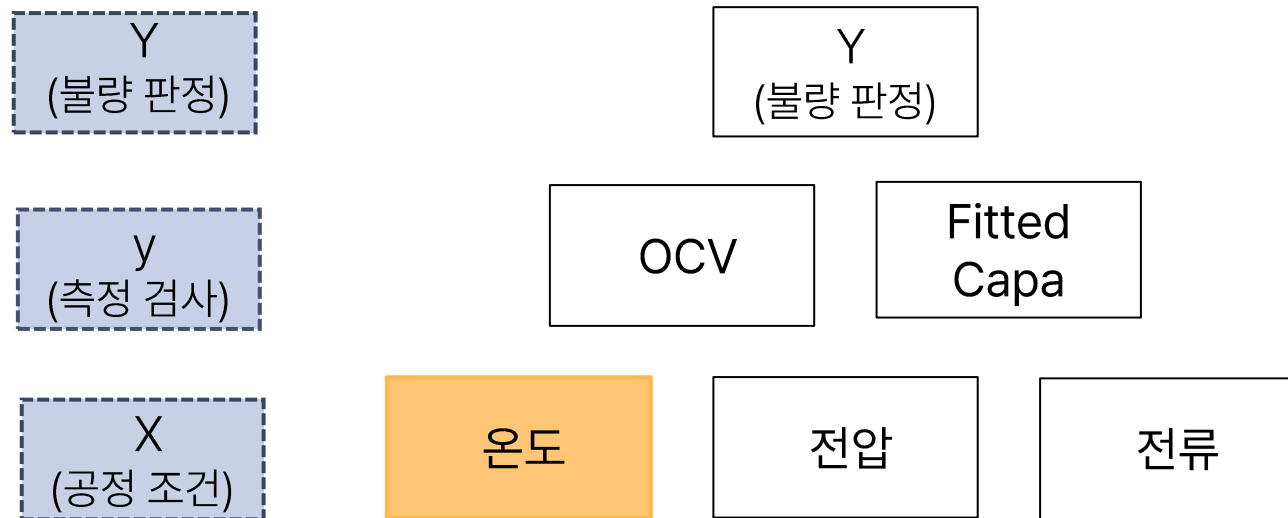
기대효과 : 최적온도 관리로 불량율 1.3%까지 감소 추정

## 07 개선안 도출 및 적용 방안

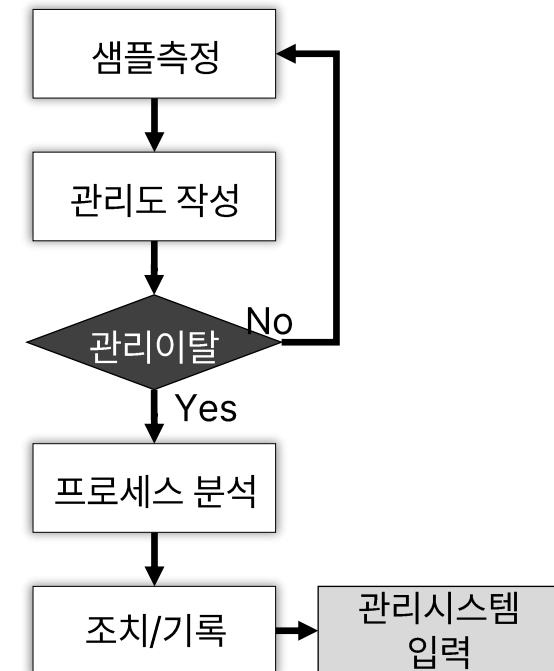
### 개선 방안 2. 조기 모니터링 시스템 도입, 적용

- ✓ Y(불량판정) : 모니터링 (주기 : 17일)
- ✓ 주요 영향인자 OCV/Fitted Capa는 변수type에 맞는 관리도를 선정하여, 관리 필요 (주기 : 매일)

관리변수 구조도



관리이탈 발생시 조치 절차



기대효과 : 공정의 조건을 사전에 파악하여 불량발생 예방

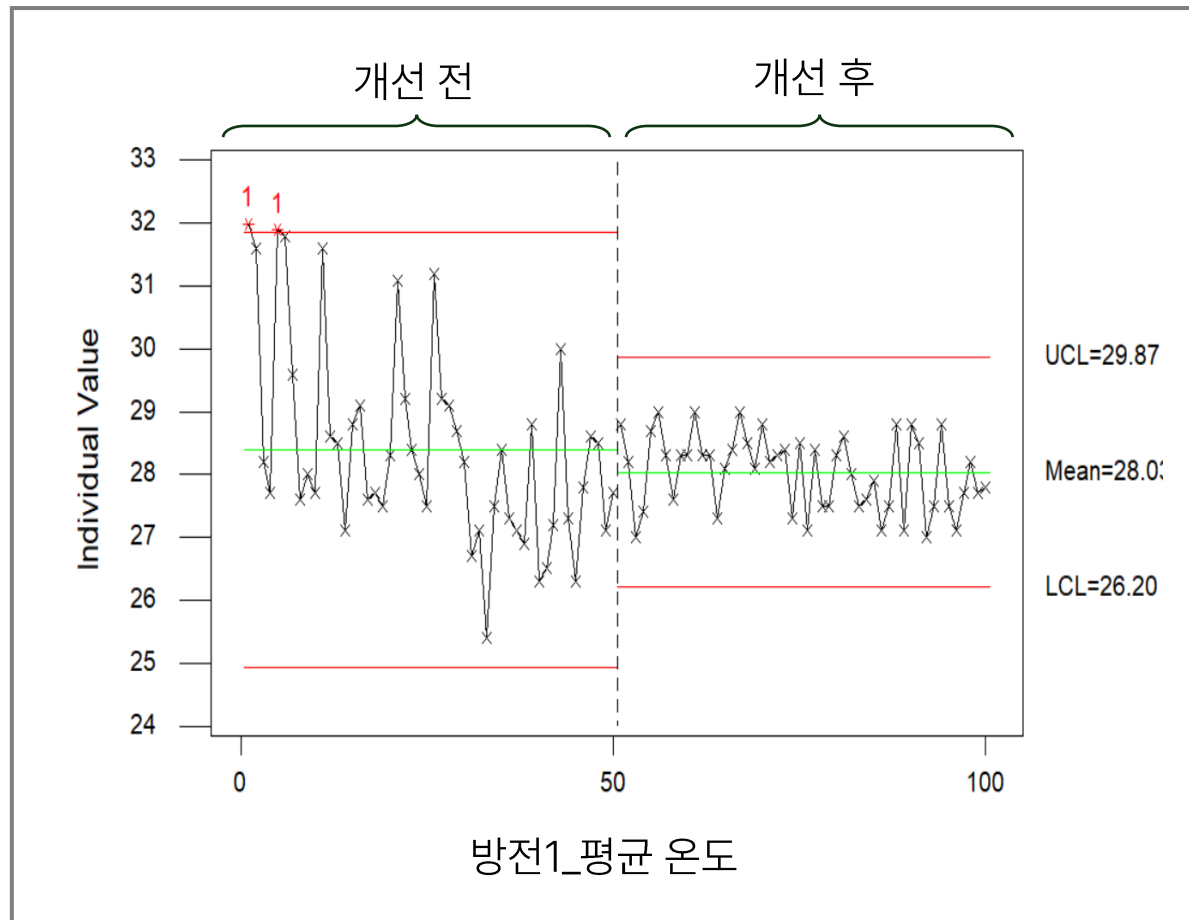


# 07 개선안 도출 및 적용 방안

## Pilot-test 적용 계획

구분	내용
목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선안에 대한 실제 적용을 통한 개선 결과 검증</li> <li>- 개선안 중에서 비용 등을 고려하여 최적안을 설정하고 추가 개선 사항을 도출</li> </ul>
Pilot 적용 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적용 대상 : 이차 전지 공정 중 화성 공정(충방전 공정)</li> <li>- 적용 일정 : 24년 6월 5일 ~ 6월 6일</li> </ul>
현업 요청사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 작업자 및 관련 인원에게 개선안 적용에 대한 교육 및 훈련 실시</li> <li>- 개선안 적용 과정에서 발생할 수 있는 문제점 및 위험 요소 사전 파악 및 대응 계획 마련</li> <li>- 개선안 적용 후 피드백 체계 구축</li> </ul>

## 관리도





**Q&A**

---

감사합니다.