

이차전지 화성공정 최적화를 통한 불량률 Zero화

데이터분석 C4팀

고다영, 김우영, 송준희, 신하나, 이현희, 장수명, 전현지



CONTENTS

- 1 추진배경
- 2 현상 및 개선 기회
- 3 분석 계획
- 4 분석 결과
- 5 개선안 및 적용방안
- 6 Learned Lesson

제조 공정

이차전지

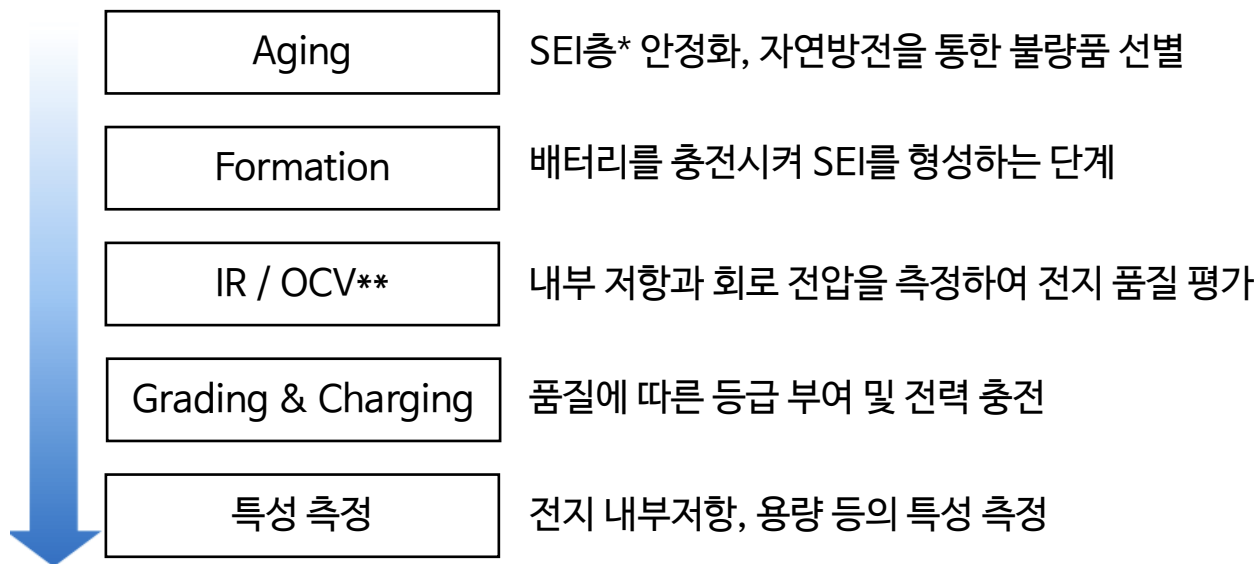
방전된 이후에도 충전을 통해 **재사용이 가능**한 전지
경량화 · 소형화가 가능한 리튬이온 배터리가 대표적이다.

화성공정

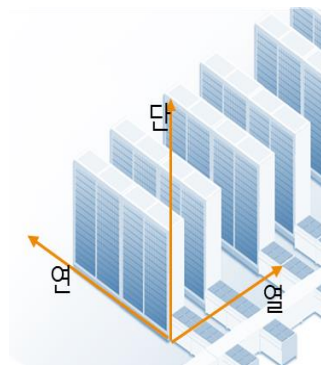
배터리 활성화, 안정화 이후 결함을 검사하는 공정

- ▶ 배터리 품질에 영향을 미치는 데이터가 수집된다.
- ▶ 평균 13.4일간 진행된다.

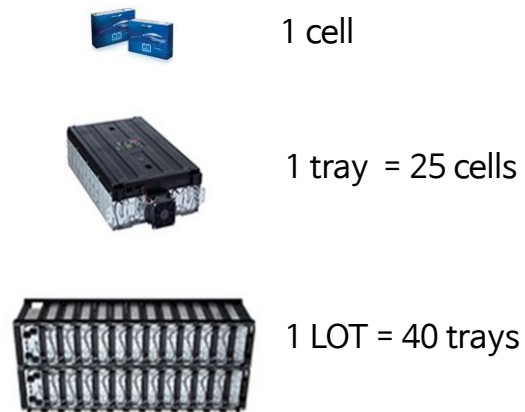
화성공정 프로세스



설비 구조



공정 진행 단위

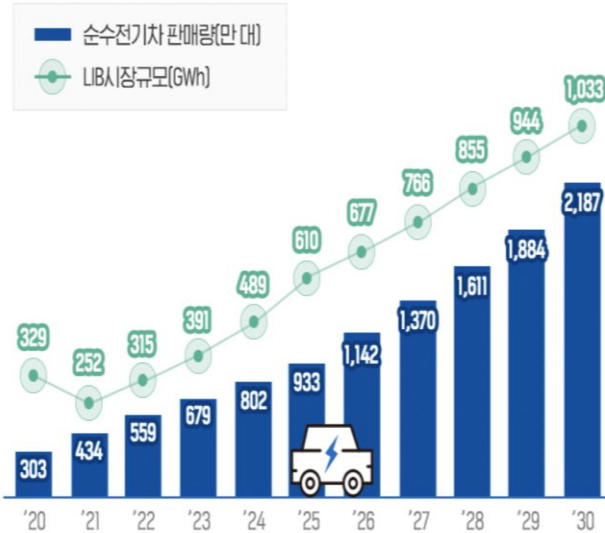


* SEI : Solid Electrolyte Interphase ** IR / OCV : Inner Resistance / Open Circuit Voltage

1. 추진배경

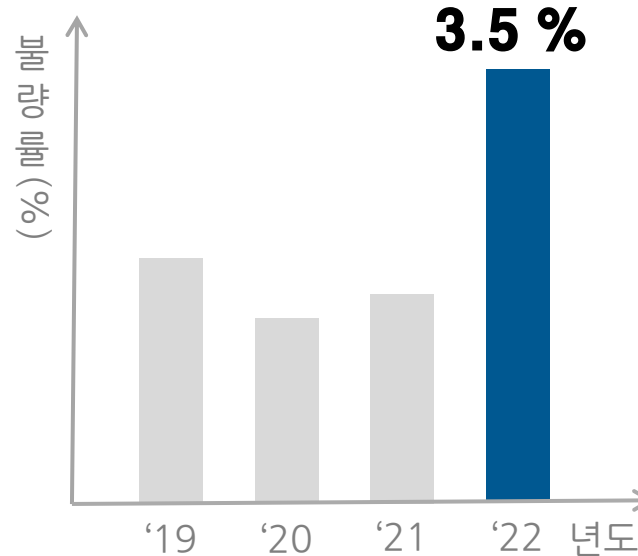
리튬 이온 배터리 시장이 빠르게 성장하면서 요구되는 품질 수준 역시 높아지고 있는 상황이다. 그러나 현재 자사의 배터리 불량률은 3.5%로 급증하였으며 막대한 품질 비용 발생이 우려되므로 시급한 개선 방안이 필요하다.

리튬 이온 배터리 수급 전망



* 출처 : TSR('18~'19), FUJI('18~'19), SNE Research('20) 편

화성공정 불량률 급증



배터리 불량으로 인한 품질 이슈 증가

HOME > 업계정보

LG, "GM과 볼트 EV 배터리 리콜 합의"...1.4조원 배상

LG와 GM간의 배터리 리콜 관련 비용 협상이 최종 타결됐다.

LG에너지솔루션은 12일 입장문을 통해 "당사와 LG전자, 제너럴모터스(GM) 등 3사간의 리콜 관련 합의가 종결됐다"며 "리콜 비용은 1조4000억원으로 예상되며 LG에너지솔루션과 LG전자가 7000억원씩을 분담할 예정"이라고 설명했다.

2. 현상 및 개선 기회

불량률 급증으로 인한 문제를 해결하기 위해 3년 내 불량률 Zero화를 목표로 KPI를 설정하였다.

불량률 급증으로 인한 문제			
생산성 저하	납기 지연	고객 불만 증가	신뢰도 저하



성과 지표 선정					
KPI	가중치	현수준	목표수준		
			'23년	'24년	'25년
불량률 (%)	70%	3.50	2.30	0.90	0.00
품질 기회비용 (억 원)	30%	27.57	18.11	7.09	0.00

1) 불량률(%) : (불량품 수량 ÷ 생산 수량) × 100 2) 품질 기회비용(억 원) = 불량 cell 개수 x cell당 가격

3. 분석 계획 – 잠재원인 도출

불량률 급증에 영향을 미치는 잠재원인을 중요도와 분석가능성 측면에서 **5건** 선정하였다.

잠재원인	중요도	분석가능성	합계	선정
Aging 시간	9	9	18	0
충/방전 온도	9	9	18	0
Fitted Capacitor의 기준 불확실	3	3	6	
설비 유의차(열, 연, 단)	9	9	18	0
배터리 전기적 특성 측정의 오류 (전류, 전압, 용량, 임피던스)	9	9	18	0
공정시간 증가에 따른 용량 감소	9	9	18	0
작업 스킬 부족	1	3	3	
제품 두께	3	9	12	

9점 척도 : 1(약), 3(중), 9(강)

3. 분석 계획

목적	데이터 분석 계획		
	분석 방법	분석 단위	분석 내용
변수의 분포와 구조 파악	Histogram Box Plot / Line Plot	불량 판정*	온도, 전압, 전류 등 연속형 변수의 데이터 분포와 구조 파악
설비 유의차 분석	Heatmap	불량 판정	설비 유의차와 불량 판정 간의 관계 시각화
		불량률**	설비 유의차와 불량률 간의 관계 시각화
	ANOVA	불량률	설비 별 불량률 차이가 유의한지 알아보기 위해 분석
	Chi-squared	불량 판정	설비 별 불량 빈도 차이가 유의한지 알아보기 위해 분석
영향 인자 도출	Logistic Regression / Decision Tree Random Forest / Gradient Boosting	불량률	분류모델을 이용해 불량률에 영향을 미치는 핵심인자 도출
		불량 판정	분류모델을 이용해 불량 판정에 영향을 미치는 핵심인자 도출
최적 작업 조건 도출	Decision Tree / Random Forest Gradient Boosting	불량 판정	다양한 모델을 활용해 불량 빈도를 최소화하는 최적 작업 조건 도출
모델을 이용한 불량률 예측	Logistic Regression / Decision Tree Random Forest / Gradient Boosting Neural Net	불량 판정	최적 작업 조건 적용 후 불량률 예측

*불량 판정 : cell의 양품 또는 불량 여부 **불량률(tray 기준, %) : (불량 cell 수 ÷ 전체 cell 수) × 100

4. 분석 결과 – 데이터 정제

2021-12-01 ~ 12-17 까지 화성공정에서 LOT 45개에 대한 데이터를 수집했다.

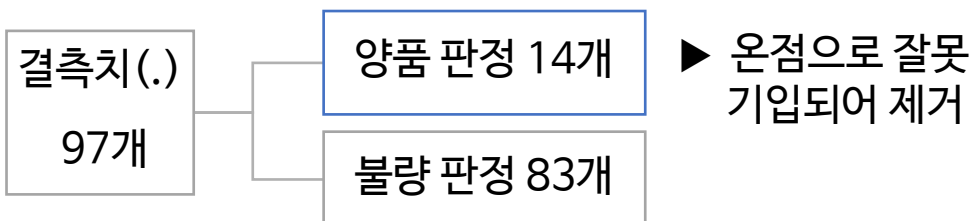
(1) 결측치 처리

출하 전 공정에서 결측치 97개 (0.21%)가 확인되었으며,
그 중 14개를 제거했다.

출하 전 공정 프로세스

출하 Aging → OCV 측정 → 불량 판정

불량 판정 받은 배터리 : '불량' 혹은 '.' 기입



* 불량 판정 : OCV < 기준값

(2) 이상치 처리

공정 시간 데이터의 1,769개 (4.04%)가 이상치로
발견되어 제거했다.

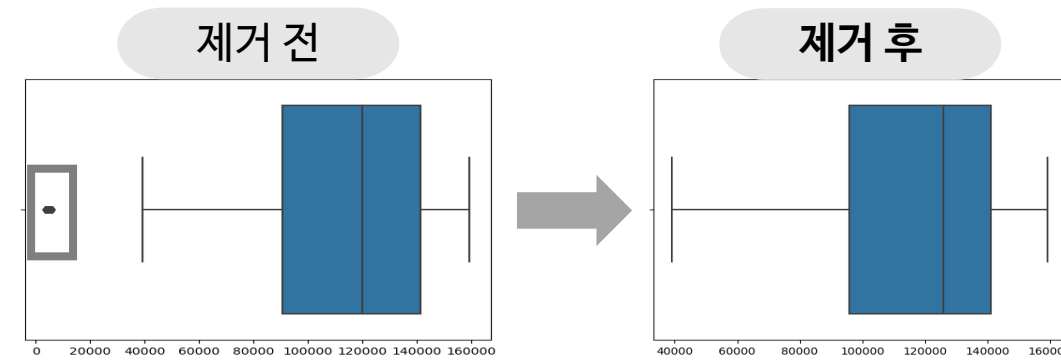
상온 Aging 2단계

1,518개 (3.47%)

출하 Aging 2,3,4단계

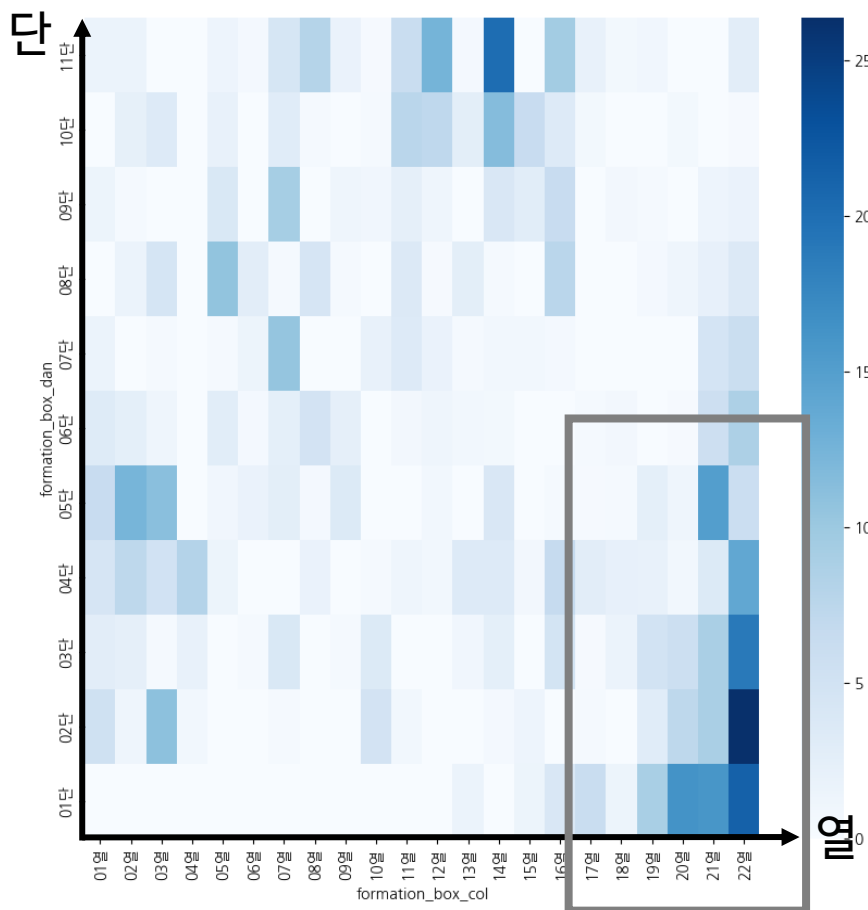
251개 (0.35%)

총 1,769개 (4.04%)



4. 분석 결과 – 설비 유의차 확인

Formation 단계 중 설비의 22열 등 가장자리 부근에서 높은 불량률이 나타나는 것을 확인하였다. 통계적 검정을 실시한 결과, **설비 위치에 따른 불량 편차가 유의하였다.**



가설 1 : 설비의 열에 따라 불량 발생 빈도 차이가 있다.

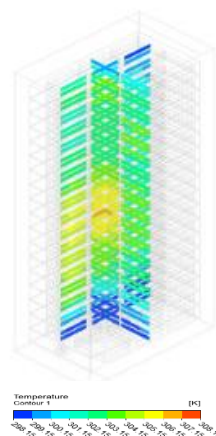
Chi-squared 검정 결과, $p\text{-value} < 0.001$

따라서, **설비의 열에 따른 불량 발생 빈도 차이는 유의미하다.**

가설 2 : 설비의 열에 따라 불량률에 차이가 있다.

ANOVA 검정 결과, $p\text{-value} < 0.001$

따라서, **설비의 열에 따른 불량률 차이는 유의미하다.**



구조물 하단에 배기구가 위치하여 대류에 방해를 받아 온도 변화에 민감한 불량률의 원인이 된다.

[참고논문] 강을호, 이준현 and 이진경. (2020). ESS용 Rack 내부의 공기유동에 따른 배터리 열관리에 관한 해석적 연구. 동력시스템공학회지, 24(2), 37-44.

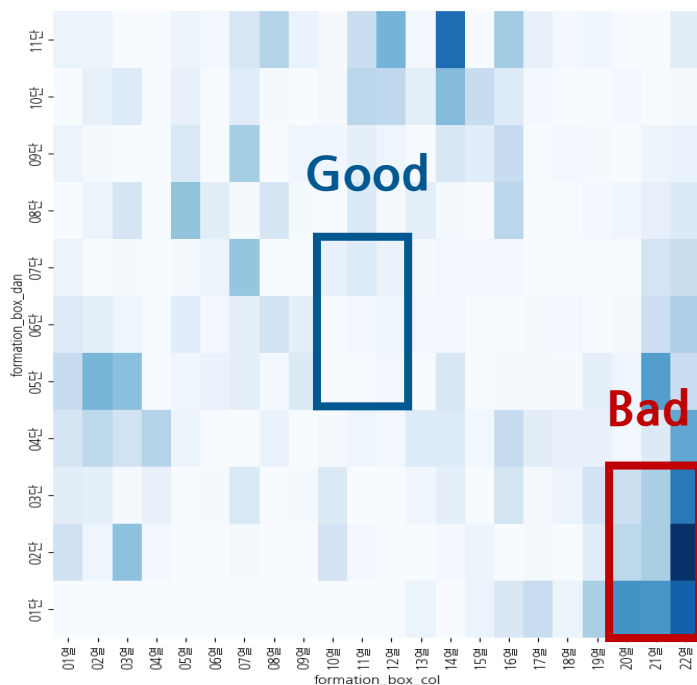
온도 변화가 불량률에 영향을 준다는 사실은 아래 논문의 연구 결과로도 확인된다.

[참고논문] 장경민 and 김광선. (2017). 급격한 온도 변화에 따른 리튬 이온 배터리의 전해질 내 염 농도 분포 특성. 반도체디스플레이기술학회지, 16(1), 11-15.

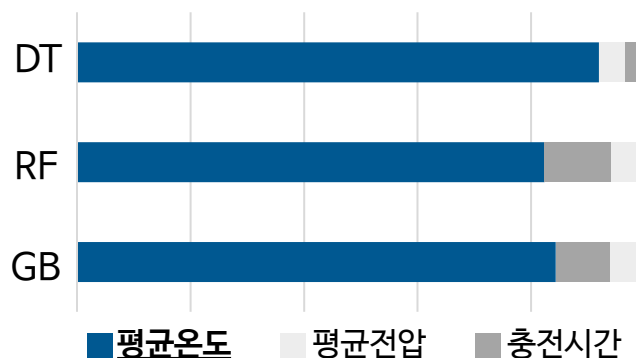
4. 분석 결과 – 핵심인자 도출

설비 유의차를 발생시키는 원인을 찾은 결과, 온도가 불량 여부에 가장 중요한 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

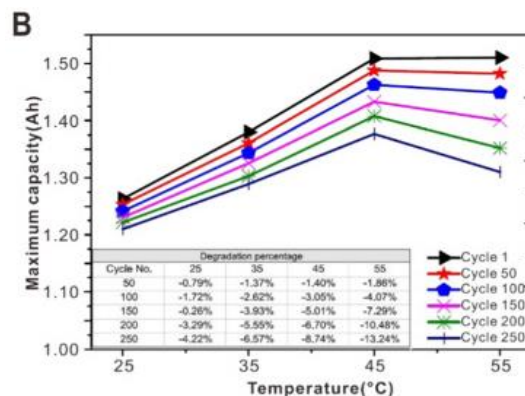
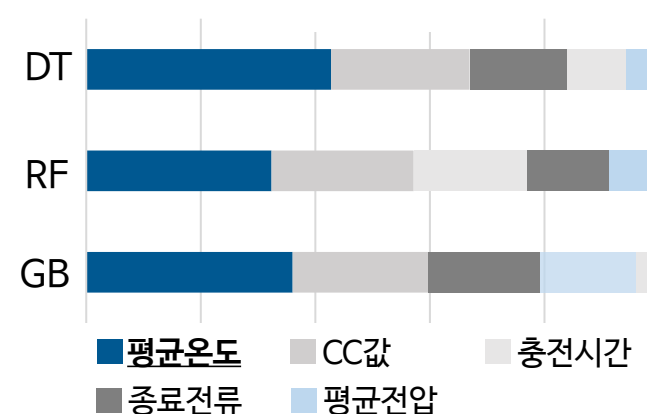
Bad	Good
불량 cell 303개 불량률 17.26%	불량 cell 34개 불량률 1.81%



목표변수 : Bad vs Good Group



목표변수 : Cell 불량 판정

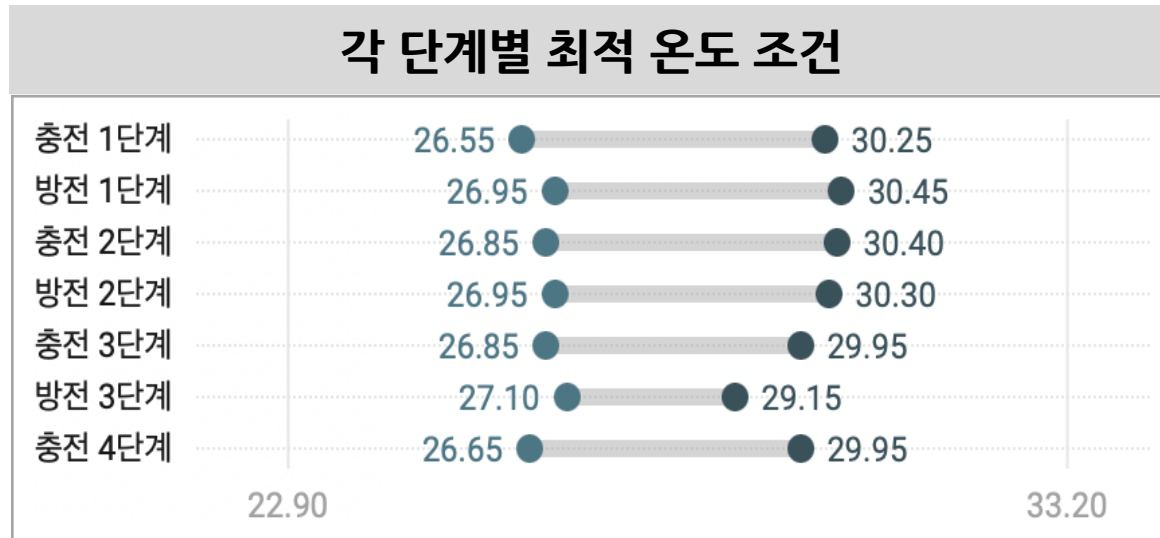


온도에 따른 최대 용량을 사이클 수에 따라 나타낸 그래프이다.
모두 동일한 형태로 온도의 영향을 받고 있다.

[참고논문] Shuai Ma, (2018), Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review, Progress in Natural Science: Materials International, 653-666.

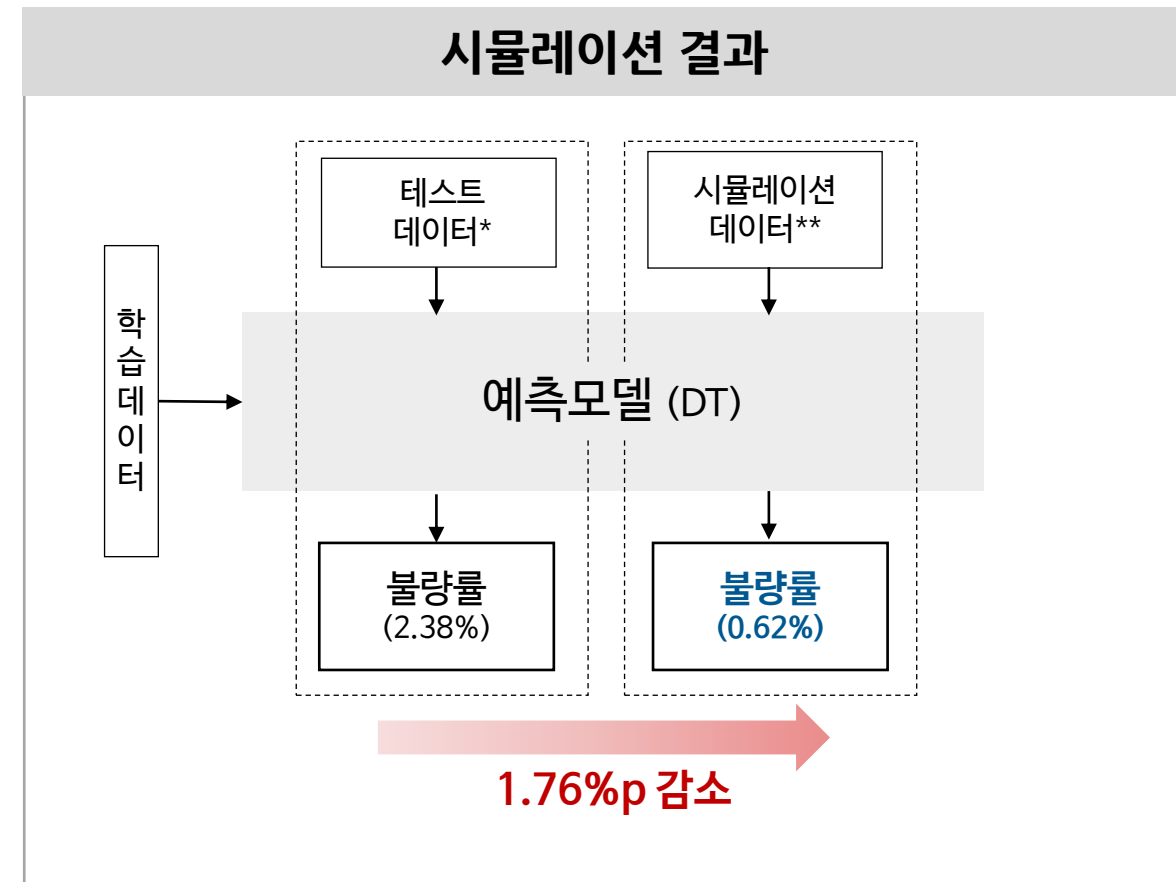
4. 분석 결과 – 최적조건 도출 및 시뮬레이션 결과

Formation 각 단계에서 불량률을 최소화하는 **최적 온도 조건을 도출**하였다. 도출한 최적 온도로 시뮬레이션한 결과 불량률이 1.76%p 감소하였다.



온도 구간 별 불량률 비교

Formation 충전 1단계			
온도 조건	26.55℃ 이하	26.55 ~ 30.25℃	30.25℃ 이상
불량률	8.82% (683/7,741)	1.59% (532/33,290)	9.15% (86/940)



* 테스트 데이터 : 기존 온도 적용

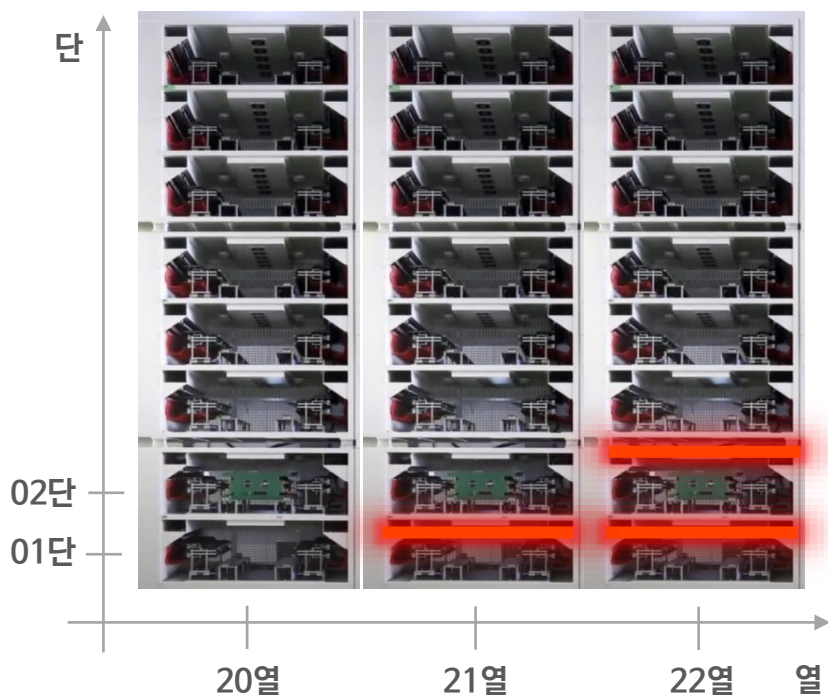
** 시뮬레이션 데이터 : 도출한 최적 온도를 적용

5. 개선안 및 적용 방안 – 열선 설치

Formation에서 불량률이 높게 측정된 열과 단에 열선을 설치하여 온도 조건을 최적화한다.

불량률이 **2.0%p** 감소하여, 품질 기회비용 **15.8 억 원** 절감 효과를 기대할 수 있다.

열선 설치



품질 기회비용 계산식

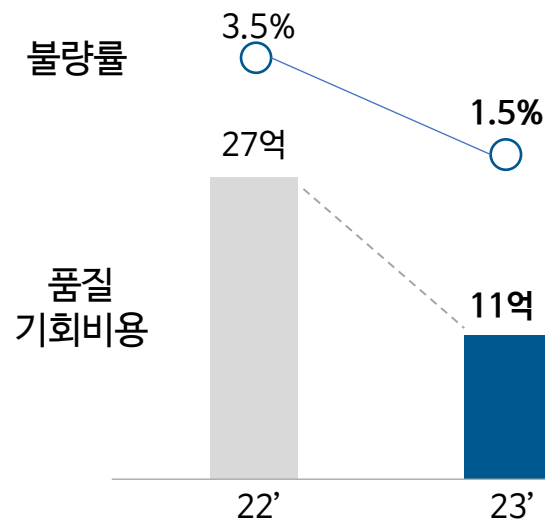
감소된 불량 개수¹⁾  21,002개

셀 1개 가격²⁾  75,000원

15.8 억 원

➔ 연간 품질 기회비용 **42.8%** 감소

예상 품질기회비용



➔ 23년 품질 기회비용 KPI **65.2%** 달성

1) 기존 불량수 36,753개 - 개선 불량수 5,751개

2) 배터리 1kWh당 가격 = 150달러, cell 1개 용량 = 0.5kWh, 1달러 = 1,300원

5. 개선안 및 적용 방안 – 제약 조건 하 최적화

Formation 최적 조건에서 벗어나 불량 발생 확률이 높은 cell을, **Power Charging 단계에서 설비의 위치를 조절**하여 불량 발생 확률 감소를 기대할 수 있다.

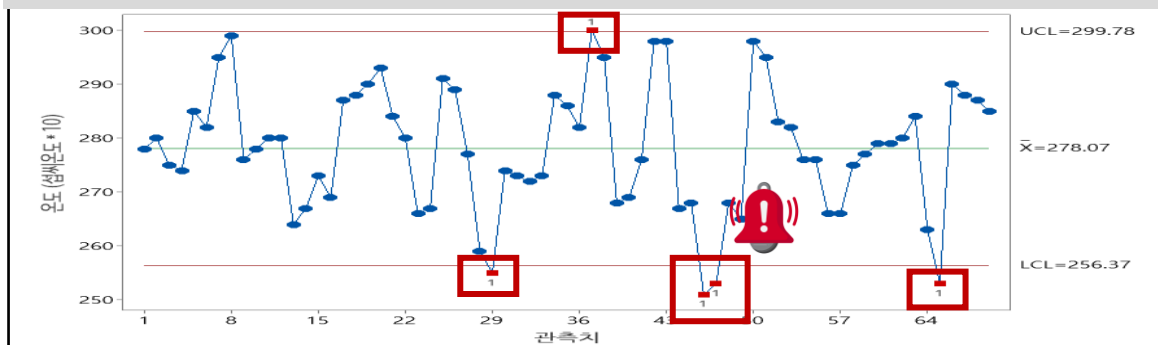
Formation 설비			Power Charging 설비		
	온도(℃)	불량률(%)		온도(℃)	불량률(%)
6단	28.60	0.81	9열	27.65	2.17
5단	28.08	0.01	8열	27.78	1.55
11열			7열	27.30	2.36
⋮			⋮		
3단	25.00	19.00	3열	26.17	4.12
2단	25.36	26.40	2열	25.75	3.40
1단	25.24	21.40	1열	26.00	6.21
22열			1단		

공정 순서		
Aging	Formation	Power Charging
설비 위치에 따른 불량률 감소		
	최적 조건이 아닌 Formation	Power Charging에서 온도 조절
공정 조건	27.10 ~ 29.00 ℃ 이외의 범위	27.10 ~ 30.25℃
불량률	6.51% (969/14,879)	3.11% (462/14,879)

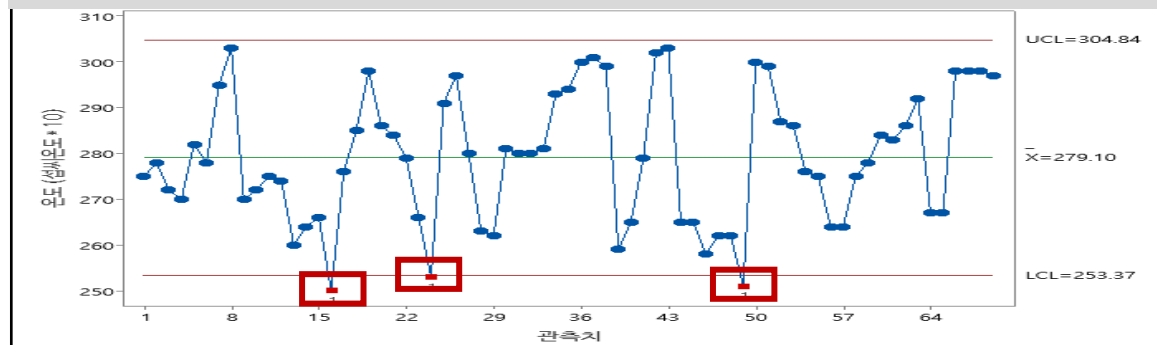
5. 개선안 및 적용 방안 – I 관리도

Formation 단계에서 3시그마 수준의 관리 한계선 이내로 I 관리도를 만들었다. 전·후 관리도를 비교하여 **개선 효과를 입증하고, 추후 공정의 안정성을 모니터링** 할 수 있다.

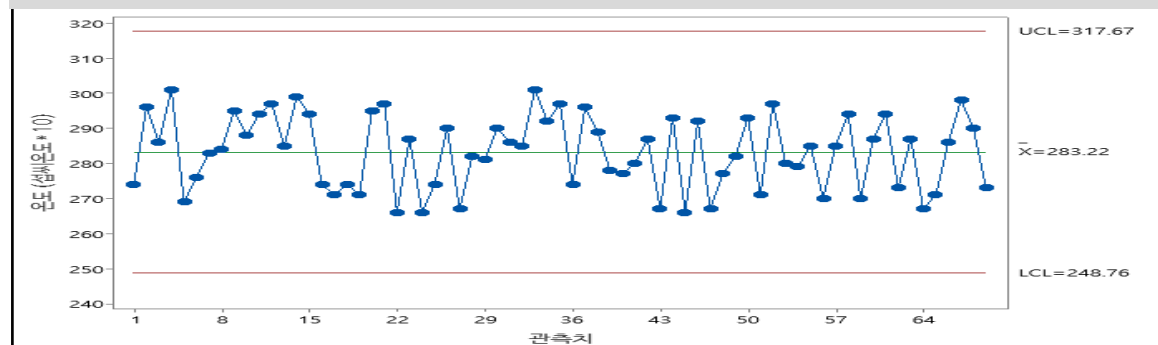
관리 전 충전 1단계의 평균온도 I 관리도



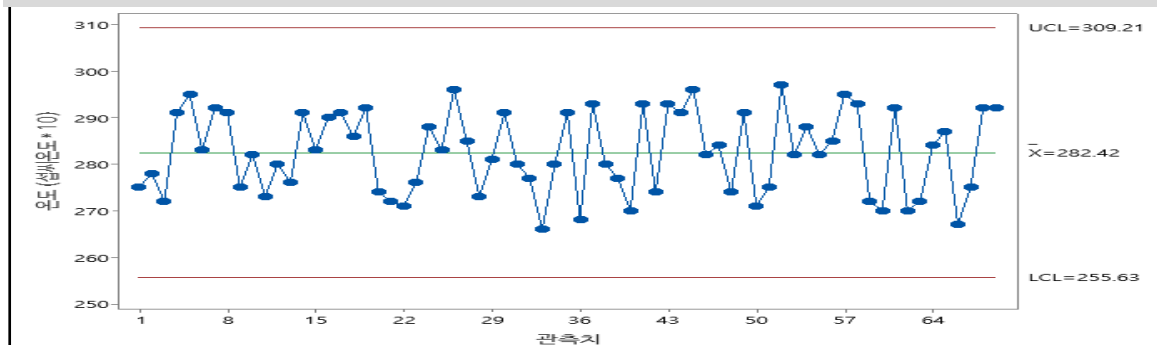
관리 전 충전 4단계의 평균온도 I 관리도



관리 후 충전 1단계의 평균온도 I 관리도



관리 후 충전 4단계의 평균온도 I 관리도



5. 개선안 및 적용 방안 – Pilot 계획

	내용
목적	<ul style="list-style-type: none"> - 개선안 실제 적용을 통한 개선 결과 검증 - 도출된 개선안 중 불량이 최소화되는 최적안을 선정하고, 추가 개선 사항을 도출 - 확대 적용에 필요한 비용을 예측 및 확보하고, 확대 적용함
Pilot 적용 개요	<ul style="list-style-type: none"> - 적용 대상 : 화성공정 중 충·방전공정 (LOT 5개) - 적용 프로세스 : 전체 프로세스 5개 중 2개 (Formation, Power Charging) - 적용 일정 : 2022년 12월 01일 ~ 2022년 12월 14일 (14일) 2022년 12월 18일 ~ 2022년 12월 31일 (14일)
현업 요청 사항	<ul style="list-style-type: none"> - 공장장 : 공정 설비에 개선안 적용 협조 요청 - 공정 엔지니어 : 개선안에 명시된 최적 온도 조정 요청

6. Learned Lesson

송준희 개인 과제를 분석할때는 데이터의 수가 적어서 정제와 분석방안들을 구상하는 것이 쉬웠지만, 데이터의 수가 많아지면서 이상치의 판단 방법과 인사이트 도출 방안들을 생각하는 과정이 어렵게 다가 왔다. 하지만 개인 과제와 달리 팀원들과의 협업을 통해 어려운 문제를 해결해 나가면서 협업의 중요성을 다시 한번 느낄 수 있는 중요한 시간이 되었다.

전현지 이번 프로젝트를 통해, 이전까지 배웠던 내용을 실제 데이터 분석에 적용해 보며 머리 속에 정리 되지 않았던 다양한 분석 개념들을 정리할 수 있었다. 또한, 도메인의 중요성을 다시 한 번 깨닫고 도메인에 대한 깊이 있는 고민을 해 볼 수 있었다. 다양한 사람들과 함께 프로젝트를 하며 한 단계 성장할 수 있었다. 이번 프로젝트를 수행하며 가장 많이 느낀 감정은 감사함이다. 아직 데이터 분석에 미숙해 어려움을 겪었지만, 조원들의 도움 덕분에 프로젝트를 무사히 끝낼 수 있었다. 이 자리를 빌려 조원들에게 진심으로 감사하다고 전하고 싶다.

이현희 처음으로 이론 공부에서 벗어나 실제 데이터를 다루보는 시간이었다. 이번 프로젝트를 통해 다양한 상황에 부딪혀보고 해결해나가면서 데이터를 분석하는 능력도 중요하지만 팀원과 원활히 소통하여 최고의 효율을 끌어올리는 능력 또한 중요하다는 것을 느꼈다. 팀원들과 협의하면서 의견을 조율하고 의견 차이를 줄이는 방법에 대해서 많이 생각해 볼 수 있던 시간이었다.

김우영 실제 현업에서 사용하는 데이터를 활용하여 빅데이터 프로젝트를 진행해서 매우 유익한 경험이었습니다. 데이터 분석에 앞서서 도메인 지식의 중요성을 알았고, 2차전지라는 접해보지 못했던 주제를 다루면서 정말 많은 공부를 할 수 있었습니다. 마지막으로 팀원들이 없었더라면 시도조차 할 수 없었을 것 같습니다. 서로 의견을 나누고 고민하면서 성장했고, 효율적인 분업과 팀워크를 통해 빠르고 정확한 분석을 할 수 있었습니다. 감사합니다.

신하나 제조업은 공정 단계별로 진행되기 때문에 공정 순서를 파악하면서 데이터를 분석해야 하고, 설비 구조에 따라 1차원의 데이터를 3차원으로 해석하는 법을 배웠습니다. 이번 프로젝트의 주제가 난이도가 높았지만 조원들이 있었기에 잘 마칠 수 있었습니다. 다양한 배경을 가진 조원들과 함께 팀프로젝트를 하면서 시너지 효과를 느낀 소중한 시간이었습니다.

장수명 본 프로젝트를 통해 학습한 내용을 종합적으로 이해하고 유기적으로 응용하면서 문제를 분석하고 설계하는 능력을 키울 수 있었습니다. 정제되지 않은, 실무에서 쓰이는 실제 데이터를 다루면서 실제 세계에서는 양질의 데이터만 존재하지 않는다는 점을 다시금 체감했습니다. 무엇보다도, 매일 진행되는 팀 회의, 교수님과의 팀 코칭, 다른 조원들과의 프로젝트 진행 내용을 공유하면서 협업을 통해 더 큰 성과를 만들어 낼 수 있음을 배웠습니다.

고다영 이번 빅데이터 기간을 통해 스스로 많이 성장할 수 있는 시간이었다. 특히 교육 이전에는 데이터 분석이 단순히 코딩을 잘하고 여러 분석 기법을 잘 적용하는 것이 중요하다고 생각했었는데 프로젝트 기간을 거치면서 스토리텔링 능력과 주어진 데이터로 다양한 인사이트를 발굴해내는 것이 진짜 중요한 것이라는 걸 알았다. 그런 의미에서 조원들과 하루 종일 프로젝트에 대해 고민하고 머리를 맞댔던 기억은 프로젝트 이후에도 계속해서 기억날만큼 즐거웠던 시간이었다. 앞으로도 성장해가면서 지금의 열정을 기억해가는 모두가 되기를

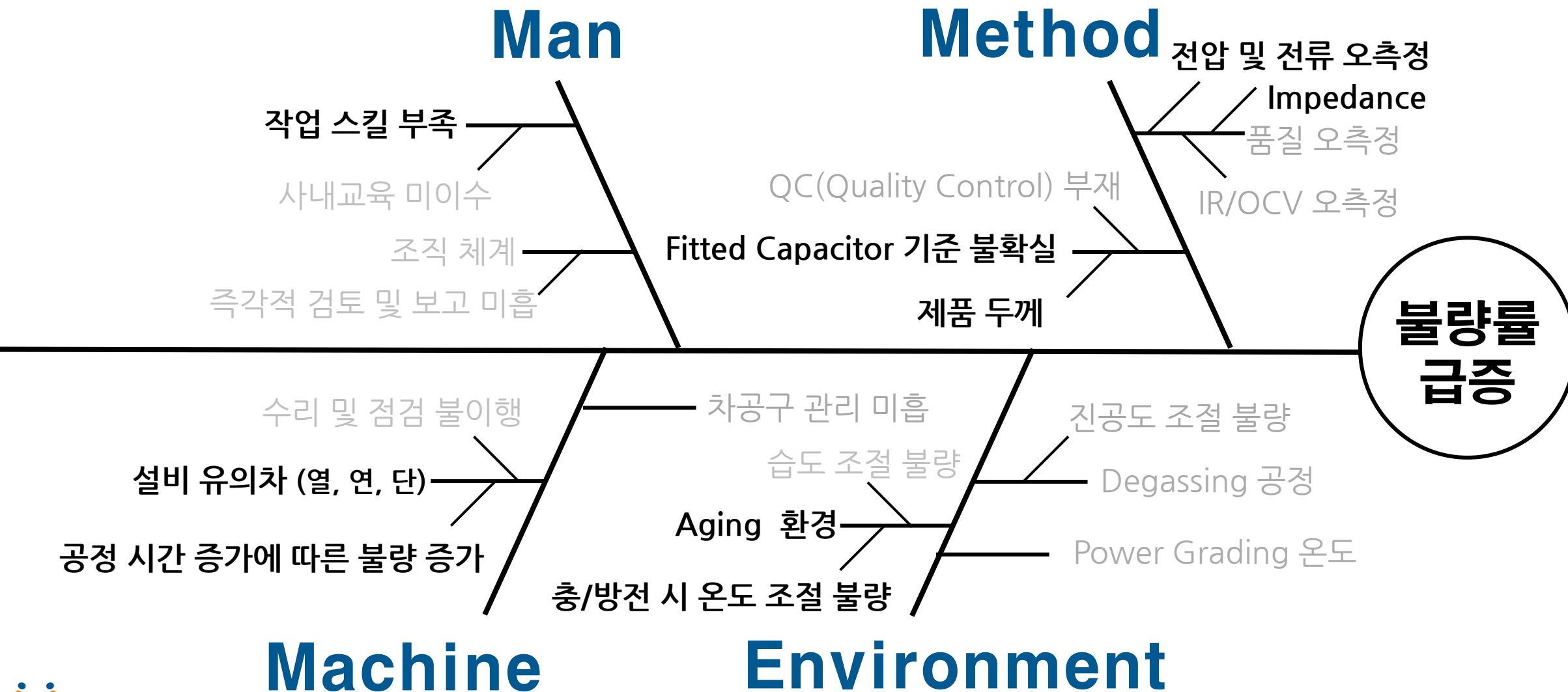
청년 AI·Big Data 아카데미

감사합니다.

포유드

APPENDIX

잠재원인 도출



조사내용 사례

불량률 개선에 영향을 미치는 잠재원인을 분석하기 위해 조사가 필요한 자료를 검토하였다.

잠재원인	조사 대상	자료 출처
Aging 시간	Aging 세부 공정별 평균시간	K-cell DB 활용 (이차전지 공정별 작업 조건 정보)
충/방전 온도	Formation 세부 공정별 평균온도	K-cell DB 활용 (이차전지 공정별 작업 조건 정보)
설비 유의차(열, 연, 단)	공정과정에서 각 cell의 위치	K-cell DB 활용 (이차전지 공정별 작업 설비 정보)
배터리 전기적 특성 측정의 오류	배터리의 전류, 전압, 용량, 임피던스 측정 결과	K-cell DB 활용 (이차전지 공정별 작업 측정 정보)
공정시간 증가에 따른 용량 감소	배터리 공정의 소요시간	K-cell DB 활용 (이차전지 공정별 작업시간 정보)

데이터 수집 계획

잠재 원인	데이터 명	속성	발생 주기	수집방법	담당자	수집 가능성	주요특성
Aging 시간	공정시간 (상온, 고온)	연속형	1초	초시계	송준희	O	자동측정
충/방전 온도	평균온도 (충전, 방전)	연속형	1초	온도계	전현지	O	자동측정
설비 유의차(열, 연, 단)	작업BOX (열, 연, 단)	범주형	-	Tray	고다영	O	수동측정
배터리 전기적 특성 측정의 오류	용량 (Formation)	연속형	1초	충방전시험기	이현희	O	자동측정
	평균 전압 (Formation)	연속형	1초	전압측정기	장수명	O	자동측정
	임피던스 (Power Grading, Power Charging)	연속형	1초	임피던스 분석기	김우영	O	자동측정
공정시간 증가에 따른 용량 감소	공정시간	연속형	1초	초시계	신하나	O	자동측정

데이터 항목

공정순서		항목명	의미	속성	공정순서		항목명	의미	속성
기본 항목		lot_id	LOT_ID	문자	5	충전 #1	c1_tat	공정시간	숫자
		tray_id	TRAY_ID	문자			c1_curr_end	종료전류	숫자
		dt_start	작업시작시각	날짜			c1_voltage_avg	평균전압	숫자
		cell_id	CELL_ID	문자			c1_capa	용량	숫자
		judge	판정	문자			c1_ccval	CCVAL	숫자
1	상온 Aging	rta1_tat	공정시간	숫자	6	방전 #1	c1_time_cc	CC시간(초)	숫자
		rta1_cell_no	CELL_NO	숫자			c1_box_col	작업BOX_열	문자
		rta1_box_col	작업BOX_열	문자			c1_box_dan	작업BOX_단	문자
		rta1_box_row	작업BOX_연	문자			c1_temp_avg	평균온도	숫자
		rta1_box_dan	작업BOX_단	문자			dc1_tat	공정시간	숫자
2	고온 Aging	hta1_tat	공정시간	숫자	7	충전 #2	dc1_curr_end	종료전류	숫자
		hta1_box_col	작업BOX_열	문자			dc1_voltage_avg	평균전압	숫자
		hta1_box_row	작업BOX_연	문자			dc1_capa	용량	숫자
		hta1_box_dan	작업BOX_단	문자			dc1_box_col	작업BOX_열	문자
3	상온 Aging	rta2_tat	공정시간	숫자			dc1_box_dan	작업BOX_단	문자
		rta2_box_col	작업BOX_열	문자			dc1_temp_avg	평균온도	숫자
		rta2_box_row	작업BOX_연	문자			dc1_capafit	FITTED용량	숫자
		rta2_box_dan	작업BOX_단	문자			c2_tat	공정시간	숫자
4	OCV #1	ocv1_tat	공정시간	숫자	7	충전 #2	c2_curr_end	종료전류	숫자
		ocv1_ocv	OCV	문자			c2_voltage_avg	평균전압	숫자
		ocv1_box_col	작업BOX_열	문자			c2_capa	용량	숫자
		ocv1_box_dan	작업BOX_단	문자			c2_ccval	CCVAL	숫자

데이터 항목

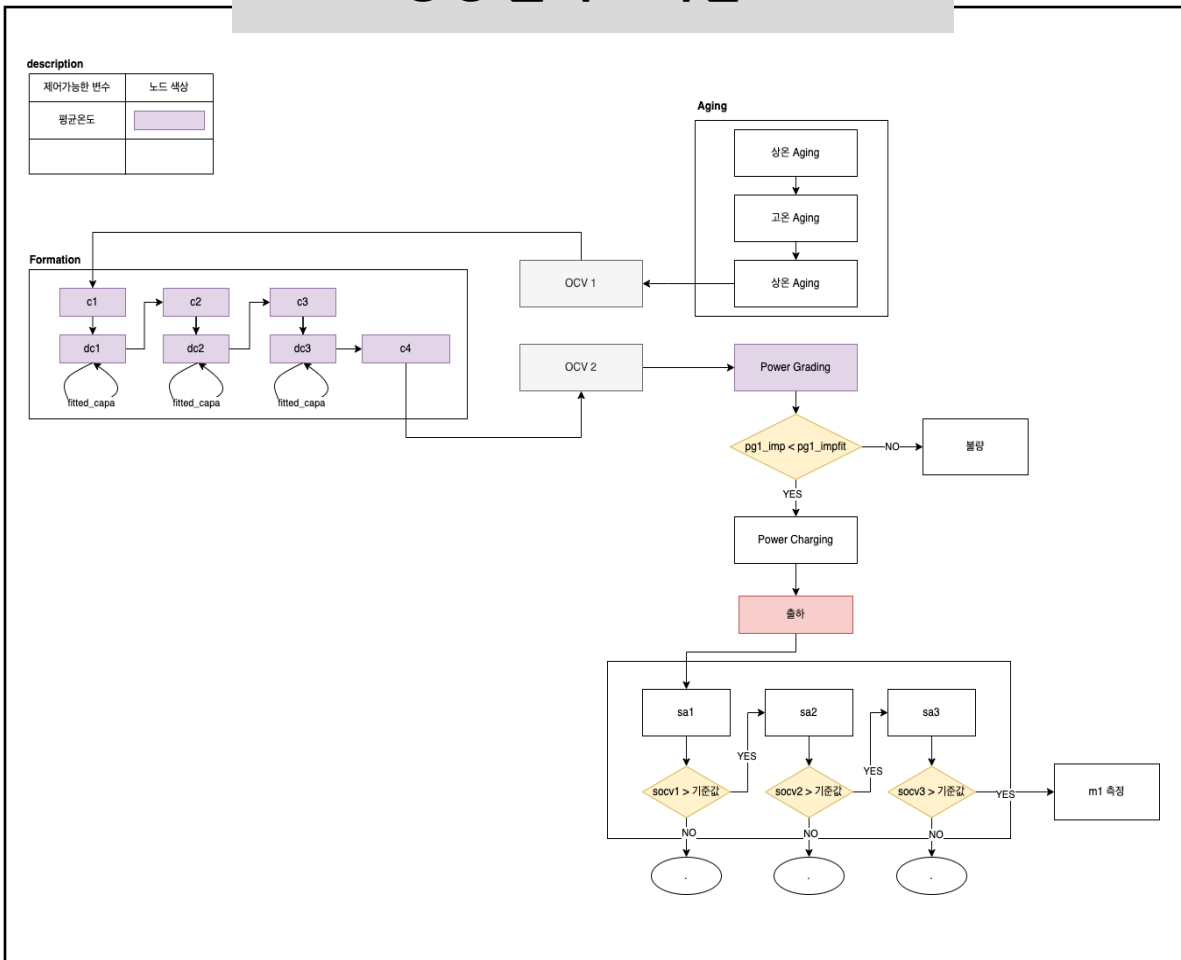
공정 순서		항목명	의미	속성	공정 순서		항목명	의미	속성
		c2_time_cc	CC시간(초)	숫자	10	방전 #3	c3_temp_avg	평균온도	숫자
		c2_box_col	작업BOX_열	문자			dc3_tat	공정시간	숫자
		c2_box_dan	작업BOX_단	문자			dc3_curr_end	종료전류	숫자
		c2_temp_avg	평균온도	숫자			dc3_voltage_avg	평균전압	숫자
8	방전 #2	dc2_tat	공정시간	숫자	10	방전 #3	dc3_capa	용량	숫자
		dc2_curr_end	종료전류	숫자			dc3_box_col	작업BOX_열	문자
		dc2_voltage_avg	평균전압	숫자			dc3_box_dan	작업BOX_단	문자
		dc2_capa	용량	숫자			dc3_temp_avg	평균온도	숫자
		dc2_box_col	작업BOX_열	문자			dc3_capafit	FITTED용량	숫자
		dc2_box_dan	작업BOX_단	문자			c4_tat	공정시간	숫자
		dc2_temp_avg	평균온도	숫자			c4_curr_end	종료전류	숫자
		dc2_capafit	FITTED용량	숫자			c4_voltage_avg	평균전압	숫자
9	충전 #3	c3_tat	공정시간	숫자	11	충전 #4	c4_capa	용량	숫자
		c3_curr_end	종료전류	숫자			c4_ccval	CCVAL	숫자
		c3_voltage_avg	평균전압	숫자			c4_time_cv	CV시간(초)	숫자
		c3_capa	용량	숫자			c4_cvval	CVVAL	숫자
		c3_ccval	CCVAL	숫자			c4_time_cc	CC시간(초)	숫자
		c3_time_cv	CV시간(초)	숫자			c4_box_col	작업BOX_열	문자
		c3_cvval	CVVAL	숫자			c4_box_dan	작업BOX_단	문자
		c3_time_cc	CC시간(초)	숫자			c4_temp_avg	평균온도	숫자
		c3_box_col	작업BOX_열	문자					
		c3_box_dan	작업BOX_단	문자					

데이터 항목

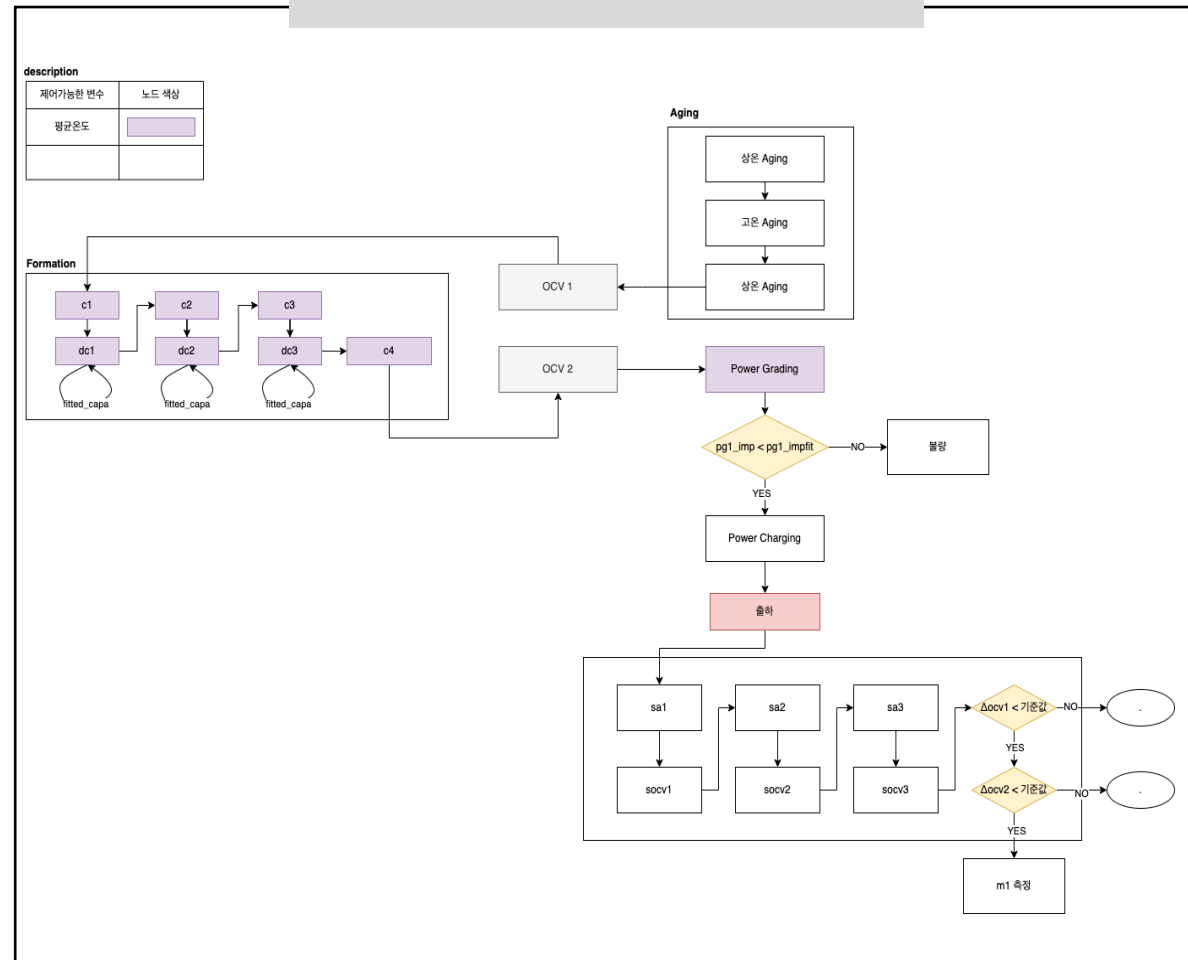
공정순서		항목명	의미	속성	공정순서		항목명	의미	속성		
12	OCV #2	ocv2_tat	공정시간	숫자	16	전용 OCV #1	socv1_tat	공정시간	숫자		
		ocv2_ocv	OCV	숫자			socv1_ocv	OCV	숫자		
		ocv2_box_col	작업BOX_열	문자	17	출하 Aging #2	sa2_tat	공정시간	숫자		
		ocv2_box_dan	작업BOX_단	문자			sa2_box_col	작업BOX_열	문자		
13	Power Grading	pg1_tat	공정시간	숫자			18	전용 OCV #2	sa2_box_row	작업BOX_연	문자
		pg1_impfit	Fitted IMP	숫자					sa2_box_dan	작업BOX_단	문자
		pg1_imp	IMP	숫자	socv2_tat	공정시간	숫자				
		pg1_voltage_start	시작전압	숫자	socv2_ocv	OCV	숫자				
		pg1_curr_end	종료전류	숫자	19	출하 Aging #3	sa3_tat	공정시간	숫자		
		pg1_box_col	작업BOX_열	문자			sa3_box_col	작업BOX_열	문자		
		pg1_box_dan	작업BOX_단	문자			sa3_box_row	작업BOX_연	문자		
		pg1_temp_avg	평균온도	숫자			sa3_box_dan	작업BOX_단	문자		
14	Power Charging	pc1_tat	공정시간	숫자	20	전용 OCV #3	socv3_tat	공정시간	숫자		
		pc1_imp	IMP	숫자			socv3_ocv	OCV	숫자		
		pc1_voltage_start	시작전압	숫자	△ OCV	sa4_tat	공정시간	숫자			
		pc1_curr_end	종료전류	숫자		ocv2_deltaocv	DELTAOCV	숫자			
		pc1_box_col	작업BOX_열	문자		ocv1_deltaocv	DELTAOCV	숫자			
		pc1_box_dan	작업BOX_단	문자		m1_thick	두께	숫자			
15	출하 Aging #1	sa1_tat	공정시간	숫자	22	특성 측정	m1_voltage	전압	숫자		
		sa1_box_col	작업BOX_열	문자			m1_res_ac	AC절연저항	숫자		
		sa1_box_row	작업BOX_연	문자			m1_mv	mV/day	숫자		
		sa1_box_dan	작업BOX_단	문자			m1_voltage_an	AN절연전압	숫자		

공정순서도

공정 순서도 가설 1

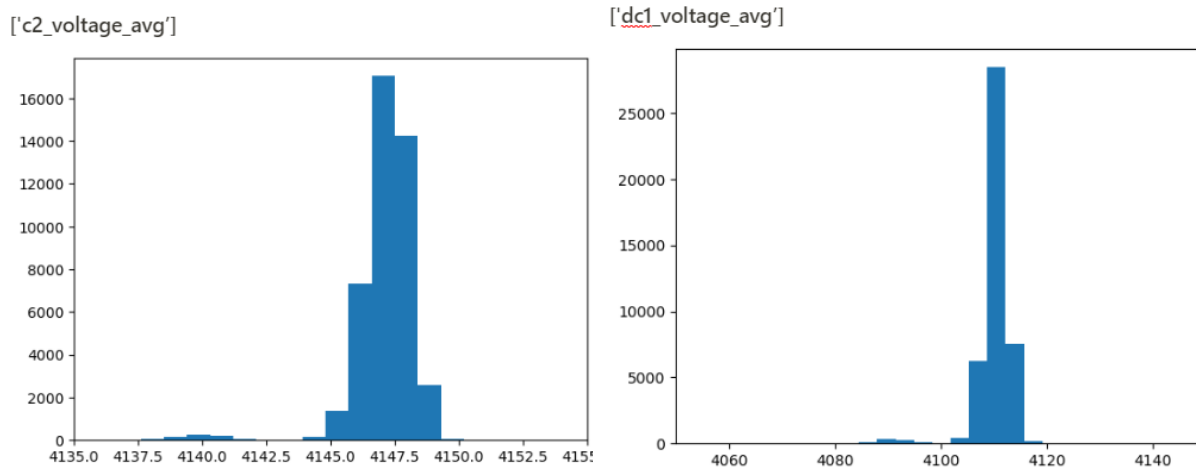


공정 순서도 가설 2



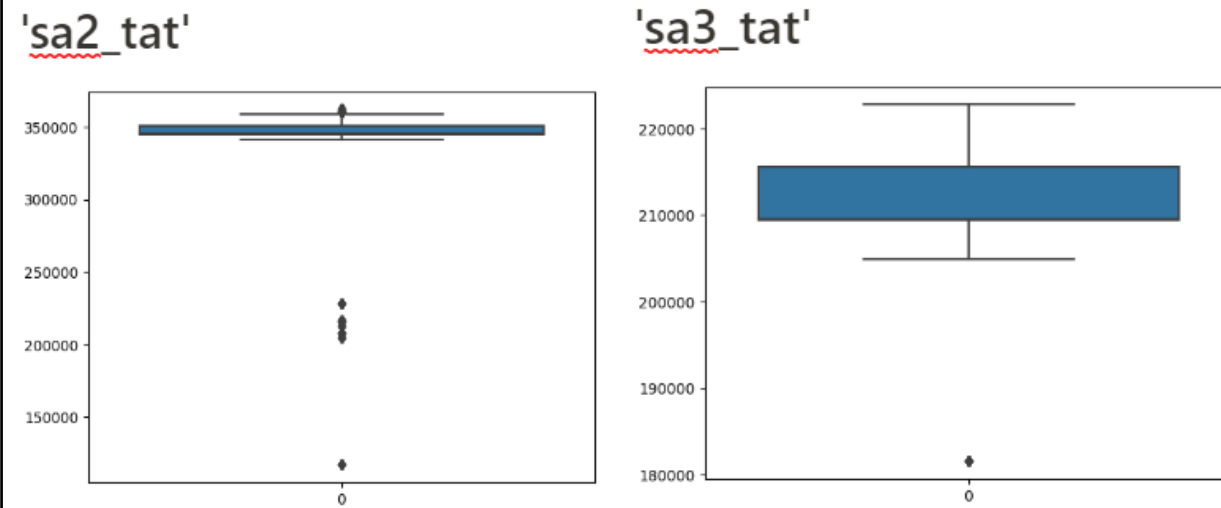
이상치

Process data 시각화



평균 전압 변수에서 이상치를 발견했으나,
이는 정상 전압 범위 안의 값이므로 제거하지 않았다.
이외의 이상치는 존재하지 않았다.

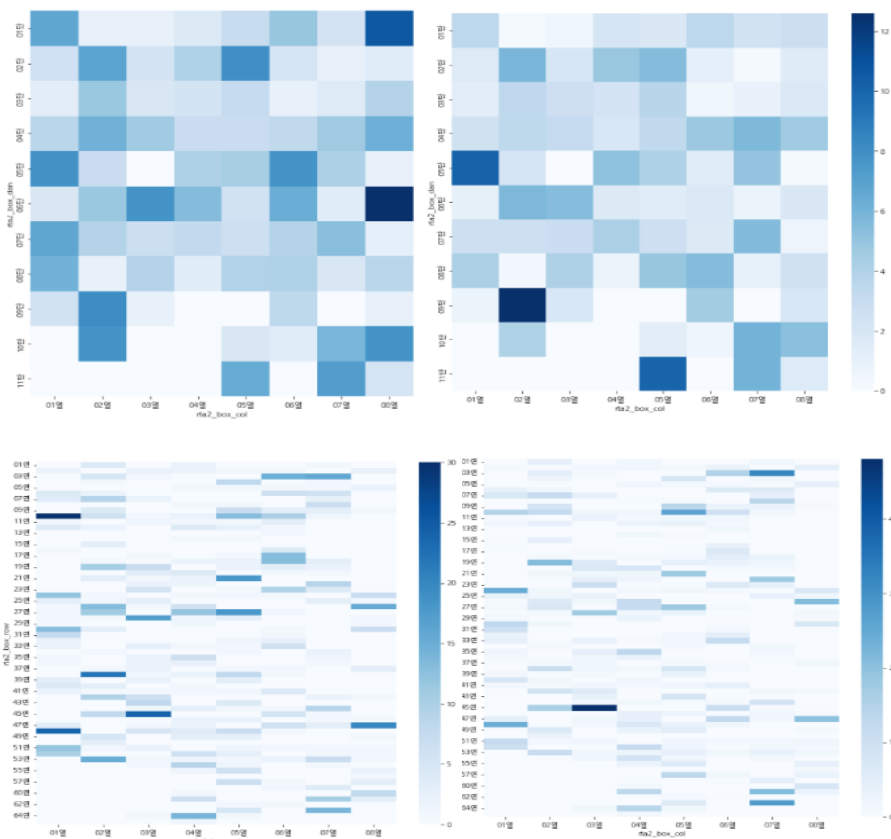
Tat data 시각화



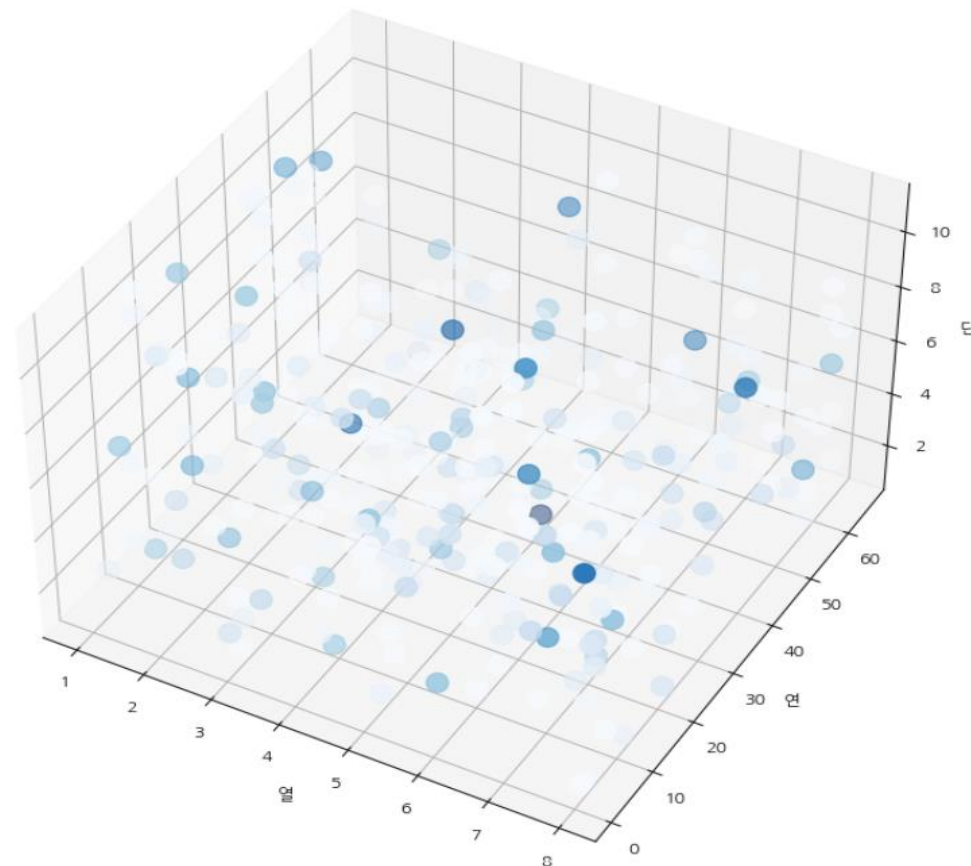
Boxplot을 통해 시각화를 한 결과,
Sa2_tat, sa3_tat 변수에 이상치를 발견하여 제거했다.

설비 위치별 불량 파악

설비위치별 불량 파악



열,연,단 불량률 3d plot



가설 검정 – Chi Square, ANOVA분석

Chi Square test

행 레이블	불량	기대치	검정통계량	양품	기대치	검정통계량	총합계		
01월	54	56.568	0.117	1757	1754.432	0.004	1811	불량 p-value	4.4191E-134
02월	67	62.472	0.328	1933	1937.528	0.011	2000	양품 p-value	0.37173852
03월	63	47.822	4.817	1468	1483.178	0.155	1531		
04월	20	35.109	6.502	1104	1088.891	0.210	1124		
05월	42	47.416	0.619	1476	1470.584	0.020	1518		
06월	14	52.914	28.618	1680	1641.086	0.923	1694		
07월	68	63.971	0.254	1980	1984.029	0.008	2048		
08월	37	61.597	9.822	1935	1910.403	0.317	1972		
09월	19	54.382	23.020	1722	1686.618	0.742	1741		
10월	24	55.912	18.214	1766	1734.088	0.587	1790		
11월	64	65.252	0.024	2025	2023.748	0.001	2089		
12월	64	63.315	0.007	1963	1963.685	0.000	2027		
13월	23	63.128	25.508	1998	1957.872	0.822	2021		
14월	86	61.753	9.520	1891	1915.247	0.307	1977		
15월	25	52.601	14.483	1659	1631.399	0.467	1684		
16월	77	59.254	5.314	1820	1837.746	0.171	1897		
17월	25	58.505	19.188	1848	1814.495	0.619	1873		
18월	17	58.786	29.702	1865	1823.214	0.958	1882		
19월	48	69.344	6.569	2172	2150.656	0.212	2220		
20월	65	70.031	0.361	2177	2171.969	0.012	2242		
21월	123	61.566	61.303	1848	1909.434	1.977	1971		
22월	286	89.303	433.238	2573	2769.697	13.969	2859		
총합계	1311		697.528	40660		22.490	41971		

카이제곱 검정(단)

단	불량	기대치	검정통계량	양품	검정통계량	기대치	합계		
01단	147	54.91263015	154.4286563	1611	1703.08737	4.979241721	1758	불량 p-value	1.13877E-51
02단	167	129.2227252	11.04389718	3970	4007.777275	0.356088273	4137	양품 p-value	1.8285E-104
03단	136	117.9465822	2.763334805	3640	4007.777275	33.74941135	3776		
04단	144	143.1226799	0.005377837	4438	3658.053418	166.2951853	4582		
05단	156	142.685378	1.242447975	4412	4438.87732	0.162741676	4568		
06단	66	124.9746492	27.829718	3935	4425.314622	54.32572576	4001		
07단	76	142.4354912	30.98718199	4484	3876.025351	95.36397226	4560		
08단	90	116.0099593	5.831550885	3624	4417.564509	142.5547105	3714		
09단	72	113.6985061	15.29277271	3568	3597.990041	0.249973606	3640		
10단	96	108.9506564	1.539407901	3392	3526.301494	5.114960049	3488		
11단	161	117.0407424	16.51062944	3586	3379.049344	12.67474068	3747		
총합계	1311		267.474975	40660		515.8267512	41971		

ANOVA

ANOVA(단)

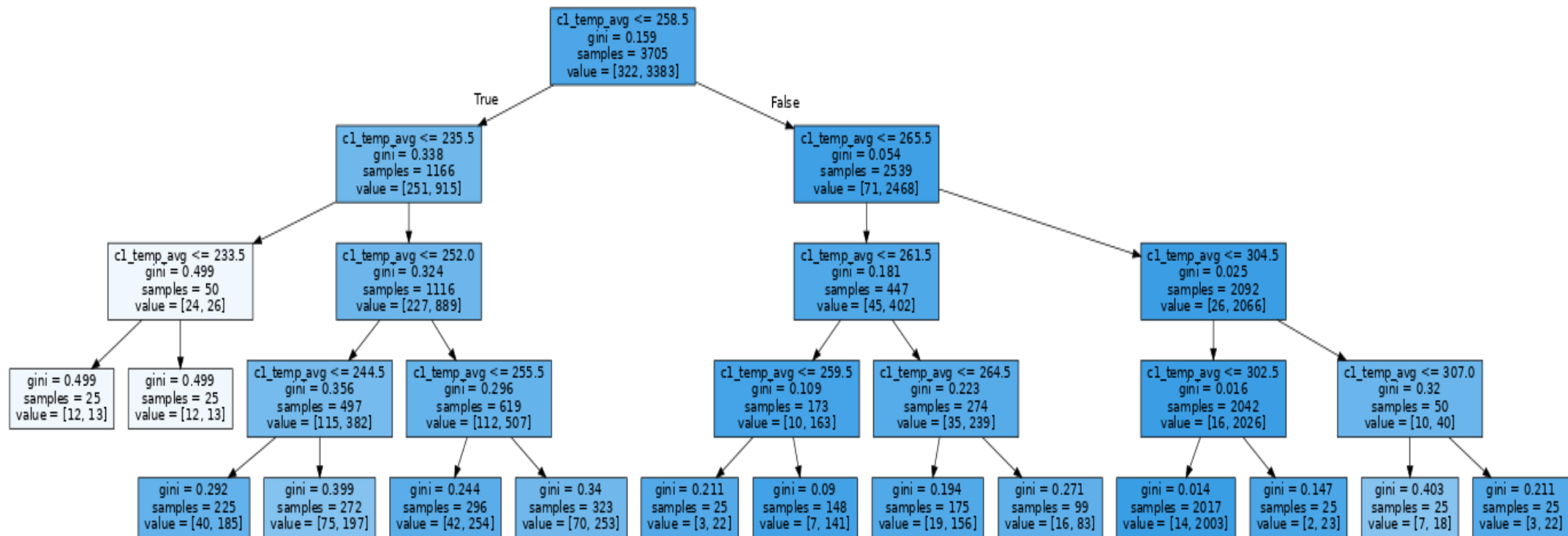
분산 분석						
변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	279887.8	10	27988.78	6.379956	1.2E-08	1.872211
잔차	1004620	229	4386.986			
계	1284507	239				

ANOVA(월)

분산 분석						
변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처리	207324	21	9872.573	1.998008	0.007422	1.604601
잔차	1077183	218	4941.209			
계	1284507	239				

DT를 이용한 최적 조건 도출

총전 1단계 Decision Tree



DT를 이용한 최적 조건 도출

방전 2단계 Decision Tree

