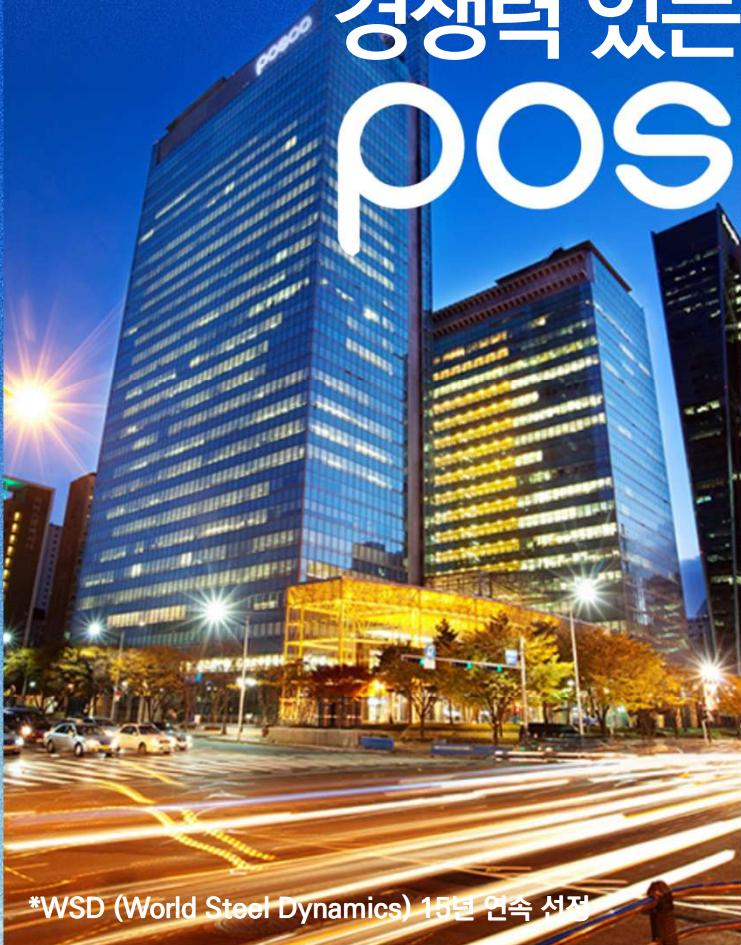


# STS304 M형 결함 Vital Few 도출 및 최적화를 통한 Zero-Defect화

# Contents

- 001 기업 소개
- 011 추진 배경
- 021 현상 및 개선기회
- 031 분석 계획
- 041 분석 결과
- 051 개선안 및 적용 방안
- 061 Learned Lesson
- 071 참조

\*세계에서 가장  
경쟁력 있는 철강사.  
**POSCO**



\*WSD (World Steel Dynamics) 15년 연속 선정



00 기업 소개

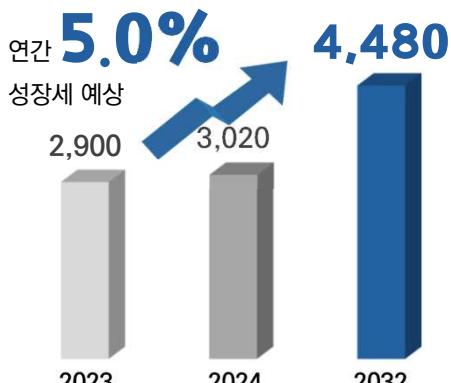
# 01 추진배경

최근 자사 제품의 ‘M형 결함’이 급증하여 당사 수익 및 신뢰도에 심각한 악영향 발생→경영 리스크 선제적 차단 및 품질 혁신 시급

## 글로벌 스테인리스강 업계 추세

### 글로벌 스테인리스강 시장 성장세

단위: 조 원

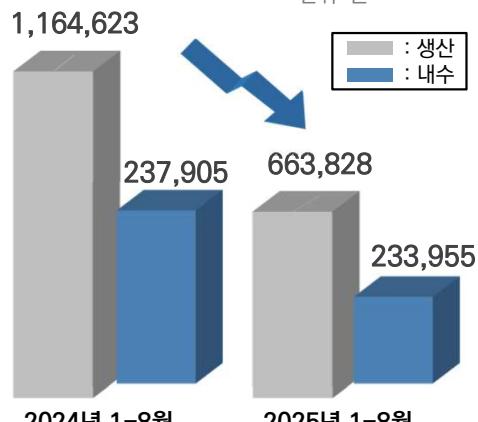


▲Fortune Business Insights

## 국내 스테인리스강 업계 현황

### 생산 및 내수 추이

단위: 톤

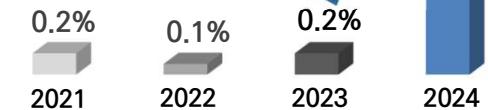


▲한국철강협회 통계

## 급증한 자사 제품 불량률

### 연도별 ‘M형 결함률’ 증가

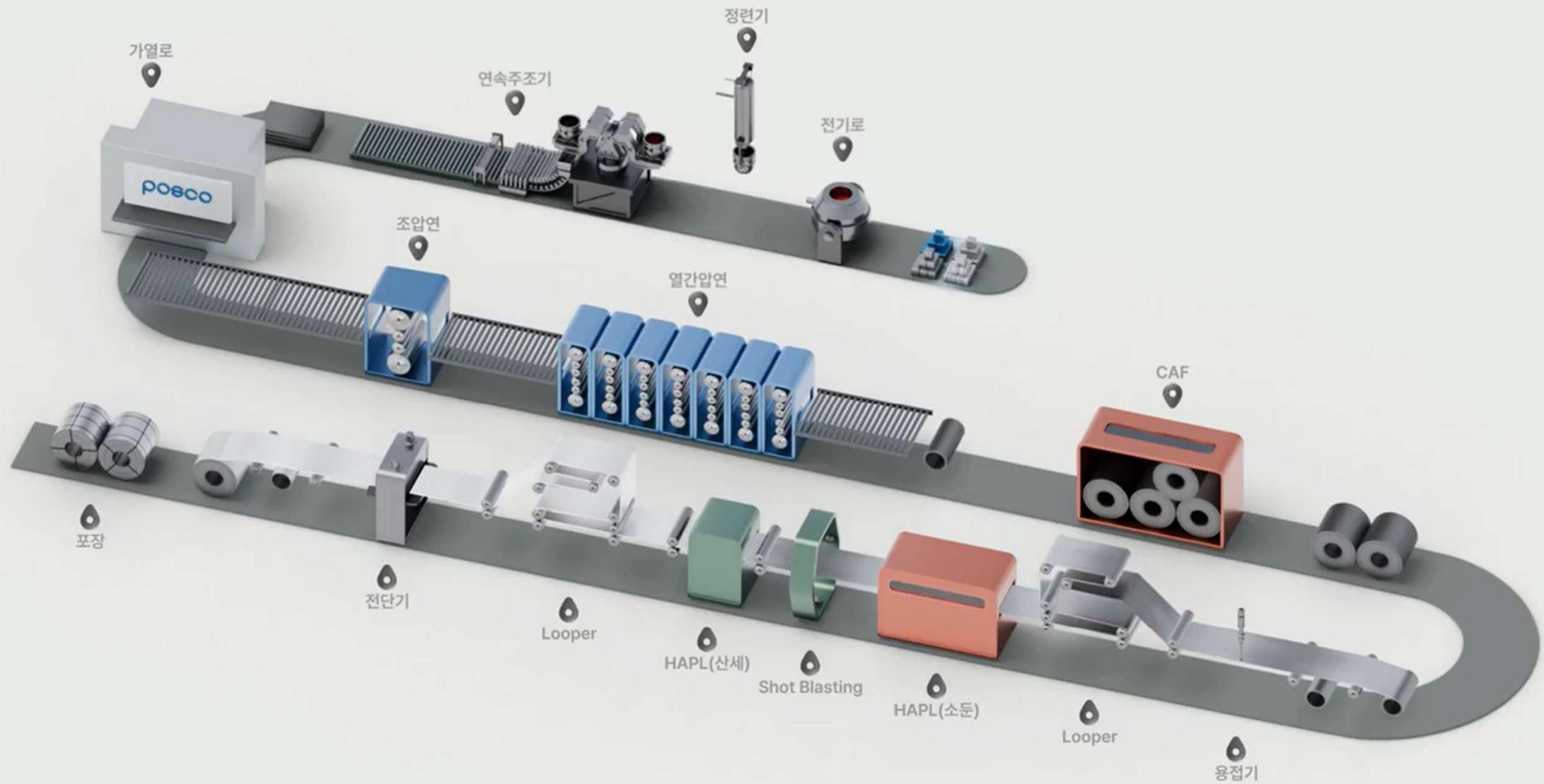
2.7%



- ‘23년 2,900조→**2032년 4,480조** 성장세 예상
- 강한 내구성, 뛰어난 재활용성 및 환경 친화성  
→자동차, 건설 등 **다양한 산업에서 수요 증가** 예상

- 중국발 스테인리스강 공급 → 국내 시장 약세
- 50% 관세 부과 → 업계 불안정성 증가
- 고객사 신뢰도 확립이 중점

- 2024년 **2.7% 수준으로 급증**  
→ 품질검사 및 공정관리 비용 상승
- 제품 신뢰도 하락으로 인한 **경쟁력 감소**



## 02 현상 및 개선 기회

STS304란?

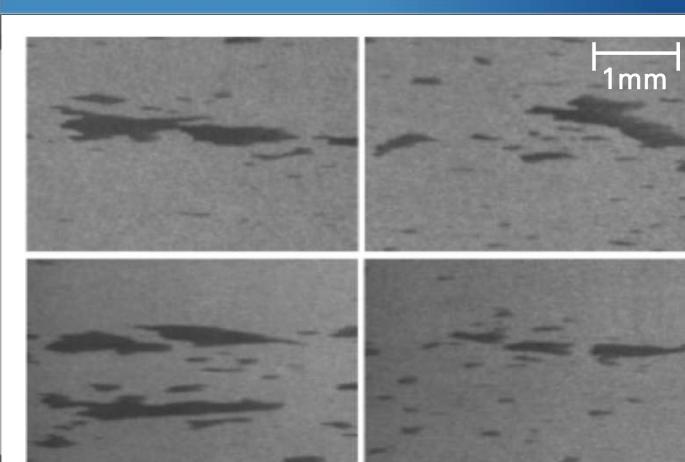


▲ STS 304

(출처: 포스코 포항제철소)

Cr(크롬) 18%, Ni(니켈) 8%, Fe(철)  
합금으로 구성된 오스테나이트계\* 스테인리스강  
주방기기 / 건축자재 / 자동차 부품 등에 사용됨

'M형 결함'이란?



▲ M형 결함

(출처:X-SDD: A New Benchmark for Hot Rolled Steel Strip Surface Defects Detection)

스테인리스강 표면에 발생,  
M자 무늬 음영을 보이는 고질적인 결함

결함 발생 **Mechanism**

공정명	공정 과정
제강	불순물 제거 및 성분 조정 →원하는 화학조성의 용강 생산
연주	용강을 급속 응고 →슬라브(철판 원형태)로 만듦
가열로	슬라브를 약 1,200°C로 가열 →압연 가능 상태로 만듦
압연	가열된 슬라브를 여러 롤로 눌러 두께를 얇게 펌
소둔·산세	열처리로 재결정+표면을 세척함

온도와 화학조성이 중요  
→전 공정별로 결함 발생 요인 분석 필요

\*오스테나이트계란? 상온에서도 부드러운 비자성 스테인리스강

## 02 현상 및 개선 기회

스테인리스강의 'M형 결함' 불량률 개선 후 KPI 성과

2026년까지 불량률 0% 달성을 통한 약 3,000억 원 매출 효과

KPI 산정 방식\* :

( 2024년 포스코 스테인리스강 생산량(175만톤) X 생산 스테인리스강 중 오스테나이트계 비율(70%) X 개선 불량률(2.7%) X 톤당 생산비용(160만원) )  
+ ( 총생산량 X 생산 증대율(12%) X 톤당 생산비용 )

Activity	Output	Goal
공장·공정에 따른 불량현황 조사	공장·공정별 불량률 차이 도출	
'M형 결함'에 미치는 잠재인자 분석	'Vital Few (핵심 원인 인자)' 도출	Q-Cost* 절감을 통한 매출 증대
	최적의 조업 조건 도출	
'M형 결함' 불량 발생 예측 모델 구축	M형 결함 사전 예측을 통한 불량률 저감	

## 02 현상 및 개선 기회

### 과제 수행 목표

KPI	2023	2024	2025	2026.E	누적 합계 (‘24년 대비 25-26년 합계)	비고
매출액 (단위 : 억)	106,825	102,790	103,290	106,000	-	M형 불량률 개선 →신뢰성 확립 →매출액 증대
불량률 (단위 : %)	0.2	2.7	0.2	0	-	
전년대비 매출액 증가 (단위 : 억)	-	-4,035	+500	+2,710	+3,210	

# 03 분석 계획

\* sts\_1sm\_cc : 23,649행 \* 15열 / sts\_2fur\_hr : 23,652행 \* 26열 / sts\_3ap : 23,641행 \* 9열

목적	분석방법	주요 내용	담당자	일정
공장/설비에 따른 불량률 차이 분석	Chi-squared test, Bar plot, Mann-Whitney U-test, KDF	제강/소둔·산세 공장, 소둔·산세 작업조에 따른 불량률 분석	허유진	-11.11
		가열로 호기에 따른 불량률 분석		-11.10
조업 조건에 따른 M형 결함 원인 인자 도출 (Vital Few)	Chi-squared test, Bar plot, Mann-Whitney U-test, KDF, T-test, Welch's T-test	구성원소비, $\delta$ -ferrite 함량, 열원 가스 비율, 용도, Slab Grinding 방법에 따른 불량률 분석	윤영채	-11.10
		가열로 구간별/장입 시 Slab 온도, 가열로 총 체류시간에 따른 불량률 분석		-11.09
		연주-열연 공정 작업 기간에 따른 불량률 분석	이민성	-11.10
Vital Few에 대한 조업 조건 최적화	Decision Tree, XGBoost, LightGBM, RandomForest	M형 결함 불량 발생 예측 모델 생성 (불균형 데이터인 점을 고려하여 SMOTE 기법으로 진행)	홍정택 정주영 유창우	-11.12
Process Control	I- 관리도	Vital Few의 공정 안정성 유지	정주영	-11.12

# 04 분석 결과 - 공장/설비에 따른 불량률 차이 분석

## 〈제강 공장별 불량률〉

Chi-squared test

P-value: 0

2.0 %

1공장

**3.3 %**

2공장

구분	생산량 (단위: 건)
1공장	11,281
2공장	12,355

제강 2공장의 불량률이 1.3%p 높음  
→제강 2공장에 부하가 더 걸림

## 〈소둔·산세 공장별 불량률〉

Chi-squared test

P-value: 0.0019

2.4%

1공장

**3.1%**

2공장

구분	RZ6 생산량 (단위: 건)
1공장	55
2공장	791

소둔·산세 2공장의 불량률이 0.7%p 높음  
→RZ6 제품의 투입이 더 많음

## 〈소둔·산세 공장 근무조별 불량률〉

Chi-squared test

P-value: 0

2.6%

A조

**3.7%**

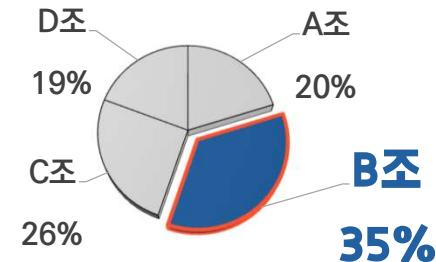
B조

1.7%

C조

2.6%

D조



B조의 불량률이 상대적으로 높음  
→RZ6 제품을 더 많이 작업

## 〈가열로 호기별 불량률〉

Chi-squared test

P-value: 0.002

2.1%

1호기

**2.9%**

2호기

**3.1%**

3호기

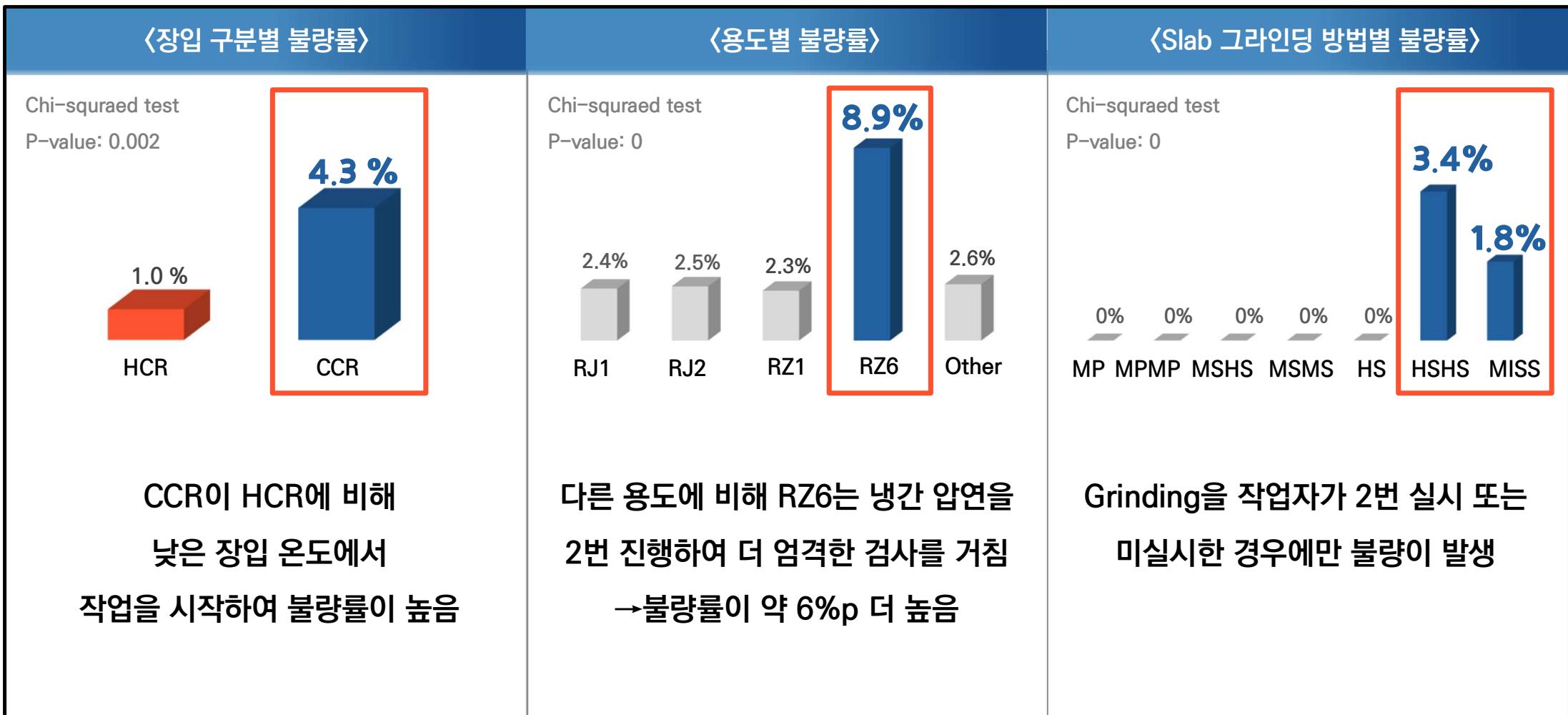
2.5%

4호기

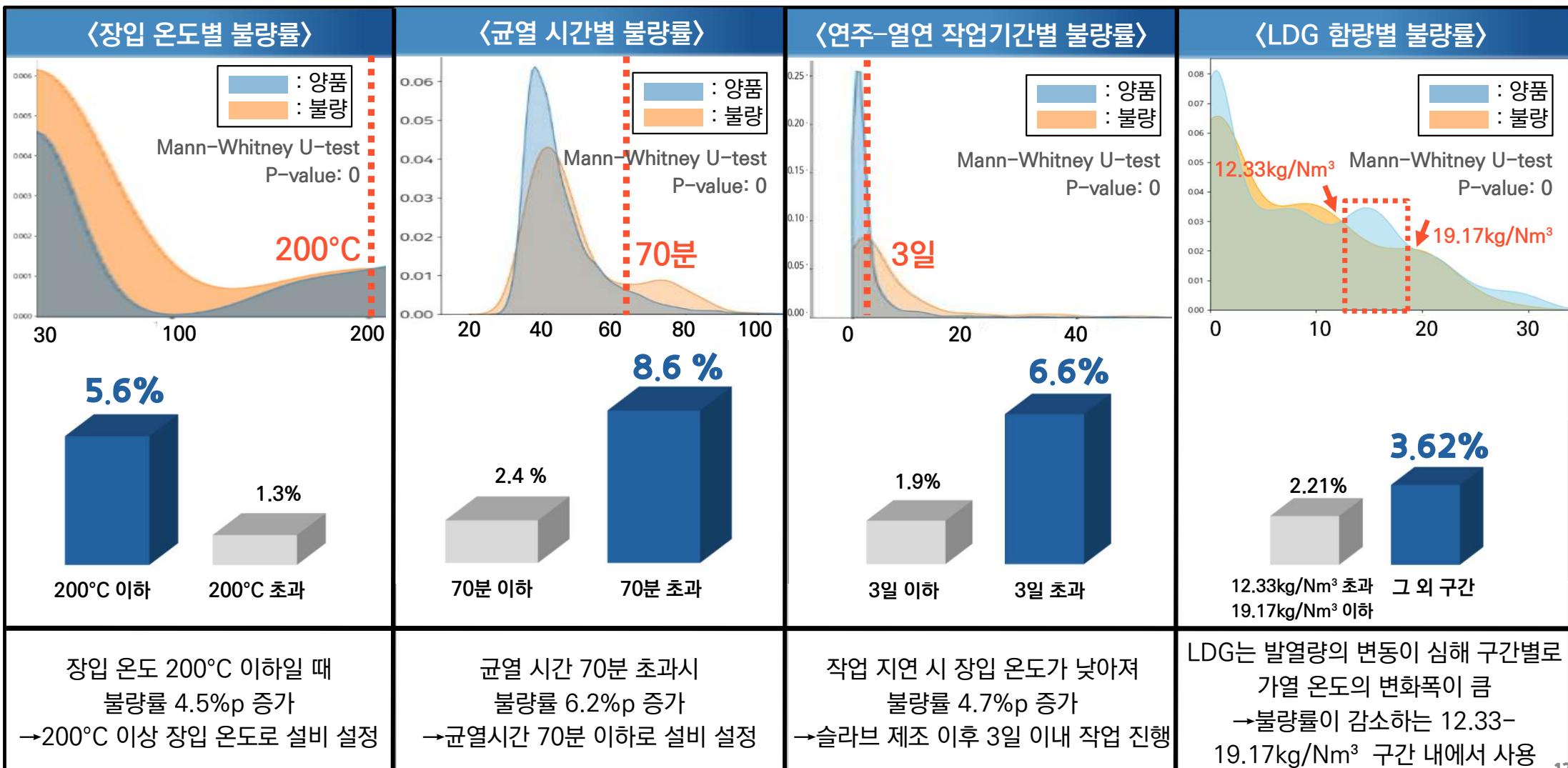


2, 3호기의 불량률이 상대적으로 높음  
→2, 3호기 가열로 점검 필요

## 04 분석 결과 - 원인 인자 및 최적 조업 조건 도출



# 04 분석 결과 - 원인 인자 및 최적 조업 조건 도출



# 04 분석 결과 - 원인 인자 및 최적 조업 조건 도출

## 〈 $\delta$ -ferrite 함량별 불량률〉

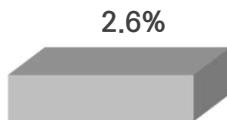
T-test  
P-value: 0.984

통계적으로 유의하지 않으나,  $\delta$ -ferrite 함량 증가는 입계 취성을 증가시켜 M형 결함이 발생

\*포스코, 오스테나이트계 스테인리스강 연주주판의 제조방법, 대한민국 특허 제10-0986908호, 2010.

8.5%

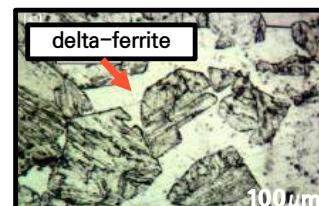
15.5%



8.5% 이하



8.5% 초과



$\delta$ -ferrite 함량이 8.5% 초과일 경우 불량률 급증

→ 함량 비중 관리 필요

## 〈황(S) 함량별 불량률〉

Mann-Whitney U-test  
P-value: 0.36

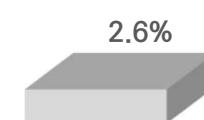
통계적으로 유의하지 않으나, S는 응고되면 입계에 편석되어, 압연 시 빠져나가며 M형 결함이 발생

\*포스코, 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 및 그 제조방법, 대한민국 공개특허 제10-2024-0087433호, 2024.

0.08%



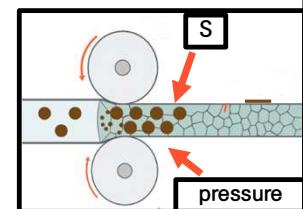
5.9%



0.08% 이하



0.08% 초과



황 함유량 0.08% 초과일 경우 불량률 3.3%p 증가

→ 0.08% 이하로 관리 필요

$\delta$ -ferrite 함량

불량/양품 건수

불량률

S 함량

불량/양품 건수

불량률

8.5% 이하

612/22,871

2.6%

0.08% 이하

615/22,783

2.6%

8.5% 초과

17/136

11%

0.08% 초과

14/224

5.9%

## 04 분석 결과 - Vital Few별 최적 조업 조건 도출

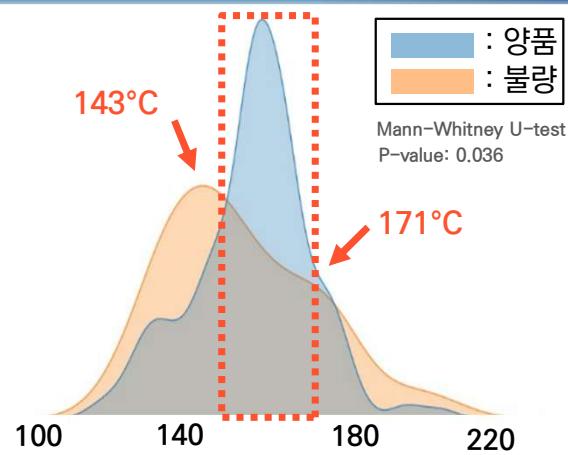
공정	Vital Few	최적 조업 조건	불량률 개선
제강	δ-ferrite 함량	8.5% 이하	
제강 / 연주	황(S) 함량	0.08% 이하	2.7%
열연	장입 온도	200°C 이상	(23,636건 중 629건)
열연	균열 시간	70분 이하	→ 1.09%
연주 / 열연	연주-열연 작업기간	3일 이하	(15,236건 중 166건)

### Beyond Control Features

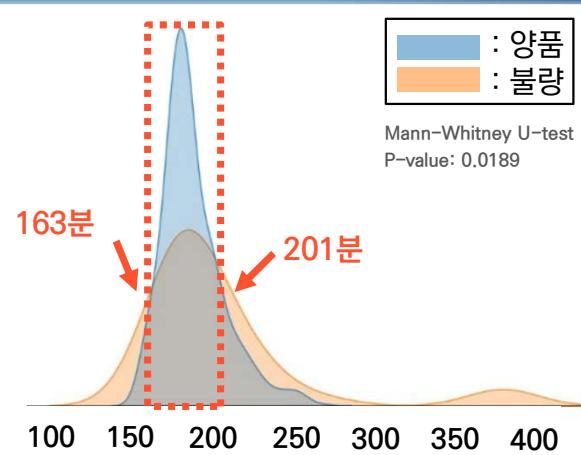
공정	주요 인자	선정 이유
제강	제품 용도	용도에 따라서 불량률 차이가 유의미하므로 선정
열연	CCR / HCR 구분	CCR이 HCR에 비해 불량률 차이가 유의미하므로 선정

# 05 개선안 및 적용 방안 - Deep Insight

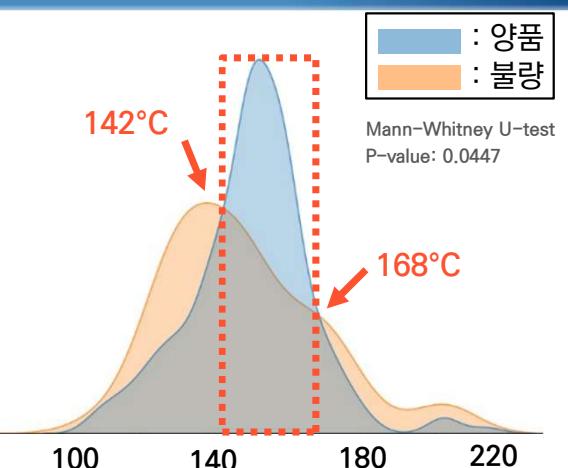
〈예열대 - 가열대 온도차이〉



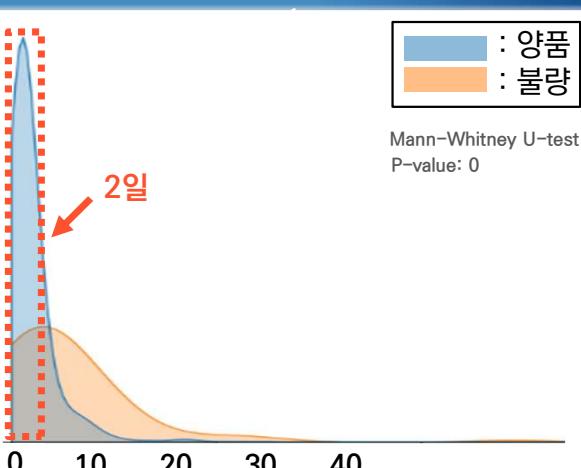
〈가열로 총 체류 시간〉



〈예열대 - 균열대 온도차이〉

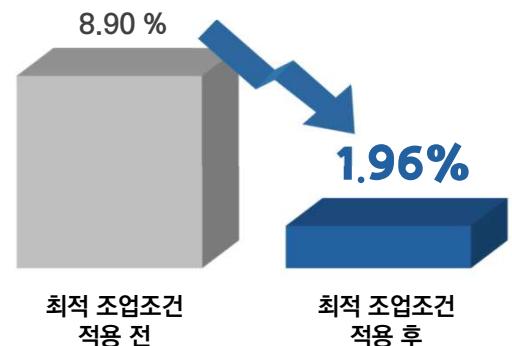
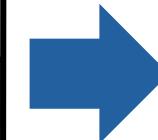


〈연주-열연 작업기간〉



## ‘RZ6’의 최적 조업 조건

예열대-가열대 온도차	143°C ~ 171°C
예열대-균열대 온도차	142°C ~ 168°C
가열로 총 체류 시간	163분 ~ 201분
연주 - 열연 작업기간	2일



# 05 개선안 및 적용 방안 - 불량 예측 모델 구축

## M형 결함 사전 예측을 통한 불량률 저감을 위해 분류 예측 모델 구축

### 모델 성능



▲ 각 모델별 성능지표 및 기타 조건을 고려하여

최종 모델 선택 : LightGBM

### Vital Few 중요도

	LightGBM	XGBoost	Random Forest	Decision Tree
1위	균열 시간	장입 온도	장입 온도	장입 온도
2위	$\delta$ - Ferrite 함량	연주-열연까지 소요일	연주-열연까지 소요일	LDG 가스 함량
3위	장입 온도	균열 시간	균열 시간	균열 시간

- ① 장입 온도    ② 균열 시간    ③ 연주-열연까지 소요일

불량 예측 모델 구축을 통해  
‘M형 결함’ 사전 방지

# 05 개선안 및 적용 방안 - Process Control

- I 관리도(Individual Chart) : 연속형 공정 데이터의 안정성과 순간 이상 변동을 감시하는 데 사용 → 시간 흐름에 따라 변동하는 이상 징후 감시에 적합
- 최적 조건을 반영한 시뮬레이션을 통해 적정 범위 내 유지 관리 시 불량 저감 가능

## Pilot 계획

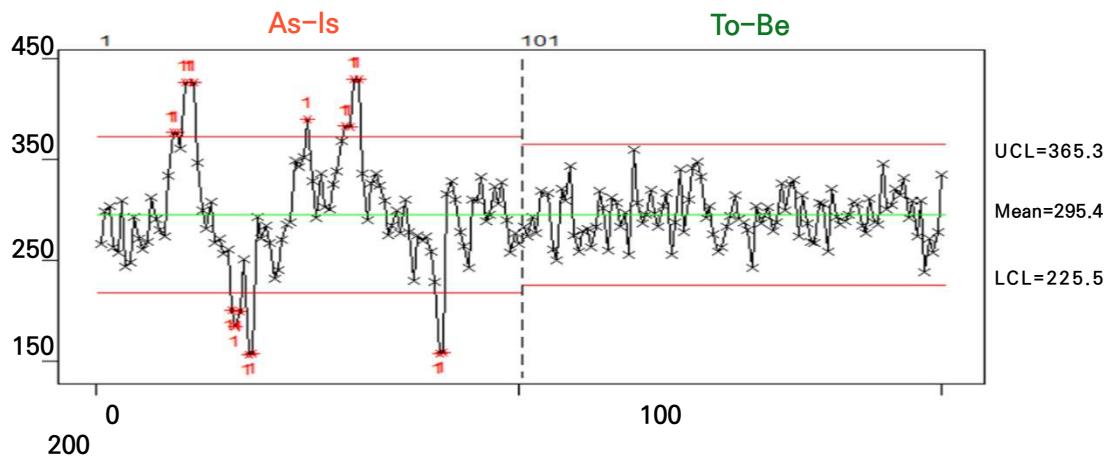
최적 조건을 표준 작업 조건(SOP)으로 표준화해  $3\sigma$  기준 기반의 공정 관리 체계 확립

구분	내용
목적	<ul style="list-style-type: none"><li>장입 온도 공정의 이상 변동 원인 제거 및 안정적 관리 체계 구축</li><li>불량 발생 감소 효과 사전 확인을 통한 유지 관리</li></ul>
Pilot 적용 개요	<ul style="list-style-type: none"><li>적용 대상 공정 : 열연 2공장 가열로 3호기</li><li>적용 일정 :<ul style="list-style-type: none"><li>- 2025.11.13 ~ 2025.11.20</li><li>- 2025.12.15 ~ 2025.12.22</li></ul></li><li>검증 도구 : Mann-Whitney U Test, 관리도</li></ul>
현업 요청 사항	<ul style="list-style-type: none"><li>공장 대표 : 공정 개선안 적용 협조</li><li>공정 엔지니어 : 개선안으로 인한 공정 파라미터 조정 및 모니터링 협조 요청</li><li>시스템파트 : 11월 12월 개선안 적용 공정 데이터 수집 협조</li></ul>

## 공정 모니터링 및 관리 계획

주요 공정 설비 조건은 지속적인 모니터링 필수

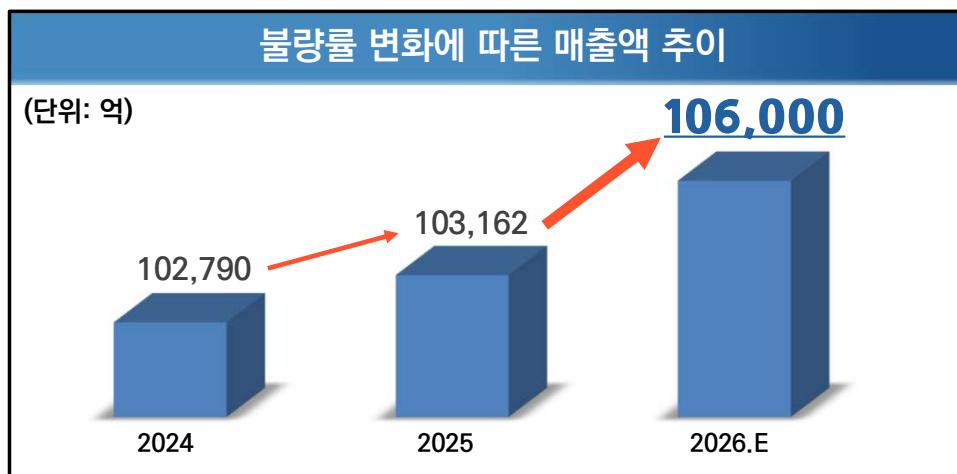
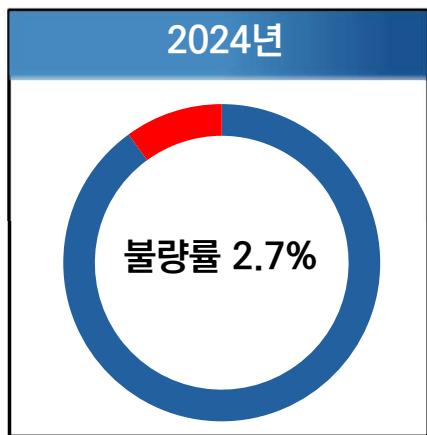
〈슬라브 장입 온도 I Chart〉



도출된 Vital Few를 I 관리도로 현재(As-Is) 변동 파악

→ 개선을 통해 안정 공정(To-Be)으로의 유지 관리

# 05 개선안 및 적용 방안 - 결과



## 개선 현황

- 개선 활동 기간 : 2025.10.13 – 2026.1.13 (3개월)
- 개선 방안 실행  
→ Vital Few에 초점을 맞춘 품질 개선 활동
- 매월 첫 주 Pilot Test 진행 → 지속적인 품질 관리 활동  
→ 불량률 1.09% 달성
- 품질 개선 → 고객사의 긍정적인 반응  
→ 추가 물량 생산 계획 편성
- 불량률(1.09%)은 목표(Defect Zero)에 미치지 못했으나  
지속적인 불량률 개선
- 2026년까지 2차 목표인 불량률 Zero 개선활동 수행

# 06 Learned Lesson



처음 접해보는 분야라 지식을 쌓는 과정이 어려웠지만, 흥미롭게 배웠습니다. 특히, 이전에 잘 정제된 데이터와는 달리, 현장의 데이터를 직접 정제하는 과정은 정말 좋은 경험이 되었습니다. 또 EDA가 얼마나 중요하고 까다로운지를 느꼈습니다. 데이터의 특성과 분석 목적에 따라 다양한 그래프로 시각화 해보면서, 어떤 그래프를 어떻게 활용해야 하는지 많이 배울 수 있었습니다. 그리고 팀 단위의 프로젝트에서 협업과 소통 능력이 얼마나 중요한지 깨닫는 소중한 기회였습니다.

이번 프로젝트를 통해 데이터 전처리의 중요성을 깊이 깨달았습니다. 분석 결과를 이해하기 쉽게 시각화하고 보고하는 전달 역량 또한 중요함을 배웠고, 실제 기업 보고서 작성 방식을 접하는 유익한 기회가 되었습니다. 조원들과 함께해서 프로젝트를 성공적으로 마무리 할 수 있었던 것 같습니다!  
우리 조원들 최고 짱짱♥

하루에 13시간 가량 앉아있는 행위부터 힘들었습니다. 하지만 조원들과 함께 '공동된 목표'로 프로젝트를 진행하니 정말 재밌었습니다. 예민해질 수밖에 없는 상황에서도, 소통을 통해 서로를 이해하고 배려한 조원들에게 감사합니다. 기업에서 진행하는 프로젝트의 표준을 배우는 것이 의미있었지만, 조원들과 협력하여 목표를 달성한 점이 저에게는 큰 의미를 가집니다. 지난 4주간의 빅데이터 기간동안 많이 배웠습니다.

이번 프로젝트를 통해 기업의 실제 프로젝트 진행 방식을 경험해볼 수 있어서 매우 뜻깊었고, 명확한 방향성을 설정하는 것이 성과에 얼마나 큰 영향을 미치는지 깨달았습니다. 아무것도 모르던 갑자기에서 지금 여기까지 성장할 수 있도록 지도해주신 교수님과, 하루종일 붙어있어도 늘 새롭게 배울 점이 생기는 멋진 A3조 팀원들에게 깊은 존경과 감사의 마음을 전하고 싶습니다.



사실 입과 전부터 산업공학 전공자답게 기여할 수 있을까 매일 걱정했습니다(지금도 여전히 ^\_\_^). 다행히 데이터 분석 결과를 기반으로 인사이트를 도출하거나, 이번 프로젝트처럼 품질과 가까운 분야에서는 작은 부분이라도 보탤 수 있어 다행이었습니다. 그러나 우리조원들이 가진 기량에 제가 더 많이 배웠습니다. 프로젝트 외적으로도 조원 모두 인간적으로 멋있다는 생각이 들어 이번 프로젝트 과정까지 너무 감사하고 행복한 순간들이 많았습니다. 사실! 잠 못 자서 진짜 너무 힘들네! 우리조원들이 있어 끝까지 갈 수 있을 거 같습니다. 우리가 가진 전공 지식과 기량이 모여 이런 결과물을 도출할 수 있다는 게 아름답다는 생각이 들기도, 더 겸손하게 낮춰 배울 필요가 있다는 깨달음도 얻었습니다.

남사스러워서 이만 줄입니다. 그냥 우리조 최고야!!!!!!!!!!!!!!



프로젝트가 끝났다고 생각하니 시원섭섭한 마음이 듭니다. 밤새 조원들과 함께 의논하고 고민하며 토론했던 시간들이 떠오르고, 그 순간들이 저에게 큰 의미로 남았습니다.

서로 다른 배경과 색깔을 가진 사람들이 한 팀이 되어 하나의 목표를 향해 나아간 경험, 생소한 도메인 지식을 함께 탐구하며 배워 나간 과정은 값진 시간이었습니다. 힘들 때마다 각자 맡은 역할을 묵묵히 해내는 조원들의 모습을 보며 많은 것을 배웠고,

서로 밀고 끌어주며 건넸던 말과 행동들이 지금 가장 크게 떠오릅니다. 이러한 과정을 겪으며 스스로도 많은 성장을 느낄 수 있었습니다. 같은 데이터를 보고도 서로 다른 결론을 도출하는 모습을 보며 다양한 관점의 중요성을 깨달았고, 예전처럼 추상적으로만 접근하던 방식에서 벗어나 보다 논리적이고 구조적으로 사고할 수 있게 되었습니다.

이번 프로젝트는 단순한 과제가 아니라, 함께 성장하고 변화할 수 있었던 의미 있는 경험이었던 것 같습니다.

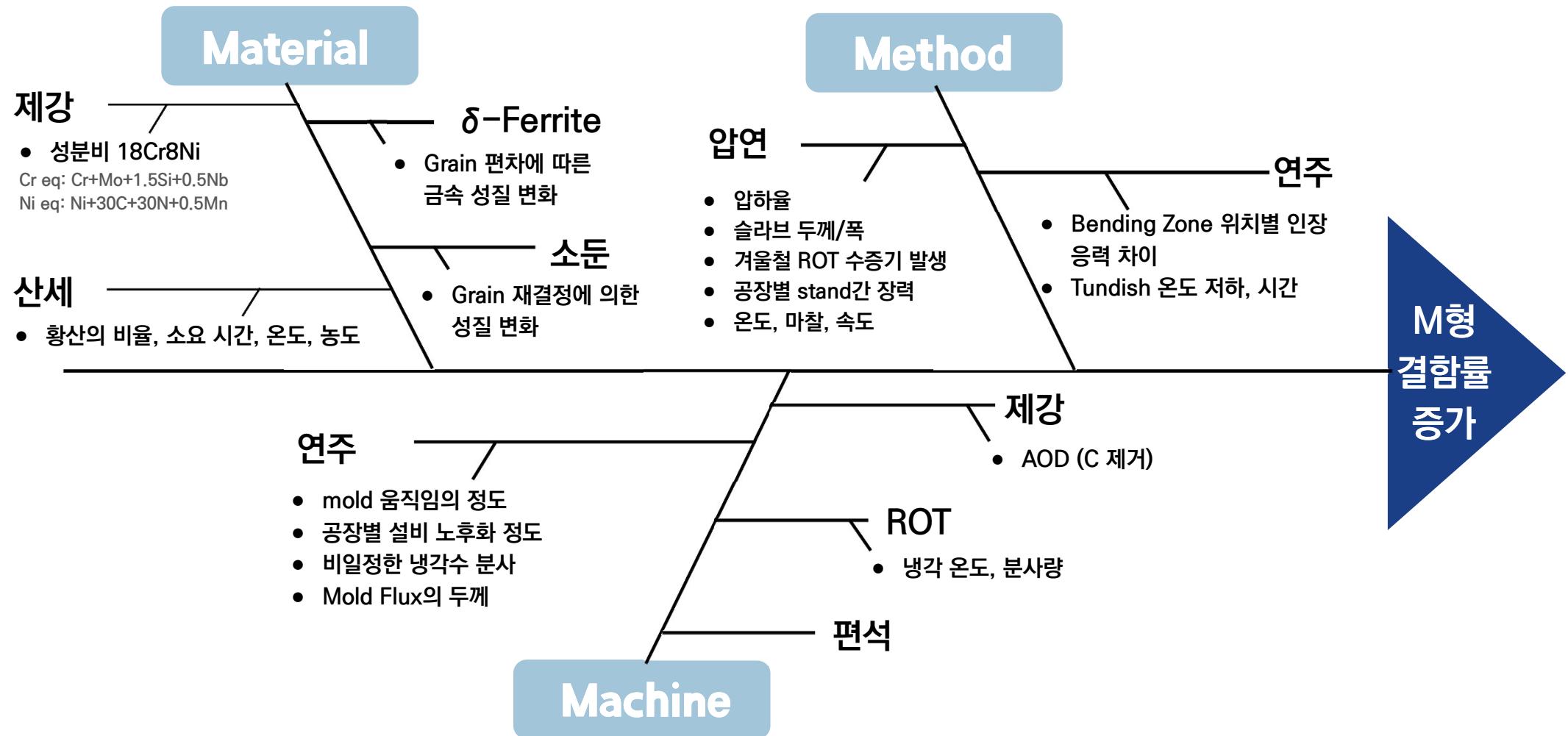


# 참조-참고 문헌

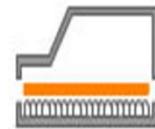
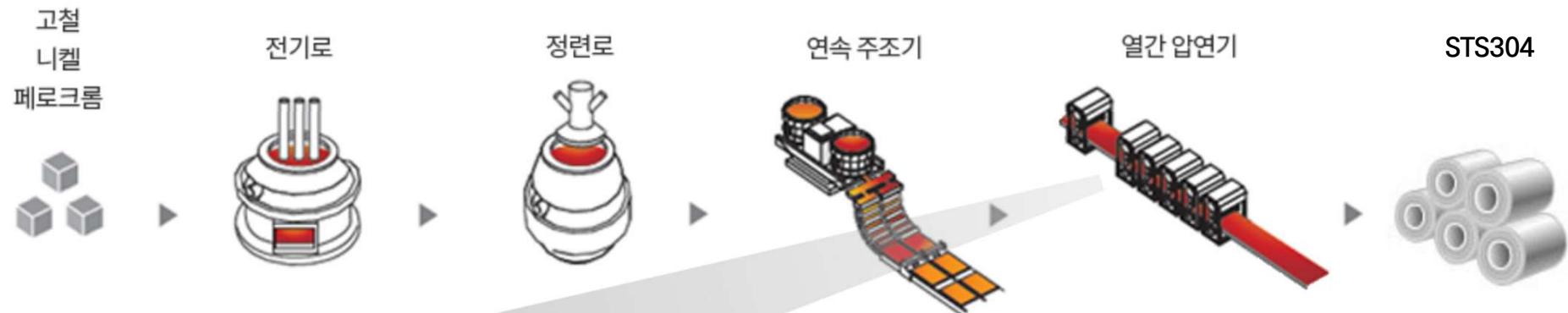
- 한국철강협회 스테인리스스틸클럽. 스테인리스스틸이란?. [http://cs.stainlesssteel.or.kr/contents/sts\\_overview.jsp](http://cs.stainlesssteel.or.kr/contents/sts_overview.jsp)
- Steelmax. STS304, STS316 Similarity, Difference, KS Stainless Steel. Steelmax. <https://steelmax.co.kr/2022/08/18/sts304-sts316-comparison-ks-stainles-steel/>
- DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. (2023.07). 글로벌 스테인리스 스틸 시장 규모, 점유율 및 추세 분석 보고서. Varun Juyal.
- 남기원, (2010.11.03.). 선상흡 발생이 적은 오스테나이트계 스테인리스강의제조방법(10-0993266). 주식회사 포스코
- 포스코, (2021.02.05). 스테인리스강의 표면 결함 제어방법 및 이를 이용하여 제조된 스테인리스강(10-1230216). 주식회사 포스코
- 정대한 외, (2017). STS304의 후열처리에 따른 용접부 미세조직과 기계적 특성 평가. 대한금속·재료학회
- 포스코, (2022). 2022년 버전 스테인리스 카탈로그\_국문\_Rev.1. 포스코.
- SteelDaily, (2022.12.29.). "포스코 광양제철소 2열연공장, 생산성 신기록 달성 ... 4개월 연속 압연피치 단축 성공", <https://www.steeldaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=171511>. 2025.11.12.
- 이성윤, (2002). [학위논문] 연주공정에서 주편의 변형을 고려한 중심편석 예측모델 개발. SCIENCE ON
- Xinglong Feng, (2021). X-SDD: A New Benchmark for Hot Rolled Steel Strip Surface Defects Detection. MDPI
- Zhang Jianbin 외. 「Effect of Heat Treatment on Delta-ferrite and Impact Toughness of P91 steel」. Material Reports.
- K. Sasai et al. ISIJ International, 2018 포스코모빌리티. STS 냉연 생산강종. <https://www.poscomobility.com/resources/file/download.pdf>
- 포스코, 오스테나이트계 스테인리스강 연주주편의 제조방법, 대한민국 특허 제10-0986908호, 2010.
- 포스코, 고강도 오스테나이트계 스테인리스강 및 그 제조방법, 대한민국 공개특허 제10-2024-0087433호, 2024.
- 포스코·RIST, 혼합가스의 발열량 변동 감소를 위한 제철 부생가스의 혼합방법, 대한민국 특허 제10-0703557호, 2007.
- 포스코, (2025). 2025 – 2Q – 반기보고서. <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?rcpNo=20250814002762>

감사합니다.

# 참조- 잠재 원인 우선순위화

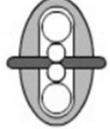


## 02 현상 및 개선 기회 - STS304 제조 프로세스



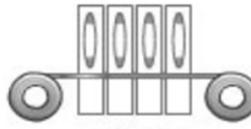
### 가열로

주조된 슬라브를 1,200°C 이상(재결정 온도)으로 다시 가열  
이상(재결정 온도)으로 다시 가열



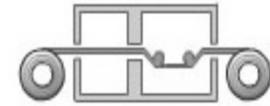
### 조압연

두꺼운 슬라브를 얇게 하여  
기본 모양·길이를 잡아주는 작업



### 사상압연

최종 품질에 맞게  
정교화하는 과정



### 소둔·산세

열처리로 금속을 재결정,  
산으로 표면을 세척



### Grinding· Inspection

표면을 연마하며  
여러 결함을 제거

# 참조- 잠재 원인 우선순위화

## 제강·정련

AOD 추출 가스량/가스비  
용강 온도  
Tundish 온도  
Tundish 체류 시간  
 $\delta$ -Ferrite 함량

## 연속주조

온도, 시간, 편석, 냉각수 분사 불량  
MLAC 정확도, Mold flux 두께  
Slab grinding 방법  
Long Nozzle 깊이, Tundish 폭, 침적 노즐 깊이, Mold 폭

## 압연

예열대/가열대/균열대 온도/시간  
가열로 호기/장입열  
조압연 압하율/폭/온도  
Roll 결함 여부, 2차 냉각 속도  
사상 압연 두께, Slab 폭  
Descaling 횟수

## 소둔·산세

황산 비율, 라인 속도  
AP 두께/폭

## Grinding · Inspection · etc.

Grinding 종류/횟수  
Surface finish 등급  
작업 시간, HR no., 작업 조

# 참조- 잠재 원인 우선순위화

\* 9점 척도: 1(약), 3(중), 9(강) - 최빈값으로 선정

구분	잠재 원인	중요도	분석가능성	합계	선정 여부	구분	잠재 원인	중요도	분석가능성	합계	선정 여부
제강 · 정련	AOD 추출 가스량	9	3	12	0	연속 주조  가열로	Mold 폭	9	9	18	0
	용강 온도	9	9	18	0		예열대 온도	9	9	18	0
	Tundish 온도	9	9	18	0		가열대 온도	9	9	18	0
	Tundish 체류시간	9	9	18	0		균열대 온도	9	9	18	0
	$\delta$ -페라이트 함량	9	3	12	0		예열대 시간	9	9	18	0
연속 주조	온도	9	9	18	0		가열대 시간	9	9	18	0
	시간	9	9	18	0		균열대 시간	9	9	18	0
	편석 여부	9	3	12	0		예열대 시간	9	9	18	0
	냉각수 분사불량	3	9	12	0		가열로 호기	3	9	12	0
	MLAC 정확도	9	1	10	0		가열로 장입열	3	9	12	0
	Mold Flux 두께	9	3	12	0		가열로 장입 온도				
	Slab Grinding 방법	3	9	12	0		BFG				
	Long Nozzle 깊이	9	9	18	0		COG				
	Tundish 폭	9	9	18	0		LDG				
	침적 노즐 깊이	9	9	18	0						25

# 참조- 잠재 원인 우선순위화

\* 9점 척도: 1(약), 3(중), 9(강) - 최빈값으로 선정

구분	잠재 원인	중요도	분석가능성	합계	선정 여부	구분	잠재 원인	중요도	분석가능성	합계	선정 여부
압연	조압연 압하율	9	9	18	0	기타	HR no.	3	9	12	0
	조압연 폭	9	9	18	0		작업 조	1	9	10	0
	조압연 온도	9	9	18	0		작업 시간	1	9	10	0
	사상 압연 두께	9	9	18	0						
	Roll 결함 여부	9	9	18	0						
	2차 냉각 속도	9	9	18	0						
	Slab 폭	3	9	12	0						
	사상 압연 온도										
소둔·산세	Descaling 횟수	3	9	12	0						
	황산 비율	3	9	12	0						
	라인 속도	3	9	12	0						
	작업 공장										
Grinding · Inspection	Grinding 종류	3	9	12	0						
	Grinding 횟수	3	9	12	0						
	Surface finish 등급	3	9	12	0						

# 참조-데이터 수집 계획

잠재원인	데이터명	속성	데이터소스	발생주기	수집방법	수집기간	수집가능성	주요특성
제강공정	$\delta$ - ferrite 함량	연속형					<input type="radio"/>	
	용강 온도	연속형					<input type="radio"/>	
정련공정	Tundish 온도	연속형					<input type="radio"/>	
	Tundish 체류시간	연속형					<input type="radio"/>	
	Tundish 폭	연속형					<input type="radio"/>	
	AOD 가스추출량	연속형					<input type="radio"/>	
	연주작업시 Slab 온도	연속형					<input type="radio"/>	
연주공정	연주작업 시간	연속형	POSCO 데이터센터		담당자 요청	24.06 ~ 24.09	<input type="radio"/>	
	편석 여부	범주형					<input checked="" type="radio"/>	
	냉각수 분사불량	범주형					<input type="radio"/>	
	MLAC 정확도	연속형					<input type="radio"/>	
	Mold Flux 두께	연속형					<input checked="" type="radio"/>	
	Slab Grinding 방법	범주형					<input type="radio"/>	
	Long Nozzle 깊이	연속형					<input checked="" type="radio"/>	
	침적 Nozzle 깊이	연속형					<input checked="" type="radio"/>	27

# 참조-데이터 수집 계획

잠재원인	데이터명	속성	데이터소스	발생주기	수집방법	수집기간	수집가능성	주요특성
연주공장	Mold 폭	연속형	POSCO 데이터센터		담당자 요청	24.06 ~ 24.09	X	
	예열대 온도	연속형					○	
	가열대 온도	연속형					○	
	균열대 온도	연속형					○	
	예열대 시간	연속형					○	
	가열대 시간	연속형					○	
	균열대 시간	연속형					○	
	가열로 호기	범주형					○	
	가열로 장입열	연속형					○	
	조압연 압하율	연속형					○	
조압연 공정	조압연 폭	연속형					○	
	조압연 온도	연속형					○	
사상압연 공정	사상압연 두께	연속형					○	
	사상압연 온도	연속형					○	
	Roll 결함 여부	범주형					X	28

# 참조-데이터 수집 계획

잠재원인	데이터명	속성	데이터소스	발생주기	수집방법	수집기간	수집가능성	주요특성
사상압연 공정	2차 냉각 속도	연속형	POSCO 데이터센터				X	
	편석 발생 정도	범주형					X	
	Descaling 횟수	연속형					X	
소둔산세 공정	황산 비율	연속형	POSCO 데이터센터			24.06 ~ 24.09	X	
	라인 속도	연속형					○	
	AP 두께	연속형					○	
	AP 폭	연속형					○	
Grinding 공정	Grinding 종류	범주형	POSCO 데이터센터	담당자 요청		24.06 ~ 24.09	X	
	Grinding 횟수	연속형					X	
Inspection 공정	Surface Finish 등급	범주형					X	
	HR no.	이산형					○	
	작업 조	Datatype					○	
Etc.	작업시간	연속형					○	29

# 참조- 데이터 정제 방안 수립

데이터명	변수명	의미	유형	이상치	결측치	확인결과
sts_1sm_cc 제강·연주 공정	tundish_temp	Tundish온도(°C)	범주형	3	2	0°C, 500~600°C, 800~900°C 구간 확인
	mlac_ratio	MLAC 적중율(%)	범주형	1	3	ratio 값 '0' (2건), '120' (1건) 확인
	slab_grind	Slab 그라인딩 방법	datetime	-	9	
sts_2fur_hr 열연 공정	f_bfg	Blast Furnace Gas (고로 가스)	연속형	-	1	데이터 누락값 존재
	f_cog	Cake Oven Gas (코크스로 가스)	연속형	-	2	
	f_bfg_per	BFG함량비(%)	연속형	-	1	
	f_cog_per	COG함량비(%)	연속형	-	1	
	f_pre_temp	예열온도(°C)	연속형	-	3	
	f_sock_temp	균열온도(°C)	연속형	2	2	가열로 온도 상한 1310°C 초과 온도 확인
	f_sock_interval	균열시간(분)	연속형	-	3	
sts_3ap 소둔·산세 공정	hr_coil_id	열연코일 번호	범주형	6	-	고유값 중복 확인
	ap_prod_id	AP 생산번호	범주형	-	2	데이터 누락값 존재
	ap_width	AP 폭(mm)	연속형	-	1	
	ap_line_speed	소둔·산세 라인 속도	연속형	-	3	

# 참조- 데이터 정제 방안 수립

## 원천 데이터 현황

제강 / 연주 공정 (sts\_1sm\_cc)

row : 23,649  
column : 15

열연 공정 (sts\_2fur\_hr)

row : 23,652  
column : 26

소둔 / 산세 공정 (sts\_3ap)

row : 23,641  
column : 9

sts\_3ap에 목표변수 존재  
PK: 'charge\_id', 'slab\_no', 'hr\_coil\_id'  
를 활용하여 데이터 결합

데이터 통합



## 정제 데이터 현황

charge\_id, slab\_no: 중복 데이터 8건 제거  
hr\_coil\_id: 중복 데이터 2개 제거 후 데이터 통합

특정 공정 데이터가 모두 없는 데이터 존재  
프로젝트 목표에 부적합하므로 23건 제거

row : 23,636 column : 47  
양품 : 23,007 불량 : 629

불균형 데이터셋에서 중요한  
'불량' 데이터는 2행 제거됨

# 참조- 데이터 정제 방안 수립

## - 파생변수

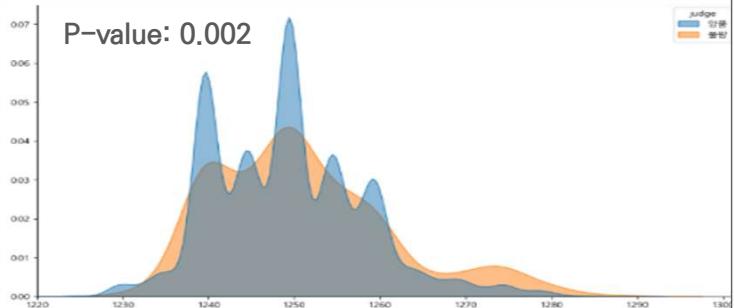
변수명	계산식	유형	의미
dT_pre_heat	f_heat_temp - f_pre_temp	연속형	가열 초기 온도 상승 (가열 온도 - 예열 온도)
dT_heat_sock	f_sock_temp - f_heat_temp	연속형	가열 후기 온도 상승(균열 온도 - 가열 온도)
dT_pre_sock	f_sock_temp - f_pre_temp	연속형	전체 가열 구간 온도 상승 총합
total_interval	f_pre_interval + f_heat_interval + f_sock_interval	연속형	가열로 전체 체류 시간
date_diff1	f_ext_date - cast_date	연속형	연주-열연 작업 기간
date_diff2	ap_date - cast_date	연속형	연주-소둔·산세 작업 기간

## - Drop한 설명변수

데이터명	변수명	의미	유형	제거 사유
sts_1sm_cc	charge_id	쇳물 고유 식별번호	ID	데이터 결합 후, 목표변수와 무관한 변수이므로 제거
	cast_date	연주일	범주형	파생변수 생성 후, 목표변수와 상관성이 없으므로 제거
	slab_no	Slab 번호	연속형	데이터 결합 후, 목표변수와 무관한 변수이므로 제거
sts_2fur_hr	f_ext_date	가열로 추출일	datetime	파생변수 생성 후, 목표변수와 상관성이 없으므로 제거
	f_ext_time	가열로 추출시간대	datetime	파생변수 생성 후, 목표변수와 상관성이 없으므로 제거
	hr_date	열간압연 날짜	datetime	파생변수 생성 후, 목표변수와 상관성이 없으므로 제거
sts_3ap	hr_coil_id	열연코일 번호	범주형	데이터 결합 후, 목표변수와 무관한 변수이므로 제거
	ap_prod_id	Coil 생산번호	ID	목표변수와 무관한 변수이므로 제거
	ap_date	소둔·산세 작업일	datetime	파생변수 생성 후, 목표변수와 상관성이 없으므로 제거

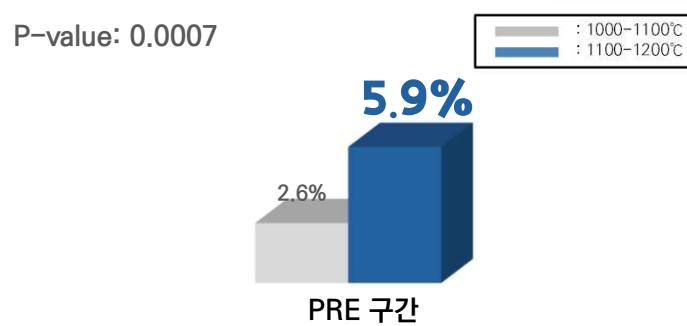
# 참조-분석 현황

〈균열 온도별 불량률〉



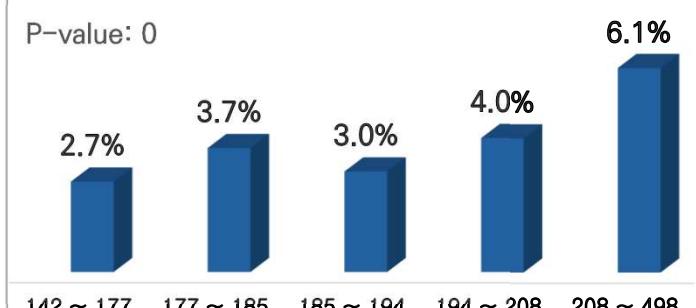
양불량 간 유의미한 차이가 보이지 않음  
→불량 잠재 요인 배제

〈2공장 2호기 예열대 온도별 불량률〉



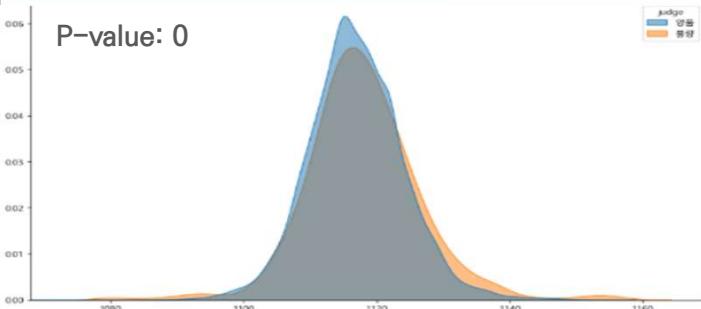
예열대 온도 1100°C 이상일 때 불량률 급증  
2공장 2호기 가열로 온도를 1000~1100°C 구간을 유지

〈2공장 2호기 총 체류시간별 불량률〉



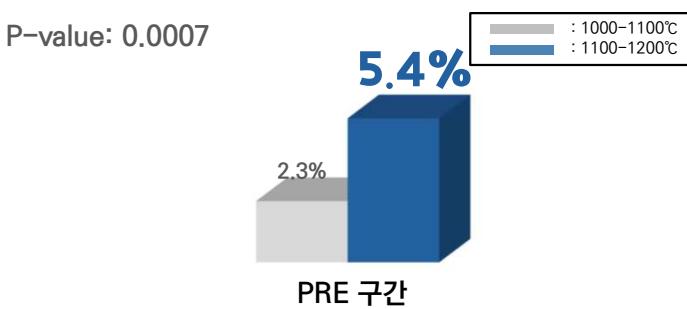
200분 이상 체류 시 불량률이 급증  
→2공장 2호기 총 체류시간을 200분 이하로 관리

〈조압연 4회 이후 온도별 불량률〉



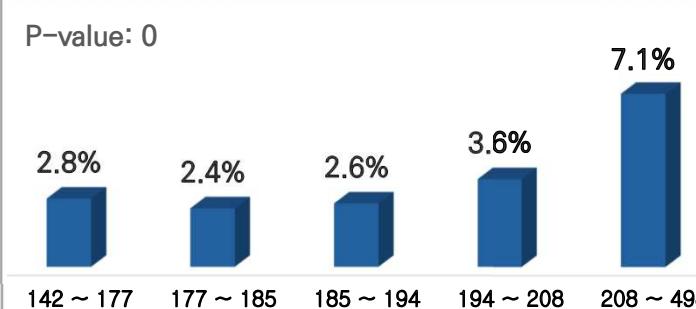
양불량 간 유의미한 차이가 보이지 않음  
→불량 잠재 요인 배제

〈2공장 3호기 예열대 온도별 불량률〉



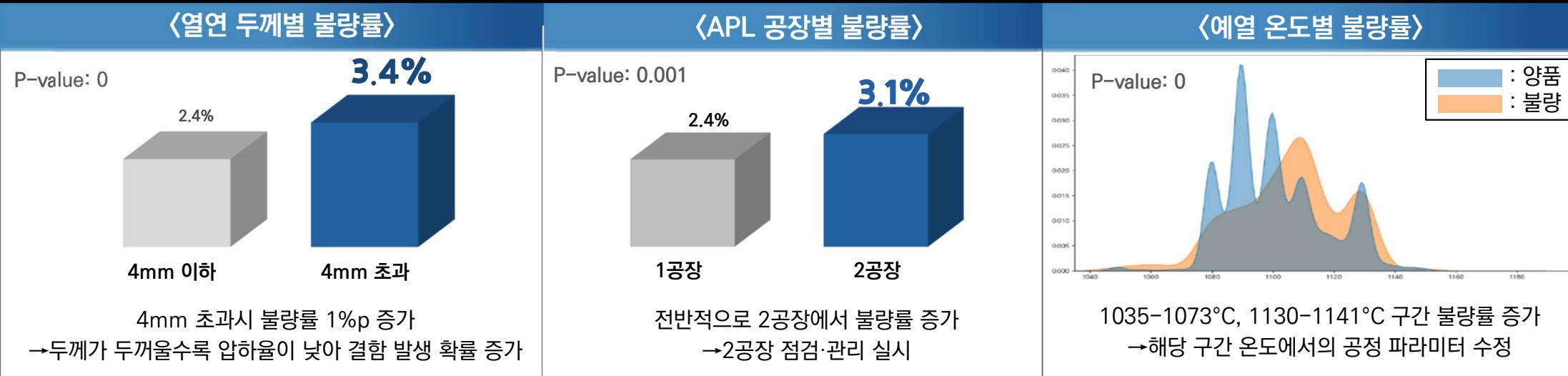
예열대 온도 1100°C 이상일 때 불량률 급증  
2공장 3호기 가열로 온도를 1000~1100°C 구간을 유지

〈2공장 3호기 총 체류시간별 불량률〉



210분 이상 체류 시 불량률 2배 이상 상승  
→2공장 3호기 총 체류시간을 200분 이하로 관리

# 참조-분석 현황



# 05 개선안 및 적용 방안 - Process Control

- 관리도 : 연속형 공정 데이터의 안정성과 순간 이상 변동을 감시하는 데 사용  
→ 시간 흐름에 따라 변동하는 이상 징후 감시에 적합
- 최적 조건을 반영한 시뮬레이션을 통해 적정 범위 내 유지관리 시 불량 저감 가능
- 관리도 적용 시 KS A 3201(관리도법) 불량 기준에 따른 관리 한계 유지 여부 검증 필요

## Pilot 계획

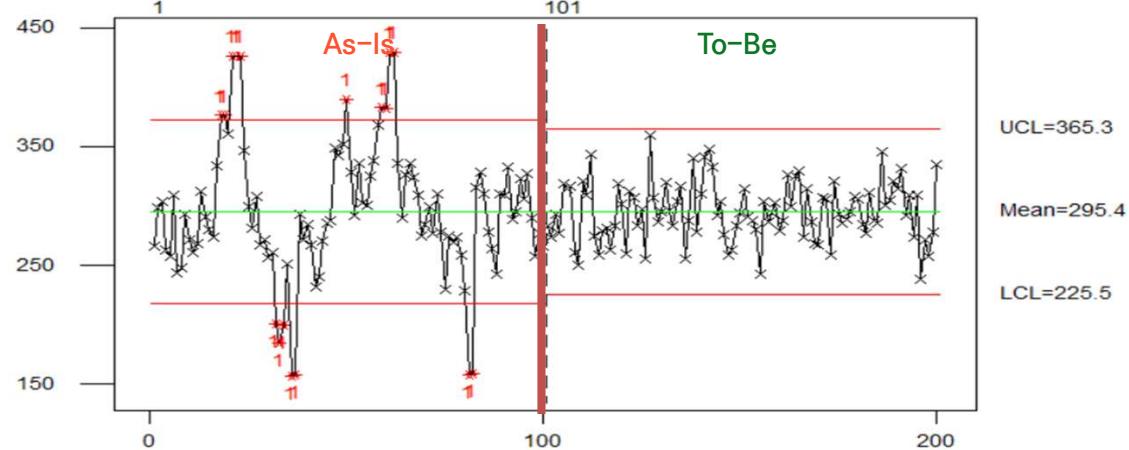
최적 조건을 표준 작업 조건(SOP)으로 표준화해  $3\sigma$  기준 기반의 공정 관리 체계 확립

구분	내용
목적	<ul style="list-style-type: none"><li>• 장입 온도 공정의 이상 변동 원인 제거 및 안정적 관리 체계 구축</li><li>• 관리도 기준에 따라 <math>3\sigma</math> 범위 내 유지 여부 검증</li><li>• 불량 발생 감소 효과 사전 확인을 통한 유지 관리</li></ul>
Pilot 적용 개요	<ul style="list-style-type: none"><li>• 적용 대상 공정 : 열연 2공장 가열로 3호기</li><li>• 적용 일정 :<ul style="list-style-type: none"><li>- 2025.11.13 ~ 2025.11.20</li><li>- 2025.12.15 ~ 2025.12.22</li></ul></li><li>• 검증 도구 : Mann-Whitney U Test, 관리도</li></ul>
현업 요청 사항	<ul style="list-style-type: none"><li>- 공장 대표 : 공정 개선안 적용 협조</li><li>- 공정 엔지니어 : 개선안으로 인한 공정 파라미터 조정 및 모니터링 협조 요청</li><li>- 시스템 파트 : 11월 12월 개선안 적용 공정 데이터 수집 협조</li></ul>

## 공정 모니터링 및 관리 계획

- 주요 공정 설비 조건은 지속적인 관리가 필수
- 관리도를 통해  $3\sigma$  범위로 관리

〈슬라브 장입 온도 I Chart〉



✓ ‘최적화된 핵심 조건을 표준화해 변동 통제 및 안정 상태 확보’