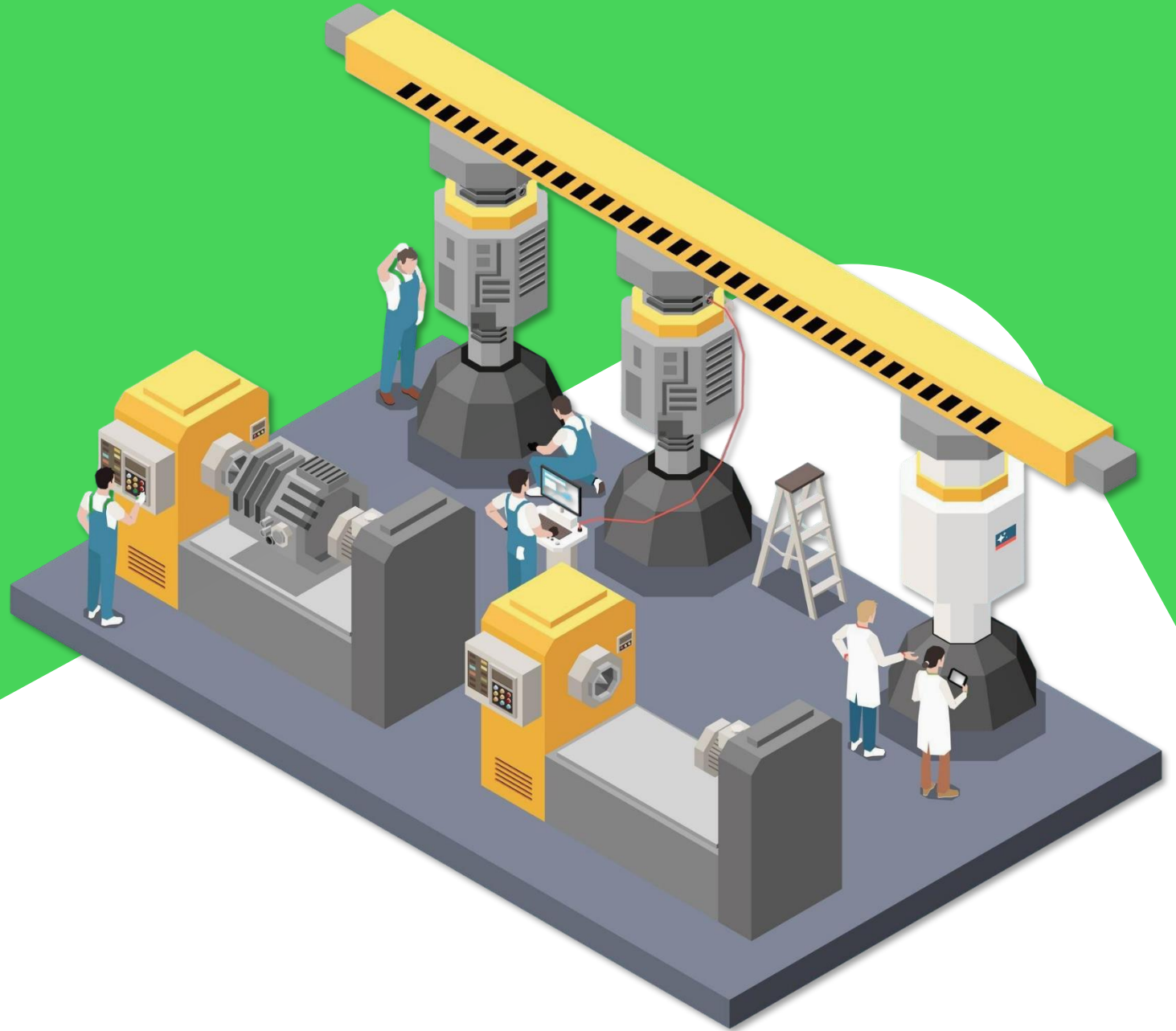


MetraForge AI

2025년 제5회 K-인공지능 제조데이터 분석 경진대회



CONTENTS MetraForge AI

01. 프로젝트 개요

- 1-1 프로젝트 개요 및 목표
- 1-2 데이터 구성 및 품질 개선 결과

02. 데이터 분석 및 전처리

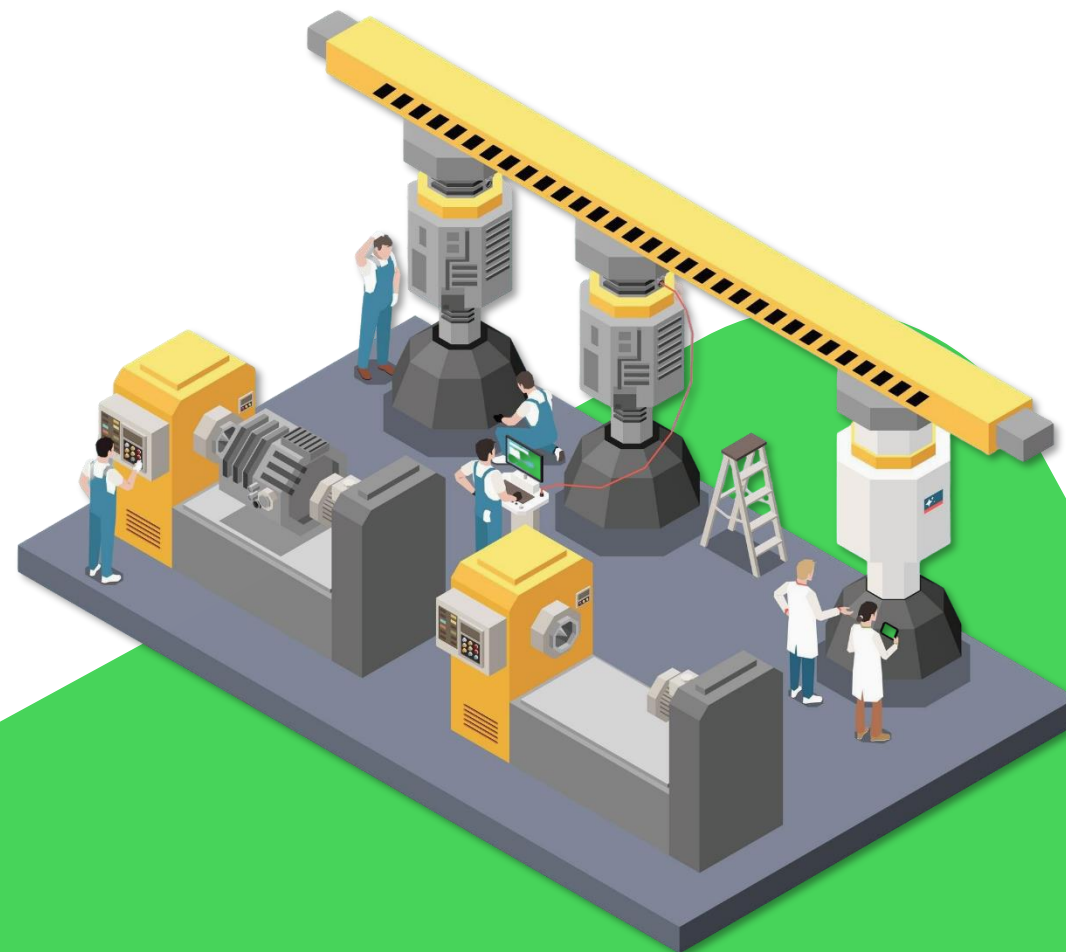
- 2-1 변수 상관 및 주기성 분석
- 2-2 PCA 및 데이터 정제 결과

03. 모델 개발 및 성능 평가

- 3-1 하이브리드 모델 구조
- 3-2 모델 성능 (윈도우 기준)
- 3-3 임계값별 정책 비교
- 3-4. 확률 보정 및 신뢰도 검증

04. 결과 비교 및 시사점

- 4-1 양상불 모드별 성능 비교
- 4-2 결론 및 기대효과

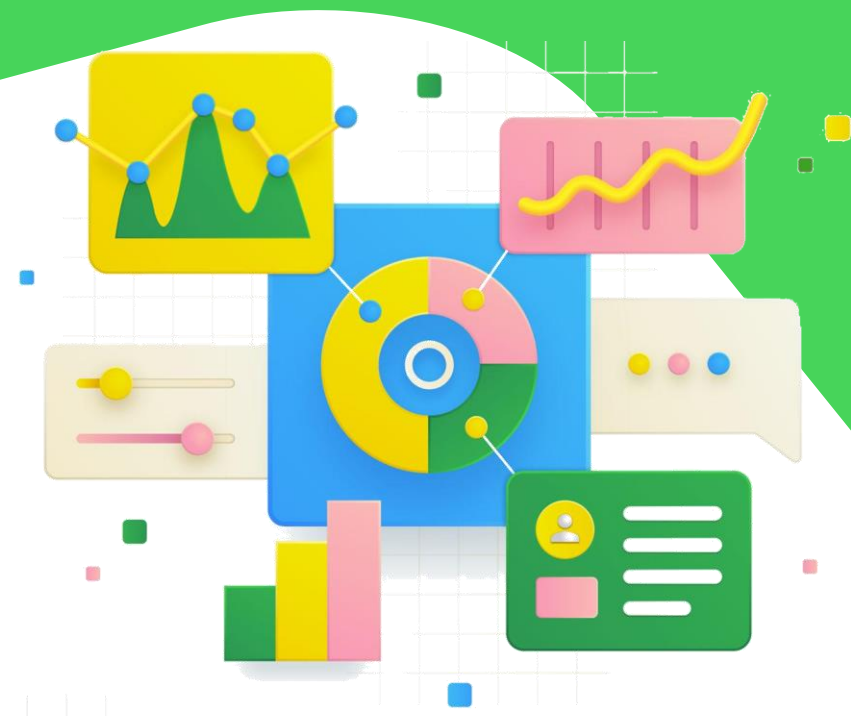


01

프로젝트 개요

1-1 프로젝트 개요 및 목표

1-2 데이터 구성 및 품질 개선 결과



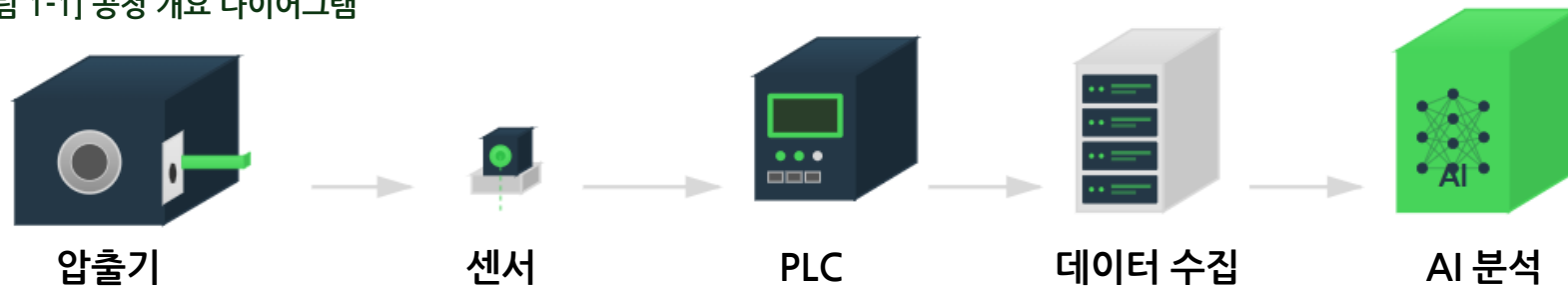
프로젝트 개요



1-1. 프로젝트 개요 및 목표

- 소성가공 압출공정 품질 불량 사전 예측
- 경험 기반 품질 판단 → 데이터 기반 조기경보 전환
- 정적(Tabular) + 시계열(TCN) 결합으로 탐지 정밀도 향상

[그림 1-1] 공정 개요 다이어그램



- ✓ 압출공정 센서 데이터를 활용한 AI 품질보증 시스템
- ✓ 구축온도·압력·속도·부하 등 주요 인자 통합 분석
- ✓ 모델 신뢰도와 해석력 확보를 통한 품질 관리 자동화

프로젝트 개요



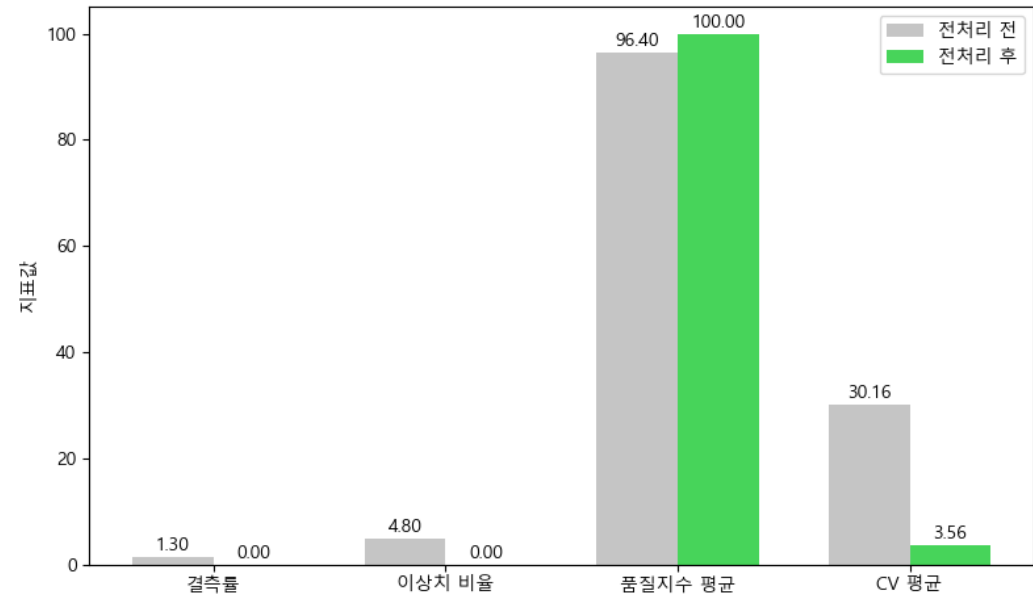
1-2. 데이터 구성 및 품질 개선 결과

- PLC를 통해 5초 단위로 자동 수집된 약 17,000행 × 20열 규모의 정형 시계열 데이터

[표 1-1] 주요 공정 변수 정의

변수 구분	변수명	설명	단위
온도	EX1~5.MELT_TEMP	압출 호기별 수지 온도	°C
압력	EX1.MELT_P_PV	수지 압출 압력	MPa
속도	EX1.MD_PV	모터 회전 속도	rpm
부하	EX1.MD_TQ	모터 부하율	%
품질	passorfail	외경-두께 기준 품질 판정	0=양품, 1=불량

[그림 1-2] 전처리 전후 품질지수 비교 막대그래프



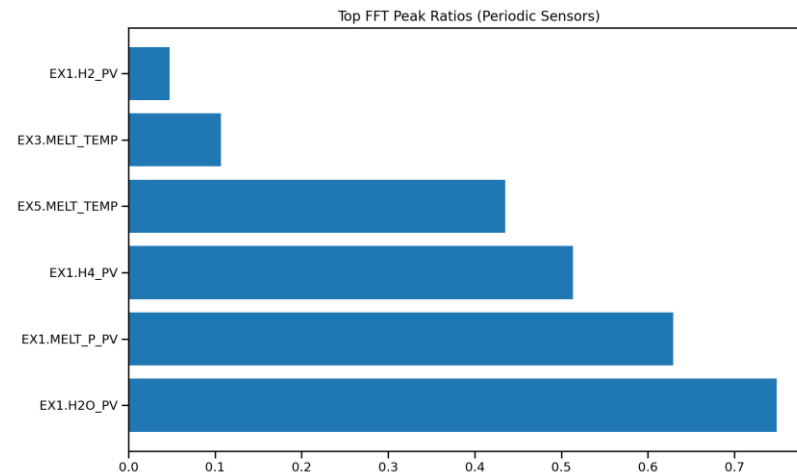
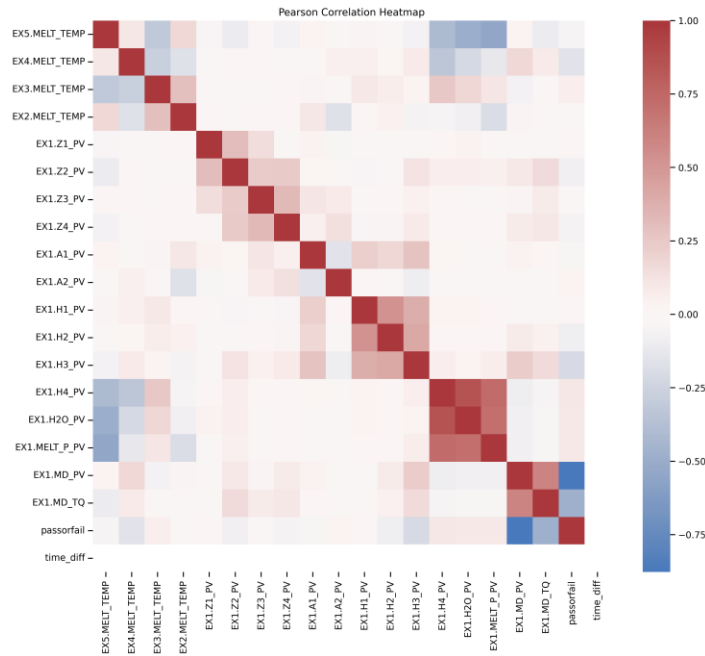
- ✓ 주요 변수 : 온도(EX1~5.MELT_TEMP), 압력(EX1.MELT_P_PV), 속도(EX1.MD_PV), 부하(EX1.MD_TQ)
- ✓ 결측률 : 1.3% → 0%, 이상치 4.8% → 0%로 정제되어 품질지수 100% 달성

데이터 분석 및 전처리



2-1 변수 상관 및 주기성 분석

[그림 2-1] 변수 간 상관관계(Pearson Heatmap) 및 주기성 분석 결과



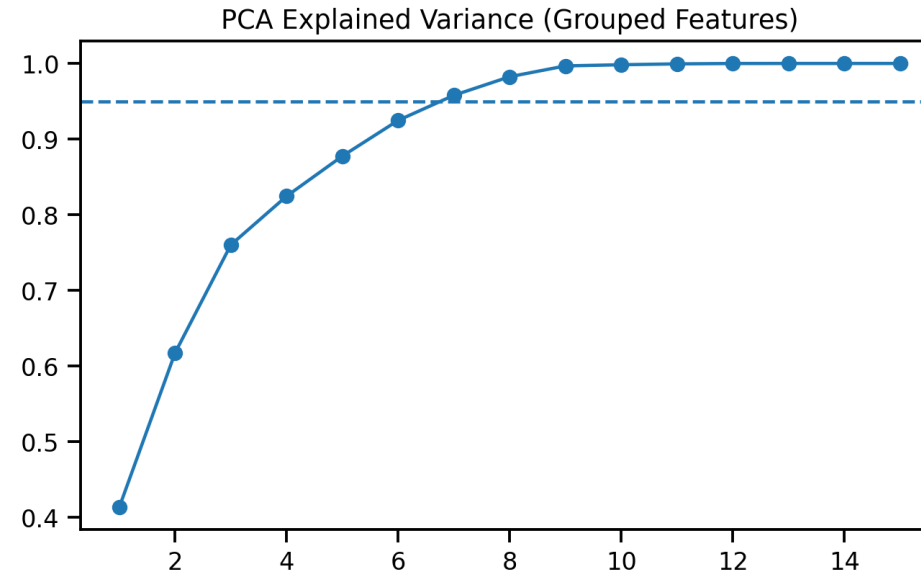
- ✓ Pearson 상관분석: 온도-압력 강한 양의 상관
- ✓ FFT 분석: EX1.H2O_PV·EX1.MELT_P_PV 주기성 뚜렷
- ✓ 센서별 진동 주기와 비정상 패턴 탐지 근거 확보

데이터 분석 및 전처리



2-2 PCA 및 데이터 정제 결과

[그림 2-2] 주성분 분석(PCA)의 누적 설명분산



» 주요 변수 선별 및 차원 축소 결과

- ✓ PCA 누적 설명분산 90% 이상 확보
- ✓ 그룹 피쳐 15종(mean, std, range 등) 생성
- ✓ T-test·ANOVA로 주요 피쳐 선별
- ✓ 학습 안정성과 정보 보존 동시 달성

03

모델 개발 및 성능 평가

3-1 하이브리드 모델 구조

3-2 모델 성능 (윈도우 기준)

3-3 임계값별 정책 비교

3-4. 확률 보정 및 신뢰도 검증

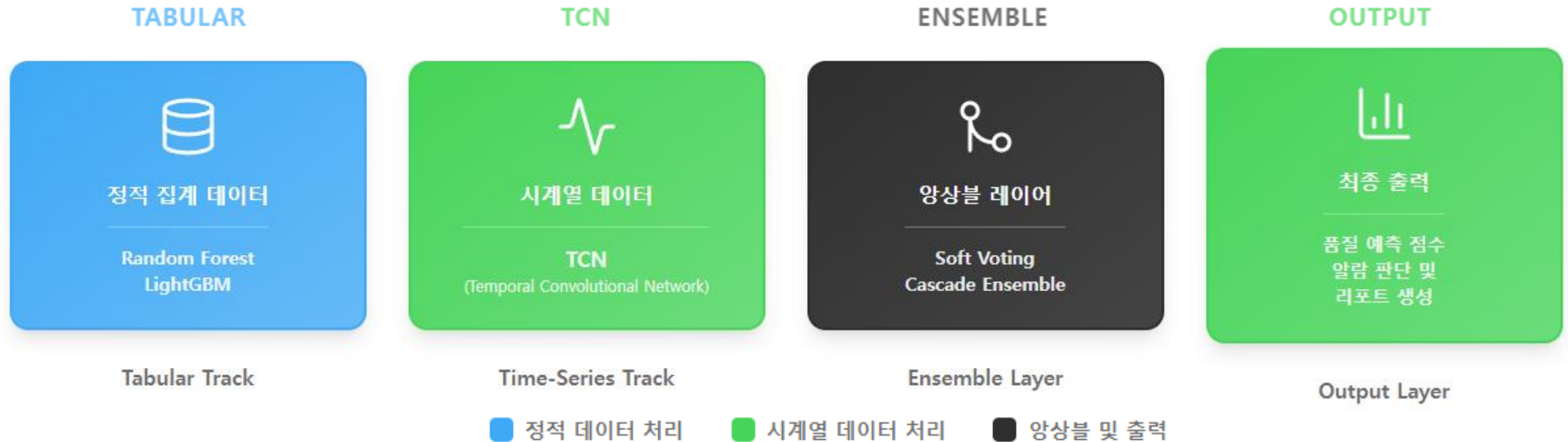


모델 개발 및 성능 평가



3-1. 하이브리드 모델 구조

[그림 3-1] MetraForge AI 하이브리드 모델 구조



- ✓ Tabular 트랙: 집계 기반 정적 예측
- ✓ TCN 트랙: 시계열 패턴 기반 연속 탐지
- ✓ Soft 앙상블: 확률 가중 평균, 탐지력 강화

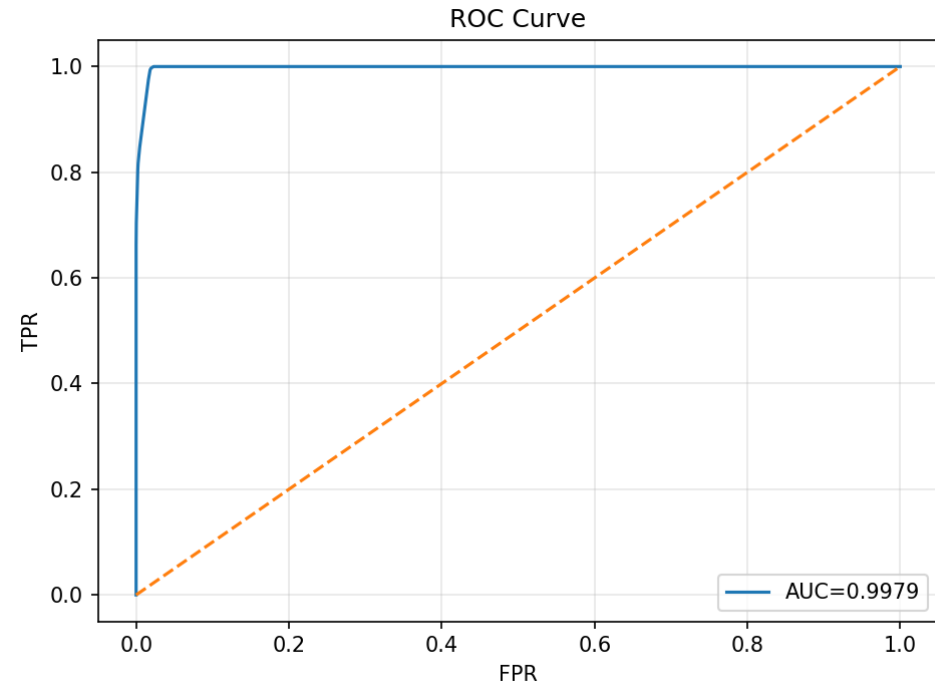
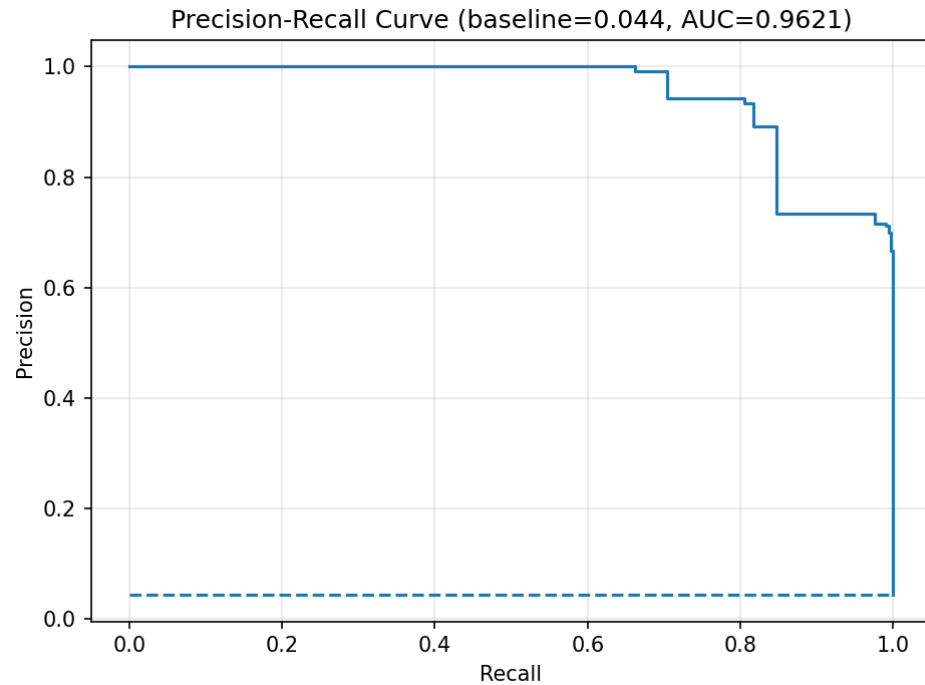
- ✓ Cascade 모드: 단계적 판정, 오탐 억제
- ✓ EMA 스무딩·히스테리시스·쿨다운 적용

모델 개발 및 성능 평가



3-2. 모델 성능 (윈도우 기준)

[그림 3-2] 모델의 Precision-Recall 곡선 및 ROC 곡선



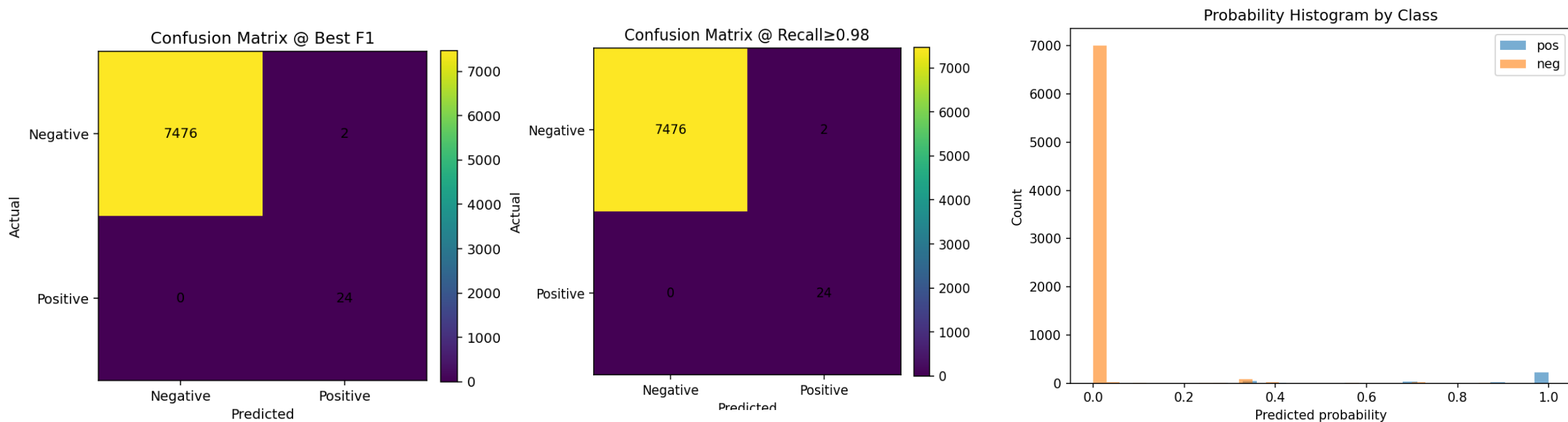
- ✓ PR-AUC 0.9621, ROC-AUC 0.9979
- ✓ 우수기준선 대비 높은 탐지력 확보시각요소
- ✓ 불량 탐지 정밀도 및 재현율

모델 개발 및 성능 평가



3-3 임계값별 정책 비교

[그림 3-3] 정책별 임계값 조건하 탐지 성능 비교



✓ 정책 A: F1 최대점 → 균형형

✓ 정책 C: 오탐 ≤ 1/일 → 운영 안정성

✓ 정책 B: 재현율 ≥ 0.9 → 탐지 우선

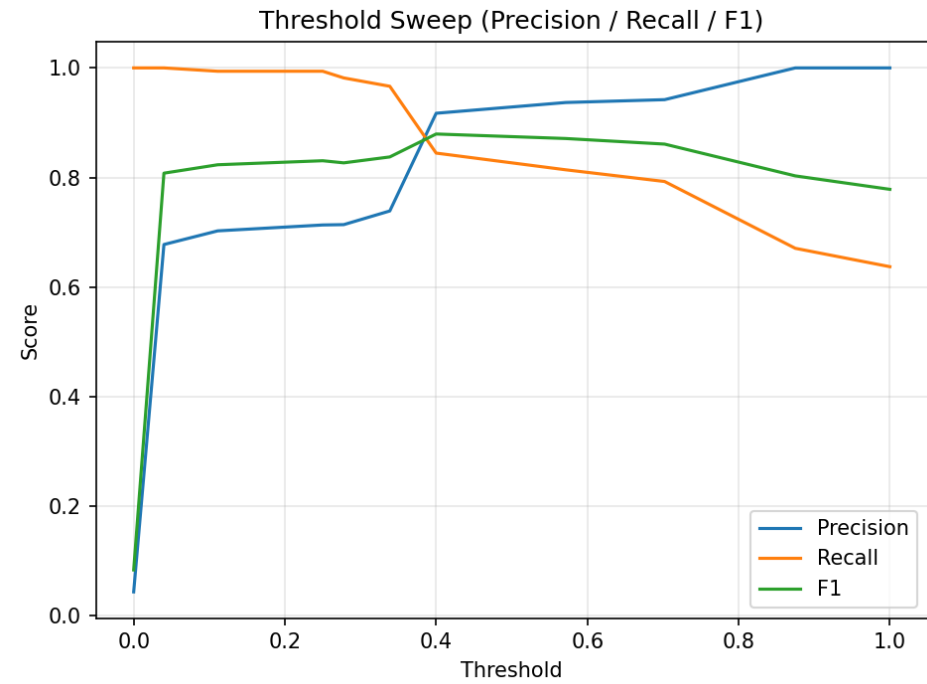
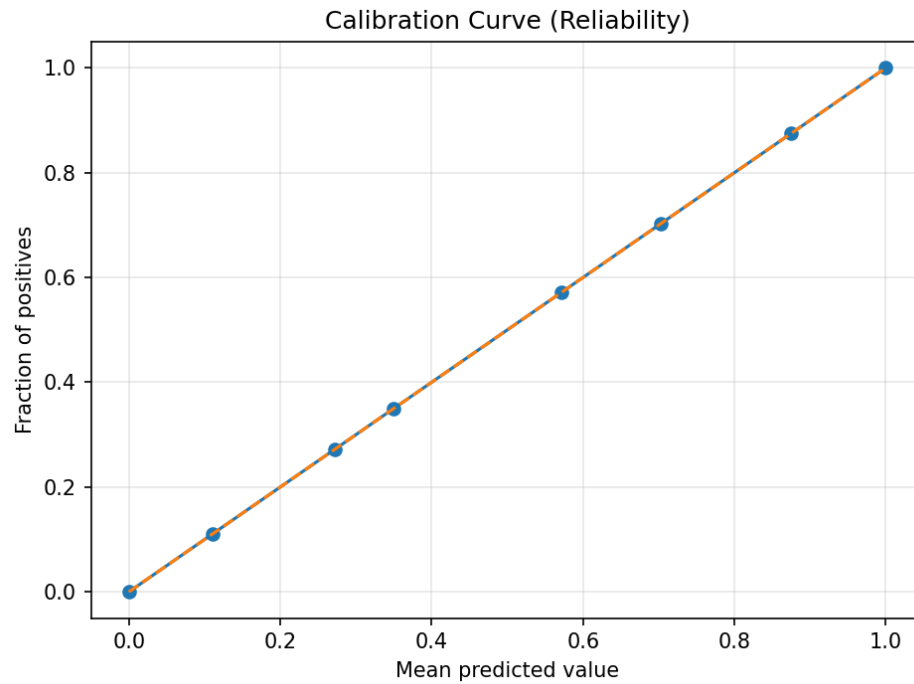
✓ 현장 기준: 정책 C 최적

모델 개발 및 성능 평가



3-4. 확률 보정 및 신뢰도 검증

[그림 3-4] 확률 보정 결과 및 임계값별 성능 변화



✓ Isotonic 회귀 보정 → $y=x$ 일치

✓ 확률 신뢰도 안정성 확보

✓ Threshold Sweep으로 최적 임계값 결정

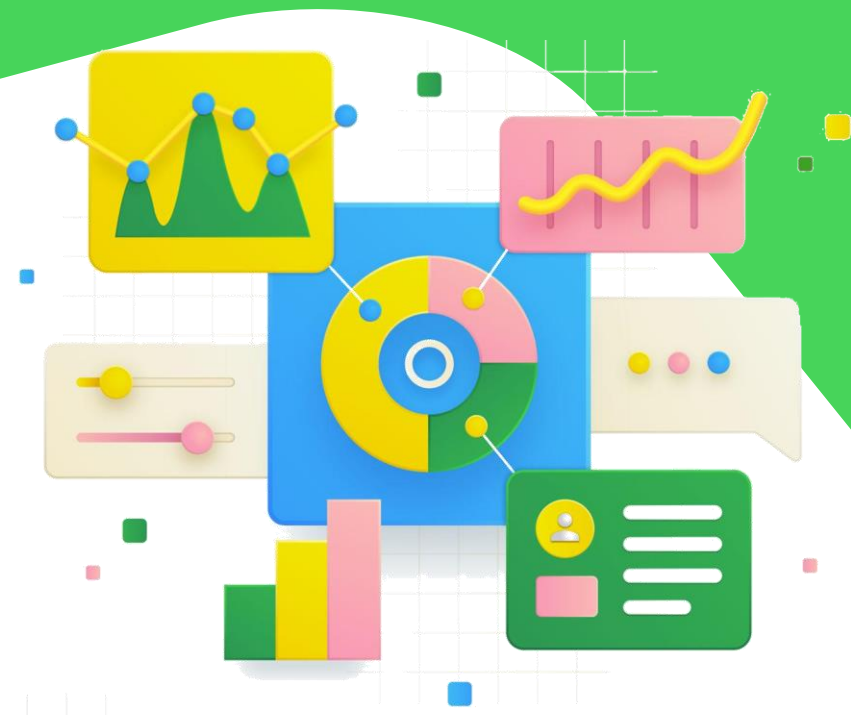


04

결과 비교 및 시사점

4-1 앙상블 모드별 성능 비교

4-2 결론 및 기대효과

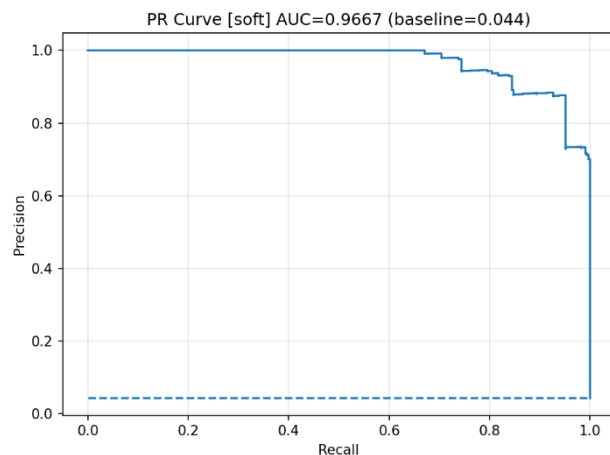


결과 비교 및 시사점

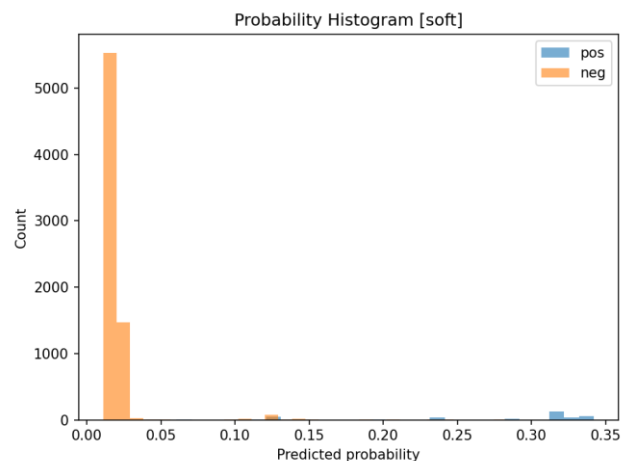


4-1. 앙상블 모드별 성능 비교

[그림 4-1] Soft-Cascade 앙상블의 Precision-Recall 곡선 비교



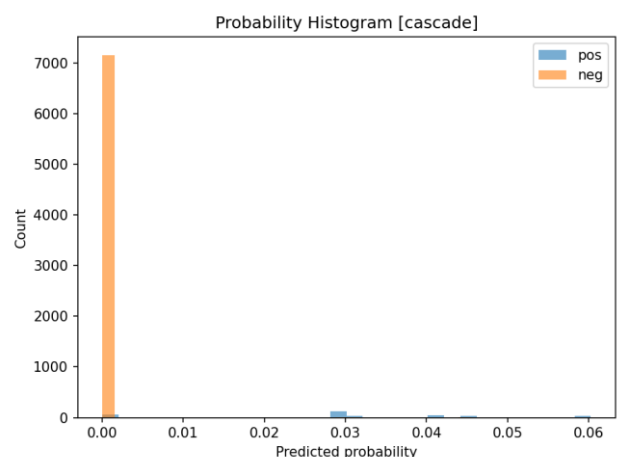
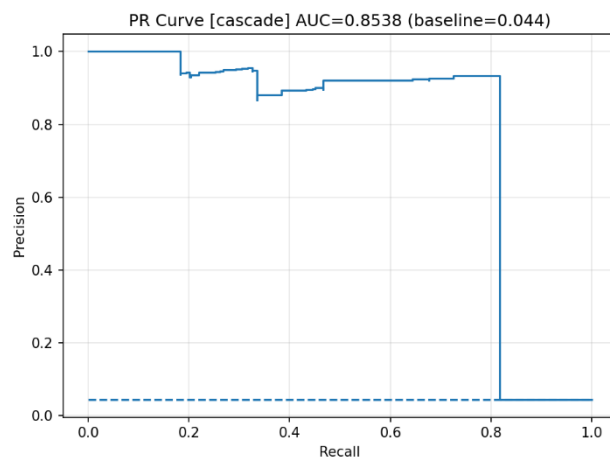
[그림 4-2] Soft-Cascade 앙상블의 클래스별 예측 확률 분포 비교



✓ Soft: PR-AUC 0.9667 / ROC-AUC 0.9983
→ 탐지력 중심

✓ Cascade: PR-AUC 0.8538 / ROC-AUC 0.9070
→ 오탐 억제 중심

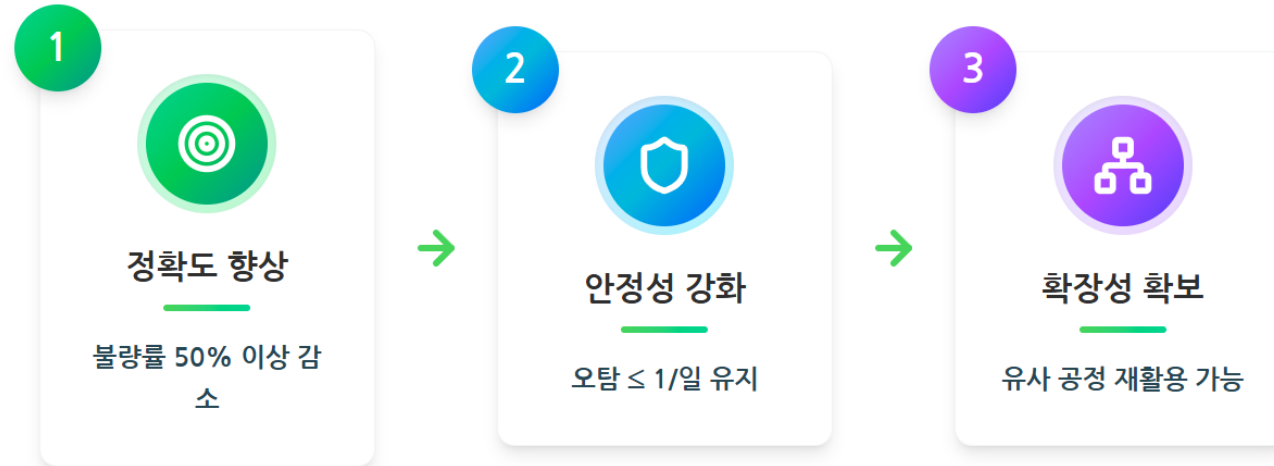
» “ Soft + Cascade 조합 = 최적 구조 ”



결과 비교 및 시사점



4-2. 결론 및 기대효과



“정확도 ↑ · 안정성 ↑ · 확장성 ↑”

SmartForge AI

- ✓ 불량률 50% 이상 개선
- ✓ 오탐률 1/일 이하 유지
- ✓ 리드타임 확보 → 사전 대응 가능

- ✓ Tabular+TCN 기반 기술 확장성 확보
- ✓ 품질관리 자동화 및 현장 신뢰도 향상

Q A

2025년 제5회 K-인공지능 제조데이터 분석 경진대회

