

몰드코드 별 공정 단계별 영향도 분석

1. 분석 목적

최종 모델에 대해 각 금형(Mold)별로 공정 단계별 불량 영향도를 분석하여, 실제 공장 현장에서 품질 개선과 불량을 저감에 활용할 수 있는 데이터 기반 시사점을 도출하는 것이 목적

2. SHAP 그래프 주요 해석

5개 금형(8917, 8573, 8600, 8722, 8412)에 대해 SHAP값 기준으로 불량(pass/fail)에 미치는 영향력을 비교 분석

※ SHAP값이 클수록(양수/음수 모두) 해당 변수의 영향력이 크다는 뜻

(1) 공정 단계 분류

- 1단계: 용탕 준비 및 가열
- 2단계: 반고체 슬러리 제조
- 3단계: 사출 & 금형충전
- 4단계: 응고

(2) 금형별 공통점 및 차이점

- 1) 전체적으로 3단계(사출 & 금형충전)가 모든 금형에서 불량에 가장 큰 영향을 미침
- 2) 4단계(응고)는 두 번째로 중요하며, 특히 8600/8917 금형에서 상대적으로 SHAP 값이 큼
- 3) 1~2단계(용탕 준비, 슬러리 제조)는 각 금형마다 편차가 크지 않으나, 일부 금형(8412, 8722)에서는 2단계 영향이 다소 높음

금형 번호	가장 영향 큰 단계	두 번째	비고
8917	3단계	4단계	
8573	3단계	4단계	
8600	3단계	4단계	
8722	3단계	4단계	
8412	3단계	4단계	2단계 상대적 높음

3. 시사점 및 개선 방향

(1) 불량률 개선 우선순위

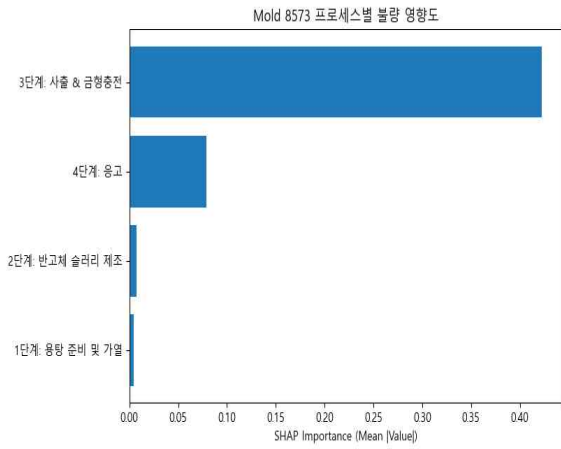
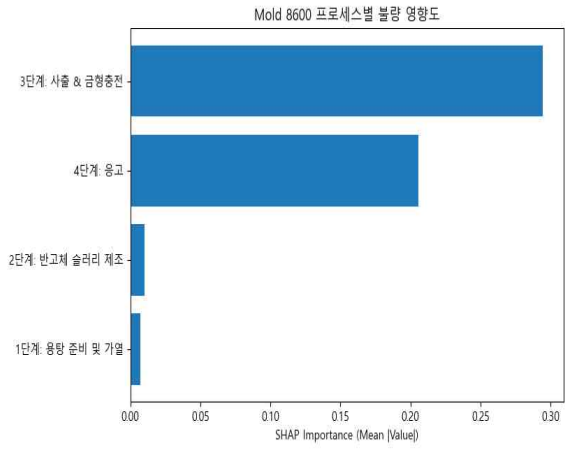
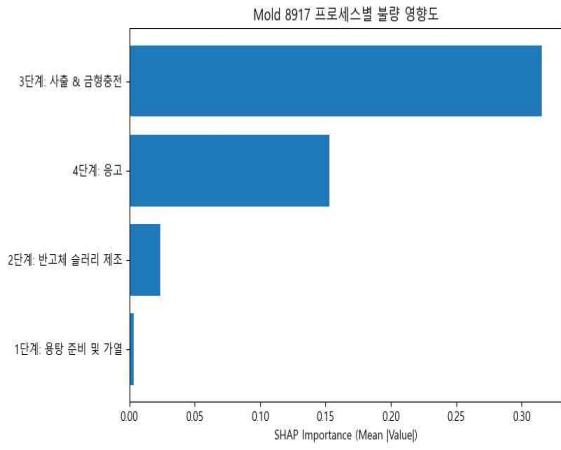
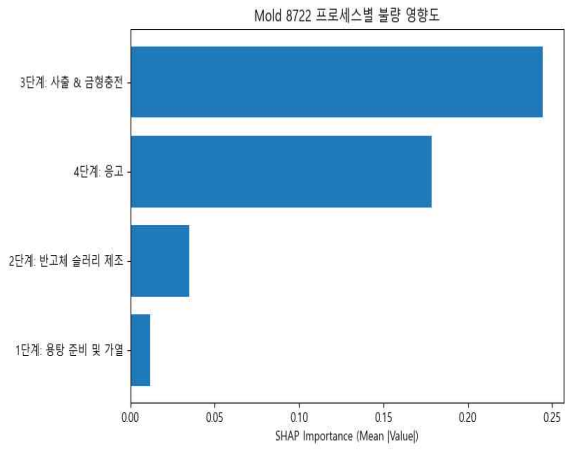
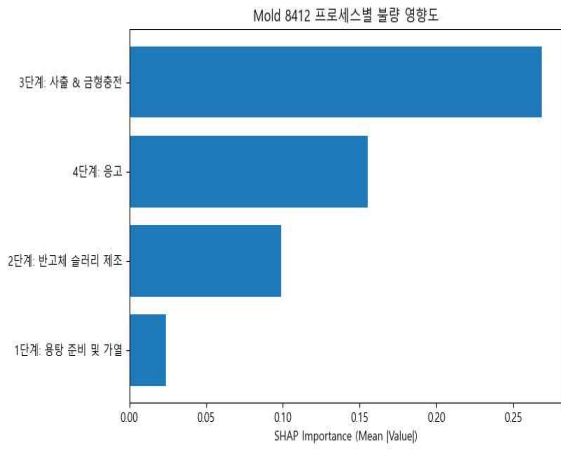
실질적으로 불량 발생에 가장 큰 영향을 주는 3단계(사출 & 금형충전)에 집중적 관리와 데이터 수집/분석 강화 필요

(2) 공정조건 관리

사출 속도, 금형 충전 조건(압력, 온도 등)에 대한 표준 관리 강화 및 이상값 발생 시 즉각 조치 체계 마련

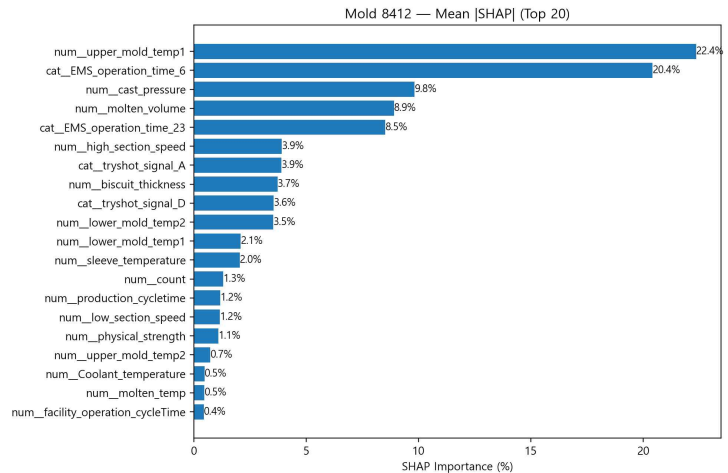
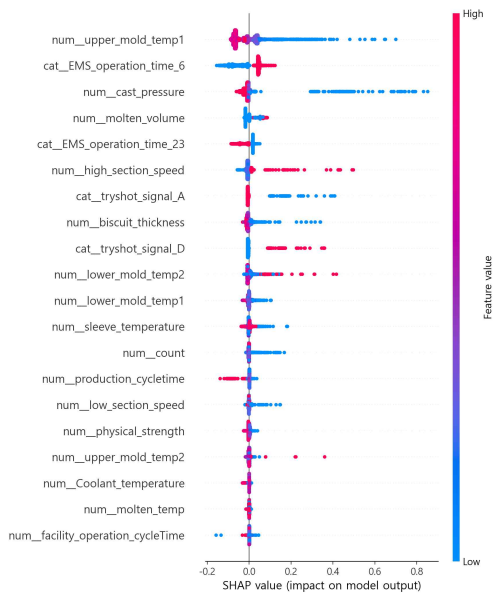
(3) 응고 과정 점검

4단계 응고도 상위 영향 요인이므로, 냉각 속도·몰드 온도 등 세부 조건을 주기적으로 모니터링



금형별 관리 후보군(Top 3)

-mold8412

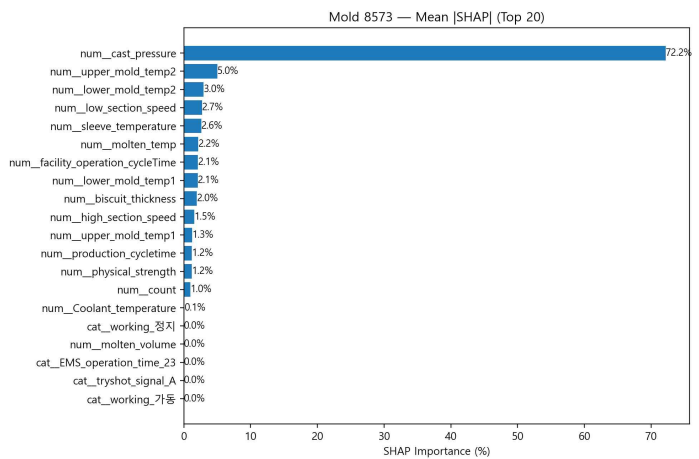
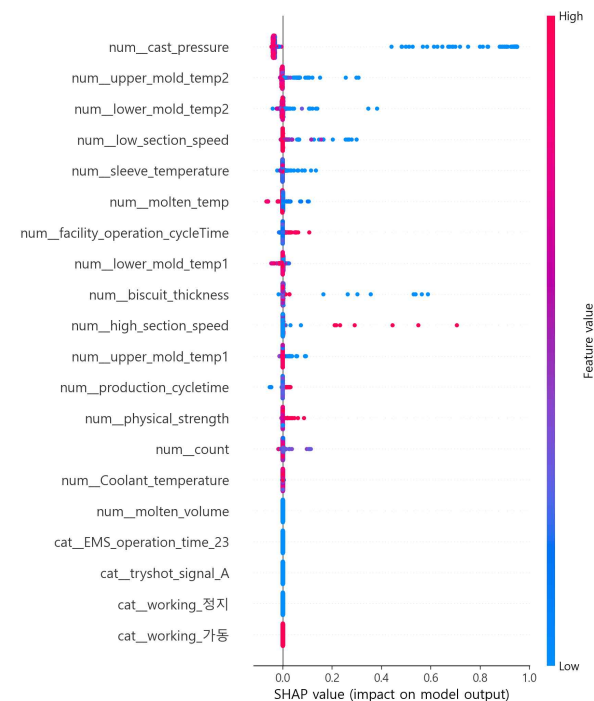


상금형 온도1: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

주조 압력: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

*범주형 제외

-mold8573

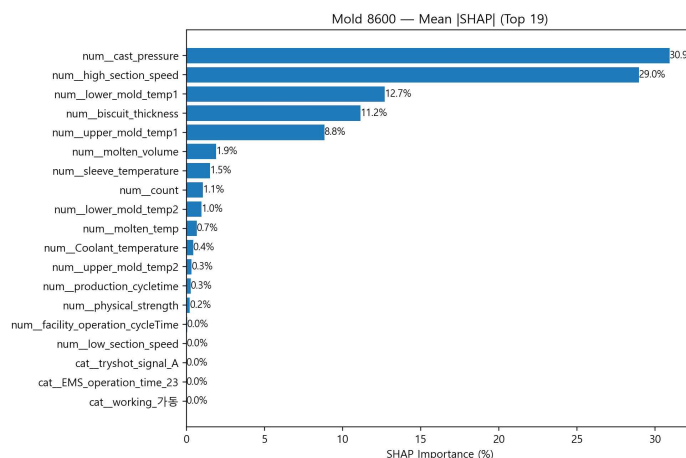
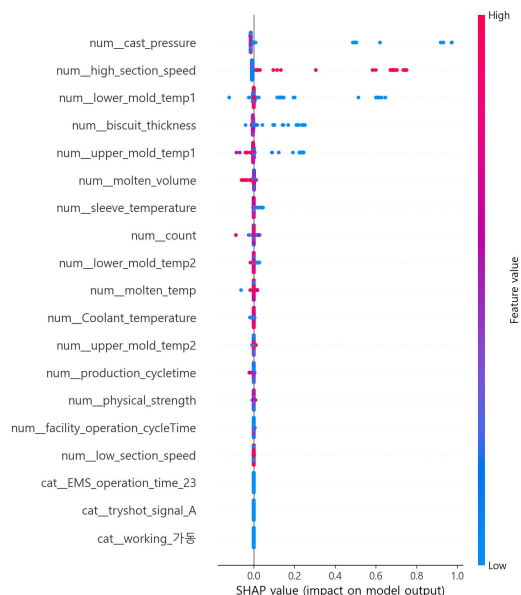


주조 압력: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)-비중 압도적으로 높음

상금형 온도2: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

하금형 온도2: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

-mold8600

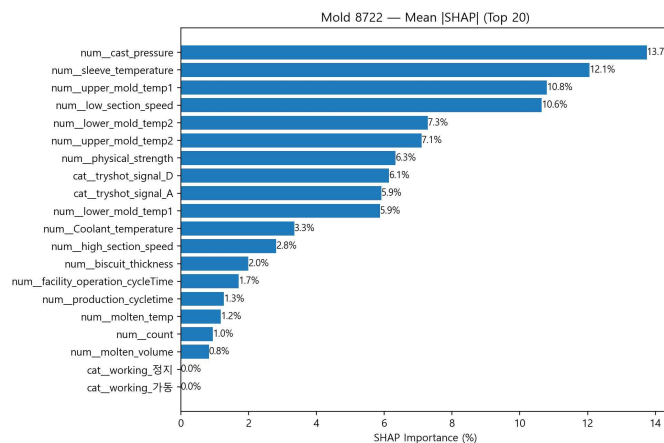
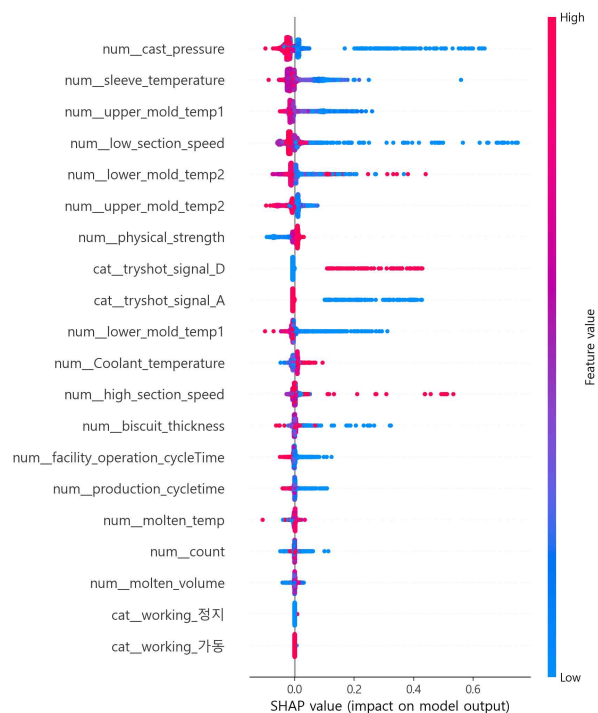


주조 압력: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

고속구간속도: 변수 상향 모니터링 필요(높을 때 불량 예측에 기여)

하금형온도: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

-mold8722

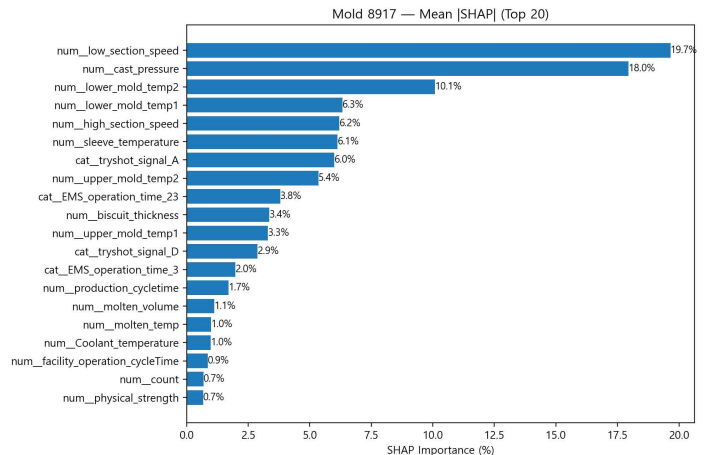
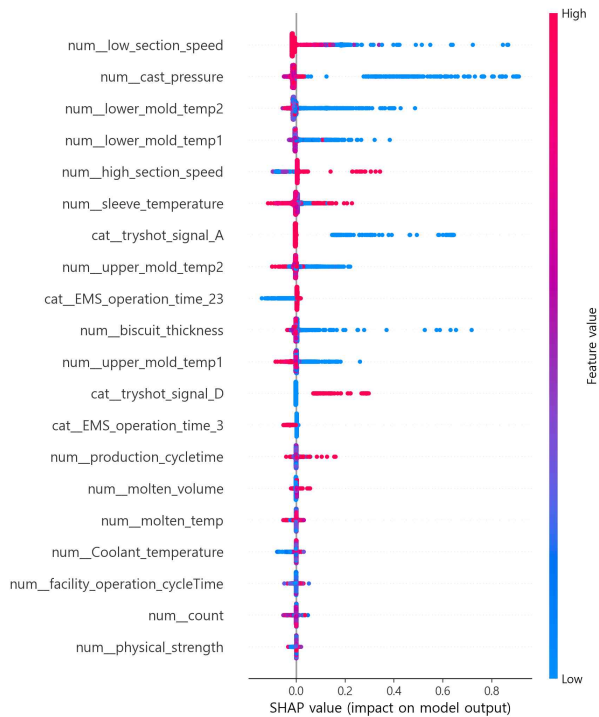


주조 압력: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

슬리브 온도: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

상금형 온도: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

-mold8917



저속구간속도: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)
 -> 다른 변수와의 교호작용도 모니터링 필요
 주조 압력: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)
 하금형 온도2: 변수 하향 모니터링 필요(낮을 때 불량 예측에 기여)

모델 통합 지표 분석

전체 모델 평균 지표

CONFUSION MATRIX

구분	예측: 양품	예측: 불량
실제: 양품	TN (TRUE NEGATIVE) 14,004	FP (FALSE POSITIVE) 61
실제: 불량	FN (FALSE NEGATIVE) 25	TP (TRUE POSITIVE) 629

전체 샘플 수: 14,719

1. 현재 성능 요약 (Test Set 기준)

Accuracy: 99.42%

Precision: 91.54%

Recall: 96.14%

F1 Score: 93.74%

F2 Score: 95.15%

AUROC: 99.48%

2. 품질관리 관점 해석

-False Negative (FN, 불량 미검)

25건 발생 (불량품 654개 중 3.8% 미검출)

이는 실제 불량품이 양품으로 분류된 사례로, 안전·품질 리스크가 가장 큼

Recall 96.1%는 우수한 수준이지만, 자동차 업계 AQL≈0% (ppm 수준)을 고려하면 개선 여지가 존재함.

-False Positive (FP, 과검)

61건 발생 (양품 14,065개 중 0.43% 오검출)

양품인데 불량으로 분류된 경우. 추가 검사/재작업 비용 발생하지만, FN보다 치명적이지 않음.

3. 목표 성능 설정 (업계 표준 대비)

-Recall 목표:

현재 96.1% → 99% 이상 (FN 25건 → 6건 이하로 축소)

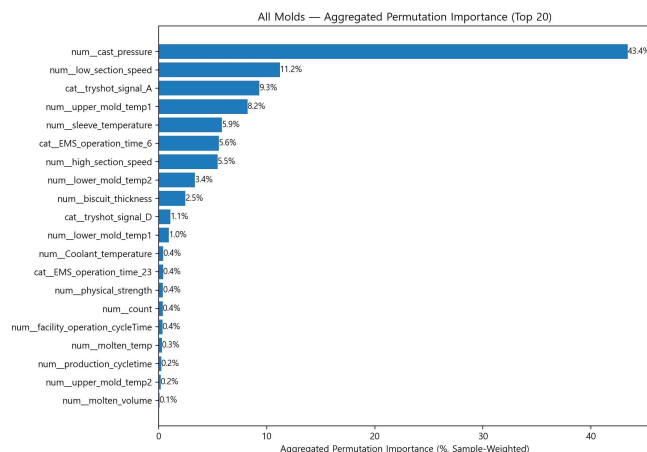
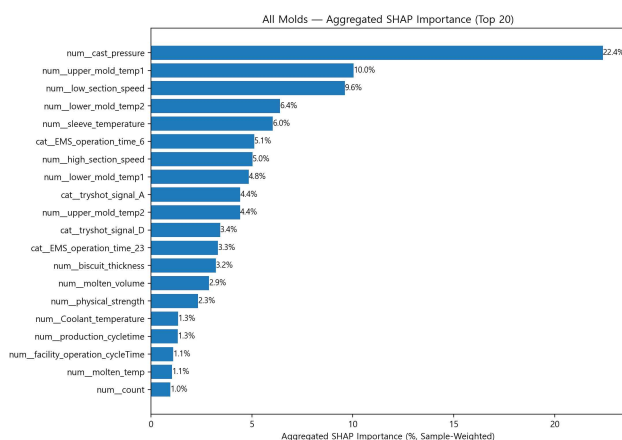
IATF 16949·ISO 26262 기준에 부합하도록 미검 최소화

-불량 검출률(Recall 기반) 목표:

현행 96.1% → 최소 98.5~99%

자동차 업계의 Zero Defect (AQL=0%, ppm 기준) 요구 수준에 근접하도록 설정

4. 집계 모델 변수별 영향도



*최종 모델로 사후 도출한 변수 별 영향도 상

주조 압력, 상금형/하금형 온도, 저속구간속도, 슬리브 온도 변수가 양/불 예측에 주요하게 기여함