

철도 시설물 결함 신뢰도 기반 위험등급 판정 가이드라인

중요 고지사항

본 가이드라인의 목적 및 권한 범위

본 가이드라인은 AI 기반 철도 시설물 점검 시스템의 신뢰도 기반 위험 평가 기준을 제공합니다. 문서에서 "재평가 필요" 또는 "등급 오류"로 표현된 판정은 AI 시스템이 위험등급을 직접 변경하거나 덮어쓰는 것을 의미하지 않습니다.

재평가 판정의 목적:

- 데이터셋 라벨링의 정합성 검증
- 점검자 또는 관리자에게 판단 근거 제공
- 이상 케이스에 대한 주의 환기

최종 위험등급의 변경 여부는:

- 철도 시설 관리 규정
- 현장 점검자의 전문적 판단
- 관리 감독자의 승인

에 따라 결정됩니다.

AI 시스템은 의사결정 지원 도구로서 기능하며, 안전에 관한 최종 책임은 운영 주체에 있습니다.

목차

- 데이터셋 개요 및 적용 범위
- 신뢰도-위험등급 정합성 검증 규칙
 - 1.1 기본 원칙
 - 1.2 정상 신뢰도 우선 원칙
 - 1.3 신뢰도 구간별 허용 위험등급
- 데이터셋별 결함-위험등급 매핑표
 - 2.1 데이터셋 1: 철도 선로 상태
 - 2.2 데이터셋 2: 전차선 애자 상태
 - 2.3 데이터셋 3: 새둥지 탐지
- 애매한 신뢰도 차이 판정 규칙
 - 3.1 근접 신뢰도 처리
 - 3.2 신뢰도 차이별 판정 전략
- 판정 절차
- 실전 시나리오 예시
- 경계 케이스 처리부록: 위험등급 정의

0. 데이터셋 개요 및 적용 범위

본 가이드라인은 3개의 철도 시설을 점검 데이터셋에 적용되며, 모두 통일된 E-O-X1-X2-S 위험등급 체계를 사용합니다.

데이터셋	결함종류	점검대상	위험등급
1. 철도선로상태	훼손, 너트 풀림	침목, 절연블록, 나사스파이크, 레일, 볼트너트, 용접부, 이음매판, 레일체결장치	E, O, X1, X2, S
2. 전차선 애자 상태	균열&파손, 이탈, 마모, 탈락, 파손, 마모&커버탈락	애자류, 클램프류, 행거류, 프로텍터류	E, O, X1, X2, S
3. RailFOD	둥지 크기 및 위치	새둥지	E, O, X1, X2, S

1. 신뢰도-위험등급 정합성 검증 규칙

1.1 기본 원칙

모든 결함 유형 중 최고 신뢰도와 부여된 위험등급이 일치해야 합니다. 본 가이드라인은 표준 해석 기준을 제공하며, 실제 판정 시에는 다음을 종합적으로 고려해야 합니다:

- 복합 결함 여부
- 신뢰도 차이
- 정상 신뢰도 수준

안전을 위해 보수적으로 해석하는 것이 원칙입니다.

1.2 정상 신뢰도 우선 원칙

핵심 규칙: 정상 신뢰도가 압도적인 경우, 결함 신뢰도는 우선순위가 낮아집니다.

정상 신뢰도	결함 신뢰도	평가 규칙
75% 이상	모두 25% 미만	E등급(정상)
75% 이상	25% 이상 있음	최대 O등급(모니터링)
50~75%	40% 미만	E또는 O등급(보수적 판단)
50~75%	40% 이상	결함 기준 판정
50% 미만	모든 경우	최고 결함 신뢰도 기준 판정

예시:

- 정상 82%, 훼손 12%, 풀림 6% → E등급, 비고: "미세 훼손 가능성"
- 정상 65%, 균열 30%, 마모 5% → O등급, 비고: "균열 징후 모니터링 필요"
- 정상 40%, 훼손 45%, 마모 15% → 훼손 기준 판정 (최고 결함)

1.3 신뢰도 구간별 허용 위험등급

신뢰도 구간	허용 위험 등급	판정
0~25%	E, O	정상 또는 경미한 이상
25%~50%	O, X1	주의 관찰 필요
50%~75%	X1, X2	결함 발생 확실
75%~100%	X2, S	심각한 결함

2. 데이터셋별 결함-위험등급 매팅표

주의: 본 매팅표는 단일 결함에 대한 표준 해석 가이드라인입니다. 실제 판정 시에는 복합 결함, 신뢰도 차이, 정상 신뢰도 수준을 종합적으로 고려해야 합니다. 경계 구간의 경우 상위 등급을 적용하는 것이 원칙입니다.

2.1 데이터셋 1: 철도 선로 상태 (훼손 / 너트풀링)

점검 대상: 침목, 절연블록, 나사스파이크, 레일, 볼트너트, 용접부, 이음매판, 레일체결장치 (FASTclip, system300-1, 팬드러 e-clip)

결함: 훼손

신뢰도 구간	0~25%	25~50%	50~75%	75~85%	85~100%
위험 등급	E (훼손 없음)	O (경미한 표면 훼손)	X1 (훼손 명확)	X2 (훼손 확대)	S (파손 또는 즉각 파손 위험)
설명	정상 상태	표면 일부 손상	명확한 훼손, 장기 진행 가능	단기 파손 발전 가능	구조적 안정성 상실 또는 급격한 파손 위험

결함: 너트풀림

신뢰도 구간	0~25%	25~50%	50~75%	75~85%	85~100%
위험 등급	E (풀림 없음)	O (초기 단계 풀림)	X1 (반복 관측)	X2 (다수 풀림)	S (너트 탈락, 체결 기능 상실)
설명	정상 체결	초기 풀림 또는 체결력 저하 징후	반복적 풀림, 지속적 기능 저하	다수 너트 풀림, 체결 기능 저하	너트 탈락, 완전한 체결 기능 상실

2.2 데이터셋 2: 전차선 애자 상태

점검 대상: 애자류, 클램프류, 행거류, 프로텍터류

결함 유형	0~25%	25~50%	50~75%	75~100%
균열&파손	E	O(미세 균열)	X1	X2(중간 크기) 또는 S(완전 파손)
이탈	E	O	X1(부분 이탈)	X2(탈락 징후) 또는 S(완전 탈락)
마모	E	O(미세 마모)	X1	X2 또는 S
탈락	E	O	X1	X2 또는 S(즉시 위험)
파손	E	O	X1(일부 파손)	X2 또는 S(완전 파손)
마모&커버탈락	E	O	X1	X2 또는 S(복합 진행)

2.3 데이터셋 3: 새둥지 탐지

평가 기준: 둥지 크기 및 위치 위험도

위험 평가	신뢰도 구간	위험 등급	설명
소형 둥지, 비위험 위치	75~100% (정상)	E	둥지 미탐지
소형 둥지, 비위험 위치	0~25% (결함) 또는 50~100% (정상)	O	소형 둥지, 안전한 위치
중형 둥지 또는 주의 위치	25~50%	X1	중/장기 모니터링 필요
대형 둥지 또는 위험 위치	50~75%	X2	단기 제거 필요
대형 둥지 + 위험 위치, 또는 전차선 접촉 위험	75~100%	S	즉시 제거(사고 위험)

참고: 새둥지의 경우 AI는 일반적으로 다음과 같은 복합 신뢰도를 출력합니다:

- 대형 둥지 + 위험 위치: 70%
- 중형 둥지 + 안전 위치: 20%
- 둥지 없음: 10%

최고 신뢰도 시나리오를 선택하여 적절한 위험등급에 매핑합니다.

3. 애매한 신뢰도 차이 판정 규칙

3.1 근접 신뢰도 처리 (차이 10% 이내)

시나리오: 두 결함 신뢰도가 10% 이내 차이

예시: 훼손 52%, 풀림 48% (차이: 4%)

판정 프로세스:

1. 신뢰도 차이 확인 → 4% (10% 이내)
2. 더 심각한 결함 우선 선택 → 훼손이 풀림보다 심각
3. 복합 결함으로 표기 → "훼손&풀림 (복합)"
4. 더 높은 위험등급 적용 → 훼손 기준으로 판정

결과:"훼손&풀림" 복합 결함, 훼손 매핑 기준 적절한 등급 적용

3.2 신뢰도 차이별 판정 전략

신뢰도 차이	판정 방식	비고
0~5%	복합 결함 또는 재검사 권장	구분 불가능 수준
5~10%	복합 결함, 심각한 쪽 우선	두 결함 모두 고려
10~20%	최고 신뢰도 결함 선택	명확한 결함 존재
20% 이상	최고 신뢰도 결함 확정	단일 결함 확실

4. 판정 절차

1. 정상 신뢰도를 확인한다.

- 정상 신뢰도 $\geq 75\%$ 이고 모든 결함 신뢰도가 25% 미만이면 E등급으로 판정한다.
- 정상 신뢰도 $\geq 75\%$ 이나 25% 이상인 결함이 존재하면 최대 O등급으로 제한한다.

2. 정상 우선 조건을 만족하지 않는 경우, 결함 평가 단계로 이동한다.

3. 모든 결함 중 최고 신뢰도를 가진 결함을 주 결함으로 설정한다.

4. 2순위 결함과의 신뢰도 차이를 계산한다.

- 차이가 10% 초과인 경우: 단일 결함으로 판단한다.
- 차이가 10% 이하인 경우: 복합 결함 가능성이 있다고 판단한다.

5. 단일 결함인 경우:

- 주 결함의 신뢰도 구간(0~25 / 25~50 / 50~75 / 75~100)을 확인한다.
- 해당 점검 대상의 결함-위험등급 매핑표를 참조하여 위험등급을 도출한다.

6. 복합 결함인 경우:

- 두 결함 중 더 심각한 결함을 기준으로 위험등급을 판정한다.
- 복합 결함으로 명시적으로 표기한다.
- 동일 신뢰도 구간에서는 상위 위험등급을 적용한다.

7. 도출된 위험등급을 데이터셋에 부여된 기준 등급과 비교한다.

- 일치하면 "적정"으로 판단한다.
- 불일치하면 "재평가 필요"로 판단한다.

5. 실전 시나리오 예시

시나리오 1: 명확한 단일 결함 (데이터셋 1 – 선로)

점검대상:침목

데이터셋 등급:X2

AI 분석 결과:

- 훼손: 88%
- 너트풀링: 8%
- 정상: 4%

판정 과정:

1. 정상 신뢰도: 4% (매우 낮음, 결함 평가 진행)
2. 최고 결함: 훼손 88%
3. 신뢰도 구간: 85~100%
4. 매핑: 훼손-85~100% = S등급 (파손 또는 즉각 파손 위험)
5. 데이터셋: X2 vs 판정: S = 불일치!

결론: ✗ 데이터셋 등급 과소평가. S등급으로 재평가 필요.

근거:훼손 88% 신뢰도는 구조적 안정성 상실 또는 급격한 파손 위험을 의미하며, X2 기준을 초과함.

시나리오 2: 정상 신뢰도 우세 (데이터셋 1 – 선로)

점검대상:볼트너트

데이터셋 등급:E

AI 분석 결과:

- 정상: 82%
- 훼손: 12%
- 풀링: 6%

판정 과정:

1. 정상 신뢰도: 82% (>75%, 우세)
2. 모든 결함 25% 미만
3. 정상 우선 원칙 적용 → E등급
4. 데이터셋: E vs 판정: E = 일치

결론: ☺ 등급 적정.

비고:"미세 훼손 징후 있음" 추적 목적 표기

시나리오 3: 복합 결함 (데이터셋 2 – 애자)

점검대상:애자

데이터셋 등급:O

AI 분석 결과:

- 마모: 43%
- 균열&파손: 38%
- 정상: 19%

판정 과정:

1. 정상 신뢰도: 19% (낮음, 결함 평가 진행)
2. 최고 결함: 마모 43%
3. 2순위: 균열&파손 38% (차이 5%, 10% 이내)
4. 복합 결함 가능성 높음
5. 심각도: 균열&파손 > 마모
6. 신뢰도 구간: 25~50%
7. 매핑: 균열&파손-25~50% = O (미세 균열) 또는 X1
8. 보수적 접근: 복합 특성으로 X1 상향
9. 데이터셋: O vs 판정: X1 = 불일치

결론: ✗ X1등급으로 상향 조정 필요

근거:균열&파손 동반 가능성이 높아 보수적 판정 필요

표기:"마모&균열파손 복합 결함"

시나리오 4: 새둥지 위험 (데이터셋 3)

점검대상: 새둥지

데이터셋 등급: O

AI 분석 결과:

- 대형 둉지 + 위험 위치: 72%
- 중형 둉지 + 안전 위치: 18%
- 둉지 없음: 10%

판정 과정:

1. 최고 신뢰도: 대형 둉지 + 위험 위치 72%
2. 신뢰도 구간: 50~75%
3. 매핑: 50~75% = X2 (단기 제거 필요)
4. 데이터셋: O vs 판정: X2 = 불일치

결론: X X2등급으로 상향 필요

근거: 위험 위치의 대형 둉지는 단기 사고 위험 존재

6. 경계 케이스 처리

Case A: 신뢰도 25% 정확히 경계

훼손: 25.0%

판정: 25~50% 구간으로 처리 (상위 구간 적용)

이유: 보수적 접근 (안전 우선)

Case B: 신뢰도 75% 세분화 경계

훼손: 75.0% (선로 데이터셋)

판정: 75~85% 구간으로 처리 → X2등급

이유: 선로-훼손의 경우 75~85%는 X2, 85% 이상은 S

Case C: 다수 낮은 결함 + 높은 정상

정상: 78%

훼손: 15%

풀림: 7%

판정: E등급 (정상)

이유: 정상 우선 원칙 - 정상 > 75%이고 모든 결함 < 25%

비고: "미세 결함 징후 있음" 추적용 표기

부록: 위험등급 정의(E-O-X1-X2-S)

등급	명칭	안전 영향	조치 필요
E	정상 상태	영향 없음	정기 점검만
O	요주의 결함	경미한 결함, 즉각적 영향 없음	모니터링 단계
X1	중/장기 파손 발전 가능	중/장기적으로 파손 발전 가능	1개월 이내 교체
X2	단기 파손 발전	단기간에 파손 발전 가능	10일 이내 교체
S	파손 또는 즉각 파손 위험	즉각적인 사고 위험	즉시 교체(당일)

한계 및 인간 감독의 중요성

본 AI 지원 평가 시스템은 다음과 같은 본질적 한계가 있습니다:

1. 모델 불확실성: 신뢰도 점수는 모델 예측이며 절대적 진실이 아님
2. 맥락 한계: AI는 운영 이력, 유지보수 기록, 현장 조건을 고려할 수 없음
3. 경계 케이스: 임계값 근처의 점수는 인간 판단 필요

4. 복합 결함: 실제 상황은 학습 데이터보다 복잡할 수 있음
인간 감독은 필수입니다. 현장 점검자와 관리자는 AI 권고사항을 검토해야 하며, 특히 고위험 등급(X2, S) 또는 재평가 표시된 케이스는 반드시 확인이 필요합니다.