

구매사양서

□ 구매 항목

- 휴대용 레일 마찰크립곡선 측정기 (Portable rail tribometer)

□ 활용 계획

(1) 과제와 관련한 활용계획

- 본 기기는 철도 현장의 선로 및 실험실 환경에서 휠-레일 접촉면의 “마찰-크립 곡선(friction-creep curve)” 특성을 정밀하게 측정하기 위한 “휴대용 레일 마찰크립곡선 측정기(tribometer)”임
- 표면상태, 윤활, 마찰조정제, 기상조건, 속도, 크리피지 등에 따라时时 각각 변화하는 철도 특유의 동적 점착 거동을 실제 레일 현장에서 직접 접적, 정량적으로 획득하여, 차량-궤도 상호작용 해석 모델의 정밀도와 예측 신뢰도를 크게 높일 수 있음
- 휠-레일 간 접촉 시 발생하는 마모(wear), 구름접촉피로(RCF), 소음 및 진동(특히 스켈 및 파상마모 연관 소음·진동) 발생 메커니즘을 분석하고 저감하기 위한 핵심 기초 자료로 활용됨
- 기존 단순 고정식 마찰 측정기나 진자식 측정기는 마찰 계수의 단일 정적 값만 측정할 수 있으며, 본 기기는 현장 레일의 동적 비선형 마찰 특성을 파악하는 데 필수적인 정밀 계측(센서) 기기임



Fig. 1: 휴대용 레일 마찰크립곡선 측정기 (Portable rail tribometer).

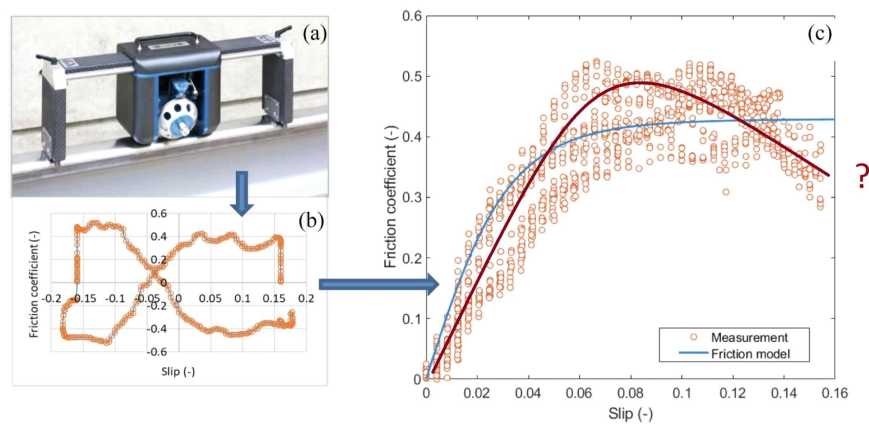


Fig. 4. Friction measurement procedure: (a) hand-operated tribometer, (b) sweep test result, and (c) post-processing to develop friction model.

Ref) I. Persson et al., Influence of non-dry condition creep curves in switch negotiation, Vehicle System Dynamics, 2022.

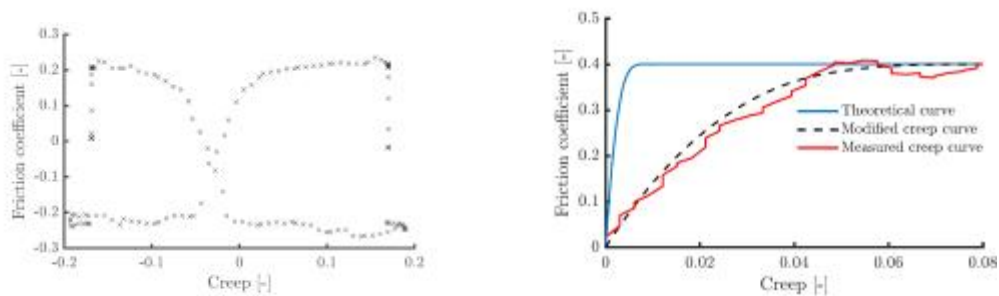


Figure 2. Example of raw friction coefficient vs. creepage data delivered from one test. Figure 3. Comparison of measured vs. theoretical creep curve.

Ref) E. Bernal et al., Prediction of rail surface damage in locomotive traction operations using laboratory-field measured and calibrated data, Engineering Failure Analysis 135, p106-165, 2022.

Fig. 2: 본 기기를 이용하여 ‘마찰-크립 곡선’ 측정한 국외 연구 사례.

(2) 연구 목적별 활용 계획 요약

연구 분야	세부 활용 목적	기대 성과
차량 동역학	실제 선로 조건별 마찰-크리프 곡선 DB 구축	국내 운행 노선별 맞춤형 열차 주행 안정성 해석 신뢰도 확보
점착 및 제동 제어	초저점착(Low Adhesion) 조건 모사 및 점착 제한 설계	기상 악화 시 제동거리 단축 알고리즘 고도화 및 열차 충돌 방지 안전 기술 확보
유지보수 (LCC 절감)	휠-레일 프로파일 마모율 및 RCF 피로 수명 예측	레일 연마(Grinding) 및 교체 주기 최적화 모델 개발로 인프라 비용 절감
친환경/소음진동	곡선부 스컬 소음(3~6 kHz) 메커니즘 해석 및 제어	도심지 밀착형 도시철도 및 트램의 고질적 곡선부 소음 민원 해결 기술 지원

- 철도 휠-레일 상호작용 연구 분야에서 단순 정적 마찰 계수를 넘어 크리프 곡선 전체를 능동적으로 도출할 수 있는 물리적 계측 기기의 보유 유무는 원천 기술 개발 역량을 가르는 척도일 수 있음
- 본 기기는 실험실의 한계를 넘어 실제 철도 현장의 불확실한 경계 조건을 정량화하고, 이를 시뮬레이션 기술과 긴밀하게 통합시켜 줄 '물리-수치 융합 연구 플랫폼'의 핵심 하드웨어임. 국가 철도 안전 확보, 친환경 소음 저감, 궤도 LCC 절감이라는 다각적 연구 목표를 조기에 달성하기 위해 본 기기의 도입은 매우 시급하고 필수적임

(3) 과제종료 후 활용계획

- 내부 기관 활용: 철도연(KRRI) 내 차량 동역학, 궤도 공학 등 타 연구실 소속 연구원들이 수행하는 휠-레일 인터페이스 관련 R&D 과제에서 현장 마찰계수 측정이 필요할 경우, 기기 지원 및 측정 기술 교류를 수행하여 원내 연구 역량 강화에 기여
- 외부 기관 활용: 국내 철도 운영사 및 인프라 관리 기관이 선로의 마찰 특성 평가나 특정 구간의 급격한 마모 및 소음 문제 해결을 요청할 경우, 공동 연구 또는 기술 자문 형태로 본 기기를 활용할 수 있음

□ 구매 사양

[휴대용 레일 마찰크립곡선 측정기 (Portable rail tribometer)]

OnTrak HO Tribo의 주요 요구 사양은 다음과 같음.

- 적용 미끄러짐(creepage) 제어 범위: 0.1~15%
- 접촉 응력 조절 범위: 0.4~2.4GPa(인가 하중 15~90N)
- 제동 각도(braking angle) 조절 범위: 1~150mRad
- 힘 교정(force calibration) 정밀도: < 1:2000 f.s.
- 힘 분해능(force resolution): < 1:10000
- 마찰계수(mu) 측정 분해능: < 0.5%
- 최대 측정 구간(measuring stroke): 30cm
- 배터리 운용 시간: 연속 12시간 이상
- 기기 총 중량: 7~8kg

□ 참고 사항

가. 기기 필요성

(1) 마찰 특성 계측 관련한 비교 자료

본 기기(Portable rail tribometer)는 휠-레일 접촉부의 동적 마찰 특성을 현장에서 정량적으로 계측하기 위한 전용 측정기이다. 고려할 수 있는 단순 수동형 마찰계수 측정기 및 대형 실차 기반 측정 시스템과의 성능 및 활용성 비교는 다음 표와 같다.

구분	구매 예정 기기 (portable rail tribometer, OnTrak HO Tribo)	수동형 마찰 측정기 (예: 진자형 또는 푸시형)	대형 실차 기반 마찰 측정 시스템
측정 원리	롤러 구동을 통한 실제 휠-레일 접촉 모사	단순 접촉 또는 슬라이딩 마찰 측정	영업 열차 또는 특수 검측차 주행 기반 측정
미끄러짐 제어	0.1~15% 구간의 정밀 가변 제어 가능	고정 슬립 또는 제어 불가	제한적 제어
접촉 응력 제어	0.4~2.4GPa 가변 제어 가능	단순 수직 하중에 의존	장착 차 축중에 고정됨
장비 휴대성 및 현장성	중량 7~8kg, 자력 부착식으로 우수함	경량이나 레일 두부 곡률(top of rail) 반영 한계	현장 측정 시 열차 다이어 간섭 발생
데이터 신뢰성	자동화 시퀀스를 통한 인적 오류 배제	작업자의 숙련도 및 미는 힘에 크게 의존	연속 측정에 유리하나 국부 분석에 한계

나. 경제적 및 운영적 측면의 필요성

(1) 실차 시험(Instrumented Train Test) 대비 압도적인 비용 절감

- 기관차 및 계측 차량을 직접 선로 상에 구동하여 마찰-점착 곡선을 획득하는 시험은 막대한 예산(차량 대차료, 계측기 설치비 등)이 소요될 뿐만 아니라, 상업 열차의 운행 시간표를 방해하여 막대한 사회적 비용을 유발한다.
- 반면, 본 장비는 소수의 인원으로 단시간 내에 특정 선로의 곡선부, 구배지 등 타겟 지점을 정밀 측정할 수 있어 현장 연구 비용을 최소 90% 이상 절감할 수 있는 높은 투자 대비 효과를 제공한다.

(2) 실험실 테스트(트윈디스크 시험기)와 실제 현장 간의 가교 역할

- 실험실용 Twin-Disc 장비는 제어 환경이 우수하나 시험편 가공 과정에서 실제 선로에 형성된 미세 경계층(Third-body layer)이 파괴된다는 한계가 있다.
- 본 기기는 실제 운영 중인 선로에서 형성된 낱것 그대로의 경계 막을 훼손하지 않고 현장에서 직접 측정할 수 있어, 실험실적 연구 모델의 '현실 대표성' 문제를 해결할 수 있다.

다. 원내외 보유 여부 및 중복성

(1) 우리 연구원

- 해당 용도 및 목적의 유사 기기 없음
- 차륜/레일 슬립제어장치(시작품), 고속 레일-차륜 접촉시험기가 있으나 실험실 내에서 트윈-디스크 방식의 마모/점착력 등을 모사 시험하기 위한 목적으로 본 '휴대용 레일 마찰크립곡선 측정기'와 용도가 다름

(2) 외부기관 보유 및 활용 검토

- NFEC 및 ZEUS 시스템 상에서도 유사 기기 검색되지 않음
- 국내에서 도입 및 활용 사례 검색되지 않음

라. 종합 의견

- 본 휴대용 마찰크립곡선 측정기(OnTrak HO Tribo)는 전 세계 철도 인프라 마찰 관리 및 다물체 시뮬레이션 데이터 검증 연구에서 “사실상의 표준 측정기”로 평가받고 있으며, 현장 측정 신뢰도가 이미 수많은 철도 학계와 산업 현장에서 광범위하게 검증된 기기임
- 차량 전용 점착 시험 열차를 직접 대여해 실차 구동 시험을 수행하는 고비용을 차단하고, 오직 측정기 고유의 속도 및 기하학적 형상 편차만 후 처리로 보정하면 고성능 다물체 동역학 해석용 입력 데이터베이스를 완성하기에 현재로서는 가장 이상적인 기기임