과업지시서

철도 레일 표면 고속점검을 위한 인공지능 카메라 시스템 제작 용역

2026. 5.

한국철도기술연구원

1. 과업일반

1.1 과업명

- 철도 레일 표면 고속점검을 위한 인공지능 카메라 시스템 제작 용역

1.2 과업 목적

- 본 과업은 철도 레일 표면의 고속점검(최대 시속 20 km/h)을 위하여 인공지능 카메라 시스템을 제작하는 것을 목적으로 함. 이를 위해 카메라 하드웨어, 카메라 지그, 조명 기구물, 제어용 장치, 인공지능 기초 모델, 원격 모니터링 장치로 구성되는 시스템을 제작함
- 제작한 시스템의 운용 및 레일 표면점검 인공지능 성능 테스트를 위하여 연구원의 성능 측정 시험을 지원함

1.3 과업기간: 계약일 ~ 2026년 12월 11일

2. 과업내용

2.1 과업 필요성

○ 철도 레일 일상점검의 자동화·정량화 필요성

- 레일 표면의 결함은 초기 단계에서 발견·조치하지 않을 경우 열차 주행 안전성 저하 및 유지보수 비용 증가로 이어질 수 있음
- 현재 일상점검은 작업자 보행 점검 및 육안 확인 중심으로 수행되어 인력 의존도가 높고, 점검 결과의 객관성·정량성 확보에 한계가 있음
- 반복적·광범위한 점검 구간에 대해 효율적이고 지속 가능한 자동화 수단 도입이 필요함

○ 사족보행로봇/소형 단일 레일 이동체 탑재를 위한 초경량 시스템 요구

- 본 과업의 적용 대상은 단일 레일 위를 주행하는 사족보행로봇 또는 소형 선로 이동체로, 탑재 중량에 엄격한 제한이 존재함
- 무게 증가 시 주행 안정성 저하 및 기계적 부담이 증가할 수 있으므로, 카메라·조명·지그 등 전체 시스템의 경량화 설계가 필수적임
- 진동·충격·분진 등 철도 현장 환경을 고려한 내환경성 확보가 필요함

○ 현장 조도 변화에 강건한 광학·조명 설계 필요성

- 옥외 선로 환경은 직사광·역광·터널 진입 등 조도 변화가 크고, 레일 표면의 정반사 특성으로 인해 영상 중앙부 반사 현상이 발생할 수 있음
- 렌즈 비네팅, 조명의 영상 간섭, 균일도 부족 등은 결함 검출 성능을 직접적으로 저해하므로, 카메라·렌즈·조명을 통합한 광학 모듈의 설계·제작이 요구됨

○ 시속 20 km/h 고속 주행 환경 대응 필요성

- 소형 이동체가 최대 시속 20 km/h로 주행하며 레일 표면을 촬영할 경우, 진동 및 운동 블러, 조도 변화 등으로 영상 품질 저하 가능성이 존재함
- 이에, 고속 셔터 기반 촬영 및 영상 안정화 기술이 요구됨

○ 현장-원격지 분리 운용 및 데이터 기반 점검 체계 구축 필요성

- 사족보행로봇/이동체 탑재 임베디드 보드(Jetson 계열)는 영상 획득·전송에 집중하고, 검출·저장·시각화 등 연산 부담이 큰 작업은 원격지 서버에서 수행하는 분리 구조가 효율적임
- 원격 모니터링 화면을 통해 현장 점검 상황을 실시간 확인하고, 딜레이된 결함 검출 결과 및 GNSS 기반 위치 정보를 함께 제공하여 점검 이력의 디지털 관리 체계를 구축할 필요가 있음

○ 데이터 기반 일상점검 체계 구축 필요성

- 단순 영상 촬영을 넘어, 인공지능 학습·검증이 가능한 데이터 축적 구조 마련이 필요함
- 레이블링 툴을 통해 표준화된 학습 데이터를 구축하고, 반복 학습을 통해 모델 성능을 지속적으로 개선할 수 있는 체계가 요구됨
- 원격 모니터링 장치를 통해 현장 점검 결과를 실시간 확인하고, 점검 이력의 디지털 관리가 가능해야 함
- 이는 향후 레일 열화 경향 분석 및 예방정비 체계로 확장 가능한 기반 기술이 됨

○ 연구원 성능시험 연계 및 기술 검증 필요성

- 제작된 시스템의 인공지능 검출 정확도, 오검출률, 처리 지연시간 등을 정량적으로 평가할 필요가 있음
- 연구원의 성능 측정 시험을 통해 실제 일상점검 적용 가능성을 검증하고, 상용화 이전 단계의 기술 신뢰성을 확보해야 함

2.2 과업의 범위 및 세부사항

가. 카메라 부착 지그 설계

1) 카메라 부착 지그

- 대상 항목: 사족보행로봇 후방 또는 이동체 상단에 카메라·렌즈·조명을 일체로 장착하기 위한 부착 지그
- 카메라 부착 지그 목표
  - ① 결합 방식: 사족보행로봇 상부 마운트 패턴(예: M4/M5 인서트)에 볼트 체결 또는 고속 이동체 상단면에 카메라 설치
  - ② 슬라이드 조절 기능: 레일로부터의 거리(높이)를 단계 또는 무단 조정 가능
  - ③ 간섭 회피 설계: 사족보행로봇 뒷다리 힙 관절 회전 영역과 슬라이드 플레이트 간섭이 없도록 길이·형상 설계
  - ④ 강성·진동: 보행/주행 중 카메라 광축 흔들림이 결함 검출 성능에 영향을 주지 않을 수준
  - ⑤ 재질·중량: 알루미늄 합금 또는 카본 등 경량 소재, 지그 단독 무게 ≤ 500 g
  - ⑥ 안전: 가공 모서리 노출 방지, 케이블 가이드 포함

- 요구사항 및 연구원 지원
  - ① 사족보행로봇 본체 및 시험용 레일 시편은 연구원 내 제공 가능

나. 카메라 마운트 및 광학·조명 기구물 설계·제작

1) 카메라 마운트 및 광학 모듈

- 대상 항목: 레일 표면을 안정적으로 촬영하기 위해 카메라·렌즈를

정렬·고정하는 마운트와 일체화된 광학 모듈

- 카메라 마운트·광학 모듈 목표
  ① 카메라 해상도 및 프레임레이트: HD급 이상, 최대 60 Hz 이상 지원
  ② 셔터 타입: 글로벌 셔터(모션 블러 최소화)
  ③ 인터페이스: 10 GigE Vision 또는 동급 이상의 산업용 인터페이스, Wi-Fi 환경에서도 동작 검증 완료
  ④ 렌즈 사이즈: 20 mm 이내
  ⑤ 광학 작동 거리: 레일 상부 ~ 카메라 끝단 150 mm 내외
  ⑥ FOV: 레일 두부(railhead) 폭 전체 포함
  ⑦ 카메라 + 렌즈, 조명 합산 중량: ≤ 1,000 g

2) 조명 배치 및 조명 기구물

- 대상 항목: 자연광 환경에서도 균일 조도를 확보하고, 레일 표면의 정반사로 인한 중앙부 반사 현상을 억제하기 위한 조명 모듈
- 조명 목표
  ① 광원 종류: LED·적외선 등 복수 후보 검토 후 협의에 따라 최적 광원 채택
  ② 조명 배치: 카메라 광축 대비 비축 조명(off-axis) 또는 환형 조명 등 반사 억제 형상
  ③ 균일 조도: 시야 영역 내 조도 편차가 결함 판독에 영향을 주지 않도록 균일도 확보
  ④ 내환경성: 옥외 사용 가능한 IP 등급, 진동/분진 환경 대응
  ⑤ 제어: on/off, 밝기 조절 등 제어 인터페이스 제공

3) 광학·조명 통합 기구물 설계 및 제작

- 카메라·렌즈·조명을 하나의 모듈로 통합한 기구물 실물 가공·조립까지 포함
- 렌즈 비네팅 및 조명에 의한 영상 간섭(중앙부 반사) 개선 설계 적용
- 조명 위치/종류 변경에 대한 시험·협의 절차 포함, 1회 이상 시작품 개선 반영
- 관련 도면 일체 납품

다. 레일 표면 결함 세그멘테이션 기초 모델 제작

1) 학습 데이터 및 라벨링 툴

- 연구원이 보유·제공하는 레일 표면 결함 영상 및 라벨링 데이터를 기반으로 학습 데이터셋 구축
- 추가 학습 데이터를 추론하여 라벨링 수정을 할 수 있는 툴 제작

2) 세그멘테이션 기초 모델 학습

- 대상 항목: 연구원 보유 데이터 기반 레일 표면 결함에 대한 픽셀 단위 분할 기초 모델, 추후 실제 촬영 데이터에 대한 transfer learning
- 세그멘테이션 모델 목표
  - ① 모델 베이스라인: SAM2/SAM3, RT-DETR 등 세그멘테이션 모델, 라이센스 이슈가 있는 모델 사용 금지
  - ② 결함 클래스: 최소 4종 이상 분리 학습
  - ③ 검출 출력: 결함 마스크, 결함 종류, 신뢰도
  - ④ 저장 포맷: MS COCO instances/annotations 호환
  - ⑤ 추론 환경: 인터페이스 연계 서버 GPU 동작

3) 성능 평가 및 보고

- 정량 지표: 클래스별 mIoU, Pixel Accuracy, Precision/Recall, 연구원 시험셋 기준 성능 보고
- 연구원 데이터에 대한 재학습/미세조정 절차서 및 학습 스크립트 일체 납품
- 요구사항 및 연구원 지원
  - ① 연구원이 보유한 레일 표면 영상·라벨 데이터 및 시험용 레일 시편 제공 가능
  - ② 학습용 GPU 환경(클라우드 또는 연구원 서버)은 협의에 따라 제공 가능

라. 사족보행로봇 내 Jetson 보드 연동 및 원격지 서버 데이터 송수신

1) Jetson 보드 영상 획득·전처리 모듈

- 대상 항목: 사족보행로봇 상부에 탑재되어 카메라 영상 획득과 서버 전송을 수행하는 임베디드 처리 보드(NVIDIA Jetson 계열)
- Jetson 보드 목표

① 대상 보드: NVIDIA Jetson Orin/Nano(또는 동등 이상). 협의에 따라 변경 가능

② 주요 기능: 카메라 영상 획득, 노출 자동 제어, 메타데이터 부착(타임스탬프·GNSS·로봇 자세) 후 서버 전송

③ 결함 검출 추론은 서버에서 수행하고, Jetson 은 촬영·전처리·전송에 집중

④ 전원·내환경: 사족보행로봇 배터리 사용 또는 보조 추가 배터리

2) 원격지 서버 데이터 수신·검증·저장 모듈

- 대상 항목: Jetson 으로부터 영상·메타데이터를 수신하고, 결함 검출 추론 및 원본/결과 저장을 수행하는 원격지 서버
- 서버 모듈 목표

① 수신 인터페이스: TCP/IP 기반(이더넷/Wi-Fi), 표준 프로토콜(MQTT, gRPC, REST 중 협의)

② 검증 및 검출: 수신 이미지에 대해 (다)항의 세그멘테이션 모델로 결함 검출 수행

③ 저장 정책: 원본 이미지·메타데이터·검출 결과(마스크·클래스·신뢰도) 분리 저장(로컬 파일 + DB)

④ 저장 수명 정책: 결함 미검출 이미지는 일정 기간(예: 1시간) 경과 후 원본 및 DB 레코드 자동 정리

⑤ 장애 대응: 통신 단절 시 Jetson 측 임시 캐싱·재전송 로직 포함

3) 통신 안정성·지연 평가

- 전송 지연·패킷 손실률·재전송 횟수 등을 로그로 기록하고 지표화

마. 원격지 데이터 모니터링 시스템 제작

1) 원격 모니터링 UI

- 대상 항목: 검사 운용자가 원격지에서 사족보행로봇의 검사 상황과 결함 검출 결과를 실시간 확인할 수 있는 모니터링 UI
- 모니터링 UI 목표

① 실시간 화면(Real-time view): Jetson 으로부터 수신되는 라이브 영상을 저지연으로 표시

② 결함 검출 결과 표시(Delayed view): 서버 추론 완료 후 결함 마스크/클래스/신뢰도를 영상에 오버레이로 표시(라이브 대비 일정 시간 지연 허용)

③ GNSS 위치 표시: 결함이 검출된 시점·구간의 위도·경도 표시

④ 캡쳐/검증/저장 상태 표시: 캡쳐 이미지 전송, 서버측 검증, 로컬·DB 저장 단계별 상태 가시화

⑤ 검사 이력 조회: 결함 종류·발생 위치·시각 기준 검사 이력 조회 및 필터링

2) GNSS 위치 정보 연동

- 각 캡쳐 이미지에 대해 위도/경도 기반 위치 정보를 동시 저장, GNSS 데이터 연결 설계 및 구현 포함
- 지도 또는 노선도 위에 결함 발생 지점 표기 기능 포함

3) 시스템 운용 보조 기능

- 데이터 로깅, 검출/저장 정책(미검출 데이터 자동 정리) On/Off, 비상정지/연결 해제, 사용자 권한 관리 등

바. 성능 측정 시험 지원

1) 시험 환경 구성 및 매뉴얼 제공

- 제작된 사족보행로봇 검사 시스템(카메라 모듈, Jetson, 원격 서버, 모니터링 UI) 활용 매뉴얼 제공 및 운용 교육
- 연구원이 제공하는 시험용 레일 시편 또는 시험선 환경에서 시스템 설치/캘리브레이션 보조

2) 검출 성능·운용 성능 시험 지원

- 결함 검출 정확도(클래스별 mIoU, Precision/Recall), 오검출률, 처리 지연시간, 데이터 송수신 안정성 등 정량 지표 측정 지원
- 시험 시나리오에 따라 사족보행로봇 운용·데이터 리포팅 보조
- 시험 결과 요약 보고서 작성 보조

3. 과업 수행 지침

3.1 일반

- 본 과업과 관련된 성과품은 본 과업의 목적 이외에는 다른 용도로 활용할 수 없으며, 자료가 유출되지 않도록 하여야 한다.
- 과업수행기관은 과업 수행 시 중요사항의 결정에 관련해서는 한국철도기술연구원과 긴밀히 협의하여야 하며, 효율적 과업을 수행하기 위하여 한국철도기술연구원의 추진일정에 적극 협조하여야 한다.
- 본 과업의 수행과 관련하여 과업지시서에 명기되어 있지 않거나, 불명확한 사항은 한국철도기술연구원과 상호 협의하여 결정함을 원칙으로 하되, 한국철도기술연구원의 별도 요구가 있을 시는 이를 이행하여야 한다.

3.2 보안 관리

- 과업 성과물은 사전에 보안성을 면밀히 검토하고 대외관리를 철저히 한다.
- 모든 관계서류, 자료들은 본 과업의 목적 외에 여타 목적을 위해 사용할 수 없으며, 과업 수행과정에서 발생되는 각종 자료 및 과업성과품은 과업 완료 시 전량 반납하여야 한다.
- 과업 참여기술자는 생산된 자료 및 취득한 내용을 한국철도기술연구원의 사전승인 없이는 타인에게 제공, 대여 및 누설할 수 없다.
- 본 과업 중 보안에 관계되는 사항에 대하여 보안통제를 엄격히 하며, 보안사항의 누설로 인하여 사회적인 물의를 야기하였을 경우 과업수행 참여기술진, 과업수행기관 및 대표자 등이 도의적인 책임 등 모든 책임을 감수하여야 한다.

3.3 계약자 책무

- 과업을 완성함에 있어 꼭 필요한 부분의 누락 또는 생략이 되었을 경우 계약자는 이를 무상으로 보완하여야 한다.
- 본 과업지시서에 의해 설계된 설계서 또는 규격이 승인이 되었거나 공급된 산출물이 검사에 합격되었다 하더라도 하자 등 문제점 발생시 이에 대한 책임은 계약자에게 있다.

3.4 과업 성과품

납 품 목 록	수 량	비 고
· 제작물에 대한 사용 매뉴얼(hwp 파일)	1 copy	
· 사족보행로봇 부착용 카메라 지그 및 광학·조명 통합 모듈(실물 1식, 도면 포함)	1 set	
· Jetson 영상 획득·전송 모듈 및 원격지 서버 수신·검증·저장 실행파일 및 소스	1 set	
· 레일 표면 결함 세그멘테이션 기초 모델(가중치·학습 스크립트 등 포함) 및 라벨링 툴(실행파일 및 소스)	1 set	
· 원격지 데이터 모니터링 시스템(실시간 화면·결함 오버레이·GNSS 연동 인터페이스 실행파일·소스 포함)	1 set	

3.5 과업수행의 보고

- 계약자는 착수 후 2주 이내에 과업 참여진 편성 및 추진방향 등에 대한 착수보고회를 개최한다.
- 계약자는 매달 과업 진행 상황에 대하여 발주자에게 보고하여야 한다.
- 계약자는 격월로 진행 상황 보고회를 개최한다.
- 계약자는 과업의 준공 전 15일 이전에 최종보고회를 개최한다.

3.6 하자 보증 보수

- **하자 보증기간은 사업 완료 후 12개월**로 한다.
- 하자 보수는 개발에 참여한 엔지니어가 직접 담당해야 한다.
- 단위 시작품 제작 후 타 장치와 연동 시험 및 실노선 장착 후 동작 시험 중 발견되는 보완사항 해결도 하자 보증 보수에 포함된다.

4. 제안 안내

4.1 제안서 작성 지침

- 기술제안서의 구성은 “2.2 과업의 범위 및 세부사항” 및 “붙임1 기술제안서 평가표”를 참조하여 상세 수행내용을 누락없이 작성하여야 한다.

- 제안내용을 보충하기 위해 참고문헌을 활용하는 경우 참고문헌 목록을 첨부하고 인용부분을 명시하여 연구원에서 요청할 경우 이를 제출하여야 한다.
- 제안서의 용지규격은 A4 크기(단, 부득이 A3를 사용하는 경우 1/2로 접을 것)로 작성하여야 한다. 또한 각 쪽에 일련번호를 부여하며 총 **쪽수는 표지, 간지, 목차 등을 포함하여 30쪽을 넘지 않아야 한다.**
- 제안서는 접수 시 6부를 출력하여 제출한다.
- 제안서 내용은 명확한 용어를 사용하여 표현하며, '~를 제공할 수도 있다. ~이 가능하다. ~을 고려하고 있다.'등과 같은 모호한 표현은 제안서 평가 시 불가능한 것으로 평가한다.
- 제출된 제안서의 기재 내용은 연구원의 요청이 없는 한 수정, 삭제, 대체할 수 없다.
- 입찰자는 입찰안내서의 규격과 항목 그리고 조건에 따라 분명하고 상세하며, 정확한 제안서를 준비하여야 한다. 제안서가 임의적이거나 다르게 작성되었다면 평가에서 제외될 수 있다.

4.2 제안서의 효력

- 제안서의 내용은 입찰자가 계약자로 선정된 후 계약서에 명시되지 않더라도 계약서와 동일한 효력을 가진다. 단, 계약서에 명시된 사항이 우선한다.
- 연구원의 조치 또는 추진계획의 변경으로 본 제안서의 일부 또는 전부가 변경되거나 취소되는 경우에도 입찰자는 이의를 제기하지 못한다.
- 연구원의 필요에 따라 추가제안 또는 자료를 요청할 수 있으며, 이에 따라 제출된 자료는 제안서와 동일한 효력을 갖는다.

5. 평가절차 및 기준

5.1 입찰 및 낙찰

가. 입찰방식: 제한경쟁(최초공고)/일반공개경쟁(재공고)

나. 낙찰방식: 기술/가격 분리입찰

1) 입찰에 참여하고자 하는 입찰자는 기술제안서 및 가격입찰서를 동시에 연구원에 제출하여야 한다.

2) 연구원은 평가위원회를 구성하여 연구원에서 정한 "붙임 1 기술제안서 평가표"에 의거 입찰자가 작성 제출한 기술제안서(가격 제외)를 평가하고, **기술평가 결과 70점(100점 만점 기준) 이상인 자를 기술적격자로 선정한다.**

필요시 응찰 입찰자로 하여금 기술제안서 발표를 하게 할 수 있다.

3) 기술제안서를 평가한 후 적격업체에 대해서만 가격입찰 대상자로 통보하며, 가격입찰에서 예정가격 이하의 최저가 입찰자를 낙찰자로 결정한다.

5.2 제안서 평가 지침

가. 제안서 평가는 “붙임 1 기술제안서 평가표”에 의한다

나. 입찰자는 제안서 평가 방법 또는 평가 결과에 대해 이의를 제기할 수 없으며, 제안서 평가 결과는 공개한다(평가위원은 비공개).

다. 제안 내용에 대한 평가는 연구원에서 평가위원회를 구성하여 평가하고 제안서에 기재되지 않은 사항에 대하여는 평가하지 않는다.

다. 평가위원회는 연구원 주관으로 외부 평가위원을 포함하여야 하며 철도기술 관련 전문가 pool을 구성하여 선정한다.

라. 제안서 평가는 제안요청사항에 따른 입찰자의 제안 내용을 분야별로 정형화된 평가요소에 따라 가중치를 고려한 배점을 적용하고 평가한다.

마. 평가위원회의 평가위원별로 개별적으로 제안서를 평가한다.

바. 입찰자별로 평가위원들의 점수를 합산하여 종합점수를 산술 평균한다.

사. 종합평가결과 소수점 이하 숫자처리는 소숫점 셋째자리에서 반올림한다.

5.3 참고사항

가. 본 제안과 관련하여 제출된 제안서는 반환하지 아니한다.

나. 본 제안을 위해 소요되는 일체의 비용은 입찰자가 부담한다.

다. 입찰자가 제출한 모든 관련자료 및 문서는 입찰자의 권익보호를 위하여 외부에 공개되지 않음을 원칙으로 한다.

라. 입찰에 참여하고자 하는 자는 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙 제 41조의 규정에 따라 입찰공고문, 입찰유의서, 용역계약일반조건, 과업지시서, 기타 입찰에 필요한 모든 사항을 숙지하고 입찰에 참여하여야 한다.

마. 입찰에 제출되는 서류가 사본일 경우에는 “원본 대조필”을 확인하여 제출하여야 하며 제출된 서류는 변경할 수 없다.

[붙임 1]

기술제안서 평가표

평가항목		세부평가항목	배점	점수		비고
기술 제안 내용	과업제안서 적합성 (30)	- 과업 목표 및 범위의 이해도 - 과업 수행 내용 분석의 명확성 - 과업지지서와의 부합성	30	매우 우수	30	
				우수	24	
				보통	18	
				미흡	12	
				매우 미흡	6	
	추진전략 및 방법 (60)	○ 레일 표면 결함 측정 시스템 제작 - 카메라 하드웨어/소프트웨어, AI 기초 모델, 원격 운용 인터페이스의 목표치, 기능, 연구원 요구사항 반영 정도 및 제작 방안의 적정성	30	매우 우수	30	
				우수	24	
				보통	18	
				미흡	12	
				매우 미흡	6	
		○ 성능 측정 시험 지원 - 성능 측정을 위한 인터페이스/모니터링 제작 방안의 적정성 - 성능 측정 시험 지원 계획의 적정성	30	매우 우수	30	
				우수	24	
				보통	18	
				미흡	12	
				매우 미흡	6	
과업 수행 능력	정량 실적 (10점)	○ 입찰공고일 기준 5년 이내 카메라 관련 과제/용역 수행 여부 * 증빙서류: 실적증명서 또는 계약서(세금계산서 첨부)	10	1건 이상	10	증명
				미보유	0	
평가점수 계(100점 만점)						

평가위원 : (인)