

기술수요조사서 [과제제안]

연구개발 과제명	도시철도 급곡선부 궤도안정성 향상을 위한 높이조절형 레일보강장치 개발 및 현장 실증
-------------	--

제안기관

기관명	인천교통공사		우선순위	상(○) 중() 하()
제안 담당자	부서	토목궤도관리팀	직위	과장
	성명	김원동	연락처	휴대폰 : 010-3022-5929 e-mail : kimwd@ictr.or.kr
활용 예정 부서	부서	토목궤도관리팀	직위	과장
	성명	김원동	연락처	휴대폰 : 010-3022-5929 e-mail : kimwd@ictr.or.kr

제안과제

구분	내용
1. 연구개발 필요성	○ 인천2호선은 2량 1편성의 경전철이 운행되는 노선으로, 궤도구조는 콘크리트도상 직결 궤도이며 Pandrol사의 SFC형 패스트클립이 적용되어 있다. 특히 노선 특성상 곡선반경 R<250 m의 급곡선 구간이 약 5.8 km로 전체 노선의 약 20%를 차지하고 있어, 급곡선 통과 시 발생하는 횡압 및 반복 동적하중에 대한 궤도구성품의 안정적인 하중분담이 중요하다. ○ 개통 초기부터 급곡선부를 중심으로 레일체결장치 구성품의 절손 및 파손이 지속적으로 발생하였으며, 현재까지 누적 교체건수가 1,000건 이상에 이르고 있다. 일부 구간에서는 궤도안전성 확보를 위해 열차 운행속도를 제한하고 있으며, 체결장치 상태 확인을 위한 특별점검과 반복적인 부품교체가 이루어지고 있어 유지관리 비용이 지속적으로 증가하고 있다. ○ 현재까지 궤간 확장 방지를 위한 멀티타이로드 설치, 체결장치 밀림방지용 횡지지대 설치 등 다양한 궤도안정화 대책을 적용하고 있으나, 이는 기존 레일체결장치의 부족한 횡방향 및 수직방향 하중 저항 성능을 근본적으로 보완하는데 한계가 있다. 특히 콘크리트도상 직결궤도의 특성상 기존 체결장치를 추가 설치하거나 교체하기 위해서는 콘크리트 도상의 절단·파쇄 등 추가적인 작업이 수반되어 작업성이 낮고 공사비와 작업시간이

구 분	내 용
	증가한다. ○ 따라서 기존 레일체결장치를 전면 교체하지 않고도 레일 사이 또는 체결장치 사이에 추가 설치하여 열차하중을 기존 체결장치와 분담하고, 급곡선부의 궤간확대 및 체결장치 파손 가능성을 최소화할 수 있는 별도의 레일보강장치 개발이 필요하다. ○ 특히 현장 콘크리트도상은 시공 및 유지관리 과정에서 높이와 표면상태가 일정하지 않으므로, 다양한 현장 조건에 적용할 수 있는 높이 조절 기능, 신속한 설치·해체가 가능한 구조, 레일연마·레일교환·궤간정정 등 기존 유지보수 작업과의 간섭이 최소화되는 구조가 요구된다. ○ 현재 체결장치 파손이 지속적으로 발생하고 있어 급곡선부 특별점검이 시행되고 있으며, 인천교통공사는 관련 유지관리 예산을 확대하여 궤도안정화 사업을 추진하고 있는 만큼 기술개발의 시급성이 높다. 개발 기술을 실제 영업선에서 실증하여 성능을 검증할 경우, 단기간 내 현장 적용 및 구매로 연계할 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.
2. 현장수요 및 확산 가능성	○ 인천2호선의 R<250 m 급곡선 구간은 약 5.8 km이며, (가정) 레일체결장치 약 3개소당 레일보강장치 1개소를 설치하는 경우 약 3,275조의 수요가 예상된다. 우선적으로 SFC 패스트클립이 많이 손상된 R<250 m 이하 14개 구간, 28개 곡선을 적용 대상으로 검토하였으며, 현장 실증 결과에 따라 R<300 m 이하 곡선부 및 체결장치 손상 빈도가 높은 구간으로 확대 적용할 수 있다고 판단된다. ○ 개발 제품은 일회성 시제품이 아니라 체결장치 손상상태, 곡선반경, 축중 및 현장 조건 등에 따라 단계적으로 확대 적용할 수 있는 유지관리 제품으로, 신규 설치뿐 아니라 장기 사용에 따른 부품 교체 등 반복 수요가 예상된다. ○ 특히 철제 차륜 방식의 경전철은 노선 계획 특성상 급곡선 구간의 비율이 상대적으로 높아 횡압과 반복하중으로 인한 궤도구성품에 문제가 발생하기 쉬우므로, 인천2호선과 유사한 콘크리트도상 직결궤도를 운영하는 김포골드라인, 우이신설선, 부산김해경전철 등에도 적용 가능성이 있다고 판단된다. 다만 타 기관 적용 시에는 사용 중인 체결장치 및 궤도 형식, 차량하중을 고려하여 인터페이스 규격을 조정할 필요가 있다. ○ 기술 도입 시 기존 체결장치에 집중되는 횡방향·수직방향 하중을 분담함으로써 체결장치 손상 및 궤간변화 가능성을 낮추고, 특별점검 및 반복 교체작업 감소에 따른 유지관리 비용 절감, 작업자 안전성 및 열차운행 안정성 향상이 기대된다. 또한 현재 시행 중인 일부 구간의 속도제한 원인이 완화되는 경우 운행 시격 및 노선 운영효율 개선에도 기여할 수 있다. ○ 향후 표준화된 레일보강장치 형식과 적용 기준을 확보할 경우 국내 경전철 및 도시철도 운영기관을 대상으로 확대 적용할 수 있어 개발 제품의 사업화 및 시장 확대 가능성이 높다고 판단된다.
3. 요구기술 및 적용조건	○ 본 과제에서 개발하고자 하는 레일보강장치는 기존 레일체결장치를 철거하거나 콘크리트도상을 대규모로 개량하지 않고 추가 설치가 가능하며, 기존 체결장치와 열차하중을 분담하여 급곡선부 궤도 안정성을 향상시키는 높이조절형 레일보강장치를 개발한다. ○ 주요 요구기능은 다음과 같다. - 기존 레일체결장치와 함께 횡압 및 수직하중을 분담할 수 있는 구조 - 급곡선부 반복하중에 대한 충분한 구조적 강도와 피로내구성 확보 - 현장 타설된 콘크리트도상 높이 편차에 대응할 수 있는 높이조절 기능

구 분	내 용
	- 레일교환, 레일연마, 궤간정정 등 유지보수 작업 시 간섭을 최소화할 수 있는 구조 - 현장 작업자가 제한된 야간 작업시간 내 설치·교체할 수 있는 단순 조립구조 - 기존 궤도 및 신호·전력 설비와 간섭이 없는 구조 - 필요시 상판, 앵커 및 체결부품의 부분 교체가 가능한 구조 ○ 높이조절 범위는 실제 현장 측정을 바탕으로 설정하되, 예를 들어 10~20 mm, 20~30 mm 등 현장 단차에 대응 가능한 모듈 또는 연속 조절방식을 검토해야 한다. 높이조절 개념은 유지하되, 세부 범위는 현장 조사 및 구조해석 결과에 따라 최종 결정할 수 있어야 한다. ○ 상판 고정용 앵커는 도시철도 운행하중, 콘크리트도상 강도, 연단거리, 앵커 간격 및 반복하중을 고려하여 구조적으로 설계하고, 인발·전단 및 반복피로 성능을 검증한다. ○ 개발 과정에서는 구조해석 및 실내시험을 통해 기존 레일체결장치와 레일보강장치 간 하중분담 특성을 분석하고, 레일 변위, 궤간 변화, 체결부 하중 및 앵커 하중 등을 평가하여 적정 설치 간격을 제시한다. ○ 기존 제품과의 주요 차별점은 단순 횡지지 또는 궤간확대 방지기능이 아니라, ❶기존 레일체결장치와 하중을 분담하고, ❷현장타설 콘크리트도상 높이 편차에 대응하며, ❸기존 궤도를 대규모로 철거하지 않고 후시공이 가능한 현장 맞춤형 보강장치라는 점이다.
4. 시험·인증 및 현장실증 계획	○ 개발품은 구조해석 등 형상 최적화 → 실내 성능시험 → 시험부설 → 영업선 현장 실증의 단계로 검증하고자 한다. ○ 실내시험에서는 레일보강장치의 정적 수직·횡방향 하중시험, 앵커의 인발·전단성능, 반복하중에 대한 피로내구성, 높이조절부 및 체결부의 풀림·변형 여부 등을 검토해야 하며, 필요한 경우 기존 레일체결장치와 결합된 시험체를 구성하여 하중분담 특성을 평가한다. ○ 현장 실증은 인천도시철도 2호선 중 체결장치 손상이 빈번한 구간을 대상으로 곡선반경과 구배를 고려하여 선정한다. R<300 m, R<200 m 및 R<100 m 구간과 40%, 50% 이상의 구배를 포함하되 실제 손상 빈도와 유지관리 이력을 고려하여 대표성을 갖는 실증 구간을 최종 선정한다. ○ 현장 실증 전후에 레일 변위, 궤간 변화, 체결장치 및 보강장치 상태, 볼트·앵커 풀림 및 손상 여부 등을 주기적으로 확인하며, 기존 동일 또는 유사조건 구간과 비교하여 보강효과를 평가한다. ○ 개발품의 성공 기준은 ❶기존 대비 체결장치 손상 발생빈도의 유의한 감소, ❷궤간 및 궤도틀림의 관리기준 충족, ❸보강장치 및 앵커의 손상·이완 미발생, ❹유지관리 작업 간섭 및 비정상적인 이상 현상(레일 이상마모 및 레일표면 결함 등) 발생 감소 등을 종합적으로 평가한다. ※ <u>現 곡선별 1개월에 1개소 이상 SFC 패스트클립 절손, 연간 150건 이상 발생 中</u> ○ 실증기간은 최소 6개월 이상을 원칙으로 하되, 실제 영업열차 통과톤수 및 현장 여건을 고려하여 충분한 반복하중이 작용하도록 실증기간을 설정한다. ※ 인천교통공사에서는 2027년 12월까지 궤도안정성 확보를 위해, 절손개소 개선 사업을 진행하고자 하며, 실증검증(모니터링) 완료는 2028년 상반기까지 진행 예정

구 분	내 용
5. 도입 및 활용계획	○ 현장 실증을 통해 안전성, 구조성능 및 유지관리성이 확인된 경우 인천2호선의 R<250 m 이하 급곡선부를 우선 적용 대상으로 하여 단계적으로 도입한다. ○ 1차 적용 대상은 현재 검토 중인 14개 구간, 28개 곡선의 약 3,275조를 기준으로 하되, 현장 실증 결과를 바탕으로 최종 설치간격을 결정하고 이에 따라 실제 구매수량을 산정한다. 이후 체결장치 손상빈도 및 궤도상태를 고려하여 R<300 m 구간 등으로 확대 적용을 검토하고자 한다. ○ 제품 가격은 기존 체결장치의 추가 또는 전면교체 방식과 비교하여 경제성을 확보할 수 있는 수준을 목표로 하며, 개발 과정에서 제품단가와 설치비를 포함한 생애주기 비용을 검토하여 적정 목표가격을 설정한다. ○ 인천교통공사는 실증 성공 및 내부 안전성 검토가 완료되는 경우 유지관리 사업 및 관련 예산을 활용하여 개발 제품의 구매·도입을 적극 검토하며, 필요시 성과공유제 등 구매 연계 제도의 활용도 검토할 예정이다. ※ 개발품 구매는 약 1.5~2.0억원으로 예상하고 있으며 2027년 상반기 이후 본격적으로 부설할 예정임. (現 27년 부설비와 자재구매비 확보 완료함) ○ 최초 도입 후 체결장치 손상감소, 유지관리비 절감 및 작업시간 감소효과를 지속적으로 확인하여 적용범위를 확대하고, 타 도시철도 및 경전철 운영기관에 실증성과를 공유하여 확산을 지원한다.
6. 수요기관 협력·지원 계획	○ 인천교통공사는 본 과제의 수요기관으로서 현장 애로사항 및 요구조건을 제시하고, 개발제품의 설계·제작·실증 전 과정에 참여한다. ○ 연구개발 단계에서는 기존 체결장치의 설치현황, 곡선반경, 구배, 궤도구조, 체결장치 파손·교체이력, 궤도검측자료 및 유지관리자료 등 기술개발에 필요한 현장데이터를 제공한다. ○ 개발품의 설치 및 실증을 위해 인천2호선의 영업선 또는 필요한 시험구간을 제공하고, 선로작업 및 안전관리 절차에 따라 시험부설과 현장계측이 가능하도록 지원한다. ○ 현장 실증 기간에는 인천교통공사의 유지관리 담당자가 정기점검 및 모니터링에 참여하며, 보강장치의 상태, 작업성, 유지관리 편의성 및 열차운행에 미치는 영향을 확인하여 연구진과 참여기업에 피드백한다. ○ 실증 결과 개발품이 요구성능과 안전성을 만족하는 경우 실제 유지관리 사업 적용 및 구매 가능성을 검토하고, 현장 견학, 기술설명회 및 타 도시철도 운영기관과의 기술 교류 등을 통해 연구성과의 확산을 지원한다. ○ 필요시 연구성과의 실용화를 위한 지식재산권 확보 및 참여기업의 기술실시·제품화 과정에도 협력한다. ※ 인천교통공사에서 現 납품가능한 자재로 도안 구성 및 일부구간 시범설치 적용함
7. 예상 개발기간 및 소요예산	○ 총 연구기간: 2027.01 ~ 2028.12(24개월) • 1차년도(2027): - 현장조사 및 요구성능 도출, 원인 파악 - 구조해석 및 상세설계 - 시제품 제작 및 실내 성능시험

구 분	내 용
	- 시험부설 및 초기 현장실증 • 2차년도(2028): - 장기 현장모니터링 - 구조 및 시공성 개선 - 최종 성능검증 - 제품 표준화 및 실용화 방안 마련

한국철도기술연구원장 귀하