

고속철도 자갈궤도구간 유지보수 저감을 위한 궤도개량 기술개발 기획 보고서

2012. 06.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국철도공사

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "고속철도 자갈궤도구간 유지보수저감을 위한 궤도개량 기술개발 기획연구" 과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 06.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 장 승 엽 선임

연구원 : 양신추 수석, 최진유 책임
이일화 선임, 이인규 선임
김 은 선임, 황성호 선임
이철규 선임

협동연구기관명 : 한국철도공사

협동연구책임자 : 전 일 식 차장

연구원 : 최형수 부장, 우병구 부장
김남혁 부장, 권순정 차장
김인철 차장, 금영태 차장
이의규 차장, 최종민 대리
이승열 대리

보고서 요약서

과제고유번호		해당단계 연구기간	'11.12.23.~ '12.6.22.	단계구분	기획단계
연구사업명	중사업명	미래철도기술개발사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	고속철도 자갈궤도구간 유지보수저감을 위한 궤도개량 기술개발 기획연구			
연구책임자	장 승 업	해당단계 참여 연구원수	총 : 18 명 내부 : 18 명 외부 : -	해당단계 연구비	정부 : 67백만원 기업 : - 계 : 67백만원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 18 명 내부 : 18 명 외부 : -	총연구비	정부 : 67백만원 기업 : - 계 : 67백만원
연구기관명 및 소속부서명	한국철도기술연구원 고속철도연구본부		참여기업명	-	
국제공동연구	-				
위탁연구	-				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	240 (부록 포함)
- 본 연구는 고속철도 또는 고속화 간선철도에서 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 운행선에서 선로를 차단하지 않고 야간 차단시간을 이용하여 자갈궤도의 구조를 개량하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하며, 이를 위해 고속철도 환경과 하중조건에 맞는 궤도구조 개량을 위해 궤광구조 개량 및 콘크리트궤도화 공법의 개발을 추진 - 본 사업의 추진에 있어 기존 기술의 체계적인 장단점 분석(VE 평가)을 통해 공정 최적화 및 시공장비 개발, 고속철도 하중에 대한 구조적 보완방안 등 요소 기술을 도출하였으며, 최단 시간 내에 기술을 보완하고 현장에 적용하며 동시에 리스크를 최소화하고자 단계별 성능검증 및 보완을 위한 테스트베드 구축계획을 제시하였음. - 또한 현재 상태로 유지할 경우에 유지보수비 절감을 목표로 할 뿐 아니라 향후 속도 향상에 대응할 수 있는 기술을 선제적으로 개발함으로써 미래 수요에 대응할 수 있는 기술개발계획을 제시하고 있음.					
색인어 (각 5개 이상)	한글	고속철도 / 운행선 / 자갈궤도 / 총수명주기비용 / 궤도틀림			
	영어	High speed railway / Service line / Ballasted Track / Life cycle cost / Track irregularity			

요 약 문

I. 기획연구 배경 및 목적

1) 기획 배경 및 필요성

- 경부고속철도 1단계(광명~대구) 자갈궤도구간은 2004년 4월 개통 이후 현재까지 지속적으로 노반의 침하 및 구조물의 온도신축 등에 의한 노반구조물의 불안정성과 맞물린 도상자갈의 불안정에 의하여 궤도틀림이 빈번하게 발생함에 따라 궤도의 유지보수에 많은 시간 및 비용이 소요되고 있음
- 특히 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표(제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020, 국토부, 2011.4)의 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심 축인 경부고속철도의 운영속도의 향상이 필수적이나, 현재의 자갈궤도로는 더 이상의 속도향상을 도모하기 어려우므로 자갈궤도 구조의 개량 기술의 개발은 국가교통정책차원에서 우선적으로 추진해야할 과제임.
- 궤도틀림 발생 원인 및 양상은 토공, 교량, 터널 등 노반형식에 따라 다르게 나타나므로 각 노반형식에 적합한 개량궤도구조형식의 선정을 비롯하여, 최적화된 궤도구조시스템 및 궤도구성품의 개발이 필요. 또한 경부고속철도 1단계 고속운행구간에서 궤도구조의 개량은 고도의 안전 확보와 짧은 차단 시간 내의 공사시행이라는 엄격한 제한조건이 전제되므로 짧은 시간 내에 편리하게 시공하기 위한 자동화 시공 장비의 개발 등을 위한 다각도의 중장기 연구추진이 필요함.
- 본격적인 연구 과제의 추진에 앞서 대규모 예산 투입에 따른 예산 효율성과 성공 가능성을 높이기 위해서 사전 타당성 조사, 연구 과제의 추진전략 및 실행방안 등을 제시할 사전 기획 연구가 필요

2) 기획 연구 목표

- 본 연구는 경부고속철도 및 고속화 철도 자갈궤도 구간에서의 유지보수 저감 및 속도 향상에 대응한 궤도구조 개량기술 개발 추진전략 수립을 위한 사전 기획연구
- 궤도틀림 발생 현황 분석 및 속도향상을 고려한 궤도구조의 성능요건 제시
- 토공/교량/터널 구간별 적정 궤도구조 성능향상 방안(궤도구조 개량 후보 기술) 제시
- 핵심 재료 및 자동화 시공장비의 목표 성능 정립
- 세부 추진전략 및 기술개발 로드맵 제시

II. 기획연구 내용 및 범위

본 기획연구는 기술개발전략 수립, 궤도구조 성능향상 방안(대안공법) 제시, 세부 추진전략 수립 등 3단계로 추진

- 1) 1단계 : 기술개발 동향 및 현황 분석을 통한 기술개발전략 수립
 - 기술개발 동향 및 환경 분석
 - 고속 운행선 궤도구조 개량 사업요건 분석
 - 기술개발전략(추진방향) 수립
- 2) 2단계 : 기존 개량기술 분석 및 적정 궤도구조 성능향상 방안 제시
 - 국내외 운행선 궤도구조 개량공법 조사 및 고속철도 구간 적용성 분석
 - 토공, 교량, 터널 등 구간별 성능 향상 대안 공법(후보기술) 도출
 - 대안공법(후보기술)별 가치 평가(Value Evaluation)를 통한 최적 대안 선정
 - 대안 공법(후보기술)별 시스템 및 구성요소 요구조건 분석, 핵심 재료 및 자동화 시공장비 목표 성능 정립
- 3) 3단계 : 세부 추진전략 수립
 - 후보과제 도출 및 우선순위 설정
 - 연구목표 및 범위 설정
 - 연구목표 달성을 위한 추진방안(추진체계 등) 수립
 - 후보 과제별 인력투입 계획 및 소요예산 산정
 - 연구 성과물 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
 - 연구개발 타당성 검토
 - RFP 작성 및 평가기준 설정

Ⅲ. 기획연구 결과

1. 연구개발 필요성

- 경부고속철도 1단계 구간(광명~대구)은 자갈궤도로 부설되어 고속으로 운행하는 열차에 의한 자갈입자의 이동, 재배열, 마모, 노반 관입 또는 하부 노반의 부등 침하, 구조물의 신축 작용 등으로 궤도틀림이 계속 증가하는 취약성을 가지고 있음.
- 뜬침목(unsupported sleeper) 또는 궤도틀림 증가에 따른 충격 발생으로 궤도틀림이 더욱 빠른 속도로 증가하는 악순환이 발생
- 승차감(ride comfort) 저하, 탈선 위험 증가와 궤도 수명 감소로 이어짐.
- 궤도 선형을 양호한 상태로 유지하기 위해 궤도 유지보수 작업과 비용이 크게 증가하고 빈번한 유지보수 작업으로 열차 운행 지연과 이로 인한 사회적 손실 발생
- 프랑스에 비해 경부고속철도 자갈궤도 구간의 단위 길이당 유지보수비가 3~5배에 이르고 있음.
- 2010년 기준으로 57회의 긴급 서행 발생, 2011년 6월 기준 8개소에서 230km/h로 열차 서행 운행 중
- 최근 정부는 “제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020(2011.4)”에서 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결한다는 구상을 발표한 바 있음.
- 목표 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심축인 경부고속철도축의 속도 향상이 필수적이므로 향후 경부고속철도의 운영속도를 350km/h까지 향상 필요
- 이와 함께 전국 주요 간선철도의 속도 향상이 필요하나, 기존 철도 대부분은 자갈궤도로 부설되어 속도 향상에 따른 유지보수비의 급증이 우려됨.
- 현재 자갈궤도의 문제점을 개선하고, 향후 속도 향상에 대응하여 승차감 및 주행 안전 향상을 도모함과 동시에, 유지보수 저감을 통한 전(全)수명주기 비용 절감을 위한 기술 개발 필요
- 토공, 교량, 터널 등 구간별 궤도틀림의 발생 원인 및 형태에 맞는 최적화된 궤도구조 개량기술의 개발이 필요
- 고속으로 운행되는 구간에서 궤도구조를 개량하는 공사는 짧은 차단시간 내에 공사를 완료해야 하고 공사 전후에 고도의 안전 확보가 필요하므로 이러한 엄격한 제한조건을 극복하기 위한 체계적인 기술 개발이 필요

2. 국내외 동향 및 환경 분석

1) 정책 동향

- 제2차 국가철도망 구축계획 (2011-2020, 국토해양부, 2011.4)에 의하여 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표를 수립하였고, 경부고속선 진동원인 및 승차감 제고대책(국토해양부, 2011.11)을 마련함
- 자갈궤도 구조의 개량기술은 향후 속도향상, 유지보수절감 등을 목적을 달성하기 필수 기술로서 국가정책으로도 확대 적용될 전망
- 일본의 경우 경제의 성숙기 진입에 따라 유지보수비 비중 증대 → JR 동일본은 유지보수 생력화의 일환으로“200X 프로젝트”를 추진
- 영국의 경우 구조물의 노후화와 수송승객의 증가로 인하여 광범위한 궤도 유지보수투자가 요구됨 → 30년간의 개량계획을 수립/추진 중

2) 시장 동향

- 국내 자갈도상궤도 개량사업은 시간의 경과에 따라 수요가 점점 증가할 것으로 판단됨 → 2018년 이후에 연간 600억원의 시장이 형성될 것으로 예상.
- 일본은 현재까지 256km의 선로를 포장궤도로 개량하였으며, JR서일본, JR중앙, JR홋카이도 등에서도 별도의 선로개량작업을 진행중 → 연간 약 40km(km당 25억원 수준)의 선로구조개량 시장이 확보되어 있으며, 향후에는 점진적으로 증가할 것으로 예상
- 영국의 경우, 100년이상 경과한 선로들이 많기 때문에 대부분의 구간이 개량이 요구되며, 1차적으로 Tube line 4개소 71km구간을 개량계획을 수립. → 유럽을 중심으로 궤도구조개량은 향후 폭발적으로 증가할 것으로 예상

3) 기술 동향

○ 관련 기술개발동향

- 궤광구조 개선공법
 - 국내에서는 침목 결속, 활동체결구 부설, 도상 자갈 고결 등으로 자갈도상의 이완을 방지하거나, 다지형침목을 개발하는 등의 성과를 제시
 - 독일의 Y-형 강재 침목, 오스트리아의 프레임 침목(Frame Sleeper), 일본의 사다리형 궤도(Ladder Track) 등이 개발되어 사용되고 있음

- 콘크리트 궤도화 기술

- 국내에서는 철도연이 주관하여 자갈층 충전 포장궤도 공법을 개발하고 기존선 및 도시철도에 부설한 실적을 보유하고 있으며, 서울메트로에서 개발한 B2S공법은 도시철도 구간에 적용한 사례가 있음

- 일본은 TC형 포장궤도, 영국은 XiTrack 공법 등을 개발하여 현장에 적용하고 유지보수비를 절감하고 있음

○ 특허/논문 분석

- 기존 특허 및 논문은 주로 신설선 건설공법 또는 도시철도 구간 개량기술에 치중되어 있음. 고속 운영선 시공의 제약조건을 고려하여 이를 개선할 수 있는 대안을 제시하도록 연구를 추진하여 차별화된 원천 기술 확보 가능

4) 경부고속철도 자갈궤도 구간 유지보수 현황

- 현재 경부고속철도 1단계 구간의 자갈궤도 유지보수 현황을 분석한 결과, 개통 초기에는 지나치게 잦은 보수작업으로 인해 자갈도상의 열화가 촉진, 도상 안정화가 이루어지지 못한 것으로 파악됨.
- 도상 안정화가 이루어지지 않은 개통 초기에 오히려 궤도품질지수가 낮았다(궤도상태 양호), 2006년 이후 점차적으로 궤도품질지수가 높아지고 있으며(궤도 상태 악화), 유지보수비도 2007년 이후 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있음.
- 또한 시운전을 통해 도상 안정화가 충분히 이루어진 시운전 구간에서는 궤도틀림이 적게 발생하고 있음.
- 도상자갈 열화속도를 줄이기 위해 다짐장비를 사용한 다짐 작업을 줄임에 따라 인력작업 비중이 점차 증가됨.
- 교량구간의 작업 비중이 특히 높고, 전체 선로의 29%를 차지하는 곡선구간의 작업 비중이 점차 높아지고 있음.
- 이러한 여러 가지 현재 상황을 놓고 볼 때 경부고속철도에서 발생하는 궤도틀림의 주 원인은 자갈도상의 불안정으로 추정할 수 있음.
- 궤도 유지보수 저감을 통한 궤도 전수명주기 비용의 절감 방안이 강구되어야 하며, 더욱이 향후 속도 향상을 고려할 경우에는 궤도 열화의 진전이 더욱 가속화될 수 있으므로 자갈궤도 구간의 전면적인 개량이 필요할 것으로 판단됨.

5) 정책/시장/기술 현황 분석에 따른 주요 시사점

- 기술개발 동향 및 환경 분석 결과 국내 뿐 아니라 일본과 영국을 비롯한 주요 유럽 국가에서도 기존선의 속도 향상과 유지보수 저감을 중요한 정책 및 기술개발 목표로 설정하여 개발을 추진하고 있음.
 - 철도 인프라가 잘 구축된 나라일수록 기존 인프라의 활용도를 극대화하기 위한 기술 개발에 적극적
 - 일본의 경우 가장 적극적으로 유지보수 저감 기술 개발과 기존선의 속도 향상을 주도해 왔음.
- 국내의 경우 지하철을 비롯하여 기존 자갈궤도의 개량사업이 진행 중이며 간선철도의 속도 향상 계획에 따라 향후 시장이 급격히 확대될 것으로 전망되며, 국외의 경우도 가까운 장래에 기술 수요가 증가할 것으로 예상됨
 - 고속철도 뿐 아니라 간선철도, 도시·광역철도에서도 적용 가능
 - 국외 시장 진출을 위한 원천 기술의 선점 가능
- 국내에서도 그 동안의 기술 개발을 통해 도시철도에 적용 가능한 궤도구조 개량 기술을 확보하고 있으며, 기술 개발에 필요한 기술 인프라 및 역량을 확보하고 있음.
 - 기존 기술의 보완을 통해 고속철도 및 고속화 철도에 적용 가능
 - 국외 기술 대비 기술 경쟁력의 확보 가능성이 높음.
- 현재 경부고속철도 1단계 구간의 자갈궤도 유지보수 현황을 분석한 결과, 개통 초기(2004년)에 비해 시간이 경과함에 따라 자갈도상의 안정화가 이루어져 유지보수 작업량이 일정 수준으로 유지되고 있으나, 궤도 선형의 상태를 나타내는 궤도품질지수는 점차 저하되고 있으며, 유지보수비도 2007년 이후 꾸준히 증가
 - 유지보수 저감을 통한 궤도 전수명주기 비용의 절감 모색 필요, 속도 향상에 대응한 대책 확보 필요

3. 기존 개량기술 분석 및 대안공법 선정

- 기존에 적용된 바 있는 개량 기술을 크게 궤광구조 개량기술과 콘크리트궤도화(化) 기술의 두 가지 범주로 나누어 각 범부별 2가지 총 4가지 타입의 기술에 대한 평가 실시

I-1 : 궤광구조 개선공법

I-2 : 자갈 도상의 폴리머 충전

II-1 : 포장궤도 공법

II-2 : PC 슬래브를 이용한 자갈층 교체 공법

→ VE 기법을 적용하여 안전, 구조설계기준, 환경성, 시공성, 유지보수 등 5가지 항목에 대해 평가점수를 할당하여 적합성 평가 실시

- 토공구간에 대한 가치평가 결과 궤광구조개선 공법, 포장궤도 공법, 자갈층 Polymer 충전 공법, PC 슬래브궤도 공법 순으로 가치가 높게 평가되었음.
- 궤광구조 개선 공법은 가치평가 결과 검토대상 타 공법들에 비하여 토공구간에서 가장 적정한 궤도개량공법으로 평가되었음. 그러나 이 공법 역시 속도 350km/h의 고속철도에서 검증된 바 없고, 운행선 궤도개량공사에 적용이라는 특수성을 고려하여 350km/h 고속철도에 적합한 혁신적 자갈궤도 궤광구조시스템 개발이 필요하며 이를 위해서는 다음과 같은 상세연구가 필요함.

- 설계요건 정립 및 개념설계
- 제반 기술검토(구조안정성 및 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 등)
- 공사 시 기존 궤도와 접속부에서 차량 주행 안정성을 확보하기 위한 접속부 구조 설계
- 궤광구조시스템 구성품 개발 및 시제품 제작
- 실내 및 현장시험을 통한 성능 평가 및 보완
- 개량 궤도구조에 적합한 유지관리장비 개발
- 공정 최적화 설계 및 자동화 시공장비 개발

- 교량 및 터널구간에 대한 가치평가 결과 궤광구조개선 공법과 포장궤도 공법이 가장 가치가 높은 것으로 평가되었으며, 다음으로 PC 슬래브궤도 공법 및 자갈층 Polymer 충전 공법 순으로 가치가 높게 평가되었음.
- 가치분석결과 포장궤도 공법이 교량 및 터널구간에서 350km/h이상의 고속철도 운영환경에서 장기 내구성을 갖는 개량공법으로 채택되기 위해서는 다음의 연구개발이 필요함.

- 설계요건 정립
- 기존 기술의 성능 분석 및 고속선 적용을 위한 기존 개발품 보완 설계
- 제반 기술검토(구조 안정성 및 장기 내구성)
- 공사 시 기존 궤도와 접속부에서 차량 주행 안정성을 확보하기 위한 접속부 구조 설계
- 콘크리트궤도화 궤도 구성품 및 재료 개발(침목 및 충전재료 등)
- 콘크리트궤도화 실내 및 현장 시험부설을 통한 성능 평가 및 보완
- 공정 최적화 설계 및 자동화 시공장비 개발

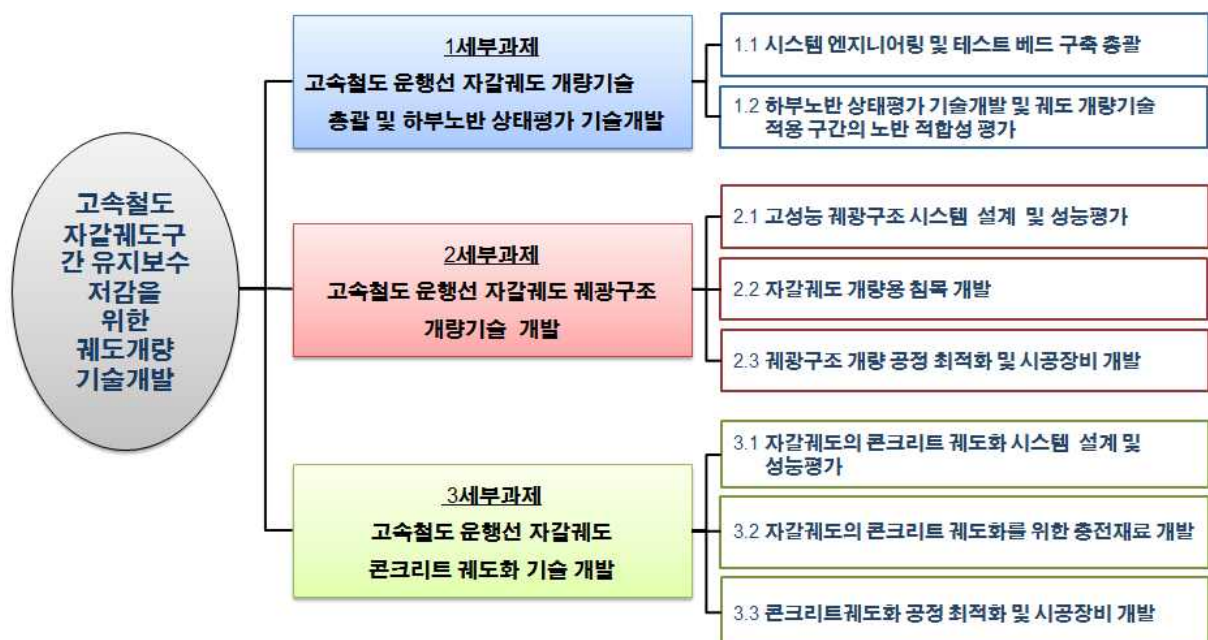
- 선정된 대안공법에 대해 시스템 요구조건, 핵심 구성요소(재료) 및 시공장비 등에 대한 요구성능을 분석하여 제시하였음.

4. 연구개발 목표 및 과제 구성

1) 비전 및 목표

- 비전 : “속도 향상” 빠르고, 경제적이며 안전한 철도
- 미션 : 인프라(궤도) 신뢰성 확보와 유지보수절감을 통한 경제성 확보
- R&D 목표 : 고속철도에 적용 가능한 자갈궤도 개량기술 개발
 - 고속철도 운영중 안전 및 승차감 확보가 가능한 개량기술
 - 최고속도 350km/h (축중 17tf ※)
 - ※ 단, 축중이 17tf 보다 낮은 열차의 경우 350km/h 이상 증속 가능
 - 유지보수의 절감이 가능한 개량기술
 - 운행 속도 350km/h 및 축중 17tf의 조건 하에서 현재 자갈궤도 궤도틀림 진전율의 70%(궤광구조 개량기술) 또는 10% 미만(콘크리트궤도화 기술)
 - 시공성, 시공중 안전 및 시공속도 확보
 - 100m/일 이상(일일 작업시간 2.5시간 기준)

2) 연구개발과제 구성



3) 세부과제별 연구목표

○ 1세부과제

- 과제명 : 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부노반 상태평가 기술개발

- 연구목표

- 성능 목표 설정 및 설계/성능 요구조건 정립
- 테스트-베드 구축 및 시스템 성능평가
- 개발 기술의 경제성 평가
- 운행선 노반 상태평가 기술 개발

- 성과지표 및 목표

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
성능 목표 설정 및 설계/성능 요구조건 정립	시스템 성능목표의 타당성 및 합리성	성능목표 설정 근거에 대한 전문가 검증 실시
	설계/성능 요구조건과 최종 목표와의 부합여부	설계/성능 요구조건에 대한 전문가 검증(SE 기법 활용)
테스트-베드 구축 및 시스템 성능평가	테스트-베드 구축 목표 달성	테스트-베드 구축 건수 목표(각 기술별 2개 구간) 달성 여부 확인
	성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성	성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성에 대한 전문가 사전 검증 실시
	시공성 및 작업 안전도 평가의 타당성	시공성 평가방법 및 안전도 평가결과의 타당성 전문가 검증
경제성 평가	LCC 분석 프로그램 및 분석 결과의 타당성	LCC 분석결과에 대한 전문가 검증 실시
운행선 노반 상태평가 기술 개발	자갈궤도 궤도틀림 원인조사 결과의 타당성	조사결과에 대한 전문가 검증 실시
	노반 상태평가 기술 정확도 오차 기존 기술 대비 50% 이하	기존 기술의 오차율(시스템 파라미터 추정값) 비교 평가(현장 성능평가)

- 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(1세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부노반 상태평가 기술 개발	(1-1) 시스템 엔지니어링 및 테스트-베드 구축 총괄	- 성능목표 설정 및 설계/성능요건 관리 - 운영 및 시스템 IF 기술요건 도출 및 관리 - 시스템 및 구성요소별 성능검증체계 정립 및 관리 - 테스트-베드 구축계획 수립 - 테스트-베드 구축방안 관계기관 협의 및 총괄 - 시공성 시험 결과 평가 총괄 - 작업 위험도 분석(안전성 분석) 및 위험도 완화 방안 도출 - 테스트-베드 현장 성능평가 총괄 - 자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 정립 - LCC 평가를 통한 자갈궤도 개량기술 경제성 분석(개량여부 결정 및 개량공법 선정 기법 제시)
	(1-2) 하부노반 상태평가 기술 개발 및 궤도 개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가	- 경부고속철도 등 고속 운행선 자갈궤도구간 궤도틀림 원인조사(노반특성, 선로 선형, 구조물 접속부의 강성변화 등 고려) - 기존 지반 상태평가 기술의 적용성 및 문제점 검토, 보완방안 제시 - 개량공법의 설계 및 적용성 평가를 위한 시스템 설계 파라미터(노반정수) 산정기법 및 평가기준 제시 - 노반 보강여부 및 보강대책 분석 - 노반 상태평가 시스템 설계 - 노반 상태평가 시스템 시작품 제작 - 실내 및 현장 시험 - 테스트-베드 후보지 노반 상태평가

○ 2세부과제

- 과제명 : 고속철도 운행선 자갈궤도 궤광구조 개량기술 개발

- 연구목표

- 고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 궤광구조, 시공 공정 및 자동화 시공장비 개발

- 성과지표 및 목표

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 개량 궤광구조 개발	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 궤도틀립 표준편차 기존 자갈궤도 구조 대비 70% 미만	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	교량상 개량구조의 궤도-교량 상호작용에 의한 궤도 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
광구조 개량을 위한 시공 공정 및 자동화 시공장비 개발 1종(자갈/침목 자동 교환장비)	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	목표 시공속도(100m/일) 달성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 ^{주1)} 확보)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장율 MTTF 미만)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)

주1) 3.4절 참조

- 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(2세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도 궤광구조 개량기술 개발	(2-1) 고성능 궤광구조 시스템 설계 및 성능평가	- 설계/성능 요구조건 정립 - 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법) - 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 - 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 - 실내 실험모형 실험체 제작 - 실내 시험(실험가속실험) - 테스트 베드 현장 부설(1차/2차) - 현장시험(1차/2차) - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성
	(2-2) 자갈궤도 개량용 침목 개발	- 침목 구조설계(*궤광구조 개량용 침목을 기본으로 개발하고, 콘크리트궤도화(3세부과제)를 위한 침목구조 변경도 포함) - 개량침목용 체결장치 보완설계 및 시작품 제작 - 침목 제작용 금형 제작 - 침목 시작품 제작 및 성능평가 - 테스트-베드 현장 부설용 침목 시작품 제작 및 현장 부설 지원 - 현장시험에서의 문제점 분석 및 보완 - 침목 자재 시방서 작성
	(2-3) 궤광구조 개량 공정 최적화 및 시공장비 개발	- 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토 - 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려) - 시공장비 설계(자동 침목교환 장비)(*기존 보선장비의 활용 방안 고려) - 시공장비 시작품 제작 - 부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) - 시공성 시험(비운행선) - 테스트-베드 현장부설 지원 - 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시 - 공사 시방서 작성 - 시공장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육 - 유지보수매뉴얼 작성

○ 3세부과제

- 과제명 : 고속철도 운행선 자갈궤도 콘크리트 궤도화 기술 개발

- 연구목표

· 고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 콘크리트궤도화 기술 개발

- 성과지표 및 목표

성과목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 궤도구조 개발	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 궤도틀림 표준편차 기존 자갈궤도 구조 대비 10% 미만	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	교량상 개량구조의 궤도-교량 상호작용에 의한 궤도 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)

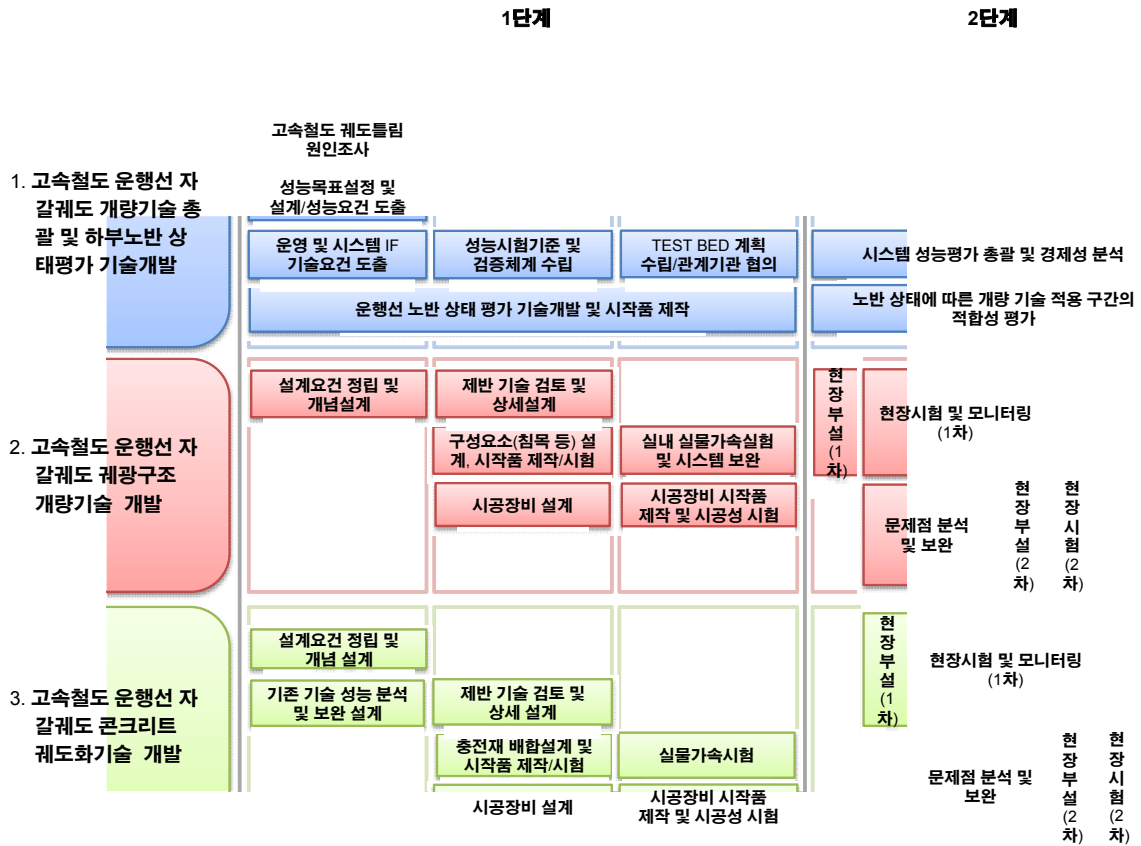
성과목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 시공 공정 및 시공장비 개발 2종(충전재 배합 및 주입장비, 건식 자갈세척장비 등)	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	목표 시공속도(100m/일) 달성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 ^{주1)} 확보)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장율 MTTF 미만)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)

주1) 3.4절 참조

- 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(3세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤 도화 기술	(3-1) 자갈궤도의 콘크리트궤도화 시스템 설계 및 성능평가	- 설계/성능 요구조건 정립 - 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법) - 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 - 개량공사 중 접속구간 (일반구간-콘크리트궤도화 구간) 설계 - 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 - 실내 실험모형 실험체 제작 - 실내 시험(실험가속실험) - 테스트 베드 현장 부설(1차/2차) - 현장시험(1차/2차) - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성
	(3-2) 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 충전재료 개발	- 고속선용 충전재료의 원재료 선정 및 배합설계 - 충전재 역학적 특성 및 유동성 평가 - 시공 후 충전성 평가기준 및 방법 수립 - 테스트-베드 현장 부설용 충전재 제조 및 현장부설 지원 - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 충전재 자재 시방서 작성
	(3-3) 자갈궤도의 콘크리트궤도화 공정 최적화 및 시공장비 개발	- 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토 - 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려) - 시공장비 설계(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비)(※기존 장비의 활용 방안 고려) - 시공장비 시작품 제작 - 부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) - 시공성 시험(비운행선) - 테스트-베드 현장부설 지원 - 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시 - 공사 시방서 작성 - 장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육 - 유지보수매뉴얼 작성

4) 기술개발로드맵



5) 성과 활용방안

- 본 과제에서 기획하는 연구의 성과는 자갈궤도의 유지보수 절감과 고속화를 위해 경부고속철도 및 주요 간선철도 고속화 구간의 자갈궤도 개량사업에 활용할 수 있음.

구분	과제명	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
1세부과제					
1-1 (주관)	시스템 엔지니어 및 테스트 베드 구축 총괄	5년 (1차년도)	•성능목표 및 시스템 기술 요구사항 목록 •테스트-베드 (시험선) •성능시험절차서 •성능검증 결과 검증보고서 •자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 및 경제성 분석 보고서	•한국철도시설공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•테스트-베드 현장 성능평가를 통한 객관적 성능 검증 •LCC 분석을 통한 자갈궤도 개량공법 선정 •하부노반 상태에 대한 합리적 평가를 통해 궤도 개량기술의 적용 적합성 검토
1-2 (공동)	하부 노반 상태평가 기술 개발 및 궤도 개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가	5년 (1차년도)	•운행선 노반 상태평가 시스템 •궤도구조 개량공법의 적합성 평가기준 •테스트-베드 후보지 노반 상태평가 보고서		

구분	과제명	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
2세부과제					
2-1 (협동)	고성능 쾌광구조시스 템 설계 및 성능평가	5년 (1차년도)	•고성능 쾌광구조 시스템 설계보고서 및 도면 •특허 등 지적재산권 •성능평가보고서 •유지보수지침 •고속선 궤도구조 개량용 침목 시제품 및 자재 시방서 •공사 시방서 •고성능 쾌광구조용 자동 침목교환장비 및 장비 운용 매뉴얼	•한국철도시설 공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•테스트-베드 구축을 통한 단계적 성능 검증 •경부고속철도 1단계 및 일반철도 자갈궤도 구간에 적용하여 유지보수 절감 및 고속화 달성
2-2 (공동)	자갈궤도 개량용 침목 개발	5년 (1차년도)			
2-3 (공동)	쾌광구조시스 템 공정 최적화 및 시공장비 개발	5년 (1차년도)			
3세부과제					
3-1 (협동)	자갈궤도의 콘크리트궤도 화 시스템 설계 및 성능평가	5년 (1차년도)	•콘크리트궤도화 시스템 설계보고서 및 도면 •특허 등 지적재산권 •성능평가 보고서 •유지보수지침 •고속선 궤도구조 개량용 충전재료 시제품 및 자재 시방서 •공사시방서 •콘크리트궤도화 자동화 장비(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비) 및 장비 운용 매뉴얼	•한국철도시설 공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•테스트-베드 구축을 통한 단계적 성능 검증 •경부고속철도 1단계 및 일반철도 자갈궤도 구간에 적용하여 유지보수 절감 및 고속화 달성
3-2 (공동)	자갈궤도의 콘크리트궤도 화를 위한 충전재료 개발	5년 (1차년도)			
3-3 (공동)	자갈궤도의 콘크리트궤도 화 공정 최적화 및 시공장비 개발	5년 (1차년도)			

6) 테스트-베드 구축 및 성능검증 계획

- 연구 성과의 효율적인 적용과 상용화를 위해 테스트 베드 구축을 통한 단계별 성능검증 방안을 마련
 - 1단계(4차년도) : 열차 운행이 적은 간선철도 구간을 대상으로 시공성과 현장 적용성을 검증하고, 구조적 안정성과 내구성 등 기술적 검증
 - 2단계(5차년도) : 열차 운행이 많은 간선철도 구간을 대상으로 시범 적용 추진
 - 각 단계별 목적에 맞는 테스트 베드 후보지 제시

▪ 적용구간 :

- 일반(간선)철도 한산선구

▪ 후보지 :

- 군산화물선(0.022MGT/년)
- 경북선(2.1MGT/년)

▪ 시험목표 :

- 시공성 및 현장 적용성 검증
- 구조적 안정성 및 내구성 등 기술 검증

▪ 적용구간 :

- 일반(간선)철도

▪ 후보지 :

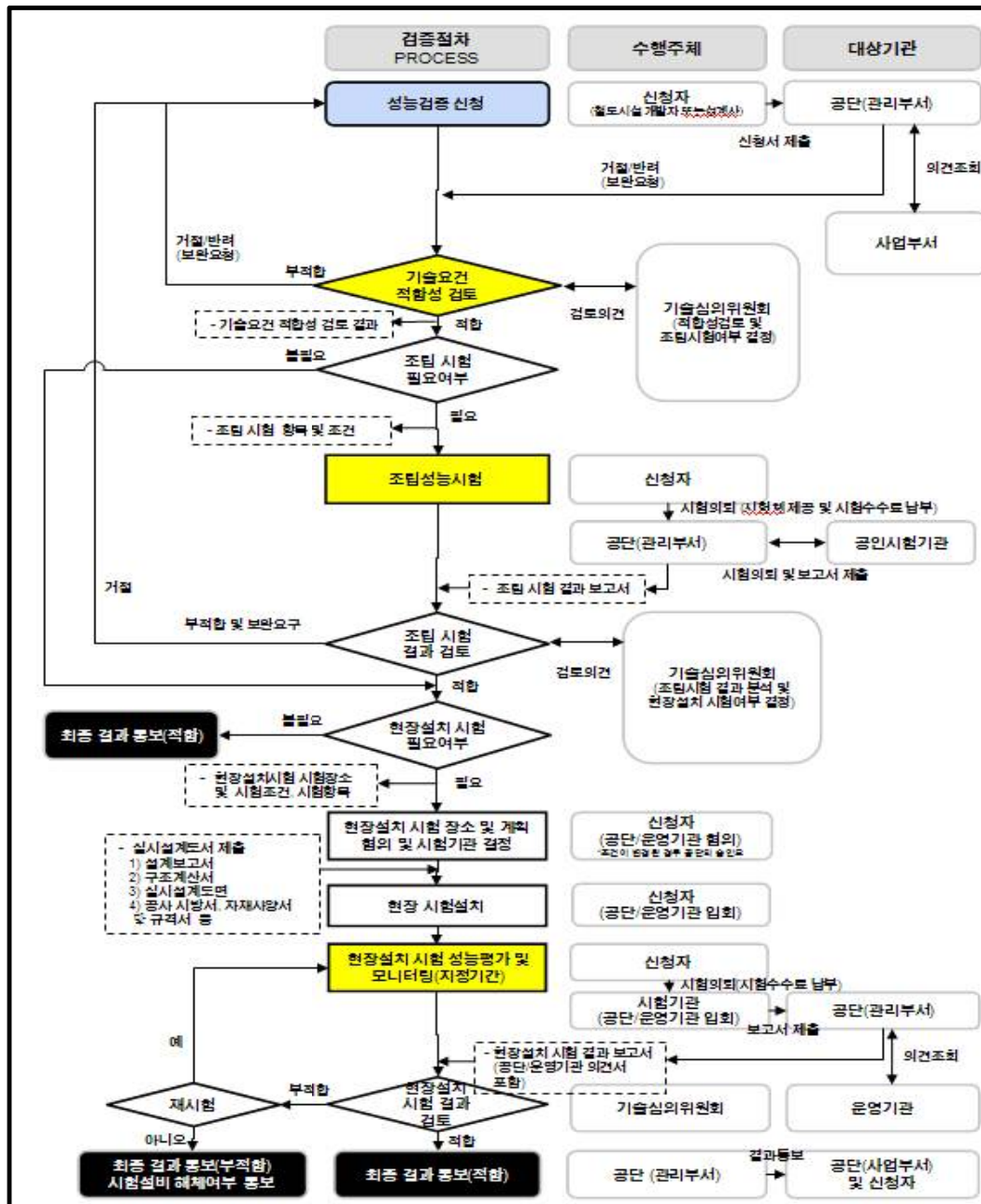
- 장항선(8.47MGT/년)
- 중앙선(10.77MGT/년)
- 경부선(22.72MGT/년)

▪ 시험목표 :

- 시범 적용을 통한 실용화 토대 구축

- 성능검증 절차

- 한국철도시설공단에서 정하고 있는 “철도시설 성능검증지침(한국철도시설공단, 2011)”에 따라 기술 적합성 검토(전문가 검증), 조립성능시험, 현장설치시험(운행선 시험) 등의 3단계에 걸친 성능검증을 수행할 계획임.
- 테스트-베드 구축 계획과 연계하여 현장설치시험 실시



5. 사전타당성 검토

1) 정책적 타당성

- 저탄소 녹색성장을 위한 국가 교통정책의 일환으로 철도 수송 분담율 증대를 위해 KTX 중심의 고속철도망 구축을 주요 정책목표로 설정하고 있음.
- 본 사업은 “녹색성장 국가전략 및 5개년 계획에 따른 국가 녹색교통정책”, “국가기간교통망계획 제2차 수정계획”, “제2차 국가철도망 구축계획” 등 상위 계획에서 추진 중인 고속화 및 속도 경쟁력 확보, 저비용 철도 건설 등 정책목표에 부합됨.

2) 기술적 타당성

○ 기존 기술(연구)와의 차별성 및 연계성

- 본 연구는 고속철도 또는 고속화 간선철도에서 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 운행선에서 선로를 차단하지 않고 야간 차단시간을 이용하여 자갈 궤도의 구조를 개량하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하며, 이를 위해 고속철도 환경과 하중조건에 맞는 궤도구조 개량을 위해 궤광구조 개량 및 콘크리트궤도화 공법의 개발을 추진
- “차세대 고속철도 기술개발 사업”의 “선로구축물 핵심기술개발” 과제, “400km/h급 고속철도 인프라 시스템 기술개발 사업”, “고속철도 안정화 기술개발 사업” 등의 기존 연구와 연구목표와 내용면에서 차별화됨.
- “자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발” 에서 포장궤도 공법의 개발이 이루어져 본 사업의 연구내용과 가장 유사성이 있으나, 본 사업에서는 기존 연구에서 개발된 포장궤도 기술을 근간으로 하되, 고속철도의 하중조건과 환경에 맞는 궤도구조로 보완하고 고속 운행선 환경에서 시공성과 시공속도를 향상시킬 수 있는 시공법 및 시공장비의 개발에 초점을 맞추어 추진하고자 함.

○ 기술개발계획의 우수성

- 본 사업의 추진에 있어 기존 기술의 체계적인 장단점 분석(VE 평가)을 통해 공정 최적화 및 시공장비 개발, 고속철도 하중에 대한 구조적 보완방안 등 요소 기술을 도출하였으며, 최단 시간 내에 기술을 보완하고 현장에 적용하며 동시에 리스크를 최소화하고자 단계별 성능검증 및 보완을 위한 테스트베드 구축계획을 제시하였음.
- 또한 현재 상태로 유지할 경우에 유지보수비 절감을 목표로 할 뿐 아니라

향후 속도 향상에 대응할 수 있는 기술을 선제적으로 개발함으로써 미래 수요에 대응할 수 있는 기술개발계획을 제시하고 있음.

3) 경제적 타당성

- 경부고속철도 1단계 구간(광명~대전)의 궤도구조 개량사업에 대한 시나리오를 설정하고, 각 시나리오별 궤도 수명주기비용에 대한 분석하였음.
- 궤도 개량을 시행하지 않는 경우에 비해, 궤도구조를 개량하는 경우 전수명주기비용이 낮은 것으로 나타났음.
- 320km/h로 증속할 경우 궤광구조 개량공법을 시행하는 경우(S2-1)와 일부 구간을 콘크리트궤도화 공법을 적용하고, 나머지 구간을 궤광구조 개량을 시행하는 방안(S4-1)이 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-1)에 비해 수명주기비용이 더 낮은 것으로 나타났음.
- 350km/h까지 증속을 고려하는 경우는 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-2)과 콘크리트궤도화 공법과 궤광구조 개량 공법을 병행하는 방안(S4-2)이 유사하며, 가장 수명주기비용이 낮은 것으로 평가됨.
- 경부 및 호남고속철도 속도 향상방안 연구(2011)에 따르면 경부고속철도의 속도를 320~400km/h로 향상시킬 경우 궤도 수명주기비용의 절감 외에도 속도 향상을 통해 2조 4천억~3조 5천억의 직·간접 편익이 발생
- 그러나 현재 상태의 궤도를 개량하는 것 없이 속도를 향상시킬 경우 유지보수비의 증가를 가져오게 될 뿐 아니라 주행안전이나 승차감을 보장하기 어려우므로 궤도구조를 개량할 수 있는 기술을 개발하는 것이 경부고속철도 속도 향상에 따른 편익창출의 중요한 전제조건이며, 편익 발생 시기를 앞당기기 위해서는 시공속도의 향상이 중요한 관건임.
- 속도 향상에 따른 편익을 고려한다면 350km/h로 증속하는 것이 경제적 효과가 높을 것으로 판단됨(단, 정확한 경제성 분석을 위해서는 궤도 개량 외에 전차선 조정 등 속도 향상을 위한 추가 사업비를 고려해야 함).
- 문제 구간만 궤광구조를 개량하고 속도 향상을 시행하지 않는 경우(S1) 전수명주기비용을 5% 정도 절감할 수 있는 것으로 나타났으나, 속도 향상에 따른 편익을 얻을 수 없으므로 경제적 효과가 상대적으로 낮다고 판단됨.
- 향후 기술개발 성공적으로 이루어질 경우 기존선(유지보수비: 2009년 3,464억원) 개량에도 적용 가능하므로 유지보수비 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

4) 정부지원의 타당성

- 정책적 타당성 검토에서 살펴본 바와 같이 현재 정부에서 추진하고 있는 철도 수송 분담율 증대 및 KTX 중심의 고속철도망 구축 등 주요 정책 목표 달성을 위해 본 사업에 대한 지원이 필요함. 특히 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표(제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020, 국토부, 2011.4)의 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심 축인 경부고속철도의 운영속도의 향상이 필수적이거나, 현재의 자갈궤도로는 더 이상의 속도향상을 도모하기 어려우므로 자갈궤도 구조의 개량 기술의 개발은 국가교통정책차원에서 우선적으로 추진해야할 과제임.
- 자갈궤도 개량사업은 국가 철도망의 개량 및 속도 향상을 위한 것으로 보편적으로 적용될 수 있는 기술이 아니라 특수한 목적에 국한되기 때문에 기업들이 주도적으로 투자하여 사업화하기는 어렵다고 판단됨. 따라서 정부차원의 지원이 필요함.
- 경제적 타당성에서 밝힌 바와 같이 고속철도의 속도를 320~400km/h로 향상시킬 경우 직접적인 궤도 수명주기비용의 절감 외에도 속도 향상을 통해 2조 4천억~3조 가량의 직·간접 편익이 발생할 수 있으므로, 본 사업을 통해 정부 예산 절감 및 국가 경제 발전에 크게 기여할 수 있음.

6. 연구개발 소요기간 및 예산

(단위 : 백만원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	1,500.0	231.0	6,610.0	1,439.0	6,942.0	1,524.0	5,063.0	1,119.0	3,885.0	900.0	24,000.0	5,213.0
1세부	573.0	0.0	856.0	0.0	855.0	0.0	581.0	0.0	283.0	0.0	3,148.0	0.0
1-1 (주관)	144.0	0.0	323.0	0.0	301.0	0.0	192.0	0.0	126.5	0.0	1,086.5	0.0
1-2 (공동)	429.0	0.0	533.0	0.0	554.0	0.0	389.0	0.0	156.5	0.0	2,061.5	0.0
2세부	524.0	131.0	4,062.0	1,015.0	4,266.0	1,068.0	2,273.0	568.0	1,723.0	430.0	12,848.0	3,212.0
2-1 (협동)	158.0	40.0	247.0	62.0	374.0	94.0	933.0	233.0	933.0	232.0	2,645.0	661.0
2-2 (공동)	221.0	55.0	352.0	88.0	375.0	94.0	659.0	165.0	659.0	165.0	2,266.0	567.0
2-3 (공동)	145.0	36.0	3,463.0	865.0	3,517.0	880.0	681.0	170.0	131.0	33.0	7,937.0	1,984.0
3세부	403.0	100.0	1,692.0	424.0	1,821.0	456.0	2,209.0	551.0	1,879.0	470.0	8,004.0	2,001.0
3-1 (협동)	128.5	32.0	199.0	50.0	363.0	91.0	1,234.0	308.0	1,235.0	309.0	3,159.5	790.0
3-2 (공동)	128.5	32.0	231.0	58.0	196.0	49.0	515.0	129.0	515.0	129.0	1,585.5	397.0
3-3 (공동)	146.0	36.0	1,262.0	316.0	1,262.0	316.0	460.0	114.0	129.0	32.0	3,259.0	814.0

목 차

1. 기술의 정의 및 필요성	1
1.1 기술의 정의	1
1.2 기획 배경 및 필요성	1
1.3 기획 목적 및 추진방향	3
1.3.1 연구목표	3
1.3.2 기획 추진방향	3
2. 국내외 동향 및 환경 분석	7
2.1 국내외 정책 동향	7
2.1.1 국내 정책 동향	7
2.1.2 국외 정책 동향	8
2.2 국내외 시장현황 및 전망	11
2.2.1 국내 시장 동향	11
2.2.2 국외 시장 동향	14
2.3 고속철도 자갈궤도구간 유지보수 현황	17
2.3.1 궤도 선형 및 보수 현황	17
2.3.2 고속선 특별관리 대상구간 지정 및 관리 현황	22
2.3.3 궤도 유지보수비 분석	28
2.4 기술동향	29
2.4.1 관련 기술개발 동향	29
2.4.2 특허 분석	51
2.4.3 논문 분석	57
2.4.4 기술 경쟁력 분석	59
2.5 종합분석	73
2.5.1 기술개발 동향 및 환경 분석에 따른 주요 시사점	73
2.5.2 기획자문위원회 토의 결과	75
2.5.3 SWOT 분석을 통한 기술개발전략 수립	80
2.5.4 핵심 키워드 및 이슈 트리	82

3. 기존 개량기술 분석 및 대안공법 선정	85
3.1 선정 평가 절차 및 방법	85
3.2 기본 요구조건 분석	89
3.2.1 운행선 궤도구조 개량사업 제약조건 분석	89
3.2.2 후보기술군 선정	91
3.3 대안공법 선정을 위한 가치평가	95
3.3.1 토공구간	95
3.3.2 교량 및 터널구간	102
3.3.3 결과 분석	109
3.4 시스템 요구조건, 핵심 구성요소(재료) 및 시공장비 요구 성능 분석	111
3.4.1 자갈궤도 궤광구조 개량공법	111
3.4.2 콘크리트궤도화 공법(포장궤도)	115
 4. 연구개발과제 구성 및 추진전략	 123
4.1 비전 및 목표	123
4.2 기술 개발에 따른 미래상	125
4.3 연구개발과제의 구성	126
4.4 기술개발로드맵	127
4.4.1 1세부과제	127
4.4.2 2세부과제	130
4.4.3 3세부과제	134
4.5 세부과제 간 연계 관계	138
4.6 기술개발로드맵	139
4.7 성과 활용방안 및 테스트-베드 구축 계획	141
4.7.1 활용방안	141
4.7.2 테스트-베드 구축 계획 및 성능검증 계획	143
4.8 연구수행체계 제안	147
 5. 사전 타당성 검토	 149
5.1 정책적 타당성	149
5.1.1 국가 전략적 중요성	149
5.1.2 상위 계획과의 부합성	150

5.2 기술적 타당성	159
5.2.1 기존 기술(연구)과의 차별성 및 연계성	159
5.2.2 기술개발계획의 우수성	162
5.3 경제적 타당성	163
5.3.1 경제적 타당성 검토를 위한 시나리오 설정	163
5.3.2 제도 전(全)수명주기비용 산정 방법 및 기본 가정	163
5.3.3 결과 분석	168
5.3.4 기타 파급효과	170
5.4 정부지원의 타당성	171
5.5 종합평가 및 결론	172
 6. 인력투입계획 및 소요예산 산정	 175
6.1 연구일정에 따른 인력투입계획	175
6.1.1 전체사업 인력투입계획	175
6.1.2 세부과제별 인력투입	176
6.2 소요예산	177
6.2.1 전체사업 소요예산	177
6.2.1 세부과제별 소요예산	178
 7. 과제 제안요구서	 181
7.1 과제 제안요구서(RFP)	181
7.2 평가기준 설정	190
 8. 참고문헌	 199
 부록	
부록 1. 제도구조 개량기술 선정을 위한 가치 평가(Value Evaluation) - 일반 원칙 및 가이드라인	
부록 2. 세부과제별 예산산정근거	

표 목 차

표 2.1-1. 런던지하철 궤도개량 계획	10
표 2.2-1. 국내 궤도개량사업 추진 현황	12
표 2.2-2. 궤도개량공사의 향후 시장전망(고속선 제외)	14
표 2.2-3 영국 Underground 현황	16
표 2.3-1. 특별관리구간 총괄표	22
표 2.3-2. 특별관리구간 세부 내역	25
표 2.4-1. 포장궤도의 궤도구성 및 설계조건	39
표 2.4-2. 포장궤도 직접공사비 산정(레일 및 제경비 제외)	40
표 2.4-3. 자갈도상궤도와 생력화궤도의 종합 LCC 분석 결과	40
표 2.4-4. B2S 궤도 부설 실적(서울메트로)(단위 : m)	47
표 2.4-5. B2S 궤도의 공사비(R.L. 500mm 직선 Box 단면 기준)	48
표 2.4-6. 특허분석 결과	55
표 2.4-7. 논문분석 결과	58
표 2.4-8. 기술 경쟁력 분석 결과	59
표 2.4-19. 한국철도공사 궤도 유지보수 장비 보유 현황	60
표 2.4-20. 한국철도시설공단 궤도 부설 및 유지보수 장비 보유 현황	61
표 2.4-21. 서울메트로 궤도 부설 및 유지보수 장비 보유 현황	65
표 2.4-22. 한국철도기술연구원 연구장비 보유 현황	66
표 2.4-23. 한국철도공사 연구원 연구장비 보유 현황	69
표 2.4-24. 한국철도시설공단 연구원 연구장비 보유 현황	69
표 2.4-25. 한국철도기술연구원 궤도기술 분야 인력현황 (한국철도기술연구원 궤도그룹)	71
표 2.4-26. 한국철도공사 궤도기술 분야 인력현황 (한국철도공사 기술연구원)	72
표 2.4-27. 한국철도시설공단 궤도기술 분야 인력현황(녹색철도연구원 기술연구소 시설연구부)	72
표 2.5-1. 1차 기획자문위원회 토의 결과	76
표 2.5-2. SWOT 분석 결과	81
표 3.1-1. 가치평가항목	88
표 3.2-1. 경부1단계구간 위치별 열차차단시간(2011년 11월, 평일)	89
표 3.2-2. 궤도보수기지로부터 공사현장까지 최대이동거리 및 시간	89

표 3.2-3. 경부고속철도 1단계구간 공사차량 이동시간을 감안한 공사가능시간 ...	90
표 3.2-4. 사전기술요건 분석을 통한 후보기술군 분류	91
표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)	95
표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)	102
표 3.4-1. 궤광구조 개량공법의 시공순서 및 소요장비	112
표 3.4-2. 포장궤도 공법(콘크리트궤도화)의 시공순서 및 소요장비	117
표 3.4-3. Plastic media를 이용한 건식세척장치 제원	120
표 4.4-1. 1세부과제 성과지표 및 목표	127
표 4.4-2. 1세부과제 연구내용	128
표 4.4-3. 2세부과제 성과지표 및 목표	130
표 4.4-4. 2세부과제 연구내용	132
표 4.4-5. 3세부과제 성과지표 및 목표	134
표 4.4-6. 3세부과제 연구내용	136
표 4.7-1. 연구성과 활용방안	141
표 4.7-2. 단계별 테스트 베드 후보지	145
표 5.1-1 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획의 3대 전략 및 10대 정책방향	150
표 5.1-2 국가기간교통망계획 제2차 수정계획의 5대 전략 및 11대 추진과제	151
표 5.1-3 제2차 국가철도망 구축계획 주요 추진과제	154
표 5.2-1. 기존 기술(연구)와의 차별성 및 연계성	160
표 5.3-1. 궤도개량 시공비용 산정	164
표 5.3-2 경부고속철도 1단계구간 시설유지보수비(한국철도공사)	165
표 5.3-3 궤도공사 표준건설비용(설계가 기준)	166
표 5.3-4 궤도 수명주기비용 산정 결과 (단위 : 억원)	168
표 5.3-5 경부고속선 증속사업 편익 산출결과1) (단위 : 억원)	169

그 립 목 차

그림 1.2-1. 궤도틀림 주요 원인과 결과	1
그림 1.3-1. 연구 추진 흐름도	4
그림 1.3-2. 연구 추진체계	5
그림 2.1-1. 일본 토목분야에 있어서의 신규 투자비용과 유지보수의 비용	8
그림 2.1-2. PPP프로젝트에 대한 투자계획	11
그림 2.2-1. 궤도구조개량 현황 및 계획(JR동일본)	15
그림 2.3-1. 경부고속철도 1단계 구간 궤도검측 결과(2005~2010년)	17
그림 2.3-2. 고속선 궤도품질지수(TQI) 추이	18
그림 2.3-3. 기간별 월평균 자갈다짐 작업현황	19
그림 2.3-4. 기간별 장비 다짐작업 연장	19
그림 2.3-5. 위치별 장비다짐 작업(개통~2010)	20
그림 2.3-6. 하부구조 조건별 인력 다짐량 추이	20
그림 2.3-7. 하부구조 조건별 장비 다짐량 추이	21
그림 2.3-8. 선형조건별 장비작업량 추이	21
그림 2.3-9. 특별관리구간 지정현황	23
그림 2.3-10. 특별관리구간 노반조건별 분포	23
그림 2.3-11. 특별관리구간 궤도틀림 발생 원인별 분포	24
그림 2.3-12. 인건비를 포함한 고속선 궤도 유지보수비 변동 추이 (2005년 유지보수비를 10%로 할 때의 상대값)	28
그림 2.4-1. 고속철도 교량신축이음매부 궤도틀림 저감 공법	30
그림 2.4-2. 한국철도공사에서 개발한 다지형 침목	30
그림 2.4-3. Y형 강재침목궤도	31
그림 2.4-4. 프레임 침목궤도(Frame-Sleeper Track)	32
그림 2.4-5. Ladder Track System 개념도	32
그림 2.4-6. Ladder Track System의 구조	33
그림 2.4-7. Ladder Track System 부설 전경	33
그림 2.4-8. Ladder Track System 침하 진전을 비교	34
그림 2.4-9. Ladder Track System의 도상 압력 분포 비교	34
그림 2.4-10 토목섬유(geo-synthetics)를 이용한 궤도 지지구조 보강 공법	35
그림 2.4-11 INNOTRACK 프로젝트를 통해 개발된 신형식 궤도 구조	36

그림 2.4-12. 국내에서 개발된 포장궤도의 구조	37
그림 2.4-13. 포장궤도공법을 이용한 노후 자갈궤도의 개량 사례(국철 1호선)	38
그림 2.4-14. 모르터의 충전 개념	38
그림 2.4-15. 포장궤도 국내적용 구간	39
그림 2.4-16. 일본에서의 포장궤도 개발 현황	41
그림 2.4-17. 대표적인 포장궤도 공법	42
그림 2.4-18. TC형 포장궤도	43
그림 2.4-19. 궤도유지보수비용 감소율	43
그림 2.4-20. 도상치환장비	44
그림 2.4-21. XiTrack 시공장면	45
그림 2.4-22. B2S 궤도의 기본 구조와 설치 개념	46
그림 2.4-23. B2S 궤도공법을 이용한 노후된 자갈도상궤도의 개량	46
그림 2.4-24. B2S 궤도 부설 전경	47
그림 2.4-25. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 자갈궤도에서의 콘크리트궤도 부설 개념도 (등록특허공보 제10-0744175호)	48
그림 2.4-26. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 자갈궤도 교체공법 실내실험 전경 (장승엽 외, 2005)	49
그림 2.4-27. 런던지하철 궤도개량형식 예	50
그림 2.4-28. 궤도 건설 및 개량 시공방법 관련 특허 동향	52
그림 2.4-31. 멀티플타이탬퍼(MTT)	62
그림 2.4-32. 스위치용 타이탬퍼	62
그림 2.4-33. 밸러스트레귤레이터	63
그림 2.4-34. 궤도안정기(DTS)	63
그림 2.4-35. 밸러스터 클리너	64
그림 2.4-36. 분진흡입차	64
그림 2.4-37. 콘베이어 호퍼카	64
그림 2.4-38. 다목적 모터카	64
그림 2.4-39. 한국철도기술연구원 보유 시험장비	67
그림 2.4-40. 하이브리드 구조실험시설	68
그림 2.4-41. 다지점 가진 대용량 지진모사 실험시설	68
그림 2.4-42. 한국철도시설공단 보유 시험장비	70
그림 2.4-43. 한국철도기술연구원 연구인력 현황	71

그림 2.5-1. 이슈 트리	83
그림 3.1-1. 적정 궤도유형 선정 절차	85
그림 3.2-1. 경부고속철도 궤도보수기지 위치	90
그림 3.4-1 침목 자동 교환 장비를 이용한 침목 교환 작업(미국 Hasco 社)	114
그림 3.4-2. 발라스트 클리너를 이용한 자갈 교환 작업	114
그림 3.4-3. 토목섬유 자동 설치 모듈	114
그림 3.4-4. 포장궤도의 시공순서	117
그림 3.4-5. 일본에서 활용중인 충전재 주입 전용장비	118
그림 3.4-6. Plastic media를 이용한 대용량 건식세척장치	120
그림 3.4-7. RPM 2002를 이용한 궤도 개량 작업	121
그림 3.4-8. Plasser & Theurer 社의 Track renewal machine RPM 2002의 구성	122
그림 4.1-1. 비전 및 목표 설정	124
그림 4.2-1. 기술발전 시나리오	125
그림 4.3-1 연구개발과제의 구성	126
그림 4.5-1. 세부과제 간 연계 방안	138
그림 4.6-1 기술개발로드맵(TRM)	140
그림 4.7-1 단계별 Test-bed 구축을 통한 성능 검증 방안	143
그림 4.7-2. 철도시설 성능검증 절차(한국철도시설공단, 2011)	144
그림 4.8-1. 연구수행체계(안)	147
그림 5.3-1 궤도 수명주기비용(60년) 비교	169

제1장. 기술의 정의 및 필요성

1.1 기술의 정의

- “고속철도 자갈궤도 유지보수 저감을 위한 궤도구조 개량기술”은 고속철도 또는 고속화 간선철도에서 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 운행선에서 선로를 차단하지 않고 야간 차단시간을 이용하여 자갈궤도의 구조를 개량하는 기술임.

1.2 기획 배경 및 필요성

- 경부고속철도 1단계 구간(광명~대구)은 자갈궤도로 부설되어 고속으로 운행하는 열차에 의한 자갈입자의 이동, 재배열, 마모, 노반 관입 또는 하부 노반의 부등 침하, 구조물의 신축 작용 등으로 궤도틀림이 계속 증가하는 취약성을 가지고 있음.
- 뜬침목(unsupported sleeper) 또는 궤도틀림 증가에 따른 충격 발생으로 궤도틀림이 더욱 빠른 속도로 증가하는 악순환이 발생
- 승차감(ride comfort) 저하, 탈선 위험 증가와 궤도 수명 감소로 이어짐.

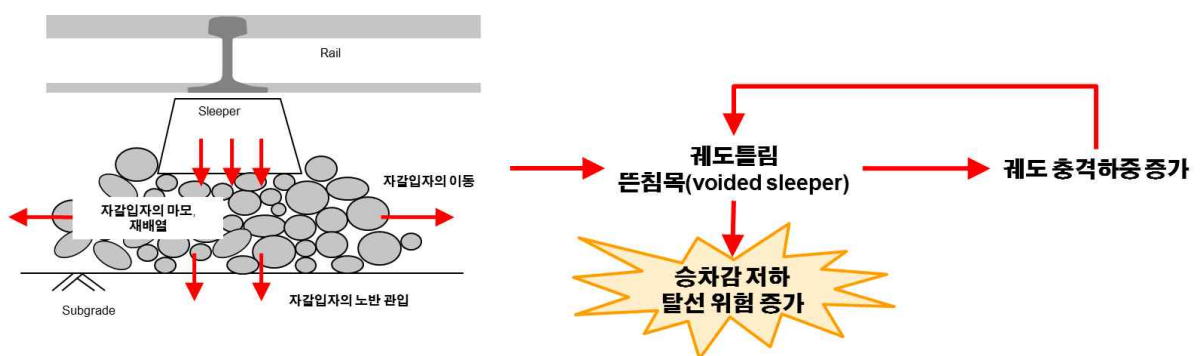


그림 1.2-1. 궤도틀림 주요 원인과 결과

- 궤도 선형을 양호한 상태로 유지하기 위해 궤도 유지보수 작업과 비용이 크게 증가하고 빈번한 유지보수 작업으로 열차 운행 지연과 이로 인한 사회적 손실 발생
 - 특히 경부고속철도 1단계(광명~대구) 자갈궤도구간은 2004년 4월 개통 이후 현재까지 자갈도상의 불안정으로 궤도틀림이 빈번하게 발생
 - 프랑스에 비해 경부고속철도 자갈궤도 구간의 단위 길이당 유지보수비가 3~5배에 이르고 있음.
 - 2010년 기준으로 57회의 긴급 서행 발생, 2011년 6월 기준 8개소에서 230km/h로 열차 서행 운행 중 → 열차 운행 지연으로 사회적 손실 발생
 - 또한 잦은 선로 보수 작업으로 인한 지속적인 자갈도상의 열화 발생, 내구 수명의 저하 우려

- 최근 정부는 “제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020(2011.4)”에서 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결한다는 구상을 발표한 바 있음.
 - 목표 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심축인 경부고속철도축의 속도 향상이 필수적이므로 향후 경부고속철도의 운영속도를 350km/h까지 향상 필요
 - 또한 이와 함께 전국 주요 간선철도의 속도 향상이 필요하나, 기존 철도 대부분은 자갈궤도로 부설되어 속도 향상에 따른 유지보수비의 급증이 우려됨.

- 현재 자갈궤도의 문제점을 개선하고, 향후 속도 향상에 대응하여 승차감 및 주행 안전 향상을 도모함과 동시에, 유지보수 저감을 통한 전(全)수명주기비용 절감을 위한 기술 개발 필요
 - 토공, 교량, 터널 등 구간별 궤도틀림의 발생 원인 및 형태에 맞는 최적화된 궤도구조 개량기술의 개발이 필요
 - 고속으로 운행되는 구간에서 궤도구조를 개량하는 공사는 짧은 차단시간 내에 공사를 완료해야 하고 공사 전후에 고도의 안전 확보가 필요하므로 이러한 엄격한 제한조건을 극복하기 위한 체계적인 기술 개발이 필요

1.3 기획 목적 및 추진방향

1.3.1 연구목표

- 본 연구는 경부고속철도 및 고속화 철도 자갈궤도 구간에서의 유지보수 저감 및 속도 향상에 대응한 궤도구조 개량기술 개발 추진전략 수립을 위한 사전 기획연구로, 세부 연구목표는 아래와 같음.
 - 궤도틀림 발생 현황 분석 및 속도향상을 고려한 궤도구조의 성능요건 제시
 - 토공/교량/터널 구간별 적정 궤도구조 성능향상 방안(궤도구조 개량 후보기술) 제시
 - 핵심 재료 및 자동화 시공장비의 목표 성능 정립
 - 세부 추진전략 및 기술개발 로드맵 제시

1.3.2 기획 추진방향

- 본 기획연구는 기술개발전략 수립, 궤도구조 성능향상 방안(대안공법) 제시, 세부 추진전략 수립 등 3단계로 추진
 - 1단계 : 기술개발 동향 및 현황 분석을 통한 기술개발전략 수립
 - 기술개발 동향 및 환경 분석
 - 고속 운행선 궤도구조 개량 사업요건 분석
 - 기술개발전략(추진방향) 수립
 - 2단계 : 기존 개량기술 분석 및 적정 궤도구조 성능향상 방안 제시
 - 국내외 운행선 궤도구조 개량공법 조사 및 고속철도 구간 적용성 분석
 - 토공, 교량, 터널 등 구간별 성능 향상 대안 공법(후보기술) 도출
 - 대안공법(후보기술)별 가치 평가(Value Evaluation)를 통한 최적 대안 선정
 - 대안 공법(후보기술)별 시스템 및 구성요소 요구조건 분석, 핵심 재료 및 자동화 시공장비 목표 성능 정립

○ 3단계 : 세부 추진전략 수립

- 후보과제 도출 및 우선순위 설정
- 연구목표 및 범위 설정
- 연구목표 달성을 위한 추진방안(추진체계 등) 수립
- 후보 과제별 인력투입 계획 및 소요예산 산정
- 연구 성과물 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
- 연구개발 타당성 검토
- RFP 작성 및 평가기준 설정

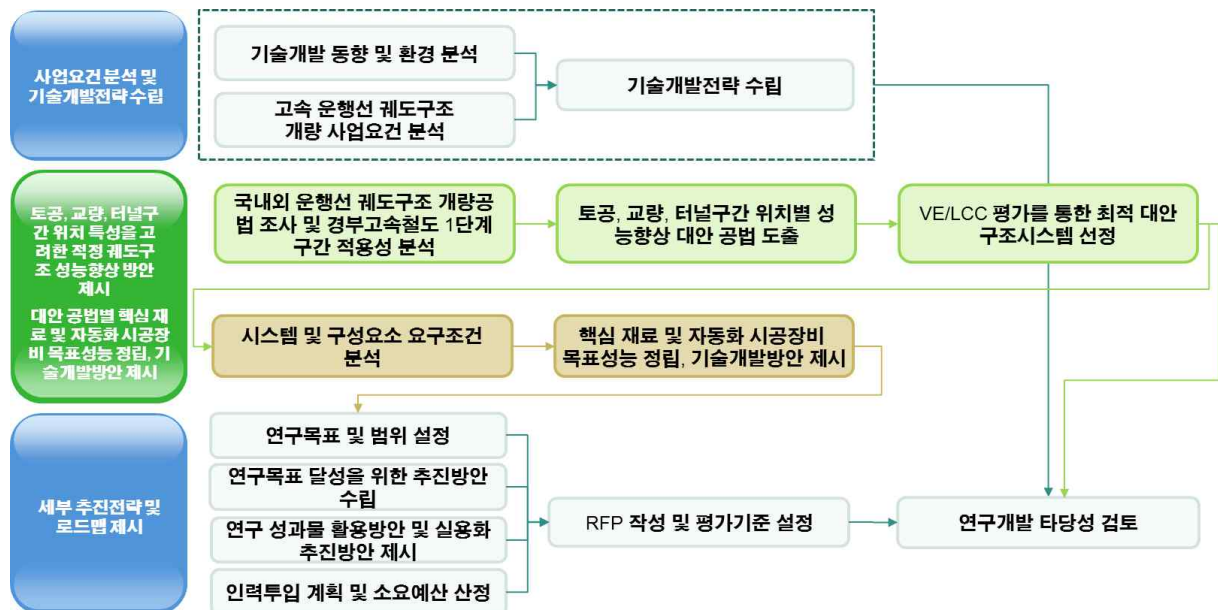


그림 1.3-1. 연구 추진 흐름도

□ 추진체계

- 정부고속철도를 비롯한 간선철도의 운영기관인 한국철도공사와 공동연구체계 구축
- 한국철도시설공단과 산업계 전문가로 구성된 기획자문위원회 운영을 통해 기획 추진방향의 설정, 후보기술 평가, 기획 결과에 대한 타당성 검토 등 시행

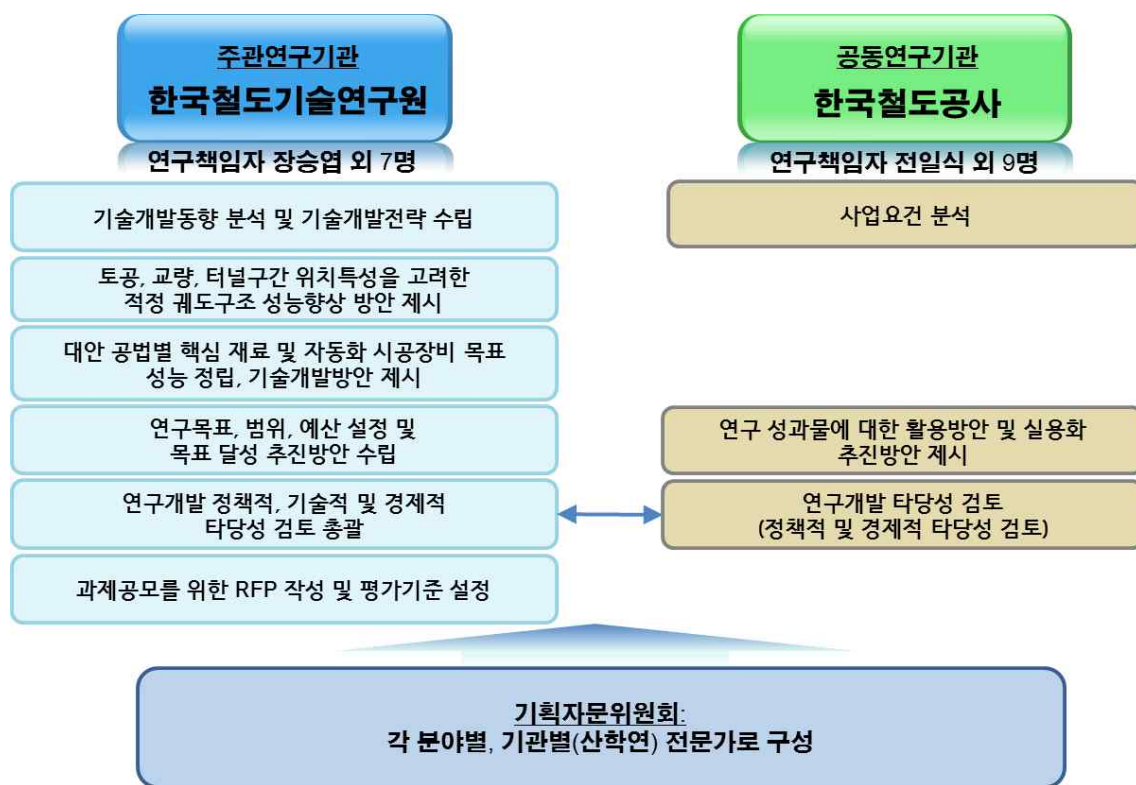


그림 1.3-2. 연구 추진체계

제2장. 국내외 동향 및 환경 분석

2.1 국내외 정책 동향

2.1.1 국내 정책 동향

- 제2차 국가철도망 구축계획 (2011-2020, 국토해양부, 2011.4)에 의하면 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심축인 경부고속철도의 운영속도의 향상이 필수적이나, 현재의 자갈궤도로는 더 이상의 속도향상을 도모하기 어려우므로 자갈궤도 구조의 개량 기술의 개발은 국가교통정책차원에서 우선적으로 추진해야할 필요가 있음.
- 또한 경부고속선 진동원인 및 승차감 제고대책(국토해양부, 2011.11)에 따르면 승차감 향상 방안으로서 유지보수 안정화, 자갈궤도 구조의 개량, 유지보수 관리기준 개선, 유지관리 장비현대화, 전문기술확보를 들고 있음. 이 중 기술적으로 시급한 분야가 궤도구조의 개량기술로서 사전대비가 요구됨.
- 현재 국내에서는 자갈궤도의 구조개량의 기술개발 및 적용이 초기단계에 있으나, 궤도노후도가 가속화되면서 그 필요성이 크게 증가하고 있음. 도시철도 운영처 중 유일하게 서울메트로에서 장기개량계획을 수립하여 현재까지 33km구간을 개량하였으며, 향후 1~4호선 자갈도상궤도구간을 전면 개량 할 계획임. 자갈궤도 구조의 개량기술은 향후 속도향상, 유지보수절감 등을 목적을 달성하기 필수 기술로서 국가정책으로도 확대 적용될 전망이다.
- 제2차 국가철도망 구축계획의 실현, 도시철도 유지보수의 효율화, 간선철도의 고속화 등의 목표를 달성하기 위해서는 반드시 궤도구조개량에 대한 정책적 지원이 수반되어야 함. 특히 궤도구조개량은 장기적은 계획하에 수행되기 때문에 현 단계에서 적용이 미비하더라도 향후 미래국가철도 기술발전을 위해서는 선제적인 기술개발에 대한 정책적 지원이 필요함.

2.1.2 국외 정책 동향

- 궤도구조개량분야에 대해서는 철도건설이 가장 오래된 일본과 영국에서 집중적으로 추진되고 있는데, 국가 정책적으로 지원을 받아 실시하고 있으며, 세부적인 사항은 다음과 같음.

가. 일본

- 일본의 경제는 근래에 들어 성숙기로 접어들었음. 이제까지 형성해온 거대한 교통, 통신 및 도시시설 등의 사회 기반시설은 21세기에는 품질 및 기능의 현저한 저하로 유지보수비용이 신규투자비용을 앞지르게 되었음. 그림 2.1-1과 같이 일본 건설성의 집계에 의하면, 민간 토목을 제외한 정부 관련 건설투자에서 유지보수 비용이 차지하는 비율은 급속히 확대되고 있으며, 이러한 추세로 1990년에 25%이던 유지보수의 비율은 2010년에는 전체 투자의 60%를 차지하게 될 것으로 예상됨.

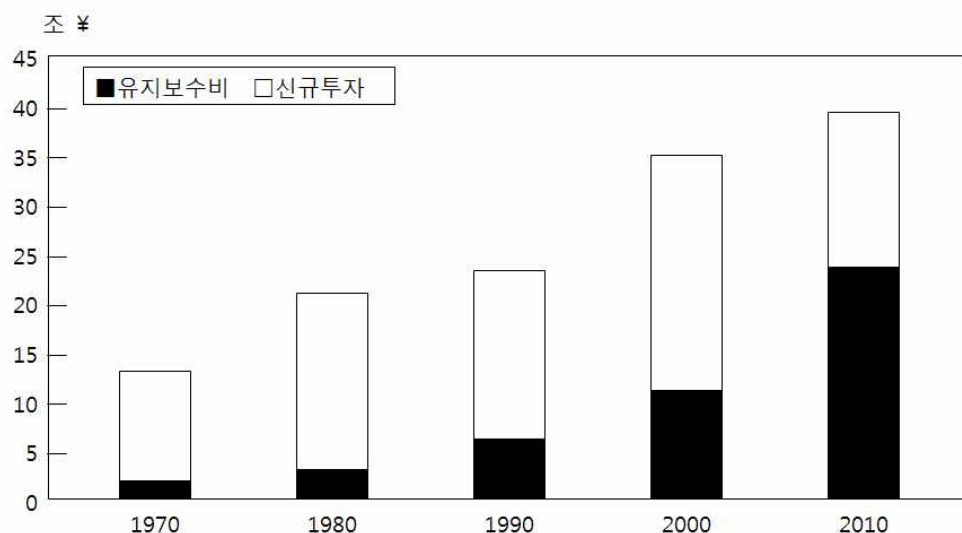


그림 2.1-1. 일본 토목분야에 있어서의 신규 투자비용과 유지보수의 비용

- JR 동일본의 경우에는 유지보수의 대상이 되는 사회 기반시설이 많고, 1872년의 신바시~요코하마 간 철도가 개통된 이래 현재에 이르기까지 축적되어 온 유지보수의 대상물도 새로이 만들어진 것에서부터 오래된 것까지의 여러 가지가 혼재하고 있으며, 이에 따라 다양한 유지보수의 형태를 필요로 하고 있음. 또한 유지보수비가 전체 경비 중에서 차지하는 비율도 증가하게 되어,

JR 동일본에서는 유지보수비가 인건비를 포함하여 철도 운행에 소요되는 비용의 30%를 차지하고 있으며, 이것은 약 5,000억 엔에 달하고 있음.

□ 그 다음으로 대두되는 문제가 인구분포의 고령화인데 철도 승객의 감소로도 이어지고, 또한 유지보수 종사하는 작업원의 감소가 예측되었음. JR 동일본에 있어서의 유지보수 업무의 환경을 고려해보면 노동 생산인구의 감소에 따르는 유지보수 인원의 확보에 어려움이 생기는 한편, 이미 노후가 진행된 인프라 설비의 유지 갱신에 관한 업무가 발생하게 됨.

- 따라서 최신 기술을 적극적으로 도입하면서 노동 집약적인 산업형태로부터의 탈피를 도모하여 한층 더 나아간 소수정예에 의한 효율적인 작업방법 등의 시스템을 구축하고자 하였음. 철도의 저가격성의 확보는 자동차나 비행기와의 경쟁에서 앞서갈 수 있는 철도의 우위성에 있어서 매우 중요한 요소임. 가격을 저렴하게 하기 위해서는 철도에 있어서의 유지보수 비용을 고려할 필요가 있으며, 현상의 서비스 수준(안전성, 안정성, 쾌적성, 신속성 등)의 향상을 도모하면서, 비용 상승을 막는 것은 물론 나아가 비용의 절감을 어떻게 도모하는가가 그 과제임.
- 따라서 유지보수의 요구를 정확하게 파악하고, LCC 등의 시점에서 유지보수의 현상을 평가하고 과제를 도출하고 유지보수의 혁신을 도모한 기술개발을 추진하였음.

□ JR 동일본은 선로의 연장이 약 13,000km에 달하기 때문에 선로와 전차선로 및 신호 등의 유지보수에 많은 인력과 경비가 소요되고 있는 실태임. 특히 실외에서의 야간작업 등을 피할 수 없는 보선작업에는 작업원의 확보가 대단히 곤란한 상황에 처해가고 있으며, 또한 도심부에서는 작업에 따르는 소음이나 진동도 큰 문제로 대두되고 있어 유지보수 작업의 경감을 위한 생력화를 추진하였음. 유지보수 생력화의 일환으로 “200X 프로젝트”를 추진하였는데, 그 목적은 다음과 같음.

- ① 설비 자체의 유지보수를 줄임. 또한 설비자체를 간소화하고 그 수명을 연장함.
- ② 설비를 가능한 한 유지보수가 용이한 것으로 개량함. 유지보수의 작업을 완전히 없애는 것은 대단히 어려운 사항이므로, 유지보수를 하는 경우의 검사 과정은 자동화 또는 기계화하고, 가능한 한 소요인력을 줄이고 고도화함.

- ③ 설비의 수선 및 교체시에는 가능한 적은 인력이 소요되는 효율적인 작업 방법을 도모함.
- ④ 설비의 관리는 장치 및 기계 등으로부터 얻어진 자료를 평가하여 유지보수 계획을 수립하도록 함.

나. 영국

- 유럽의 신설 지하철 및 고속철도 궤도구조는 대부분 콘크리트 도상으로 시공되고 있었으며, 기존의 노후된 자갈도상 및 궤도재료들은 개량을 통하여 콘크리트 도상화 및 최고의 성능을 갖춘 체결구 등의 재료로 개선함으로써 운행상에 발생 할 수 있는 안전문제를 해결하고 유지보수 비용 및 인력을 절감함으로써 운행 안정성과 경제성을 동시에 추구하고 있음. 특히 지하철의 경우는 건설된 지 백년이 되어 유지보수 시 열차의 운행을 완전 차단하고 작업을 하지 않으면 안 될 시점까지 도달하여 유지보수 시 많은 어려움을 겪고 있으며 이에 궤도구조개량 공사를 시행하여 궤도시설 전반에 대한 안전성을 확보하고 유지보수의 효율성을 도모하고 있음.
- 영국 런던 지하철은 1863년 완공된 Metropolitan선을 시작으로 12개 노선이 건설되어 운영되어 왔으나 구조물의 노후화와 수송승객의 폭발적인 증가로 인하여 광범위한 궤도유지보수투자가 요구되고 있음. 최근 문제의 심각성을 인식하고 향후 30년간 개량계획을 수립하여 런던 지하철의 궤도시스템 개량을 추진하고 있음(표 2.1-1, 그림 2.1-2). 현재 계획 중인 궤도개량의 연장은 약 71km구간이며, 향후 확대 적용할 예정임.

표 2.1-1. 런던지하철 궤도개량 계획

Line	ETR		Tube reconditioning		Pitblock renewal		Total	
	Number of jobs	Total length [m]	Number of jobs	Total length [m]	Number of jobs	Total length [m]	Number of jobs	Total length [m]
Jubilee	10	8,129	11	5,043	0	0	21	13,172
Metropolitan ¹²	11	8,600	N/A		N/A		11	8,600
Northern	12	8,916	32	15,240	14	1,413	58	25,569
Piccadilly	18	17,297	11	5,794	7	802	36	23,893
Total JNP	51	42,942	54	26,077	21	2,215	126	71,234

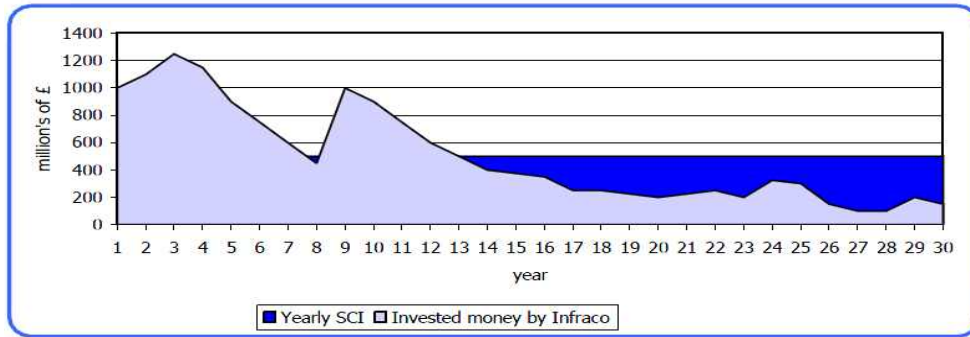


그림 2.1-2. PPP프로젝트에 대한 투자계획

2.2 국내외 시장현황 및 전망

2.2.1 국내 시장 동향

□ 자갈도상궤도는 열차의 반복하중에 의해 점진적으로 변형이 진행되는 구조이기 때문에 침하 및 궤도틀림을 줄이기 위하여 지속적인 유지보수작업을 필요로 함. 하지만 자갈도상궤도는 이러한 단점에도 불구하고 가장 많이 적용되고 있음. 이는 부설이나 보수가 용이하고 건설비가 저렴하기 때문에 현재까지 동서양을 불문하고 궤도구조의 기본으로 되어 있으며 경부고속철도에도 채택되었음. 그러나 최근 경제의 고도성장에 따라서 선로의 수송력 증강 요구, 보선업무의 효율성 향상 요구 등 사회변화에 대응하기 위한 새로운 궤도구조가 요구되고 있음. 특히 유지보수의 비용 절감이 보선에 있어서 중요한 과제이기 때문에 지속적인 관리가 요구되지 않는 궤도설비의 적용이 요구되고 있음. 이에 대한 대책으로 기존에 건설되어 있는 선로의 무보수화(생력화)를 목적으로 여러 가지 방안이 개발되어 왔으나, 근본적으로 궤도구조를 개선하는 것이 효율적이라는 결론을 내렸음. 현재 신선의 경우는 유지보수가 거의 필요 없는 콘크리트도상궤도의 적용이 확산되고 있는 추세이고 기존선의 경우에는 포장궤도와 같은 무보수화 궤도구조가 적용되고 있음.

□ 국내의 경우 서울지하철이 1998년부터 자갈도상의 노후화 및 각종 체결구의 훼손, 침목의 부패, 레일의 절손 등의 유지 보수상 문제점이 심하게 도출이 되어, 이를 해결하고자 궤도시설 전반에 대한 개량작업을 시행하고 있는 중이며, 현재까지 33km의 실적으로 추진 중에 있음. 아울러 기술축적의 노하우(Know-how)로 새로운 개량공법 등을 자체 개발하여 공기단축의 효과를 거두고 있음.

가. 국내 궤도구조개량 수급동향

- 국내에서의 기존자갈궤도의 개량사업은 운영처의 결정에 의하여 진행됨. 궤도구조개량사업의 주요 운영처와 대상구간은 다음 표 2.2-1과 같음.

표 2.2-1. 국내 궤도개량사업 추진 현황

운영처	대상선로	궤도연장(km)	진행현황
서울메트로	1-4호선 자갈도상궤도 개량공사	복선궤도 연장226.7km	지하구간 B2S궤도(24km) 및 현장타설 콘크리트궤도(9km) 시공완료
	분기기 개량공사	전체	시행중
부산교통공사	1호선 자갈도상궤도개량공사	복선궤도 연장72km	기본설계 완료
철도공사	과천선을 비롯한 국철구간	200km	기본설계 완료
	기존 철도구간 중 궤도 구조개량이 요구되는 구간(터널, 급곡선, 역구내 구간 등)	500km	-

- 1970~80년대에 건설된 서울지하철 1~4호선 복선 궤도 연장 276.9km중 82% (226.7km)가 자갈궤도로 건설되었음. 30년 이상 운영되면서 유지보수의 편의를 위하여 콘크리트궤도로 개량하는 사업을 1997년부터 추진하고 있으며 자갈궤도 전체를 대상으로 하고 있음. 비교적 안정적인 재원이 확보되어 있으며 포장궤도의 적용을 확인하기 위하여 본선구간에 시험 부설하여 성능을 검증 중임.
- 부산지하철공사의 경우, 1호선 72km 연장이 자갈도상궤도로 부설되어 있으며, 2005년도에 궤도구조개량에 관한 기본설계를 완료하고 궤도개량에 대한 실시설계 및 시공을 계획하고 있음.

- 철도공사의 경우, 과천선을 비롯한 수도권 인근의 도시철도 선로가 주요 개량대상이 되며, 기존선에서도 터널구간 등이 개량대상이 될 수 있음.
- 국내 자갈도상궤도 개량사업은 시간의 경과에 따라 수요가 점점 증가할 것으로 판단되며, 교통환경 여건상 빠르고 경제적으로 개량할 수 있는 공법이 경쟁력을 가질 것으로 판단되어 궤도개량기술의 중장기적인 전망은 매우 밝다고 할 수 있음.

나. 시장 특성 및 구조

- 궤도구조개량은 주로 철도공사, 서울메트로, 부산지하철공사 등 철도 운영기관이 주요 수요처임. 따라서 적용공법이 충분한 안정성과 경제성이 검증되어야 본선에 적용하는 것이 가능하며, 채택이 될 경우에는 지속적으로 적용되는 경향이 있음. 채택을 위해서는 각 운영기관별 열차 및 선로의 특성을 설계 및 시공시 반영하여야 함.
- 또한 궤도구조개량은 대규모 예산이 수반되는 SOC사업이기 때문에 사전조사 및 계획에 많은 노력이 요구됨. 특히 궤도개량사업은 유지보수예산에서 지원되기 때문에 지속적인 예산확보가 필요함.

다. 시장 확보 전망

- 향후 국내 궤도개량공사의 시장전망을 분석하였음. 현재 실질적인 궤도구조개량공사는 서울메트로에서만 진행을 하고 있으나, 추후 철도공사 및 부산교통공사에서도 본격적인 궤도개량공사가 시작될 것으로 예상됨.
- 표 2.2-3에서 서울메트로의 궤도개량실적을 보면 현재까지 5년간 660억원(33km)의 예산이 소요되었으며, 향후 연간 약 200억원 규모의 공사계획을 가지고 있으며 총 4,000억원(194km) 규모의 궤도개량시장이 확보되어 있음.
 - 부산교통공사의 경우에도 1,400억원(72km) 규모의 궤도개량계획을 가지고 있음. 이와 같이 도시철도운영기관을 비롯하여 기존선, 광역전철 등에 대한 궤도개량시장도 매우 확대될 것으로 전망되기 때문에 향후 기술수요를 만

족시키기 위한 선행연구가 시급히 요구됨.

- 기술개발이 완료되는 시점인 2018년 이후에는 연간 600억원 이상의 궤도개량시장이 형성될 것으로 예상됨. 시장 확보를 위해서는 개발기술의 시공시간을 대폭 단축하기 위한 자동화 장비의 개발과 재료비의 절감 등을 통한 경쟁력향상이 요구됨.

표 2.2-2. 궤도개량공사의 향후 시장전망(고속선 제외)

구 분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비 고
궤도개량 연장	10km	15km	20km	30km	30km	2017년 이후 년간 30km이상의 시장 형성
궤도개량 건설비	200억원	300억원	400억원	600억원	600억원	

2.2.2 국외 시장 동향

- 일본 및 유럽에서는 자갈궤도 개량의 목적은 대부분 노후화된 자갈도상궤도의 유지보수비용 절감임. 가장 활발한 궤도개량사업을 추진하고 있는 일본의 경우에는 최근 신간선의 보수생력화와 내진성능향상을 목적으로 포장궤도공법의 적용 검토하고 있음. 각 국별 시장동향은 다음과 같음.

가. 일본

- JR 동일본에서는 열차의 승차감 향상과 궤도 보수 작업을 경감시킬 목적으로 개발된 TC형 생력화 궤도를 열차 수송 밀도가 높은 수도권을 중심으로 부설하였음.
 - TC형 생력화궤도는 1998년부터 제1기 공사로서 야마노테센(마치다~신주쿠~다바타 구간) 35km을 4구간을 4년간에 부설했음.
 - 제2기 공사는 시공 체제를 재검토해 2구간을 늘린 6구간의 시공체제로 변경하고 편수식 도상굴삭기 및 대형 호퍼차를 각각 1대 도입해 시공효율을 개선했음.
 - 또 충전차 중 1편성을 시멘트 사일로차와 물탱크차를 개량해 충전 효율을 대폭 개선하였으며 2002년부터 5년간에 야마노테센(마치다~신주쿠~다바타

구간)의 4선구의 111km를 부설하였음. 제2기 공사까지 완료되어 주요 5선구 146km를 부설하였음.

- 그 결과, 궤선 상태 및 유지보수 경감에 있어 이미 기대했던 효과를 확인할 수 있었기 때문에, 2007년부터 토호쿠 화물선과 토키카이도선을 중심으로 제3기 공사에 착수하였음.

□ 일본은 현재까지 256km의 선로를 포장궤도로 개량하였으며, JR동일본은 제외한 JR서일본, JR중앙, JR홋카이도 등에서도 별도의 선로개량작업을 진행중에 있기 때문에 연간 약 40km(km당 25억원 수준)의 선로구조개량 시장이 확보되어 있으며, 향후에는 점진적으로 증가할 것으로 예상됨.

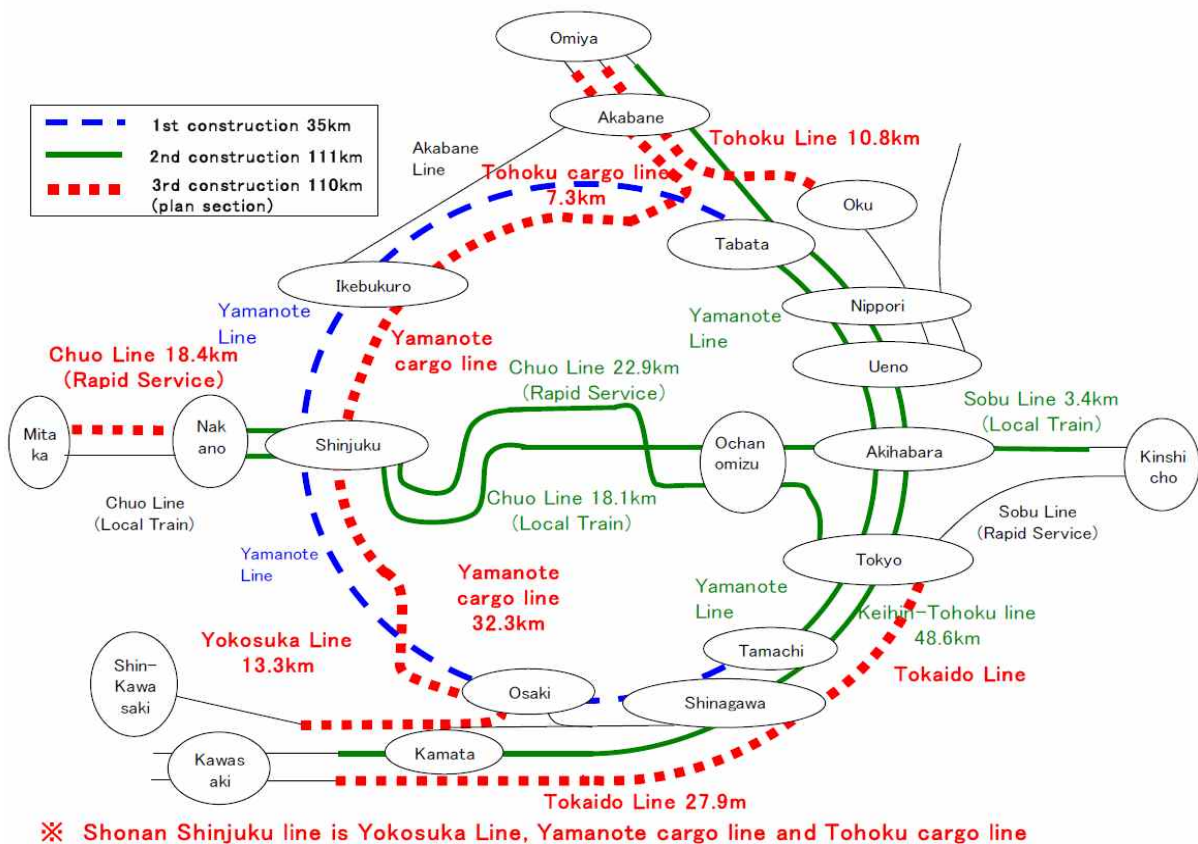


그림 2.2-1. 궤도구조개량 현황 및 계획(JR동일본)

나. 영국

- 영국의 경우, 100년 이상 경과한 선로들이 많기 때문에 대부분의 구간이 개량이 요구됨. 영국에서는 우선 1차적으로 Tube line 4개소 71km구간을 개량계획을 수립하였음. 개량에는 선로개량을 포함하여 터널구조물에 대한 개량도 포함되어 있으며, 선로를 일정기간 폐쇄하고 전면적인 개량을 시행하고 있음.

표 2.2-3 영국 Underground 현황

Line	Infraco	Length	Length in tunnel	Number of stations	Year of opening
		[Miles]			
Bakerloo	Metronet BCV	14 (23 km)	36%	25	1906
Central	Metronet BCV	46 (74 km)	22%	49	1900
Circle	Metronet SSL	14 (22 km)	79% ⁸	27	1884
District	Metronet SSL	40 (64 km)	18% ⁸	60	1868
East London	Metronet SSL	5 (8 km)	38% ⁸	9	1869
Hammersmith & City	Metronet SSL	9 (14 km)	33% ⁸	28	1864
Jubilee	Tube Lines	23 (36 km)	38%	27	1979 ⁹
Metropolitan	Metronet SSL	42 (67 km)	10% ⁸	34	1863
Northern	Tube Lines	36 (58 km)	56%	50	1890
Piccadilly	Tube Lines	44 (71 km)	21%	52	1906
Victoria	Metronet BCV	13 (21 km)	100%	16	1969
Waterloo & City	Metronet BCV	1.5 (2 km)	100%	2	1898
Total		253 (408 km) ¹⁰	44%	274 ¹¹	

- 국내의 궤도구조개량시장은 초기단계로 현재까지의 실적은 약 30km에 불과하지만, 향후 궤도노후화의 급속한 증가에 따른 개량 필요성이 크게 대두되기 때문에 국내시장의 규모는 지속적으로 증가할 것으로 예상됨. 또한 국외의 경우에도 본격적으로 궤도구조개량을 추진하는 국가가 일본, 영국을 비롯하여 홍콩, 싱가포르, 프랑스 등으로 확대되고 있기 때문에 유럽을 중심으로 궤도구조개량은 향후 폭발적으로 증가할 것으로 예상됨.

2.3 고속철도 자갈궤도구간 유지보수 현황

2.3.1 궤도 선형 및 보수 현황

- 고속철도 궤도의 기하학적 불규칙성을 찾아내기 위하여 주기적으로 궤도검측차를 통해 궤도선형을 검사하고 있음. 그림 2.3-1은 2004년도 이후 궤도검측 결과로서, 10m현 기준 보수대상개소를 궤도틀림 종별로 제시하고 있음.
 - 초기 궤도 미안정으로 급격한 궤도틀림이 발생 : 2005년과 2006년 궤도틀림량 과다
 - 2006년 하반기부터 2008년 사이 궤도틀림 안정화 : 2006년에 고속선 선로 안정화 대책 마련 에 따라 열차속도 제한 및 집중보수 작업 수행, 일정기간 궤도틀림이 줄어드는 추세
 - 2008년 이후 궤도틀림 증가 추세 : 2008년 이후 열차속도제한의 해제 및 장비작업의 지양 등 유지보수 패턴의 변화로 궤도틀림 증가 추세
-
- 특히 궤도틀림 종별 분석 결과에 따라 고저틀림(면맞춤)이 약 84%로 대부분을 차지하고 있음.
 - 이와 같은 고저틀림은 개통 초기 도상 안정화가 제대로 이루어지지 않았고, 여기에 잦은 도상다짐 작업에 따른 자갈 파쇄, 마모에 따른 세립화로 도상 자체의 지지력이 저하되었기 때문인 것으로 판단됨.

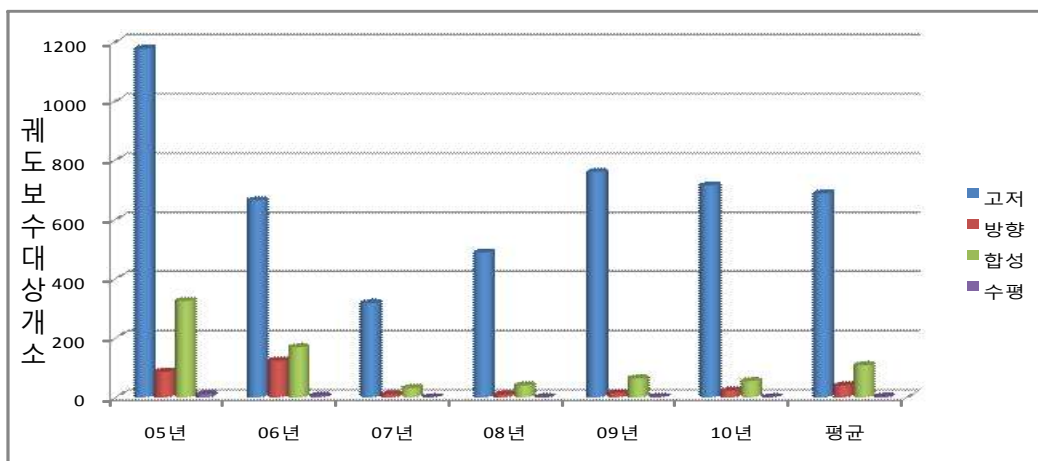


그림 2.3-1. 경부고속철도 1단계 구간 궤도검측 결과(2005~2010년)

□ 그림 2.3-2는 궤도 검측 결과를 바탕으로 궤도 상태를 지수화한 궤도품질지수(TQI, Track Quality Index) 결과로써,

- 개통 초기에는 도상 안정화가 완전히 이루어지지 않은 시기임에도 궤도품질지수가 낮게 나타나고 있음(궤도 상태 양호). 그러나 이 시기에 궤도선형을 확보하기 위해 지나치게 잦은 보수작업으로 인해 자갈도상의 열화를 촉진시키는 원인을 제공
- 2006년 이후 점차적으로 궤도품질지수가 높아지고 있음(궤도 상태 악화).

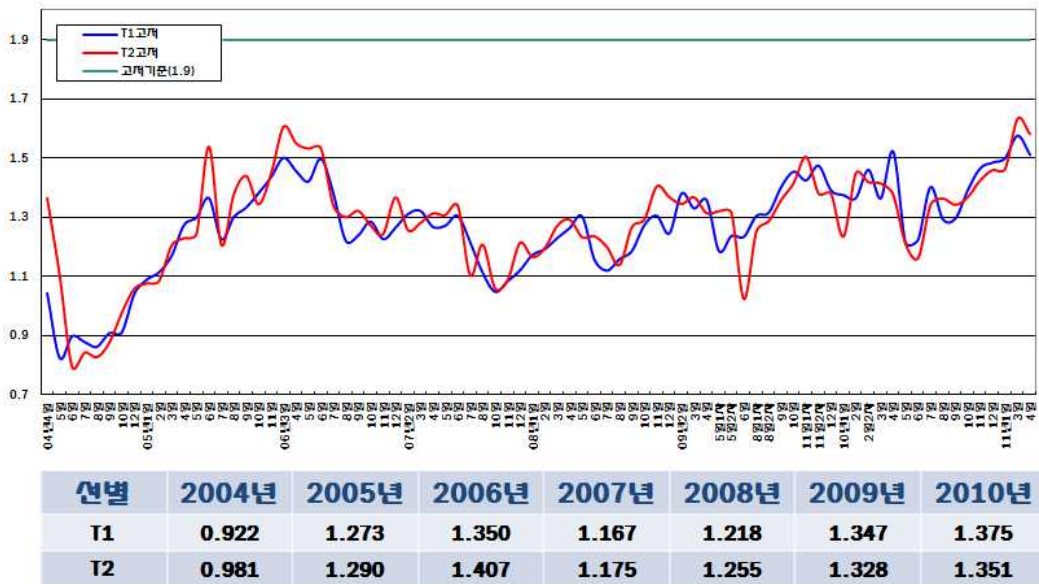


그림 2.3-2. 고속선 궤도품질지수(TQI) 추이

□ 그림 2.3-3은 고속철도 개통 이후 년도별 월평균 자갈다짐 작업현황을 인력 작업과 장비작업으로 나누어 제시하고 있음.

- 인력작업은 개통 초기에는 적었으나 이후 지속적으로 증가, 유지되고 있음 (자갈마모의 원인이 대형다짐장비의 잦은 다짐에 기인하는 것을 확인하고 단과장 궤도틀림에 대한 보수방법으로 인력 다짐작업을 위주로 시행하였기 때문)
- 장비작업의 경우 개통 초기 년도에 집중되고 이후 급격히 감소, 2008년과 2009년 다시 증가하였다가 이후 다소 감소 추세에 있음(그림 2.3-4).
- 월별로는 4~5월, 10~11월에 작업량이 증가하였음. 이는 장대레일 안정에 영향을 적게 미치는 봄, 가을에 보수작업이 집중적으로 시행되고 있기 때문

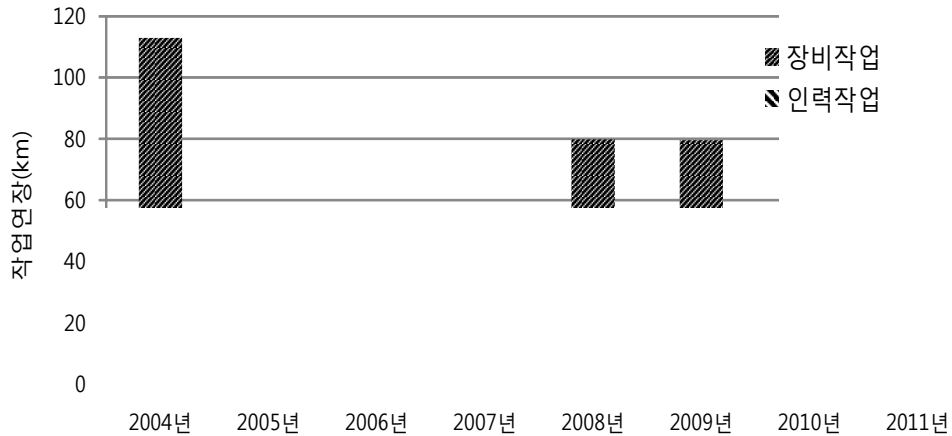


그림 2.3-3. 기간별 월평균 자갈다짐 작업현황

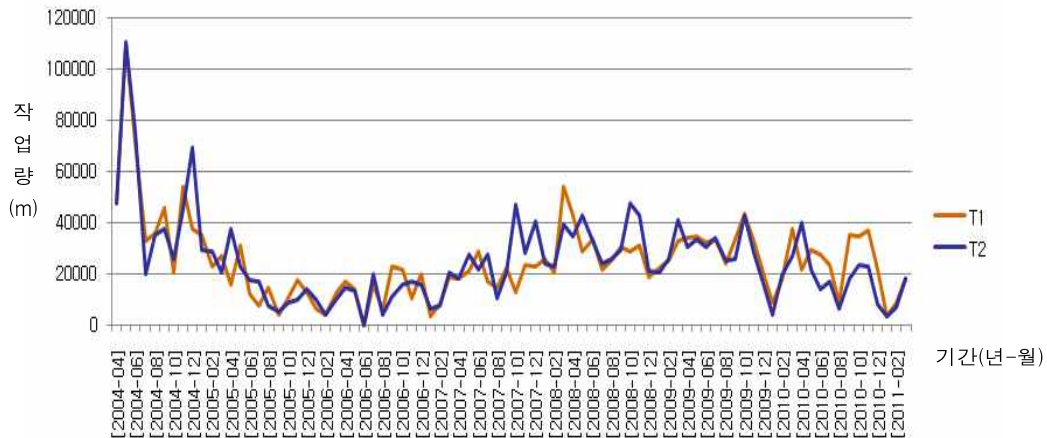


그림 2.3-4. 기간별 장비 다짐작업 연장

□ 그림 2.3-5는 경부고속철도 1단계 구간 위치별 장비 다짐작업 현황을 보여주고 있음.

- 시험선 구간(110~140km)은 보수작업이 타 구간에 비하여 현저히 적게 시행됨. 이는 시험선 구간은 타 구간보다 약 5년 가량 앞서 건설되어 시운전을 시행하면서 충분한 도상 안정화가 이루어졌기 때문으로 추정됨.
- 콘크리트궤도가 부설된 광명~장상터널(23~32km), 화신5터널(200~207km), 황학터널(209~218km)의 장대터널구간에서는 도상다짐 작업이 불필요함에 따라 보수작업이 시행되지 않음.
- 45~60km 구간, 평택고가에서 상하선의 보수작업이 상대적으로 많은 편차를 보임.

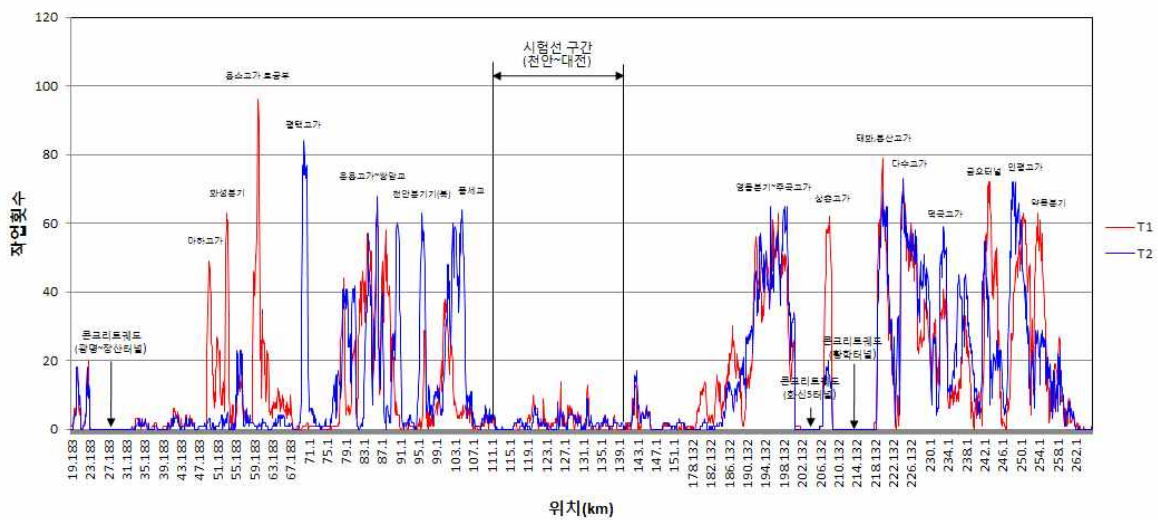


그림 2.3-5. 위치별 장비다짐 작업(개통~2010)

- 그림 2.3-6과 2.3-7은 인력작업과 장비작업에 대해 하부구조 조건별로 도상 다짐 작업의 차이를 분석하기 위하여 작업 대상 구간에 따라 작업량을 나누어 제시하고 있음.
- 경부고속철도 1단계 구간은 토공부(72km, 30.3%), 터널(77km, 32.4%), 교량(89km, 37.3%)로 형식별로 약 1/3씩 고르게 분포
- 인력다짐 작업의 경우 2004년부터 2011년까지 교량구간이 평균 55%, 토공구간이 35%, 터널구간이 10%를 차지함.
- 장비다짐 작업은 교량구간이 평균 52%, 토공 30%, 터널 18%의 비중을 나타냄. → 교량구간에서 가장 많은 다짐작업이 시행되고 있음.

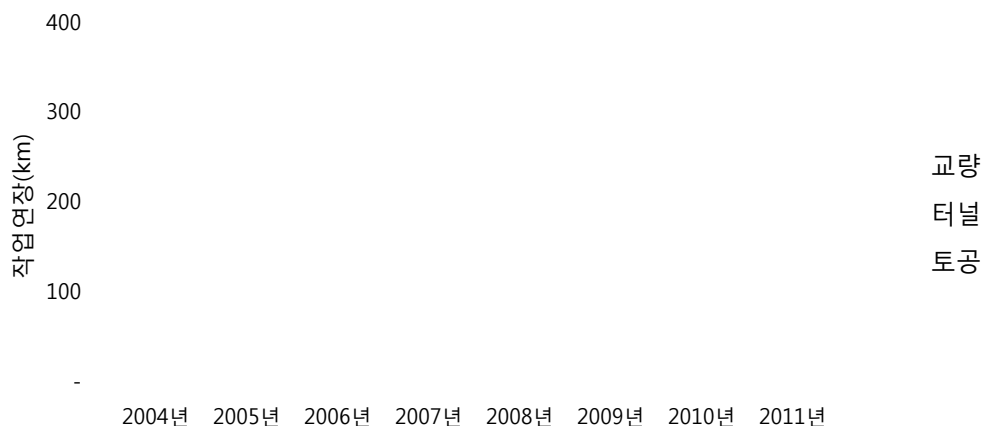


그림 2.3-6. 하부구조 조건별 인력 다집량 차이

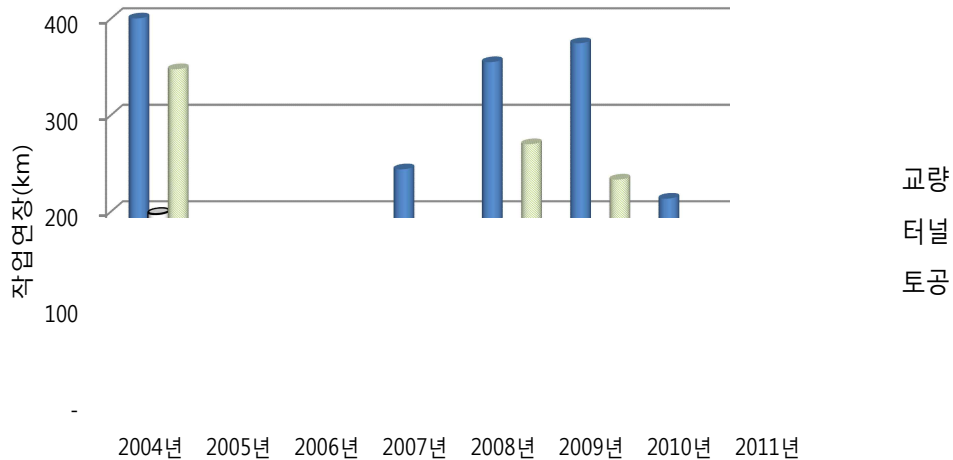


그림 2.3-7. 하부구조 조건별 장비 다짐량 추이

- 그림 2.3-8은 평면선형 조건별 장비 작업량의 추이를 비교한 것임. 경부고속철도 1단계 구간은 최소곡선반경이 7,000m이며, 부설칸트는 130mm이며 전체연장의 29%가 곡선으로 이루어짐.
- 전체 장비작업량은 2008년 이후 감소되고 있는 추세임에도 불구하고 곡선부 작업량의 변화는 작아 상대적으로 곡선부 작업량의 비중이 지속적으로 증가하고 있음.

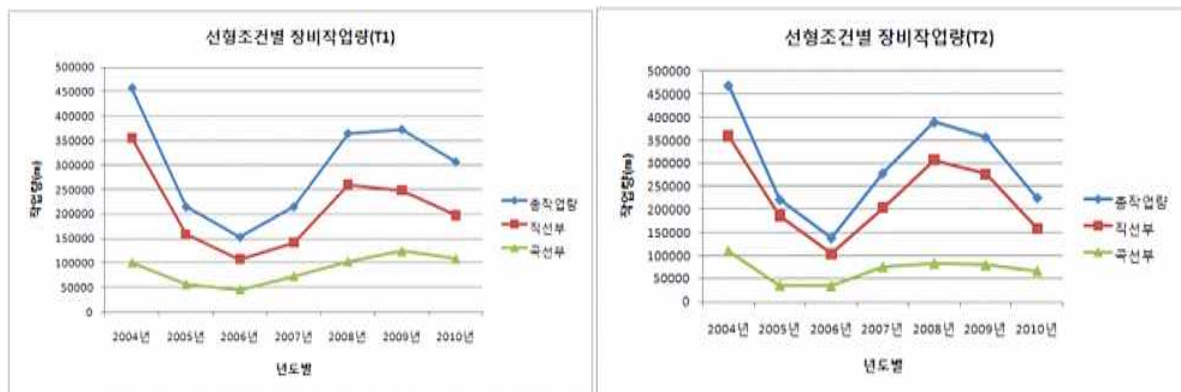


그림 2.3-8. 선형조건별 장비작업량 추이

2.3.2 고속선 특별관리 대상구간 지정 및 관리 현황

- 경부고속철도 1단계구간을 관리하고 있는 코레일의 현업사무소에서는 궤도 틀림이 자주 발생하는 구간을 선정하여 특별관리구간으로 지정 관리, 현재 대상개소로 지정된 구간은 총 51개소로 노반구조물 및 궤도조건에 따라 특성에 맞게 관리하고 있음.

※ 특별관리 구간의 선정 기준

- 평균 선로보수주기(작은 보수작업 시행) 저하 개소 : 보수 주기 18일~28일
- 궤도품질지수(TQI) 주의기준(1.9) 이상 개소: 고저 8회 이상 초과개소
- 궤도검측 결과 보수대상 지적 개소 : 7회 이상 중복지적 개소 포함
- KTX 기장 열차진동 지적: 2회 이상

- 표 2.3-1과 그림 2.3-9에서 이와 같은 선정관리 기준에 따라 선정된 51개 구간의 총괄 현황을 제시하고 있고, 표 2.3-2와 그림 2.3-10은 세부 현황을 제시하고 있음.

표 2.3-1. 특별관리구간 총괄표

사업소	대상구간	대상연장(km)
광명	5개소 ⇒ 분기 : 1, 교량 : 3, 터널 : 1	4.80
아산	9개소 ⇒ 토공 : 2, 교량 : 6, 터널 : 1	11.55
오송	4개소 ⇒ 교량 : 2, 신축 : 2	6.60
영동	21개소 ⇒ 분기 : 4, 토공 : 5, 교량 : 9, 터널 : 3	64.00
약목	12개소 ⇒ 토공 : 3, 교량 : 6, 터널 : 3	22.75
계	51개소 ⇒ 분기 : 5, 토공 : 10, 교량 : 26, 터널 : 8, 신축 : 2	69.70

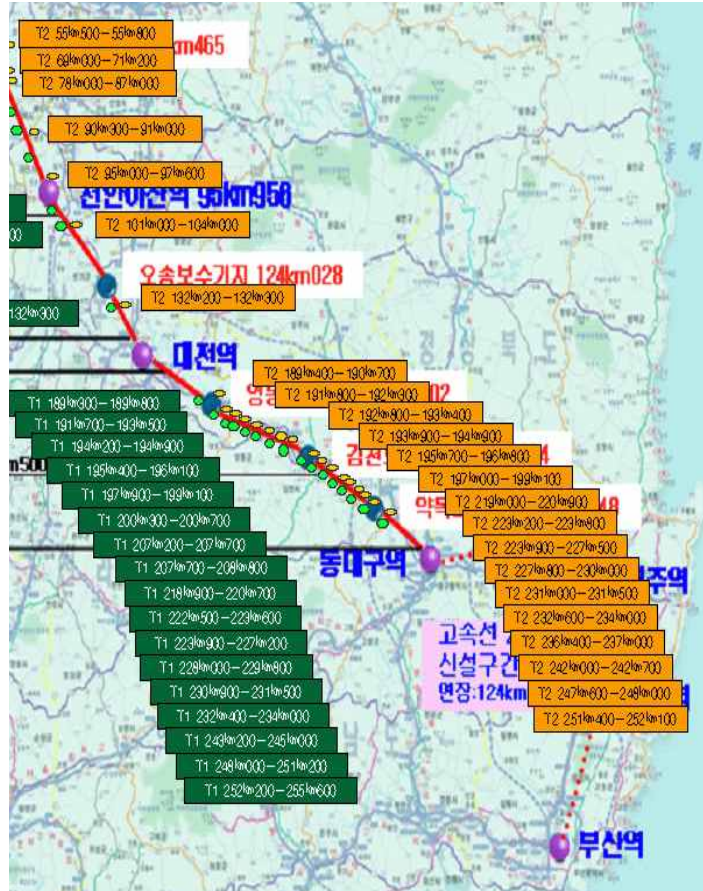


그림 2.3-9. 특별관리구간 지정현황

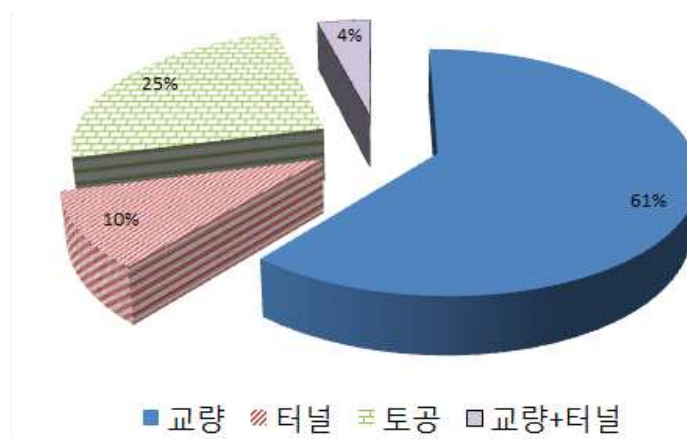


그림 2.3-10. 특별관리구간 노반조건별 분포

□ 특별관리 대상구간 궤도틀림 발생 원인은 크게 아래와 같이 세 가지로 추정됨(그림 2.3-11 참조)

- 노반조건 : 구조물 접속부 강성 차이(구조물 접속부), 교량신축부
- 궤도선형 : 종곡선 변환점, 완화곡선, 원곡선 병합구간 등
- 기타 : 분기부, 레일신축이음부 등

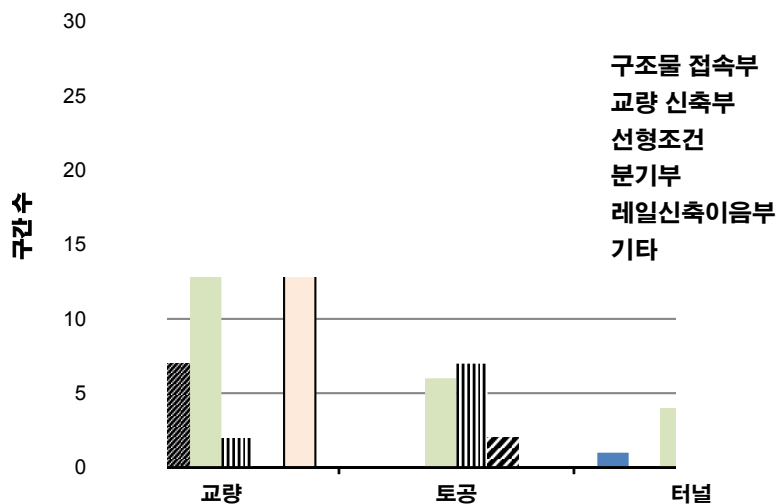


그림 2.3-11. 특별관리구간 궤도틀림 발생 원인별 분포

□ 특별관리 대상구간 궤도틀림 발생 패턴별 분류해 보면,

- 보수주기가 특히 짧은 구간(3~8일) : 다수고가, 모암고가, 월곡고가, 금오터널, 인평고가, 낙동강교 등 김천~칠곡 간 집중
- 최근 2년간 궤도 보수작업이 가장 빈번히 시행된 구간(300회 이상) : 운용2고가~신희고가 토공부, 쌍암교~용와터널 구간 등 고덕~천안 간 집중
- 최근 2년간 궤도 검측결과 보수대상개소가 많은 구간 (100m@ 30회 이상) : 배방교, 갈원교 신축부, 영동 분기부 구간

표 2.3-2. 특별관리구간 세부 내역

사업소	관리번호	세부관리번호	선별	대상구간	연장(m)	구조물	비고
광명	1		T1	49km050~49km850	800	마하1고가	평면곡선변환점 종곡선 변환점
	2			53km000~53km700	700	서봉2터널	
	3	1		55km400~55km700	300	토공부	P1204
		2		55km700~56km100	400		P1207
	4	1		59km100~59km900	800	사창고가	원곡선부
		2		60km000~60km500	500	토공부	원곡선부 종곡선 변환점
		3		61km100~61km600	500	용소고가	원곡선부
	5	1	T2	55km300~55km800	500	토공부	P1203
		2		55km800~56km100	300		P1208
계	5	9			4,800		
아산	6	1	T1	81km600~82km800	1,200	토공부	원곡선부 종곡선 변환점
		2		82km800~84km100	1,300	토공부,신희고가	원곡선부 구조물 어프리치
	7			86km000~87km000	1,000	토공부	
	8	1		87km000~88km000	1,000	쌍암교,용와터널	구조물어프리치 종곡선 변환점
		2		88km000~89km000	1,000	용와터널	
	9			89km300~89km700	400	산동제1교	
	10			97km000~97km400	400	배방교	P2057
	11	1	T2	69km000~70km100	1,100	평택고가	
		2		70km100~71km200	1,100	평택고가	
	12	1		80km500~81km400	900	운용2고가	구조물어프리치
		2		86km000~86km700	700	토공부	
	13			90km300~91km000	700	산동제2교	
	14	1		95km000~95km250	250	천안정차장	구조물어프리치
		2		97km100~97km600	500	배방교	P2058,P2059,신축부
계	9	15			11,500		
오송	15	1	T1	100km500~101km600	1,100	풍세교	원곡선부 종곡선변환점
		2		101km600~102km800	1,200		원곡선부
	16			132km200~132km300	100	갈원교	신축부
	17	1	T2	100km000~101km000	1,000	풍세교	구조물어프리치
		2		101km000~102km000	1,000		원곡선부 종곡선 변환점
		3		102km000~103km000	1,000		종곡선 변환점
		4		103km000~104km100	1,100		평면곡선변환점 종곡선 변환점
	18			132km200~132km300	100	갈원교	신축부
계	4	8			6,600		

표 2.3-2. (계속)

사업 소	관리 번호	세부 관리 번호	선 별	대 상 구 간	연장 (m)	구조물	비고
영동	19		T1	189km600~190km000	400	토공부	P4004,P4008,P4009
	20	1		191km900~192km600	700	각계교-영동1고가	구조물어프러치 평면곡선변환점
		2		192km600~193km400	800	영동1고가-토공부	구조물어프러치 종곡선 변환점
	21			194km200~194km900	700	오탄터널	종곡선변환점
	22			195km400~196km100	700	영동터널	
	23			197km900~199km100	1,200	주곡고가	
	24			200km300~200km700	400	화신교	구조 어프러치
	25			207km200~207km700	500	토공부-상촌고가	구조물 어프러치
	26			207km700~208km800	1,100	상촌고가	
	27	1		218km900~220km000	1,100	태화고가	
		2		220km000~220km700	700	봉산고가	평면곡선변환점
	28			222km800~223km700	900	토공부	P4608,P4609
	30		T2	189km400~190km700	1,300	영동분기, 토공	
	31			191km800~192km300	500	각계교-영동1고가	구조물어프러치 종곡선 변환점
	32			192km800~193km400	600	영동1고가, 토공	구조물어프러치 종곡선 변환점
	33			193km900~194km900	1,000	영동2고가- 오탄터널	종곡선 변환점
	34			195km700~196km800	1,100	영동터널	종곡선 변환점
	35	1		197km000~198km000	1,000	영동터널-주곡고가	
		2		198km000~199km100	1,100	주곡고가	
	36	1		207km200~208km000	800	마장교-상촌고가	
		2		208km000~208km800	800	상촌고가	
	37	1		218km800~220km000	1,200	태화고가	
		2		220km500~221km000	500	봉산고가	평면곡선변환점
	38			223km200~223km800	600	토공부	P4610
계	15	24			19,700		

표 2.3-2. (계속)

사업 소	관리 번호	세부 관리 번호	선 별	대 상 구 간	연장 (m)	구조물	비고
약목	29	1	T1	223km850~225km000	1,150	다수고가	
		2		225km000~226km300	1,300		
		3		226km300~227km500	1,200		
	40	1		228km000~228km900	900	모암고가	평면곡선변환점
		2		228km900~229km800	900		원곡선부
	41			230km900~231km500	600	덕곡고가	
	42	1		232km400~233km200	800	월곡고가	
		2		233km200~234km000	800		종곡선 변환점
	43	1		243km200~244km000	800	금오터널	
		2		244km000~245km000	1,000		평면곡선변환점
	44	1		248km000~249km100	1,100	인평고가	
		2		249km100~250km200	1,100		평면곡선변환점
		3		250km200~251km300	1,100		평면곡선변환점
		4		251km300~252km350	1,050	토공부	종곡선 변환점
	45	1		253km100~254km000	900	토공부-낙동강교	P5007
		2		254km000~254km900	900	낙동강교	
		3		254km900~255km800	900		
	39	1		223km850~225km000	1,150	다수고가	
		2		225km000~226km300	1,300		
		3		226km300~227km500	1,200		
	46	1		227km800~228km900	1,100	모암모가	평면곡선변환점
		2		228km900~230km000	1,100		원곡선부
	47			231km000~231km500	500	덕곡고가	
	48		T2	232km600~234km000	1,400	월곡고가	
	49			236km400~237km000	600	토공부-옥산2교	구조물 어프리치
	50			242km000~242km700	700	금오터널	
	51	1		247km400~248km100	700	토공부-인평고가	구조물 어프리치
		2		248km100~249km100	1,000	인평고가	
		3		249km100~250km500	1,400		평면곡선변환점
		4		250km500~251km900	1,400		평면곡선변환점
계	14	30			30,050		

2.3.3 궤도 유지보수비 분석

- 2004년~2011년 궤도 유지보수는 2006년을 정점으로 감소하다가 2011년도에 증가됨(그림 2.3-12(a) 참조).
- 인건비를 제외한 유지보수비는 2006년 이후 감소되었으나 이후 2011년도에 증가됨(그림 2.3-12(b) 참조).
 - 2011년 증가 사유 : 레일 구매 비용 등 재료비 급증
 - 보수용 장비 및 공기구 등에 대한 감가상각비는 제외

(a) 인건비 포함

(b) 인건비 제외

그림 2.3-12. 인건비를 포함한 고속선 궤도 유지보수비 변동 추이
(2005년 유지보수비를 10%로 할 때의 상대값)

2.4 기술동향

2.4.1 관련 기술개발 동향

- 지금까지 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 국내외적으로 다양한 기술이 개발되어 왔으나, 운행선의 열차 운행에 지장을 초래하지 않는 것을 전제로 하는 기술은 매우 제한적임.
- 대표적인 기술로 크게 자갈궤도 자체를 보강하는 공법과 자갈궤도를 콘크리트궤도로 대체, 개량하는 공법으로 나눌 수 있음.

가. 자갈궤도 보강공법

- 자갈궤도 보강공법은 자갈궤도의 자갈도상을 그대로 사용하면서 궤도틀림을 저감시키는 방법으로써 자갈층 위에 올려진 궤광구조(레일과 침목으로 이루어지는 뼈대구조)를 개량하여 하중 분담 성능을 높이거나, 자갈층 자체 또는 하부 노반을 보강하는 공법 등을 포함함.

(1) 국내 현황

- 경부고속철도 1단계 구간(서울~동대구 구간)의 교량 상판 신축부에서 상판의 온도신축에 의하여 자갈도상이 이완됨에 따라 궤도틀림 발생을 저감시키기 위한 보강 공법 적용
- 기존의 자갈궤도의 레일 내측으로 강재를 보강하여 침목들을 결속시키는 공법(그림 2.4-1(a)), 자갈을 고결시키는 공법(그림 2.4-1(b))을 시험적으로 시행한 바 있으며,
- 자갈의 이완이 주로 자갈과 침목의 상대변위에 의하여 발생하는 점을 착안하여 상대변위가 발생하지 않도록 활동체결구를 일정구간 부설하는 공법을 시행한 바 있음(그림 2.4-1(c)).



(a) 침목 결속



(b) 도상자갈 고결



(c) 활동체결구 부설

그림 2.4-1. 고속철도 교량신축이음매부 궤도틀림 저감 공법

- 상기 공법들에 대해서는 일부 효과가 있는 것으로 확인되고 있으나 자아기적인 효과는 현재 계속 분석 중에 있음.
 - 그러나 이상의 방법들은 교량신축부와 같이 특정개소에서 궤도틀림을 저감할 수 있는 공법들로서 교량전체에 적용하기 어렵거나 효과가 한시적인 공법들로서 궤도틀림 저감 및 속도향상을 도모하기 위해서는 보다 근본적인 성능개선이 필요함.
- 한국철도공사에서는 자갈도상궤도의 횡저항력을 증가시키고 궤도틀림 발생을 저감시킬 수 있는 H자형으로 된 다지형침목을 '10년 2월에 시제품 제작하여 침목의 성능시험을 마치고 현재 기존선의 여러 개소에서 시험 부설하여 성능을 검토 중에 있음(그림 2.4-2).



그림 2.4-2. 한국철도공사에서 개발한 다지형 침목

- 현재까지 고속철도 운행선을 대상으로 한 자갈궤도의 궤광구조 개량공법은 개발된 사례가 없지만, 기술 개발에 필요한 궤도 관련 기초 기술 및 인프라는 충분히 갖추어져 있으므로 기술 개발의 성공 가능성이 높은 것으로 판

단됨.

- 향후 자갈궤도를 개선방법으로서 여러 가지 궤도구조를 검토할 경우 안전성 확보는 물론 총수명주기비용(LCC) 측면에서 충분한 경쟁력 확보가 관련이 될 것으로 판단됨.

(2) 국외 현황

- 독일에서 1983년에 최초 개발된 Y-형 강재 침목은 2006년까지 1000km 정도 부설된 바 있음(그림 2.4-3).
- 기존 자갈궤도에 비하여 30% 적은 양의 자갈, 50% 절감된 침목수, 우수한 위치유지 성능, 저렴한 초기투자비, 높은 재활용성 등의 장점이 있으나 소음레벨이 높고 탬핑 효과가 적은 단점이 있음.

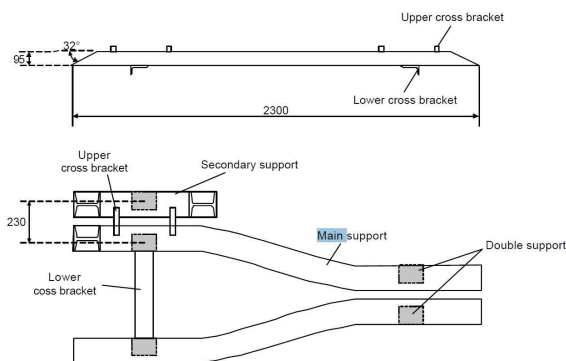


그림 2.4-3. Y형 강재침목궤도

- 1990년대 후반에 오스트리아 대학에서는 기존의 자갈궤도와 콘크리트궤도의 절충형인 격자형(횡 및 종방향 보의 조합) 콘크리트침목을 사용하는 프레임 침목(Frame sleeper) 궤도를 개발하여 오스트리아 기존선에 시험 부설한 바 있음(그림 2.4-4)(Risseberger, 1999).
- Frame sleeper 궤도는 기존의 노반 폭 변경 없이 적용가능하고 기존의 궤도 시공장비를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으며 또한 기존침목에 비하여 LCC가 우수하면서도 자갈도상에 작용하는 응력이 기존침목에 비하여 50% 저감되고, 도상 횡저항력이 기존 침목 대비 6배 증가되며 궤도를 립은 1/3 정도 밖에 발생하지 않는 장점을 갖고 있음.

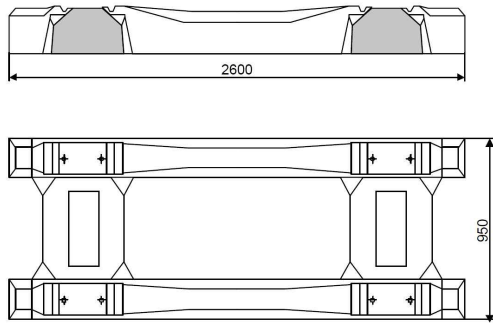


그림 2.4-4. 프레임 침목궤도(Frame-Sleeper Track)

- 일본 RTRI에서는 1999년에 기존선 자갈궤도 개량용으로 양쪽 레일 저부에 길이방향으로 6.25m의 프리스트레스 콘크리트 지지체를 거치하고 두꺼운 강관으로 두 지지체를 연결하여 궤간 유지하는 사다리형 궤도(Ladder track)를 개발하였음(그림 2-8)(Asanuma, 2004).
- Ladder track system은 일본에서 개발된 궤도 시스템으로서, 좌굴에 대한 강성 및 안정성을 확보하고자 "combined rail"이라는 개념을 구체화시켜 만든 구조임. 길이방향으로 연속 지지되어 도상에 전달되는 동적 하중을 분산시키는 형태로 되어 있음. 양쪽 레일 저부에 길이 방향으로 6.25m의 프리스트레스 콘크리트 지지체를 거치시키고 두꺼운 강관으로 두 지지체를 연결하여 궤간을 유지함.

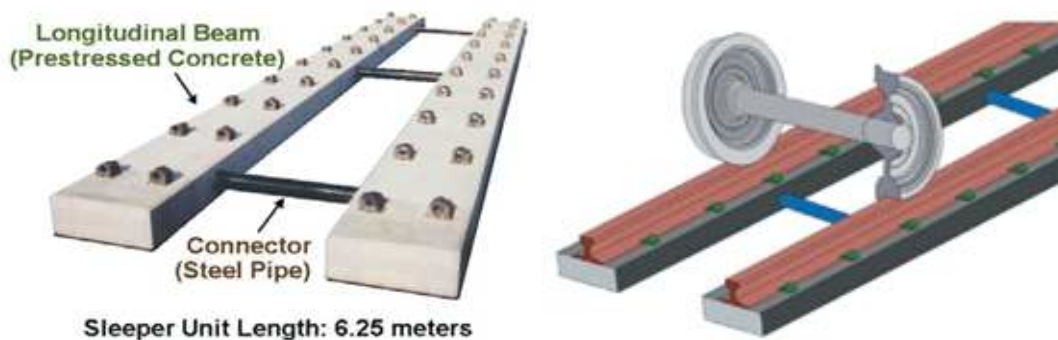


그림 2.4-5. Ladder Track System 개념도

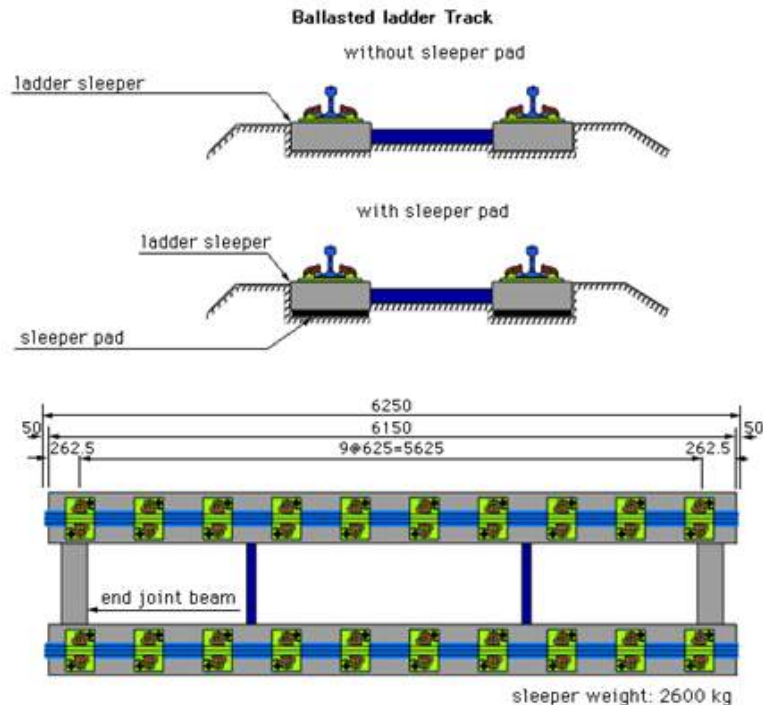


그림 2.4-6. Ladder Track System의 구조



그림 2.4-7. Ladder Track System 부설 전경

- Ladder 침목은 좌굴에 대한 강성 및 안정성 확보하고 있고 길이방향의 연속 지지로 도상에 전달되는 동적 하중을 분산시킬 수 있으며, 일반 토공 및 터널 구간뿐만 아니라 연약한 노반 구간에서도 유지보수를 최소화할 수 있는 장점이 있음(<http://www.itake.co.jp>). 또한 교량 접속부에서 궤도 틀림에 대한 해법을 제시하고 있으며 급곡선부에서 장대레일의 좌굴을 방지시킬 수 있는 장점을 가지고 있음.
- Ladder track system의 궤도틀림 저감 성능을 시험한 결과를 보면, 침하 표준편차를 기준으로 볼 때 자갈 궤도의 1/6 수준이며, 침하 진전율을 비교해 볼 때는 자갈 궤도의 1/8 수준에 해당함. 또한 도상 압력을 비교해

보더라도, 최대 도상 압력은 일반 자갈 궤도의 2/3 수준이며, 도상 압력 기울기는 1/18 수준에 불과함.

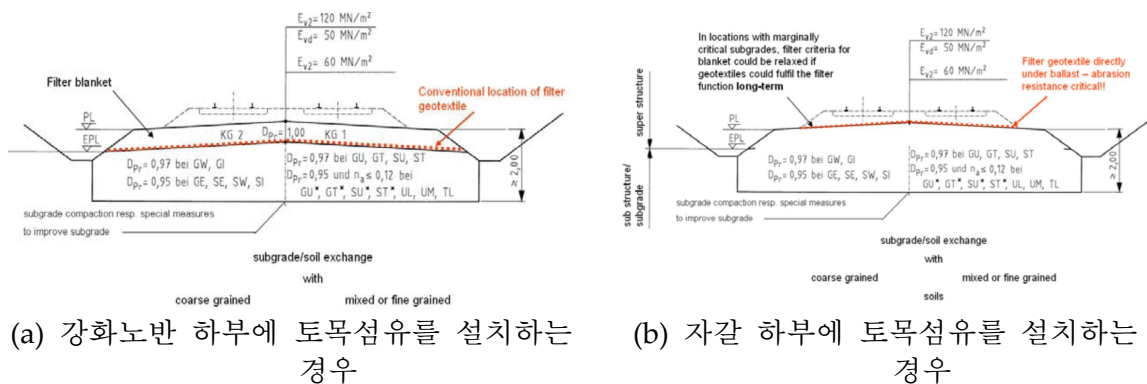
- 본 Ladder track system을 고속선에 적용하기 위해서는 아래와 같은 기술적 과제를 해결해야 할 것으로 판단됨.
 - 길이방향 침목 설계를 위한 제반 기준 및 설계 방법 도출
 - 길이방향 침목의 고속선 적용을 위한 최적 단면 형상과 연결재 간격/형상 결정
 - 길이방향 침목의 유지보수 장비 개발

그림 2.4-8. Ladder Track System 침하 진전을 비교

그림 2.4-9. Ladder Track System의 도상 압력 분포 비교

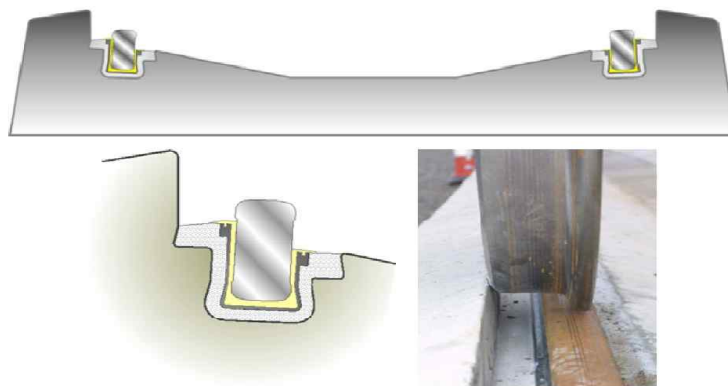
□ 유럽에서는 UNIFE의 지원 하에 기존선 궤도의 RAMS를 향상시켜 LCC를 30%까지 저감시킬 수 있는 고성능 궤도 개발을 목적으로 2005년에서 2009년까지 총 2000만 유로를 투입한 INNOTRACK 프로젝트 수행

- 이 프로젝트에서는 궤도구조의 성능 향상을 위해 노반상태 평가기술, 궤도지지계수 측정기법, 토목섬유와 경사 말뚝(inclined columns)을 이용한 노반 보강공법(그림 2.4-10), 매립레일궤도와 2층 강-콘크리트 합성형 궤도구조 등의 신형식 궤도구조 개발(그림 2.4-11) 등의 연구가 이루어졌으며,
- 또한 궤도의 가치(Value) 및 전수명주기비용(LCC) 평가에 기초한 궤도구조의 선정기법에 대한 연구가 심층적으로 이루어져 각기 다른 궤도유형들에 대하여 가치 및 비용을 객관적으로 비교할 수 있는 토대를 제공하고 있음(<http://www.innotrack.eu>).
- 이 밖에 분기기 스위치 최적화 설계 기술과 모니터링 기술, 레일의 열화 메커니즘과 관리기법, 그리고 레일 용접부 성능 평가 기술, 궤도 유지보수와 개량을 위한 재료 및 장비 공급 방안, 궤도 LCC 및 RAMS 평가기법 등 궤도구조 성능향상을 위한 다각적인 연구가 이루어졌음(Quante, 2003).

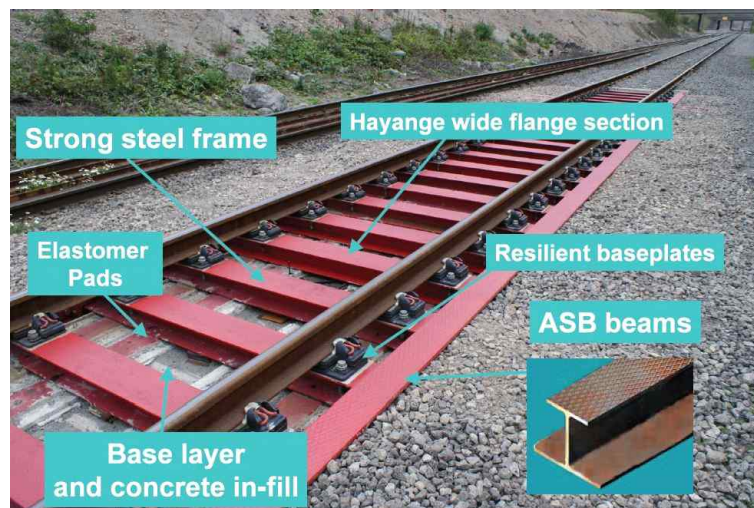


(c) 토목섬유 포설 장면

그림 2.4-10 토목섬유(geo-synthetics)를 이용한 궤도 지지구조 보강 공법



(a) 매립레일궤도(Balfour Beatty Rail 社)



(b) 2층 강-콘크리트 합성 궤도(Corus Rail 社)

그림 2.4-11 INNOTRACK 프로젝트를 통해 개발된 신형식 궤도 구조

나. 콘크리트궤도화(化) 기술

- 자갈궤도는 자갈층의 점진적 변형으로 주기적인 유지보수를 필요로 하는 구조이므로 궤광구조의 개선만으로는 궤도틀림 저감에 한계가 있음.
- 따라서 근본적인 대책은 자갈층을 없애고 보다 견고한 지지구조를 형성하는 것이라야 함.
- 자갈궤도의 콘크리트궤도화(化) 기술은 이와 같이 근본적으로 궤도구조를 콘크리트궤도로 개량하는 기술로 자갈층에 충전재를 주입하여 영구적으로 고결화하는 방법이나 자갈층을 제거하고 프리캐스트 콘크리트 슬래브로 대체하는 공법 등을 포함함.

(1) 자갈층 충전 포장궤도 공법

가) 국내 현황

- 포장궤도 공법은 열차가 운행중인 기존선에서 자갈층을 시멘트 모르터 등으로 충전하여 고결함으로써 콘크리트궤도로 개량하는 공법으로 열차가 운행 중인 영업선에서 제한된 작업시간(2~3시간)을 이용하여 일정 구간의 노후 자갈궤도를 콘크리트궤도로 개량할 수 있음(이일화 외, 2004b; 2007).
- 국내에서도 포장궤도 공법의 필요성을 인식하고 1990년대 중반부터 기초적인 검토를 시작하였으나 본격적으로는 2003년부터 개발에 착수하여 현재 기존선용 포장궤도 공법은 실용화 단계에 있음(그림 2.4-12, 2.4-13 참조).

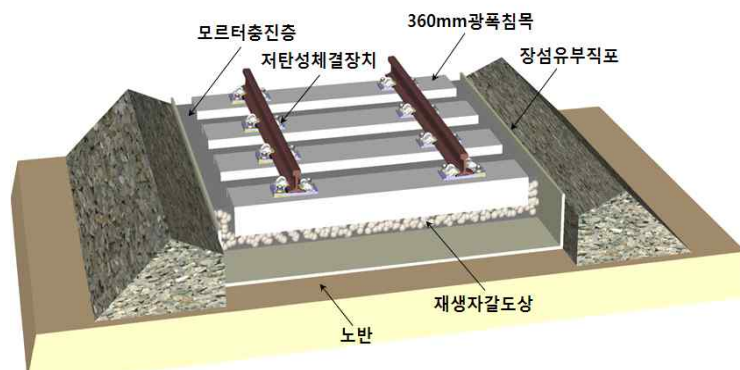
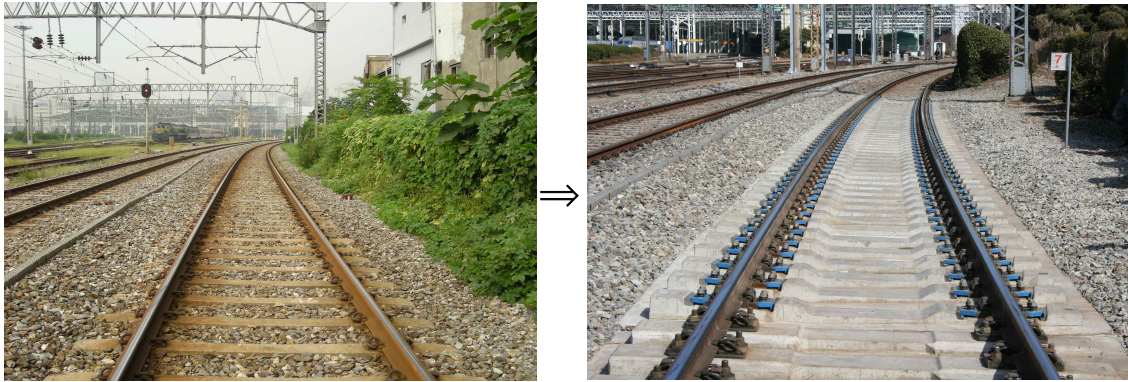


그림 2.4-12. 국내에서 개발된 포장궤도의 구조



(a) 개량 전 자갈궤도

(b) 개량 후 포장궤도

그림 2.4-13. 포장궤도공법을 이용한 노후 자갈궤도의 개량 사례(국철 1호선)

- 포장궤도는 프리팩 콘크리트의 응용공법임. 일반 콘크리트는 골재, 물, 시멘트를 동시에 혼합하여 사용하지만, 프리팩 콘크리트는 골재를 먼저 채운 후 물과 시멘트로 혼합된 모르터를 나중에 충전함.

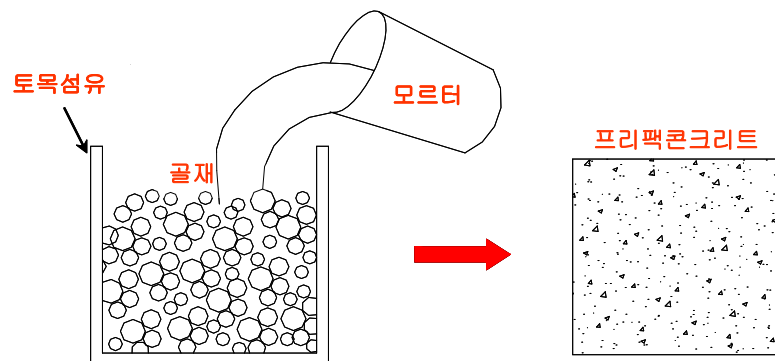


그림 2.4-14. 모르터의 충전 개념

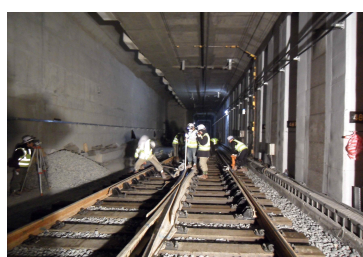
- 시공방법은 기존 자갈을 표면이 깨끗한 세척자갈로 교체한 후, 침목 아래에 부직포로 감싼 일정 자갈도상층을 모르터로 충전, 고결하여 슬래브 구조로 만듦. 부수적으로는 침목을 대형화(폭 360mm)하여 도상압력의 분포를 촉진시키고 저탄성체결장치 등을 적용함. 충전 2시간 후 열차의 정상운행이 가능함.

표 2.4-1. 포장궤도의 궤도구성 및 설계조건

콘크리트 포장궤도		비 고
궤도구성	설계조건	
침목	폭360mm 광폭침목	MTT작업이 가능한 범위
체결구	[상하30mm, 좌우±25mm]조정가능형 체결방식	저탄성력을 가지는 기성제품
충진재	고유동 초속경 무수축 시멘트모르타	2시간강도 10MPa이상 J로드 6초 이내
토목섬유	장섬유 니들핀칭 경량 부직포	누출방지, 탄성부가가능
노반	$7 \geq K_{30}[\text{kgf/cm}^3]$	분리구간 제외
도상조건	부착력 확보를 위하여 세척자갈 사용	기존 도상자갈 재활용



(a) 양산역 건널선



(b) 신분당선



(c) 서울메트로 1호선



(d) 서울메트로 2호선



(e) 서울메트로 4호선



(f) 청량리역 구내

그림 2.4-15. 포장궤도 국내적용 구간

- 현재까지 대표적인 포장궤도 적용사례는 다음과 같음.
- 2009.05 : 서울메트로 2호선 잠실철교 궤도개량공사 적용
- 2009.06 : 의왕역 특동선 집전시험선로공사 적용(450m)
- 2009.10 : 서울메트로 4호선 사당역 분기기개량공사
- 2010.03 : 신분당선 교차선 신설공사
- 2010.06 : 부산교통공사 2호선 건널선 개량공사

- 포장궤도는 초기 투자비용이 다소 높지만(표 2.4-2), 주행시 점진적인 궤도 파괴가 없기 때문에 유지관리비가 거의 소요되지 않으며(표 2.4-3) 공용수명이 기존의 자갈궤도에 비하여 월등히 긴 장점을 갖고 있음. 열차를 운행시키면서 빠른 시간 내에 궤도의 무보수화를 달성할 수 있기 때문에 향후 운행선 무보수화를 위한 대책으로서 폭 넓게 적용될 것으로 전망됨.

표 2.4-2. 포장궤도 직접공사비 산정(레일 및 제경비 제외)

포장궤도 공사비 산정단위(총액/1km)						
공종	재료비		노무비		장비사용료	총액
	단가(원)	수량	단가(원)	수량		
도상교체(m³)	35,000	945m³	5,000	945m³	15,037,720	52,837,720
PC침목교체	90,000	1,538EA	3,285	1,538EA	8,363,200	143,472,330
체결구 교체	80,000	3,076EA	3,285	3,076EA	-	256,184,660
충전재 (주입포함)	2,000,000	284m³	20,000	284m³	12,555,540	573,680,000
토목섬유	2,000	4,000m²	500	4,000m²	-	10,000,000
기타	-	-	-	-	-	43,826,638
직접공사비 총액						1,080,001,348

표 2.4-3. 자갈도상궤도와 생력화궤도의 종합 LCC 분석 결과

구 분	STAR DIAGRAM	기능점수(F)	상대LCC	가치점수(V)
자갈도상 궤도		80.51	1.22	71.15
포장궤도		98.52	1.0	98.52

- 포장궤도 공법의 경우 자갈궤도와 동일한 구조에서 자갈층만을 고결화시키는 공법으로, 별도의 보강재를 포함하지 않으므로 고속궤도에서 높은 하중에 대해서도 충분한 내구성과 성능을 확보 가능성을 체계적으로 검토하고 필요한 경우 보강방안을 개발할 필요가 있음.

나) 국외 현황

- 일본에서는 이미 약 40여년 전부터 자갈궤도의 유지보수 저감을 위한 궤도 구조 개량기술 개발을 추진해 왔으며 가장 유력한 대안으로 포장궤도를 개발하여 현재까지 약 10여개의 포장궤도 모델이 연구 개발된 바 있음(그림 2.4-16, 2.4-17).

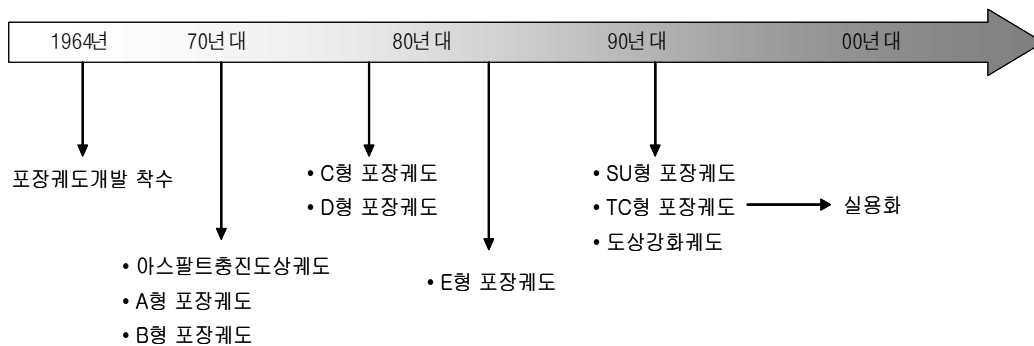
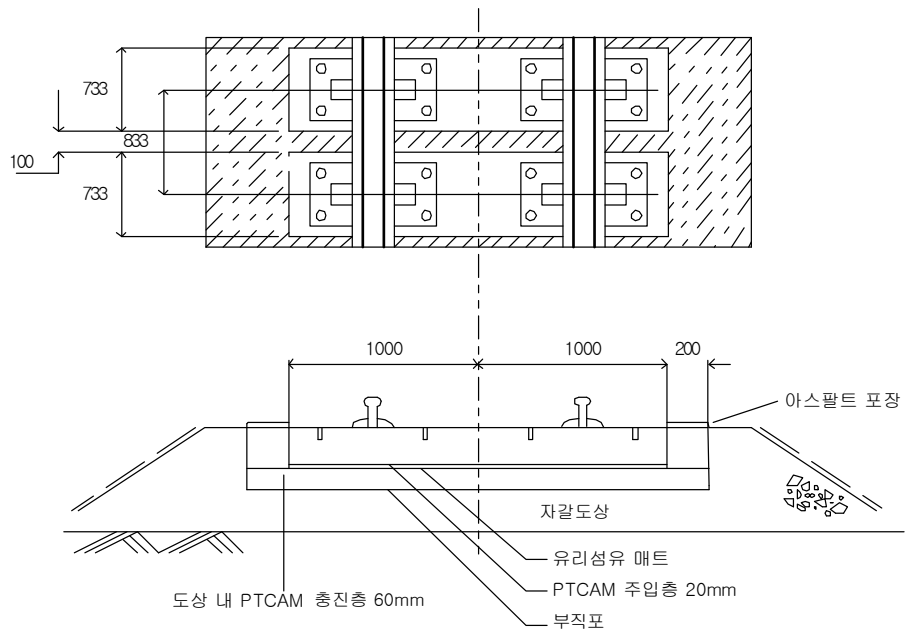
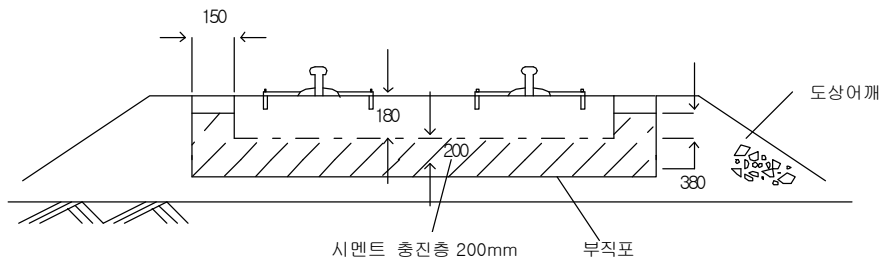


그림 2.4-16. 일본에서의 포장궤도 개발 현황

- 가장 최근에 개발된 TC형 포장궤도(시멘트계 충전재를 주입하는 방식)는 일본 도쿄의 야마노테선에 적용되고 있음.
- 야마노테선은 하루 330대(1 궤도당)의 열차가 운행되어 연간 통과톤수는 4000만 톤에 이르는 일본의 대표적인 조밀 선구이지만 현재까지 포장궤도로 개량된 구간에서 문제점이 보고된 사례가 없음.
- TC형 포장궤도는 40mm의 PC침목(2,000×400×180, 중량 350kg)을 사용함. 침목 하면 150~200mm범위내의 채석을 부직포로 감싸고 그 안에 시멘트그라우트를 침목하면에서 주입하여 채석을 골재로 콘크리트도상을 PC침목과 일체화하여 흡노반상에 구축하는 구조임(그림 2.4-18).



(a) E형 포장궤도



(b) TC형 포장궤도



그림 2.4-17. 대표적인 포장궤도 공법

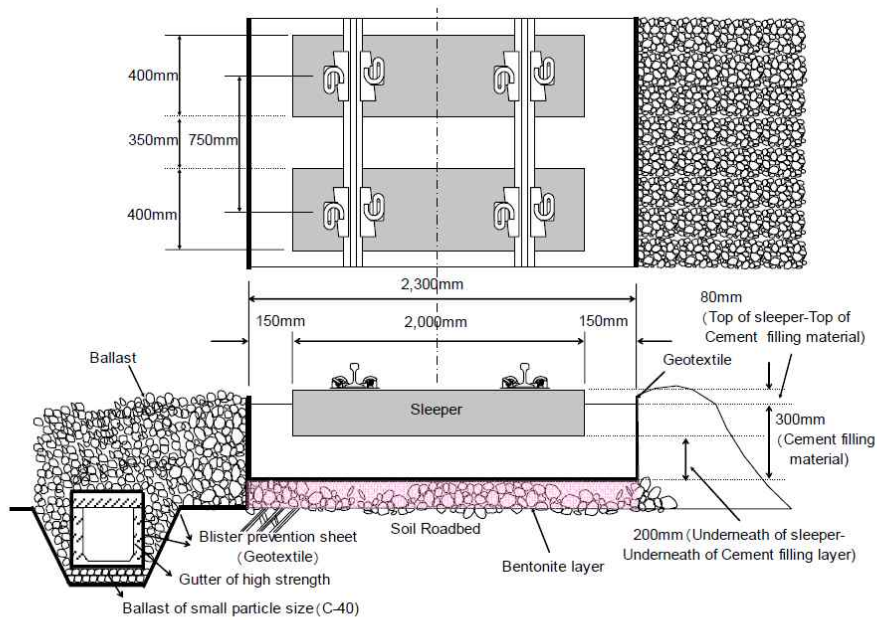


그림 2.4-18. TC형 포장궤도

- JR동일본에서는 현재 TC형 포장궤도를 열차 수송 밀도가 높은 도쿄권역을 중심으로 부설하고 있음. 현재 제2기 공사까지 완료되어 주요 5선구 146km를 부설하였으며 2007년부터 제3기 공사(110km)에 착수하였음.
- 2기 공사결과를 현재까지의 유지보수비용과 비교한 결과(그림 2.4-19), 자갈궤도의 평균보수비용은 m당 8,600엔인 반면 포장궤도로 개량한 후에는 2,300엔으로서 유지보수비용을 77% 절감한 것을 알 수 있음.

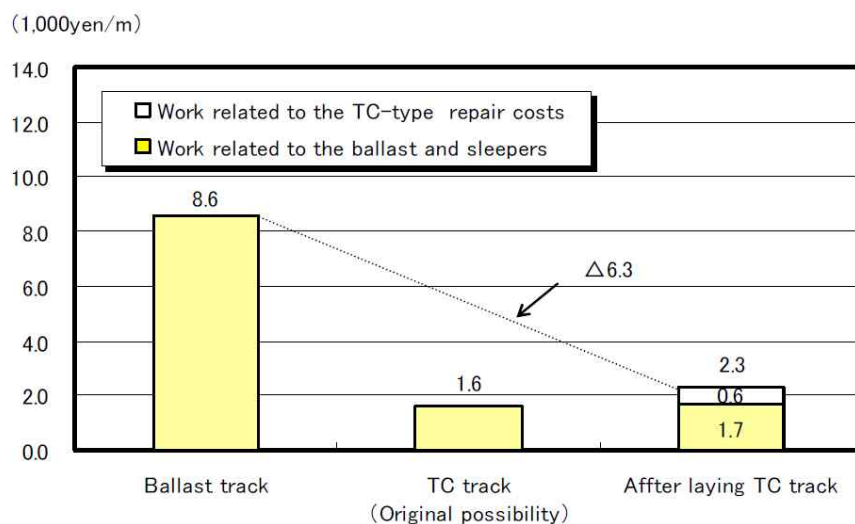


그림 2.4-19. 궤도유지보수비용 감소율



그림 2.4-20. 도상치환장비

- JR동일본에서의 궤도구조개량 수준은 장기간 동안의 연구결과 및 현장적용 경험을 바탕으로 최적화된 재료, 공정, 장비를 보유하고 있음. 재료는 협궤 경량철도의 축하중에 최적화되어 있으며 장비의 경우, 궤도갱환장비, 다짐 장비, 주입장비 등이 자동화되어 있어 궤도갱환은 일 50m, 충전재 주입은 일 90m의 시공속도를 확보하고 있음.
- JR동일본에서는 현재 TC형을 기존선 생력화의 기본모델로 선정하고 현재 까지 3단계 300km의 시공실적 및 계획을 가지고 있음. 또한 JR서일본이나 다른 운영사에서도 포장궤도를 유지보수 생력화의 중요한 대안으로 인식 하고 그 적용을 확대하고 있음.
- 일본에서 현재 km당 약 15억원 정도의 시공비가 요구되지만, 이보다 더 줄이기 위한 노력을 하고 있고 시공비 절감을 위한 연구개발을 통하여 충분한 경제성이 확보된다면, 그 적용은 더 증가할 것으로 예상됨.
- 과거 도상자갈궤도로 건설된 선로를 주로 운영하는 유럽철도 운영사도 일본이나 한국과 같은 문제점들에 봉착하고 있기 때문에 향후 궤도구조개량 공법의 적용은 세계적으로도 크게 확대될 것으로 전망됨.
- 그러나 우리나라의 포장궤도 공법과 같이 일본에서도 도시철도에서만 적용 되어 왔으며, 현재까지는 고속철도 적용 계획은 없는 것으로 알려져 있음. 따라서 향후 고속철도 적용을 위해서는 고속철도의 높은 하중조건을 고려한 궤도구조의 개선 및 보강방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단됨.

- 포장궤도와 유사한 공법으로 영국 Balfour Beatty Rail社에서 개발된 XiTrack 공법은 자갈층에 특수 충전재를 주입하는 공법으로 일본의 포장궤도와 달리 자갈층을 완전히 고결시키는 것이 아니라 충전재료로 폴리머계열의 고분자 재료를 사용하여 일종의 토목섬유와 같이 자갈층을 보강하는 개념임. 현재 기존선 및 고속선 개량용으로 적용을 추진 중에 있음.



그림 2.4-21. XiTrack 시공장면

(2) 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 콘크리트궤도화 공법

가) 국내 현황

- 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용하여 빠른 시간 내에 자갈궤도를 철거하고 콘크리트궤도를 설치하는 공법으로 대표적인 예로 B2S 공법을 들 수 있음.
- B2S 궤도는 서울지하철 1~4호선의 자갈궤도를 콘크리트궤도로 개량하기 위하여 서울메트로에서 2001년부터 연구하여 2003년에 개발한 공법으로, 자갈층을 제거한 후 레일을 서포트로 지지한 상태에서, 침목 2개를 하나의 판으로 묶어 만든 프리캐스트 콘크리트 슬래브 패널(최대 폭 1,250mm)을 좌우 순 간격이 1,310mm인 레일 사이로 가로로 집어넣고 레일 하부에서 세로로 돌려 레일과 체결하는 방식으로 조립하여 슬래브 하부를 모르타르로 채우는 공법임(그림 2.4-22와 2.4-23 참조)(www.seoulway.com).

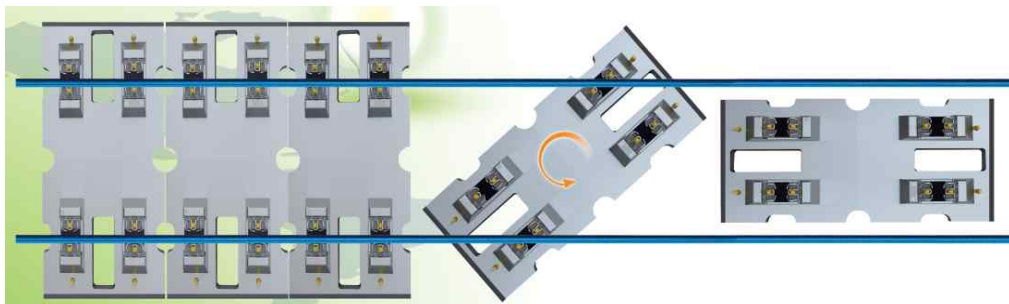
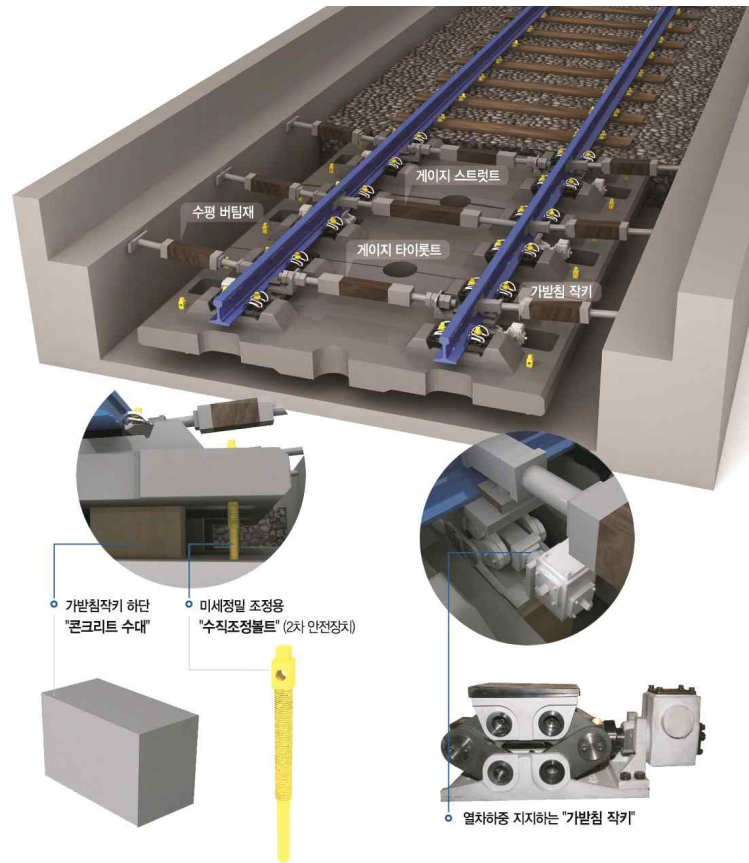


그림 2.4-22. B2S 궤도의 기본 구조와 설치 개념

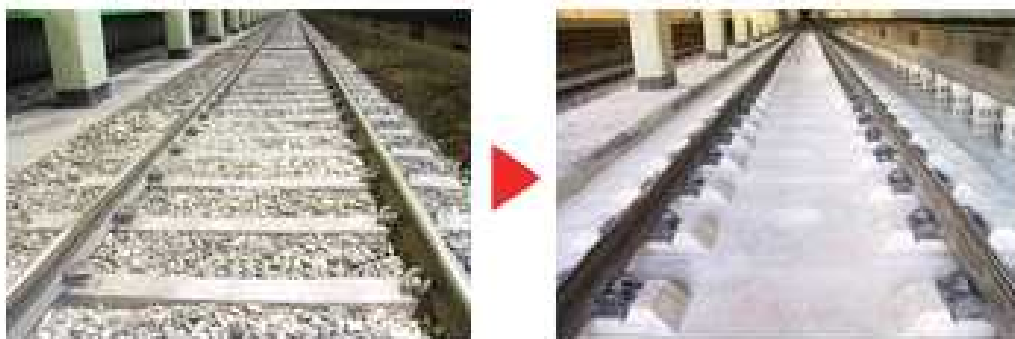
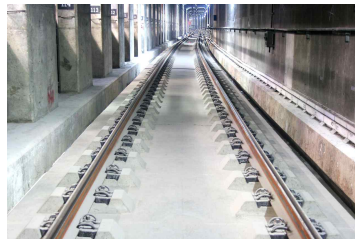


그림 2.4-23. B2S 궤도공법을 이용한 노후된 자갈도상궤도의 개량

- B2S 공법은 기존 궤도공법에 비해 레일을 철거하지 않고 시공이 가능하므로 안전성을 확보할 수 있고, 비용과 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있으며, 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 활용함으로써 현장타설 콘크리트를 25% 이상 줄일 수 있어 시공속도가 빠르고 높은 품질의 슬래브 시공이 가능함.
- B2S 궤도는 서울메트로 2호선 한양대역에 2004년 최초 시험시공 후 현재까지 총 24.1km가 고가역사, 터널, 역구내 등에 시공되었으며(그림 2.4-24, 표 2.4-4 참조) 현재까지 궤도 변형이나 하자 등의 문제가 발생하지 않고 우수한 승차감을 제공하고 있음.



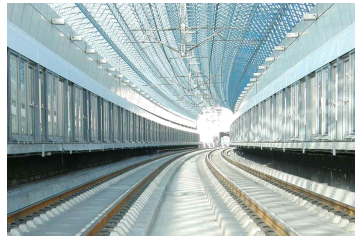
Arch Tunnel(사당~낙성대)



3호선 연장선



신림~신대방(U-Type)



당고개역

그림 2.4-24. B2S 궤도 부설 전경

표 2.4-4. B2S 궤도 부설 실적(서울메트로)

(단위 : m)

연도별	계	1호선	2호선	3호선	4호선
합 계	24,108	4,699	7,595	4,890	6,924
2007 까지	7,750	2,861	1,887	1,401	1,601
2008	6,837	1,332	2,569	924	2,012
2009	4,876	506	1,274	1,267	1,829
2010. 8	4,645	-	1,865	1,298	1,482

주) 2011년부터 연간 8.0~10.0km 시공 예정

표 2.4-5. B2S 궤도의 공사비(R.L. 500mm 직선 Box 단면 기준)

구 분	계	도급공사비	지급자재비
50kgN 레일유지(A)	1,386,337,716	1,056,837,716	329,500,000
60kgK 레일교체(B)	1,832,610,000	1,281,610,000	551,000,000
증 감(A-B)	△446,272,284	△224,772,284	△221,500,000

주) 설계조건 : 야간/터널부 01:00~04:30 시공 기준, 전기/신호 부대공사비 제외

- B2S궤도의 km당 공사비는 약 18억 내외로(표 2.4-5 참조), 포장궤도 공법에 비해 약간 높은 수준
 - B2S 공법 역시 도시철도에 한하여 검증되었으며 프리캐스트 콘크리트 슬래브 간 연결부, 슬래브 하부의 충전층 등에 별도의 보강재가 없기 때문에 고속철도 하중에 대해서도 충분한 성능을 보장할 수 있는 지 체계적인 검토가 필요
- 이밖에 철도기술연구원과 삼표이앤씨(주)가 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 자갈궤도 교체공법을 제안하여 실험실에서 시공 및 성능실험을 실시한 사례가 있으나, 아직 구체적인 적용 사례는 없음(장승엽 외, 2005).
- 이 공법은 B2S 공법과 유사하지만, 레일을 지지하는 것이 아니라 슬래브에 레일을 조립한 상태에서 슬래브 하부를 서포트로 지지하고 충전재로 하부를 채우는 것을 특징으로 함(그림 2.4-25 참조). 이 공법 역시 고속철도 하중조건에 대한 체계적인 검토를 통해 보강방안의 연구가 필요함.

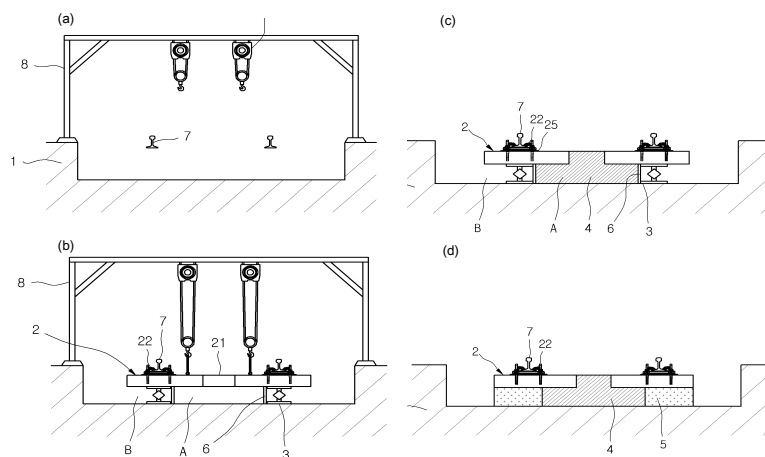


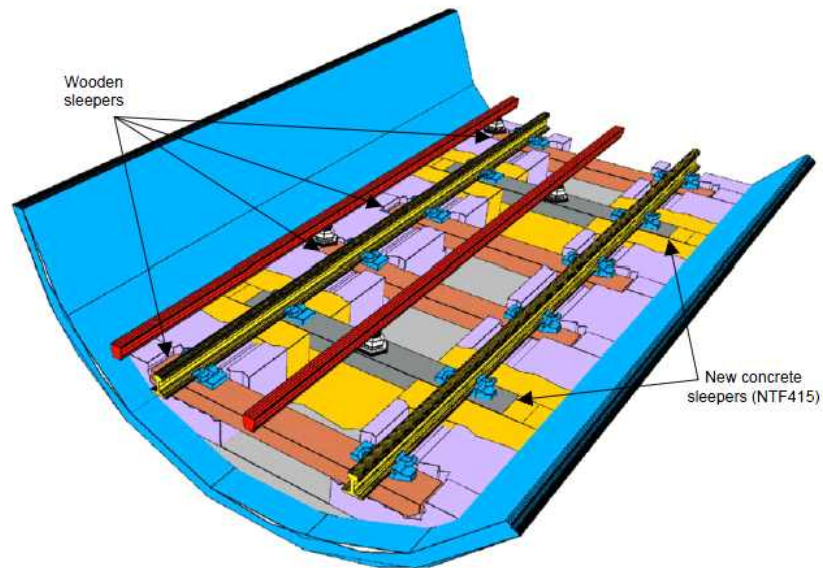
그림 2.4-25. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 자갈궤도에서의 콘크리트궤도 부설 개념도
(등록특허공보 제10-0744175호)



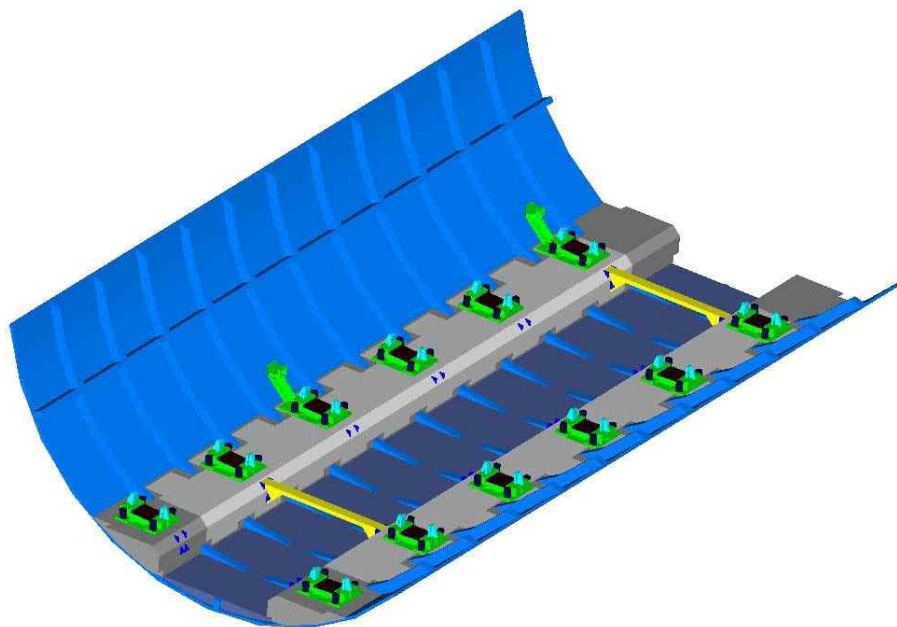
그림 2.4-26. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 자갈궤도 교체공법 실내실험 전경
(장승업 외, 2005)

나) 국외 현황

- 영국 런던 지하철(Tube)은 1863년 완공된 Metropolitan선을 시작으로 12개 노선이 건설되어 운영되어 왔으나 구조물의 노후화와 수송승객의 폭발적인 증가로 인하여 광범위한 궤도유지보수투자가 요구되고 있음.
- 런던 지하철의 경우에는 터널 및 궤도형식이 다양하기 때문에 다양한 궤도 개량형식이 적용되고 있음. 현장타설 콘크리트를 이용하는 방식과 프리캐스트 콘크리트를 이용하는 방식을 모두 적용(그림 2.4-27 참조)
- 그러나, 런던 지하철의 경우는 선로를 일정기간 동안 차단하고 개량작업을 실시하므로 운행 중의 선로에서 개량하는 공법과는 거리가 있음.



(a) 현장타설 콘크리트 방식



(b) 프리캐스트 콘크리트 방식

그림 2.4-27. 런던지하철 궤도개량형식 예

2.4.2 특허 분석

가. 특허동향 조사

- 앞서 서술한 궤도구조 개량 기술과 관련된 궤도 구성요소 및 시공 기술에 관한 특허 조사를 실시하였음.
- 먼저 궤도의 건설 및 개량에 대한 시공방법 전반에 대한 특허조사를 실시한 결과, 총 306건의 특허가 검색되었고^{주1)}, 이를 나라별, 출원연도별로 분석해 본 결과 그림 2.4-28과 같이 나타났음.
 - 궤도 시공법 관련 특허는 일본에서 가장 많은 특허가 등록되었으며, 다음으로 미국에서 많은 특허가 등록됨. 또한 특허는 2000년대 이후에 활발히 등록되기 시작하였으며, 점차 출원 및 등록이 증가하는 추세임. 특히 중국의 경우 현 단계에서의 특허 건수는 많지 않으나, 최근 여러 건의 특허를 등록하고 있는 점도 주목할 만함.(그림 2.4-29 참조)

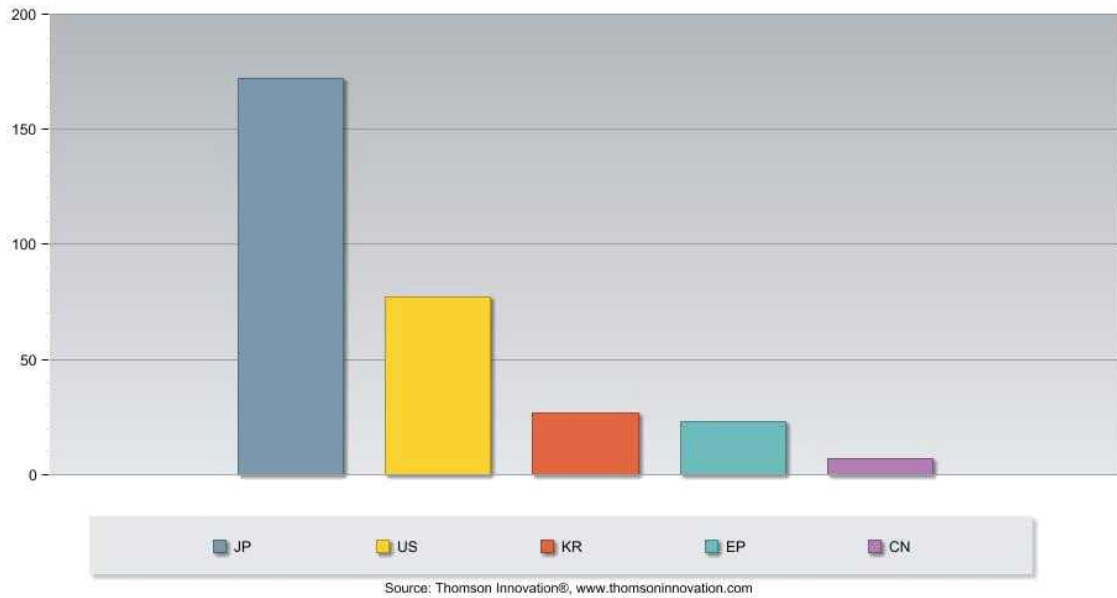
주1) 검색식=(track* and railway* and ((install* adj (method* or technique*)) or (replace* adj (method* or technique*))))

검색 DB : Thomson Innovation

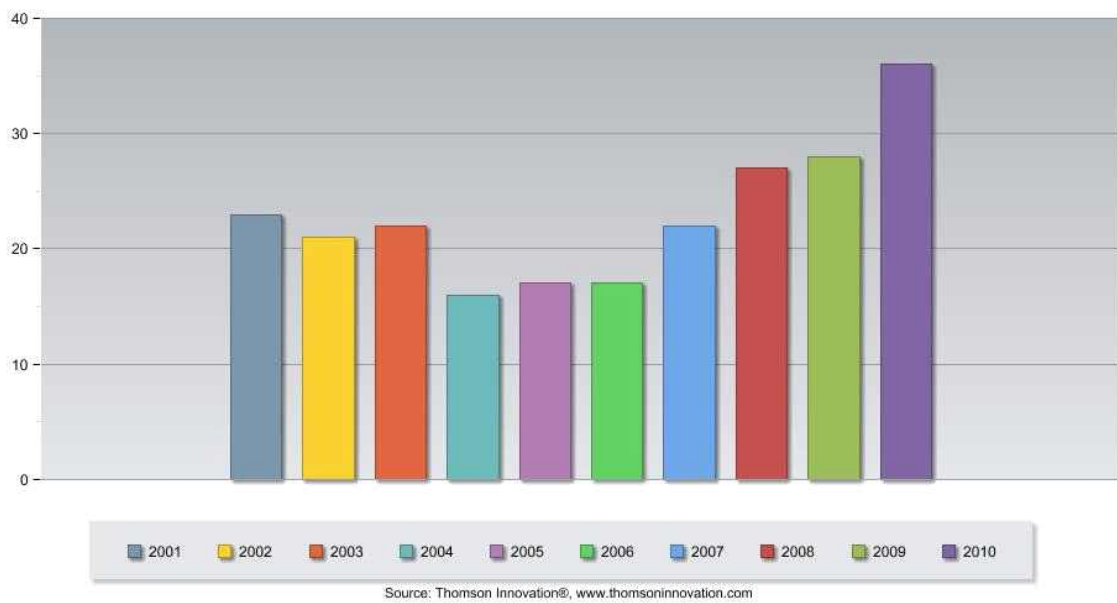
- 이 가운데 precast concrete slab를 이용한 궤도 부설공법과 관련된 특허는 총 31건의 특허가 검색되었음(그림 2.4-29)^{주2)}.
 - 국가별로는 역시 일본에서 많은 특허가 등록되었음.
 - 연도별로는 1969년부터 특허가 등록되었으나, 현재까지 많은 특허가 등록되지 않았으나, 꾸준히 등록이 이루어지고 있음.

주2) 검색식=(track* and railway* and ((install* adj (method* or technique*)) or (replace* adj (method* or technique*)))) and precast*)

검색 DB : Thomson Innovation

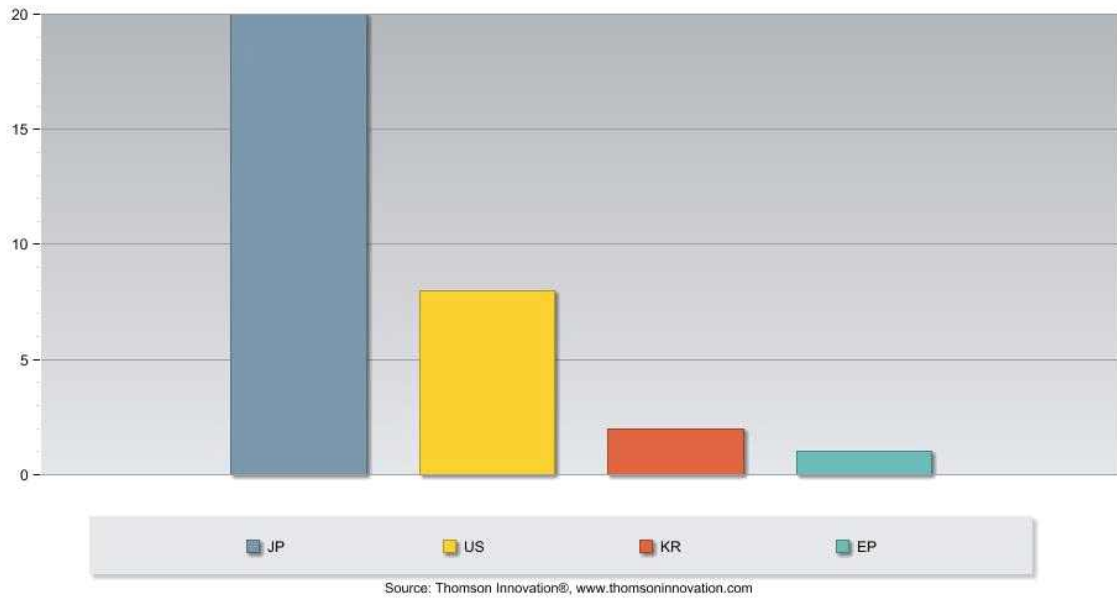


(a) 국가별 등록특허 현황

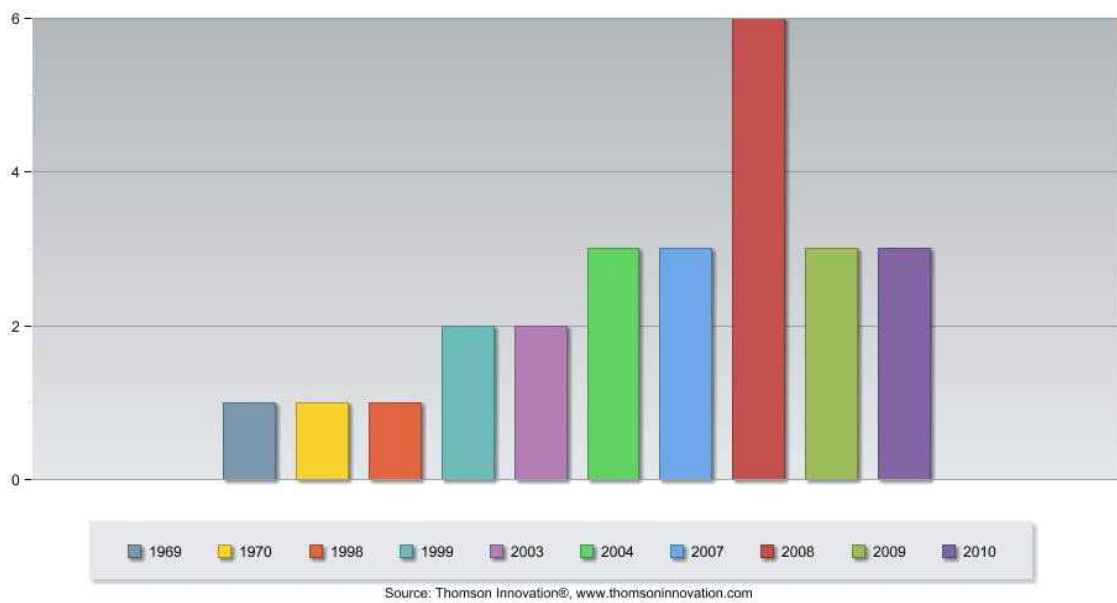


(b) 출원연도별 등록특허 분포

그림 2.4-28. 궤도 건설 및 개량 시공방법 관련 특허 동향



(a) 국가별 등록특허 현황



(b) 출원연도별 등록특허 분포

그림 2.4-29. 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 궤도 시공방법 관련 특허 동향

나. 핵심특허 분석

- 앞서 검색된 특허 중 보다 더 세부적인 필터링을 거친 결과 표 2.4-6에 나타난 바와 같이 이 기획과제에서 대상으로 하는 운행선에서의 궤도 개량기술과 연관성이 높은 유효 특허는 총 23개에 불과한 것으로 나타났다.
- 기존에는 유럽을 중심으로 특허 등록이 이루어졌으나, 최근 들어 중국에서 특허 등록이 증가하였음.
- 반면 시공법 자체에 대한 관련 특허는 매우 적은 것으로 분석됨.

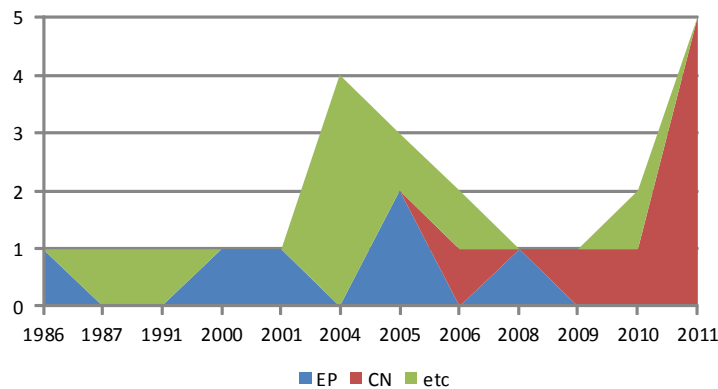
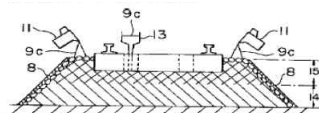
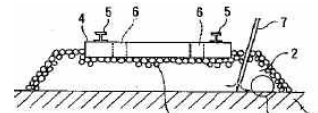


그림 2.4-30. 필터링 후 관련 특허의 연도별, 국가별 특허 등록 현황

- 표 2.4-6에 제시한 유효 특허 분석 결과를 종합해보면,
- 기존 특허는 주로 신설선 건설공법에 치중되어 있으며, 기존선의 개량에 관한 기술이라도 운영 중인 고속철도에서 짧은 작업시간(2~3시간) 내에 분할시공을 통해 건설하는 궤도구조에 대한 방안이 구체적으로 개시되어 있지 않은 것으로 나타남.
- 현재 적용중인 기존선 개량기술은 도시철도 구간에 집중되어 있으며, 일본에서 포장궤도에 대한 원천 특허를 일부 보유하고 있으며, 국내에서는 철도기술연구원에서 포장궤도에 대한 특허를, 서울메트로에서 B2S공법에 대한 특허를 보유하고 있음.
- 고속 운행선 시공의 제약조건을 고려하여 이를 개선할 수 있는 대안을 제시하도록 연구를 추진한다면 차별화된 원천 기술 확보가 가능할 것으로 판단됨.

표 2.4-6. 특허분석 결과

Keyword		frame sleeper AND ballast track	
검색건수		69	
유효특허건수		11	
핵심특허 및 관련성	특허명	Sleeper frame for a ballasted railway track and method for production thereof	Tie for a ballasted track
	보유국	Germany	Austria
	등록년도	2008.07.08	2010.11.30
	관련성(%)	100%	60%
	유사점	레일 종방향으로 침목 연결	레일의 종방향으로 침목 형상 확장
	차이점	-	격자형 침목이 아닌 침목형상

Keyword		concrete track AND paved track AND railway	
검색건수		15	
유효특허건수		2	
핵심특허 및 관련성	특허명	도상발라스트의 안정화공법 및 그 궤도구조	철도궤도 저면의 충전지지공법
	보유국	일본	일본
	등록년도	1987	1988
	관련성(%)	60%	70%
	유사점	현장선형성 확보 용이	현장시공방법
	차이점	현장타설형 및 슬래브 보강방안 	현장타설형 및 슬래브 보강방안 

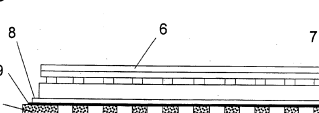
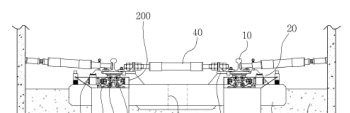
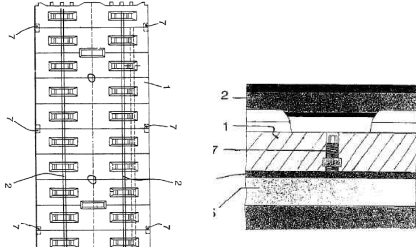
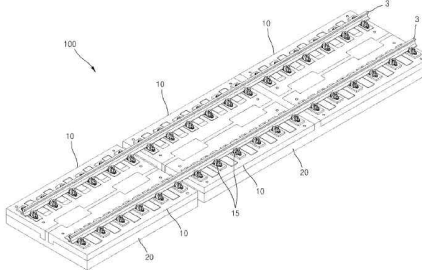
Keyword		(precast or prefabricated) AND slab AND track	
검색건수		163	
유효특허건수		15	
핵심특허 및 관련성	특허명	Method for constructing a rigid pavement, and a rigid pavement carriageway	철도 레일 콘크리트도상 시공 시스템
	보유국	Germany	대한민국
	등록년도	2003	
	관련성(%)	80	80
	유사점	고속철도 운영을 위해 기존 자갈도상층 위에 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 설치하여 궤도구조 개량 	자갈궤도 철거 후 프리캐스트 슬래브의 설치, 임시 레일서포트 설치 등의 시공방법 개시 
	차이점	운영 중 자갈궤도 개량을 위한 분할시공방법에 관한 사항 미비	고속 운영선에 적용하기 위한 구조적 보강방안 미비

표 2.4-6. (계속)

Keyword		precast AND slab AND track	
검색건수		125	
유효특허건수		2	
핵심특허 및 관련성	특허명	Method and device for correcting the position of a slab construction consisting of precast concrete slabs	프리캐스트 슬래브 궤도 시스템 및 프리캐스트 슬래브 궤도 시스템 시공 방법
	보유국	독일	대한민국
	등록년도	2008년	2010년
	관련성(%)	80	80
	유사점	공장제작식 프리캐스트 슬래브궤도	공장제작식 프리캐스트 슬래브궤도
	차이점	-원곡선 및 완화곡선구간 궤도슬래브 패널을 금형을 각각 제작, 양생하여 현장조립하는 형태임. -각각의 슬래브지지를 위해 스펀들을 통하여 판넬을 고저조정하고 각각의 판넬을 결합시키는 방식임. 	-원곡선 및 완화곡선구간 궤도슬래브 패널을 금형을 각각 제작, 양생하여 현장조립하는 형태임. 

2.4.3 논문 분석

- 앞서 서술한 궤도구조 개량 기술과 관련된 궤도 구성요소 및 시공 기술에 관한 논문을 조사한 결과를 아래 표 2.4-7에 나타남.
 - 조사결과에 따르면 기존 자갈궤도 개량기술에 대한 논문은 저속의 일반철도 또는 도시철도구간을 대상으로 하고 있음.
 - 논문의 내용은 각 개량기술을 구성하는 구성품의 개발 및 검증에 대한 내용으로서 유럽에서는 1990년대 이후부터 관련연구를 수행하고 있으며, 일본의 경우에는 1970년대부터 연구가 착수하여 궤도구조개량에 관한 광범위한 연구결과를 확보하고 있음.

- 국내외 관련 논문과 비교하여 국내의 취약 요인은 현장에서의 장기간에 걸친 핵심기술에 대한 검증 및 관련 DB의 확보가 미비한 것으로 분석됨.
 - 고속 운영선 시공의 제약조건을 고려하여 이를 개선할 수 있는 대안을 제시하도록 연구를 추진한다면 차별화된 원천 기술 확보가 가능할 것으로 판단됨.

표 2.4-7. 논문분석 결과

Keyword		track AND renewal AND maintenance	
검색건수		10	
유효논문건수		2	
핵심논문 및 관련성	논문명	Prefabricated Track Construction for the London Underground	Project Evaluation and Future Work of TC type low-maintenance track
	학술지명	Delft University of Technology	WCRR2008
	저 자	Prof.dr.ir. C. Esveld, N. Molenaar, G. Arends, L.J.M Houben	Y. Hagio
	게재년도	2005	2008
	관련성(%)	50	90
	유사점	노후자갈궤도의 개량방안	포장궤도 기술개발
	차이점	선로를 일정기간 차단후 개량	협궤용 도시철도 적용
Keyword		slab track AND precast	
검색건수		2	
유효논문건수		2	
핵심논문 및 관련성	논문명	Analysis of Dynamic Behavior for Slab Track of High-Speed Railway Based on Vehicle and Track Elements	Applying precast slab panel track to replace timber track in an existing steel plate girder railway bridge
	학술지명	JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING-ASCE Volume: 137	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART F-JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT Volume: 224
	저 자	Xiaoyan Lei and Bin Zhang	Choi,JY 외 3인
	게재년도	2011	2010
	관련성(%)	20	30
	유사점	슬래브궤도로 철도하중 지지를 적용한다는 점에서는 유사	Precast부재를 사용하여 철도하중 지지체를 적용한다는 점에서는 유사함.
	차이점	Slab궤도의 차량-궤도 동적해석기법을 개발하는 것이 주요 목표임.	Precast 패널을 기존의 목침목으로 대체하여 실내시험 및 현장시험을 수행

2.4.4 기술 경쟁력 분석

가. 기술수준 분석

- 앞서 조사된 자갈궤도 보강기술과 콘크리트궤도화 기술에 대해 국내 기술 수준에 대한 분석 실시(표 2.4-8)
 - 자갈궤도 보강기술은 새로운 구조의 침목을 적용하는 궤광구조 개량기술을 기준으로 기술 수준 분석
 - 콘크리트궤도화 기술은 포장궤도 기술을 기준으로 기술수준 분석
 - 국내에서는 각 개량기술에 대한 기초 기술을 확보하고 있으며, 고속선에 적용할 수 있는 응용 기술 확보는 어렵지 않을 것으로 판단되나, 개량 공법의 엄격한 요구조건에 대해 체계적이고, 철저한 검증이 요구되므로 다양한 현장 검증 및 성능 평가가 필요

표 2.4-8. 기술 경쟁력 분석 결과

구분	항목	국내 기술수준	국외 기술수준	세계최고수준 대비 기술수준
자갈궤도 보강기술	대표사례	H형 침목 (KORAIL)	철침목, 프레임 침목, Ladder 침목 등	50%
	부설실적	0.1km 미만	1000km 이상	
	운행속도	150km 내외	200km/h 내외	
	시공속도	Unknown	100m/일 (추정)	
	궤도틀림 저감율	Unknown	67% 이상	
콘크리트 궤도화 기술	대표사례	포장궤도(KRRI), B2S(서울메트로) 등	일본 JR동일본 포장궤도	85%
	부설실적	40km 미만	200km 이상	
	운행속도	90km 내외	90km/h 내외	
	시공속도	Unknown	100m/일 (추정)	
	유지보수비 절감율	Unknown	77% 이상	

나. 국내외 인프라 및 기술 인력 현황

(1) 국내 궤도 부설 및 유지보수 장비 현황

☐ 각 기관 특성에 맞는 궤도 부설 및 유지보수 장비를 보유하고 있음(표 2.4-19~2.4-21).

- 궤도구조 개량에 바로 활용할 수 있는 장비는 부족하나, 기존 시공장비를 보완, 개량하여 활용 가능

☐ 한국철도공사 보유장비 현황

표 2.4-19. 한국철도공사 궤도 유지보수 장비 보유 현황

구분	장 비 명	수량(대)	용도
궤도유지 보수장비	고속 멀티폴타이탬퍼 (Multiple Tie Tamper)	5	다지기 작업, 줄맞춤작업, 면맞춤작업, 궤도틀기 작업
	고속 밸러스트레귤레이터 (Ballast Regulator)	2	살포한 자갈을 고르게 밀어 표준도상단면 형성
	고속 스위치타이탬퍼 (Switch Tie Tamper)	2	선로의 취약구간인 분기부의 다짐
	고속 궤도안정기 (Dynamic Track Stabilizer)	3	이완된 도상의 압밀
	고속 다목적고소점검차 (Tunnel Inspection Car)	1	터널 점검
	흡입식 점보크리너 (Ballast Vacuum Excavator)	1	자갈 세척
	발라스트 콤팩터 (Ballast Compactor)	3	도상표면 및 도상어깨 달고 다지기 작업용
	콘베이어 호퍼카 (MFS - 100S)	1	토사, 자갈적재 및 운반, 살포
	고속 모터카크레인-25톤 (Moter Car Crane Type)	5	작업원, 재료 수송 및 중량재료 이동

구분	장 비 명	수량(대)	용도
	고속 초대형모터카 (High Motor Car Special Big Type)	4	작업원, 재료 수송
	호퍼카 지지차 (Hopper Support Car)	1	-
	분진흡입차 (Track Cleaning Vehicle)	1	터널 내 환경개선
	유조트롤리 (Fuel Loading Trailer)	1	연료운반
	고속 굴삭기 (High Excavator)	2	굴삭
	합 계	32	

□ 한국철도시설공단 보유장비 현황

표 2.4-20. 한국철도시설공단 궤도 부설 및 유지보수 장비 보유 현황

구분	장비명	보유수량	운용수량	용 도
궤도 장비	궤도다짐기	6	6	궤도다짐 및 선형조정
	분기기다짐기	6	6	분기다짐 및 선형조정
	자갈정리기	6	6	궤도자갈 정리
	궤도안정기	6	6	궤도 안정화
	콘베이어호퍼차	10	9	자갈수송, 살포
	다목적 모터카	1	1	작업원, 재료 수송
	계	35	34	
공사 차량	디젤전기기관차	7		화차 견인
	자갈화차	322	77	궤도자갈 수송
	평판차	45	10	궤도 및 전차선 자재 수송
	계	374	87	

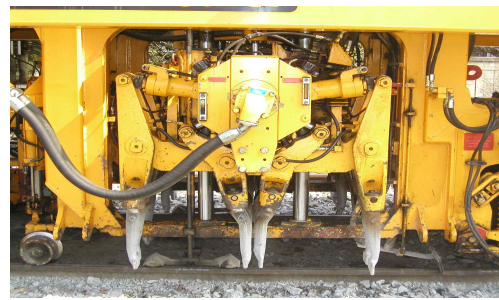
※ [참고] 주요장비 설명

○ 멀티플타이탬퍼(Multiple Tie Tamper)

- 동력, 유압, 전자 및 공기계통으로 대별되며 면맞춤, 줄맞춤 측정 및 기억장치, 궤도들기 전차 및 주행장치로 구성되며 3개의 유압펌프가 엔진과 연결되어 있음. 다짐봉수 16개, 다짐봉 진동수 35회/초, 자주속도 50km/h로 다지기 작업, 줄맞춤작업, 면맞춤작업, 궤도들기 작업을 하며 1회에 2개의 침목을 다지며 작업속도 540M/h임.



(a) 멀티플타이탬퍼



(b) 멀티플타이탬퍼의 탬핑바

그림 2.4-31. 멀티플타이탬퍼(MTT)

○ 스위치타이탬퍼(Switch Tie Tamper)

- 선로의 3대취약점(곡선부, 이음매부, 분기부)의 하나인 분기부를 다지는 기계로, 자중 25t, 전장 17.40m, 디젤엔진 출력 1800rpm/180HP, 자주속도 60km/h이며 동력, 유압, 전기 및 공기계통이 동시에 작용하여 다지기, 줄맞춤, 면맞춤, 궤도들기 및 주행을 하고 8개의 Tamping Bar가 분기기의 침목과 체결장치의 상태에 따라 선로의 직각방향으로 80도 정도 회전이 가능하며 장애물을 피하여 작업할 수 있음.



(a) 스위치타이탬퍼



(b) 스위치타이탬퍼의 탬핑바

그림 2.4-32. 스위치용 타이탬퍼

○ 벨러스트레귤레이터(Ballast Regulator)

- 살포한 자갈을 고르게 밀어 표준도상단면을 형성하면서 정리하는데 쓰이는 장비임. 필요에 따라 도상이 부족한 곳에서는 궤도표면의 많은 개소 자갈을 밀어 소운반도 가능하며 브러쉬(Brush)로 레일저부, 체결부, 침목상면의 청소까지 시행하는 장비이며 시간당 작업량은 1000m임.

○ 궤도안정기(Dynamic Track Stabilizer)

- 이완된 도상이 압밀될 수 있도록 궤도에 수평진동과 수직하중이 결합된 것을 제공하며 최고80~90km/h로 주행 가능한 2축 보기의 차량임.



그림 2.4-33. 벨러스트레귤레이터



그림 2.4-34. 궤도안정기(DTS)

○ 벨러스트 클리너(Ballast Cleaner)

- 궤도상을 서행하면서 침목하면으로 통하여 연결시킨 스크리퍼 체인을 회전하면서 긁어올린 자갈을 선별하는 진동스크린과 선별된 자갈을 따로 반출하는 2종의 콘베어로 구성되어 있고 30~240m/h의 속도로 주행하면서 자갈을 쳐서 교환함. 작업능력은 제작사에 따라 다름. 보통시간당 약 400m임.

○ 분진흡입차(Vacuum Track Cleaning System)

- VTCS는 터널 내 환경개선을 위해 특별히 설계·제작된 장비로 일본을 비롯해 아시아에서 유일한 장비로 도입되었음. VTCS의 제원은 4량의 1편성(동력차, 필터차, 후드차, 필터차)으로 차량 크기는 46.5m, 중량은 103ton이고, 작업량은 1일 약 3km, 연간 893km에 달함. 지하 터널 구간의 분진과 쓰레기를 압축 공기로 부유시켜 흡입한 뒤 필터를 통해 공기를 정화시켜 배출하게 되며, 압축 공기의 분출은 4개소(24,000m³/h)로 공기흡입 장소는 12개소(120,000m³/h)로 설치됨.



그림 2.4-35. 밸러스터 클리너



그림 2.4-36 분진흡입차



그림 2.4-37. 콘베이어 호퍼카



그림 2.4-38. 다목적 모터카

- 콘베이어 호퍼카(Conveyor and Hopper Car)
- 콘베이어 호퍼카는 토사 및 자갈의 적재, 운반, 살포를 위해 설계된 장비

□ 서울메트로 보유장비 현황

표 2.4-21. 서울메트로 궤도 부설 및 유지보수 장비 보유 현황

용도	장 비 명	보유 수량	1일 작업능력	비 고
궤도보수장비	멀티플타이탬퍼	1	450 ~ 550m	
	바라스트콤팩터	1	450 ~ 550m	
레일관리장비	레일연마차	2	1호 : 200 ~ 300m 2호 : 500 ~ 600m	
	레일밀링차	1	0.9 ~ 1.2 km/h	
궤도검측장비	궤도검측차	1	5 ~ 35 km/h	
	레일탐상차	2	3 ~ 10 km	
환경개선장비	고압살수차	2	4km/h ~ 7km/h	
	분진흡입차	1	2 ~ 4 km	
궤도운반장비	궤도모타카	24	최대전인 80ton	
궤도개량공사용 특수장비 (B2S 공법)	자갈흡입차	2	12m ³ /h	
	B2S 트랙머신	4	13set/h	
	콘크리트믹서 트레일러	6	6m ³ ~ 10m ³ 타설	

(2) 국내 연구기관 및 대학의 주요 연구장비 현황

☐ 국내 연구기관 및 대학, 철도유관기관에서 대형 구조시험동을 비롯하여 다수의 연구장비를 보유하고 있어 궤도구조 개량기술 개발에 활용 가능

☐ 한국철도기술연구원 연구장비 보유 현황

표 2.4-22. 한국철도기술연구원 연구장비 보유 현황

장비명	용도
레일체결장치 다축피로시험기	레일체결장치 등 궤도구성품 성능평가
고속 레일/차륜 접촉시험기	차륜 및 레일의 접촉성능평가, 레일과 차륜의 피로수명 산정, 직곡선부 레일 마모현상 규명, 레일과 차륜의 점착특성 규명, 레일과 차륜의 마찰특성 규명
실대형 통합 성능시험 시스템	철도교량, 궤도구조, 건축구조, 철도차량 등 실물크기 시험체에 대한 정/동적 시험 수행
6자유도 진동대	토목/건축구조물 및 기계 구성품의 진동실험 및 지진파 모사장비
500ton UTM	철도교량, 궤도구조, 건축구조, 철도차량 등 실물크기 시험체에 대한 정/동적 시험 수행
대형 삼축압축시험기	도상자갈, 암성토재료와 같은 조립재료의 정적강도, 동적물성, 탄성계수 등 정동적 물성획득을 목적으로 하는 요소시험장비



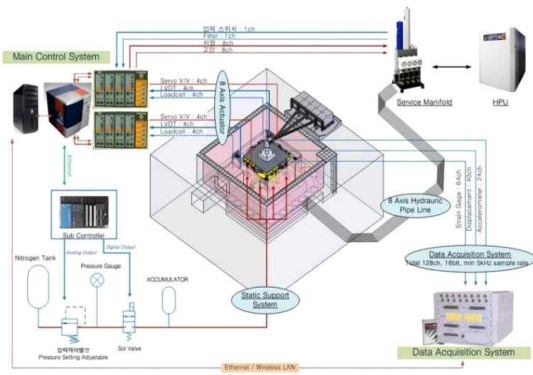
(a) 레일체결장치 다축피로시험기



(b) 고속 레일/차륜 접촉시험기



(c) 실대형 통합성능 시험 시스템



(d) 6자유도 진동대



(e) 대형삼축압축시험기



(f) 500ton UTM

그림 2.4-39. 한국철도기술연구원 보유 시험장비

□ 명지대학교 하이브리드 구조실험시설

다자유도 구조물에 대한 실시간 하이브리드 실험을 수행하기 위한 시설



그림 2.4-40. 하이브리드 구조실험시설

□ 부산대학교 다지점 가진 대용량 지진모사 실험시설

진동대를 이용하여 지진 시 구조물의 동적 거동을 파악하기 위한 시설



그림 2.4-41. 다지점 가진 대용량 지진모사 실험시설

□ 한국철도공사 연구장비 보유 현황

표 2.4-23. 한국철도공사 연구원 연구장비 보유 현황

장비명	보유 대수	용 도	주요규격	설치장소	비 고
LFT 측정장비	2	수평력 분산장치측정	-	"	"
터널내공변위 측정기	28	표준테이프길이 20M용	표준테이프길이 20M용	"	"
광파측거기	3	거리, 수준측량	-	"	"
수준의	28	구조물 고저측정	핸드레벨 200m/m 5X	"	"
구조물점검차	3	구조물점검용		"	"
궤도점검차	1	궤도틀림상태 점검용	EM-120	시설장비소 비치	궤도점검용 (92년 도입)
레일탐상차	1	레일균열,결합 등 훼손상태 점검용	US 1-3	"	레일점검용 (96년 도입)
초음파탐상기	2	차축상태 탐상용	20-200HZ	"	차축점검용
도상저항측정기	3	궤도 도상저항력 측정용		시설관리 사무소비치	도상점검용

□ 한국철도시설공단 연구장비 보유 현황

표 2.4-24. 한국철도시설공단 연구원 연구장비 보유 현황

장비명	용 도
레일 굴곡 시험기	레일 용접부를 굴곡하여 휨 강도 및 변형량 측정
고무피로시험기	고무재료(레일패드, 바ラスト매트)의 정적, 동적 상태에서 피로시험을 축방향으로 행하여 시험재료의 격차율과 전단변형, 스프링정수 측정
용접부 교정기	레일 용접후 용접부위 굴곡부분을 직선으로 교정, 용접부의 덧살을 자동제거
윤축낙하시험기	철도노반구조물에 대한 진동특성을 열차가 주행하지 않는 상태에서 구조물의 진동특성을 평가하는 시험
동결융해시험기	콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 측정하기 위하여 -18°C에서 +4°C까지 동결과 융해를 급속으로 300회 반복하여 콘크리트 내구성을 측정하는 장비
동탄성계수측정기	동결융해 작용을 받는 콘크리트 시험체에 대한 내구성을 평가하기 위한 상대 동탄성계수 비를 측정하는 장비
Deval 시험기	열차의 고속주행으로 반복되는 반복하중에 의한 궤도 자갈의 내마모성능을 판정하기 위한 시험



(a) 레일 굴곡 시험기



(b) 고무피로시험기



(c) 용접부 교정기



(d) 윤축낙하시험기



(e) 동결융해시험기



(f) 동탄성계수측정기



(g) 만능재료시험기



(h) Deval 시험기

그림 2.4-42. 한국철도시설공단 보유 시험장비

(3) 국내 궤도 기술 인력 현황

□ 한국철도기술연구원과 대학에서 석박사급 연구 인력을 보유하고 있어 주도적인 연구 수행 가능하며, 한국철도공사와 한국철도시설공단 등 철도유관기관에서도 연구조직을 운영하고 있어 역할 분담이 가능할 것으로 판단됨.

□ 한국철도기술연구원 연구인력 현황

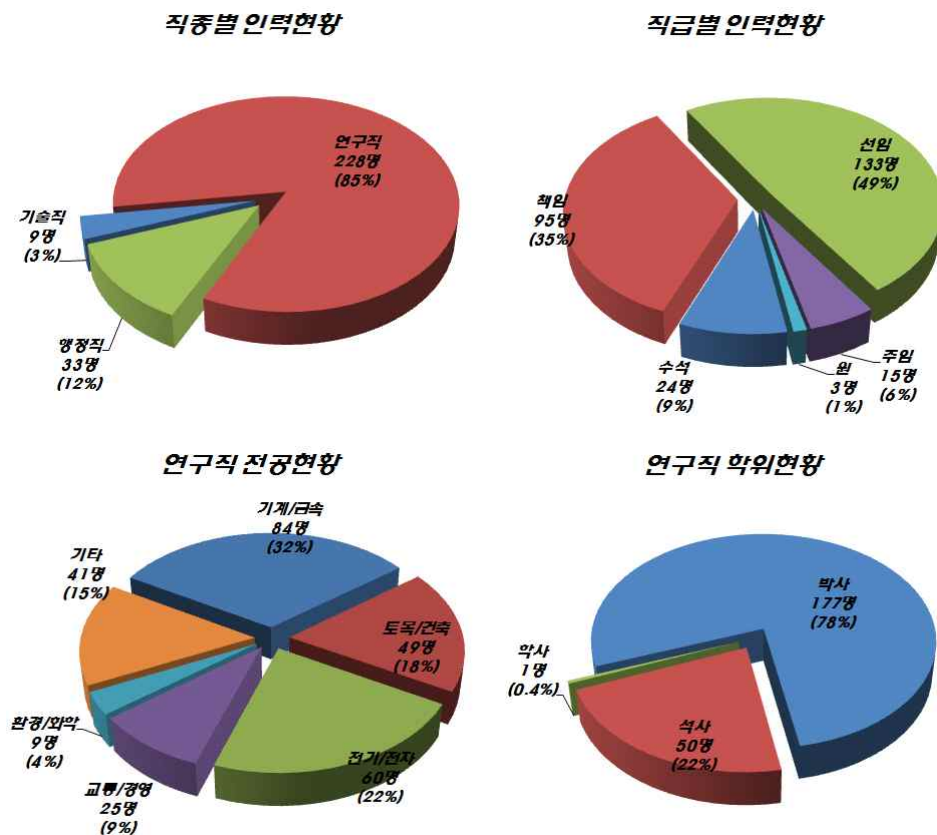


그림 2.4-43. 한국철도기술연구원 연구인력 현황

표 2.4-25. 한국철도기술연구원 궤도기술 분야 인력현황 (한국철도기술연구원 궤도그룹)

직종별 인력현황		직급별 인력현황		연구직 전공현황		연구직 학위현황	
연구직	14	수석	1	토목	14	박사	10
		책임	4			석사	4
		선임	9				

□ 한국철도공사 연구인력 현황

표 2.4-26. 한국철도공사 궤도기술 분야 인력현황 (한국철도공사 기술연구원)

직종별 인력현황		직급별 인력현황		연구직 전공현황		연구직 학위현황	
연구직	10	부장	3	토목	9	박사	1
		차장	5	철도건설	1	석사	5
		대리	2			학사	3
						전문학사	1

□ 한국철도시설공단 연구인력 현황

표 2.4-27. 한국철도시설공단 궤도기술 분야 인력현황(녹색철도연구원 기술연구소 시설연구부)

직종별 인력현황		직급별 인력현황		연구직 전공현황		연구직 학위현황	
연구직	5	부장	1	토목	5	학사	4
		과장	4			전문학사	1

2.5. 종합분석

2.5.1 기술개발 동향 및 환경 분석에 따른 주요 시사점

- 기술개발 동향 및 환경 분석 결과 국내 뿐 아니라 일본과 영국을 비롯한 주요 유럽 국가에서도 기존선의 속도 향상과 유지보수 저감을 중요한 정책 및 기술개발 목표로 설정하여 개발을 추진하고 있음.
 - 철도 인프라가 잘 구축된 나라일수록 기존 인프라의 활용도를 극대화하기 위한 기술 개발에 적극적
 - 일본의 경우 가장 적극적으로 유지보수 저감 기술 개발과 기존선의 속도 향상을 주도해 왔음.

- 국내의 경우 지하철을 비롯하여 기존 자갈궤도의 개량사업이 진행 중이며 간선철도의 속도 향상 계획에 따라 향후 시장이 급격히 확대될 것으로 전망되며, 국외의 경우도 가까운 장래에 기술 수요가 증가할 것으로 예상됨
 - 고속철도 뿐 아니라 간선철도, 도시·광역철도에서도 적용 가능
 - 국외 시장 진출을 위한 원천 기술의 선점 가능

- 현재 경부고속철도 1단계 구간의 자갈궤도 유지보수 현황을 분석한 결과, 개통 초기에는 지나치게 잦은 보수작업으로 인해 자갈도상의 열화가 촉진, 도상 안정화가 이루어지지 못한 것으로 파악됨.
 - 도상 안정화가 이루어지지 않은 개통 초기에 오히려 궤도품질지수가 낮았다가(궤도상태 양호), 2006년 이후 점차적으로 궤도품질지수가 높아지고 있으며(궤도 상태 악화), 유지보수비도 2007년 이후 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있음.
 - 또한 시운전을 통해 도상 안정화가 충분히 이루어진 시운전 구간에서는 궤도틀림이 적게 발생하고 있음.
 - 도상자갈 열화속도를 줄이기 위해 다짐장비를 사용한 다짐 작업을 줄임에 따라 인력작업 비중이 점차 증가됨.
 - 교량구간의 작업 비중이 특히 높고, 전체 선로의 29%를 차지하는 곡선구간의 작업 비중이 점차 높아지고 있음.

-
- 이러한 여러 가지 현재 상황을 놓고 볼 때 경부고속철도에서 발생하는 궤도틀림의 주 원인은 자갈도상의 불안정으로 추정할 수 있음.
 - 궤도 유지보수 저감을 통한 궤도 전수명주기 비용의 절감 방안이 강구되어야 하며, 더욱이 향후 속도 향상을 고려할 경우에는 궤도 열화의 진전이 더욱 가속화될 수 있으므로 자갈궤도 구간의 전면적인 개량이 필요할 것으로 판단됨.
- 국내에서도 그동안의 기술 개발을 통해 도시철도에 적용 가능한 궤도구조 개량 기술을 확보하고 있으며, 기술 개발에 필요한 기술 인프라 및 역량을 확보하고 있음.
- 기존 기술의 보완을 통해 고속철도 및 고속화 철도에 적용 가능
 - 국외 기술 대비 기술 경쟁력의 확보 가능성이 높음.

2.5.2 기획자문위원회 토의 결과

□ 기획 자문위원회 개최 현황

- 일 시 : 2012. 3. 16.(금) 15:00~18:00
- 장 소 : 한국철도기술연구원 5동 중회의실(3F)
- 자문위원(내/외부) :
 - 강태구 소장(한국철도공사 오송 경부고속철도 시설관리사무소장/궤도 유지 보수 분야)
 - 김인재 박사(한국철도시설공단 前 궤도처장, 현재 철도기술연구원 파견/궤도설계 분야)
 - 김재학 위원(KRTC 궤도사업본부장/궤도설계 분야)
 - 이형규 위원(궤도공영 대표이사/궤도시공 분야)
 - 이순구 위원(천정기업 대표이사/궤도시공 분야)
 - 손기준 위원(삼표이앤씨 상무이사/궤도시공 분야)

□ 기획 자문위원회 주요 의견

- 개량목표의 설정과 대안공법에 적합성에 대한 주요 토의결과 속도 향상과 궤도구조의 전면 개량에 대해서는 부정적 견해와 긍정적 견해가 각각 제기되었으며,
- 개량기술의 적용성에 대해서는 콘크리트궤도화 공법에서는 제약조건이 많기 때문에 궤광구조를 개량하는 기술의 적용 가능성을 더 높게 평가하는 의견이 다수로 나타났으나, 현재 기술의 문제점을 극복하기 위해 궤광구조 개량기술과 함께 콘크리트궤도화 기술도 함께 연구 과제에 포함하는 것이 바람직하다는 의견이 다수 제기되었음.
- 토공, 교량, 터널 등 노반 조건에 따라 노반침하 가능성, 궤도-구조물 상호작용 등에 따른 장대레일 안정성, 궤광 거치대 설치 공간 등 중요 고려사항을 제시
- 연구범위를 고속철도에 국한하지 않고 일반 자갈궤도에 적용할 수 있는 기술까지 포함하는 것이 바람직하다는 의견이 제기됨.

표 2.5-1. 1차 기획자문위원회 토의 결과

주요 토의안건	구분	긍정적 견해	부정적 견해
개량목표의 설정	목표 속도 향상	- 전국 주요거점을 1시간 30분대로 단축하는 것을 목표로 설정하고 있으므로 속도를 350km/h로 향상하는 것이 바람직함. - 현재 부족켄트가 76mm정도로 여유가 있기 때문에 켄트 설정 없이도 속도 향상이 가능	- 350km/h 이상 궤도구조의 성능검증이 쉽지 않으므로 속도 향상보다는 유지보수 저감에 초점을 두는 것이 바람직 - 속도를 향상하려면 켄트 조정을 시행해야 하는데 콘크리트궤도로 변경하면 켄트 조정이 불가능함. - 속도 향상을 전제로 할 경우 전차선 조정, 교량의 동특성 검토, 선형조정 등 고려할 사항이 많으며, 전면 개량에 투입되는 비용 대비 유지보수 저감이 높지 않을 수 있으므로 신중한 접근이 필요하며, 전면 개량보다는 현재 상태에서 안정화를 꾀하는 것이 바람직함.
	시공속도	- 시공속도의 목표를 100m/일로 설정할 경우 여러 구간에서 동시 작업 시행하여 개량목표 달성 - 시공장비 개량, 분할시공 등 기술개발을 통해 시공속도의 향상이 필요함.	- 현재 경부고속철도 1단계 구간이 총 446km이고, 이중 200km 정도만 개량한다고 하더라도 시공속도 100m/일 이면 약 10년 정도의 공사 기간이 필요함. 따라서 목표 달성시점과 개량 대상구간의 연장 등을 감안하여 시공속도의 목표를 설정해야 함. - 유지보수 작업과 병행되어야 하므로 여러 구간에서 동시에 공사를 시행하기는 곤란(대전 이남과 이북 최대 2개 구간 작업 가능) - 하루 2.5시간 작업으로 시공속도 100m/일 달성은 불가능함.(현재 자갈 클리닝 작업이 100m/일 정도 소요)
대안공법 의 적용성	궤광구조 개량기술	- 궤광구조 개량기술(침목구조 개선 등)은 적용 가능	- 궤광구조 개선은 침목구조 변경보다는 현 구조에서 Bonding(고결) 공법을 적용하여 현 궤도구조를 최대한 활용하는 것이 바람직함.

주요 토의안건	구분	긍정적 견해	부정적 견해
	콘크리트 궤도화 기술	- 자갈, 침목 교환 시행 후 고결하는 포장궤도 공법을 적용하면 시공속도 향상이 가능할 것으로 판단됨. - 현재 콘크리트궤도화 기술의 적용이 현실적으로 어려움이 있으나 문제점을 극복하기 위해 궤광구조 개량기술과 함께 콘크리트궤도화 기술도 함께 연구과제에 포함하는 것이 바람직함. - 연구과제에서는 좀 더 기술을 세분화하여 다양한 기술을 포함하는 것이 바람직함. 미리 판단해서 기술개발 자체를 포기하는 것은 바람직하지 않음. - 두 가지 종류의 기술(궤광구조 개량, 콘크리트궤도화 기술)을 모두 검토하여 단계적으로 적용 방안을 모색하는 것이 바람직함.	- 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용한 공법은 궤광 가받침을 설치한 상태로 서행을 시행해야 하나, 고속선에서는 서행을 하더라도 90km/h 이상이므로 궤광 가받침을 설치한 상태에서 90km/h의 속도로 열차 운행하는 것은 현실적으로 불가능함. - PC슬래브를 적용하는 공법은 터널 구간에서는 가능하지만, 교량이나 접속부에서는 궤도-교량 상호작용과 접속부 하부 구조 문제 등을 고려해야 하므로 적용이 어려움. - 궤도 개량 공법에서는 선형을 어떻게 맞추느냐가 중요한 관건이 됨. 현재 자갈궤도 상태에서는 계획 선형에서 많이 달라져 있어(교량구간의 경우 도상두께가 400~500mm 까지 증가되어 있음) 원형으로 선형 복원을 하면서 개량을 해 나가야 하는데, 콘크리트 궤도화 하는 경우 시공 상의 접속부에서 선형 처리가 문제임. 사전에 선형 조정을 시행한 후 개량해야 하지만 현실적으로 불가능함. - PC 슬래브 공법은 현실적으로 적용이 어려움. 장대레일을 계속 절단해야 하고 현장용접을 시행해야 함. 기존 침목과 자갈을 활용할 수 있는 방안을 강구하는 방안이 바람직함.
궤도구조 개량 시 중요 고려사항	공통	- 공사중 장대레일 장출에 대한 안정성 - 공사구간과 일반구간과의 접속부 처리 용이성 - 궤도높이 변경에 따른 전차선 높이 조절 가능성 및 차량한계 및 건축한계 저축여부	
	토공	- 공사 중 노반침하 수용성(공사 중 궤도불안정, 운영 중 궤도틀림 발생 및 유지보수 고려) ※ 노반침하가 진행되고 있다고 판단되는 일부구간	

주요 토의안건	구분	긍정적 견해	부정적 견해
		- 측벽 부재에 따른 거치대 설치방안 - 공사 중 소음.진동 - 운영 중 소음증가에 따른 방음대책 수립 가능여부	
	교량	- 교량상관 온도신축 수용성(공사 중 궤도불안정, 운영 중 궤도틀림 발생 및 유지보수 고려) - 교량상관 진동에 따른 공사 중 궤도 불안정 - 장대레일 안정성 - 교량상관 단부 체결구 사용성 - 공사 중 소음.진동 - 운영 중 소음증가에 따른 방음대책 수립 가능여부	
	터널	- 폐쇄공간에 따른 공사장비 이동 및 공사자재 적재 - 공사 중 발생하는 분진 및 매연 - 운영 중 궤도유지보수성(투입장비 및 보수주기 고려)	
기타		- 개량시 유지보수 측면에서는 전 구간을 동일 궤도 유형으로 하는 것이 바람직하지만 노반 조건 등을 감안하여 불가피할 경우 구간별 특성에 적합한 공법을 적용하는 것도 가능함. - 연구범위를 고속철도에 국한하지 않고 일반 자갈궤도에 적용할 수 있는 기술을 포함하는 것이 바람직	

(빈 페이지)

2.5.3 SWOT 분석을 통한 기술개발전략 수립

- 이상 주요 시사점과 기획자문위원회 토의 결과에 따라 SWOT 분석 실시
 - 기존 자갈궤도의 유지보수 증가와 속도 향상에 대한 사회적 요구로 인해 궤도 개량공법의 수요가 증가될 것으로 예상(기회요인)
 - 국내에서도 도시철도 구간을 중심으로 궤도 개량기술에 대한 기초 기술과 노하우를 확보(강점)
 - 반면 고속철도 구간에 적용한 경험이 부족하고 기술 개발이 이루어지지 않았음(약점)
 - 고속철도 운행선에서는 도시철도와 비교할 때 훨씬 더 엄격한 안전 요건이 요구되며, 짧은 차단시간 내 공사를 시행함에 따라 시공성과 시공속도 목표 달성에 대한 우려가 있음(위협요인)

- SWOT 분석 결과를 바탕으로 아래와 같이 기술개발전략 수립
 - 기존 기술 활용 연계
 - 기존에 개발된 개량 기술과 데이터 및 인프라를 적극 활용함으로써 초기 기술개발의 리스크를 줄이고, 단기간에 실용화 기술을 확보함으로써 기술 수요에 대응(시너지창출전략)
 - 고속철도 및 일반철도 고속화 구간 적용에 따른 리스크 보완
 - 기존 개량기술의 고속 운행선 적용을 위한 체계적인 요구조건과 목표를 설정(보완전략)
 - 테스트-베드 구축을 통한 시공성 검증, 성능 검증 및 시범 적용 등 단계적인 검증 방안 수립, 실용화 로드맵 제시(위험최소화전략)
 - 제한된 시공 시간과 여건에 따라 시공성과 시공속도 확보 가능성에 대한 우려를 해소하기 위하여
 - 고속 운행선에서의 요구 조건과 시공 환경을 고려한 시공 공정의 최적화와 이를 위한 자동화 시공장비 개발 추진(위험극복전략)
 - 시공 자동화를 위한 장비는 기존에 활용되고 있는 장비를 개량하여 적용
 - 국내 기업 뿐 아니라 필요 시 국외 기업과도 공동 연구 또는 전략적 제휴 모색 필요

표 2.5-2. SWOT 분석 결과

	강점(S) 도시철도에 적용된 기초 기술, 인력 및 인프라 기 확보	약점(W) 고속철도에서 검증된 기술 미 확보
기회(O) 속도향상 요구 및 유지보수 증가로 궤도구조 개량기술 수요의 증가 예상	SO전략(시너지 창출 전략) 기 확보된 기술, 인력 및 인프라를 적극 활용함으로써 초기 기술개발의 리스크를 줄이고, 단기간에 실용화 기술을 확보함으로써 기술 수요에 대응	WO전략(보완전략) 고속철도 및 간선철도 등 고속 운행선 적용을 위한 체계적인 요구조건과 목표를 설정
위협(T) 고속 운행선에서의 엄격한 안전 요건과 짧은 차단시간내 공사 시행에 따라 시공성 확보 및 시공속도 목표 달성에 대한 우려	ST전략(위협 최소화 전략) 테스트-베드 구축을 통한 시공성 검증, 성능 검증 및 시범 적용 등 단계적인 검증 방안 수립, 실용화 로드맵 제시	WT전략(위협극복전략) 고속 운행선에서의 요구 조건과 시공 환경을 고려한 시공 공정의 최적화와 이를 위한 자동화 시공장비 개발 추진 → 국내 기업 또는 필요 시 국외 기업과도 공동 연구 또는 전략적 제휴 모색 필요

2.5.4 핵심 키워드 및 이슈 트리

- 핵심 키워드(keywords)는 속도 향상, 안전 및 승차감 확보, 유지보수 절감 및 전수명주기비용(LCC) 절감, 시공속도 및 시공성 확보 등으로 요약할 수 있음.
- 고속철도에 적용 가능한 자갈궤도 개량 기술의 개발을 위해 R&D 니즈를 정리하면 아래와 같음(그림 2.5-1).
 - 운영중 안전 및 승차감 확보
 - 운영중 차량의 주행안전과 승차감을 확보할 수 있는 우수한 선형과 구조적 안전을 확보할 수 있는 궤도구조 개발
 - 유지보수 절감
 - 유지보수의 효과적인 절감(LCC 절감)이 가능한 궤도구조 개발
 - 시공성 및 시공 중 안전 확보, 시공속도 확보
 - 짧은 차단시간(3시간 이내) 내에 분할공사를 통해 시공이 가능한 구조 및 공법
 - 한정된 공간과 시간 내에서 공사장비의 이동 및 자재 적재 등을 고려한 공정의 최적화
 - 시공속도 극대화를 위한 자동화 시공장비의 개발
 - 공사 중 안전 확보를 고려한 대책 강구

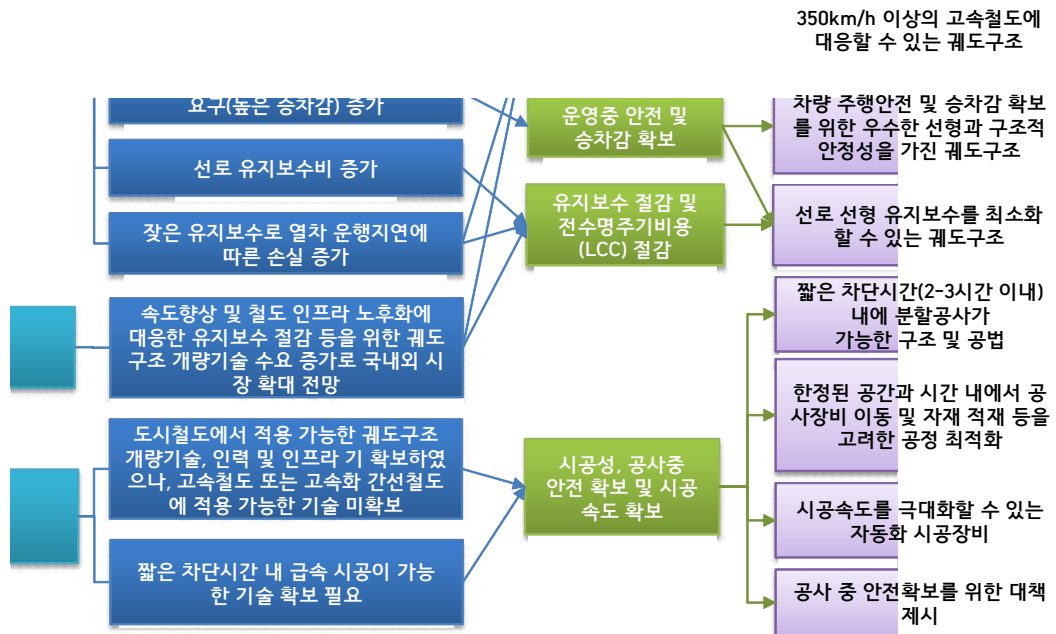


그림 2.5-1. 이슈 트리

제3장. 기존 개량기술 분석 및 대안공법 선정

3.1 선정 평가 절차 및 방법

- 자갈궤도 개량기술의 대안공법 선정을 위해 가치평가(VE)기법을 활용하여 그림 3.1-1의 절차에 따라 후보기술군을 선정하고 각 후보기술군에 대한 정성적·정량적 평가 실시

1 단계: 기본요건분석

- 대상 궤도구조형식 조사**
- 궤광구조개량궤도(Frame Sleeper Track, Ladder Track, ect)
 - 포장궤도
 - PS-콘트리트궤도

- 공사 제약조건 조사**
- 구간별 열차차단시간
 - 장비 및 자재 이동시간

- 궤도틀림 발생 현황조사**
- 노반(토공, 교량, 터널)별 궤도틀림 현황
 - 노반 취약개소 조사(토노반, 교량구간)

- 개량궤도 요구성능 정립(노반별)**
- 시공속도
 - 공사 및 유지관리비 지출한계(향후 60년기준 현 유지보수비 대비)

No

- 개량궤도요구성능 만족여부 분석**
- 궤도틀림 저감성능, 시공속도, 공사비

성능개선 여부

No

Yes

Yes

성능개선사항 도출 및 개념적 수준의 설계보완

부적합 궤도형식 배제

- 350km/h 고속궤도 구조적 요구성능 만족여부 분석**
- 하중부담능력 및 장기내구성

No

- No
- Yes

부적합 궤도형식 배제

성능개선 여부

Yes

성능개선사항 도출 및 개념적 수준의 설계보완

노반별 검토대상 궤도형식 선정

2 단계: 가치 및 가격분석 (Value-Cost Analysis)

가치분석(Value Analysis)
(안전성, 신뢰성, 환경, 시공성, 유지관리, 복구성)

생애주기비용(LCC) 분석
(생애주기: 60년)

**가격대비 가치 상대평가
(Best Value for Money Analysis)**

최적 궤도형식 선정
(가격대비 가치 최고 특점 궤도형식)

그림 3.1-1. 적정 궤도유형 선정 절차

□ 1단계 : 기본요건 분석을 통한 후보기술군 선정

- 검토대상 공법의 평가를 위해서는 사업 특성에 따라 요구되는 기술적, 운영적, 환경적 요구조건을 감안하여 이를 만족할 수 없는 공법에 대해서는 사전 배제 또는 보완방안 검토

- 사업 특성을 고려한 사전자격요건은 아래와 같음.

- ① 검토대상 기술은 사업에 대상 선구와 비교하여 아래 제시한 조건 이상에서 운영실적을 만족하거나, 그렇지 못한 경우에는 아래 ②~⑤항에서 제시하는 안전성 및 사용성에 대한 요구조건을 충족해야 함.

- 운영속도 : 350km/h 이상

- 축중 : 170kN 이상

- ② 이용가능성(Availability)

- 사업별로 주어진 유지관리시간 (야간 열차차단시간)에 대하여 이용가능성(Availability)*에 대한 목표량이 99.5%로 하며 이를 만족할 수 있는지를 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석방법을 통하여 증명될 필요가 있음.

※ 궤도의 이용가능성(Availability) : 궤도를 불특정한 시간에 사용하고자 할 때 궤도의 결함으로 인하여 열차가 지연되거나 운행이 중단되어 서비스에 차질이 발생되지 않을 수 있는 정도를 확률적으로 나타낸 것 (통상적으로 1년 동안 허용 가능한 서비스 중단시간을 목표량으로 주어짐)

- ③ 선로선형(Geometry and alignment of track)

- 검토대상 기술(공법)은 최소 곡선반경(R=7000m)까지 수용 가능한 구조라야 함. 고속철도에서는 엄격한 궤간 및 레일경사 관리가 필요하기 때문에 가급적 침목을 사용하는 구조라야 함.

- ④ 궤도높이(Track type height)

- 시공기면(Formation level)에서 레일레벨(Rail level)까지의 궤도높이는 궤도유형을 결정하는데 중요한 구속요건으로 작용한다. 검토대상 기술(공법)의 궤도높이는 가급적 자갈궤도와 동일하도록 하여야 함. 궤도높이가 자갈궤도와 다른 경우는 건축한계 및 전차선높이 등을 검토할 필요가 있으며, 특히 시공 중 기존 자갈궤도와 궤도높이 차에 대한 대책이 수립되어야 함.

⑤ 시공가능성(Constructibility)

- 해당 선구에서 공간 및 접근성의 제약을 고려하여 부설이 가능한 궤도 형식이여야 함.

⑥ 소음·진동요건

- 검토대상 기술의 소음·진동 목표치는 자갈궤도와 동일 수준이 되어야 함. 소음·진동 발생 수준이 기존의 자갈궤도보다 높다고 판단되는 경우에는 위치별로 적절한 대책이 수립될 수 있어야 함.

⑦ 신호방식(Signalling requirements)

- 신호방식에 대한 기술요건을 만족할 수 있는 전기절연성을 확보할 수 있는 궤도구조 선정

⑧ 국내 조달가능성

- 검토대상 기술은 시공시점에서 국내에서 재료 및 시공장비의 조달이 가능하여야 함.

⑨ 구간별 통일성

- 전체 사업구간에서 노반형식(토공, 터널, 교량 등)이 동일한 경우는 장래 유지보수 및 응급복구를 고려하여 (가급적) 단일 형식의 궤도구조 적용
- 유지보수기지(Depot of track maintenance)가 동일한 구간에서는 유지관리 및 보수품 보관 등을 고려하여 (가급적) 단일 형식의 궤도구조 적용
- 전체 사업구간의 길이가 30km 이내인 경우는 노반형식이 다르더라도 단일 형식의 궤도구조 적용
- 위 경우에도 지질 또는 지형적, 환경적 여건상 부득이한 개소와 분기부 등에서는 서로 다른 궤도구조를 부설할 수 있으며 이 경우 가급적 부설 연장을 최소화해야 함.

□ 2단계 : 가치평가를 통한 최적 대안 선정

- 안전성, 설계기준 및 성능, 환경성, 시공성, 유지관리성, 복구성 등 6개 그룹으로 분류하여 각 후보기술군에 대한 가치 평가 실시(가치평가 항목은 그림 3.1-1 참조, 세부 평가기준은 부록 1 참조)

표 3.1-1. 가치평가항목

평가그룹 (배점)	평가항목
안전성 (25)	개량공사 중 열차주행안전성
	파손 또는 고장에 대비한 비상(이중) 안전장치
	육안점검의 용이성
	점검주기
	대피승객 및 유지보수 요원의 이동안전성
설계기준 및 성능 (25)	고속철도 운행선에서 생력화 궤도구조로서의 성능 입증 정도
	공사 후 열차서행 속도 및 기간 요구정도
	궤도품질 유지
	접속부 설계의 용이성
	노반 및 기초 작업 처리 요구수준
환경성 (10)	오염물질의 발생 가능성 및 영향
	소음
	진동
	외관
	내수성 및 내염성
시공성 (20)	시공시간
	시공의 복잡성과 자원 투입 정도
	선형조정의 용이성
	콘크리트 타설 작업의 난이도
	공정 간의 상호연관성
	제한된 접근성의 극복 가능성
	재료 확보 가능성
유지관리성 (15)	궤도 유지보수 장비 및 보수품
	궤도틀림 조정의 용이성
	궤도 대변형 조정의 용이성
	점검주기 및 점검방법
	궤도구성품의 갱신의 용이성
복구성 (5)	열차 탈선에 따른 궤도 연장 4km에 걸친 사소한 궤도손상
	열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상 (단선으로만 궤도보수 작업을 수행하는 경우)
	열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상 (복선으로 궤도보수 작업을 수행하는 경우)

3.2 기본 요구조건 분석

3.2.1 운행선 궤도구조 개량사업 제약조건 분석

- 경부고속철도 1단계 구간 운행선상에서 궤도 개량공사를 시행할 수 있는 시간적 제약조건을 조사, 분석함.
- 표 3.2-1은 1단계 구간에서 구간별 열차차단시간 조사한 결과임. 열차차단 시간은 위치별로 약간은 차이가 있으나 평일에 3시간 50분에서 4시간 사이임.

표 3.2-1. 경부1단계구간 위치별 열차차단시간(2011년 11월, 평일)

선별	구간	현행작업시간	
		시간대	작업시간
T1, T2 (상행, 하행)	광명~천안	01:00-04:50	3H50'
	천안~대전	00:40-04:50	3H50'
	대전남~김천	00:50-04:50	4H00'
	김천~대구북	00:50-04:50	4H00'

- 실제 공사가 가능한 시간은 열차차단시간 중에 궤도보수기지에서 공사현장까지 공사차량 또는 차재운반차량의 이동시간을 감안하여야 함.
- 그림 3.2-1은 경부고속철도의 궤도보수기지의 위치를 나타낸 것이며 표 3.2-2는 그림 3.2-1을 토대로 궤도보수기지에서부터 공사현장까지 최대이동거리 및 시간을 산출한 결과임.

표 3.2-2. 궤도보수기지에서부터 공사현장까지 최대이동거리 및 시간

구간	전체연장 (km)	전진기지	최대이동거리 및 시간
광명역-천안아산역	74	화성보수기지	35km/50min
천안아산역-대전역	58	오송보수기지	31km/40min
대전역-김천구미역	69	영동보수기지 김천보수기지	20km/25min
김천구미역-동대구역	46	약목보수기지	26km/35min

그림 3.2-1. 경부고속철도 궤도보수기지 위치

- 천안아산역 구간에서 공사차량의 이동거리가 최대가 되며 이때 이동시간은 40분 정도가 소요(향후 호남고속철도 보수기지가 신설되면 이동시간은 대폭 단축될 것으로 예상) 표 3.2-3은 공사차량 및 자재운반차량의 이동시간을 감안한 공사 가능한 시간을 산출한 결과임.

표 3.2-3. 경부고속철도 1단계구간 공사차량 이동시간을 감안한 공사가능시간

선별	구간	현행작업시간	
		시간대	작업시간
T1, T2 (상행, 하행)	광명~천안	01:50-04:00	2H10'
	천안~대전	01:20-04:10	3H30'
	대전남~김천	01:15-04:25	3H10'
	김천~대구북	01:25-04:15	2H50'

- 분석 결과 실제 궤도개량 공사는 2시간 10분에서 3시간 반 정도로 매우 짧은 시간 내에 시행하여야 함을 알 수 있음.
- 따라서 궤도구조 개량기술은 2시간~3시간의 작업 시간 내 분할 공사가 가능한 공법으로 한정되어야 함.

3.2.2 후보기술군 선정

- 2.4절에서 분석한 기존 개량기술 가운데 사업특성을 고려한 사전자격요건을 만족하는 기술을 후보기술군으로 선정
 - 후보기술군은 그 특성에 따라 크게 자갈궤도 궤광구조 개량기술(category I)과 자갈궤도의 콘크리트궤도화 기술(category II)로 구분

표 3.2-4. 사전기술요건 분석을 통한 후보기술군 분류

사전기술요건 검토항목	Category I - 자갈궤도 보강기술		Category II - 콘크리트궤도화(化) 기술	
	궤광구조 개선 공법	자갈층 Polymer 충전 공법	포장궤도 공법	PC 슬래브궤도 공법
① 운영실적	기존선에는 적용된 사례가 있지만 열차속도 350km/h 이상 고속철도에서 운영한 사례가 없기 때문에 검토대상 선구의 설계속도까지 차량의 주행안정성 및 궤도의 동적안정성에 대한 기술검토가 필요함. 보완이 필요한 경우 EN 50125 따른 시스템 생애주기(System lifecycle) 의 1~6 단계의 절차에 따라 RAMS 관리를 목표로 설계되고, 실내시험 또는 모의해석을 통하여 검증이 필요함.	기존선에는 적용된 사례가 있지만 열차속도 350km/h 이상 고속철도에서 운영한 사례가 없기 때문에 검토대상 선구의 설계속도까지 차량의 주행안정성 및 궤도의 동적안정성에 대한 기술검토가 필요함. 보완이 필요한 경우 EN 50125 따른 시스템 생애주기(System lifecycle) 의 1~6 단계의 절차에 따라 RAMS 관리를 목표로 설계되고, 실내시험 또는 모의해석을 통하여 검증이 필요함.	기존선에는 적용된 사례가 있지만 열차속도 350km/h 이상 고속철도에서 운영한 사례가 없기 때문에 검토대상 선구의 설계속도까지 차량의 주행안정성 및 궤도의 동적안정성에 대한 기술검토가 필요함. 보완이 필요한 경우 EN 50125 따른 시스템 생애주기(System lifecycle) 의 1~6 단계의 절차에 따라 RAMS 관리를 목표로 설계되고, 실내시험 또는 모의해석을 통하여 검증이 필요함.	열차속도 300km/h 이상 고속철도에서 운영한 사례가 있음. 하중 수용능력으로 볼 때 열차속도 350km/h 이상에서도 충분한 장기내구성을 확보하고 있다고 판단됨.
② 이용가능성 (Availability)	유지관리시간 (야간 개량형 궤도에 대하여 이용가능성 (Availability)에 대한 목표량이 99.5%가 될 수 있는지 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석방법을 통하여 증명 필요	유지관리시간 (야간 개량형 궤도에 대하여 이용가능성 (Availability)에 대한 목표량이 99.5%가 될 수 있는지 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석방법을 통하여 증명 필요	유지관리시간 (야간 개량형 궤도에 대하여 이용가능성 (Availability)에 대한 목표량이 99.5%가 될 수 있는지 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석방법을 통하여 증명 필요	기존 고속철도 운영경험으로 이용가능성 99.5%를 만족할 것으로 판단되나 추후 상세검토가 요망됨.

표 3.2-4. (계속)

사전기술요건 검토항목	Category I - 자갈궤도 보강기술		Category II - 콘크리트궤도화(化) 기술	
	궤광구조 개선 공법	자갈층 Polymer 충전 공법	포장궤도 공법	PC 슬래브궤도 공법
③ 선로선형 (Geometry and alignment of track)	최소 곡선반경(R=7000m) 까지 수용 가능	최소 곡선반경(R=7000m) 까지 수용 가능	최소 곡선반경(R=7000m) 까지 수용 가능	최소 곡선반경(R=7000m) 까지 수용 가능
④ 궤도높이 (Track type height)	자갈궤도높이 680mm 동등 높이로 부설 가능	자갈궤도높이 680mm 동등 높이로 부설 가능	자갈궤도높이 680mm 동등 높이로 부설 가능	자갈궤도높이 680mm 동등 높이로 부설 가능
⑤ 시공가능성 (Constuctibility)	해당 선구에서 공간 및 접근성의 제약을 고려하여 부설이 가능	해당 선구에서 공간 및 접근성의 제약을 고려하여 부설이 가능	해당 선구에서 공간 및 접근성의 제약을 고려하여 부설이 가능	해당 선구에서 공간 및 접근성의 제약을 고려하여 부설이 가능
⑥ 소음·진동요건	자갈궤도와 동등의 소음이 발생할 것으로 판단됨.	자갈궤도보다 소음이 다소 높게 발생할 것으로 판단되므로 개소에 따라 별도의 소음저감대책이 요망됨	자갈궤도보다 소음이 다소 높게 발생할 것으로 판단되므로 개소에 따라 별도의 소음저감대책이 요망됨	자갈궤도보다 소음이 다소 높게 발생할 것으로 판단되므로 개소에 따라 별도의 소음저감대책이 요망됨
⑦ 신호방식 (Signalling requirements)	전기절연성을 확보할 수 있음.	전기절연성을 확보할 수 있음.	전기절연성을 확보할 수 있음.	전기절연성을 확보할 수 있음.
⑧ 국내 조달가능성	국내에서 재료 및 시공장비의 조달이 가능	국내에서 재료 및 시공장비의 조달이 가능	국내에서 재료 및 시공장비의 조달이 가능	국내에서 재료 및 시공장비의 조달이 가능

□ Category I - 자갈궤도 보강기술

- 기술의 정의 : 기존의 자갈도상을 그대로 사용하면서 자갈 상부의 궤광(침목, 체결구, 레일의 조합체)의 구조를 개선하여 하중 분담 성능을 높이거나 자갈층 자체 또는 하부 노반을 보강함으로써 궤도틀림을 저감 시키는 기술

○ 대표 기술

I-1 : 자갈궤도 궤광구조 개량 공법

■ 개념도

■ 공법의 특징

- 공법 개요 :
 - 기존의 자갈도상을 그대로 사용하면서 침목구조를 개선하여 하중 부담성능 및 궤도틀림 저감성능을 향상 시키는 방법
 - 침목저면을 넓혀 도상에 작용하는 압력을 낮추고 궤도지지강성을 연속화시켜 궤도틀림 진전을 대폭 저감시킬 수 있는 궤도구조
- 공법의 장단점 :
 - 장점 :
 - 기존의 자갈도상 및 기존의 시공장비 사용가능
 - 비용측면에 콘크리트화 궤도보다 경제적이고 기존의 궤도틀림 조정이 용이
 - 단점 :
 - 콘크리트궤도보다 궤도틀림이 크게 발생(보통자갈궤도의 1/30이하)
 - 새로운 유지보수장비 개발 필요

I-2 : 자갈층 폴리머 충전 공법

■ 개념도

■ 공법의 특징

- 공법 개요
 - 자갈층을 제거하고 geotextile 분리층 설치, 그 위에 하부 자갈도상을 포설한 후 특수 폴리머를 주입하여 자갈-폴리머 복합체를 형성 → 자갈층을 보강하는 효과
 - 상부 자갈도상은 부착되지 않은 상태로 포설
- 장단점
 - 장점 :
 - 상부 자갈과 침목 사이에는 부착되지 않으므로 자갈다짐 작업에 제한 없음
 - 자갈 사이의 공극을 채워 자갈층을 보강하는 효과에 의해 자갈입자의 이동, 재배열, 노반 관입 등을 방지 → 연약지반에 매우 효과적
 - 자갈-폴리머 복합체 사이에 공극이 존재 → 투수 가능
 - 단점 :
 - 자갈층을 완전히 제거한 후 재포설해야 하므로 차단시간 내 시공이 어려움.
 - 비싼 재료비

- 기술의 정의 : 근본적으로 자갈케도를 콘크리트케도로 개량하는 기술로 자갈층에 충전재를 주입하여 영구적으로 고결화하거나 자갈층을 제거하고 프리캐스트 콘크리트 슬래브로 대체하는 기술

II-1 : 포장궤도 공법

- 자갈층 제거 후 부착력을 확보한 세척자갈을 살포하고 새로운 계광조립후 열차운행을 통한 안정화(서행)
- 초속경무수축모르터를 이용하여 주입 → 열차 운행

- 장점 :
 - 적용대상의 제한이 없다(토공, 교량, 터널, 분기기, 건널선 등 특수구간)
 - 가발침이 필요없어 열차운행 안전성 확보
 - 기계화공정 적용시 일 평균 50m 부설 가능

- 힘응력에 대한 저항성 작다(무근 콘크리트)
- 높은 시공비용(약 16억/km, 2011년 기준)
- 시공이음매부 단차보강 필요

- 자갈층 제거 후 PC 슬래브(침목 2개 쪽)에 궤광을 고정, 슬래브와 레일을 임시 지지한 상태로 열차 운행(서행)
→ 특별히 고안된 궤광 가발침 구조 적용
- 슬래브 하부 콘크리트 채움(초조강) → 경화 후 궤광 가발침 제거 → 열차 개통

- 장점 :
 - 일 평균 2.5시간 이내 작업 가능(10m/일 부설)
 - 현장타설 콘크리트 감소 → 품질 향상
 - 기계화 시공을 통한 시공성 향상(자갈흡입차, 슬래브 설치용 크레인, 믹서 트레일러 등)
- 단점 :
 - 궤방 가발침이 설치된 상태에서 열차 운행
→ 작업구간 열차 서행 운전으로 운행 지연 초래
 - 복잡한 궤방 가발침 구조 → 터널 구간 외 적용 시 수평방향 지지구조 필요)
 - 높은 시공비용(약 19억/km, 2011년 기준)
 - 슬래브 연결부, 수평방향 지지구조 등 안정성 검토 필요

3.3 대안공법 선정을 위한 가치평가

3.3.1 토공구간

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	레광구조 개량 공법(Ⅰ-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(Ⅰ-2)			포장계도 공법(Ⅱ-1)			PC 슬래브계도 공법(Ⅱ-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
안전성 (25)	개량공사 중 열차주행안전성 (0.45)	공사 자재의 선로측면 임시 적재 필요성 및 그에 따른 열차주행안전성	0.05	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	·사전 가받침 공사의 필요성에 따라 임시 적재 필요하나 주행안전성에는 문제가 없음.	0.8	1
		공사구간과 기존구간과의 접속부에서 열차주행안전성	0.10	·접속부에서 레도지지강성차이에 따라 국부적인 레도틀림 발생가능성이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	2	·접속부에서 Polymer층이 파손될 가능성이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	2	·접속부에서 충전콘크리트가 파손될 가능성이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	2	·접속부에서 레도지지강성차이에 따라 국부적인 레도틀림 발생가능성이 있지만 그에 따른 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨. ·레일면고(RL)가 기존보다 낮아질 경우 접속부 자갈도상계도구간에 중구배 설치에 따라서 주행안전성이 다소 저하.	0.6	1.5
		열차차단시간 내 개량공사 마무리 가능성(차단시간 대비 공사 중간공정 소요시간)	0.10	·차단 시간 내에 공사 가능	0.8	2	·Polymer를 여러 층으로 단계별로 도포해야함에 따라 차량 차단시간 내에 공사를 마무리할 수 없을 가능성 높음. → 빠른 시간 내에 자갈을 도포할 수 있는 고유동성 초속경 Polymer 개발 필요.	0.0	0	·차단 시간 내에 공사 가능	0.8	2	·하부 노반처리와 레광(슬래브 포함)의 조립에 따른 차단 시간 초과 가능성 높음. → 신속 노반처리 및 레광 거치 공법 개발 필요	0.2	0.5
		가받침 설치 필요성 및 가받침의 구조안정성	0.10	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·받침이 필요하나 구조적으로 안정한 가받침 설치공법 개발이 여의치 않음. → 구조적 안정성을 확보할 수 있는 가받침 공법 개발 필요.	0.0	0
		개량공사 중 열차 운행에 따른 레도 구조안정성(파손 및 손상 가능성, 급속 대변형 가능성)	0.10	·도상자갈의 불안정에 따른 레도틀림 및 장출 발생가능성이 다소 있으나 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.4	1	·공사 후 열차운행시 Polymer층 파손 가능성이 있어 주행안전성이 다소 저하. → 빠른 시간 내에 자갈을 도포할 수 있는 고유동성 초속경 Polymer 개발 필요.	0.4	1	·콘크리트 충전 전 부직포 내의 자갈도상 불안정에 따라 레도틀림 및 장출 가능성이 있어 주행안전성이 다소 저하.	0.6	1.5	·가받침의 구조안정성 확보 방안의 어려움에 따라 슬래브의 대변형 가능성 존재. → 구조적 안정성을 확보할 수 있는 가받침 공법 개발 필요.	0.2	0.5

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(Ⅰ-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(Ⅰ-2)			포장궤도 공법(Ⅱ-1)			PC 슬래브궤도 공법(Ⅱ-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점 수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	파손 또는 고장에 대비한 비상(이중) 안전장치 (0.25)	운행 중 궤도의 대변형 발생 가능성(장출, 슬래브분리, 궤도부재 파손)	0.20	·근본적으로 도상저항력이 큰 궤광구조이어서 도상이 불안정하게 될 경우에도 장출 가능성 낮음.	0.6	3	·Polymer층 파손 가능성이 있으나 궤도의 대변형 가능성은 낮아 주행안정성에 문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	4	·충전슬래브층이 하부와 분리될 가능성은 있으나 측면에 도상이 존재함에 따라 궤도의 횡방향 대변형은 거의 발생하지 않을 것으로 판단됨.	0.8	4	·도상슬래브층이 하부와 분리될 가능성은 낮음	0.8	4
		궤결구의 위치 안정성	0.05	·침목사용으로 궤결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목사용으로 궤결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목사용으로 궤결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목 또는 도상슬래브에 궤결구를 안치함으로써 궤결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25
	육안점검의 용이성 (0.10)	중요구성품의 육안점검의 용이성	0.10	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5
	점검주기 (0.10)	궤도 구성품의 손상 또는 고장빈도	0.05	·궤광구조의 손상 가능성이 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.6	0.75	·Polymer층 크랙 또는 손상발생과 침목과 Polymer층의 분리 등의 빈도가 높을 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요.	0.4	0.5	·충전 슬래브층의 크랙 또는 손상 발생과 침목과 도상슬래브층의 분리 가능성이 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.8	1	·도상슬래브층과 하부층과 분리 가능성이 다소 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.8	1
		높은 점검주기를 요하는 궤도 구성품의 손상 또는 고장시 심각성	0.05	·궤광 파손시 안전상의 문제가 다소 발생할 가능성이 있음.	0.6	0.75	·Polymer층 크랙 또는 손상발생과 침목과 Polymer층의 분리가 발생할 경우 주행안정성이 저하 될 수 있음.	0.8	1	·충전 슬래브층의 크랙 또는 손상 발생과 침목과 도상슬래브층의 분리 시에 주행안정성이 저하 될 수 있음.	0.8	1	·도상슬래브층과 하부층과 분리 가능성이 다소 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.8	1
	대피승객 및 유지보수 요원의 이동안전성 (0.10)	대피승객 및 유지보수요원의 안전 및 이동편의성	0.05	·침목과 자갈도상과 높이차 발생과 자갈표면의 불규칙 등으로 이동 편의성 저하	0.6	0.75	·침목과 Polymer층과 높이차가 발생하여 이동편의성이 다소 저하되나 Polymer층의 표면이 편편하므로 이동 편의성은 보통	0.8	1	·침목과 도상콘크리트층과 높이차가 발생하여 이동편의성이 다소 저하되나 도상콘크리트층의 표면이 편편하므로 이동 편의성은 보통	0.8	1	·레일사이의 궤도표면 높이가 일정하여 이동편의성이 양호	1.0	1.25
		구명차량의 이동편의성	0.05	·궤도상으로 차량이동이 어려움	0.4	0.5	·양쪽 궤도사이를 포장하고 침목과 Polymer층과 높이차를 작게 할 경우 차량이동이 가능하나 편의성은 떨어짐.	0.6	0.75	·양쪽 궤도사이를 포장하고 침목과 Polymer층과 높이차를 작게 할 경우 차량이동이 가능하나 편의성은 떨어짐.	0.6	0.75	·양쪽 궤도사이를 포장할 경우 차량이동 가능	0.8	1
설계기준 및 성능 (25)	고속철도 운행선에서 생력화 궤도구조로서 의 성능 입증 정도 (0.30)	하중부담성능	0.10	·속철도에서 하중부담성능의 입증이 요망되나 설계상 어렵지 않을 것을 판단됨.	0.2	0.5	·속철도에서 하중부담성능의 입증이 요망됨	0.4	1	·하중부담성능이 대체로 입증되었다고 판단됨.	0.8	2	·하중부담성능이 입증되었다고 판단됨	0.8	2
		궤도선형(궤도틀림 포함) 유지성능	0.10	·궤도 선형유지 성능의 입증이 요망됨 →궤도틀림 저감 궤광구조 개발이 요망됨.	0.2	0.5	·궤도 선형유지 성능이 비교적 입증되었다고 판단됨.	0.6	1.5	·궤도 선형유지 성능이 비교적 입증되었다고 판단됨.	0.8	2	·궤도 선형유지 성능이 입증되었다고 판단됨.	0.8	2

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장궤도 공법(II-1)			PC 슬래브궤도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점 수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	공사 후 열차서행 속도 및 기간 요구정도 (0.15)	궤도시스템 장기 내구성	0.10	·궤광구조의 내구성 입증이 요망됨	0.2	0.5	·Polymer층의 장기 내구성 입증요망 ·Polymer층과 침목과의 일체화 성능 입증요망 →내구성능을 확보할 수 있는 폴리머 개발이 요망됨. →Polymer층과 침목과 일체화 설계 필요	0.0	0	·충전 슬래브층의 내구성 입증이 요망됨. ·도상슬래브층과 침목과의 일체화 성능 입증요망 → 내구성능을 확보할 수 있는 충전 슬래브층의 개발이 요망됨. → 도상슬래브층과 침목과 일체화 설계 필요	0.6	1.5	·도상슬래브층 하부 충전재료의 장기내구성 입증이 요망됨.	0.8	2
		서행 속도	0.08	·자갈도상 안정화를 위하여 180km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·폴리머 경화를 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·하부 자갈도상 안정화 및 콘크리트 경화를 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·가받침대 사용에 따른 안정성 확보 및 충전재 강도발현을 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.4	0.8
		서행 기간	0.07	·자갈도상 안정화를 위하여 장기간 열차서행 필요.	0.2	0.35	·폴리머 경화를 위하여 일정기간 서행 필요.	0.8	1.4	·하부 자갈도상 안정화 및 콘크리트 경화를 위하여 일정기간열차서행 필요.	0.8	1.4	·하부노반 안정화 및 충전재 경화를 위하여 장시간 열차서행 필요.	0.8	1.4
	궤도품질 유지 (0.20)	레일두부의 안정성	0.05	·자갈도상과 침목의 상대변위 발생에 따른 레일두부 변위 발생 가능성 존재	0.6	0.75	·폴리머층에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	1.0	1.25	·콘크리트도상에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	0.8	1	·콘크리트도상에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	0.8	1
		패드의 성능 유지 (탄성재 강성변화율)	0.05	·중방향으로 연속된 레일패드 사용으로 탄성재의 강성변화율은 크지 않을 것으로 판단됨	1.0	1.25	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1
		슬래브/침목의 위치 유지	0.05	·자갈도상 불안정화로 침목위치 이동 가능	0.6	0.75	·침목위치 이동 가능성 적으나 침목이 폴리머층과 분리 가능성 존재	0.8	1	·침목위치 이동 가능성 적으나 충전슬래브와 침목간 분리 가능성 존재	0.8	1	·슬래브/침목위치 가능성 거의 없음.	1.0	1.25
		콘크리트재료 내구성(손상 크랙발생 가능성)	0.05	·자갈열화에 따른 내구성 저하	0.4	0.5	·폴리머층 파손발생 가능성 높음 → 폴리머층 파손방지 대책 수립 필요	0.0	0	·충전층 크랙발생 가능성 존재 → 충전층 보강설계 필요	0.6	0.75	·콘크리트재료 크랙발생 가능성 낮음	0.8	1
	접속부 처리의 용이성 (0.15)	노반 및 궤도유형 변화구간 접속부 설계의 용이성	0.05	·도상자갈의 연속적 사용으로 접속부 설계 용이(레일패드 강성 조절 필요)	0.8	1	·접속부에서 폴리머층 파손 방지대책 필요.	0.6	0.75	·기존의 콘크리트궤도 접속부 설계적용 가능	0.8	1	·기존의 콘크리트궤도 접속부 설계적용 가능	0.8	1

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장폐도 공법(II-1)			PC 슬래브폐도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
		공사구간 접속부 처리의 용이성	0.10	·공사중 접속부 처리 용이	0.8	2	·공사중 접속부 처리 비교적 용이	0.6	1.5	·공사중 접속부 처리 대책 필요	0.6	1.5	·공사중 접속부 처리 대책 필요	0.6	1.5
	연약지반의 수용 수준 (0.20)	연약지반 수용수준	0.20	·노반침하 시 자갈 보충으로 케도틀림 조정 용이	1.0	5	·노반 침하 시 체결구 등으로 제한적으로 케도틀림 조정 가능 ·노반침하시 폴리머층 파손 가능성 높음	0.2	1	·노반 침하 시 체결구 등으로 제한적으로 케도틀림 조정 가능 ·노반침하시 충전층 일부 파손 가능성 있음	0.2	1	·노반 침하 시 체결구 등으로 제한적으로 케도틀림 조정 가능 ·노반침하시 슬래브 조인트부 일부 손상 가능성 있음	0.2	1
환경성 (10)	오염물질의 발생 가능성 및 영향 (0.30)	공사 중 분진	0.10	·자갈제거 및 포설과정에 분진 발생	0.8	0.8	·자갈 제거, 세척, 포설과정에 분진발생 ·블라스팅 시 집진기를 설치할 경우 환경문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.6	0.6	·자갈 제거, 세척, 포설과정에 분진발생 ·블라스팅 시 집진기를 설치할 경우 환경문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.6	0.6	·자갈제거 과정에 분진 발생	0.8	0.8
		공사 중 오픈수 발생 정도	0.10	·오픈수 미발생	1.0	1	·블라스팅에 의하여 자갈을 세척할 경우 오픈수 미발생	1.0	1	·블라스팅에 의하여 자갈을 세척할 경우 오픈수 미발생	1.0	1	·오픈수 미발생	1.0	1
		운영 중 오염물질의 침입의 영향	0.10	·오염물질 침입 시 자갈도상 내에 누적되어 케도성능(도상저항력)을 저하시킬 가능성 있음	0.6	0.6	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8
	소음 (0.35)	공사중 소음레벨	0.10	·화차 운행 및 자갈 제거, 포설 과정에 소음발생	0.6	0.6	·화차 운행 및 자갈 제거, 세척, 포설 과정에 소음발생	0.4	0.4	·화차 운행 및 자갈 제거, 세척, 포설 과정에 소음발생	0.4	0.4	·화차 운행 및 자갈 제거, 포설 과정, 그리고 가받침 지지대 공사과정(마이크로 파일링 공사)에 소음 발생. → 저소음 가받침 지지대 공법 개발 필요	0.0	0
		운영소음레벨	0.25	·자갈도상과 동등레벨 소음발생 예상	1.0	2.5	·자갈도상보다 2~3 dB 높은 소음발생 예상	0.6	1.5	·자갈도상보다 3~5 dB 높은 소음발생 예상	0.4	1	·자갈도상보다 3~5 dB 높은 소음발생 예상	0.4	1
	진동 (0.20)	공사중 진동레벨	0.10	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·슬래브 하부의 자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1
		운영 진동레벨	0.10	·종방향 탄성패드의 연속화로 자갈도상케도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·고결된 폴리머층으로 인하여 자갈도상케도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·고결된 충전층으로 인하여 자갈도상케도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·슬래브층의 사용으로 자갈도상케도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장궤도 공법(II-1)			PC 슬래브궤도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점 수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	외관 (0.10)	청소의 용이성	0.05	·자갈도상궤도와 동등	0.8	0.4	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5
		배수능력	0.05	·자갈도상궤도와 동등	0.8	0.4	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5
	내수성 및 내열성 (0.05)	내수성(내열성 포함)	0.05	·내수성 양호	1.0	0.5	·습윤상태로 장기 노출시 폴리머층 내구성 저하예상	0.6	0.3	·내수성 보통	1.0	0.5	·내수성 양호	1.0	0.5
시공성 (20)	시공시간 (0.20)	시공 소요시간 (궤도 설치 공정 뿐 아니라 하부 기초 설치 작업을 포함한 궤도 설치 이전에 필요한 모든 사전 준비 작업 시간 포함)	0.2	·자갈 제거, 자갈다짐, 궤광설치, 자갈다짐과정 등 공사과정이 단순함.	0.8	3.2	·자갈 제거, 세척, 단계적 폴리머 포설 등의 작업이 같은 구간에 이루어져야하기 때문에 일별로 긴 차단시간 요구. ·공사단계를 일별로 분할하여 공사하기 어려움. →차단시간내에 공사할 수 있는 공법 개발 필요.	0.0	0	·자갈 제거, 세척, 충전 등의 공정에 따라 비교적 긴 작업시간 요구. ·공사단계를 일별로 분할하여 공사하는 것이 가능함.	0.4	1.6	·가받침지대공사 및 자갈 제거, 하부노반공사, 슬래브부설, 가받침지지, 충전작업 등의 공정에 따라 긴 작업시간 요구. ·공사단계를 일별로 분할하여 공사하는 것이 가능함.	0.2	0.8
	시공의 복잡성과 자원 투입 정도 (0.20)	시공방법의 복잡성, 인력 및 자원 투입정도, 자동화 수준 등	0.2	·자동화 용이, 공정 단순 → 자동화 장비 개발 필요	0.8	3.2	·자동화 다소 어려움, 공정 보통 → 자동화 장비 개발 필요	0.4	1.6	·자동화 다소 어려움, 공정 보통 → 자동화 장비 개발 필요	0.4	1.6	·자동화 어려움, 공정 복잡 → 부분 자동화 장비 개발 필요	0.2	0.8
	선형조정 용이성 (0.10)	선형조정 작업의 난이도(조정 작업의 난이도, 측량 방법의 난이도, 자동화 수준 등)	0.05	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능) ·선형조정 작업 후 초기 궤도틀림 발생 가능성 높음.	0.6	0.6	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능)	0.6	0.6	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능)	0.6	0.6	·가받침에 의한 선형조정 필요(고난이도의 측량 및 단계적 조정작업 요구) →선형조정 작업이 용이한 가받침 시스템 개발 필요.	0.4	0.4
		선형조정의 단순성 (선형조정 시 이용하는 구성품의 개수와 최종 선형 조정 시까지 필요한 조정 작업 및 측량 시행횟수 등)	0.05	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도(단순)	0.8	0.8	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도	0.8	0.8	·자갈궤도와 동일 레벨 정도 난이도	0.8	0.8	·다단계 측량 및 조정작업 필요	0.4	0.4
	콘크리트 타설 작업의 난이도 (0.10)	콘크리트 타설 작업소요시간, alignment 작업과의 간섭여부, 콘크리트 운반 방법, 자동화 수준, 현장타설/ 공장제작 비율 등	0.1	·해당사항 없음	1.0	2	·장시간 폴리머 포설시간 요구, 폴리머 이동 및 포설작업 간단	0.8	1.6	·충전콘크리트 운송 작업 및 주입작업 다소 불편	0.6	1.2	·충전제 운송 및 주입작업 간단	0.8	1.6

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장케도 공법(II-1)			PC 슬래브케도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	공정 간의 상호연관성 (0.10)	하부 지반공사, 배수공사, 콘크리트 타설공, 선형 조정, 공장 제작 부품의 조달 등 개별 공정 간의 상호 연관성	0.1	·공정간 상호연관성 낮음	0.8	1.6	·공정간 상호연관성 보통	0.6	1.2	·공정간 상호연관성 높음	0.4	0.8	·공정간 상호연관성 매우 높음	0.2	0.4
	제한된 접근성의 극복 가능성 (0.20)	접근성이 제한되는 경우 설치 가능성	0.2	·접근성이 제한되는 경우 설치 소 용이	0.8	3.2	·접근성이 제한되는 경우 설치 용이	0.8	3.2	·접근성이 제한되는 경우 설치 용이	0.8	3.2	·접근성이 제한되는 경우 설치 다소 어려움	0.6	2.4
	재료 확보 가능성 (0.10)	케도에 사용하는 재료의 종류와 수량, 확보 가능성	0.1	·특수 케광구조 필요	0.6	1.2	·케도재료 확보 용이 ·특수 폴리머 확보 어려움	0.4	0.8	·케도재료 확보 용이 ·충전 콘크리트 필요	0.6	1.2	·슬래브, 충전재 필요	0.6	1.2
유지관리 성 (15)	케도 유지보수 장비 및 보수품 (0.30)	특수 유지보수장비 개발 필요성	0.10	·특수 유지보수장비 개발이 필요	0.4	0.6	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1.5	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1.5	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1.5
		보수장비 운용 용이성	0.10	·별도 보수장비 운용 필요	0.6	0.9	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1.5	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1.5	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1.5
		보수품 조달 및 보관 용이성	0.10	·케도자체 조달 및 보관 용이	0.8	1.2	·폴리머 조달 또는 보관이 다소 어려움	0.6	0.9	·충전콘크리트 조달이 다소 어려움	0.6	0.9	·슬래브 보관 및 충전재 조달이 어려움	0.6	0.9
	케도틀림 조정의 용이성 (0.20)	케도틀림 발생가능성	0.1	·케도틀림 발생가능성 존재	0.2	0.3	케도틀림 발생가능성 다소 존재	0.6	0.9	·케도틀림 발생가능성 거의 없음	0.8	1.2	·케도틀림 발생가능성 거의 없음	0.8	1.2
		조정의 용이성	0.1	·MIT 방식에 의한 케도틀림 조정 용이	0.8	1.2	·제한된 범위에서 체결구에 의한 케도틀림 조정 가능	0.6	0.9	·제한된 범위에서 체결구에 의한 케도틀림 조정 가능	0.6	0.9	·제한된 범위에서 체결구에 의한 케도틀림 조정 가능	0.6	0.9
	케도 대변형 조정의 용이성 (0.20)	대변형 발생가능성	0.10	·대변형 발생가능성 높음	0.4	0.6	·대변형 발생가능성 다소 있음	0.6	0.9	·대변형 발생가능성 낮음	0.8	1.2	·대변형 발생가능성 낮음	0.8	1.2
		조정의 용이성	0.10	·대변형 조정 용이	0.8	1.2	·대변형 조정이 매우 어려움	0.4	0.6	·대변형 조정이 매우 어려움	0.4	0.6	·대변형 조정이 매우 어려움	0.4	0.6
	점검주기 및 점검방법 (0.10)	점검주기	0.05	·비교적 높은 빈도의 점검주기 필요	0.4	0.3	·중간 빈도의 점검주기 필요	0.6	0.45	·낮은 빈도의 점검주기 필요	0.8	0.6	·낮은 빈도의 점검주기 필요	0.8	0.6
		점검방법	0.05	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.6	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.6	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.6	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.6
	케도구성품의 갱환의 용이성 (0.20)	교체대상 케도구성품의 수	0.10	·레일, 체결구, 침목, 자갈	0.4	0.6	·레일, 체결구	0.8	1.2	·레일, 체결구	0.8	1.2	·레일, 체결구	0.8	1.2
		교체를 위한 접근의 용이성	0.10	·침목, 자갈 등의 운반 접근성이 다소 용이하지 않음	0.6	0.9	·접근성 양호	0.8	1.2	· 접근성 양호	0.8	1.2	· 접근성 양호	0.8	1.2

표 3.3-1. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(토공구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장케도 공법(II-1)			PC 슬래브케도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
복구성 (5)	열차 탈선에 따른 케도 연장 4km에 걸친 사소한 케도손상 (0.40)	소요시간	0.24	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198
		측면케도 접근 필요성	0.04	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2
	열차 탈선에 따른 케도 연장 2km에 걸친 심각한 케도손상(단선 으로만 케도보수 작업을 수행하는 경우) (0.40)	소요시간	0.24	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용이 많지 않음	1.00	0.6	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.396	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.396	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용이 많지 않음	1.00	0.6
		측면케도 접근 필요성	0.04	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2
	열차 탈선에 따른 케도 연장 2km에 걸친 심각한 케도손상(복선 으로 케도보수 작업을 수행하는 경우) (0.20)	소요시간	0.12	·1주 이내 보수 가능	1.00	0.6	·3주 이상 소요	0.33	0.198	·3주이상 소요	0.33	0.198	·1주 이내 보수 가능	1.00	0.6
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.06	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099
		측면케도 접근 필요성	0.02	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002
합계						69.95			60.28			68.68			61.84

3.3.2 교량 및 터널구간

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(Ⅰ-2)			포장케도 공법(Ⅱ-1)			PC 슬래브케도 공법(Ⅱ-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점 수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
안전성 (25)	개량공사 중 열차주행안전성 (0.45)	공사 자재의 선로측면 임시 적재 필요성 및 그에 따른 열차주행안전성	0.05	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	· 임시 적재 필요 없음	1.0	1.25	·사전 가받침 공사의 필요성에 따라 임시 적재 필요하나 주행안전성에는 문제가 없음.	0.8	1
		공사구간과 기존구간과의 접속부에서 열차주행안전성	0.10	·접속부에서 케도지지강성차이에 따라 국부적인 케도틀림 발생가능성이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	2	·접속부에서 Polymer층이 파손될 가능이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	2	·접속부에서 콘크리트층이 파손될 가능이 있지만 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨..	0.8	2	·접속부에서 케도지지강성차이에 따라 국부적인 케도틀림 발생가능성이 있지만 그에 따른 주행안전성에는 문제가 크지 않을 것으로 판단됨. ·레일레벨(RL)이 기존보다 낮아질 경우 접속부 자갈도상케도구간에 중구배 설치에 따라서 주행안전성이 다소 저하.	0.6	1.5
		열차차단시간 내 개량공사 마무리 가능성(차단시간 대비 공사 중간공정 소요시간)	0.10	·차단 시간 내에 공사 가능	0.8	2	·Polymer를 여러 층으로 단계별로 도포해야함에 따라 차량 차단시간 내에 공사를 마무리할 수 없을 가능성 높음. → 빠른 시간 내에 자갈을 도포할 수 있는 고유동성 초속경 Polymer 개발 필요.	0.0	0	·차단 시간 내에 공사 가능	0.8	2	· 케광(슬래브 포함)의 조립에 따른 차단 시간 초과 가능성 높음. → 케광 거치 공법 개발 필요	0.4	1
		가받침 설치 필요성 및 가받침의 구조안전성	0.10	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·가받침 필요 없음	1.0	2.5	·가받침이 필요함. → 구조적 안정성을 확보할 수 있는 가받침 공법 개발 필요.	0.4	1
		개량공사 중 열차 운행에 따른 케도 구조안전성(파손 및 손상 가능성, 급속 대변형 가능성)	0.10	·도상자갈의 불안정에 따른 케도틀림 및 장출 발생가능성이 다소 있음.	0.4	1	·공사 후 열차운행시 Polymer층 파손 가능성이 있어 주행안전성이 다소 저하. → 빠른 시간 내에 자갈을 도포할 수 있는 고유동성 초속경 Polymer 개발 필요.	0.4	1	·콘크리트 충전 전 부직포 내의 자갈도상 불안정에 따라 케도틀림 및 장출 가능성이 있어 주행안전성이 다소 저하.	0.6	1.5	·가받침의 구조안전성 저하에 따라 슬래브의 대변형 가능성 다소 존재.	0.4	1
	파손 또는 고장에 대비한 비상(이중) 안전장치 (0.25)	운행 중 케도의 대변형 발생 가능성(장출, 슬래브분리, 케도부재 파손)	0.20	·근본적으로 도상저항력이 큰 케광구조이나 도상이 불안정하게 될 경우에도 장출 가능성은 다소 있음.	0.6	3	·Polymer층 파손 가능성이 있으나 케도의 대변형 가능성은 낮아 주행안전성에 문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.8	4	·충전슬래브층이 하부와 분리될 가능성은 있으나 측면에 도상이 존재함에 따라 케도의 행방향 대변형은 거의 발생하지 않을 것으로 판단됨.	0.8	4	·도상슬래브층이 하부와 분리될 가능성은 낮음	0.8	4

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(Ⅰ-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(Ⅰ-2)			포장궤도 공법(Ⅱ-1)			PC 슬래브궤도 공법 (Ⅱ-2)			
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점 수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	
		체결구의 위치 안정성	0.05	·침목사용으로 체결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목사용으로 체결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목사용으로 체결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	·침목 또는 도상슬래브에 체결구를 안치함으로써 체결구의 위치 안정성 확보	1.0	1.25	
	육안점검의 용이성 (0.10)	중요구성품의 육안점검의 용이성	0.10	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	·궤도 중요 부재의 육안 점검 용이	1.0	2.5	
	점검주기 (0.10)	궤도 구성품의 손상 또는 고장빈도	0.05	·궤광구조의 손상 가능성이 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.6	0.75	·Polymer층 크랙 또는 손상발생과 침목과 Polymer층의 분리 등의 빈도가 높을 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요.	0.4	0.5	·충전 슬래브층의 크랙 또는 손상 발생과 침목과 도상슬래브층의 분리 가능성이 다소 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.6	0.75	·도상슬래브층과 하부층과 분리 가능성이 다소 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.8	1	
		높은 점검주기를 요하는 궤도 구성품의 손상 또는 고장시 심각성	0.05	·궤광 파손시 안전상의 문제가 다소 발생할 가능성이 있음.	0.6	0.75	·Polymer층 크랙 또는 손상발생과 침목과 Polymer층의 분리가 발생할 경우 주행안전성이 저하 될 수 있음.	0.8	1	·충전 슬래브층의 크랙 또는 손상 발생과 침목과 도상슬래브층의 분리 시에 주행안전성이 저하 될 수 있음.	0.8	1	·도상슬래브층과 하부층과 분리 가능성이 다소 있으므로 안전설계가 요구됨.	0.8	1	
	대피승객 및 유지보수 요원의 이동안전성 (0.10)	대피승객 및 유지보수요원의 안전 및 이동편의성	0.05	·침목과 자갈도상과 높이차 발생과 자갈표면의 불규칙 등으로 이동 편의성 저하	0.6	0.75	·침목과 Polymer층과 높이차가 발생하여 이동편의성이 다소 저하되나 Polymer층의 표면이 편편하므로 이동 편의성은 보통	0.8	1	·침목과 도상콘크리트층과 높이차가 발생하여 이동편의성이 다소 저하되나 도상콘크리트층의 표면이 편편하므로 이동 편의성은 보통	0.8	1	·레일사이의 궤도표면 높이가 일정하여 이동편의성이 양호	1.0	1.25	
		구멍차량의 이동편의성	0.05	·궤도상으로 차량이동이 어려움	0.4	0.5	·양쪽 궤도사이를 포장하고 침목과 Polymer층과 높이차를 작게 할 경우 차량이동이 가능하나 편의성은 떨어짐.	0.6	0.75	·양쪽 궤도사이를 포장하고 침목과 Polymer층과 높이차를 작게 할 경우 차량이동이 가능하나 편의성은 떨어짐.	0.6	0.75	·양쪽 궤도사이를 포장할 경우 차량이동 가능	0.8	1	
	설계기준 및 성능 (25)	고속철도 운행선에서 생력화 궤도구조로서 의 성능 입증 정도 (0.30)	하중부담성능	0.10	·고속철도에서 하중부담성능의 입증이 요망되나 설계상 어렵지 않을 것을 판단됨.	0.2	0.5	·고속철도에서 하중부담성능의 입증이 요망됨	0.4	1	·하중부담성능이 입증되었다고 판단됨.	0.6	1.5	·하중부담성능이 입증되었다고 판단됨	0.8	2
		궤도선형(궤도틀림 포함) 유지성능	0.10	·궤도 선형유지 성능의 입증이 요망됨 →궤도틀림 저감 궤광구조 개발이 요망됨.	0.2	0.5	·궤도 선형유지 성능이 비교적 입증되었다고 판단됨.	0.6	1.5	·궤도 선형유지 성능이 입증되었다고 판단됨.	0.8	2	·궤도 선형유지 성능이 입증되었다고 판단됨.	0.8	2	

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장케도 공법(II-1)			PC 슬래브케도 공법 (II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	공사 후 열차서행 속도 및 기간 요구정도 (0.15)	케도시스템 장기 내구성	0.10	·케광구조의 내구성 입증이 요망됨	0.2	0.5	·Polymer층의 장기 내구성 입증요망 ·Polymer층과 침목과의 일체화 성능 입증요망 →내구성능을 확보할 수 있는 폴리머 개발이 요망됨. →Polymer층과 침목과 일체화 설계 필요	0.0	0	·충전 슬래브층의 내구성 입증이 요망됨. ·도상슬래브층과 침목과의 일체화 성능 입증요망 → 내구성능을 확보할 수 있는 충전 슬래브층의 개발이 요망됨. → 도상슬래브층과 침목과 일체화 설계 필요	0.6	1.5	·도상슬래브층 하부 충전재료의 장기내구성 입증이 요망됨.	0.8	2
		서행 속도	0.08	·자갈도상 안정화를 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·폴리머 경화를 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·하부 자갈도상 안정화 및 콘크리트 경화를 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.6	1.2	·가받침대 사용에 따른 안정성 확보 및 충전재 강도발현을 위하여 90km/h 이하 열차 감속 필요.	0.4	0.8
		서행 기간	0.07	·자갈도상 안정화를 위하여 장기간 열차서행 필요.	0.2	0.35	·폴리머 경화를 위하여 일정기간 서행 필요.	0.8	1.4	·하부 자갈도상 안정화 및 콘크리트 경화를 위하여 일정기간열차서행 필요.	0.8	1.4	·하부노반 안정화 및 충전재 경화를 위하여 일정기간 열차서행 필요.	0.8	1.4
		레일두부의 안정성	0.05	·자갈도상과 침목의 상대변위 발생에 따른 레일두부 변위 발생 가능성 존재	0.6	0.75	·폴리머층에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	0.8	1	·콘크리트도상에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	0.8	1	·콘크리트도상에 침목 이 고정되어 레일두부 안정성 확보	0.8	1
		패드 성능 유지 (탄성재 강성변화율)	0.05	·중방향으로 연속된 레일패드 사용으로 탄성재의 강성변화율은 크지 않을 것으로 판단됨	1.0	1.25	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1	·사용 체결구 성능에 의존	0.8	1
		슬래브/침목의 위치 유지	0.05	·자갈도상 불안정화로 침목위치 이동 가능	0.6	0.75	·침목위치 이동 가능성 적으나 침목이 폴리머층과 분리 가능성 존재	0.8	1	·침목위치 이동 가능성 적으나 충전슬래브와 침목간 분리 가능성 존재	0.8	1	·슬래브/침목위치 가능성 거의 없음.	1.0	1.25
		콘크리트재료 내구성(손상 크랙발생 가능성)	0.10	·자갈열화에 따른 내구성 저하	0.4	1	·폴리머층 파손발생 가능성 높음 → 폴리머층 파손방지 대책 수립 필요	0.0	0	·충전층 크랙발생 가능성 존재 → 충전층 보강설계 필요	0.6	1.5	·콘크리트재료 크랙발생 가능성 낮음	0.8	2
	접속부 처리의 용이성 (0.20)	노반 및 케도유형 변화구간 접속부 설계의 용이성	0.10	·도상자갈의 연속적 사용으로 접속부 설계 용이(레일패드 강성 조절 필요)	0.8	2	·접속부에서 폴리머층 파손 방지대책 필요.	0.6	1.5	·기존의 콘크리트케도 접속부 설계적용 가능	0.6	1.5	·기존의 콘크리트케도 접속부 설계적용 가능	0.8	2

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장궤도 공법(II-1)			PC 슬래브궤도 공법 (II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
		공사구간 접속부 처리의 용이성	0.10	·공사중 접속부 처리 용이	0.8	2	·공사중 접속부 처리 대책 필요	0.6	1.5	·공사중 접속부 처리 대책 필요	0.6	1.5	·공사중 접속부 처리 대책 필요	0.6	1.5
	연약지반의 수용 수준 (0.10)	연약지반 수용수준	0.10	·해당사항 없음	1.0	2.5	·해당사항 없음	1.0	2.5	·해당사항 없음	1.0	2.5	·해당사항 없음	1.0	2.5
환경성 (10)	오염물질의 발생 가능성 및 영향 (0.30)	공사 중 분진	0.10	·궤광부설과정에 다소 분진 발생 가능성 있음	0.8	0.8	·자갈 제거, 세척, 포설과정에 분진발생 ·블라스팅 시 집진기를 설치할 경우 환경문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.6	0.6	·자갈 제거, 세척, 포설과정에 분진발생 ·블라스팅 시 집진기를 설치할 경우 환경문제는 크지 않을 것으로 판단됨.	0.6	0.6	·자갈제거 및 이송 과정에 분진 발생	0.8	0.8
		공사 중 오폐수 발생 정도	0.10	·오폐수 미발생	1.0	1	·블라스팅에 의하여 자갈을 세척할 경우 오폐수 미발생	1.0	1	·블라스팅에 의하여 자갈을 세척할 경우 오폐수 미발생	1.0	1	·오폐수 미발생	1.0	1
		운영 중 오염물질의 침입의 영향	0.10	·오염물질 침입 시 자갈도상 내에 누적되어 궤도성능(도상저항력)을 저하시킬 가능성 있음	0.6	0.6	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8	·우수 및 표면세척으로 오염물질 상당부분 제거 가능	0.8	0.8
	소음 (0.35)	공사중 소음레벨	0.10	·화차 운행 및 자갈 제거, 포설 과정에 소음발생	0.6	0.6	·화차 운행 및 자갈 제거, 세척, 포설 과정에 소음발생	0.4	0.4	·화차 운행 및 자갈 제거, 세척, 포설 과정에 소음발생	0.4	0.4	·화차 운행 및 자갈 제거, 포설 과정, 그리고 가받침 지지대 공사과정에 소음발생	0.6	0.6
		운영소음레벨	0.25	·자갈도상과 동등레벨 소음발생 예상	1.0	2.5	·자갈도상보다 2~3 dB 높은 소음발생 예상	0.6	1.5	·자갈도상보다 3~5 dB 높은 소음발생 예상	0.4	1	·자갈도상보다 3~5 dB 높은 소음발생 예상	0.4	1
	진동 (0.20)	공사중 진동레벨	0.10	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1	·슬래브 하부의 자갈다짐과정에 다소의 진동이 발생할 것으로 예상되나 환경적 문제는 없을 것으로 판단됨.	1.0	1
		운영 진동레벨	0.10	·중방향 탄성패드의 연속화로 자갈도상궤도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·고결된 폴리머층으로 인하여 자갈도상궤도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·고결된 충전층으로 인하여 자갈도상궤도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1	·슬래브층의 사용으로 자갈도상궤도보다 진동이 저감될 것으로 예상.	1.0	1
	외관 (0.10)	청소의 용이성	0.05	·자갈도상궤도와 동등	0.8	0.4	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5
		배수능력	0.05	·자갈도상궤도와 동등	0.8	0.4	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5	·자갈도상궤도보다 유리	1.0	0.5

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	레광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장레도 공법(II-1)			PC 슬래브레도 공법 (II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	내수성 및 내염성 (0.05)	내수성(내염성 포함)	0.05	·내수성 양호	1.0	0.5	·습윤상태로 장기 노출시 폴리머층 내구성 저하예상	0.6	0.3	·내수성 보통	1.0	0.5	·내수성 양호	1.0	0.5
시공성 (25)	시공시간 (0.20)	시공 소요시간 (레도 설치 공정 뿐 아니라 하부 기초 설치 작업을 포함한 레도 설치 이전에 필요한 모든 사전 준비 작업 시간 포함)	0.2	·자갈 제거, 자갈다짐, 레광설치, 자갈다짐과정 등 공사과정이 단순함.	0.8	4	·자갈 제거, 세척, 단계적 폴리머 포설 등의 작업이 같은 구간에 이루어져야하기 때문에 긴 차단시간 요구. ·공사단계를 날짜를 변경하여 공사하기 어려움. →차단시간내에 공사할 수 있는 공법 개발 필요.	0.0	0	·자갈 제거, 세척, 충전 등의 공정에 따라 비교적 긴 작업시간 요구. ·공사단계를 일별로 분할하여 공사하는 것이 가능함.	0.4	2	·가받침지지대공사 및 자갈 제거, 하부노반공사, 슬래브부설, 가받침지지, 충전작업 등의 공정에 따라 긴 작업시간 요구. ·공사단계를 일별로 분할하여 공사하는 것이 가능함.	0.2	1
	시공의 복잡성과 자원 투입 정도 (0.20)	시공방법의 복잡성, 인력 및 자원 투입정도, 자동화 수준 등	0.2	·자동화 용이, 공정 단순 → 자동화 장비 개발 필요	0.8	4	·자동화 다소 어려움, 공정 보통 → 자동화 장비 개발 필요	0.4	2	·자동화 다소 어려움, 공정 보통 → 자동화 장비 개발 필요	0.4	2	·자동화 어려움, 공정 복잡 → 부분 자동화 장비 개발 필요	0.2	1
	선형조정 용이성 (0.10)	선형조정 작업의 난이도(조정 작업의 난이도, 측량 방법의 난이도, 자동화 수준 등)	0.05	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능) ·선형조정 작업 후 초기 레도틀림 발생 가능성 높음.	0.6	0.75	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능)	0.6	0.75	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도(MTT 장비 사용가능)	0.6	0.75	·가받침에 의한 선형조정 필요(고난이도의 측량 및 단계적 조정작업 요구) →선형조정 작업이 용이한 가받침 시스템 개발 필요.	0.4	0.5
		선형조정의 단순성 (선형조정 시 이용하는 구성품의 개수와 최종 선형 조정 시까지 필요한 조정 작업 및 측량 시행횟수 등)	0.05	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도(단순)	0.8	1	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도	0.8	1	·자갈레도와 동일 레벨 정도 난이도	0.8	1	·다단계 측량 및 조정작업 필요	0.4	0.5
	콘크리트 타설 작업의 난이도 (0.10)	콘크리트 타설 작업소요시간, alignment 작업과의 간섭여부, 콘크리트 운반 방법, 자동화 수준, 현장타설/ 공장제작 비율 등	0.1	·해당사항 없음	1.0	2.5	·장시간 폴리머 포설시간 요구, 폴리머 이동 및 포설작업 간단	0.8	2	·충전콘크리트 운송 작업 및 주입작업 다소 불편	0.6	1.5	·충전재 운송 및 주입작업 간단	0.8	2
	공정 간의 상호연관성 (0.10)	하부 지반공사, 배수공사, 콘크리트 타설공, 선형 조정, 공장 제작 부품의 조달 등 개별 공정 간의 상호 연관성	0.1	·공정간 상호연관성 낮음	0.8	2	·공정간 상호연관성 보통	0.6	1.5	·공정간 상호연관성 높음	0.6	1.5	·공정간 상호연관성 매우 높음	0.6	1.5

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	궤광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장궤도 공법(II-1)			PC 슬래브궤도 공법(II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
	제한된 접근성의 극복 가능성 (0.20)	접근성이 제한되는 경우 설치 가능성	0.2	·접근성이 제한되는 경우 설치 소 용이	0.8	4	·접근성이 제한되는 경우 설치 용이	0.8	4	·접근성이 제한되는 경우 설치 용이	0.8	4	·접근성이 제한되는 경우 설치 다소 어려움	0.6	3
	재료 확보 가능성 (0.10)	궤도에 사용하는 재료의 종류와 수량, 확보 가능성	0.1	·특수 궤광구조 필요	0.6	1.5	·궤도재료 확보 용이 ·특수 폴리머 확보 어려움	0.4	1	·궤도재료 확보 용이 ·충전 콘크리트 필요	0.6	1.5	·슬래브, 충전재 필요	0.6	1.5
유지관리성 (10)	궤도 유지보수 장비 및 보수품 (0.30)	특수 유지보수장비 개발 필요성	0.10	·특수 유지보수장비 개발이 필요	0.4	0.4	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1	·특수 유지보수장비 개발이 필요 없음	1.0	1
		보수장비 운용 용이성	0.10	·별도 보수장비 운용 필요	0.6	0.6	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1	·별도 보수장비 운용 필요 없음	1.0	1
		보수품 조달 및 보관 용이성	0.10	·궤도자체 조달 및 보관 용이	0.8	0.8	·폴리머 조달 또는 보관이 다소 어려움	0.6	0.6	·충전콘크리트 조달이 다소 어려움	0.6	0.6	·슬래브 보관 및 충전재 조달이 어려움	0.6	0.6
	궤도틀림 조정의 용이성 (0.20)	궤도틀림 발생가능성	0.1	·궤도틀림 발생가능성 존재	0.2	0.2	·궤도틀림 발생가능성 다소 존재	0.6	0.6	·궤도틀림 발생가능성 거의 없음	0.8	0.8	·궤도틀림 발생가능성 거의 없음	0.8	0.8
		조정 용이성	0.1	·MIT 방식에 의한 궤도틀림 조정 용이	0.8	0.8	·제한된 범위에서 체결구에 의한 궤도틀림 조정 가능	0.6	0.6	·제한된 범위에서 체결구에 의한 궤도틀림 조정 가능	0.6	0.6	·제한된 범위에서 체결구에 의한 궤도틀림 조정 가능	0.6	0.6
	궤도 대변형 조정의 용이성 (0.20)	대변형 발생가능성	0.10	·대변형 발생가능성 높음	0.4	0.4	·대변형 발생가능성 다소 있음	0.6	0.6	·대변형 발생가능성 낮음	0.8	0.8	·대변형 발생가능성 낮음	0.8	0.8
		조정 용이성	0.10	·대변형 조정 용이	0.8	0.8	·대변형 조정이 매우 어려움	0.4	0.4	·대변형 조정이 매우 어려움	0.4	0.4	·대변형 조정이 어려움	0.6	0.6
	점검주기 및 점검방법 (0.10)	점검주기	0.05	·비교적 높은 빈도의 점검주기 필요	0.4	0.2	·중간 빈도의 점검주기 필요	0.6	0.3	·낮은 빈도의 점검주기 필요	0.8	0.4	·낮은 빈도의 점검주기 필요	0.8	0.4
		점검방법	0.05	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.4	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.4	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.4	·기존의 육안점검 및 검측 및 탐상 장비 사용 가능	0.8	0.4
	궤도구성품의 갱新的 용이성 (0.20)	교체대상 궤도구성품의 수	0.10	·레일, 체결구, 침목, 자갈	0.4	0.4	·레일, 체결구	0.8	0.8	·레일, 체결구	0.8	0.8	·레일, 체결구	0.8	0.8
		교체를 위한 접근 용이성	0.10	·침목, 자갈 등의 운반 접근성이 다소 용이하지 않음	0.6	0.6	·접근성 양호	0.8	0.8	·접근성 양호	0.8	0.8	·접근성 양호	0.8	0.8

표 3.3-2. 후보기술군에 대한 가치평가 결과(교량 및 터널구간)

그룹 (배점)	평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	케광구조 개량 공법(I-1)			자갈층 Polymer 충전 공법(I-2)			포장케도 공법(II-1)			PC 슬래브케도 공법 (II-2)		
				평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수	평가근거	평가점수 /5(또는 3)	가중치 적용점수
복구성 (5)	열차 탈선에 따른 케도 연장 4km에 걸친 사소한 케도손상 (0.40)	소요시간	0.24	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.198
		측면케도 접근 필요성	0.04	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2
	열차 탈선에 따른 케도 연장 2km에 걸친 심각한 케도손상(단선 으로만 케도보수 작업을 수행하는 경우) (0.40)	소요시간	0.24	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1~3주일 내 보수 가능	0.66	0.792	·1주일 내 보수 가능	1.00	1.2
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용이 많지 않음	1.00	0.6	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.396	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.396	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용이 많지 않음	1.00	0.6
		측면케도 접근 필요성	0.04	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2	·측면케도 사용이 필요 없음.	1.00	0.2
	열차 탈선에 따른 케도 연장 2km에 걸친 심각한 케도손상(복선 으로 케도보수 작업을 수행하는 경우) (0.20)	소요시간	0.12	·1주 이내 보수 가능	1.00	0.6	·3주 이상 소요	0.33	0.198	·3주이상 소요	0.33	0.198	·1주 이내 보수 가능	1.00	0.6
		보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.06	·보수품 확보를 위한 다소 많은 비용 요구	0.66	0.198	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099	·보수품 확보를 위한 많은 비용 요구	0.33	0.099
		측면케도 접근 필요성	0.02	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002	·측면케도 사용이 필요 없음.	0.02	0.002
합계						70.10			61.18			70.13			67.34

3.3.3 결과 분석

가. 토공구간

□ 토공구간에 대한 가치평가 결과 궤광구조 개량 공법, 포장궤도 공법, 자갈층 Polymer 충전 공법, PC 슬래브궤도 공법 순으로 가치가 높게 평가되었음.

- 가치평가과정의 기술검토결과 자갈층 폴리머 충전공법은 Polymer를 여러 층으로 단계별로 도포해야함에 따라 차량 차단시간 내에 공사를 마무리할 수 없을 가능성 높기 때문에 빠른 시간 내에 자갈을 도포할 수 있는 고유동성 초속경 Polymer 개발이 필요하고, 또한 공사 후 열차운행 시 Polymer 층의 대변형 및 파손과 침목과의 분리 가능성이 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요하나 현실적으로 이들을 극복하기는 쉽지 않음.
- PC 슬래브궤도화 공법은 토공구간에서 구조적으로 안정한 가받침 설치공법 개발이 여의치 않고, 하부 노반처리와 궤광(슬래브 포함)의 조립에 따른 차단 시간 초과 가능성 높고, 가받침 지지대 공사 및 자갈 제거, 하부노반공사, 슬래브 부설, 가받침 지지, 충전작업 등의 공정에 따라 긴 작업시간 요구하므로 이들을 해결하는 많은 어려움이 있음.
- 포장궤도 공법은 토공구간에서 개량공법으로 적용하기 위해서는 적지 않은 기술적 문제를 해결해야하나 이러한 기술적 문제점들은 연구개발을 통하여 큰 어려움 없이 해결할 수 있을 것으로 판단됨.
- 궤광구조 개량 공법은 가치평가 결과 검토대상 타 공법들에 비하여 토공구간에서 가장 적정한 궤도개량 공법으로 평가되었음. 그러나 이 공법 역시 속도 350km/h의 고속철도에서 검증된 바 없고, 운행선 궤도개량공사에 적용이라는 특수성을 고려하여 350km/h 고속철도에 적합한 혁신적 자갈궤도 궤광구조 시스템의 개발이 필요하며 이를 위해서는 다음과 같은 상세연구가 필요함.

- 설계요건 정립 및 개념설계
- 제반 기술검토(구조안정성 및 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 등)
- 공사 시 기존 궤도와 접속부에서 차량 주행 안정성을 확보하기 위한 접속부 구조 설계
- 궤광구조시스템 구성품 개발 및 시제품 제작
- 실내 및 현장시험을 통한 성능 평가 및 보완

- 개량 궤도구조에 적합한 유지관리장비 개발
- 공정 최적화 설계 및 자동화 시공장비 개발

나. 교량 및 터널구간

- 교량 및 터널구간에 대한 가치평가 결과 궤광구조 개량 공법과 포장궤도 공법이 가장 가치가 높은 것으로 평가되었으며, 다음으로 PC 슬래브궤도 공법 및 자갈층 Polymer 충전 공법 순으로 가치가 높게 평가되었음.
 - 토공구간과 달리 교량 및 터널구간에서 PC 슬래브궤도 공법이 다소 가치가 높게 평가된 것은 이 구간에서 슬래브궤도 부설을 위한 가받침 공사가 용이하고 또한 가받침의 구조안정성이 높기 때문으로 판단됨
 - 교량 및 터널구간에서 폴리머 충전공법 및 PC 슬래브궤도화 공법을 실용화 하기 위해서는 토공구간 가치평가결과 분석에서 제시한 바와 같은 기술적 난제가 해결되어야하는데 현실적으로 이들을 극복하기는 쉽지 않을 것으로 판단됨.
 - 가치분석 결과 포장궤도 공법이 교량 및 터널구간에서 350km/h이상의 고속 철도 운영환경에서 장기 내구성을 갖는 개량공법으로 채택되기 위해서는 다음의 연구개발이 필요함.
 - 설계요건 정립
 - 기존 기술의 성능 분석 및 고속선 적용을 위한 기존 개발품 보완 설계
 - 제반 기술검토(구조 안정성 및 장기 내구성)
 - 공사 시 기존 궤도와 접속부에서 차량 주행 안정성을 확보하기 위한 접속부 구조 설계
 - 콘크리트궤도화 궤도 구성품 및 재료 개발(침목 및 충전재료 등)
 - 콘크리트궤도화 실내 및 현장 시험부설을 통한 성능 평가 및 보완
 - 공정 최적화 설계 및 자동화 시공장비 개발

3.4 시스템 요구조건, 핵심 구성요소(재료) 및 시공장비 요구 성능 분석

3.4.1 자갈궤도 궤광구조 개량공법

□ 고속철도 설계속도 및 축중, 시공 제약조건(3.2절)과 LCC 절감을 위한 유지보수 목표(5.3절), 개량사업에 소요되는 시간(4.3절 및 5.3절 참조) 등을 감안하여 자갈궤도 궤광구조 개량 시스템에 대한 요구조건을 아래와 같이 제시

○ 시스템 요구조건

- 목표 설계속도 및 축중 : 열차 속도 350km/h 및 축중 17tf
- 운행선 차단시간을 이용한 분할 시공이 가능할 것(이동 시간을 제외한 일일 작업시간 2.5시간 이내)
- 시공속도 : 100m/일 이상
- 시공비 : 고속철도 자갈궤도 침목 갱환비용의 150% 미만
- 유지보수(궤도틀림 저감율) :

운행 속도 350km/h 및 축중 17tf의 조건 하에서 현재 자갈궤도 궤도틀림 진전율의 70% 미만

- 목표 설계속도 및 축중에 따른 세부적인 기술요건은 본 과제를 통해 제시되어야 함.

□ 궤광구조 개량공법의 주요 구성요소와 각 개량 요소에 대한 요구성능은 다음과 같음.

○ 주요 구성요소

- 레일 : 기존 레일 사용
- 레일체결장치 : 기존 체결장치 사용 또는 개량 침목구조에 맞게 개선
- 침목 : 새로운 개량 구조 적용
- 자갈 : 구자갈 사용 또는 자갈 클리닝 시행
- 자갈층 하부 보강재(토목섬유 등) : 보조적인 수단으로 적용 가능(option)

- 개량 구성요소는 시스템의 목표 성능(요구조건)에 따라 아래와 같은 성능을 확보해야 함

- 체결장치 : 시스템 요구조건과 개량된 침목의 조건에 맞는 성능을 확보
- 침목

- ① 목표 설계속도에 대한 구조적 성능 확보(극한강도, 피로한계, 균열 등 사용성 등)
- ② 자동 침목갱환장비를 이용한 기계화 시공이 가능한 구조일 것(시공성).
(단, 일반 침목을 이용하는 침목갱환장비를 새로운 구조의 침목에 맞게 개량한다는 전제임.)
- ③ 자갈케도의 다짐에 지장이 없는 구조일 것(시공성 및 유지보수성).(단, 부득이한 경우 일반 플티플 타이탬퍼 대신 스위치용 타이탬퍼 적용도 검토 가능)

- 자갈 : 기존 도상자갈 요구조건과 동일
- 자갈층 하부 보강재 : 시스템 요구조건과 개량된 침목의 조건에 맞는 성능이 확보되어야 함.

□ 작업 가능한 시간이 2~3시간에 불과하기 때문에 제한된 시간 내에 시공목표를 달성하기 위해서는 기계화 시공이 전제되어야 함. 이를 위한 시공순서와 공정별 소요 시공장비는 다음과 같음.

표 3.4-1. 궤광구조 개량공법의 시공순서 및 소요장비

공 종	작업내용	소요 장비	개량 필요성
1- 레일 해체	- 작업구간 레일 해체	- 레일 체결/해체 장비	- 기존 장비 사용
2- 침목 교환	- 침목 교환	- 자동 침목 교환 장비	- 새로운 침목 구조 및 형상에 따른 기존 장비의 개량 필요
3- 레일 체결	- 새로운 침목에 레일을 체결	- 레일 체결/해체 장비	- 기존 장비 사용
4- 자갈 클리닝	- 기존 자갈을 흡입하여 미립분을 제거, 필요한 경우 토목섬유 등 보강재를 자갈층 하부에 설치	- 발라스트 클리너	- 토목 섬유 부설이 필요한 경우 기존 장비에 토목섬유 부설을 위한 장치 추가 필요
5- 자갈 보충	- 침목 주변 자갈 보충	- Regulator	- 기존 장비 사용
6- 도상 다짐	- 침목 하부의 자갈 다짐 및 선형 조정	- MTT 또는 Switch용 Tie Tamper	- 기존 장비 사용
7- 도상 안정화	- 도상 안정화를 위해 도상에 진동을 가함	- DTS(Dynamic Track Stabilizer)	- 기존 장비 사용

- 이상의 작업은 작업 장비들의 조합을 이용하여 순차적으로 이루어짐. 최적화된 공정 설계로 시공기간을 최소화할 수 있음.

□ 본 과제를 통해 개량이 필요한 시공장비와 그 요구성능은 아래와 같음.

○ 자동 자갈 및 침목 교환 장비 1종

- 자동 자갈 및 침목 교환 장비는 마모된 자갈과 구(舊) 침목을 회수하고, 새로운 침목과 자갈을 설치하는 자동화 시공장비로 보통 침목 교환, 자갈 교환, 노반 개량 등이 일체로 가능한 Track renewal machine에 하나의 모듈로 포함되어 있는 것이 보통임. 대표적인 제작회사로는 미국의 Hasco, 오스트리아의 Plasser & Theurer 등이 있음(그림 3.4-1 참조).

- 요구 기능 :

- 구(舊)자갈의 흡입
- 침목 수거
- 자갈 세척(건식)(option)
- 새로운 또는 세척된 자갈 살포
- 토목섬유 포설(option)
- 새 침목 설치

- 예산절감방안 :

- 전체 Track renewal machine은 매우 고가의 장비(Hasco社 장비의 경우 대당 약 100억원에 달함)이므로 가급적 기존 장비(발라스트 클리너 등)를 활용하도록 하고, 침목의 수거 및 설치 모듈, 토목섬유 포설 등의 기능을 수행할 수 있는 모듈을 추가하는 방안을 강구할 필요가 있음.
- 또한 향후 국산화를 통해 부품의 생산 및 조달이 원활하도록 국내 기업이 이미 기술을 보유하고 있는 국외 기업(Hasco사 또는 Plasser & Theurer社 등)과 기술제휴를 통해 개발하는 방안을 강구할 필요가 있음.
- 발라스트 클리너는 자갈을 굴착하여 회수하고, 미립분을 제거하는 과정을 거친 후 다시 자갈을 포설하는 장비로 역시 Track renewal machine의 하나의 모듈에 포함됨. 현재 철도공사에서는 Track renewal machine은 보유하고 있지 않으나, 진공 흡입식 발라스트 클리너를 1대 보유하고 있음(표 2.4-19 참조, 2002년 구입가격 약 32억).



그림 3.4-1 침목 자동 교환 장비를 이용한 침목 교환 작업(미국 Hasco 社)



그림 3.4-2. 발라스트 클리너를 이용한 자갈 교환 작업

- 토목섬유의 부설이 필요할 경우에는 구자갈을 흡입하고 새자갈을 포설하는 과정 중간에 토목섬유 부설을 위한 장치를 설치해야 함. 그러나, 이 부분은 단순한 모듈의 추가이므로 추가적인 연구가 필요한 사항은 아니 [고](#), 현재 사용 중인 장비에 쉽게 부착이 가능할 것으로 판단됨(그림 3.4-3 참조).



그림 3.4-3. 토목섬유 자동 설치 모듈

3.4.2 콘크리트궤도화 공법(포장궤도)

□ 고속철도 설계속도 및 축중, 시공 제약조건(3.2절)과 LCC 절감을 위한 유지보수 목표(5.3절), 개량사업에 소요되는 시간(4.3절 및 5.3절 참조) 등을 감안 포장궤도 공법을 활용한 콘크리트궤도화 공법의 궤도구조 시스템에 대한 요구조건을 아래와 같이 제시

○ 시스템 요구조건

- 목표 설계속도 및 축중 : 열차 속도 350km/h 및 축중 17tf
- 운행선 차단시간을 이용한 분할 시공이 가능할 것(이동 시간을 제외한 일일 작업시간 2.5시간 이내)
- 시공속도 : 100m/일 이상
- 시공비 : 일반철도 포장궤도 시공비의 125% 미만
- 유지보수(궤도틀림 저감율) :

운행 속도 350km/h 및 축중 17tf의 조건 하에서 현재 자갈궤도 궤도틀림 진전율의 10% 미만

- 목표 설계속도에 따른 세부적인 기술요건은 본 과제를 통해 제시되어야 함.

□ 포장궤도의 주요 구성요소와 각 개량 요소에 대한 요구성능은 다음과 같음.

○ 주요 구성요소

- 레일 : 기존 레일 사용
- 레일체결장치 : 높이 조정이 가능하고, 스프링계수가 낮은 체결장치로 교체
- 침목 : 새로운 개량 구조 적용
- 자갈층 : 기존 자갈 재활용, 단, 별도의 자갈 세척작업 필요
- 충전재 : 추가
- 슬래브 간 연결재 : 추가
- 자갈층 하부 보강재(토목섬유) : 슬래브를 보강하고, 충전재의 바닥으로 흘러나가는 것을 방지하기 위한 토목섬유 설치 필요

- 개량 요소에 대한 요구성능은 아래와 같음.

- 체결장치 :

- ① 높이 조정 가능할 것.
- ② 자갈층을 대신할 수 있는 낮은 스프링계수를 가질 것.
- ③ 시스템 요구조건과 개량된 침목의 조건에 맞는 성능을 확보할 것.

- 침목 :

- ① 목표 설계속도에 대한 구조적 성능 확보(극한강도, 피로한계, 균열 등 사용성 등)
- ② 자동 침목갱환장비를 이용한 기계화 시공이 가능한 구조일 것(시공성).
(단, 일반 침목을 이용하는 침목갱환장비를 새로운 구조의 침목에 맞게 개량한다는 전제임.)
- ③ 자갈레도의 다짐에 지장이 없는 구조일 것(시공성 및 유지보수성).(단, 부득이한 경우 일반 플티플 타이탬퍼 대신 스위치용 타이탬퍼 적용도 검토 가능)

- 자갈 :

- ① 기존 도상자갈 요구조건을 만족할 것
- ② 콘크리트용 골재의 요구조건을 만족할 것(입도 및 최대 입경 제외)
- ③ 시멘트 페이스트와의 부착강도 향상을 위해 미립분 함량 최소화

- 충전재 :

- ① 목표 설계속도를 고려한 구조적 성능 확보(극한강도, 피로한계, 균열 등 사용성 등)
- ② 교통 개방시간에 따른 조기 강도를 확보할 것.
- ③ 시공성을 고려한 유동성 요구조건을 만족할 것.

- 슬래브 간 연결재 : 시스템 구조적 요구조건에 맞는 강도와 강성 확보

- 토목섬유 : 시스템 구조적 요구조건에 맞는 강도와 강성 확보

□ 포장레도 공법 역시 작업 가능한 시간이 2~3시간에 불과하기 때문에 제한된 시간 내에 시공목표를 달성하기 위해서는 기계화 시공을 전제로 해야 함. 이를 위한 시공순서와 공정별 소요 시공장비는 다음과 같음.

- 레일 해체 → 침목 교환 → 레일 체결 → 자갈 교환 <구도상 굴삭 · 회수 → 토목섬유 부설 → 신도상(세척자갈) 채움 → 거푸집 설치> → MTT 다짐 및 안정화 → 시멘트 모르타 주입

표 3.4-2. 포장궤도 공법(콘크리트궤도화)의 시공순서 및 소요장비

공 종	작업내용	소요 장비	개량 필요성
1- 레일 해체	- 작업구간 레일 해체	- 레일 체결/해체 장비	- 기존 장비 사용
2- 침목 교환	- 침목 교환	- 자동 침목 교환 장비	- 새로운 침목 구조 및 형상에 따른 기존 장비의 개량 필요
3- 레일 체결	- 새로운 침목에 레일을 체결	- 레일 체결/해체 장비	- 기존 장비 사용
3- 자갈 교환	- 기존 자갈을 굴착하여 회수하고 토목섬유를 부설한 후 새 자갈 살포(건식 blasting 방식으로 기존 도상자갈을 세척하여 재사용 가능), 측면 거푸집 설치	- 발라스트 클리너 - Blasting 자갈세척 설비	- 토목섬유 부설을 위한 장치 추가 필요 - 건식 자갈세척장비 추가 필요
4- 자갈 보충	- 침목 주변 자갈 보충	- Regulator	- 기존 장비 사용
5- 도상다짐	- 침목 하부의 자갈 다짐 및 선형 조정	- MTT	- 기존 장비 사용
6- 도상 안정화	- 도상 안정화를 위해 도상에 진동을 가함	- DTS(Dynamic Track Stabilizer)	- 기존 장비 사용
7- 충전재 주입	- 사용재료를 순차적으로 계량하여 믹싱한다. - 연속 믹싱된 재료는 쿠션탱크에서 2차적으로 믹싱된 후 압송펌프를 이용하여 현장까지 보낸다.	- 연속배치식 배합장비 - 쿠션탱크 - 압송펌프	- 배치믹서, 쿠션탱크, 압송펌프 등이 연속적으로 배치된 충전재 배합/주입장비 개발 필요

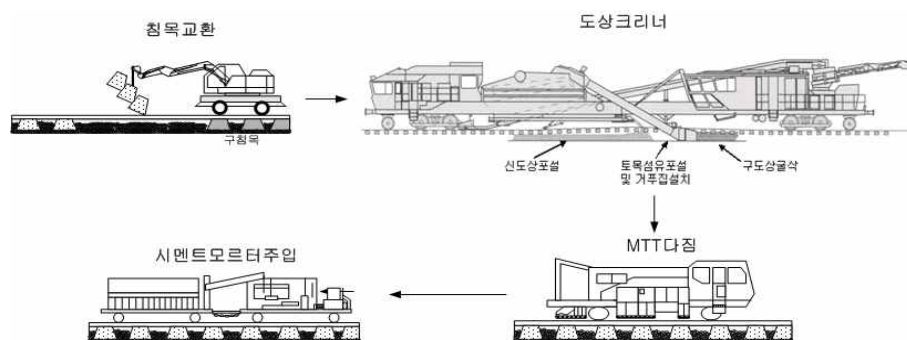


그림 3.4-4. 포장궤도의 시공순서

□ 본 과제를 통해 개량이 필요한 시공장비와 그 요구성능은 아래와 같음.

○ 충전재 배합/주입장비 1종

- 포장궤도용 충전재의 특성을 고유동성과 급결성을 가지고 있기 때문에 주입장비의 선택과 운전에 세심한 주의가 필요함. 현재 이를 위한 전용장비가 국내에서는 없으며, 포장궤도의 특성상 충전용 모르터의 주입이 시공성에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 이 장비의 확보가 반드시 필요함.

- 충전재 배합/주입장비의 기본적인 요구조건은 다음과 같음.

- ① 시공시간이 제한적(2시간)이기 때문에 단 시간 내에 시공현장에 대한 충전작업이 완료되어야 하므로, 작업속도가 최소 50m/h 이상 확보
- ② 연속적으로 균질한 품질의 모르터가 타설되어야 함.
- ③ 작업 트로리에 상차가 가능하고 향후 주입성능향상을 위하여 개조가 가능할 것.

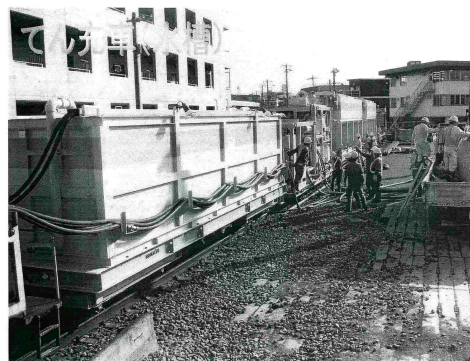
- 요구기능

- 충전재의 재료 배합(재료의 자동 계량 및 믹싱)
- 충전재의 압송 및 주입

- 현재 일본에서는 모르터주입 전용차량이 3편성으로 제작되어 각 현장에 투입되고 있음(그림 3.4-5 참조). 장비는 5량 1편성으로 모터카, 모르터를 저장하는 수평 사이로(silo), 교반 및 압송장치(믹서), 2개의 물탱크로 구성됨. 믹서는 사이로 믹서, 믹서후드, 연속믹서, 쿠션탱크, 펌프로 구성됨. 대량 시공을 할 경우에는 궤도상에서 보온, 계량, 주입 등을 쉽게 할 수 있는 장비를 추가적으로 장착할 필요가 있음. 이 전용 장비는 자동화 되어, 1명의 전담요원이 배치됨.



(a) 모르터 교반 및 주입장치



(b) 주입장비의 구성

그림 3.4-5. 일본에서 활용중인 충전재 주입 전용장비

- 국내에서도 서울메트로에서 B2S 공법에 적용하기 위한 충전재 주입용 장비가 개발된 사례가 있으며, 프리캐스트 콘크리트 슬래브궤도용 충전재 주입장비가 제작된 사례가 있음. 그러나 시공성을 극대화하기 위해서는 완전 자동화된 배합/주입장비의 개발이 필요함.

- 예산절감방안

- 기존의 국내에서 생산된 충전재 주입장비 기술을 활용하도록 하고, 시공 속도를 향상시킬 수 있는 자동화 방안을 추가로 연구하여 개선하는 방안이 바람직함.

- 건식 도상자갈 세척장치 1종

- 포장궤도에서 기존 도상자갈이 콘크리트 골재로 사용되기 때문에 입도나 최대 입경을 제외하면 콘크리트용 골재의 요구조건을 기본적으로 만족해야 함. 특히 강도가 우수하고, 모르터의 부착강도를 높이기 위하여 표면의 미립분이 제거되어야 함. 따라서 기존 도상자갈을 그대로 사용할 수 없고, 보다 높은 수준으로 세척된 도상자갈을 사용해야 함.

- 도상 자갈은 신규 자갈을 세척하여 운반하는 사용하는 방법과 기존 도상자갈을 현장에서 바로 세척하여 재활용하는 방법이 있음.

- 물을 이용하여 세척할 경우 다량의 물을 사용하기 때문에 중량이 매우 무거워지고, 운송에 많은 경비가 소요되며, 오폐수 처리 문제, 세척 후 건조되는 과정에서 다시 미립분이 골재 표면에 흡착되는 문제가 있음. 따라서 건식 세척기술의 적용이 필요함.

- 요구기능

- 회수된 자갈의 세척(건식 세척)
- 세척된 자갈을 자갈 포설장치로 이송

- 예산절감방안

- 기 확보된 기술을 적극 활용하여 초기 개발비용을 저감할 수 있음. 도상자갈 세척을 위한 plastic media를 통해 도상자갈을 세척하는 기술이 한국철도기술연구원과 참여기업 간 공동 연구를 통해 개발된 사례가 있음 (그림 3.4-6, 표 3.4-3 참조).

표 3.4-3. Plastic media를 이용한 건식세척장치 제원

항 목	형 식	용 량	수 량	재 질
집진장치	Bag Filter	170CMM	1SET	SS41
	DUST BOX		2EA	SS41
	Solenoid v/v	40A	16EA	AL
	AIR Filter외	5kg/cm ² 이상	1 EA	
	Manostar Gauge	300mmAq	1EA	
	Filter BAG		128EA	Polyester
	Blow Tube		16EA	SS400
	Exhaust FAN	170m ³ /min 250mmAg	1SET	
BLAST 장치	DRUM 연속식	300kg/min	1SET	SS304
	MOTOR	5HP	1SET	
	CHAIN외	5HP	1SET	
	Nozzle	8Φ	18EA	
	진동밸브	1.5톤	2SET	

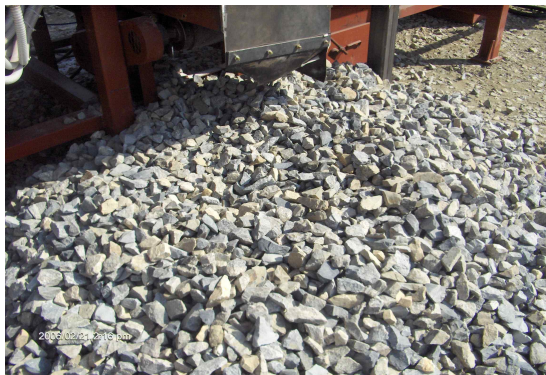


그림 3.4-6. Plastic media를 이용한 대용량 건식세척장치

- 침목 및 자갈 교환을 위한 자동화 궤도 개량 장비 1종
 - 앞서 서술한 바와 같이 궤도 개량을 위한 자동화 기계시스템을 이용하여 침목 교환, 자갈 교환, 노반 개량 등을 한꺼번에 실시할 수 있는 Track renewal machine이 활용되고 있음.
 - 침목 교환, 자갈 교환 및 클리닝, 노반 개량이 동시에 부수적으로 필요한 장비가 많으며 장비 1편성의 길이는 200m에 육박함. 대형장비를 이용하는 노반개량작업의 기계화는 유럽에서 이미 15년 넘게 성공적으로 이루어져 신뢰성을 충분히 확보되었다고 할 수 있으며, 이런 장비로는 Plasser & Theuer 社의 PM200-2R, SVV100, AHM800R, RPM2002 등이 있음(그림 3.4-7, 3.4-8 참조).

- 침목과 자갈 교환 장비는 궤광구조 개량공법과 동일한 공정으로 두 공법이 궤광구조의 형상이나 구조, 보강재 적용 등에서 차이가 있을 수 있으나, 기본적으로는 동일한 기능을 갖는 장비이므로 공동으로 활용할 수 있도록 개발을 추진할 필요가 있음.



(a) 도상 굴삭



(b) 토목섬유 및 강화노반 설치



(c) 노반 보호층 다짐



(d) 도상 다짐

그림 3.4-7. RPM 2002를 이용한 궤도 개량 작업



그림 3.4-8. Plasser & Theurer 社の Track renewal machine RPM 2002의 구성

제4장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

4.1 비전 및 목표

□ 본 연구개발사업의 비전을 “빠르고, 경제적이며 안전한 철도”로 설정하고 이에 따른 R&D 목표와 기술개발전략을 수립

○ R&D 목표 :

- 고속철도에 적용 가능한 자갈궤도 개량기술 개발
 - 고속철도 운영중 안전 및 승차감 확보가 가능한 개량기술
→ 최고속도 350km/h (축중 17tf ※)
 - ※ 단, 축중이 17tf 보다 낮은 열차의 경우 350km/h 이상 증속 가능
 - 유지보수의 절감이 가능한 개량기술
→ 운행 속도 350km/h 및 축중 17tf의 조건 하에서 현재 자갈궤도 궤도틀림 진전율의 70%(궤광구조 개량기술) 또는 10% 미만(콘크리트궤도화 기술)
 - 시공성, 시공중 안전 및 시공속도 확보
→ 100m/일 이상(일일 작업시간 2.5시간 기준)

○ 4대 기술개발전략 :

- 기존에 개발된 개량 기술과 데이터 및 인프라를 적극 활용함으로써 초기 기술개발의 리스크를 줄이고, 단기간에 실용화 기술을 확보함으로써 기술 수요에 대응(시너지창출전략)
- 기존 개량기술의 고속 운행선(고속철도 및 간선철도의 고속화 구간) 적용을 위한 체계적인 요구조건과 목표 설정(보완전략)
- 고속 운행선에서의 요구 조건과 시공 환경을 고려한 시공 공정의 최적화와 이를 위한 자동화 시공장비 개발 추진(위험극복전략)
- 테스트-베드 구축을 통한 시공성 검증, 성능 검증 및 시범 적용 등 단계적인 검증 방안 수립, 실용화 로드맵 제시(위험최소화전략)



그림 4.1-1. 비전 및 목표 설정

4.2 기술 개발에 따른 미래상

- 자갈궤도 개량기술 개발을 통해 경부고속철도와 일반철도 구간에서의 운영 속도 향상을 통해 거점 도시 간 이동시간을 최소화할 수 있음.
 - 연구개발사업기간을 5년으로 하고, 2013년 착수하는 것으로 가정하면, 2017년 기술개발 완료
 - 자갈궤도 개량사업 기간은 목표 시공속도 100m/일을 달성할 경우 11년 소요 예정

$$100\text{m/일} \times 200\text{일/년(연간 작업가능일수)} \times 2\text{구간} = 40\text{km/년}$$

$$\therefore 440\text{km}(1\text{단계 자갈궤도 구간 연장}) / 40\text{km/년} = 11\text{년}$$
 - 경부고속철도 자갈궤도 구간에 적용할 경우 2030년경 통행시간을 1시간 30분대로 단축(350km/h 증속 시)



그림 4.2-1. 기술발전 시나리오

4.3 연구개발과제의 구성

- R&D 목표 달성을 위해 현재 기술 대비 확보되어야 할 기술요소를 바탕으로 3개의 세부과제와 8개의 공동과제로 구성하였음(그림 4.3-1 참조).

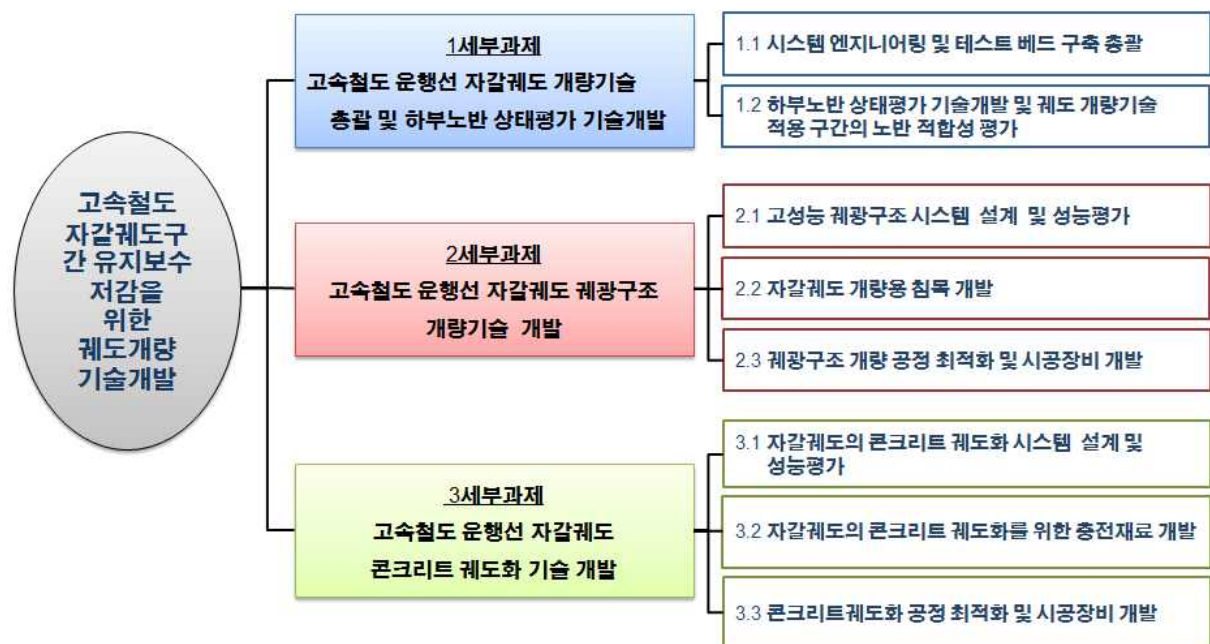


그림 4.3-1 연구개발과제의 구성

4.4 세부과제별 주요 내용 및 추진전략

4.4.1 1세부과제

□ **과제명** : 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부노반 상태평가 기술개발

□ **연구목표**

- 성능 목표 설정 및 설계/성능 요구조건 정립
- 테스트-베드 구축 및 시스템 성능평가
- 개발 기술의 경제성 평가
- 운행선 노반 상태평가 기술 개발

□ **성과지표 및 목표**

표 4.4-1. 1세부과제 성과지표 및 목표

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
성능 목표 설정 및 설계/성능 요구조건 정립	시스템 성능목표의 타당성 및 합리성	성능목표 설정 근거에 대한 전문가 검증 실시
	설계/성능 요구조건과 최종 목표와의 부합여부	설계/성능 요구조건에 대한 전문가 검증(SE 기법 활용)
테스트-베드 구축 및 시스템 성능평가	테스트-베드 구축 목표 달성	테스트-베드 구축 건수 목표(각 기술별 2개 구간) 달성 여부 확인
	성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성	성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성에 대한 전문가 사전 검증 실시
	시공성 및 작업 안전도 평가의 타당성	시공성 평가방법 및 안전도 평가결과의 타당성 전문가 검증
경제성 평가	LCC 분석 프로그램 및 분석 결과의 타당성	LCC 분석결과에 대한 전문가 검증 실시
운행선 노반 상태평가 기술 개발	자갈궤도 궤도틀림 원인조사 결과의 타당성	조사결과에 대한 전문가 검증 실시
	노반 상태평가 기술 정확도 오차 기존 기술 대비 50% 이하	기존 기술의 오차율(시스템 파라미터 추정값) 비교 평가(현장 성능평가)

□ 1세부과제 연구내용

표 4.4-2. 1세부과제 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(1세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부노반 상태평가 기술 개발	(1-1) 시스템 엔지니어링 및 테스트-베드 구축 총괄	- 성능목표 설정 및 설계/성능요건 관리 - 운영 및 시스템 IF 기술요건 도출 및 관리 - 시스템 및 구성요소별 성능검증체계 정립 및 관리 - 테스트-베드 구축계획 수립 - 테스트-베드 구축방안 관계기관 협의 및 총괄 - 시공성 시험 결과 평가 총괄 - 작업 위험도 분석(안전성 분석) 및 위험도 완화 방안 도출 - 테스트-베드 현장 성능평가 총괄 - 자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 정립 - LCC 평가를 통한 자갈궤도 개량기술 경제성 분석(개량여부 결정 및 개량공법 선정 기법 제시)
	(1-2) 하부노반 상태평가 기술 개발 및 궤도 개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가	- 경부고속철도 등 고속 운행선 자갈궤도구간 궤도틀림 원인조사(노반특성, 선로 선형, 구조물 접속부의 강성변화 등 고려) - 기존 지반 상태평가 기술의 적용성 및 문제점 검토, 보완방안 제시 - 개량공법의 설계 및 적용성 평가를 위한 시스템 설계 파라미터(노반정수) 산정기법 및 평가기준 제시 - 노반 보강여부 및 보강대책 분석 - 노반 상태평가 시스템 설계 - 노반 상태평가 시스템 시제품 제작 - 실내 및 현장 시험 - 테스트-베드 후보지 노반 상태평가

□ 추진전략

- 기존 고속철도 자갈궤도의 궤도틀림 원인 분석을 바탕으로 시스템의 성능 목표를 설정하고, 이에 따라 2세부과제 및 3세부과제에서 제시하는 설계/성능 요구조건의 타당성을 검토하고 요구사항의 관리체계를 구축
- 도출된 시스템 요구조건에 대해 국내외 전문가 검증 실시
- 테스트-베드 구축은 4.7절의 구축 계획을 바탕으로 하되, 사전 현장조사를 철저히 수행하고 최종 테스트-베드 선정을 위해서는 철도시설공단, 철도공사 등 관련 기관과의 긴밀한 협의 필요
- 2세부과제 및 3세부과제에서 실시하는 시공성 시험 및 현장 시험 결과를 제1세부과제에서 총괄 시행하고 그 결과에 대한 전문가 검증 실시
- 경제성 평가를 위해서는 자갈궤도 및 개량 구조에 대한 궤도틀림 진전 예측 및 LCC 평가 기법의 개발이 필요하며, 국내에서는 관련 분야의 경험이 부족하므로 국내외 전문기관과의 공동 연구를 적극 검토할 필요가 있음.
- 노반 상태평가 기술 개발 및 노반보강방안 대책 분석의 경우 이론적 및 실험실 규모의 기술 확보와 함께 실제 현장에서 적용 가능한 기술의 확보가 필요하므로 국내외 대학과 연구소 간의 공동 연구 체계 구축 필요
- 궤도틀림 원인 조사 시 노반특성, 선로선형, 구조물 강성차 등의 영향을 분석할 수 있는 적합한 상태평가 기술을 적용하고, 현재 기술의 문제점과 보완방안을 도출

4.4.2 2세부과제

□ 과제명 : 고속철도 운행선 자갈궤도 궤광구조 개량기술 개발

□ 연구목표

- 고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 궤광구조, 시공 공정 및 자동화 시공장비 개발

□ 성과지표 및 목표

표 4.4-3. 2세부과제 성과지표 및 목표

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 개량 궤광구조 개발	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 궤도틀림 표준편차 기존 자갈궤도 구조 대비 70% 미만	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	교량상 개량구조의 궤도-교량 상호작용에 의한 궤도 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)

연구목표	성과지표 및 목표	검증방안
궤광구조 개량을 위한 시공 공정 및 자동화 시공장비 개발 1종(자갈/침목 자동 교환장비)	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	목표 시공속도(100m/일) 달성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 ^{주1)} 확보)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장을 MTTF 미만)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)

주1) 3.4절 참조

□ 2세부과제 연구내용

표 4.4-4. 2세부과제 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(2세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도 궤광구조 개량기술 개발	(2-1) 고성능 궤광구조 시스템 설계 및 성능평가	- 설계/성능 요구조건 정립 - 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법) - 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 - 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 - 실내 실험모형 실험체 제작 - 실내 시험(실험가속실험) - 테스트 베드 현장 부설(1차/2차) - 현장시험(1차/2차) - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성
	(2-2) 자갈궤도 개량용 침목 개발	- 침목 구조설계(*궤광구조 개량용 침목을 기본으로 개발하고, 콘크리트궤도화(3세부과제)를 위한 침목구조 변경도 포함) - 개량침목용 체결장치 보완설계 및 시작품 제작 - 침목 제작용 금형 제작 - 침목 시작품 제작 및 성능평가 - 테스트-베드 현장 부설용 침목 시작품 제작 및 현장 부설 지원 - 현장시험에서의 문제점 분석 및 보완 - 침목 자재 시방서 작성
	(2-3) 궤광구조 개량 공정 최적화 및 시공장비 개발	- 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토 - 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려) - 시공장비 설계(자동 침목교환 장비)(*기존 보선장비의 활용 방안 고려) - 시공장비 시작품 제작 - 부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) - 시공성 시험(비운행선) - 테스트-베드 현장부설 지원 - 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시 - 공사 시방서 작성 - 시공장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육 - 유지보수매뉴얼 작성

□ 추진전략

- 제1세부과제와의 협의를 통해 시스템 성능목표를 설정하고, 이에 따른 설계/성능 요구조건을 체계적으로 도출
- 시스템의 개념 설계 및 상세 설계 시 적용하는 수치해석기법에 대한 사전 검증을 철저히 실시
- 설계 결과에 대해 실내 가속실험을 통한 검증을 실시
- 침목 구조는 궤광구조 개량기술을 위한 침목을 우선 개발하고, 콘크리트궤도화 기술에 맞는 침목으로 구조 변경
- 자갈 및 침목 자동 교환장비의 경우 2세부과제 및 3세부과제에서 모두 활용할 수 있도록 두 기술의 요구조건을 모두 만족할 수 있도록 개발 추진
- 장비 개발 시 국내 업체와 국외 기업 간의 기술 제휴 등을 통한 공동 참여 방안 모색 필요
- 비운행선에서의 시공성 시험을 통해 시공방법 및 시공장비의 문제점을 도출하여 보완 시행
- 테스트-베드 구축 계획에 따라 현장 시험부설과 현장시험을 실시하여 시공성 및 장기 성능 검증 실시

4.4.3 3세부과제

□ 과제명 : 고속철도 운행선 자갈궤도 콘크리트 궤도화 기술 개발

□ 연구목표

- 고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 콘크리트궤도화 기술 개발

□ 성과지표 및 목표

표 4.4-5. 3세부과제 성과지표 및 목표

성과목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 궤도구조 개발	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 궤도틀림 표준편차 기존 자갈궤도 구조 대비 10% 미만	실내 실험을 통한 성능 검증(1단계) → 성능시험 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)
	교량상 개량구조의 궤도-교량 상호작용에 의한 궤도 안정성 확보	수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)

성과목표	성과지표 및 목표	검증방안
고속 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 시공 공정 및 시공장비 개발 2종(충전재 배합 및 주입장비, 건식 자갈세척장비 등)	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	목표 시공속도(100m/일) 달성	시공성 시험(1단계) → 현장 시험부설 (테스트-베드)(2단계)
	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 ^{주1)} 확보)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장을 MTTF 미만)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)
	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)	조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)

주1) 3.4절 참조

□ 3세부과제 연구내용

표 4.4-6. 3세부과제 연구내용

세부과제	공동과제	주요 연구내용
(3세부과제) 고속철도 운행선 자갈궤도의 콘크리트궤 도화 기술	(3-1) 자갈궤도의 콘크리트궤도화 시스템 설계 및 성능평가	- 설계/성능 요구조건 정립 - 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법) - 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 - 개량공사 중 접속구간 (일반구간-콘크리트궤도화 구간) 설계 - 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 - 실내 실물모형 실험체 제작 - 실내 시험(실물가속실험) - 테스트 베드 현장 부설(1차/2차) - 현장시험(1차/2차) - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성
	(3-2) 자갈궤도의 콘크리트궤도화를 위한 충전재료 개발	- 고속선용 충전재료의 원재료 선정 및 배합설계 - 충전재 역학적 특성 및 유동성 평가 - 시공 후 충전성 평가기준 및 방법 수립 - 테스트-베드 현장 부설용 충전재 제조 및 현장부설 지원 - 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 - 충전재 자재 시방서 작성
	(3-3) 자갈궤도의 콘크리트궤도화 공정 최적화 및 시공장비 개발	- 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토 - 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려) - 시공장비 설계(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비)(※기존 장비의 활용 방안 고려) - 시공장비 시작품 제작 - 부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) - 시공성 시험(비운행선) - 테스트-베드 현장부설 지원 - 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시 - 공사 시방서 작성 - 장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육 - 유지보수매뉴얼 작성

□ 추진전략

- 제1세부과제와의 협의를 통해 시스템 성능목표를 설정하고, 이에 따른 설계/성능 요구조건을 체계적으로 도출
- 시스템의 개념 설계 및 상세 설계 시 적용하는 수치해석기법에 대한 사전 검증을 철저히 실시
- 설계 결과에 대해 실내 가속실험을 통한 검증을 실시
- 충전재료는 기존의 충전재의 특성 및 문제점을 정확히 파악한 후 보완 방안을 도출
- 건식 자갈세척장비는 2세부과제에서 개발하는 침목 및 자갈 자동 교환 장비와 함께 연결되어 활용될 수 있도록 개발 추진
- 충전재 배합/주입장비는 기존 충전재 주입장비의 문제점을 정확히 파악하고 기존 장비를 보완하는 방향으로 개발함으로써 예산 절감 필요
- 장비 개발 시 국내 업체와 국외 기업 간의 기술 제휴 등을 통한 공동 참여 방안 모색 필요
- 비운행선에서의 시공성 시험을 통해 시공방법 및 시공장비의 문제점을 도출하여 보완 시행
- 테스트-베드 구축 계획에 따라 현장 시험부설과 현장시험을 실시하여 시공성 및 장기 성능 검증 실시

4.5 세부과제 간 연계 관계

□ 각 세부과제 간 연계 관계

- 1세부과제에서 성능 목표의 설정과 요구조건 관리, 시스템 성능평가를 총괄하고, 2, 3세부과제에서는 실제 기술 개발을 위한 요구조건 도출, 설계, 실내 및 현장 성능평가 등을 수행
- 시스템 구성요소 중 2, 3세부과제에서 공통적으로 요구되는 침목의 경우 2세부과제에서 개발을 담당 → 콘크리트궤도화 기술에 적용되는 침목에 대한 요구사항을 3세부과제에서 제시
- 침목 및 자갈 교환장비와 자갈세척장비의 경우 2, 3세부과제에서 모두 활용되므로 침목 및 자갈 교환장비는 2세부과제에서, 자갈세척장비는 2세부과제에서 개발을 주관 → 각 시스템에서 요구되는 인터페이스 사항은 세부과제 간 조정

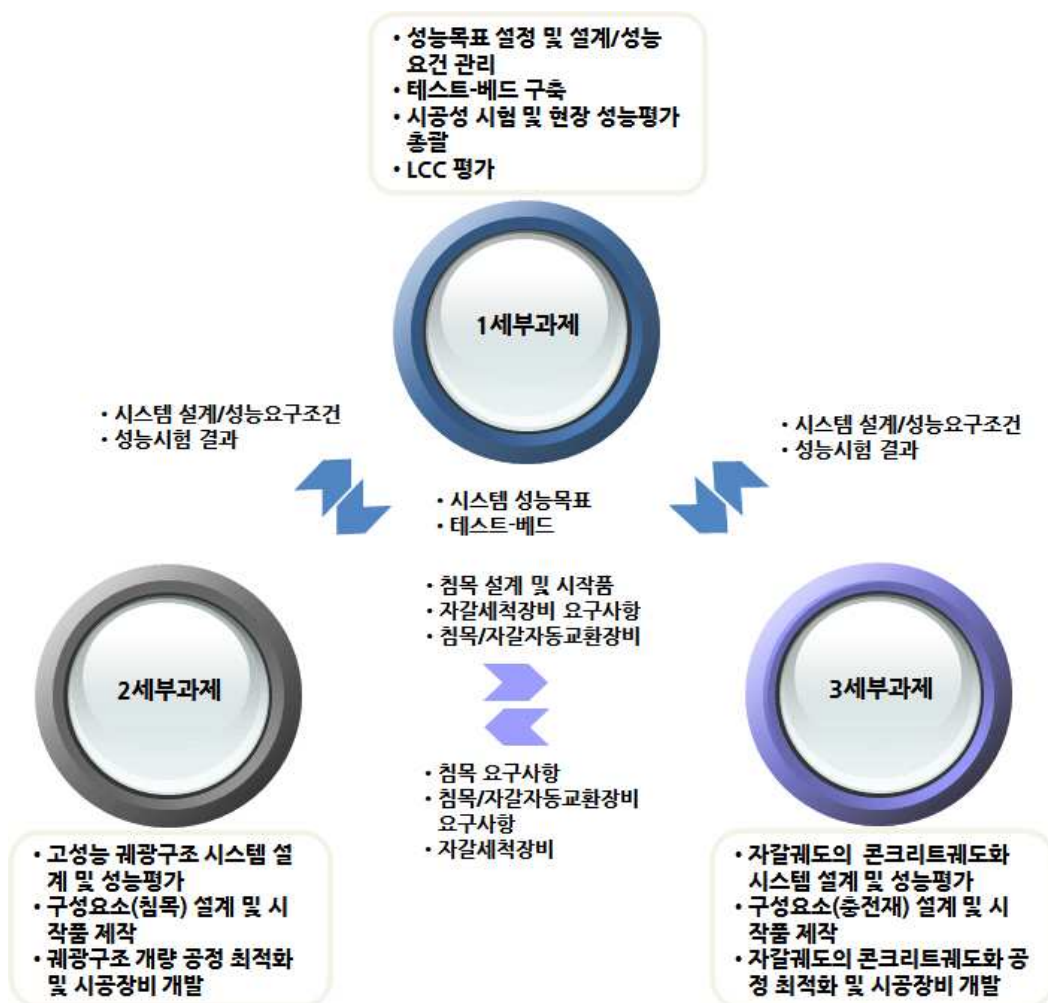


그림 4.5-1. 세부과제 간 연계 방안

4.6 기술개발로드맵

□ 연구기간을 2단계로 구분하고 아래와 같이 기술개발을 위한 로드맵을 구성하였음.

- 1단계(1~3차년도) : 기술 개발
 - 성능목표 설정 및 요구조건 정립
 - 개념설계 (궤도 시스템 구성 및 시공 공정)
 - 제반 기술검토 및 상세설계
 - 구성요소 시제품 제작 및 성능평가
 - 실내 조립체 실험(실물가속실험)
 - 시공장비 개량방안 수립 및 설계
 - 시공장비 시제품 제작 및 현장 시험(비운행선에서의 시공성 시험)
 - 노반 상태평가 기술 개발 및 시제품 제작
 - 테스트-베드 구축 계획 수립 등
- 2단계(4~5차년도) : 현장 성능검증
 - 테스트-베드 현장 부설(1차)
 - 현장 성능 평가(1차)
 - 테스트-베드 현장 부설(2차)
 - 현장 성능 평가(2차)
 - 경제성 분석 등

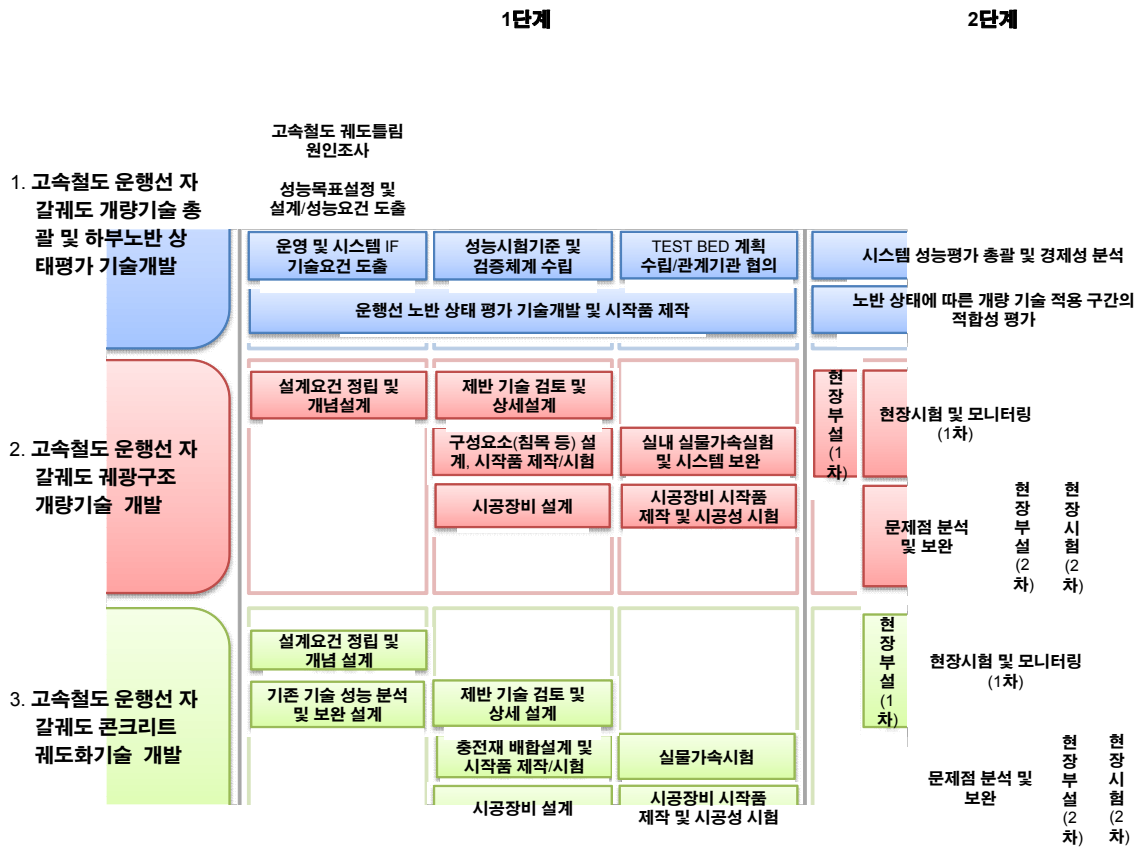


그림 4.6-1 기술개발로드맵(TRM)

4.7 성과 활용방안 및 테스트-베드 구축 계획

4.7.1 활용방안

- 본 과제에서 기획하는 연구의 성과는 자갈궤도의 유지보수 절감과 고속화를 위해 경부고속철도 및 주요 간선철도 고속화 구간의 자갈궤도 개량사업에 활용할 수 있음.

표 4.7-1. 연구성과 활용방안

구분	과제명	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
1세부과제					
1-1 (주관)	시스템 엔지니어 및 테스트 베드 구축 총괄	5년 (1차년도)	•성능목표 및 시스템 기술 요구사항 목록 •테스트-베드 (시험선)		•테스트-베드 현장 성능평가를 통한 객관적 성능 검증
1-2 (공동)	하부 노반 상태평가 기술 개발 및 궤도 개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가	5년 (1차년도)	•성능시험절차서 •성능검증 결과 검증보고서 •자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 및 경제성 분석 보고서 •운행선 노반 상태평가 시스템 •궤도구조 개량공법의 적합성 평가기준 •테스트-베드 후보지 노반 상태평가 보고서	•한국철도시설공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•LCC 분석을 통한 자갈궤도 개량공법 선정 •하부노반 상태에 대한 합리적 평가를 통해 궤도 개량기술의 적용 적합성 검토

표 4.7-1. (계속)

구분	과제명	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안
2세부과제					
2-1 (협동)	고성능 케광구조시스 템 설계 및 성능평가	5년 (1차년도)	•고성능 케광구조 시스템 설계보고서 및 도면 •특허 등 지적재산권 •성능평가보고서 •유지보수지침 • 고속선 케도구조 개량용 침목 시제품 및 자재 시방서 •공사 시방서 •고성능 케광구조용 자동 침목교환장비 및 장비 운용 매뉴얼	•한국철도시설 공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•테스트-베드 구축을 통한 단계적 성능 검증 •경부고속철도 1단계 및 일반철도 자갈케도 구간에 적용하여 유지보수 절감 및 고속화 달성
2-2 (공동)	자갈케도 개량용 침목 개발	5년 (1차년도)			
2-3 (공동)	케광구조시스 템 공정 최적화 및 시공장비 개발	5년 (1차년도)			
3세부과제					
3-1 (협동)	자갈케도의 콘크리트케도 화 시스템 설계 및 성능평가	5년 (1차년도)	•콘크리트케도화 시스템 설계보고서 및 도면 •특허 등 지적재산권 •성능평가 보고서 •유지보수지침 • 고속선 케도구조 개량용 충전재료 시제품 및 자재 시방서 •공사시방서 •콘크리트케도화 자동화 장비(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비) 및 장비 운용 매뉴얼	•한국철도시설 공단 •한국철도공사 •시공사 및 설계사	•테스트-베드 구축을 통한 단계적 성능 검증 •경부고속철도 1단계 및 일반철도 자갈케도 구간에 적용하여 유지보수 절감 및 고속화 달성
3-2 (공동)	자갈케도의 콘크리트케도 화를 위한 충전재료 개발	5년 (1차년도)			
3-3 (공동)	자갈케도의 콘크리트케도 화 공정 최적화 및 시공장비 개발	5년 (1차년도)			

4.7.2 테스트-베드 구축 및 성능검증 계획

- 연구 성과의 효율적인 적용과 상용화를 위해 테스트 베드 구축을 통한 단계별 성능검증 방안을 마련
 - 1단계(4차년도) : 열차 운행이 적은 간선철도 구간을 대상으로 시공성과 현장 적용성을 검증하고, 구조적 안정성과 내구성 등 기술적 검증
 - 2단계(5차년도) : 열차 운행이 많은 간선철도 구간을 대상으로 시범 적용 추진
 - 각 단계별 목적에 맞는 테스트 베드 후보지 제시(아래 표 4.7-2 참조)

▪ 적용구간 : - 일반(간선)철도 한산선구 ▪ 후보지 : - 군산화물선(0.022MGT/년) - 경북선(2.1MGT/년) ▪ 시험목표 : - 시공성 및 현장 적용성 검증 - 구조적 안정성 및 내구성 등 기술 검증	▪ 적용구간 : - 일반(간선)철도 ▪ 후보지 : - 장항선(8.47MGT/년) - 중앙선(10.77MGT/년) - 경부선(22.72MGT/년) ▪ 시험목표 : - 시범 적용을 통한 실용화 토대 구축
--	--

그림 4.7-1 단계별 Test-bed 구축을 통한 성능 검증 방안

□ 성능검증 절차

- 한국철도시설공단에서 정하고 있는 “철도시설 성능검증지침(한국철도시설공단, 2011)”에 따라 기술 적합성 검토(전문가 검증), 조립성능시험, 현장설치시험(운행선 시험) 등의 3단계에 걸친 성능검증을 수행할 계획임(그림 4.7-2 참조).
- 테스트-베드 구축 계획과 연계하여 현장설치시험 실시

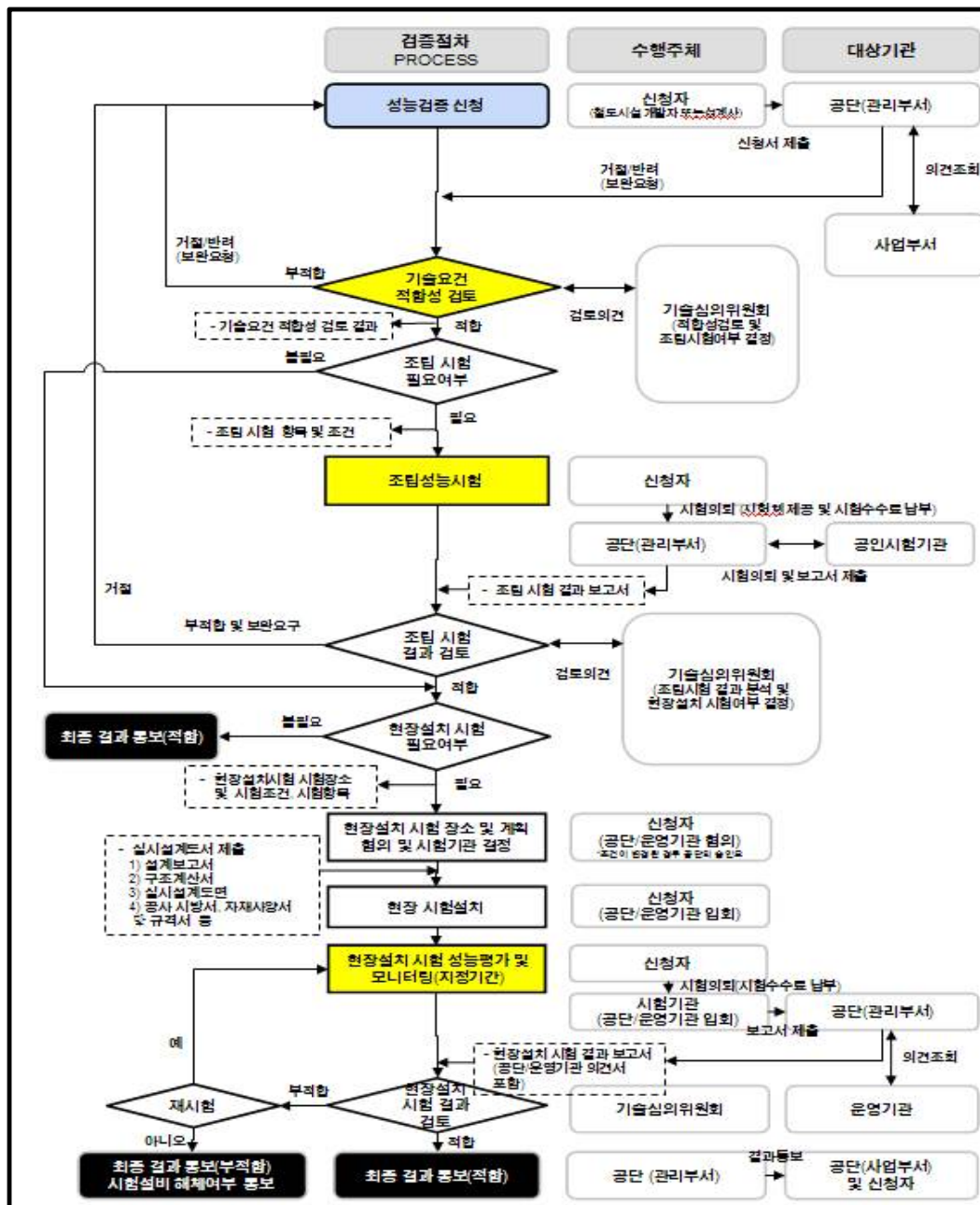


그림 4.7-2. 철도시설 성능검증 절차(한국철도시설공단, 2011)

표 4.7-2. 단계별 테스트 베드 후보지

(a) 1차 테스트 베드

우선 순위	선별	위치		연장 (m)	구조물	선정사유	최근2년간 궤도검측 보수대상 개소	최근2년간 작업횟수		야간차단 가능시간	인접역에 서 이동시간	년간 통과톤수 (천톤)
		시점	종점					장비	인력			
1	군산화물선	2.500	3.500	1.000		열차운행횟수 적음	없음	없음	없음	제한없음	15분(대야)	22
2	군산화물선	3.500	4.000	500		열차운행횟수 적음	없음	없음	없음	제한없음	15분(대야)	22
3	경북선	92.303	92.916	613		열차운행횟수 적음	57	4		4시간	30분(예천)	2,097
4	경북선	92.916	93.385	469		열차운행횟수 적음	18	4		4시간	30분(예천)	2,097

표 4.7-2. (계속)

(b) 2차 테스트 베드

우선 순위	선별	위치		연장 (m)	구조물	선정사유	최근2년간 궤도검측 보수대상 개소	최근2년간 작업횟수		야간차단 가능시간	인접역에서 이동시간	년간 통과톤수 (천톤)
		시점	종점					장비	인력			
1	장항선	143.000	143.300	300		연약지반, 도상분리개소	10	4	15	4시간	5분(대야)	8,470
2	장항선	143.300	144.000	700		연약지반, 도상분리개소	6	4	20	4시간	5분(대야)	8,470
3	장항선	153.100	153.500	400		연약지반, 도상분리개소	4	4	10	4시간	10분(익산)	8,472
4	장항선	154.400	155.000	600		연약지반, 도상분리개소	3	4	8	4시간	10분(익산)	8,472
5	중앙선	259.099	260.271	1,000		궤도틀림 잦은개소	4	4		3시간	20분(안동)	10,768
6	중앙선	260.271	260.911	640	터널	궤도틀림 잦은개소	6	4		3시간	20분(안동)	10,768
7	경부선(상)	386.162	386.362	200	임천터널 87m	인접역과 거리가 짧아 시공시 차단시간 단축	4	5	36	3시간	10분(밀양)	21,235
8	경부선(하)	386.162	386.362	200	임천터널 87m	인접역과 거리가 짧아 시공시 차단시간 단축	4	5	36	3시간	10분(밀양)	22,718
9	경부선(하)	177.700	178.700	1000	승적구교 주동구교 옥녀구교 향곡구교 향거리천	KTX 운행 구간, R:1400 노반협소, 도상두께 부족, 배수불량 구조물 다수	10	2	24	01:05- 04:20	옥천 10분	
10	호남선 (상하)	11.300	12.300	1,000		구내 분기발생개소 (가수원 구내 분선)	17	2	26	02:10 - 05:50	역구내 1분	

4.8 연구수행체계 제안

□ 연구수행체계(안)

- 각 세부과제별 주관 및 협동연구기관은 연구소 또는 대학에서 담당하고, 주요 구성요소 및 시공장비 개발 공동과제(2-1, 2-2, 3-2, 3-3)는 참여기업이 담당하여 산-학-연이 공동으로 연구를 수행하는 방안이 타당할 것으로 판단됨.



그림 4.8-1. 연구수행체계(안)

제5장. 사전 타당성 검토

5.1 정책적 타당성

5.1.1 국가 전략적 중요성

- 저탄소 녹색성장을 위한 국가 교통정책의 패러다임 변화에 따라
 - 기존 교통정책의 한계를 극복하고 저탄소 녹색성장에 부합하는 교통체계 구축을 위하여 '녹색교통 추진전략'을 수립
 - 정부의 저탄소 녹색성장 방침에 따라 교통부문에서의 온실가스 저감을 목표로 저탄소 녹색교통 실현을 추진
 - 이에 국토해양부와 지식경제부는 2020년까지 교통부문 온실가스 배출량을 배출전망치 대비 33~37% 감축을 목표로 '녹색교통 추진전략'을 수립한 바 있음.
 - 저탄소 녹색교통 실현을 위하여 교통부문에서 철도의 수송 분담률 제고를 위한 교통정책을 수립, 2007년 8% 수준인 철도의 수송 분담률을 2013년 15%, 2020년 20%로 제고하기 위한 정책을 추진하고 있음.
 - 여객수송 분담률은 2008년 현재 15.9%에서 2020년 27.3%로 증가
 - 화물수송 분담률은 2008년 현재 8.0%에서 2020년 18.5%로 확대
- 철도 수송 분담률 증대를 위해 KTX 중심의 고속철도망을 전국으로 확대하기 위한 정책을 추진하고 있음.
 - 이를 위해 경부고속철도축을 비롯하여 전국 간선철도의 속도 향상이 요구되고 있으나, 기존 철도 대부분은 자갈궤도로 부설되어 속도 향상에 따른 유지보수비의 급증이나 승차감 및 주행 안전 저하가 우려되고 있음.
 - 따라서 적극적인 기술 개발을 통해 유지보수를 효과적으로 절감함과 동시에 속도 향상을 추진할 수 있는 대안 제시 필요

5.1.2 상위 계획과의 부합성

□ 본 사업은 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획에 따른 국가 녹색교통정책에 부합됨.

- 정부의 저탄소 녹색성장 정책에 따라 국가의 저탄소 녹색성장을 위한 정책 목표·추진전략·중점추진과제 등을 포함하는 국가전략으로서 ‘녹색성장 국가 전략 및 5개년 계획’을 수립
- “녹색성장 국가전략 및 5개년 계획”은 이러한 정부의 정책 목표를 실현하기 위한 “3대 전략, 10대 정책방향”을 수립한 바 있음(아래 표 5.1-1 참조).

표 5.1-1 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획의 3대 전략 및 10대 정책방향

3대 전략	10대 정책방향
Ⅰ. 기후변화 적응 및 에너지 자립	1. 효율적 온실가스 감축
	2. 탈석유·에너지자립 강화
	3. 기후변화 적응역량 강화
Ⅱ. 신성장 동력 창출	4. 녹색기술개발 및 성장동력화
	5. 산업의 녹색화 및 녹색산업 육성
	6. 산업구조의 고도화
	7. 녹색경제 기반 조성
Ⅲ. 삶의 질 개선과 국가위상 강화	8. 녹색국토·교통의 조성
	9. 생활의 녹색혁명
	10. 세계적인 녹색성장 모범국가 구현

- 궤도구조 개량을 통해 철도 유지비용을 줄이고, 속도 향상을 통해 철도의 이용율을 제고함으로써 녹색 국토 및 교통의 조성에 기여할 수 있으므로 3대 전략 중 “삶의 질 개선과 국가위상강화”라는 전략방향에 부합함.

□ 본 사업은 ‘국가기간교통망계획 제2차 수정계획’의 정책방향과 부합됨.

- 교통 분야 최상위 계획인 ‘국가기간교통망계획 제2차 수정계획’은 도로·철도 등 개별 교통수단에 대한 마스터플랜으로서 교통수단간 효율적인 연계성 및 상호보완성을 제고를 목적으로 수립

표 5.1-2 국가기간교통망계획 제2차 수정계획의 5대 전략 및 11대 추진과제

5대 전략	11대 추진과제
Ⅰ. 부문 간 효율적 스톡조정을 통한 국가경쟁력 강화	1. 국가교통체계의 종합조정 및 효율성 강화
	2. KTX 중심 철도고속화 및 도로기능 효율화
	3. 항공·해운·물류 경쟁력 강화
Ⅱ. 교통연계성 강화를 위한 인터모달리즘 구현	4. 교통수단간 연계환승체계 강화
	5. 인터모달리즘 실현을 위한 물류거점 연계 교통체계 구축
Ⅲ. 21세기 글로벌 교통·물류 강국 실현	6. 육·해·공 통합연계 국제교통망 구축
	7. 국제 교통·물류시장 통합 대응
Ⅳ. 저탄소 녹색 성장형 교통체계 구축	8. 녹색 성장형 교통체계 전환
	9. 미래형 교통기술 개발 및 구현
Ⅴ. 선진국 수준의 교통서비스 제공	10. 교통안전 및 재난대응, 보안검색 체계 강화
	11. 교통서비스의 사회적 형평성 강화

- 이를 위하여 ‘국가기간교통망계획 제2차 수정계획’은 5대 전략, 11대 추진과제를 설정하였으며, 동 사업은 ‘국가교통체계의 종합조정 및 효율성 강화’와 관련하여 전국 고속화 철도망 구축 및 속도 경쟁력 확보라는 정책목표에 부합됨.

[참고] '국가기간교통망계획 제2차 수정계획' 개요

□ 수정배경

- 「저탄소 녹색성장」을 견인할 수 있도록 교통SOC 투자패러다임을 전환하고, 국토종합계획 및 부문별 교통계획과 계획기간을 일치시켜 계획간 정합성·일관성 제고

□ 주요 수정방향 및 내용

- 계획기간 수정 : '00 ~ '19 → '01 ~ '20
- 「저탄소 녹색성장」을 위한 교통SOC 투자 방향 전환
 - 철도 투자확대, 대중교통 활성화 및 녹색교통 기술 개발 촉진
- 도로·철도 등 국가교통체계의 종합 조정
 - (철도) 고속철도의 적기완공과 간선철도의 고속화·전철화를 추진하여 전국 고속화 철도망 구축 및 속도 경쟁력 확보
 - (도로) 완공 및 지·정체 혼잡구간 정비에 우선 투자, 신규 사업은 가능한 억제, 기존도로 운영효율화 및 수요관리 강화
 - (공항) 중추·거점공항은 국제적 경쟁력 강화를 위해 시설확충, 국제선 유치 등을 추진하되 일반 공항은 신규투자 최소화
 - (항만) 부산항, 광양항, 울산항을 동북아 허브항으로 집중 개발하고, 지역별 거점항만을 특화하여 수출입 경쟁력 제고
 - (물류) 철도, 연안 해운 중심의 수송체계를 활성화하고 내륙물류기지 기능을 재정비하여 비용절감형 물류체계 확립
- 교통수단의 특성에 따른 투자로 수송효율성 강화
 - 통행거리별 수송수단의 역할을 분담하여 상호보완
 - (기능분담) 장거리: 철도, 해운(대량화물), 항공(긴급화물) / 중거리: 도로와 철도 분담/ 단거리: 광역급행철도, BRT 등
- 교통 네트워크의 이동성·접근성·연계성 강화
 - 주요 교통거점을 중심으로 연계교통망 구축 등 인터모달리즘 실현

□ 투자 규모

○ '11 ~ '20년까지 총 교통 SOC 투자규모는 185조원 예상

- 도로 70조(37.9%), 철도 72조(38.9%)로 철도에 대한 투자 증대

□ 교통시설 확충

- (간선도로) 17,596km → 19,854km로 총 연장 2,258km 증가
- (철도) 3,378km → 4,955km로 총 연장 1,577km 증가
- (항만) 하역능력 2,186만 → 3,412만 TEU/년으로 총 1,226만 TEU 증가
- (공항) 운항횟수 498천 → 825천 회/년으로 총 327천회 증가

□ 수송 분담률 변화

○ 철도의 수송 분담률 증가(인·톤-KM 기준)

- (철도) 여객: 16%('08) → 27%('20), 화물: 8%('08) → 18.5%('20)
- (도로) 여객: 81%('08) → 69%('20), 화물: 71%('08) → 60.2%('20)

- 최근 정부는 “제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020(2011.4)”에서 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결한다는 구상을 발표한 바 있으며 본 사업은 이러한 목표 달성을 위해 반드시 추진이 필요함.
- “제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020(2011.4)”의 의하면 장래 지역간 총 목적 통행량은 1일 '07년 1,398만 통행에서 '36년 1,567만 통행으로 증가할 것으로 예상되기 때문에 이에 대응하기 위한 속도향상은 필수 요구사항

표 5.1-3 제2차 국가철도망 구축계획 주요 추진과제

추진과제	주요 내용
I. 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결	국토 최단 연결 X자형과 해안권 연결 □자형을 결합한 국가철도망 구축 경부.호남.수도권 고속철도를 중심으로 X자형의 국가 철도망 대 골격 구성 서해선, 동해선, 경춘선, 춘천~속초선, 경전선을 통해 □자형 연결
II. 대도시권 30분대 광역.급행철도망 구축	광역철도 운영체계를 급행위주로 재편, 시설확충 등을 통해 도심 접근 30분대 광역철도망 구축
III. 녹색 철도물류체계 구축	산업 . 물류 거점 간 대량.고속 철도 물류네트워크 구축
IV. 편리한 철도이용환경 조성	고속철도 및 일반철도역의 접근성을 개선하고, 이용 편의시설 지속 확충

[참고] '제2차 국가철도망 구축계획' 개요

□ '제2차 국가철도망 구축계획'의 비전체계

비 전

철도망을 통해 국토를 통합 · 다핵 · 개방형 구조로 재편

목 표

**전국 주요거점을 일상 통근시간대인 1시간 30분대로
연결하여, 하나의 도시권으로 통합**

추진과제

1. 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결
2. 대도시권 30분대 광역·급행 철도망 구축
3. 녹색 철도물류체계 구축
4. 편리한 철도 이용환경 조성

□ 세부추진과제

○ 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결

- 정부·호남·수도권 고속철도를 중심으로 X자형의 국가 철도망 대골격 구성
 - 고속철도망 보완을 위해 충북선, 중앙선, 원주~강릉선, 남부 내륙선을 통해 기능 분담
- 서해선, 동해선, 경춘선, 춘천~속초선, 경전선을 통해 □자형 연결
 - 초 광역권 구상에 부합하는 해안권 □자형 네트워크 구축
- 일반철도 경쟁력 확보를 위한 기존 건설선 고속화를 추진하고, 고속철도와 연계운행을 통해 KTX 서비스지역 확대
 - 일반철도를 신호, 전차선 등 일부 시설 개량을 통해 선형조건에 따라 230km/h* 또는 250km/h**내외로 고속화

○ 대도시권 30분대광역·급행철도망 구축

- 광역철도의 운영체계를 급행위주로 재편
 - 거점역 정차, Skip & Stop 등 운행방식 다양화를 통해 기존 운영노선 고속화 추진
 - 이용편의 제고를 위해 운행간격이 긴 노선은 수요맞춤형 열차(8량→4~6량) 운행을 통해 급행열차 운행 확대
 - 중장기적으로 고속화 차량(110→150~180km/h) 도입, 대피선 설치 등 시설 개선을 통해 대부분의 광역철도를 급행화
- 대도시 교통난 해소를 위한 광역철도망 지속 확충
 - 경춘선, 경의선, 분당선 등 진행 중인 광역철도 사업을 적기 완공
 - 월곶~판교, 인덕원~수원 등 5+2 광역경제권 특성화 발전 지원을 위한 광역교통기능 철도망 확충
- 도심 접근 30분대 광역철도망 구축을 목표로 수도권 광역급행철도 사업 추진 본격화

○ 녹색 철도물류체계 구축

- 경부 및 호남고속철도 개통 이후 기존 경부선·호남선을 주요 화물 발생 거점과 연계한 화물 중심 노선으로 전환
- 화물수송비율이 높은 주요 선로·구간의 선로용량 증대를 통해 철도의 수송능력 확충
- 핵심 물류거점인 항만·산업단지·내륙 화물기지를 간선 철도망과 연결하는 인입철도의 지속 확충
- KTX 화물 전용칸 등을 통해 고부가가치 소량화물 운송
- 대량수송체계 도입을 통해 철송의 경쟁력 제고

○ 편리한 철도이용환경 조성

- KTX역, 전철역, 터미널 등에 상업·문화·업무 등이 결합된 복합환승센터 본격 개발
- 철도·대중교통 연계를 위해 택시 베이, 버스 베이 등 교통광장 설치
- 고속철도역 접근 편의를 위해 광역직행버스, 리무진 버스, 셔틀버스 도입 및 확대
- 엘리베이터 등 편의시설 확충, barrier free 역사 지정 등 교통약자의 이

용편의 제고

- 역사 내 자전거 보관시설, 경사로 설치 등 지속 추진

□ 국가철도망 구축계획

○ 고속철도

- 경부고속철도 대전·대구 도심구간은 '14년 완공을 목표로 차질 없이 추진
- 호남고속철도 오송~광주 구간은 '14년까지 완공하고, 광주~목포 구간은 '17년까지 완공 예정
- 서울~시흥간 용량부족 해소를 위한 수도권 고속철도를 '14년까지 완공 추진

○ 일반철도 : 기존선 개량, 복선전철화 및 신설 등 58개 사업 추진

- 기존선 복선전철화 및 고속화 사업
 - 경춘선 금곡~춘천(64.2km) 복선전철화, 중앙선 덕소~원주(90.4km) 복선전철화, 전라선 익산~순천(154.2km), 경전선 삼랑진~진주(95.5km) 복선전철화 등
- 기존선 개량 사업
 - 영동선 동백산~도계(17.8km) 철도이설, 장항선 2단계 개량(33.1km) 사업 등
- 신설 건설사업
 - 소사~원시(23.1km) 복선전철, 성남~여주(57.0km) 복선전철, 서해선(98.3km) 복선전철, 원주~강릉 복선전철(111.2km) 사업 등
- 신규 착수사업
 - 수서~용문(44.1km) 복선전철, 장항선 신창~대야(122.1km) 복선전철화, 월곶~판교(35.8km) 복선전철 사업 등

○ 광역철도

- 기존선 복선전철화, 신설 등 18개 사업 추진
- 신규사업
 - 수도권 광역급행철도 3개 노선(일산~수서(동탄) 46.2km, 송도~청량리 48.7km, 의정부~금정 45.8km) 등

- 시행중인 사업

- 경의선 용산~문산(48.6km) 복선전철화, 경춘선 망우~금곡(17.9km) 복선전철, 분당선 왕십리~선릉(6.8km) 복선전철, 신분당선 강남~용산(7.5km) 복선전철, 신안산선 안산~여의도(31.7km) 복선전철 등 지속 추진

○ 추가 검토대상 사업

- 20개 사업, 1,081.8km

□ 투자 전략 및 투자 효율화 방안

○ 제2차 국가철도망 구축계획('11 ~ '20) 기간 동안 철도시설 확충에 총 88조원이 소요될 전망

- 부문별로는 고속철도 16조원, 일반철도 46조원, 광역철도 26조원이 소요될 전망

○ 철도 투자 비율 확대

- 「녹색교통 추진전략('09. 11)」, 「KTX 고속철도망 구축전략('10. 9)」에 따라 철도투자비율을 단계적으로 교통 SOC 내에서 50%까지 확대 추진

○ 철도건설 사업비 절감 기술개발

- 현재 진행 중인 「사업비 절감 기술연구」('10 ~ '11)를 통해 사업비를 최대 20%까지 절감

5.2 기술적 타당성

5.2.1 기존 기술(연구)과의 차별성 및 연계성

- “고속철도 자갈궤도 유지보수 저감을 위한 궤도구조 개량기술 개발” 연구는 고속철도 또는 고속화 간선철도에서 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 운행선에서 선로를 차단하지 않고 야간 차단시간을 이용하여 자갈궤도의 구조를 개량하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하며,
 - 이를 위해 고속철도 환경과 하중조건에 맞는 궤도구조 개량을 위해 궤광구조 개량 및 콘크리트궤도화 공법의 개발을 추진
 - 고속화에 적합한 궤도구조를 설계하고, 시공장비 및 공정을 최적화하기 위한 연구를 중점적으로 추진하고자 함.
- 반면 “차세대 고속철도 기술개발 사업”의 “선로구축물 핵심기술개발” 과제에서는 궤도 침하복원 기술, 궤도 유지보수 기준 정립, 궤도재료 수명예측기법 등을 주요 내용으로 추진하고 있으므로 중복성이 없음.
- “400km/h급 고속철도 인프라 시스템 기술개발 사업”에서는 속도에 민감한 인프라 시스템의 설계 파라미터를 분석하여 테스트베드에서의 현장 실험 등을 통해 설계기준 제시를 주요 목표로 설정하고 있어 본 사업과는 차별화됨.
- “고속철도 안정화 기술개발 사업”의 경우 궤도 유지보수 저감을 위한 슬래브 궤도 개발, 방진침목 및 체결장치 개발 등의 연구를 추진하여 궤도 유지보수 저감 기술 개발이라는 측면에서 유사성이 있으나 기존 운행선에서의 궤도구조를 개량하는 기술 개발과는 차이가 있음.
- “자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발” 에서 포장궤도 공법의 개발이 이루어져 본 사업의 연구내용과 가장 유사성이 있으나, 본 사업에서는 “자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발” 연구에서 개발된 포장궤도 기술을 근간으로 하되, 고속철도의 하중 조건과 환경에 맞는 궤도구조로 보완하고 고속 운행선 환경에서 시공성과 시공속도를 향상시킬 수 있는 시공법 및 시공장비의 개발에 초점을 맞추어 추진하고자 함.

표 5.2-1. 기존 기술(연구)와의 차별성 및 연계성

본 사업		기존 연구사업			검토결과	
사업명	주요내용	사업명	주요내용	연구기관/기간	차별성	연계방안
시스템 엔지니어 및 테스트베드 구축 총괄	•자갈궤도 개량기술 개발 성능목표 및 요건 도출 •시스템 및 구성요소별 성능검증체계 정립 및 관리 •테스트베드 계획 수립 및 구축 총괄 •자갈궤도 개량기술 경제성 분석	400km/h급 고속철도 인프라 시스템 기술개발 사업	•인프라 시스템 설계 파라미터 분석 •Test bed 에서의 현장 실험을 통한 설계 기준 제시	철도연 (2010.12~2014.10)	•자갈궤도 개량에 초점을 두고 요구조건을 도출 •Test bed 역시 성능 검증 뿐만 아니라 시공 가능성에 주안을 둠	•기존의 설계 및 현장 실험 노하우를 벤치마킹하여 연계
하부 노반 상태평가 기술 개발 및 궤도 개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가	•기존 지반 상태평가 기술의 적용성 및 문제점 검토, 보완방안 제시 •노반 상태평가 시스템 개발 •테스트-베드 후보지 노반 상태평가	선로구축물 핵심기술개발	•궤도침하 복원 기술 •궤도유지보수 기준 정립 •궤도재료수명 예측기법 등	철도연 (2007.07~2012.07)	•비파괴 조사를 통해 궤도 갱환 대상 개소를 선정 •궤도 갱환을 목적으로 노반을 보강	-

본 사업		기존 연구사업			검토결과	
사업명	주요내용	사업명	주요내용	연구기관/기간	차별성	연계방안
고성능 궤광구조 시스템 설계 및 성능평가	•설계요건 정립 •개념설계 및 상세 설계 •시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 •실내 실험가속실험 •테스트-베드 현장 부설 및 현장시험	운행선 궤도구조에 관한 생력화 방안 연구(기존선 고속화 기술개발 사업)	•궤도보선 현황 조사 및 분석 •궤도 생력화 방안 도출(구간별 궤도 생력화 방안 제시)	철도연 (2000.1~2000.12)	•차단시간에 대한 고려 없이 기존선 대상으로 생력화할 수 있는 구조 및 방안에 대한 고찰 •생력화 방안에 대한 경제성 분석 없음	•기존 연구의 대안을 활용 가능한 지 확인
고성능 궤광구조 침목 개발	•침목 구조설계 •침목 제작용 금형 제작 •침목 시작품 제작 및 성능평가 •테스트-베드 현장 부설용 침목 시작품 제작 및 현장 부설 지원 •침목 자재 시방서 작성	-	-	-	-	-
궤광구조 시스템 공정 최적화 및 시공장비 개발	•각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계 •시공장비 설계(자동 침목교환 장비) •시공장비 시작품 제작 및 시공성 시험 •테스트-베드 현장 부설 지원 •시공장비 운용 매뉴얼 작성	-	-	-	-	-

표 5.2-1. (계속)

본 사업		기존 연구사업			검토결과	
사업명	주요내용	사업명	주요내용	연구기관/기간	차별성	연계방안
자갈케도의 콘크리트 궤도화 시스템 설계 및 성능평가	- 설계요건 정립 - 개념설계 및 상세 설계 - 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 - 실내 실험·가속실험 - 테스트-베드 현장 부설 및 현장시험	유지보수 성능향상 기술 연구 (자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발)	국내 도시철도에 적합한 포장궤도구조개발	철도연 (2003.08~2008.12)	고속선의 궤도성능조건을 만족하는 안정성 및 내구성 확보되는 콘크리트궤도화	기존 연구사업에서의 설계경험을 바탕으로 고속선용 콘크리트 궤도화 설계기술 벤치마킹
자갈케도의 콘크리트 궤도화 충전재료 개발	- 고속선용 충전재료의 원재료 선정 및 배합설계 - 충전재 역학적 특성 및 유동성 평가 - 테스트-베드 현장 부설용 충전재 제조 및 현장부설 지원 - 충전재의 문제점 분석 및 보완 - 충전재 자재 시방서 작성	유지보수 성능향상 기술 연구 (자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발)	국내 도시철도에 적합한 포장궤도 공법의 개발	철도연 (2003.08~2008.12)	연구에서 개발된 포장궤도 기술을 근간으로 하되, 고속궤도의 하중조건과 환경에 맞는 궤도재료로 보완	기존 연구사업에서 개발된 충전재료기술을 근간으로 함.
자갈케도의 콘크리트 궤도화 침목 개발	- 침목 구조설계 - 침목 제작용 금형 제작 - 침목 시제품 제작 및 성능평가 - 테스트-베드 현장 부설용 침목 시제품 제작 및 현장 부설 지원 - 침목의 문제점 분석 및 보완 - 침목 자재 시방서 작성	유지보수 성능향상 기술 연구 (자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발)	국내 도시철도 선로조건 및 시공조건을 고려한 대형침목 개발	철도연 (2003.08~2008.12)	연구에서 개발된 침목개발 기술을 근간으로 하되, 고속궤도의 하중조건과 환경에 맞는 침목으로 보완	기존 연구사업에서 개발된 대형침목개발기술을 근간으로 함.
콘크리트 궤도화 공정 최적화 및 시공장비 개발	- 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계 - 시공장비 설계(발라스트 클리너, 건식 자갈세척장비, 충전재 배합/주입 장비) - 시공장비 시제품 제작 및 시공성 시험 - 테스트-베드 현장 부설 지원 - 시공장비 운용 매뉴얼 작성	유지보수 성능향상 기술 연구 (자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발)	국내 도시철도용 시공공정 및 시공장비의 개발	철도연 (2003.08~2008.12)	고속 운행선 환경에서 시공성과 시공속도를 향상시킬 수 있는 시공법 및 자동화 시공장비의 개발에 초점을 맞추어 추진	시공경험을 바탕으로 시공장비의 자동화 및 기계화를 달성하고 공기를 단축하는 최적의 공정확보를 목표

5.2.2 기술개발계획의 우수성

- 본 사업의 추진에 있어 기존 기술의 체계적인 장단점 분석(VE 평가)을 통해 공정 최적화 및 시공장비 개발, 고속철도 하중에 대한 구조적 보완방안 등 요소 기술을 도출하였으며, 최단 시간 내에 기술을 보완하고 현장에 적용하며 동시에 리스크를 최소화하고자 단계별 성능검증 및 보완을 위한 테스트베드 구축계획을 제시하였음.

- 현재 상태로 유지할 경우에 유지보수비 절감을 목표로 할 뿐 아니라 향후 속도 향상에 대응할 수 있는 기술을 선제적으로 개발함으로써 미래 수요에 대응할 수 있는 기술개발계획을 제시하고 있음.

5.3 경제적 타당성

5.3.1 경제적 타당성 검토를 위한 시나리오 설정

- 경제적 타당성 검토를 위해 경부고속철도 1단계 구간(광명~대전)의 궤도구조 개량사업에 대한 궤도 수명주기비용을 산정하여 평가
 - 개량사업의 시행 여부와 속도 향상 여부에 따라 아래와 같이 4가지의 시나리오 가정
 - S0 : 궤도구조의 개량을 시행하지 않으며, 속도 향상을 하지 않음.
 - S1 : 특별관리구간(70km)에 대해 궤광구조 개량공법을 적용 개량 시행, 속도 향상을 하지 않음.
 - S2 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 궤광구조 개량공법을 적용 개량 시행
 - 320km/h로 증속 (S2-1)
 - 350km/h로 증속 (S2-2)
 - S3 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 콘크리트궤도화 공법을 적용 개량 시행
 - 320km/h로 증속 (S3-1)
 - 350km/h로 증속 (S3-2)
 - S4 : 특별관리구간(70km)에 대해 콘크리트궤도화 공법을 적용하여 개량하고, 나머지 구간(370km)에 대해 궤광구조 개량공법을 적용하여 개량 시행
 - 320km/h로 증속 (S4-1)
 - 350km/h로 증속 (S4-2)

5.3.2 궤도 전(全)수명주기비용 산정 방법 및 기본 가정

- 간략한 궤도 수명주기비용의 산정을 위해 아래와 같이 수명주기비용을 궤도구조 개량을 위한 건설비와 궤도 유지보수비 그리고 궤도재료의 갱환비용의 합으로 정의
 - 수명주기비용(LCC) = 궤도구조 개량 비용(건설비) + 궤도 유지보수비용 + 궤도재료 갱환비용

- 궤도구조 개량 비용 : 궤도구조 개량에 소요되는 비용(건설비)
- 궤도 유지보수 비용 : 연간 궤도틀림보수 및 점검, 교체 등 유지보수 비용
- 궤도재료 갱환비용 : 매년 소요되는 유지보수비용과는 별도로 궤도 수명 경과 후 궤도재료를 교체하는데 소요되는 비용

□ 궤도구조 개량 비용의 산정

- 궤광구조 개량공법의 시공비는 고속철도 자갈궤도의 표준건설비용 자료(표 5.3-3)를 참조하되, 침목 재료비를 일반 PC 침목의 2배로 가정하고, 시공 난이도를 고려하여 자갈 교환 및 살포 비용 단가를 2배로 고려하여 4.76억 원/km로 가정(표 5.3-1 참조)

표 5.3-1. 궤도개량 시공비용 산정

구 분	산정기 준	금 액 (원)	구 성 비 (%)
1. 순공사원가	(재+노+경)	407,121,330	94.22 %
가. 재료비		311,570,202	72.11 %
나. 노무비		34,887,536	8.07 %
다. 경 비		60,663,592	14.04 %
2. 일반관리비	(재+노+경)의 3.5%	14,249,246	3.30 %
3. 이 윤	(노+경+일)의 9.0%	9,882,033	2.29 %
4. 총공사원가	(재+노+경+일+이+외국인기술자)	431,252,609	99.81 %
5. 공사손해보험료	총공사원가 * 0.194%	836,630	0.19 %
6. 소 계		432,089,239	100 %
7. 부가가치세	공급가액의 10%	43,208,239	
8. 총 계		475,298,162	
9. 도 급 금 액		475,298,000	
10. 지급자재비		-	
11. 총 공 사 금 액		475,298,000	

- 콘크리트궤도화 공법의 시공비는 현재 포장궤도 시공비(16억원/km)의 125 %로 가정(연구개발 목표치)

□ 궤도 유지보수비용의 산정

- 궤도유지보수비는 현재 경부고속철도 1단계 구간(광명~대구)의 연간 유지보수비(아래 표)를 기준으로 가정함.
- 궤도구조 개량을 시행하지 않는 경우 : 0.805억원/km (2009년 기준)
- 궤광구조 개량공법을 적용하는 경우
 - Case 0 - 증속하지 않는 경우 : 0.559억원/km(궤도틀림보수비의 50% 절감)
 - Case 1 - 320km/h로 증속 : 0.657억원/km(궤도틀림보수비의 30% 절감)
 - Case 2 - 350km/h로 증속 : 0.805억원/km(궤도틀림보수비의 0% 절감)
- ※ 시설유지보수비 중 궤도틀림보수비의 비중 약 61%로 가정(한국철도공사 자료, 표 5.3-2 참조)
- 콘크리트궤도화 공법을 적용하는 경우 : 0.436억원/km (속도와 관계없이 궤도틀림보수비의 75% 절감 가정)

표 5.3-2 경부고속철도 1단계구간 시설유지보수비(한국철도공사)

구 분	'06년	'07년	'08년	'09년
고속철도 시설 유지보수비	547	350	331	354

□ 궤도재료 교환비용(유지보수)의 산정

- 자갈궤도의 수명을 일반적으로 30년으로 가정하고 있으므로 1단계 구간의 궤도 개통 후 30년이 경과하는 2034년을 기준으로 궤도재료의 교환비용을 반영
- 표 5.3-3의 표준건설비용을 참고하면 각 재료의 교환비용은 아래와 같음.
 - ① 레일 : 1.66억원/km
 - ② 레일체결구 및 패드 : 0.335억원/km
 - ③ 침목 : 1.46억원/km (체결구 설치 노무비 포함)
 - ④ 자갈 : 0.835억원/km (자갈 다지기 포함)
- 따라서, 궤도 재료 궤도구조 개량을 시행하지 않는 경우 : 5.15억원/km (레일, 패드, 침목, 도상자갈 등 전체 궤도재료 교환비용 + 간접비 등 부대 비용 20% 가정)
- 궤도구조를 개량하는 경우 : 1.995억원/km (레일과 체결구 교환만 고려)

표 5.3-3 궤도공사 표준건설비용(설계가 기준)

(a) 순공사원가(단위 : 원)

공 종	규 격	수 량	단 위	합 계		재 료 비		노 무 비		경 비	
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액
1. 고속철도 자갈도상(PCT)		-		-	429,714,304	-	370,677,033	-	33,922,613	-	25,114,658
가. 측량 및 기준점 설치		-		-	833,452	-	104,146	-	667,982	-	61,324
1) 선형확인측량	일반구간	1	km	91,360	91,360	-	-	84,117	84,117	7,243	7,243
2) 1차(중심선)기준점설치	일반구간	1	km	67,720	67,720	13,584	13,584	47,955	47,955	6,181	6,181
3) 2차(중심선)기준점설치	일반구간, 직선부	1	km	169,301	169,301	33,961	33,961	119,888	119,888	15,452	15,452
4) 보조기준점설치	일반구간, 직선부	1	km	505,071	505,071	56,601	56,601	416,022	416,022	32,448	32,448
나. 궤도부설		-		-	43,910,685	-	7,130,829	-	28,368,914	-	8,410,942
1) 궤도부설	60kg, PCT	1	km	8,302,350	8,302,350	858,071	858,071	6,713,316	6,713,316	730,963	730,963
2) 장대레일 하화 소운반	지상구간	1	km	779,982	779,982	165,752	165,752	580,595	580,595	33,635	33,635
3) 레일절단	지상구간, UIC레일	13	개소	5,461	70,993	521	6,773	4,896	63,648	44	572
4) 장대레일 제설정	일반구간	1	km	2,380,812	2,380,812	509,483	509,483	1,749,619	1,749,619	121,710	121,710
5) 레일연마	회전식	1	km	7,115,276	7,115,276	1,652,299	1,652,299	413,148	413,148	5,049,829	5,049,829
6) 켄자갈 살포 고르기	기계화시공	1,843	m ²	11,146	20,542,078	843	1,553,649	8,977	16,544,611	1,326	2,443,818
7) 켄자갈 살포	켄자갈살포고르기의 30%	553	m ²	1,910	1,056,230	18	9,954	1,837	1,015,861	55	30,415
8) 일반구간 자갈다지기	공단제공장비	1	km	3,662,964	3,662,964	2,374,848	2,374,848	1,288,116	1,288,116	-	-
다. 용접공사		-		-	4,302,662	-	2,608,853	-	1,676,532	-	17,277
1) 테르미트용접	UIC60kg, 1일6개소 장대화	13	개소	268,974	3,496,662	138,681	1,802,853	128,964	1,676,532	1,329	17,277
2) 용접검사	초음파, 침투, 경도	13	개	62,000	806,000	62,000	806,000	-	-	-	-
라. 제표공사		-		-	307,186	-	285,000	-	21,542	-	644
1) km표설치	토공부	1	개소	128,556	128,556	115,000	115,000	13,162	13,162	394	394
2) 곡선표설치	토공부	1	개소	89,315	89,315	85,000	85,000	4,190	4,190	125	125
3) 종곡선표설치	토공부	1	개소	89,315	89,315	85,000	85,000	4,190	4,190	125	125
마. 운반		-		-	21,630,795	-	1,818,681	-	3,187,643	-	16,624,471
1) PC 침목운반	공장->현장	1,667	개	5,361	8,936,787	59	98,353	117	195,039	5,185	8,643,395
2) 자갈운송	MFS운송, 약목-고모-현장	2,396	m ³	5,298	12,694,008	718	1,720,328	1,249	2,992,604	3,331	7,981,076
바. 사급자재		-		-	207,309,684	-	207,309,684	-	-	-	-
1) PC침목	UIC60kg	1,667	개	77,000	128,359,000	77,000	128,359,000	-	-	-	-
2) Fast-Clip	60kg용	6,668	개	1,970	13,135,960	1,970	13,135,960	-	-	-	-
3) 절연블럭	Toe-insulator, 자갈	6,668	개	702	4,680,936	702	4,680,936	-	-	-	-
4) 절연블럭	Side post-insulator, 자갈	6,668	개	771	5,141,028	771	5,141,028	-	-	-	-
5) 레일패드	Fast-Clip자갈용	3,334	개	3,140	10,468,760	3,140	10,468,760	-	-	-	-
6) 켄자갈(약목역도착도)	ø22.4~63mm(세척자갈)	2,396	m ³	19,000	45,524,000	19,000	45,524,000	-	-	-	-
사. 지급자재		-		-	151,419,840	-	151,419,840	-	-	-	-
1) 레일 (60KG UIC)	L = 25M	80	개	1,892,748	151,419,840	1,892,748	151,419,840	-	-	-	-

표 5.3-3 (계속)

(b) 공사비 총계

구 분	산 정 기 준	금 액 (원)	구 성 비 (%)	비 고
1. 순공사원가	(재+노+경)	314,041,346	93.69 %	
가. 재료비		219,257,193	65.41 %	
가-1. 주요재료비		219,257,193	65.41 %	지급자재 제외
나. 노무비		38,061,171	11.35 %	
나-1. 직접노무비		33,922,613	10.12 %	
나-2. 간접노무비	직노의 12.2%	4,138,558	1.23 %	
다. 경 비		56,722,982	16.92 %	
다-1. 산출경비		25,114,658	7.49 %	
다-2. 산재보험료	노무비의 3.4%	1,294,079	0.39 %	
다-3. 고용보험료	노무비의 1.17%	445,315	0.13 %	
다-4. 건강보험료	직노의 1.49%	505,446	0.15 %	
다-5. 연금보험료	직노의 2.43%	824,319	0.25 %	
다-6. 건설근로자퇴직공제부금비	직노의 2.3%	780,220	0.23 %	
다-7. 산업안전보건관리비	관급포함시 : ㉠와 ㉡ 비교후 적은금액 적용	4,800,289	1.43 %	
	㉠. 일반경우 [재+직노]의 1.58% + 0	4,000,240		
	㉡. ㉠의 1.2배	4,800,289		
	㉢. [재+직노+지급자재대]의 1.58% + 0	6,392,674		
다-8. 기타경비	(재+노)의 7.3%	18,784,240	5.60 %	
다-9. 공사이행보증수수료	(재+직노+산경)의 약 0.0422%	-		
다-10. 건설하도급대금지급보증서발급수수료	(재+직노+산경)의 0.000%	-		
다-11. 환경보전비	(재+직노+산경)의 1.5%	4,174,416	1.25 %	
2. 일반관리비	(재+노+경)의 3.5%	10,991,447	3.28 %	
3. 이 윤	(노+경+일)의 9.0%	9,519,804	2.84 %	
4. 총공사원가	(재+노+경+일+이+외국인기술자)	334,552,597	99.81 %	
5. 공사손해보험료	총공사원가 * 0.194%	649,032	0.19 %	
6. 소 계		335,201,629	100 %	
7. 부가가치세	공급가액의 10%	33,520,162		
8. 총 계		368,721,791		
9. 도 급 금 액		368,721,000		
10. 지급자재비		151,419,840		
11. 총 공 사 금 액		520,140,840		

5.3.3 결과 분석

- 궤도 전수명주기비용 산정 결과, 개량사업 시행 이후 총 60년간의 수명주기비용을 분석한 결과, 표 5.3-4와 같이 나타났음.
- 궤도 개량을 시행하지 않는 경우에 비해, 궤도구조를 개량하는 경우 전수명주기비용이 낮은 것으로 나타났음.
 - 320km/h로 증속할 경우 궤광구조 개량공법을 시행하는 경우(S2-1)와 일부 구간을 콘크리트궤도화 공법을 적용하고, 나머지 구간을 궤광구조 개량을 시행하는 방안(S4-1)이 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-1)에 비해 수명주기비용이 더 낮은 것으로 나타났음.
 - 350km/h까지 증속을 고려하는 경우는 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-2)과 콘크리트궤도화 공법과 궤광구조 개량 공법을 병행하는 방안(S4-2)이 유사하며, 가장 수명주기비용이 낮은 것으로 평가됨.

표 5.3-4 궤도 수명주기비용 산정 결과

(단위 : 억원)

개량사업 시나리오	궤도구조 개량 건설비	궤도재료 갱환비용	궤도 유지보수비	합계
S0	0.0	4,944.0	21,240.0	26,184.0
S1	380.8	4,439.2	20,111.2	24,931.2
S2-1	2,559.4	1,915.2	17,525.8	22,000.4
S2-2	2,559.4	1,915.2	20,700.2	25,174.8
S3-1	9,265.0	1,915.2	13,385.2	24,565.4
S3-2	9,265.0	1,915.2	13,385.2	24,565.4
S4-1	3,313.6	1,915.2	16,490.3	21,719.1
S4-2	3,313.6	1,915.2	19,193.5	24,422.3

주) S0 : 궤도구조의 개량을 시행하지 않으며, 속도 향상을 하지 않음.

S1 : 특별관리구간(70km)에 대해 궤광구조 개량공법 적용 개량 시행, 속도 향상 하지 않음.

S2-1 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 궤광구조 개량공법 적용 개량 시행, 320km/h로 증속

S2-2 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 궤광구조 개량공법 적용 개량 시행, 350km/h로 증속

S3-1 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 콘크리트궤도화 공법 적용 개량 시행, 320km/h로 증속

S3-2 : 1단계 전 구간(440km)에 대해 콘크리트궤도화 공법 적용 개량 시행, 320km/h로 증속

S4-1 : 특별관리구간(70km)에 대해 콘크리트궤도화 공법 적용, 나머지 구간(370km)에 대해 궤광구조 개량공법을 적용하여 개량 시행, 320km/h로 증속

S4-2 : 특별관리구간(70km)에 대해 콘크리트궤도화 공법 적용, 나머지 구간(370km)에 대해 궤광구조 개량공법을 적용하여 개량 시행, 350km/h로 증속

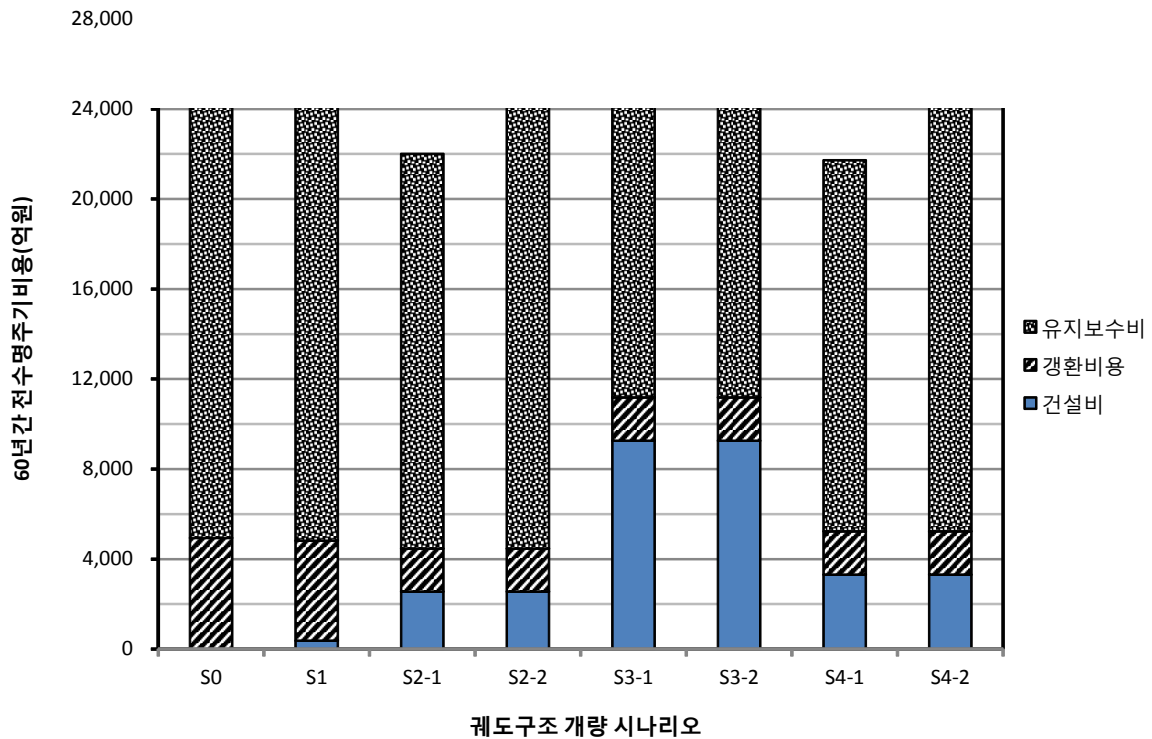


그림 5.3-1 궤도 수명주기비용(60년) 비교

- 궤도구조를 개량하고 320km/h로 증속을 하는 경우(S2-1, S4-1) 상대적으로 초기 개량비용이 낮으면서 동시에 유지보수비를 효과적으로 낮출 수 있어 수명주기비용이 가장 낮은 것으로 나타났다.
- 경부 및 호남고속철도 속도 향상방안 연구(2011)에 따르면 경부고속철도의 속도를 320~350km/h로 향상시킬 경우 궤도 수명주기비용의 절감 외에도 속도 향상을 통해 2조 4천억~3조 1천억의 직·간접 편익이 발생하는 것으로 제시된 바 있음(아래 표 5.3-5 참조).

표 5.3-5 경부고속선 증속사업 편익 산출결과¹⁾

(단위 : 억원)

구분	통행시간	차량 운행비용	교통 사고비용	대기 오염비용	계
320km/h	11,940	10,192	1,116	1,157	24,405
350km/h	15,187	12,391	1,418	1,586	31,582
400km/h	16,867	15,303	1,613	1,630	35,413

1) 경부 및 호남고속철도 속도 향상방안 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, (주) 유신, 2011. 5.[19]

- 속도 향상에 따른 편익을 고려한다면 350km/h로 증속하는 것이 경제적 효과가 높을 것으로 판단됨(단, 정확한 경제성 분석을 위해서는 궤도 개량 외에 전차선 조정 등 속도 향상을 위한 추가 사업비를 고려해야 함).
- 문제 구간만 궤광구조를 개량하고 속도 향상을 시행하지 않는 경우(S1) 전 수명주기비용을 5% 정도 절감할 수 있는 것으로 나타났으나, 속도 향상에 따른 편익을 얻을 수 없으므로 경제적 효과가 상대적으로 낮다고 판단됨.
- 그러나 현재 상태의 궤도를 개량하는 것 없이 속도를 향상시킬 경우 유지보수비의 증가를 가져오게 될 뿐 아니라 주행안전이나 승차감을 보장하기 어려우므로 궤도구조를 개량할 수 있는 기술을 개발하는 것이 경부고속철도 속도 향상에 따른 편익창출의 중요한 전제조건임.
- 증속에 따른 편익을 고려하면 궤조구조를 개량하는 공법이 궤도 수명주기비용이 높아지더라도 적용이 가능할 것으로 판단되나, 전 구간을 콘크리트 궤도화 공법을 적용할 경우에는 사업시행기간이 약 22년이 예상되므로(※참조) 편익의 현재가치가 반감될 수 있으므로 궤광구조 개량공법과 콘크리트궤도화 공법을 병행하여 전체 사업의 시공속도를 향상시켜야 함.

※ 시공속도를 50m/일이라고 가정하고(일본의 포장궤도 사례를 참조), 동시에 2개 구간에서 공사를 시행하는 조건으로 계산하면 경부고속철도 개량 공사기간은 아래와 같이 산정될 수 있음.

$$50\text{m/일} \times 200\text{일/년(연간 작업가능일수)} \times 2\text{구간} = 20\text{km/년}$$

$$\therefore 440\text{km}(1\text{단계 자갈궤도 구간 연장}) / 20\text{km/년} = 22\text{년}$$

5.3.4 기타 파급효과

- 향후 기술개발 성공적으로 이루어질 경우 기존선(유지보수비: 2009년 3,464억원) 개량에도 적용 가능하므로 유지보수비 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.
- 또한 세계 각국에서 철도의 속도향상에 대한 필요성을 크게 인식하고 있기 때문에 자갈궤도 개량과 관련한 해외시장이 크게 형성될 것으로 예상되며 따라서 해외시장진출에 따른 이익 창출이 기대됨.

5.4 정부지원의 타당성

- 정책적 타당성 검토에서 살펴본 바와 같이 현재 정부에서 추진하고 있는 철도 수송 분담을 증대 및 KTX 중심의 고속철도망 구축 등 주요 정책 목표 달성을 위해 본 사업에 대한 지원이 필요함.
 - 특히 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표(제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020, 국토부, 2011.4)의 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심 축인 정부고속철도의 운영속도의 향상이 필수적이나, 현재의 자갈궤도로는 더 이상의 속도향상을 도모하기 어려우므로 자갈궤도 구조의 개량 기술의 개발은 국가교통정책차원에서 우선적으로 추진해야할 과제임.
- 경제적 타당성에서 밝힌 바와 같이 고속철도의 속도를 320~400km/h로 향상시킬 경우 직접적인 궤도 수명주기비용의 절감 외에도 속도 향상을 통해 2조 4천억~3조 가량의 직·간접 편익이 발생할 수 있으므로, 본 사업을 통해 정부 예산 절감 및 국가 경제 발전에 크게 기여할 수 있음.
- 자갈궤도 개량사업은 국가 철도망의 개량 및 속도 향상을 위한 것으로 보편적으로 적용될 수 있는 기술이 아니라 기존선 자갈궤도의 개량이라는 특수한 목적에 국한되므로 민간 기업이 주도적으로 기술 개발에 투자하여 사업화하기는 어려운 분야임.
 - 자갈궤도 개량사업에 대한 국가 정책이 확정되지 않은 상황에서 민간 기업이 주도적으로 기술 수요를 예측하기 어려워 투자의 불확실성이 높은 상황임.
- 또한 국내 궤도 시공업체는 일반 토목 시공업체에 비해 규모면에서 매우 영세하기 때문에 기술 개발을 위한 투자가 어려운 상황에 있음.
- 하지만 자갈궤도 개량사업의 시급성 및 정부 상위 계획과의 부합성에서 살펴본 바와 같이 궤도 유지보수비 절감과 사회적 손실의 최소화를 위해 장기적인 안목에서 국가 정책으로서의 지원이 반드시 필요함.

5.5 종합평가 및 결론

(1) 정책적 타당성

- 저탄소 녹색성장을 위한 국가 교통정책의 일환으로 철도 수송 분담율 증대를 위해 KTX 중심의 고속철도망 구축을 주요 정책목표로 설정하고 있음.
 - 이를 위해 경부고속철도축을 비롯하여 전국 간선철도의 속도 향상이 요구되고 있으나, 기존 철도 대부분은 자갈궤도로 부설되어 속도 향상에 따른 유지보수비의 급증이나 승차감 및 주행 안전 저하가 우려되고 있음.
 - 따라서 적극적인 기술 개발을 통해 유지보수를 효과적으로 절감함과 동시에 속도 향상을 추진할 수 있는 대안 제시 필요
- 본 사업은 “녹색성장 국가전략 및 5개년 계획에 따른 국가 녹색교통정책”, “국가기간교통망계획 제2차 수정계획”, “제2차 국가철도망 구축계획” 등 상위 계획에서 추진 중인 고속화 및 속도 경쟁력 확보, 저비용 철도 건설 등 정책목표에 부합됨.

(2) 기술적 타당성

- “고속철도 자갈궤도 유지보수 저감을 위한 궤도구조 개량기술 개발” 연구는 고속철도 또는 고속화 간선철도에서 궤도구조의 유지보수 저감을 위해 운행선에서 선로를 차단하지 않고 야간 차단시간을 이용하여 자갈궤도의 구조를 개량하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하며,
 - 이를 위해 고속철도 환경과 하중조건에 맞는 궤도구조 개량을 위해 궤광구조 개량 및 콘크리트궤도화 공법의 개발을 추진
 - 고속화에 적합한 궤도구조를 설계하고, 시공장비 및 공정을 최적화하기 위한 연구를 중점적으로 추진
- “차세대 고속철도 기술개발 사업”의 “선로구축물 핵심기술개발” 과제, “400km/h급 고속철도 인프라 시스템 기술개발 사업”, “고속철도 안정화 기술개발 사업” 등의 기존 연구와 연구목표와 내용면에서 차별화됨.

- “자갈도상궤도 생력화를 위한 포장궤도기술 개발” 에서 포장궤도 공법의 개발이 이루어져 본 사업의 연구내용과 가장 유사성이 있으나, 본 사업에서는 기존 연구에서 개발된 포장궤도 기술을 근간으로 하되, 고속철도의 하중 조건과 환경에 맞는 궤도구조로 보완하고 고속 운행선 환경에서 시공성과 시공 속도를 향상시킬 수 있는 시공법 및 시공장비의 개발에 초점을 맞추어 추진하고자 함.
- 본 사업의 추진에 있어 기존 기술의 체계적인 장단점 분석(VE 평가)을 통해 공정 최적화 및 시공장비 개발, 고속철도 하중에 대한 구조적 보완방안 등 요소 기술을 도출하였으며, 최단 시간 내에 기술을 보완하고 현장에 적용하며 동시에 리스크를 최소화하고자 단계별 성능검증 및 보완을 위한 테스트베드 구축계획을 제시하였음.
- 또한 현재 상태로 유지할 경우에 유지보수비 절감을 목표로 할 뿐 아니라 향후 속도 향상에 대응할 수 있는 기술을 선제적으로 개발함으로써 미래 수요에 대응할 수 있는 기술개발계획을 제시하고 있음.

(3) 경제적 타당성

- 경부고속철도 1단계 구간(광명~대전)의 궤도구조 개량사업에 대한 시나리오를 설정하고, 각 시나리오별 궤도 수명주기비용에 대한 분석하였음.
 - 궤도 개량을 시행하지 않는 경우에 비해, 궤도구조를 개량하는 경우 전수명주기비용이 낮은 것으로 나타났음.
 - 320km/h로 증속할 경우 궤광구조 개량공법을 시행하는 경우(S2-1)와 일부 구간을 콘크리트궤도화 공법을 적용하고, 나머지 구간을 궤광구조 개량을 시행하는 방안(S4-1)이 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-1)에 비해 수명주기비용이 더 낮은 것으로 나타났음.
 - 350km/h까지 증속을 고려하는 경우는 전 구간을 콘크리트궤도화하는 방안(S3-2)과 콘크리트궤도화 공법과 궤광구조 개량 공법을 병행하는 방안(S4-2)이 유사하며, 가장 수명주기비용이 낮은 것으로 평가됨.

- 경부 및 호남고속철도 속도 향상방안 연구(2011)에 따르면 경부고속철도의 속도를 320~350km/h로 향상시킬 경우 궤도 수명주기비용의 절감 외에도 속도 향상을 통해 2조 4천억~3조 1천억의 직·간접 편익 발생
 - 그러나 현재 상태의 궤도를 개량하는 것 없이 속도를 향상시킬 경우 유지보수비의 증가를 가져오게 될 뿐 아니라 주행안전이나 승차감을 보장하기 어려우므로 궤도구조를 개량할 수 있는 기술을 개발하는 것이 경부고속철도 속도 향상에 따른 편익창출의 중요한 전제조건이며, 편익 발생 시기를 앞당기기 위해서는 시공속도의 향상이 중요한 관건임.
 - 속도 향상에 따른 편익을 고려한다면 350km/h로 증속하는 것이 경제적 효과가 높을 것으로 판단됨(단, 정확한 경제성 분석을 위해서는 궤도 개량 외에 전차선 조정 등 속도 향상을 위한 추가 사업비를 고려해야 함).
 - 문제 구간만 궤광구조를 개량하고 속도 향상을 시행하지 않는 경우(S1) 전 수명주기비용을 5% 정도 절감할 수 있는 것으로 나타났으나, 속도 향상에 따른 편익을 얻을 수 없으므로 경제적 효과가 상대적으로 낮다고 판단됨.
- 향후 기술개발 성공적으로 이루어질 경우 기존선(유지보수비: 2009년 3,464억원) 개량에도 적용 가능하므로 유지보수비 저감에 크게 기여할 수 있음.

(4) 정부지원의 타당성

- 정책적 타당성 검토에서 살펴본 바와 같이 현재 정부에서 추진하고 있는 철도 수송 분담율 증대 및 KTX 중심의 고속철도망 구축 등 주요 정책 목표 달성을 위해 본 사업에 대한 지원이 필요
- 자갈궤도 개량사업은 기존선 자갈궤도의 개량이라는 특수한 목적에 국한되므로 자갈궤도 개량사업에 대한 국가 정책이 확정되지 않은 상황에서 민간 기업이 주도적으로 기술 수요를 예측하기 어려워 투자의 불확실성이 높은 상황이며, 국내 궤도 시공업체는 일반 토목 시공업체에 비해 규모면에서 매우 영세하기 때문에 기술 개발을 위한 투자가 어려운 상황임.

제6장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

6.1 연구일정에 따른 인력투입계획

(단위 : MM)

구분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
총괄	123.1	203.3	201.1	138.5	132.5	815.5
1세부	32.3	54.2	48.0	38.3	32.3	206.9
1-1 (주관)	14.3	24.0	24.0	14.3	14.3	91.9
1-2 (공동)	18.0	30.0	24.0	24.0	18.0	115
2세부	52.7	82.5	90.9	57.3	57.3	346.7
2-1 (협동)	17.8	29.8	29.8	17.8	17.8	115
2-2 (공동)	25.2	33.5	41.9	25.2	25.2	153
2-3 (공동)	9.7	19.2	19.2	14.3	14.3	78.7
3세부	38.1	66.8	62.2	42.9	42.9	261.9
3-1 (협동)	14.3	23.8	23.8	14.3	14.3	93.5
3-2 (공동)	14.3	23.8	19.2	14.3	14.3	88.9
3-3 (공동)	9.5	19.2	19.2	14.3	14.3	79.5

6.2 소요예산

6.2.1 전체사업 소요예산

(단위 : 백만원)

구분	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	1,500.0	231.0	6,610.0	1,439.0	6,942.0	1,524.0	5,063.0	1,119.0	3,885.0	900.0	24,000.0	5,213.0
1세부	573.0	0.0	856.0	0.0	855.0	0.0	581.0	0.0	283.0	0.0	3,148.0	0.0
1-1 (주관)	144.0	0.0	323.0	0.0	301.0	0.0	192.0	0.0	126.5	0.0	1,086.5	0.0
1-2 (공동)	429.0	0.0	533.0	0.0	554.0	0.0	389.0	0.0	156.5	0.0	2,061.5	0.0
2세부	524.0	131.0	4,062.0	1,015.0	4,266.0	1,068.0	2,273.0	568.0	1,723.0	430.0	12,848.0	3,212.0
2-1 (협동)	158.0	40.0	247.0	62.0	374.0	94.0	933.0	233.0	933.0	232.0	2,645.0	661.0
2-2 (공동)	221.0	55.0	352.0	88.0	375.0	94.0	659.0	165.0	659.0	165.0	2,266.0	567.0
2-3 (공동)	145.0	36.0	3,463.0	865.0	3,517.0	880.0	681.0	170.0	131.0	33.0	7,937.0	1,984.0
3세부	403.0	100.0	1,692.0	424.0	1,821.0	456.0	2,209.0	551.0	1,879.0	470.0	8,004.0	2,001.0
3-1 (협동)	128.5	32.0	199.0	50.0	363.0	91.0	1,234.0	308.0	1,235.0	309.0	3,159.5	790.0
3-2 (공동)	128.5	32.0	231.0	58.0	196.0	49.0	515.0	129.0	515.0	129.0	1,585.5	397.0
3-3 (공동)	146.0	36.0	1,262.0	316.0	1,262.0	316.0	460.0	114.0	129.0	32.0	3,259.0	814.0

6.2.2 세부과제별 소요예산

□ 1세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부 노반 상태평가 기술 개발

(단위 : 백만원)

비 목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비고
1) 인 건 비	내/외부 인건비		167	279	248	198	167	1,059	33.6%	
2) 직 접 비	연구장 비 재료 비	연구기자 재및시설 비	0	250	250	100	0	600	19.1%	
		시작품 제작비	0	0	0	0	0	0	0.0%	
		재 료비	278	121	166	141	15	721	22.9%	
	연구활 동 비	여비	16	27	24	19	16	102	3.2%	
		수용비및 수수료	15	25	22	17	15	94	3.0%	
		기술정보 활동비	21	36	32	25	21	135	4.3%	
		연구수당		24	41	36	29	24	154	
3) 간접비			52	77	77	52	25	283	9.0%	
4)	합 계		573	856	855	581	283	3,148	100.0%	1)+2)+ 3)

□ 2세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 궤광구조 개량기술 개발

(단위 : 백만원)

비 목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비고
1) 인 건 비	내/외부 인건비		272	426	469	296	296	1,759	13.7%	
2) 직 접 비	연구 장 비 재 료 비	연구기자 재및시설 비	50	3000	3000	500	0	6,550	51.0%	
		시작품 제작비	0	10	30	400	400	840	6.5%	
		재 료비	30	90	195	735	735	1,785	13.9%	
	연구 활 동 비	여비	27	34	37	29	29	156	1.2%	
		수용비및 수수료	24	25	28	26	26	129	1.0%	
		기술정보 활동비	35	46	51	38	38	208	1.6%	
	연구수당		39	62	69	43	43	256	2.0%	
3) 간접비			47	369	387	206	156	1,165	9.1%	
4)	합 계		524	4,062	4,266	2,273	1,723	12,848	100.0%	1)+2)+ 3)

□ 3세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 콘크리트궤도화 기술 개발

(단위 : 백만원)

비 목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비고
1) 인 건 비	내/외부 인건비		197	345	321	222	222	1,307	16.3%	
2) 직 접 비	연구장 비 재 료 비	연구기자 재및시설 비	50	1,000	1,000	300	0	2,350	29.4%	
		시작품 제작비	0	0	30	350	350	730	9.1%	
		재 료비	30	60	180	1,035	1,035	2,340	29.2%	
	연구 활 동 비	여비	19	27	25	22	22	115	1.4%	
		수용비및 수수료	17	20	19	19	19	94	1.2%	
		기술정보 활동비	25	37	35	28	28	153	1.9%	
	연구수당		29	50	46	33	33	191	2.4%	
3) 간접비		36	153	165	200	170	724	9.0%		
4)	합 계		403	1,692	1,821	2,209	1,879	8,004	100.0%	1)+2)+ 3)

제7장. 과제 제안요구서

7.1 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	고속철도 자갈궤도구간 유지보수저감을 위한 궤도개량 기술개발
1. 연구개발 목표	고속화에 대응하여 자갈궤도구조 보강 및 유지보수 저감을 위한 궤도개량기술개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 - 경부고속철도 1단계(광명~대구) 자갈궤도구간은 2004년 4월 개통 이후 현재까지 지속적으로 노반의 침하 및 구조물의 온도신축 등에 의한 노반구조물의 불안정성과 맞물린 도상자갈의 불안정에 의하여 궤도틀림이 빈번하게 발생함에 따라 궤도의 유지보수에 많은 시간 및 비용이 소요되고 있음. - 또한 선로 유지보수작업과정에서 자갈도상의 이완에 따른 2차적인 자갈도상의 불안정을 저감하기 위해 다수의 구간에서 열차를 서행 시키고 있는 실정이어서 본래 목표한 열차운행시간에 차질을 빚고 있어 유지보수비 이외에 사회적 비용이 소요되고 있는 실정임. - 궤도틀림의 대다수가 열차통과 시에 매우 큰 충격하중을 발생시키는 뜯침목 현상을 수반함에 따라서 궤도틀림이 매우 빠르게 진전함으로써 일부 구간에서는 궤도틀림 유지보수 기준 한도에 육박하거나 초과하는 궤도틀림에 의하여 승차감 저하에 대한 문제가 제기되고 있고 경우에 따라서는 안전상의 우려도 제기되고 있는 실정임. - 특히 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하는 목표(제2차 국가철도망 구축계획 2011-2020, 국토부, 2011.4)의 달성을 위해서는 철도 교통망의 핵심 축인 경부고속철도의 운영속도의 향상이 필수적이거나, 현재의 자갈궤도로는 더 이상의 속도향상을 도모하기 어려우므로 자갈궤도 구조의 개량 기술의 개발은 국가교통정책차원에서 우선적으로 추진해야할 과제임. - 차량의 승차감 및 주행안정성을 확보하기 위한 지속적 유지보수작업에 따라 도상자갈이 열화가 촉진됨으로써 자갈궤도의 수명은 더 짧아질 것으로 예상되며 유지보수효과가 저감에 따른 유지보수비의 증가가 예상되므로 이를 근본적으로 해결하기 위하여 유지보수비 저감을 위한 궤도개량기술의 개발이 시급한 실정임. - 궤도틀림 발생 원인 및 양상은 토공, 교량, 터널 등 노반형식에 따라 다르게 나타나고 있는 것에 반해 궤도개량방법은 자갈궤도의 궤광구조개선, 도상자갈 고결화를 통한 포장궤도화, 자갈을 제거한 PS 콘크리트궤도화 등 다양한 방법이 있으므로 각 노반형식에 적합한 개량궤도구조형식의 선정을 비롯하여, 최적화된 궤도구조시스템 및 궤도구성품의 개발과 경부고속철도 1단계 고속운행구간에서 궤도구조의 개량은 고도의 안전 확보와 짧은 차단시간 내의 공사시행이라는 엄격한 제한조건이 전제되므로 짧은 시간 내에 편리하게 시

공하기 위한 자동화 시공 장비의 개발 등을 위한 다각도의 중장기 연구추진이 필요함.

□ 기술동향

□ 자갈궤도 궤광구조 개량 기술

- 독일에서 1983년에 최초 개발된 Y-형 강재 침목은 2006년까지 1000km 정도 부설된 바 있는데, 기존 자갈궤도에 비하여 30% 적은 양의 자갈 및 1/2 침목수, 우수한 위치유지성능, 저렴한 초기투자비, 높은 재활용성 등의 장점이 있으나 소음레벨이 높고 탬핑효과가 적은 단점이 있음.
- 1990년대 후반에 오스트리아 대학에서는 기존의 자갈궤도와 콘크리트궤도의 절충형인 격자형(횡 및 종방향 보의 조합) 콘크리트침목을 사용하는 프레임 침목(Frame sleeper) 궤도를 개발하여 오스트리아 기존선에 시험 부설한 바 있음. 이 궤도는 기존의 노반 폭 변경 없이 적용가능하고 기존의 궤도 시공장비를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으며 또한 기존침목에 비하여 LCC가 우수하면서도 자갈도상에 작용하는 응력이 기존침목에 비하여 50% 저감되고, 도상횡저항력이 기존침목 대비 6배 증가되며 궤도틀림은 1/3 정도 밖에 발생하지 않는 장점을 갖고 있음.
- 일본 RTRI에서는 1999년에 기존선 자갈궤도 개량용으로 양쪽 레일 저부에 길이방향으로 6.25m의 프리스트레스 콘크리트 지지체를 거치하고 두꺼운 강관으로 두 지지체를 연결하여 궤간 유지하는 사다리형궤도(Ladder Track)를 개발하였음. 이 침목은 좌굴에 대한 강성 및 안정성 확보하고 있고 길이방향의 연속 지지로 도상에 전달되는 동적 하중을 분산시킬 수 있으며, 일반 토공 및 터널 구간뿐만 아니라 연약한 노반 구간에서도 유지보수를 최소화할 수 있는 장점이 있음.
- 유럽에서는 UNIFE의 지원하에 기존선 궤도의 RAMS를 향상시켜 LCC를 30%까지 저감시킬 수 있는 고성능 궤도 개발을 목적으로 2005년에서 2009년까지 총 2000만 유로를 투입한 INNOTRACK 프로젝트를 수행하여 궤도지지구조, 분기기, 레일 및 용접, 궤도유지보수 등을 주요 연구대상으로 하여 혁신적인 성능향상 방안에 대하여 다각적인 연구가 이루어졌음(Quante, 2003). 특히 이 프로젝트에서는 궤도의 가치(Value) 및 총 수명주기 비용(LCC) 평가방법에 대한 연구가 심층적으로 이루어져 각기 다른 궤도유형들에 대하여 가치 및 비용을 객관적으로 비교할 수 있는 토대를 제공하였음.

□ 자갈궤도의 콘크리트궤도화(化) 기술

- 일본에서는 이미 약 40여년 전부터 자갈궤도의 유지보수 저감을 위한 궤도 구조 개량기술 개발을 추진해 왔음. 가장 유력한 대안으로 포장궤도를 개발하여 현재까지 약 10여개의 포장궤도 모델이 연구 개발된 바 있음.
- 가장 최근에 개발된 TC형 포장궤도(시멘트계 충전재를 주입하는 방식)는 일본 도쿄의 야마노테선에 적용되고 있음. 야마노테선은 하루 330대(1 궤도당)의 열차가 운행되어 연간 통과톤수는 4000만 톤에 이르는 일본의 대표적인 조밀 선구이지만 현재까지 포장궤도로 개량된 구간에서 문제점이 보고된 사례가 없음.
- JR동일본에서는 현재 TC형 포장궤도를 기존선 생력화(省力化, 유지보수저감)의 기본모델로 선정하고 현재까지 3단계 300km의 시공실

적 및 계획을 가지고 있으며, JR서일본을 비롯한 다른 운영사에서 포장궤도를 유지보수 생력화의 중요한 대안으로 인식하고 그 적용을 확대하고 있음. 현재 km당 약 15억원 정도의 시공비가 요구되지만, 시공비 절감을 위한 연구개발이 계속되고 있으며 향후 충분한 경제성이 확보된다면, 그 적용은 더 증가할 것으로 예상됨.

- 일본에서도 도시철도에서만 적용되어 왔으며, 현재까지는 고속철도 적용 계획은 없는 것으로 알려져 있음. 향후 고속철도 적용을 위해서는 고속철도의 높은 하중조건을 고려한 궤도구조의 개선 및 보강방안에 대한 연구가 필요함.
- 영국 런던 지하철(Tube)은 1863년 완공된 Metropolitan선을 시작으로 12개 노선이 건설되어 운영되어 왔으나 구조물의 노후화와 승객의 폭발적인 증가로 인하여 광범위한 궤도유지보수투자가 요구되고 있음. 최근 문제의 심각성을 인식하고 향후 30년간 개량계획을 수립하여 런던 지하철의 궤도시스템 개량을 추진하고 있음. 프리캐스트 콘크리트 슬래브 등 다양한 궤도개량형식이 적용되고 있음.

3. 연구개발내용

□ 1세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부 노반상태평가기술 개발

- 시스템 엔지니어링 및 테스트 베드 구축 총괄
 - 성능목표 설정 및 설계/성능요건 관리
 - 운영 및 시스템 IF 기술요건 도출 및 관리
 - 시스템 및 구성요소별 성능검증체계 정립 및 관리
 - 테스트-베드 구축계획 수립
 - 테스트-베드 구축방안 관계기관 협의 및 총괄
 - 시공성 시험 결과 평가 총괄
 - **작업 위험도 분석(안전성 분석) 및 위험도 완화 방안 도출**
 - 테스트-베드 현장 성능평가 총괄
 - 자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 정립
 - LCC 평가를 통한 자갈궤도 개량기술 경제성 분석(개량여부 및 개량공법 선정기법 제시)
- 하부노반 상태평가 기술개발 및 궤도개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가
 - **경부고속철도 자갈궤도구간 궤도틀림 원인조사(노반특성, 선로 선형, 구조물 접속부의 강성변화 등 고려)**
 - 기존 지반 상태평가 기술의 적용성 및 문제점 검토, 보완방안 제시
 - 노반 상태평가 시스템 설계
 - 개량공법의 설계 및 적용성 평가를 위한 시스템 설계 파라미터(노반정수) 산정기법 및 평가기준 제시
 - **노반 보강여부 및 보강대책 분석**
 - 노반 상태평가 시스템 시작품 제작
 - 실내 및 현장 시험
 - 테스트-베드 후보지 노반 상태평가
 - 실물보강시험을 통한 성능평가 및 시공지침 작성

□ 2세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도의 궤광구조 개량기술개발

◦ 고성능 궤광구조 시스템 설계 및 성능평가

- 설계/성능 요구조건 정립
- 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법)
- 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계
- 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립
- 실내 실물모형 실험체 제작
- 실내 시험(실물가속실험)
- 테스트 베드 현장 부설(1차/2차)
- 현장시험(1차/2차)
- 현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완
- 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성

◦ 자갈궤도 개량용 침목 개발

- 침목 구조설계(※궤광구조 개량용 침목을 기본으로 개발하고, 콘크리트궤도화(3세부과제)를 위한 침목구조 변경도 포함)
- 개량침목용 체결장치 보완설계 및 시제품 제작
- 침목 제작용 금형 제작
- 침목 시제품 제작 및 성능평가
- 테스트-베드 현장 부설용 침목 시제품 제작 및 현장 부설 지원
- 침목 문제점 분석 및 보완
- 침목 자재 시방서 작성

◦ 궤광구조 개량 공정 최적화 및 시공장비 개발

- 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토
- 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려)
- 시공장비 설계(자동 침목교환 장비)(※기존 보선장비의 활용 방안 고려)
- 시공장비 시제품 제작
- 부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가)
- 시공성 시험(비운행선)
- 테스트-베드 현장부설 지원
- 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시
- 공사 시방서 작성
- 시공장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육
- 유지보수매뉴얼 작성

□ 3세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 콘크리트 궤도화 기술개발

◦ 자갈궤도의 콘크리트 궤도화 시스템 설계 및 성능평가

- 설계/성능 요구조건 정립
- 시스템 개념설계(기본구조, 구성요소 정의 및 시공방법)

- 제반 기술검토(구조안정성, 장기내구성, 궤도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계
- 개량공사 중 접속구간 (일반구간-콘크리트궤도화 구간) 설계
- 시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립
- 실내 실물모형 실험체 제작
- 실내 시험(실물가속실험)
- 테스트 베드 현장 부설(1차/2차)
- 현장시험(1차/2차)
- **현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완**
- 적용구간별 유지보수항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성
- **자갈궤도의 콘크리트 궤도화를 위한 충전재료 개발**
 - 고속선용 충전재료의 원재료 선정 및 배합설계
 - 충전재 역학적 특성 및 유동성 평가
 - **시공 후 충전성 평가기준 및 방법 수립**
 - 테스트-베드 현장 부설용 충전재 제조 및 현장부설 지원
 - **현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완**
 - 충전재 자재 시방서 작성
- **콘크리트 궤도화 공정 최적화 및 시공장비 개발**
 - 토공, 교량, 터널구간별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검토
 - 각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설계(각 공정간의 연계성 및 제한조건 고려)
 - 시공장비 설계(**충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비**)(※ 기존 **장비**의 활용 방안 고려)
 - 시공장비 시제품 제작
 - **부품 단위 시험 및 조립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가)**
 - 시공성 시험(비운행선)
 - 테스트-베드 현장부설 지원
 - 시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응방안 제시
 - 공사 시방서 작성
 - 시공장비 운용 매뉴얼 작성 및 **사용자 교육**
 - **유지보수매뉴얼 작성**

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
 - 1단계(1~3차년도, 36개월) : 핵심요소기술 개발
 - 핵심요소기술별 성능목표설정 및 설계/성능요건 정립
 - 세부과제별 핵심요소기술 개발 및 검증
 - 2단계(4~5차년도, 24개월) : 성능평가 및 검증
 - 핵심개발기술의 시공성, 현장적용성 평가
 - 핵심개발기술의 구조적 내구성 성능검증
 - 실용화를 위한 단계별 Test bed 구축, 검증
 - 정부 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
 - 연구 성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견수렴
 - 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영

	◦ 관련분야 전문가 자문 - 각종 유사 선진시스템 및 적용사례에 대한 조사 - 과제 성공률 제고를 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견수렴 ◦ 기 수행 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발경과와의 구체적인 연계 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 ◦ 장비 개발 시 국내 업체와 국외 기업 간의 기술 제휴 등을 통한 공동 참여 방안 모색
□ 추진체계	◦ 국토해양부, 한국철도시설공단 등 유관기관과의 연구성과 실용화 추진체계 연계 강화 - 고속철도 자갈궤도구간의 궤도구조 개량기술의 현장 성능검증 및 실용화를 위해 Test Bed 구축 ◦ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관을 활용 ◦ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것. ◦ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 필요.
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	□ 1세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 개량기술 총괄 및 하부 노반상태평가기술 개발 ◦ 시스템 엔지니어링 및 테스트 베드 구축 총괄 - 성능목표 및 시스템 기술 요구사항 목록 - 테스트-베드 (시험선) - 성능시험절차서 - 성능검증 결과 검증보고서 - 자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 및 경제성 분석 보고서 ◦ 하부노반 상태평가 기술개발 및 궤도개량기술 적용 구간의 노반 적합성 평가 - 운행선 노반 상태평가 시스템 - 궤도구조 개량공법의 적합성 평가기준 - 테스트-베드 후보지 노반 상태평가 보고서 □ 2세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도의 궤광구조 개량기술개발 ◦ 고성능 궤광구조 시스템 설계 및 성능평가 - 고성능 궤광구조 시스템 설계보고서 및 도면 - 특허 등 지적재산권 - 시스템 성능평가보고서 - 유지보수지침 ◦ 자갈궤도 개량용 침목 개발 - 고속선 궤도구조 개량용 침목 시제품 - 침목 자재 시방서

- 침목 성능평가보고서
- *케광구조 개량 공정 최적화 및 시공장비 개발*
 - 공사시방서
 - 고성능 케광구조용 자동 침목교환장비
 - 장비 운용 매뉴얼

□ 3세부과제 : 고속철도 운행선 자갈궤도 콘크리트 궤도화 기술개발

- *자갈궤도의 콘크리트 궤도화 시스템 설계 및 성능평가*
 - 콘크리트궤도화 시스템 설계보고서 및 도면
 - 특허 등 지적재산권
 - 시스템 성능평가 보고서
 - 유지보수지침
- *자갈궤도의 콘크리트 궤도화를 위한 충전재료 개발*
 - 고속선용 궤도구조 개량용 충전재료 시제품
 - 충전재료 자재시방서
 - 충전재료 성능평가보고서
- *콘크리트 궤도화 공정 최적화 및 시공장비 개발*
 - 공사시방서
 - 콘크리트궤도화 자동화 장비(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비)
 - 각 시공장비별 운용 매뉴얼

6. 기대효과 및 파급효과

- 국가 경제적으로 중추 역할을 담당하고 있음에도 속도향상에 큰 제약을 받는 경부고속철도축의 속도향상 및 그에 따른 전국 주요 거점을 1시간 30분대로 연결하고자 하는 목표달성의 구체적 해결방안을 마련.
- 고도의 안전 및 기술을 요하는 고속선 구간에서 적용할 수 있는 운행선 콘크리트 궤도화 기술 및 신공법의 개발로 국내외적으로 상당한 시장이 형성될 것으로 예상되는 자갈궤도 혁신사업을 선점할 수 있는 단초를 마련.
- 경부고속철도 1단계 구간의 궤도구조 성능향상의 최적방안을 마련함으로써 향후 고속선로를 안정화시키기 위한 보강사업의 구체적 계획 수립 가능.

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2013. 1 ~ 2017. 12 (5년)
 - 1차년도 연구기간 : 2013. 1 ~ 2013. 12(12개월)
- 총 정부출연금 : 240억원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 15억원 이내

- ※ 연구시작 시기는 변경될 수 있음.
- ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산사정에 따라 조정될 수 있음.
- ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능.

8. 기 타

- 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원 여부 결정.
- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제 제안요구서(RFP)를 참조하여 작성.
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구 내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시.
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발 계획서에 제시
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발 계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함.
 - 연구성과의 실용화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시.
 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함.
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함.
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함.
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함.
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함.
- 연구관리전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화 명확화)할 수 있음.

7.2 평가기준 설정

□ 앞서 제시한 성과지표 및 목표(4.4절 참조)를 바탕으로 아래와 같이 평가기준을 설정하였음.

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
A	성능 목표 설정 및 설계/성능 요구조건 정립	-성능목표 설정 및 설계/성능요건 관리 -운영 및 시스템 IF 기술요건 도출 및 관리 -시스템 및 구성요소별 성능검증체계 정립 및 관리	A-1	시스템 성능목표의 타당성 및 합리성	-성능목표 및 시스템 기술 요구사항 목록 -성능시험절차서	성능목표 설정 근거에 대한 전문가 검증 실시	0.04
			A-2	설계/성능 요구조건과 최종 목표와의 부합여부		설계/성능 요구조건에 대한 전문가 검증(SE 기법 활용)	0.04
	테스트-베드 구축 및 시스템 성능평가	-테스트-베드 구축계획 수립 -테스트-베드 구축방안 관계기관 협의 및 총괄 -시공성 시험 결과 평가 총괄 -작업 위험도 분석(안전성 분석) 및 위험도 완화 방안 도출 -테스트-베드 현장 성능평가 총괄	A-3	테스트-베드 구축목표 달성	-테스트-베드(시험선) -성능검증 결과 검증 보고서	테스트-베드 구축 건수 목표(각 기술별 2개 구간) 달성 여부 확인	0.03
			A-4	성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성		성능검증을 위한 테스트-베드의 적합성에 대한 전문가 사전 검증 실시	0.03
			A-5	시공성 및 작업 안전도 평가의 타당성		시공성 평가방법 및 안전도 평가결과와의 타당성 전문가 검증	0.02

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
	경제성 평가	-자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가기법 정립 -LCC 평가를 통한 자갈궤도 개량기술 경제성 분석(개량여부 결정 및 개량공법 선정 기법 제시)	A-6	LCC 분석 프로그램 및 분석 결과의 타당성	-자갈궤도 및 개량공법의 전(全)수명주기 비용(LCC) 평가 기법 및 경제성 분석 보고서	LCC 분석결과에 대한 전문가 검증 실시	0.03
	운행선 노반 상태평가 기술 개발	-경부고속철도 등 고속 운행선 자갈궤도구간 궤도틀림 원인조사(노반특성, 선로 선형, 구조물 접속부의 강성변화 등 고려) -기존 지반 상태평가 기술의 적용성 및 문제점 검토, 보완방안 제시 -개량공법의 설계 및 적용성 평가를 위한 시스템 설계 파라미터 (노반정수) 산정기법 및 평가기준 제시	A-6	자갈궤도 궤도틀림 원인조사 결과의 타당성	-운행선 노반 상태평가 시스템 -궤도구조 개량공법의 적합성 평가기준 -테스트-베드 후보지 노반 상태평가 보고서	조사결과에 대한 전문가 검증 실시	0.03
		-노반 보강여부 및 보강대책 분석 -노반 상태평가 시스템 설계 -노반 상태평가 시스템 시작품 제작	A-7	노반 상태평가 기술 정확도 오차 기준 기술 대비 50% 이하		기존 기술의 오차율(시스템 파라미터 추정값) 비교 평가(현장 성능평가)	0.03

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
		-실내 및 현장 시험 -테스트-베드 후보지 노반 상태평가					
B	고속 운행선에 적용 가능한 자갈궤도 개량 궤광구조 개발	-설계/성능 요구조건 정립 -시스템 개념설계(기본 구조, 구성요소 정의 및 시공방법) -제반 기술검토(구조안 정성, 장기내구성, 궤 도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 -시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 -실내 실물모형 실험체 제작 -실내 시험(실물가속실험) -테스트 베드 현장 부 설(1차/2차) -현장시험(1차/2차) -현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 -적용구간별 유지보수 항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성 -침목 구조설계 -개량침목용 체결장치 보완설계 및 시제품	B-1	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	-고성능 궤광구조 시 스템 설계보고서 및 도면 -특허 등 지적재산권 -성능평가보고서 -유지보수지침 -고속선 궤도구조 개 량용 침목 시제품 및 자재 시방서	실내 실험을 통한 성능 검증(1단 계)→ 성능시험 결과에 대한 전문 가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			B-2	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 궤도틀림 표준편차 기존 자갈궤도 구조 대비 70% 미만		실내 실험을 통한 성능 검증(1단 계) → 성능시험 결과에 대한 전문 가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			B-3	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			B-4	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
		제작 -침목 제작용 금형 제 작 -침목 시작품 제작 및 성능평가 -테스트-베드 현장 부 설용 침목 시작품 제 작 및 현장 부설 지원 -현장시험에서의 문제 점 분석 및 보완 -침목 자재 시방서 작 성	B-5	교량상 개량구조의 궤도-교량 상호작용에 의한 궤도 안정성 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
	궤광구조 개량을 위한 시공 공정 및 자동화 시공장비 개발 1종(자갈/침목 자동 교환장비)	-토공, 교량, 터널구간 별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검 토 -각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설 계(각 공정간의 연계 성 및 제한조건 고려) -시공장비 설계(자동 침목교환 장비) -시공장비 시작품 제작 -부품 단위 시험 및 조 립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) -시공성 시험(비운행선) -테스트-베드 현장부설 지원	B-6	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	-공사 시방서 -고성능 궤광구조용 자동 침목교환장비 및 장비 운용 매뉴 얼	시공성 시험(1단계) → 현장 시험 부설 (테스트-베드)(2단계)	0.03
			B-7	목표 시공속도(100m/일) 달성		시공성 시험(1단계) → 현장 시험 부설 (테스트-베드)(2단계)	0.03
			B-8	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 확보)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
		-시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응 방안 제시 -공사 시방서 작성 -시공장비 운용 매뉴얼 작성 및 사용자 교육 -유지보수매뉴얼 작성	B-9	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장율 MTTF 미만)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03
			B-10	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03
C	고속 운행선 자갈케도의 콘크리트케도화 를 위한 케도구조 개발	-설계/성능 요구조건 정립 -시스템 개념설계(기본 구조, 구성요소 정의 및 시공방법) -제반 기술검토(구조안 정성, 장기내구성, 케 도틀림 저감성능 분석 등)를 통한 상세설계 -개량공사 중 접속구간 (일반구간-콘크리트케 도화 구간) 설계 -시스템 및 구성요소별 성능시험기준 정립 -실내 실물모형 실험체 제작 -실내 시험(실물가속실험) -테스트 베드 현장 부 설(1차/2차)	C-1	구조적 안정성 확보 (속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 구성요소별 목표강도 확보)	-콘크리트케도화 시 스템 설계보고서 및 도면 -특허 등 지적재산권 -성능평가 보고서 -유지보수지침 -고속선 케도구조 개 량용 충전재료 시제 품 및 자재 시방서	실내 실험을 통한 성능 검증(1단 계) → 성능시험 결과에 대한 전문 가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			C-2	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 케도틀림 표준편차 기존 자갈케도 구조 대비 10% 미만		실내 실험을 통한 성능 검증(1단 계) → 성능시험 결과에 대한 전문 가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			C-3	속도 350km/h 축중 17tf 조건에서 개량구간과 비개량구간 간 접속부에서의 열차 주행안전 및 승차감 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
		-현장시험(1차/2차) -현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 -적용구간별 유지보수 항목 및 유지보수기준 정립, 유지보수지침 작성 -고속선용 충전재료의 원재료 선정 및 배합 설계 -충전재 역학적 특성 및 유동성 평가 -시공 후 충전성 평가 기준 및 방법 수립 -테스트-베드 현장 부 설용 충전재 제조 및 현장부설 지원 -현장시험에서 확인된 문제점 분석 및 보완 -충전재 자재 시방서 작성	C-4	시공 중/시공 후 장대레일 안정성 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
			C-5	교량상 개량구조의 케도-교량 상호작용에 의한 케도 안정성 확보		수치해석을 통한 검증(1단계) → 수치해석 결과에 대한 전문가 검증 → 현장 성능검증(2단계)	0.02
	고속 운행선 자갈케도의 콘크리트케도화 를 위한 시공 공정 및 시공장비 개발 2종(충전재 배합 및	-토공, 교량, 터널구간 별 시공 제한조건 및 시공장비 요구사항 검 토 -각 구간별 시공조건을 고려한 상세 공정 설 계(각 공정간의 연계 성 및 제한조건 고려)	C-6	목표 시간(2.5시간) 내 시공 가능성	-공사시방서 -콘크리트케도화 자 동화 장비(충전재 배합/주입장비 및 건식 자갈세척장비) 및 장비 운용 매뉴 얼	시공성 시험(1단계) → 현장 시험 부설 (테스트-베드)(2단계)	0.03
			C-7	목표 시공속도(100m/일) 달성		시공성 시험(1단계) → 현장 시험 부설 (테스트-베드)(2단계)	0.03

성과 목표 기호	연구목표 (과제번호)	연구 내용	성과지표		성과물 (산출물)	측정 방법	가중치 (0~1)
			지표 기호	지표명			
	주입장비, 건식 자갈세척장비 등 2종)	-시공장비 설계(충전재 배합/주입장비 및 건 식 자갈세척장비)(※ 기존 장비의 활용 방 안 고려) -시공장비 시제품 제작 -부품 단위 시험 및 조 립 시험(안전도, 기능 및 신뢰성 평가) -시공성 시험(비운행선) -테스트-베드 현장부설 지원 -시공법 및 시공장비 문제점 분석 및 대응 방안 제시 -공사 시방서 작성 -장비 운용 매뉴얼 작 성 및 사용자 교육 -유지보수매뉴얼 작성	C-8	기능성 확보 (설계 시 요구 기능 확보)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03
			C-9	내구성 확보 (설계 시 규정하는 목표 고장을 MTTF 미만)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03
			C-10	작업속도 달성 (설계 시 규정한 module별 작업속도 만족)		조립시험을 통한 검증(1단계) → 현장 성능검증(2단계)	0.03
D	정량적 성과 목표 달성	-	D-1	논문게재/발표	국내외 학술지 게재 또는 학술대회 발표 논문	국내외 학술지에 발표 및 게재된 논문 건수 확인	0.125
			D-2	지식재산권 출원/등록	특허, 소프트웨어 등 관련 지식재산권	출원/등록 관련 서류 확인	0.125

제8장. 참고문헌

- 1) てん充道床軌道の耐久性試験(1977), 日本國有鉄道 鉄道技術研究所.
- 2) 超速硬性セメントアスファルトグラウトおよびコンクリートの諸特性と施工上の諸問題に関する研究-てん充道床軌道用-(1975), 日本國有鉄道 鉄道技術研究所.
- 3) 弾性まくらぎ直結軌道(B型)用締結装置の設計・試験(1985), 日本國有鉄道 鉄道技術研究所.
- 4) Falvey, A.(2010) Section 5-Track and trackform system, Sydney Metro, May.
- 5) Koriath, H., Hamprecht, A., Huesmann, H. and Ablinger, P.(2003) Bring objectivity into system decisions between ballasted track and slab track at Deutsche Bahn, RTR 2-3.
- 6) Quante, F.(2003) Innovative track systems technical construction, ProMain, Report of Innotrack project(www.innotrack.eu).
- 7) Ceney, H.(2001) Selection of track form, Railway Engineering 2001.
- 8) <http://www.innotrack.eu/>
- 9) <http://www.itake.co.jp/>
- 10) <http://www.seoulway.com/>
- 11) INNOTRACK, Section of a railway track system by best value analysis, Integrated Project(IP) Project No. TIP5-CT-20060031415, Deliverable D2.3.6
- 12) INNOTRACK, Validation methodology and criteria for the evaluation of frame type, unballasted or slab track based superstructure innovations, Integrated Project(IP) Project No. TIP5-CT-2006031415, Deliverable D2.3.1
- 13) Oostermeijer K. H.(2003) Availability as design starting point: ballastless track development for high speed rail, Holland Railconsult, The Netherlands, Nov.
- 14) Ando K. 外 4人(1995), 新軌道構造の技術的經濟的可能性, RTRI REPORT, Vol.9, pp.55-60.
- 15) Asanuma, K.(2004), Ladder Track Structure and Performance, Railway

Technology Avalanche, No.6, September.

- 16) Riessberger, K.(1999) The “Frame-Sleeper-Track” - An Innovative Ballasted Railway track, WCRR, Tokyo.
- 17) TCRP, Performance of direct-fixation track structure : Design guidelines, Transit cooperative program, National research council, 1999. 4
- 18) 江本学(1996), “既設線用道床強化軌道の開発”, 新線路, pp.26-28.
- 19) 정부 및 호남고속철도 속도 향상방안 연구(2011), 한국철도시설공단, 한국교통연구원, (주) 유신.
- 20) 공개특허 10-2005-0087018, 철도 레일 콘크리트 도상 시공 시스템, 대한민국 특허청 특허공개공보.
- 21) 堀池高広外 3人(2003), “レール継目部の沈下対策工法の開発”, RTRI REPORT Vol. 17, pp.17-22.
- 22) 近藤隆士, 既設線省力化軌道のすすめ方, 鉄道線路, pp.75-78.
- 23) 기존선 자갈도상궤도의 무보수화를 위한 포장궤도 개발 현황(2004), 철도시설 No.94, pp.50-58.
- 24) 등록특허공보 제10-0744175호(2007.07.24.자), 자갈 도상 궤도에서의 프리캐스트 콘크리트 슬래브와 그를 이용한 콘크리트 도상 부설장치 및 부설 방법, 한국 철도기술연구원, 삼표이앤씨(주), 대한민국특허청 특허공개공보.
- 25) 米山典男(1989), TC型省力化軌道の施工計画” 新線路, pp.4-.
- 26) 三宅信裕、中川光次、機目 純 (1975) カルシュウム-アルミネイトセメント混和材の基礎性状, セメント技術年報, Vol.29, pp.121-126.
- 27) 小関昌信外 3人(1995), 低廉型既設線用舗装軌道の開発, RTRI REPORT, VOL. 9, pp.25-30.
- 28) 小林悟外 1人, てん充道床軌道の施工条件, pp.22-26.
- 29) 小西俊之外 2人(1995), 土路盤上省力化軌道の軌道沈下調査, 土木学会第50回学術講演会, pp.584-585.
- 30) 安藤勝敏(1997), 土路盤上省力化軌道の支持構造とその設計に関する研究”.
- 31) 양신추 외(2000) 운행선 궤도구조에 관한 생력화 방안 연구, 한국철도기술연구원.
- 32) 龍岡文夫, 山内裕元, 岩崎高明, 中村和之(1985), 不織布による粘性土盛土の補強, 土と基礎, Vol. 33, No. 5, 土質工學會, pp.15-20.

-
- 33) 原田日秋(1999) セメントの凝結時間の制御に関する研究",セメントコンクリート, No. 626, pp.52-57.
- 34) 이일화 외(2007) 기존선 도상자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도개발[시멘트 모르타충진형], 한국철도기술연구원.
- 35) 이일화, 이희엽, 이준석, 이진욱(2005) 궤도 무보수화를 위한 시멘트모르타충진형 포장궤도의 개발, 대한토목학회 학술발표회 논문집.
- 36) 이일화, 황선근, 김영구, 장봉춘(2004) 기존선 자갈궤도 무보수화를 위한 시멘트그라우트주입형 포장궤도의 기본설계, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.1603- 1608.
- 37) 이일화, 황선근, 박태순(2004) 포장궤도 구조결정을 위한 현장상태 조사, 한국철도학회 춘계학술발표회 논문집.
- 38) 장승엽 외(2005) 도시철도 선로시스템 표준화, 도시철도 표준화 사업 2005년 연구결과 보고서, 한국철도기술연구원.
- 39) 中山光夫(1989), 浜松高架舗装軌道の保守管理, 新線路, pp.7-9.
- 40) 한국철도시설공단(2005) 철도시설 성능검증지침(2011. 2월 개정).

(빈 페이지)

부 록

(빈페이지)

부 록 1.

궤도구조 개량기술 선정을 위한 가치 평가(Value
Evaluation) 일반 원칙 및 가이드라인

(빈페이지)

부 록 1.

궤도구조 개량기술 선정을 위한 가치 평가(Value Evaluation) 일반 원칙 및 가이드라인

1. 일반원칙

- 가치평가는 안전성, 설계기준 및 성능, 환경, 시공성, 유지관리, 복구성 등 6개 그룹으로 분류하여 평가
- 각 평가그룹은 제시한 평가항목으로 구성되며, 사업 특성에 따라 평가항목을 추가할 수 있으며 해당사항이 없는 평가항목에 대해서는 제외할 수 있음.
- 평가항목은 1개 또는 여러 개의 세부평가항목으로 구성
- 가치평가는 세부평가항목을 대상으로 평가하며 긍정적 측면에 대해서는 높은 점수를 부정적 측면에 대해서는 낮은 점수를 부여
- 궤도형식별 차이점이 거의 없는 세부평가항목에 대해서는 동점 처리
- 각 평가그룹의 배점은 표 A1-1에서 제시한 값을 기준으로 하되 사업특성에 따라 ± 20 까지 조정할 수 있다. 이때 모든 평가분야의 점수의 합은 100이 되도록 함.
- 각 세부 평가항목별 평가 점수는 최대 5점으로 5단계로(매우 중요 5, 중요 4, 보통 3, 비교적 덜 중요 2, 중요하지 않음 1)로 구분하여 점수 부여
- 각 평가분야의 가치 배분, 평가항목당 평가점수, 그리고 세부평가항목별 평가결과 등에 대해서는 관련 근거 제시하여야 함.

표 A1-1. 평가그룹

평가그룹	배점
안전성	25
설계기준 및 성능	25
환경성	10
시공성	20
유지관리성	15
복구성	5
합계	100

2. 가이드라인

(1) 안전성(Safety) 평가

- 궤도 손상 또는 파손으로 승객 또는 철도종사자(역무원, 유지관리 작업자 등)와 주변 환경에 허용할 수 없는 위험(심각도와 발생빈도 양 측면을 고려하여 결정)을 초래하지 않아야 함. 특히 개량공사 중에 열차주행안전성의 확보가 중요하게 고려되어야 함. 안전성 평가시 고려사항은 다음과 같음.

① 개량공사 중 열차주행안전성

- 개량공사 중 열차의 주행안전이 확보되어야하며, 공사 중간 및 완공 후 궤도가 안정화되기까지 파손 및 대변형 등이 없어야 하는 안전요건으로서 다음사항을 고려
 - 공사 자재의 선로측면 임시 적재 필요성 및 그에 따른 열차주행안전성
 - 공사 중 기존 궤도구간과 개량궤도구간 접속부에서 차량의 주행안정성
 - 열차차단시간 내 개량공사 마무리 가능성(차단시간 대비 공사 중간공정 소요시간)
 - 가받침 설치 필요성 및 가받침의 구조안정성
 - 개량공사 중 및 공사 후 궤도가 안정화되기까지 열차 운행에 따른 궤도 구조안정성(파손 및 손상 가능성, 급속 대변형 가능성)

② 고장에 대비한 비상[이중] 안전장치(Redundancy, Fail-Safe)

- 다중안전은 하나의 구성품이 고장 또는 파손(Failure)되더라도 받아들이 수 없는 위험을 유발하지 않아야 함.
 - 파손 또는 고장에도 불구하고 레일을 수직방향 및 횡방향 방향에 있어 위치를 유지할 수 있는 능력으로서 앵커볼트(Anchor bolt)의 여재(餘材) 여부, 궤도시스템 횡방향 이동에 대한 제어능력, 체결구 좌면(坐面)의 횡방향 이동에 대한 제어능력 (체결구 좌면 주위에서 콘크리트와 일체화 정도)

③ 육안점검의 용이성

- 육안점검은 궤도구조의 파손을 확인하는 가장 기본적인 수단임. 따라서 궤도의 안전성 확보를 위해서는 육안관찰이 용이한 궤도구조여야 하며, 궤도 구성품이 충분히 육안으로 점검될 수 없는 경우는 파손되지 않도록 설계해야 함.

④ 점검주기

- 유지보수 관리자에게 요구되는 궤도시스템의 점검의 주기로서 손상 또는 고장예상 빈도 및 심각성

⑤ 구명요원 및 유지보수요원의 이동편의성

- 터널 및 교량 등을 포함한 선로를 따라 구명요원 및 유지보수요원의 안전 및 이동편의성과 구명차량의 이동편의성

표 A1-2. 안전성 평가양식

평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
개량공사 중 열차주행안전성 (0.45)	공사 자재의 선로측면 임시 적재 필요성 및 그에 따른 열차주행안전성	0.05	1(나쁨)-5(좋음) (필요성 낮고 안전성 높음)		
	공사구간과 기존구간과의 접속부에서 열차주행안정성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
	열차차단시간 내 개량공사 마무리 가능성(차단시간 대비 공사 중간공정 소요시간)	0.10	1(김)-5(짧음) (소요시간)		
	가받침 설치 필요성 및 가받침의 구조안정성	0.10	1(나쁨)-5(좋음) (필요성 낮고 안전성 높음)		
	개량공사 중 열차 운행에 따른 궤도 구조안정성(파손 및 손상 가능성, 급속 대변형 가능성)	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
파손 또는 고장에 대비한 비상(이중) 안전장치 (0.25)	운행 중 궤도의 대변형 발생 가능성(장출, 슬래브분리, 궤도부재 파손)	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
	체결구의 위치 안정성	0.10	1(낮음)-5(높음)		
육안점검의 용이성 (0.10)	중요구성품의 육안점검의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
점검주기 (0.10)	궤도 구성품의 손상 또는 고장빈도	0.05	1(높음)-5(낮음)		
	높은 점검주기를 요하는 궤도 구성품의 손상 또는 고장시 심각성	0.05	1(높음)-5(낮음)		
대피승객 및 유지보수 요원의 이동안전성 (0.10)	대피승객 및 유지보수요원의 안전 및 이동편의성	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		
	구명차량의 이동편의성	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		

(2) 설계기준 및 성능

□ 궤도시스템의 설계기준의 부합정도 또는 성능의 우수한 정도를 평가

① 고속철도 운행선에서 생력화 궤도구조로서의 성능 입증 정도

- 하중부담성능, 궤도선형(궤도틀림 포함) 유지성능, 궤도시스템 장기 내구성

② 공사 후 열차서행 속도 및 기간 요구정도

- 서행 속도, 서행 기간

③ 궤도품질 유지

- 레일두부가 최적 설계위치를 유지할 수 있는 능력으로서 하중이 작용할 때 레일두부의 안정성, 시간에 따른 설계 성능의 유지능력을 대상으로 한다. 레일두부 위치고정성, 패드의 성능 유지, 슬래브/침목의 위치 유지성능
- 콘크리트재료 내구성(손상 크랙발생 가능성)

④ 접속부 설계의 용이성

- 노반 및 궤도유형 변화구간 접속부에서 레일 및 궤도강성 양 측면에서 접속부 설계의 용이성(정도 및 복잡성)에.
- 공사구간에서 기존궤도와 접속부에서 처리의 용이성.

⑤ 노반 및 기초 작업 요구수준

- 궤도를 부설하기 위하여 요구되는 노반 및 기초 처리수준으로서 연약지반을 수용할 수 있는 능력

표 A1-3. 설계기준 및 성능 평가양식

평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
고속철도 운행선에서 생력화 궤도구조로서 의 성능 입증 정도 (0.30)	하중부담성능	0.1	1(낮음)-5(높음)		
	궤도선형(궤도틀림 포함) 유지성능	0.1	1(나쁨)-5(좋음)		
	장기 내구성	0.1	1(나쁨)-5(좋음)		
공사 후 열차서행 속도 및 기간 요구정도 (0.15)	서행 속도	0.08	1(높음)-5(낮음)		
	서행 기간	0.07	1(길)-5(짧음)		
궤도품질 유지 (0.25)	레일두부의 안정성	0.05	1(낮음)-5(높음)		
	패드의 성능 유지 (탄성재 강성변화율)	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		
	슬래브/침목의 위치 유지	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		
	콘크리트재료 내구성(손상 및 균열 발생 가능성)	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
접속부 설계의 용이성 (0.20)	노반 및 궤도유형 변화구간 접속부 설계의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
	공사구간 접속부 처리의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
노반 및 기초 작업 처리 요구수준 (0.10)	연약지반 수용 수준	0.04	1(나쁨)-5(좋음)		

주1) 가중치 적용점수 = (평가점수/5) × 세부평가항목별 가중치 × 평가그룹별 배점

(3) 환경성 평가

- 해당 선구의 노반분포(교량, 터널, 토공 등) 및 지역여건 등의 특성을 고려하여 평가한다. 인구밀집지역을 터널로 통과하는 경우에는 방진성능을 중요하게 고려하여야하며 인구밀집을 개활지로 통과하는 경우는 소음저감성능을 중요하게 고려
- 또한 염분 또는 수분(우수 포함)에 크게 노출될 위치에서는 내수성 및 내염성을 중요하게 고려. 특히 공사중 장비 등에 의한 소음 및 진동이 철도 주변 주민에 미치는 영향을 고려

① 공사중 오염물질 발생 및 오염물질의 침입 가능성 및 영향

- 공사중 분진 및 오폐수 발생 정도
- 성능, 검사 또는 점검, 외관 등에 해가되는 오염물질(기름, 물, 모래, 석탄분말, 수송 물질 등등)의 침입 가능성 및 미치는 영향

② 소음

- 심야시간대에 공사를 수행해야하므로 교량 및 토공구간에서는 공사장비 및 자재의 이동/적치에 따른 소음의 영향
- 차량운영 및 유지보수작업 동안 궤도시스템에 의하여 발생하는 소음레벨로서 전문 구동소음(Rolling noise) 예측프로그램을 사용하여 정밀하게 예측할 수 있으나 여의치 않은 경우는 다음의 직관적 방법으로 평가
 - 레일패드강성에 따른 레벨차이는 미미한 범위에서 레일패드강성이 낮을수록 소음레일이 높은 것으로 간주
 - 체결구, 침목, 슬래브의 동적거동이 큰 궤도시스템일수록 소음레벨이 높은 것으로 간주.
- 소음저감시설이 있는 궤도시스템의 경우 이를 고려.
- 소음에 대한 영향은 지역여건에 따라 다르게 나타나므로 해당선구에 관련한 소음기준, 인구밀집정도

③ 진동

- 심야시간대에 공사를 수행해야하므로 공사장비 및 자재의 이동/적치에 따

큰 진동의 영향

- 차량과 궤도의 상호작용에 의하여 발생한 진동이 지반으로 전파하는 진동 정도를 해석적 방법으로 예측할 수 있으나 여의치 않은 경우는 다음의 직관적 방법을 적용
- 주 탄성체(Elastomer)가 레일로부터 떨어져 슬래브 바닥 쪽에 위치할수록 방진성능은 큰 것으로 간주

레일패드 < 베이스플레이트패드 < 침목패드 < 슬래브패드

- 방진침목형 궤도와 방진직결체결구의 방진성능은 거의 비슷한 것으로 간주
- 진동에 대한 영향은 지역여건에 따라 다르게 나타나므로 해당선구에 관련한 소음기준, 인구밀집정도

③ 외관

- 청소의 용이성 및 배수능력.

④ 내후성, 내수성

- 기후변화, 우수, 산성비, 지하수, 소금, 차량으로부터 유출되는 기름 또는 유독물 등으로부터 저항할 수 있는 능력

표 A1-4. 환경성 평가양식

평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
오염물질의 발생 가능성 및 영향 (0.30)	공사 중 분진 및 오폐수 발생 정도	0.20	1(높음)-5(낮음)		
	오염물질의 침입의 영향	0.10	1(높음)-5(낮음)		
소음 (0.35)	공사중 소음레벨	0.25	1(높음)-5(낮음)		
	운영소음레벨	0.10	1(높음)-5(낮음)		
진동 (0.20)	공사중 진동레벨	0.10	1(높음)-5(낮음)		
	운영 진동레벨	0.10	1(높음)-5(낮음)		
외관 (0.10)	청소의 용이성	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		
	배수능력	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		
내수성 및 내염성 (0.05)	내수성(내염성 포함)	0.05	1(나쁨)-5(좋음)		

주1) 가중치 적용점수 = (평가점수/5) × 세부평가항목별 가중치 × 평가그룹별 배점

(4) 시공성 평가

- 시공성은 얼마나 빠른 시간 내에 쉽게 궤도구조를 설치할 수 있는가를 평가하는 것으로 시공의 난이도가 궤도구조의 성능 확보와 밀접한 연관을 가짐.

① 시공시간(installation time)

- 시공에 소요되는 시간을 평가한다. 여기서 시공시간은 궤도 설치 공정에 소요되는 시간 뿐 아니라 하부 기초 설치 작업을 포함한 궤도 설치 이전에 필요한 모든 사전 준비 작업 시간을 포함.

② 시공의 복잡성과 자원 투입 정도

- 시공방법의 복잡성(complexity), 인력 및 자원(resources) 투입정도, 자동화 수준(degree of automation) .

③ 선형조정의 용이성

- 궤도를 설치함에 있어서 궤도의 선형을 정해진 허용범위 내에 유지하는 것이 가장 중요. 따라서 전체 시공의 난이도와는 별도로 선형조정 작업의 용이성을 평가
- 선형조정 방법의 용이성은 다시 아래의 두 가지 세부항목으로 나누어 평가
 - 선형조정 작업의 난이도 : 조정(adjusting) 작업의 난이도, 측량 방법의 난이도, 자동화 수준 등을 평가
 - 선형조정의 단순성 : 선형조정 시 이용하는 구성품의 개수와 최종 선형 조정 시까지 필요한 조정 작업 및 측량의 시행횟수 등을 평가(하나의 구성품으로 조정이 이루어지고, 한 번의 조정과 측량으로 레일 설치와 콘크리트 타설이 완료되는 것이 가장 유리)

④ 콘크리트 타설 작업의 난이도

- 콘크리트 타설 시 타설 소요시간, alignment 작업과의 간섭여부, 콘크리트 운반 방법, 자동화 수준, 현장타설/공장제작 비율 등 콘크리트 타설 작업 자체의 난이도

⑤ 공정 간의 상호연관성

- 시공 시 각 개별 공정 간의 상호 연관성이 낮을수록 시공 시 실패 확률이 낮아지고, 상호 인터페이스 사항이 감소된다. 공정 간의 상호 연관성에는 하부 지반공사, 배수공사, 콘크리트 타설, 선형 조정, 공장 제작 부품의 조달

⑥ 제한된 접근성의 극복 가능성

- 단선 터널 등과 같이 현장 여건에 따라 접근성이 제한되는 경우가 있음. 접근성이 제한되는 경우에도 설치가 가능한 구조인지가 경우에 따라서는 시공성에서 중요한 평가요소가 될 수 있음. 현장의 접근성은 현장 여건에 따라 다르기 때문에 프로젝트마다 가중치가 크게 달라질 수 있음.

⑦ 재료 확보 가능성

- 궤도에 사용하는 재료의 종류와 수량, 확보 가능성 등을 평가한다. 사용하는 재료의 종류가 적고, 쉽게 확보할 있는 것이 시공성에 더 유리할 뿐만 아니라 유지보수 시에도 보수 재료의 재고량을 줄일 수 있으므로 유리

표 A1-5. 시공성 평가양식

평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
시공시간 (0.20)	시공 소요시간 (케도 설치 공정 뿐 아니라 하부 기초 설치 작업을 포함한 케도 설치 이전에 필요한 모든 사전 준비 작업 시간 포함)	0.2	1(느림)-5(빠름)		
시공의 복잡성과 자원 투입 정도 (0.20)	시공방법의 복잡성, 인력 및 자원 투입정도, 자동화 수준 등	0.2	1(높음)-5(낮음)		
선형조정 용이성 (0.10)	선형조정 작업의 난이도(조정 작업의 난이도, 측량 방법의 난이도, 자동화 수준 등)	0.05	1(높음)-5(낮음)		
	선형조정의 단순성 (선형조정 시 이용하는 구성품의 개수와 최종 선형 조정 시까지 필요한 조정 작업 및 측량 시행횟수 등)	0.05	1(많음)-5(적음)		
콘크리트 타설 작업의 난이도 (0.10)	콘크리트 타설 작업소요시간, alignment 작업과의 간섭여부, 콘크리트 운반 방법, 자동화 수준, 현장타설/ 공장제작 비율 등	0.1	1(높음)-5(낮음)		
공정 간의 상호연관성 (0.10)	하부 지반공사, 배수공사, 콘크리트 타설공, 선형 조정, 공장 제작 부품의 조달 등 개별 공정 간의 상호 연관성	0.1	1(높음)-5(낮음)		
제한된 접근성의 극복 가능성 (0.20)	접근성이 제한되는 경우 설치 가능성	0.2	1(낮음)-5(높음)		
재료 확보 가능성 (0.10)	케도에 사용하는 재료의 종류와 수량, 확보 가능성	0.1	1(낮음)-5(높음)		

주1) 가중치 적용점수 = (평가점수/5) × 세부평가항목별 가중치 × 평가그룹별 배점

(5) 유지관리(Maintenance) 용이성 평가

□ 유지관리의 척도는 궤도시스템 또는 구성품을 유지보수하기 위하여 투입되는 인력, 재료, 장비의 규모와 각 구성품이 보수되는 시간임.

① 궤도 유지보수 장비 및 보수자원

- 생력화 궤도를 유지보수하기 위한 특수 장비의 개발 필요성
- 유지보수를 위하여 구비하여야할 장비 및 보수품

② 궤도틀림 발생 가능성 및 조정의 용이성

- 궤도틀림 발생 정도
- 유지보수 및 운영 시간대에 20mm이하의 수평 및 수직 궤도틀림에 대한 조정의 용이성. 체결시스템에서의 조정능력과 그 외 타 개소에서의 조정능력

③ 궤도 대변형의 발생가능성 및 조정의 용이성

- 20~150mm 정도 궤도의 수평 및 수직변형에 대한 조정의 용이성을 평가. 유지보수 매뉴얼을 근거로 하며, 궤도시스템에 따른 부등침하 발생가능성의 차이 등도 고려 대상

④ 점검주기 및 점검방법

- 궤도시스템 또는 구성품을 건전한 상태로 유지하기 위하여 요구되는 점검주기 및 점검방법. 점검주기 및 점검방법은 유지관리지침을 근거로 함. 점검방법의 평가에서는 궤도시스템 자체에 특화된 자동화 장비가 있는 경우는 이를 고려

⑤ 궤도구성품의 갱환의 용이성

- 갱환 대상 궤도구성품의 수, 교체를 위한 접근의 용이성, 제거 또는 갱환의 어려운 정도

표 A1-6. 유지관리성 평가양식

평가항목 (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
궤도 유지보수 장비 및 보수품 (0.30)	특수 유지보수장비 개발 필요성	0.10	1(많음)-5(적음)		
	보수장비 운용 용이성	0.10	1(많음)-5(적음)		
	보수품 조달 및 보관 용이성	0.10	1(많음)-5(적음)		
궤도틀림 조정의 용이성 (0.20)	궤도틀림 발생가능성	0.10	1(높음)-5(낮음)		
	조정의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
궤도 대변형 조정의 용이성 (0.20)	대변형 발생가능성	0.10	1(높음)-5(낮음)		
	조정의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		
점검주기 및 점검방법 (0.10)	점검주기	0.05	1(짧음)-5(길)		
	점검방법	0.05	1(불편)-5(편리)		
궤도구성품의 갱환의 용이성 (0.20)	교체대상 궤도구성품의 수	0.10	1(많음)-5(적음)		
	교체를 위한 접근의 용이성	0.10	1(나쁨)-5(좋음)		

주1) 가중치 적용점수 = (평가점수/5) × 세부평가항목별 가중치 × 평가그룹별 배점

(6) 복구성(Repairability) 평가

- 철도 종사자의 실수 또는 기술적 결함 등으로 철도사고는 종종 발생하게 된다. 콘크리트궤도에 있어서 작은 결함이 발생하더라도 전체 철도시스템 운영에 영향을 줄 수 있고, 탈선 등으로 중대한 결함이 발생할 경우는 선로를 상당기간동안 사용할 수 없게 되어 철도경영차원이나 국가 사회적으로 큰 손실을 입게 될 수 있음. 따라서 궤도유형 선택 시 만일의 사고에 대비한 보수(Repair)의 용이성은 중요한 고려 대상이 된다고 할 수 있음.

① 복구성 평가

- 평가에 고려하는 시나리오는 다음과 같은 3가지 경우를 가정
 - CASE I : 열차 탈선에 따른 궤도 연장 4km에 걸친 사소한 궤도손상
 - CASE II : 열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(단선으로만 궤도보수 작업을 수행하는 경우)
 - CASE III : 열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(복선으로 궤도보수 작업을 수행하는 경우)
- 평가의 척도는 보수에 소요되는 시간과, 예비 보수품을 확보하고 있는데 소요되는 비용, 유지보수 시 손상되지 않은 측면궤도로부터의 접근 필요성 등 고려하며, 이들 평가항목 간 가중치는 다음과 같이 설정함.
 - 소요시간 : 60%
 - 보수품 확보비용 : 30%
 - 측면궤도 접근 필요성 : 10%
- 다음과 같은 3가지 시나리오에 대하여
 - 열차 탈선에 따른 궤도 연장 4km에 걸친 사소한 궤도손상 (40%)
 - 열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(1개소 심각한 포수)(40%)
 - 열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(2개소 심각한 포수)(20%)

표 A1-7. 복구성 평가양식

평가항목(시나리오) (가중치합)	세부평가항목	가중치	평가점수	가중치 적용 점수 ¹⁾	합산 점수
열차 탈선에 따른 궤도 연장 4km에 걸친 사소한 궤도손상 (0.40)	소요시간	0.24	1(김)-3(짧음)		
	보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	1(많음)-3(적음)		
	측면궤도 접근 필요성	0.04	1(높음)-3(낮음)		
열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(단선으로만 궤도보수 작업을 수행하는 경우) (0.40)	소요시간	0.24	1(김)-3(짧음)		
	보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.12	1(많음)-3(적음)		
	측면궤도 접근 필요성	0.04	1(높음)-3(낮음)		
열차 탈선에 따른 궤도 연장 2km에 걸친 심각한 궤도손상(복선으로 궤도보수 작업을 수행하는 경우) (0.20)	소요시간	0.12	1(김)-3(짧음)		
	보수품 확보 용이성 및 지출비용	0.06	1(많음)-3(적음)		
	측면궤도 접근 필요성	0.02	1(높음)-3(낮음)		

주1) 가중치 적용점수 = (평가점수/3) × 세부평가항목별 가중치 × 평가그룹별 배점

부 록 2.

세부과제별 예산산정근거

(빈페이지)