



본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행( '21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 연구단과제의 총괄용입니다.

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

|                           |       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
|---------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|--------|--------------------------------------------------------------|--|
| 사업명                       |       | 철도기술연구개발사업                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 총괄연구개발 식별번호 |        |                                                              |  |
| 내역사업명                     |       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 연구개발과제번호    |        | 20RTRP-B137949-04                                            |  |
| 국가과학기술 표준분류               |       | EI0602                                                                                                                                                                                                  | 70%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | EI0606 | 20%         | EI0608 | 10%                                                          |  |
| 총괄연구개발명                   |       | 기존선 무도상교량 장대레일화 기술개발                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 연구개발<br>과제명               | 1세부   | 무도상 교량 장대레일화 설계 핵심기술 및 보수보강매뉴얼 개발                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
|                           | 2세부   | 기존 궤도구조를 활용한 레일장대화 장치개발 및 시험시공을 통한 성능검증                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 전체 연구개발기간                 |       | 2017. 11. 24 - 2021. 12. 31(4년1개월)                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 총 연구개발비                   |       | 총 7,302,565천원<br>(정부지원연구개발비 : 5,542,000천원, 기관부담연구개발비 : 1,760,565천원,<br>지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 연구개발단계                    |       | 기초[ ] 응용[ ] 개발[ <input checked="" type="checkbox"/> ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        | 기술성숙도       |        | 착수시점 기준( )<br>종료시점 목표( <input checked="" type="checkbox"/> ) |  |
| 연구개발과제 유형                 |       | 지정공모 [ <input checked="" type="checkbox"/> ] 자유공모 [ ]                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 연구개발과제 특성                 |       | 실용화                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |
| 연구<br>개발<br>목표<br>및<br>내용 | 최종 목표 |                                                                                                                                                                                                         | ○ 기존 무도상 교량(판형교, 트러스교)에서 레일을 장대화하기 위한 설계 핵심기술 개발 및 시험시공을 통한 개발품의 성능평가.<br>○ 기존선 무도상 교량(판형교, 트러스교)에 기존궤도 구조를 활용하여 장대레일을 부설 할 수 있는 주요 장치 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |             |        |                                                              |  |
|                           | 전체 내용 |                                                                                                                                                                                                         | ○ 1세부<br>- 무도상 교량 상태평가기법 및 보수보강매뉴얼 개발<br>- 무도상 교량 장대레일화에 따른 궤도-교량 상호작용 해석· 시험· 설계기술 개발<br>- 무도상 교량 장대레일화 설계 가이드라인 개발<br>- 무도상 교량 레일 장대화를 위한 기준[안] 개발<br>- 시험시공공간 선정, 검토 및 관리<br>- 시험시공공간 현장계측, 성능평가 및 보수보강 매뉴얼 검증<br>○ 2세부<br>- 침목-거더 종방향 및 횡방향 저항력 확보를 위한 고정장치 개발<br>- 선형조정 및 충격완화용 침목 탄성받침 개발<br>- 목침목을 대체할 수 있는 친환경 합성침목 개발<br>- 시공성 향상을 위한 부대 장비 개발<br>- 연구성과 적용을 위한 Testbed 설계 및 시공<br>- 연구성과에 대한 성능검증 인증<br>- 상용화 기반 구축 |        |             |        |                                                              |  |
|                           | 1년차   | 목표                                                                                                                                                                                                      | ○ 무도상교량 레일장대화를 위한 국내외 자료 조사 및 기술요건 분석<br>○ 무도상교량 장대화를 위한 개념설계                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |             |        |                                                              |  |
| 내용                        |       | - 무도상교량 레일장대화를 위한 기법 및 기술요건 정립<br>- 무도상교량 궤도좌굴 지배인자 도출<br>- 무도상교량 레일장대화를 위한 장치 성능요건 도출 및 상호작용 실험 검토<br>- 무도상 교량(궤도) 성능평가 및 보수보강 관련 국내외 자료 조사/분석<br>- 무도상교량 레일장대화를 위한 요구조건 및 해석기법 분석<br>- 무도상 교량 운영현황 분석 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |             |        |                                                              |  |

|        |     |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|-----|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |     |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침목-거더 고정장치 기술요건 정립</li> <li>- 복합소재 침목 주요 기술 동향 분석 및 개발방향 정립</li> <li>- 복합소재 침목 및 탄성패드 제조기술 분석</li> <li>- 시공성 향상을 위한 부대장비 기본 설계</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|        | 2년차 | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 무도상교량 레일장대화를 위한 기술요건 및 기준 개발</li> <li>○ 무도상 교량 장대화를 위한 개발품 기본설계 및 성능평가</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|        |     | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 개발</li> <li>- 횡방향 및 종방향 특성을 고려한 좌굴해석기법 개발</li> <li>- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 기술요건 정립</li> <li>- 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 및 보수보강 기법 개발 및 검증</li> <li>- 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 및 단부사용성 해석</li> <li>- 무도상 교량 실내·외 실험을 통한 적절성 검토</li> <li>- 개발제품(고정장치, 탄성패드, 합성침목) 성능, 품질 시험기준 정립</li> <li>- 침목-거더 고정장치 초도 상세설계</li> <li>- 탄성패드 및 복합소재 침목 성능평가 방안 및 제작기술 개발</li> <li>- 시공성 향상을 위한 부대장비 제작(용접부 연마장비)</li> <li>- 유도상화사업의 경제성 비교 및 가치평가</li> </ul>                                                                                              |
|        | 3년차 | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 무도상교량 레일장대화를 위한 절차서, 매뉴얼, 기준 개발 및 testbed 선정</li> <li>○ 시제품 제작 및 성능시험</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|        |     | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 검토 및 확정</li> <li>- Testbed 구간 좌굴해석 및 안정성 평가</li> <li>- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템용 침목/장치의 성능요건 도출</li> <li>- 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안) 개발 및 안전성평가 기법 검증</li> <li>- 레일 장대화된 무도상 교량의 보수보강 매뉴얼(안) 개발 및 testbed 적용</li> <li>- Testbed 시험부설을 위한 궤도분야 상세설계</li> <li>- Testbed에 대한 현장 적용성 평가</li> <li>- 개발품(고정장치, 탄성받침, 합성침목) 성능검증을 위한 테스트 베드 구축 계획 수립</li> <li>- 침목-거더 고정장치 상세설계 및 제품 생산계획 수립</li> <li>- 침목 및 탄성받침 성능 검토 제품 생산계획 수립</li> <li>- 무도상교량 레일 장대화 부대장비 성능검증 및 시공계획 수립</li> <li>- Testbed 구간의 공사비 산출 및 도면의 3D모델링 작성</li> </ul> |
|        | 4년차 | 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Testbed 계측결과를 이용한 절차서, 매뉴얼, 기준 검증</li> <li>○ 무도상교량 레일장대화 시험시공을 통한 개발품 성능검증</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|        |     | 내용 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Testbed에서의 2세부과제 연구성과 성능평가</li> <li>- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 성능 평가</li> <li>- Testbed 결과를 이용한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트, 절차서 및 보수보강 매뉴얼 보완 및 완성</li> <li>- Testbed 계측결과를 반영한 궤도-교량 상호작용(종방향/단부) 해석 비교 검토</li> <li>- 운영중인 노선에 대한 현장 적용성 평가 및 시험 기술 보완</li> <li>- 개발품 시험시공(경원선 한천교) 및 성능검증</li> <li>- 침목-거더 고정장치, 탄성받침, 합성침목 시방서 및 자재사양서 개발</li> <li>- 시범구간의 최종 공사비 산출 및 VE/LCC 분석</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
| 연구개발성과 |     |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 무도상 교량 상태평가기법 및 보수·보강매뉴얼</li> <li>○ 무도상 교량 레일장대화를 위한 설계가이드라인[안] 및 기준[안] 개발</li> <li>○ 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광시스템 개발</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

|                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|----|
|                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>○ 침목-거더 종방향 및 횡방향 저항력 확보를 위한 연동식 고정장치</li><li>○ 선형조정 및 충격완화용 침목 탄성받침</li><li>○ 무도상교량 교량 목침목 대체를 위한 합성수지 침목</li><li>○ 시공성 향상을 위한 부대 장비</li></ul>                                                                                                                                                                               |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 연구개발성과<br>활용방안 및<br>기대효과                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>○ 개발중인 판형교 안전성평가 절차에 따라 구조적 문제가 있다고 판단되는 교량은 유도상화로 추진하고,<ul style="list-style-type: none"><li>- 안전성에 문제가 없는 교량은 레일장대화를 통하여 소음·진동 저감 및 교량 내구성 증진<ul style="list-style-type: none"><li>* 유도상공법 대비 약 11%의 비용으로 시공 가능</li></ul></li><li>- 한천교 시공결과를 바탕으로 유도상화가 불가능하고, 소음진동의 피해가 큰 도심지 판형교를 우선 적용 후 트러스교 적용 추진</li></ul></li></ul> |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                           | <table><tr><td>1단계(~'21)</td><td rowspan="2">⇒</td><td>2단계(~'23)</td><td rowspan="2">⇒</td><td>3단계('23년 이후)</td></tr><tr><td>도심지 판형교 중 적정<br/>개소 시험 시공(한천교)</td><td>짧은 연장 또는 구조 양<br/>호 도심지 판형교 우선 적용</td><td>한강철교, 낙동강교 등<br/>트러스교 적용</td></tr></table>                                                                                                            |              |                         | 1단계(~'21)                 | ⇒              | 2단계(~'23)       | ⇒           | 3단계('23년 이후)                 | 도심지 판형교 중 적정<br>개소 시험 시공(한천교) | 짧은 연장 또는 구조 양<br>호 도심지 판형교 우선 적용 | 한강철교, 낙동강교 등<br>트러스교 적용 |    |
|                                                                                                                                                                                                                                           | 1단계(~'21)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ⇒            | 2단계(~'23)               | ⇒                         |                | 3단계('23년 이후)    |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 도심지 판형교 중 적정<br>개소 시험 시공(한천교)                                                                                                                                                                                                             | 짧은 연장 또는 구조 양<br>호 도심지 판형교 우선 적용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              | 한강철교, 낙동강교 등<br>트러스교 적용 |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| <ul style="list-style-type: none"><li>○ 북한철도노선 및 개발도상국 판형교에 적용하여 해외철도 무도상 교량 개량사업 적용</li><li>○ 유지보수 비용 절감<ul style="list-style-type: none"><li>- 레일이음매의 제거로 충격진동이 현격히 저감됨에 따라 차량, 궤도, 교량의 손상이 크게 저감되며, 그에 따라 유지보수비 절감</li></ul></li></ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 연구개발성과의<br>비공개여부 및 사유                                                                                                                                                                                                                     | 해당없음                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 연구개발성과의<br>등록·기탁 건수                                                                                                                                                                                                                       | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 특허           | 보고서<br>원문               | 연구<br>시설·<br>장비           | 기술<br>요약<br>정보 | 소프트<br>웨어       | 표준          | 생명자원                         |                               | 화학물                              | 신품종                     |    |
|                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                         |                           |                |                 |             | 생명<br>정보                     | 생물<br>자원                      |                                  | 정보                      | 실물 |
|                                                                                                                                                                                                                                           | 22                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 14           |                         |                           |                | 2               |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 연구시설·장비<br>종합정보시스템<br>등록 현황                                                                                                                                                                                                               | 구입기관                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 연구시설·<br>장비명 | 규격<br>(모델명)             | 수량                        | 구입<br>연월일      | 구입가격<br>(천원)    | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소)                 | ZEUS<br>등록번호                  |                                  |                         |    |
|                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                         |                           |                |                 |             |                              |                               |                                  |                         |    |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)                                                                                                                                                                                                                          | 무도상교량                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |                         | 장대레일                      |                | 레일장대화 장치        |             | 합성침목                         |                               | 판형교                              |                         |    |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)                                                                                                                                                                                                                          | ballastless track<br>bridge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                         | Continuous<br>welded rail |                | Devices for CWR |             | Steel plate girder<br>bridge |                               | Steel plate girder<br>bridge     |                         |    |

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

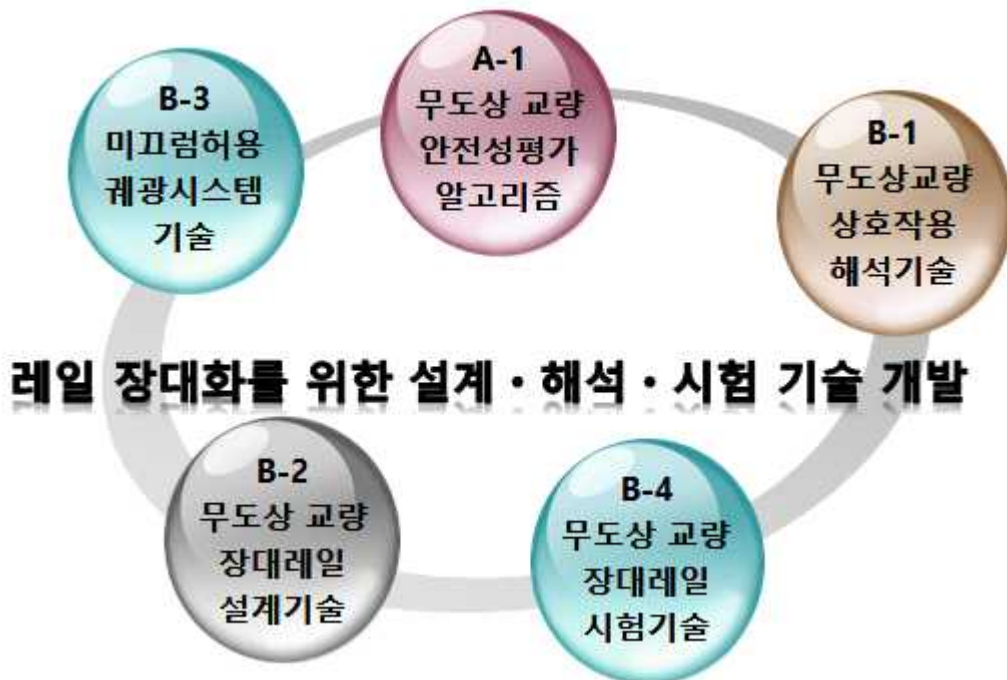
별첨자료(참고문헌 등)

## 1. 연구개발과제의 개요

### 1) 연구개발과제의 최종 목표

#### • 1세부

- 무도상 교량 장대레일화 설계 핵심기술 및 보수보강매뉴얼 개발
  - 무도상 교량 상태평가기법 및 보수·보강매뉴얼 개발
  - 무도상 교량 장대레일화에 따른 궤도-교량 상호작용 해석·시험·설계기술 개발
  - 무도상 교량 장대레일화 설계 가이드라인 개발
  - 무도상 교량 레일 장대화를 위한 기준[안] 개발
  - 시험시공구간 선정, 검토 및 관리
  - 시험시공구간 현장계측, 성능평가 및 보수보강 매뉴얼 검증

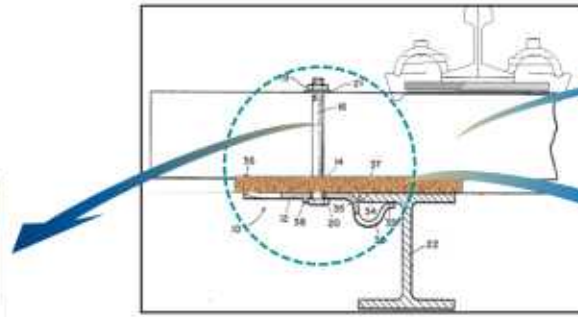


#### • 2세부

- 기존 궤도구조를 활용한 레일 장대화 장치 개발 및 시험시공을 통한 성능검증
  - 침목-강거더 종방향 및 횡방향 저항력 확보를 위한 고정장치 개발(목침목 및 합성수지침목 적용 가능)
  - 선형조정 및 충격완화용 침목 탄성받침 개발
  - 무도상교량 레일장대화를 합성수지침목 개발
  - 시공성 향상을 위한 부대 장비 개발
  - 연구성과 적용을 위한 Testbed 설계 및 시공
  - 연구성과에 대한 성능검증 인증
  - 상용화 기반 구축

## 1. 기존 궤도구성품을 활용한 레일 장대화 중요 장치 개발

침목-강거더(교량) 고정장치 개발



< 기존 궤도구조 >

합성수지 침목 개발



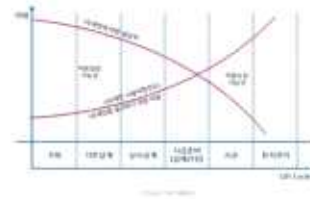
침목 탄성받침 개발



## 2. 시공법, 부대장비 개발 및 시험시공



## 3. LCC분석 및 시공 3D영상 제작



## 2) 연구개발과제의 년차별 목표

### • 1세부

#### □ 1차 연도

- 무도상교량 레일장대화를 위한 기법 및 기술요건 정립 (교통대학교)
  - 무도상교량 레일장대화 기법 조사 및 검토
  - 무도상교량 하부구조 안정성 검토 기법 조사 및 검토
  - 무도상교량 레일장대화 기법 별 영향인자 도출
- 무도상교량 궤도좌굴 지배인자 도출 (강원대학교)
  - 무도상교량 궤도좌굴 해석기법 검토
  - 문헌조사 및 기초해석을 통한 무도상교량 궤도좌굴 지배인자 검토/도출
- 무도상교량 레일장대화를 위한 장치 성능요건 도출 및 상호작용 실험 검토 (교통대학교)
  - 무도상교량 레일장대화 기법에 따른 성능요건 도출
  - 교량-궤도 상호작용 실험 계획 검토 및 협의
- 무도상 교량(궤도) 성능평가 및 보수보강 관련 국내외 자료 조사/분석 (인하대학교)
  - 무도상 교량 현황 조사 및 분류
  - 무도상 교량 분류 체계에 따른 대표교량 선정
  - 무도상 교량 성능평가 관련 국내외 문헌 조사/분석
  - 레일 장대화로 인한 무도상 교량의 안전성평가 관련 자료 조사/분석
  - 레일 장대화로 인한 추가의 축력과 횡방향력을 고려한 보수보강 방법 자료 조사/분석
- 무도상교량 레일장대화를 위한 요구조건 및 해석기법 분석 (㈜서현기술단)
  - 궤도의 레일장대화를 위한 국내외 설계기준 조사
  - 문헌조사를 통한 무도상 교량 레일장대화 관련 주요 설계인자 도출
  - 장대레일 축력해석을 위한 주요인자 도출
  - 무도상 교량 장대레일 축력해석방법 (개별해석법, 완전해석 등) 비교 검토
- 무도상 교량 레일장대화를 위한 국내외 시험방법 조사 (㈜에이베스트)

- 궤도의 레일장대화를 위한 국내외 시험 방법 및 무도상 교량 레일장대화 관련 문헌조사를 통한 측정 인자 도출
- 무도상 교량 장대레일 부설 시 교량의 하중 응답특성 및 구조 성능에 영향을 미치는 장애요소 조사
- 무도상 교량 궤도-교량 상호 작용 해석 및 설계기술 개발 기초 자료 제공
- 유도상화 사업으로 철거되는 무도상 교량 상태 조사 및 현장답사
- 기존선 무도상 교량(주부재, 하부구조, 체결구 등)의 강성 및 동특성 확인을 위한 시험 방법 조사 및 기초 설계
- 장대레일 부설시 하중 전달 및 구조적 관계에 의한 대표 측정 포인트 결정 및 센서 TEST

## □ 2차 연도

- 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 개발 (교통대학교)
  - 무도상교량 레일장대화 기법에 따른 검토 사항 도출 및 관계기관 협의
  - 무도상교량 레일장대화 기법에 따른 기준[안] 도출
- 횡방향 및 종방향 특성을 고려한 좌굴해석기법 개발 (강원대학교)
  - 무도상 교량의 횡/종방향 특성을 고려한 3차원 궤도좌굴 해석모델 작성
  - 무도상교량 레일장대화 기법에 따른 궤도좌굴해석 및 좌굴특성 분석
  - 레일장대화 기준[안] 좌굴관련 검토 사항 도출 및 검토
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 기술요건 정립 (충남대학교)
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템 설계
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광의 횡방향 저항 강성 증대 방안
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광과 교량 상부구조(가로보 및 세로보)의 미끄럼 확보 방안
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템의 복진과 시·제동 하중에 대한 저항 메커니즘 및 저항 강성 증대 방안
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템 적용을 위한 교량 구조물의 소요성능 조건 정립
- 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 및 보수보강 기법 개발 및 검증 (인하대학교)
  - 무도상 교량 분류 체계에 따른 대표교량 현장조사
  - 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 개발
  - 무도상 교량(트러스교/판형교) 해석모델 업데이트 자동화 프로그램 개발
  - 무도상 교량 실내실험 및 테스트베드(트러스교/판형교)에 대한 재하시험을 통해 획득한 계측데이터를 활용하여 개발된 안전성평가 기법의 신뢰성 검증
  - 레일 장대화로 인해 도입되는 추가의 축력과 횡방향력을 고려한 무도상 교량의 보수보강 기법 개발 및 구조해석적 검증
- 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 및 단부사용성 해석 (㈜서현기술단)
  - 장대레일축력 설계중요인자 매개변수 해석
  - 개발시제품 적용 전후 장대레일 단부 사용성 검토 및 해석
  - 단부사용성 해석을 통한 체결장치 적용성 및 성능 검토
- 무도상 교량 실내·외 실험을 통한 적절성 검토 (㈜에이베스트)
  - 무도상 교량 실내 실험을 통한 개발 기술 적절성 검토
  - 무도상 교량 실내 실험
  - 무도상 교량 실외 실험

## □ 3차 연도

- 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 검토 및 확정 (교통대학교)
  - 무도상교량 레일장대화 기법에 따른 해석 결과 검토
  - 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 확정
- Testbed 구간 좌굴해석 및 안정성 평가 (강원대학교)
  - Testbed 구간 좌굴해석을 위한 3차원 해석모델 작성
  - Testbed 구간 좌굴해석 및 안정성 검토
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템용 침목/장치의 성능요건 도출 (충남대학교)

- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광용 침목의 성능요건 및 개발
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광용 장치(침목과 교량 상부구조 체결장치 등)의 성능요건 및 개발
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광용 침목의 성능실험
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광용 장치의 성능실험
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템의 열차 주행안전성 평가
- 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안) 개발 및 안전성평가 기법 검증 (인하대학교)
  - 레일 장대화로 인한 무도상 교량 안전성평가에서 고려해야 할 영향인자 분석
  - 레일 장대화로 인한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 개발
  - 레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 절차서 개발
  - 선정되고 장대 레일 및 체결장치가 설치된 공용중인 무도상 교량에 대한 현장실험에서 확보된 계측데이터 분석
  - 확보된 계측데이터를 활용하여 개발된 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안)의 적용 및 신뢰성 검증
- 레일 장대화된 무도상 교량의 보수보강 매뉴얼(안) 개발 및 testbed 적용 (인하대학교)
  - 레일 장대화와 연계한 보수보강 방법 검토
  - 보수보강 방법에 따른 장대레일 궤도-교량 시스템 구조안정성 검토
  - Testbed 교량에 시험 적용 및 보수보강 전후의 안전성능 비교 검토
  - 레일 장대화를 위한 무도상 교량 보수보강 매뉴얼(안) 개발
- Testbed 시험부설을 위한 궤도분야 상세설계 (㈜서현기술단)
  - 시공도면(궤도부설도) 작성, 토목/궤도 시공방안 I/F, 개발시제품 설계 적용성 검토
  - 무도상교량 구조 안정성 검토
  - Testbed 구간 시험시공 전·후 단계 해석
  - 개발시제품의 적정성에 대한 해석적 검토
- Testbed에 대한 현장 적용성 평가 (㈜에이베스트)
  - 무도상 교량 장대레일 시험 방법의 현장 적용성 평가
  - 무도상 교량상 궤도 종저항력 및 횡저항력 시험 기술 개발
  - Testbed 현장계측 장기 모니터링 시스템 구축

#### □ 4차 연도

- Testbed에서의 2세부과제 연구성과 성능평가 (교통대학교)
  - 성능평가 결과를 이용한 좌굴해석기법 검토
  - 현장계측 결과를 이용한 개발품 성능검증
  - 성능평가 결과를 이용한 무도상교량 레일장대화 기준[안] 검토
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 성능 평가 (충남대학교)
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템의 Testbed 시험
- 무도상 교량 안전성평가 체크리스트, 절차서 및 보수보강 매뉴얼 보완 및 완성 (인하대학교)
  - Testbed 결과를 이용한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서 보완 및 완성
  - Testbed 결과를 이용한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트와 연계한 보수보강 매뉴얼 보완 및 완성
- Testbed 계측결과를 반영한 궤도-교량 상호작용(종방향/단부) 해석 비교 검토 (㈜서현기술단)
  - Testbed 구간 변위 종방향 저항력 계측결과를 반영한 해석 수행
  - 해석결과와 현장계측 결과(축력, 변위 등) 비교 분석
- 운영중인 노선에 대한 현장 적용성 평가 및 시험 기술 보완 (㈜에이베스트)
  - 운영 중인 무도상 교량 장대레일 시험 기법의 현장 적용성 평가
  - 운영 중인 무도상 교량 장대레일 궤도 종저항력 및 횡저항력 시험 기술 개발
  - 운영 중인 노선 장기 모니터링 시스템 구축
  - 무도상 교량 장대레일화 시험 매뉴얼[안] 작성

## • 2세부

### □ 1차 연도

- 국내외 무도상 교량 운영 현황 분석(한국철도공사)
  - 국내외 유사기술 개발현황 기술조사
  - 레일 장대화 기술요건(1세부 연구결과) 적용성 검토
  - 개발제품 기술요건 정립
  - 현장 관리실무자 의견 조사(개선 요구조건, 기존 구성품의 품질, 내구성, 사용성 등)
- 침목-거더(교량) 고정장치 기술요건 정립(㈜에스코 알티에스)
  - 국내외 유사기술 개발현황 및 문제점 분석을 통한 기술조건 제시
  - 침목-거더간 상호작용에 따라 고정장치에 작용하는 외력에 대한 적용 요건 분석
  - 시공성을 고려한 필수 요구조건 도출
- 합성수지침목 주요 기술 동향 분석 및 개발방향 정립(㈜유원플랫폼)
  - 국내외 유사기술 개발현황 및 현장 문제점 분석을 통한 기술조건 제시
  - 소음과 진동에 유리하며 내구성 및 시공성이 향상된 합성수지침목 검토
- 합성수지침목 및 탄성받침 제조기술 분석(㈜동양이화)
  - 국내외 유사기술 개발현황 및 문제점 분석을 통한 기술조건 제시
  - 제조방법에 따른 효율성 분석
- 시공성 향상을 위한 부대장비 기본 설계(㈜천경기업)
  - 국내외 유사기술 개발현황 조사
- 국내외 무도상 교량의 내구연한 및 문제점 분석(한울이앤씨)
  - 무도상 교량의 생애주기 분석을 위한 기초자료 수집
  - 가치평가를 위한 기존선 무도상 교량의 문제점 파악

### □ 2차 연도

- 기존 궤도구조를 활용한 무도상교량 장대레일화 개발품 기능평가(한국철도공사)
  - 개발제품(고정장치, 탄성받침, 합성수지침목) 성능, 품질 시험기준 정립
  - 성능, 품질 시험계획 수립(시험항목, 방법, 성능 및 품질기준 도출)
- 침목-거더(교량) 고정장치 상세설계(㈜에스코 알티에스)
  - 시험용 고정장치 요구성능 도출, 설계 및 제작도 작성
  - 모듈단위, 모듈조합 구성품에 대한 실내 성능/품질 및 성능시험  
(횡저항력 시험, 종저항력 시험, 반복하중 재하시험, 극한하중 시험 등)
- 탄성받침 및 합성수지침목 성능평가 및 시제품 상세설계(㈜유원플랫폼)
  - 성능평가를 통한 내구성 및 제진 등 특성 파악
  - 탄성받침 및 합성수지침목 제조 방법 검토 및 기준 설정
  - 성능평가를 통한 개발제품 문제점 분석 및 개선사항 도출
  - 시제품 상세 설계
- 침목-탄성받침 제품 설계 및 설비공법 검토(㈜동양이화)
  - 침목-탄성받침 제조를 위한 부대설비 선정 및 성능평가
  - 설비공법 별 시제품 제작
- 시공성 향상을 위한 부대장비 제작(㈜천경기업)
  - 초도 시작품 보완사항을 반영한 상세설계도 작성
  - 장비 주요 성능시험 검증 항목 선정 (레일 긴장력 시험 등)
  - 시제품 제작(1set) 및 Mock-Up을 이용한 현장 적용성 검증
- 유도상화사업의 경제성 비교 및 가치평가(한울이앤씨)

- 
- 레일 장대화 장치 개발단가의 적정성 평가
  - 레일 장대화 장치 개발에 가치기준 선정 및 LCC 평가
  - 유도상화 사업과의 경제성 비교분석

#### □ 3차 연도

- 개발품(고정장치, 탄성받침, 합성수지침목) 성능 검증을 위한 테스트 베드 구축 계획 수립(한국철도공사)
  - 현장조사를 통한 최종 대상교량 선정
  - 현장 현장부설 대상교량 시공계획 수립
  - 세부 시험계획에 따라 운행성 및 안전확보계획 수립
  - 개발품 국가철도공단 성능검증 시행(기술적합성 보고서 등)
- 침목-거더(교량) 고정장치 시제품 제작 및 성능시험(주에스코 알티에스)
  - Mock-up을 이용한 개발품 시험체결을 통한 시공 적용성 검증
  - 내구성을 고려한 제조공정 검토 및 공정별 품질요건 수립
  - 개발품 실내 성능시험 시행
- 탄성받침 및 합성수지침목 상세설계(주유원플랫폼)
  - 현장 시험시공을 위한 설계도 및 시방서 작성
  - 현장부설 개발품에 대한 시방서 및 자재사양서 작성
- 합성침목 시제품 제작 및 성능시험(주동양이화)
  - 침목 및 탄성받침 요구성능 및 내구성 시험
  - 설비 검토 및 최적 공법 확정에 따른 시제품 제작
  - 실내 성능시험 시행
- 무도상교량 레일 장대화 부대장비 성능검증 및 시공계획(주천경기업)
  - 무도상 교량 레일 장대화 시공지침서(안) 작성
  - 시험시공을 위한 궤도 실시설계 반영한 최적 시공공정 개선
- Testbed 구간의 공사비 산출 및 도면의 3D모델링 작성(한울이앤씨)
  - 가치평가 기준 및 LCC평가 재검토
  - 개발 부품별 3D 모델링 작성

#### □ 4차 연도

- 테스트 베드 구축 및 관리(한국철도공사)
    - 현장부설구간의 개발품 성능, 품질 평가 지원, 성능 보완
    - 운행선 공사 안전확보 계획 수립
    - 개발품 성능 및 품질평가를 위한 계측 계획(계측 위치, 종류 등)
  - 침목-거더(교량) 고정장치 현장부설/모니터링 및 사용화 기반 구축(주에스코 알티에스)
    - 현장부설 개발품에 대한 시방서 및 자재사양서 작성
    - 현장부설 모니터링을 통한 성능/품질평가
    - 유지보수 매뉴얼 마련
    - 성능보완 적용 후 양산 체계 구축
  - 탄성받침 현장부설을 통한 성능/품질 평가 및 사용화 기반 구축(주유원플랫폼)
    - 현장부설 개발품에 대한 시방서 및 자재사양서 작성
    - 현장부설 모니터링을 통한 성능/품질평가
    - 유지보수 매뉴얼 마련
    - 성능보완 적용 후 양산 체계 구축
  - 합성수지침목 현장부설/모니터링 및 사용화 기반 구축(주동양이화)
-

- 현장부설 개발품에 대한 시방서 및 자재사양서 작성
- 현장부설 모니터링을 통한 성능/품질평가
- 유지보수 매뉴얼 마련
- 성능보완 적용 후 양산 체계 구축

○ 테스트베드 시험시공 및 유지관리(㈜천경기업)

- 개발 궤도구조시스템 및 장대레일 시험시공
- 시험시공구간 성능평가 및 시공지침서 등 설계도서 작성
- 유지관리 매뉴얼 마련

○ 경제성 보고서 작성 및 3D 동영상 제작(한울이앤씨)

- 시범구간의 최종 공사비 산출 및 VE/LCC 보고서 검토
- 유도상화와 기술개발 사업과의 경제성 분석
- 개발품 및 시험시공 동영상 제작

○ 1세부

| 구분            | 연구개발목표                                              | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)    | 현재 국내·외<br>기술수준                                               | 연구개발<br>목표치               | 목표치<br>설정 근거 | 가중치<br>(%) |
|---------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|------------|
| 1년차<br>(2017) | 무도상교량 레일장대<br>화를 위한 기법 및<br>기술요건 정립                 | 무도상교량 레일장대화<br>기술 현황 및 요건 | -                                                             | 무도상교량<br>장대레일<br>설계기준     | KR C-14050   | 30         |
|               | 무도상교량 궤도좌굴<br>지배인자 도출                               | 무도상교량 궤도좌굴<br>지배인자        | UIC 720R                                                      | 무도상교량<br>장대레일<br>해석기술     | KR C-08080   | 15         |
|               | 무도상교량 레일장대<br>화를 위한 장치 성능<br>요건 도출 및 상호작<br>용 실험 검토 | 침목고정장치 성능요건               | RCS A23-06 T볼트,<br>StahlBrückenSchwelle<br>(독일)<br>UIC 774-3R | 침목고정장치<br>성능요건            | KR C-14050   | 15         |
|               |                                                     | 상호작용 검증                   |                                                               |                           |              |            |
|               | 무도상 교량(궤도)<br>성능평가 및 보수보<br>강 관련 국내외 자료<br>조사/분석    | 무도상교량 성능평가<br>관련 기술현황     | -                                                             | 무도상교량<br>안전성평가<br>절차서     | KR C-14050   | 15         |
|               |                                                     | 무도상교량 보수보강<br>관련 기술현황     | -                                                             | 무도상교량<br>보수보강 매뉴얼         | KR C-14050   |            |
|               | 무도상교량 레일장대<br>화를 위한 요구조건<br>및 해석기법 분석               | 침목고정장치 성능요건               | UIC 774-3R                                                    | 무도상교량<br>장대레일<br>설계기술 정립  | KR C-08080   | 15         |
|               |                                                     | 무도상교량 해석기법                |                                                               |                           |              |            |
| 2년차<br>(2018) | 무도상 교량 레일장<br>대화를 위한 국내외<br>시험방법 조사                 | 궤도 종횡저항력 시험<br>기법         | -                                                             | 침목고정장치<br>종횡방향<br>시험기술 개발 | KR C-14050   | 10         |
|               | 무도상교량 레일장대<br>화를 위한 기준[안]<br>개발                     | 무도상교량 장대레일<br>설계기준        | UIC 774-3R                                                    | 무도상교량<br>장대레일<br>설계기준     | KR C-14050   | 20         |
|               | 횡방향 및 종방향 특<br>성을 고려한 좌굴해<br>석기법 개발                 | 무도상교량 장대레일<br>좌굴해석기법      | UIC 720R                                                      | 무도상교량<br>장대레일<br>좌굴해석기법   | KR C-08080   | 10         |

| 구분            | 연구개발목표                                        | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)       | 현재 국내·외<br>기술수준 | 연구개발<br>목표치                 | 목표치<br>설정 근거 | 가중치<br>(%) |
|---------------|-----------------------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|------------|
|               | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 기술요건 정립               | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 기술요건 | UIC 774-3R      | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템     | KR C-14050   | 6          |
|               | 무도상 교량 안전성 평가 알고리즘 및 보수보강 기법 개발 및 검증          | 무도상 교량 안전성평가 알고리즘            | -               | 무도상교량 안전성평가 절차서             | KR C-14050   | 10         |
|               |                                               | 무도상 교량 보수보강 기법               | -               | 무도상교량 보수보강 매뉴얼              | KR C-14050   |            |
|               | 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 및 단부사용성 해석              | 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 기법  | UIC 774-3R      | 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 기법 | KR C-08080   | 45         |
|               |                                               | 무도상 교량 단부사용성 해석 기법           |                 | 무도상 교량 단부사용성 해석 기법          | KR C-08090   |            |
|               | 무도상 교량 실내·외 실험을 통한 적절성 검토                     | 궤도 종횡저항력 시험 기법               | -               | 침목고정장치 종횡방향 시험기술 개발         | KR C-14050   | 9          |
| 3년차<br>(2019) | 무도상교량 레일장대화를 위한 기준[안] 검토 및 확정                 | 무도상교량 장대레일 설계기준              | UIC 774-3R      | 무도상교량 장대레일 설계기준             | KR C-14050   | 5          |
|               | Testbed 구간 좌굴 해석 및 안정성 평가                     | Testbed 구간 좌굴 해석 및 안정성 평가 결과 | UIC 720R        | 무도상교량 장대레일 좌굴해석기법           | KR C-08080   | 29         |
|               | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템용 침목/장치의 성능요건 도출       | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 성능요건 | UIC 774-3R      | 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템     | KR C-14050   | 15         |
|               | 무도상 교량 안전성 평가 체크리스트 및 절차서(안) 개발 및 안전성평가 기법 검증 | 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서     | -               | 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서    | KR C-14050   | 5          |
|               | 레일 장대화된 무도상 교량의 보수보강 매뉴얼(안) 개발 및 testbed 적용   | 무도상 교량 보수보강 매뉴얼              | -               | 무도상 교량 보수보강 매뉴얼             | KR C-14050   | 5          |
|               | Testbed 시험부설을 위한 궤도분야 상세 설계                   | Testbed 궤도설계                 | UIC 774-3R      | Testbed 궤도설계                | KR C-14050   | 23         |
|               | Testbed에 대한 현장 적용성 평가                         | 궤도 종횡저항력 시험 기법               | -               | 침목고정장치 종횡방향 시험기술 개발         | KR C-14050   | 18         |

| 구분                 | 연구개발목표                                                                        | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)            | 현재 국내·외<br>기술수준                                                        | 연구개발<br>목표치                                | 목표치<br>설정 근거            | 가중치<br>(%) |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|------------|
| 4년차<br>(2020-2021) | Testbed에서의 2세<br>부과제 연구성과 성<br>능평가                                            | 합성수지침목 성능평가                       | KRS TR 0007-15(R),<br>KRSA-T-2017-1003-FD,<br>ISO-12856,<br>JIS E 1203 | ISO-12856                                  | 교량용<br>합성수지침목           | 25         |
|                    |                                                                               | 침목고정장치 성능평가                       | KRCS A23-06 T볼트,<br>StahlBrückenSchwelle<br>(독일)                       | 중·횡저항력<br>40N/m/track 이상,<br>한계변위 2.0mm 이하 | KR C-08080<br>콘크리트궤도 성능 |            |
|                    | 레일 종방향 미끄럼<br>을 허용하는 궤광 시<br>스템 성능 평가                                         | 레일 종방향 미끄럼을<br>허용하는 궤광 시스템<br>성능  | UIC 774-3R                                                             | 레일 종방향<br>미끄럼을<br>허용하는 궤광<br>시스템           | KR C-14050              | 10         |
|                    | Testbed 결과를 이<br>용한 무도상 교량 안<br>전성평가 체크리스<br>트, 절차서 및 보수<br>보강 매뉴얼 보완 및<br>완성 | 무도상 교량 안전성평가<br>체크리스트 및 절차서       | -                                                                      | 무도상 교량<br>안전성평가<br>체크리스트 및<br>절차서          | KR C-14050              | 25         |
|                    |                                                                               | 무도상 교량 보수보강<br>매뉴얼                | -                                                                      | 무도상 교량<br>보수보강 매뉴얼                         | KR C-14050              |            |
|                    | Testbed 계측결과를<br>반영한 궤도-교량 상<br>호작용(종방향/단부)<br>해석 비교 검토                       | 무도상 교량 궤도-교량<br>종방향 상호작용 해석<br>기법 | UIC 774-3R                                                             | 무도상 교량 궤<br>도-교량 종방향<br>상호작용 해석<br>기법      | KR C-08080              | 25         |
|                    |                                                                               | 무도상 교량 단부사용성<br>해석 기법             |                                                                        | 무도상 교량 단<br>부사용성 해석<br>기법                  | KR C-08090              |            |
|                    | 운영중인 노선에 대<br>한 현장 적응성 평가<br>및 시험 기술 보완                                       | 궤도 중형저항력 시험<br>기법                 | -                                                                      | 침목고정장치<br>중형방향<br>시험기술 개발                  | KR C-14050              | 15         |

○ 2세부

| 구분            | 연구개발목표                             | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)                         | 현재 국내·외<br>기술수준                                                        | 연구개발<br>목표치                                | 목표치<br>설정 근거              | 가중치<br>(%) |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|------------|
| 1년차<br>(2017) | 침목 - 거더(교량)<br>고정장치 기술요건<br>정립     | 기술현황 조사                                        | KRCS A23-06 T볼트,<br>StahlBrückenSchwelle<br>(독일)                       | 중·횡저항력<br>40N/m/track 이상,<br>한계변위 2.0mm 이하 | KR C-08080<br>콘크리트궤도 성능   | 10         |
|               |                                    | 국내외 유사기술<br>개발현황 조사                            |                                                                        |                                            |                           | 10         |
|               | 침목-탄성받침<br>제조기술 분석                 | 국내외 유사기술 개발<br>현황 및 문제점 분석                     | -                                                                      | KRCS A010 06<br>방진재(저진동<br>궤도용)            | 역학적 성능<br>(침목상자 규격<br>준용) | 10         |
|               |                                    | 목침목-탄성받침<br>제조기술 정립                            |                                                                        |                                            |                           | 10         |
|               | 합성수지침목 주요<br>기술 동향 분석 및<br>개발방향 정립 | 국내외 유사기술<br>개발현황 및 현장<br>문제점 분석을 통한<br>기술조건 제시 | KRS TR 0007-15(R),<br>KRSA-T-2017-1003-FD,<br>ISO-12856,<br>JIS E 1203 | ISO-12856                                  | 교량용<br>합성수지침목             | 10         |
|               |                                    | 소음과 진동에 유리하며<br>내구성 및 시공성이                     |                                                                        |                                            |                           | 10         |

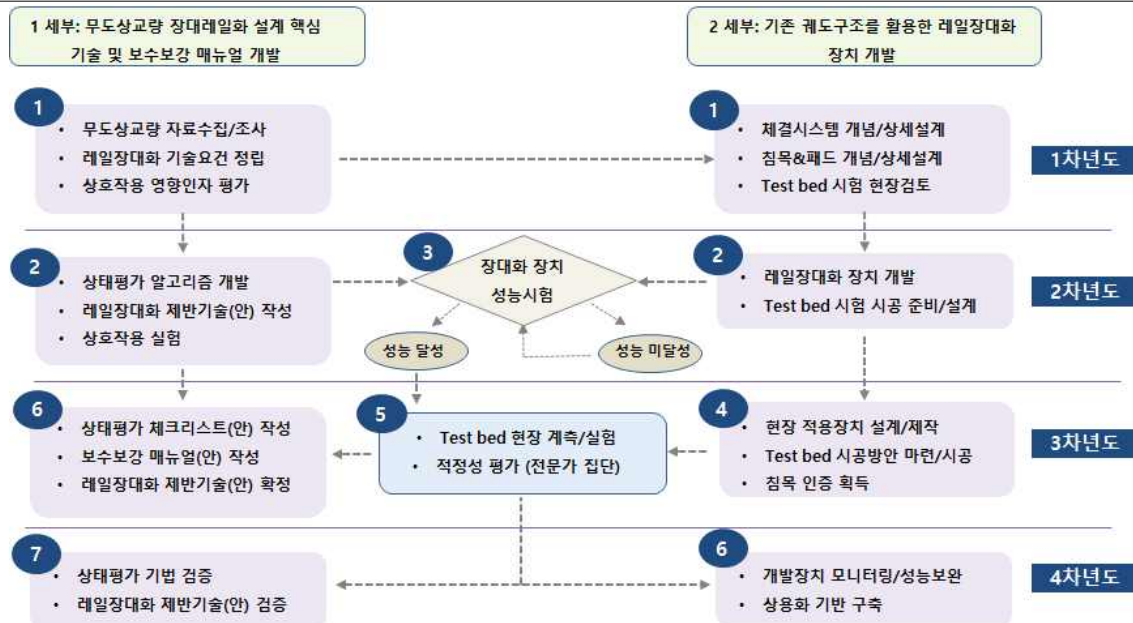
|               |                                        |                                |                                                               |                                      |                           |    |
|---------------|----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----|
|               |                                        | 향상된 합성수지침목 검토                  |                                                               |                                      |                           |    |
|               | 무도상 교량 시공관련 자료조사                       | 무도상 교량 시공관련 자료조사               | -                                                             | 무도상 교량 시공관련 자료조사                     | 무도상 교량 시공관련 자료조사 여부       | 10 |
|               | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발방향 설정                | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발방향 설정        | -                                                             | 시공성향상을 위한 부대장비 개발방향 설정               | 시공성향상을 위한 부대장비 개발방향 설정 여부 | 10 |
|               | 국내외 무도상 교량의 내구연한 및 문제점 분석              | 무도상 교량의 생애주기 분석을 위한 기초자료 수집    | -                                                             | -                                    | -                         | 10 |
|               |                                        | 가치평가를 위한 기존선 무도상 교량의 문제점 파악    | -                                                             | -                                    | -                         | 10 |
| 2년차<br>(2018) | 침목-거더(교량) 고정장치 초도 상세설계                 | 상세설계 및 구조해석                    | KRCS A23-06 T볼트, StahlBrückenSchwelle (독일)                    | 종·횡저항력 40N/m/track 이상, 한계변위 2.0mm 이하 | KR C-08080 콘크리트궤도 성능      | 5  |
|               |                                        | 시제품 제작                         |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               | 침목-거더(교량) 고정장치 성능평가 및 보완               | 품질 및 성능시험                      |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               |                                        | 보완설계 및 제작                      |                                                               |                                      |                           | 10 |
|               | 침목-탄성받침 제조를 위한 부대설비 선정, 성능평가 및 보완      | 제품 설계 및 설비공법 검토                | -                                                             | KRCS A010 06 방진재(저진동 궤도용)            | 역학적 성능 (침목상자 규격 준용)       | 5  |
|               | 합성수지침목 성능평가 및 시제품 상세설계                 | 성능평가를 통한 내구성 및 제진 등 특성 파악      | KRS TR 0007-15(R), KRSA-T-2017-1003-FD, ISO-12856, JIS E 1203 | ISO-12856 (TypeA), JIS E 1203        | 교량용 합성수지침목                | 5  |
|               |                                        | 합성수지침목 제조 방법 검토 및 기준 설정        |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               |                                        | 성능평가를 통한 개발제품 문제점 분석 및 개선사항 도출 |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               |                                        | 시제품 상세 설계                      |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발                     | 무도상 교량 시공관련 자료조사               | -                                                             | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발                   | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발 여부     | 10 |
|               | 시험시공 계획 수립                             | 시공성향상을 위한 부대장비 개발방향 설정         | -                                                             | 시험시공 계획 수립                           | 시험시공 계획 수립 여부             | 15 |
|               | 무도상 교량 장대레일 개발부품단가의 적정성분석 및 3D 모델링     | 유도상화 공법별 경제성 분석                | -                                                             | -                                    | -                         | 10 |
|               |                                        | 무도상 교량 장대레일 개발부품의 원가산정         | StahlBrückenSchwelle (독일)                                     | 100%                                 | 독일제품가격대비 경쟁력              | 10 |
|               |                                        | 무도상 교량 장대레일 개발부품의 3D 모델링       | -                                                             | -                                    | -                         | 5  |
| 3년차<br>(2019) | 목침목-거더(교량) 고정장치 부대장비 상세설계 및 제품 생산계획 수립 | Mock-up 제작                     | KRCS A23-06 T볼트, StahlBrückenSchwelle (독일)                    | 종·횡저항력 40N/m/track 이상, 한계변위 2.0mm 이하 | KR C-08080 콘크리트궤도 성능      | 5  |
|               |                                        | 내구성 시험                         |                                                               |                                      |                           | 10 |
|               |                                        | 시험부설용 제품 시험 생산                 |                                                               |                                      |                           | 10 |
|               | 탄성받침 및 복합소재 침목 상세설계                    | 보완설계 및 성능시험                    | -                                                             | KRS TR 0014-18R (60±20KN/mm)         | 동적수직강성시험, 경사반복시험시험 200만회  | 5  |
|               |                                        | 시험부설용 제품 시험 생산                 |                                                               |                                      |                           | 5  |
|               | 교량 침목을 대체할 친환경 합성수지침목 상세설계 및 제작        | 품질 및 성능시험                      | ISO-12856, EN-17318                                           | ISO-12856 (TypeA)                    | 내 피로성 200만회               | 10 |
|               |                                        | 보완설계 및 개선품 제작                  |                                                               |                                      |                           | 10 |
|               | 시공성 향상을 위한 부대장비 성능평가                   | 시공성 향상을 위한 부대장비 개발             | -                                                             | 시공성향상을 위한 부대장비                       | 시공성향상을 위한 부대장비 성능평가       | 15 |

|                    |                                       |                                        |                                                               |                  |                          |    |
|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|----|
|                    |                                       | 시공성 향상을 위한 부대장비 성능평가                   | -                                                             | 성능평가             | 여부                       |    |
|                    | 시공 시방서 작성                             | 무도상교량 레일장대화 시공지침서(안) 작성                |                                                               | 시공 시방서 작성        | 시공 시방서 작성 여부             | 10 |
|                    |                                       | Test-bed 시공공정 작성 (최적 시공고정 개선)          |                                                               |                  |                          |    |
|                    | 무도상 교량 장대레일 개발제품 가치평가기준 및 시공장비 3D 모델링 | 개발공법의 경제성 분석을 위한 기초자료 조사               | -                                                             | -                | -                        | 10 |
|                    |                                       | 무도상 교량 장대레일 개발제품의 3D 모델링 및 시공 영상제작     | -                                                             | -                | -                        | 10 |
| 4년차<br>(2020-2021) | 목침목-거더(교량) 고정장치 양산 및 현장부설             | 설계도면                                   | KRCS A23-06 T볼트, StahlBrückenSchwelle (독일)                    | 철도시설 성능검증        | 철도시설 성능검증 인증 여부          | 5  |
|                    |                                       | 시방서 및 자재사양서                            |                                                               |                  |                          | 10 |
|                    |                                       | 유지보수 매뉴얼                               |                                                               |                  |                          | 5  |
|                    | 탄성받침 현장부설을 통한 성능/품질 평가 및 사용화 기반 구축    | 현장부설 개발제품에 대한 시방서 및 자재사양서              | -                                                             | 철도시설 성능검증        | 철도시설 성능검증 인증 여부          | 5  |
|                    |                                       | 현장부설 모니터링을 통한 성능/품질평가                  |                                                               |                  |                          | 10 |
|                    |                                       | 유지보수 매뉴얼                               |                                                               |                  |                          | 5  |
|                    | 교량침목을 대체할 친환경 합성수지침목 양산 및 현장부설        | 현장 시험시공을 위 설계도 및 시방서 작성                | KRS TR 0007-15(R), KRSA-T-2017-1003-RD, ISO-12856, JIS E 1203 | 철도시설 성능검증        | 철도시설 성능검증 인증 여부          | 4  |
|                    |                                       | 현장부설 개발제품에 대한 시방서 및 자재사양서              |                                                               |                  |                          | 3  |
|                    |                                       | 유지보수 매뉴얼                               |                                                               |                  |                          | 3  |
|                    | TEST BED 시험시공                         | TEST BED 시험시공                          |                                                               | TEST BED 시험시공    | 철도시설 성능검증 통과 여부          | 15 |
|                    |                                       | 무도상교량 레일장대화 시공지침서(안) 개선                |                                                               |                  |                          |    |
|                    | 부대장비 유지보수 매뉴얼 작성                      | 부대장비 유지보수 매뉴얼 작성                       |                                                               | 부대장비 유지보수 매뉴얼 작성 | 부대장비 유지보수 매뉴얼 작성 여부      | 10 |
|                    | 무도상 교량 레일 장대화 개발공법의 경제성분석 및 사업화 전략제시  | 개발공법 적용을 위한 테스트베드 구간 공사비 산출            | 유도상화 공법 (대한민국)                                                | 100%             | 유도상화 공법 m당 공사비 대비        | 5  |
|                    |                                       | 개발공법의 시나리오별 생애주기비용(LCC)산출              | 기존공법, 유도상화 공법 (대한민국)                                          | 100%             | 기존공법과 유도상화 공법 km당 생애주기비용 | 10 |
|                    |                                       | 국내외 유사공법과 비교를 통한 사업화 전략제시              | -                                                             | -                | -                        | 5  |
|                    |                                       | 무도상 교량 장대 레일화 개발공법의 시제품 제작 및 시공 동영상 제작 | -                                                             | -                | -                        | 5  |

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 1) 연구개발 추진전략 및 방법

- 1세부



<연구흐름도>

○ 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 개발

- 교량 또는 유사구조물에 대한 기존 연구 결과 분석을 통한 최신 기술 적용
- 기존 무도상교량 현황 조사 및 분류를 통한 대표성 있는 기법 개발
- 무도상교량에 대한 성능평가 관련 국내외 자료 분석을 통한 맞춤형 알고리즘 개발
- 상시계측을 통한 동적응답을 이용하는 기법 개발을 통하여 적용성 높은 기법 개발
- 실제 교량에서 측정된 응답을 이용하여 적용성 검증
- Testbed 모니터링 결과를 이용한 기법 보완

○ 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서 개발

- 안전성평가를 위한 기존 국내외 점검 및 진단 기법에 대한 검토를 통하여 최적 기법 도출
- 기존 무도상 교량 연구결과를 활용한 절차서 개발
- 무도상교량의 손상 사례 및 특성을 고려한 체크리스트 개발
- 횡방향 강성이 상대적으로 낮은 판형교의 특성을 고려한 안전성평가 절차서 개발
- 공용년수가 길고 설계 및 건설관련 정보가 대부분 없는 국내 무도상교량의 특성을 고려하여 비파괴적이고 경제적으로 교량의 안전성을 평가할 수 있는 기법 개발
- 장대레일 시공 이후 기초의 안전성을 검토할 수 있는 기법 개발
- 2세부 개발 장치 현장 부설 및 모니터링 결과를 활용한 절차서 보완

○ 무도상 교량 보수보강 매뉴얼

- 교량 또는 유사구조물에 대한 기존 연구 결과 분석을 통한 최신 보수보강 기술 적용
- 무도상교량의 손상 및 구조적 특성을 고려한 보수보강 기술 개발
- 횡방향 강성이 상대적으로 낮은 판형교의 특성을 고려한 횡방향 강성 보강 기술 개발
- 장대레일 시공 이후 기초의 안전성을 확보할 수 있는 기법 개발
- Testbed 교량에 적용을 통한 기법 보완
- 2세부에서 개발되는 장대레일화 장치별 체크리스트와 연계한 궤도-교량 시스템의 취약부 도출 및 보수보강 방법 검토
- 보수보강 방법에 따른 장대레일 궤도-교량 시스템 구조안정성 검토

---

- 무도상 교량 안전성평가 체크리스트와 연계한 보수보강 매뉴얼 개발

○ 무도상교량 종방향 상호작용 해석기술

- 기존 국내외 무도상교량 레일장대화 기법 검토를 통한 상호작용 고려사항 도출
- 무도상교량 레일장대화에 요구되는 기술요건 검토를 통한 해석의 정밀도 제고
- 무도상교량에 적용 가능한 해석 기법 및 허용응력 제시
- 비선형 수치해석을 통한 접속부 요구강성 및 설계방안 제시
- 무도상교량 장대레일 설계철학에 따른 요구성능 도출
- 판형교 및 트러스교에 대한 횡방향 한계변위 제시
- 동적안정성 검토를 통하여 증속 가능성 검토 및 적정 통과 속도 제시
- Testbed 교량 모니터링 결과를 이용한 기준/가이드라인 검토 및 2세부 개발품에 대한 성능요건에 반영
- 설계 실무자 자문을 통한 설계기준 및 가이드라인 보완
- 철도시설공단 지속 협의 및 KR Code 반영

○ 무도상교량 장대레일 설계기술

- 무도상교량의 특성을 고려한 1방향 수치해석 기법 개발
- 레일장대화에 따른 궤도-교량 상호작용(TBI) 고려 기법 검토 및 최적기법 제시
- 무도상교량 특성 및 2세부 개발품 적용에 따른 궤도-교량 상호작용 고려 설계 방안 제시
- 무도상교량 특성 및 2세부 개발품 적용에 따른 단부사용성 검토 방안 제시
- Testbed 교량 모니터링 결과를 이용한 상호작용 및 단부사용성 해석 결과 보완
- Testbed 교량 모니터링 결과를 이용한 교량 성능 검증

○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 기술

- TBI에 따른 과도한 궤도축력 발생이 예상되는 트러스교 등 장경간, 장연장 무도상교량에 적용할 수 있는 궤광시스템 기술 개발
- 기존 무도상교량에 용이하게 적용할 수 있는 미끄럼허용 장치 개발
- 해석, 설계 및 성능평가가 가능한 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 개발
- 축소모형을 이용하여 레일 종방향 미끄럼허용 궤광시스템의 Testbed 시험 수행

○ 무도상교량 장대레일 시험 기술

- 무도상교량의 구조적 특성을 고려하여 장대레일 설치 시 요구되는 궤도저항력을 측정할 수 있는 시험 기술 개발
- 경량화를 통하여 이동성 및 휴대성이 높은 시험장비 개발
- 실내 실험을 통하여 시험장비의 적절성 검증
- 유지관리 매뉴얼 개발을 통하여 안정적인 시험장비 사용 환경 조성
- 2세부 개발품과의 간섭 요건 검토를 통하여 시험장비의 적용성 제고
- 유지보수 실무자 자문을 통한 시험장비 보완
- Testbed 교량 시험적용을 통한 활용성 검증

○ 시험시공 구간 사전 검토

- 2세부 개발품의 성능검증 최적지 검토 (접근성, 시공성, 교섭가능성 등 고려)
  - 무도상교량 안전성 평가 체크리스트, 절차서 및 보수보강매뉴얼에 따른 시험시공 교량의 안전성 검토
  - 도심지 판형교 우선 검토로 2세부 개발품 적용에 따른 효과 제고
-

---

○ 성능시험

- 합성수지침목, 탄성받침 및 침목고정장치에 대한 국가철도공단 성능검증 추진
  - 보완 해석 및 시험 수행을 통하여 신속한 성능검증 완료 추진
  - 시험시공 전/후 계측을 통하여 개발된 기술 적용 시 궤도 및 교량의 상태를 비교하여 개발품의 효과 검증
  - 시험시공 전/후 계측을 통하여 개발기술을 검증하고, 데이터는 무도상교량 레일장대화 설계기준의 타당성 확보에 활용
-

## • 2세부

- 기존 무도상 교량의 레일 장대화로 발생하는 궤도 종저항력의 변화 및 레일축력을 부담할 수 있는 침목-거더(교량) 고정장치 개발
  - 1세부에서 제시한 기술적 성능 요건 및 현장 적용성을 만족하는 침목-거더(교량) 고정장치 개발
  - 개발품에 대한 해석 및 시험품 성능시험 등을 통한 보완 과정을 통해 요구성능 및 현장 적용성을 향상시키고, 기존의 침목-거더 체결장치가 사용연도가 지남에 따라 성능이 급격하게 저하되었던 점을 고려하여 장기 내구수명을 갖도록 구성품을 개발하고, 실규모 mockup을 제작하여 이에 대해 피로시험을 통한 장기내구성을 확인 및 검증
  - 현장 시험부설을 통해 장치의 현장조건을 수용할 수 있도록 개선 방안도출 및 유지보수 매뉴얼을 보완하여 장치의 내구성 및 유지보수 방안을 마련함
  - 철도시설공단 성능검증을 위한 해당기술 기술적합성 검토자료 작성 및 이에 요구되는 공인성적서 확보를 통한 과제 기간내 국가철도공단이 주관하는 철도성능검증이 완료되도록 함
- 충격완화 탄성 받침 개발
  - 1세부에서 제시한 기술적 성능 요건 및 현장 적용성을 만족하는 탄성받침 개발
  - 개발품에 대한 설계 및 시험품 성능시험 등을 통한 물성보완 과정을 통해 요구성능 및 현장 적용성을 향상시키고, 기존의 탄성받침과 차별화된 고사양의 물성을 요구하는 탄성받침을 개발하고, 시제품을 제작하여 이에 대해 철도규격에서 규정하는 시험과 자체관리시험항목인 정적수직강성시험을 통해 철도규격을 만족하는 물성 확인 및 검증
  - 현장 시험부설을 통해 탄성받침이 현장조건을 수용할 수 있도록 개선 방안도출 및 유지보수 매뉴얼을 보완하여 장치의 내구성 및 유지보수 방안을 마련함
  - 철도시설공단 성능검증을 위한 해당기술 기술적합성 검토자료 작성 및 이에 요구되는 공인성적서 확보를 통한 과제 기간내 국가철도공단이 주관하는 철도성능검증이 완료되도록 함
- 기존 목침목 대체용 환경친화적 합성수지침목 개발
  - 기존 무도상 교량에 사용 중인 목침목은 열차 진동과 체결장치의 풀림 등으로 체결스파이크 홀 확장, 할렬 등에 취약하며, 레일 장대화에 따른 추가적인 하중에 손상이 심화될 수 있음. 또한 지속적으로 환경 문제에 저촉되어 사회적 이슈가 되고 있어 대응 방안 필요
  - 합성침목의 역학적 성능목표는 기존 교량용 목침목 뿐 아니라 ISO 12856-1에 제시된 교량용 침목에 대한 Type A 수준을 만족하도록 개발
  - 연구개발품의 성과 활용성 극대화 위해 일반 및 분기용 목침목을 대체할 수 있는 합성침목 병행개발
  - 합성침목의 수명향상 및 사용성 증대를 위한 침목보수재 개발
  - 개발품에 대한 해석 및 시험품 성능시험 등을 통한 보완 과정을 통해 요구성능 및 현장 적용성을 향상시키고, 국내에 적용된 사례가 없는 목침목 대체용 친환경 침목이라는 점을 고려하여 기존의 목침목의 성능을 능가하는 성능을 갖도록 합성수지 침목을 개발하고, 시제품을 제작하여 이에 대해 철도규격에서 요구하는 성능시험을 통한 물성의 확인 및 검증
- 무도상교량 레일장대화 Test-bed 시험시공 및 공정최적화
  - 실시 현황측량보고서를 토대로 Test-bed에 최적화된 시공공정 개선
  - 레일 장대화 중요 제품이 운행중인 교량에서 이루어짐에 따라 열차 운행에 지장을 주지 않도록 차단시간 내에 작업이 완료되어야 하기 때문에 시간적 제한이 있음
  - 교량 상부에서 대부분의 작업이 진행되어 작업시간이 상대적으로 많이 소요됨에 따라서 시공성을 향상하여 정밀한 시공이 짧은 시간 내에 이루어질 수 있도록 하는 부대 장비 개발이 필요함. 이를 위하여 레일 장대화에 필요한 레일의 정렬, 고정, 설치 및 침목의 교환과 같은 기본적인 작업에 도움을 줄 수 있는 부대 장비의 개발을 병행함. 부대 장비는 1차적으로 고정장치 개발 후 작업의 순서와 시공성, 여건 등을 고려하고, 유지보수 및 관리인력의 의견을 수렴하여 실제 활용 시 문제가 없도록 개발함.
- 시공성 향상을 위한 부대장비 개발 및 성능평가
  - 레일 장대화 중요 제품이 운행중인 교량에서 이루어짐에 따라 열차 운행에 지장을 주지 않도록 차단시간 내에 작업이 완료되어야 하기 때문에 시간적 제한이 있음. 또한 교량 상부에서 대부분의 작업이 진행되어

---

작업시간이 상대적으로 많이 소요됨. 따라서 시공성을 향상하여 정밀한 시공이 짧은 시간 내에 이루어질 수 있도록 하는 부대 장비 개발이 필요함. 이를 위하여 레일 장대화에 필요한 레일의 정렬, 고정, 설치 및 침목의 교환과 같은 기본적인 작업에 도움을 줄 수 있는 부대 장비의 개발을 병행함. 부대 장비는 1차적으로 고정장치 개발 후 작업의 순서와 시공성, 여건 등을 고려하고, 유지보수 및 관리인력의 의견을 수렴하여 실제 활용 시 문제가 없도록 개발함.

○ 개발공법 경제성 분석 및 사업화

- 개발품의 객관적인 가격경쟁력 확보와 테스트베드 시범적용에 따른 생애주기 경제성 분석을 통하여 국내외 무도상 교량 개량 사업화 전략을 수립하는데 참고 자료로 활용하고자 함
  - 개발품의 BIM 모델링 제작으로 제품제작, 시공, 유지관리 단계 시 정보의 연계성 확보 및 개발품 제작, 시공의 3D 영상으로 사전 이해도 향상과 시공 후 안정대책을 마련하도록 함
- 

## 2) 연구개발 추진체계

- 1세부

| 연구개발과제 |                                   | 총 참여 연구원                            |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 과제명    | 무도상 교량 장대레일화 설계 핵심기술 및 보수보강매뉴얼 개발 | 주관연구책임자<br>(한국교통대학교)<br>(최상현)외 51 명 |

| 기관별 참여 현황 |     |     |       |
|-----------|-----|-----|-------|
| 구 분       | 기관수 | 인원수 | 총인원 수 |
| 산 업 계     | 2   | 17  | 52    |
| 대 학       | 4   | 35  |       |
| 국공립(연)    |     |     |       |
| 출 연 (연)   |     |     |       |
| 기 타       |     |     |       |

| 주 관 연 구 기 관                                                                                                                                                                                                                             |                                     | 공 동 연 구 기 관                                                                                                                                                               |                        | 공 동 연 구 기 관                                                                                                                                                                                                 |                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 한국교통대학교                                                                                                                                                                                                                                 |                                     | 충남대학교                                                                                                                                                                     |                        | 인하대학교                                                                                                                                                                                                       |                                             |
| 주관연구책임자<br>(최상현)외 12 명                                                                                                                                                                                                                  |                                     | 공동연구책임자<br>(임남형)외 6 명                                                                                                                                                     |                        | 공동연구책임자<br>(신수봉)외 9 명                                                                                                                                                                                       |                                             |
| 과제명                                                                                                                                                                                                                                     | 무도상교량 장대레일화를 위한 기준 개발 및 시험시공구간 성능평가 | 과제명                                                                                                                                                                       | 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광시스템 개발 | 과제명                                                                                                                                                                                                         | 레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 보수보강 매뉴얼 개발 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>무도상교량 레일장대화를 위한 기법 및 기술요건 정립</li> <li>무도상교량 레일장대화를 위한 장치 성능요건 도출 및 상호작용 실험 지원</li> <li>무도상교량 장대레일 기준[안] 및 설계가이드라인 개발 (KR Code)</li> <li>무도상교량 시험시공구간 선정, 검토 및 관리</li> <li>시험시공구간 성능평가</li> </ul> |                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 기술요건 정립</li> <li>레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템용 침목/장치의 성능요건 도출</li> <li>레일 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 시스템 성능 평가</li> </ul> |                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>무도상교량 안전성평가 알고리즘 개발 및 검증</li> <li>레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 개발</li> <li>레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 절차서 개발</li> <li>무도상 교량 안전성평가 체크리스트와 연계한 보수보강 매뉴얼 개발</li> </ul> |                                             |

| 공 동 연 구 기 관                                                                                                                                                                                                                  |                                       | 공 동 연 구 기 관                                                                                                                                                                                 |                     | 위 탁 연 구 기 관                                                                                                                                                                         |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 서현기술단                                                                                                                                                                                                                        |                                       | 에이베스트                                                                                                                                                                                       |                     | 강원대학교                                                                                                                                                                               |                    |
| 공동연구책임자<br>(박성현)외 12 명                                                                                                                                                                                                       |                                       | 공동연구책임자<br>(김경호)외 3 명                                                                                                                                                                       |                     | 위탁연구책임자<br>(문지호)외 3 명                                                                                                                                                               |                    |
| 과제명                                                                                                                                                                                                                          | 무도상교량 장대레일화에 따른 궤도-교량상호작용 해석 및 설계기술개발 | 과제명                                                                                                                                                                                         | 궤도-교량 상호작용 시험 기법 개발 | 과제명                                                                                                                                                                                 | 무도상교량 궤도좌굴 해석기법 개발 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>무도상교량 레일장대화를 위한 요구조건 및 해석기법 분석</li> <li>무도상교량 궤도-교량 상호작용 및 단부사용성 해석</li> <li>Testbed 시험부설을 위한 궤도 분야 상세설계 및 궤도-교량 상호작용/단부사용성 해석</li> <li>Testbed 시험부설 후 궤도-교량 상호작용/단부사용성 해석</li> </ul> |                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>무도상교량 레일장대화를 위한 요구조건 및 시험기법 분석</li> <li>무도상교량 궤도-교량 종방향 및 횡방향 실험 방안 수립</li> <li>Testbed 장기 모니터링 구축</li> <li>무도상교량 장대레일 시험기준 및 현장유지관리기준 작성</li> </ul> |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 무도상교량에 대한 궤도 좌굴 지배인자 도출</li> <li>횡방향 및 종방향 특성을 고려한 좌굴해석기법 개발</li> <li>Testbed 구간 좌굴해석 및 안정성 평가</li> <li>성능평가 결과를 이용한 좌굴해석기법 검토</li> </ul> |                    |

|      |                    |
|------|--------------------|
| 참여기업 | (주)서현기술단, (주)에이베스트 |
|------|--------------------|

• 2세부

| 연구개발과제    |                                           |     |       | 총 참여 연구원                           |  |
|-----------|-------------------------------------------|-----|-------|------------------------------------|--|
| 과제명       | 기존 궤도구조를 활용한 레일 장대화 장치 개발 및 시험시공을 통한 성능검증 |     |       | 협동연구책임자<br>(한국철도공사)<br>(백인철)외 69 명 |  |
| 기관별 참여 현황 |                                           |     |       |                                    |  |
| 구분        | 기관수                                       | 인원수 | 총인원 수 |                                    |  |
| 산업계       | 6                                         | 70  | 70    |                                    |  |
| 대학        |                                           |     |       |                                    |  |
| 국공립(연)    |                                           |     |       |                                    |  |
| 출연(연)     |                                           |     |       |                                    |  |
| 기타        |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |
|           |                                           |     |       |                                    |  |

### 3) 연구개발 추진일정

- 1세부

[illegible]

[illegible]

[illegible]

| 연차                           | 연구목표                           | 연구내용                                     | 추진일정(개월) |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 연구비<br>(천원) | 비중<br>(%) |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---------|-------------|-----------|
|                              |                                |                                          | 2        | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24      |             |           |
| 4차년도<br>(24개월)               | 무도상 교량<br>안전성평가<br>체크리스트 및 절차서 | 무도상 교량 안전성평가<br>체크리스트 보완 및 완성            |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 25,000      | 5         |
|                              |                                | 무도상 교량 안전성평가<br>절차서 보완 및 완성              |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 25,000      | 10        |
|                              | 무도상교량 보수보강<br>매뉴얼              | 무도상 교량 보강매뉴얼                             |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 50,000      | 10        |
|                              | 무도상교량 종방향<br>상호작용 해석기술         | 무도상교량 장대레일 기준<br>검토                      |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 160,000     | 5         |
|                              | 무도상 교량 장대레일<br>설계기술            | Testbed 계측결과를 반영한<br>궤도-교량 종방향<br>상호작용해석 |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 50,126      | 5         |
|                              |                                | Testbed 계측결과를 반영한<br>단부 사용성 해석           |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 50,126      | 5         |
|                              |                                | Testbed 현장계측결과를<br>이용한 성능검증              |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 150,381     | 15        |
|                              | 종방향 미끄럼허용<br>궤광시스템 기술          | 종방향 미끄럼허용<br>궤광시스템 적용을 위한<br>교량평가        |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 100,000     | 10        |
|                              | 무도상교량 장대레일<br>시험기술             | 운영중인 노선에 대한 시험<br>기술 현장 적용               |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 141,500     | 5         |
|                              |                                | 무도상 교량 장대레일화<br>시험기준(안)                  |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 30,000      | 5         |
| 무도상 교량 장대레일화 현장<br>유지관리기준(안) |                                |                                          |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 30,000  | 5           |           |
| 성능시험                         | 성능시험 결과보고서                     |                                          |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 150,000 | 20          |           |
| 소계                           |                                |                                          |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |         | 962,133     | 100       |

- 2세부

| 연차            | 연구목표                         | 연구내용                           | 추진일정(개월) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 연구비<br>(백만원) | 비중<br>(%) |     |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--------------|-----------|-----|
|               |                              |                                | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |              |           |     |
| 1차년도<br>(3개월) | 무도상교량 장대레일 시험기술              | 계획수립 및 무도상교량 자료조사              |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 20        | 5   |
|               |                              | 무도상교량 체결장치 및 탄성받침 현장 요구사항 분석   |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 40        | 10  |
|               |                              | 합성침목 국외 개발현황 분석                |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 20        | 5   |
|               | 침목-거더(교량) 고정장치 기술요건 정립       | 목침목 고정장치 기술조사                  |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 96        | 10  |
|               |                              | 국내외 유사 기술 개발현황 및 문제점 분석        |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 96        | 10  |
|               | 합성수지 침목 및 탄성받침 제조기술 분석       | 기술조사                           |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 45        | 5   |
|               |                              | 국내외 유사 기술 개발현황 및 문제점 분석        |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 90        | 10  |
|               | 합성수지침목 주요 기술 동향 분석 및 개발방향 정립 | 계획수립 및 합성수지침목 및 탄성받침 자료조사 및 검토 |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 64        | 5   |
|               |                              | 합성수지침목의 개발목표 검토 및 정립           |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 64        | 5   |
|               |                              | 탄성받침의 개발목표 검토 및 정립             |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 45        | 5   |
|               | 기존 무도상교량 자료조사 및 분석           | 기존 무도상 교량 자료조사                 |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 32        | 5   |
|               |                              | 국내외 기술 동향조사                    |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 32        | 5   |
|               | 시공 부대장비 개발                   | 시공성 향상을 위한 부대장비 기본 설계          |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 64        | 10  |
|               | 국내외 무도상 교량의 내구연한 및 문제점 분석    | 무도상 교량의 생애주기 분석을 위한 기초자료 수집    |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 12        | 5   |
|               |                              | 가치평가를 위한 기존선 무도상 교량의 문제점 파악    |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 13        | 5   |
|               | 소계                           |                                |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 733       | 100 |

| 연차                                           | 연구목표                                    | 연구내용                              | 추진일정(개월) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 연구비<br>(백만원) | 비중<br>(%) |   |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--------------|-----------|---|
|                                              |                                         |                                   | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |              |           |   |
| 2차년도<br>(10개월)                               | 무도상교량<br>장대레일화 개발품<br>기능평가              | 고정장치, 탄성받침<br>성능/품질 시험기준 수립       | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |              | 25        | 5 |
|                                              |                                         | 무도상교량 목침목 현황 조사                   | ■        | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 17.5      | 3 |
|                                              |                                         | 무도상교량 합성침목<br>요구조건 제시             | ■        | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 25        | 5 |
|                                              |                                         | 고정장치, 탄성받침, 합성침목<br>성능/품질 시험 지원   |          |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |              | 25        | 5 |
|                                              |                                         | 시공성 향상을 위한 부대장비<br>발굴 지원          | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |              | 17.5      | 3 |
|                                              | 침목-거더(교량)<br>고정장치 초도<br>상세설계            | 고정장치 초도설계                         | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |              | 79        | 3 |
|                                              |                                         | 시제품 제작 및 성능시험                     | ■        | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 82        | 5 |
|                                              | 침목-거더(교량)<br>고정장치 성능평가 및<br>보완          | 고정장치 상세설계                         | ■        | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 82        | 5 |
|                                              |                                         | 시제품 제작 및 성능시험                     |          |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |              | 82        | 5 |
|                                              | 침목-탄성받침 제조를<br>위한 부대설비 선정,<br>성능평가 및 보완 | 제품 설계 및 설비<br>공법 검토               |          |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |              | 124       | 3 |
|                                              |                                         | 설비별, 공법별<br>시제품 제작                |          |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |              | 140       | 5 |
|                                              |                                         | 성능시험 및 보완                         |          |   |   |   |   |   |   |   | ■ | ■  |    |    |              | 140       | 5 |
|                                              | 탄성받침 및<br>합성수지침목<br>성능평가 및 시제품<br>상세설계  | 성능평가를 통한 내구성 및<br>제진 등 특성 파악      | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |              | 87        | 3 |
|                                              |                                         | 탄성받침 및 합성수지침목<br>제조 방법 검토 및 기준 설정 | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |    |    |    |              | 110       | 5 |
|                                              |                                         | 성능평가를 통한 개발제품<br>문제점 분석 및 개선사항 도출 |          |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |              | 110       | 5 |
|                                              |                                         | 시제품 상세 설계                         |          |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |              | 110       | 5 |
|                                              | 자료조사 및 분석                               | 기존 무도상 교량 자료조사                    | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |              | 50        | 3 |
|                                              | 시공 부대장비 개발                              | 시공성 향상을 위한 부대장비<br>제작             | ■        | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |              | 103       | 5 |
|                                              | 시공기술 개발                                 | 무도상교량 레일 장대화<br>시공지침서(안) 계획수립     | ■        | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  |    |              | 50        | 3 |
|                                              |                                         | 시험시공 대상 개소 선정 및<br>계획 수립(궤도 기본설계) |          |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■  |    |    |              | 70        | 5 |
| 무도상 교량 장대레일<br>개발부품단가의<br>적정성분석 및 BIM<br>모델링 | 유도상화 공법 분석 및 각<br>세부별 계발계획 협의           | ■                                 | ■        | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 17           | 3         |   |
|                                              | 무도상레일의 개발단가 산정                          |                                   |          |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |    |    |    | 17           | 3         |   |
|                                              | 개발 부품별 BIM모델링 작성                        |                                   |          |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    | 20           | 5         |   |
|                                              | 개발 무도상레일 개발단가의<br>경제성 분석                |                                   |          |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■  | ■  |    | 17           | 3         |   |
|                                              | 소계                                      |                                   |          |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 1,600        | 100       |   |

[illegible]

| 연차                                | 연구목표                                                | 연구내용                                | 추진일정(개월) |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 연구비<br>(백만원) | 비중<br>(%) |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------|-----------|
|                                   |                                                     |                                     | 2        | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |              |           |
| 4차년도<br>(24개월)                    | 무도상교량 장대레일화<br>성능평가                                 | Test bed 구축 및 유지관리                  |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 60           | 10        |
|                                   |                                                     | 계측 유지관리 지원                          |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 5         |
|                                   |                                                     | 현장적용 성능평가 및 개선                      |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 5         |
|                                   | 목침목-거더(교량)<br>고정장치 성능/품질 평가<br>및 상용화 기반 구축          | 시험부설 관리도서 작성<br>(시방서, 자재사양서 등)      |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 40           | 3         |
|                                   |                                                     | 시험부설 시스템 모니터링기법 제시                  |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 40           | 3         |
|                                   |                                                     | 모니터링 결과 분석 및<br>성능/품질 평가            |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 40           | 3         |
|                                   |                                                     | 개발품 성능보완 및 교체시공                     |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 204          | 3         |
|                                   |                                                     | 제작 기술 최적화                           |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 40           | 3         |
|                                   | 교량침목을 대체 할<br>친환경 합성수지침목<br>성능/품질 평가 및<br>상용화 기반 구축 | 제품제조공정확정<br>(시방서, 자재사양서 등)          |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 225          | 3         |
|                                   |                                                     | 시험부설 제품 생산<br>(침목, 받침)              |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 600          | 3         |
|                                   |                                                     | 성능/품질 평가                            |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 225          | 3         |
|                                   |                                                     | 개발품 성능보완 및 추가<br>생산                 |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 225          | 3         |
|                                   |                                                     | 제작기술 최적화                            |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 225          | 3         |
|                                   | 탄성받침 현장부설을 통한<br>성능/품질 평가 및 상용화<br>기반 구축            | 현장부설 개발품에 대한<br>시방서 및 자재사양서 작성      |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 3         |
|                                   |                                                     | 시험시공용 탄성받침 제작 및 보완                  |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 135          | 3         |
|                                   |                                                     | 유지보수 매뉴얼 마련                         |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 3         |
|                                   |                                                     | 현장부설 모니터링을 통한<br>성능/품질평가            |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 3         |
|                                   | TEST BED 시험시공 및<br>부대장비 상용화 기반<br>구축                | TEST BED 시험시공                       |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 265          | 15        |
|                                   |                                                     | 부대장비 개선 및 성능평가                      |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 90           | 3         |
|                                   | 무도상 교량 레일<br>장대화 개발공법의<br>경제성 분석 및<br>사업화 전략제시      | 무도상 교량 장대레일화를 위한<br>테스트베드 구간 공사비 산출 |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 30           | 5         |
| 개발공법을 포함한 시나리오<br>별 생애주기비용(LCC)산출 |                                                     |                                     |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 30 | 5            |           |
| 국내외 유사공법과 비교를<br>통한 사업화 전략제시      |                                                     |                                     |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 28 | 5            |           |
| 제작 및 시공 동영상 제작                    |                                                     |                                     |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    | 30 | 5            |           |
| 소계                                |                                                     |                                     |          |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 2,682        | 100       |

#### 4) 연구 내용

##### • 1세부

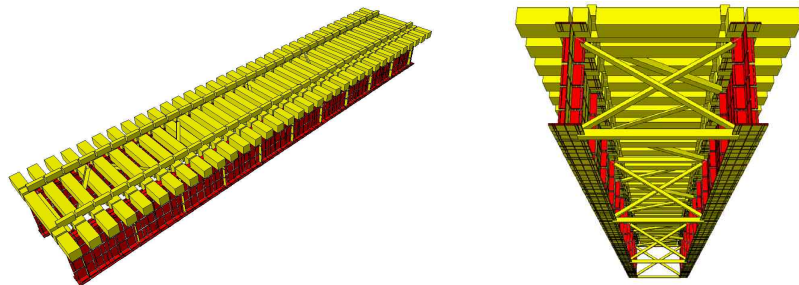
##### (1) 무도상교량 안전성평가 알고리즘 (핵심성과 A, A-1)

###### (1) 1차년도

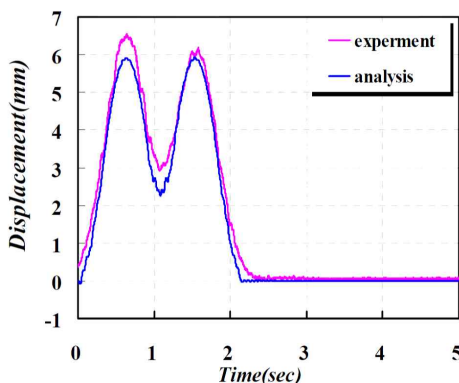
- 무도상 교량의 레일 장대화를 위한 교량의 성능평가 자료 조사 및 분석
  - 문헌조사시 무도상 교량에 한정하여 자료를 조사하는 데에는 한계가 있기 때문에 대상 교량을 철도교량 및 도로교량으로 확대하여 자료조사를 수행하였음
  - 국내 철도교량의 성능평가는 기본적으로 한국시설안전공단의 교량시설물 정밀안전진단지침서에 있는 내용을 기초로 하며, 기존의 안전성 이외에 내구성과 서비스성을 추가하여 종합적인 평가등급을 산정하도록 제시
  - 도로교 성능평가는 신뢰도기반 성능평가 지침이 한국도로공사에 의해 제시되면서 현재 한국시설안전공단의 지침에 준해 수행하는 성능평가가 점차적으로 선진국에서 적용하고 있는 신뢰도기반 성능평가로 옮겨가고 있는 추세
  - 유럽의 COWI에서 제공한 신뢰도기반 성능평가가 가이드라인은 유럽에서 처음으로 제시한 철도교의 신뢰도기반 평가기법을 적용하여 평가절차, 안전성능, 사용수명, 한계상태에 대한 요구조건 등을 정리하여 명시
  - 무도상 교량의 레일 장대화의 사례는 국내외적으로 많이 존재하고 있지 않았음. 따라서 기존의 용접된 장대레일에 대한 거동 연구를 포함하여 장대레일의 구조안전성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단

###### (2) 2차년도

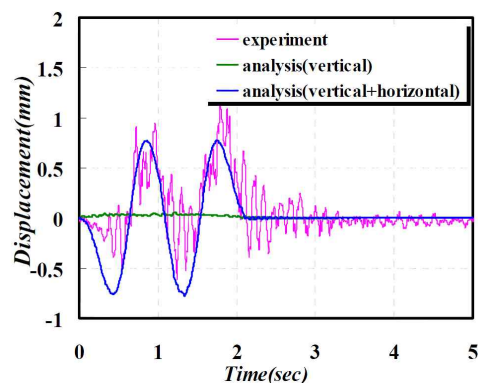
- 무도상 교량(트러스교/판형교) 안전성평가 알고리즘 개발
  - 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 개발
  - 무도상 교량(트러스교/판형교) 해석모델 업데이트 자동화 프로그램 개발



<무도상 판형교 해석 모델>



<수직변위응답>



<수평변위응답>

- 무도상 교량 해석모델 업데이트 기법 프로그램 1
  - 저작물의 제호(명칭) : 동적데이터(고유진동수)를 활용한 무도상 판형교 모델 개선 프로그램(3D frame)
  - 유전자 알고리즘 기반의 무도상 판형교 유한요소해석모델(3D frame) 개선 기법
  - 계측데이터와 해석데이터의 오차로 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 구성하여 무도상 판형교 유한요소해석모델의 부재 별 탄성계수 및 지점부 경계조건 개선

- 무도상 교량 해석모델 업데이트 기법 프로그램 2

- 저작물의 제호(명칭) : 동적데이터(고유진동수)를 활용한 철도 트러스교 모델 개선 프로그램(3D truss 모델)
- 유전자 알고리즘 기반의 철도 트러스교 유한요소해석모델(3D truss) 개선 기법
- 계측데이터와 해석데이터의 오차로 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 구성하여 무도상 판형교 유한요소해석모델의 부재 별 탄성계수 및 지점부 경계조건 개선

- 무도상 교량 테스트베드(트러스교/판형교) 재하실험 계측데이터를 활용한 안전성평가 알고리즘의 검증
- 무도상 교량 테스트베드(트러스교/판형교)에 대한 재하실험을 통해 획득한 계측데이터를 활용하여 개발된 안전성평가 기법의 신뢰성 검증

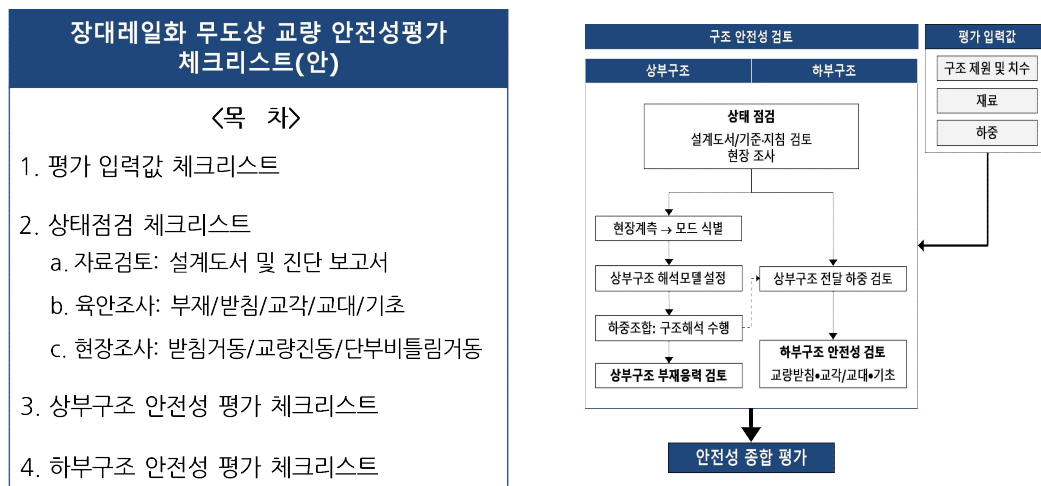


<기존 증속 실험 전경>

## (2) 무도상교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서 (핵심성과 A, A-2)

### (1) 3차년도

- 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안) 개발
- 레일 장대화로 인한 무도상 교량 안전성평가에서 고려해야 할 영향인자 분석
  - 레일 장대화로 인한 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 개발
  - 레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 절차서 개발

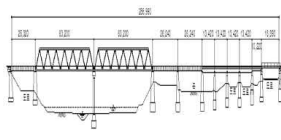


<안전성 평가 체크리스트 목차 및 안전성 평가 흐름도>

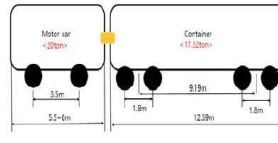
- 공용중인 무도상 교량 현장실험을 통한 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안) 적용 및 검증
- 공용중인 무도상 교량에 대한 현장실험에서 확보된 계측데이터 분석



(a) 대상교량 사진



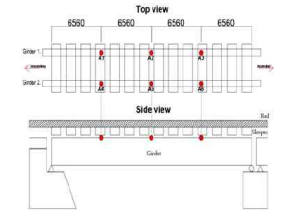
(b) 대상교량 도면  
<유수천교>



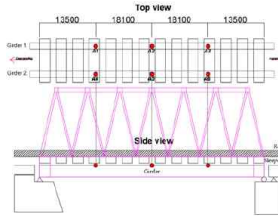
(a) 하중재하 차량제원  
<재하 하중: 모터카 + 화차>



(b) 하중재하 사진

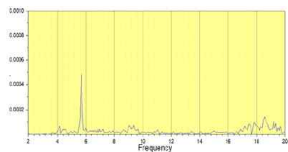


(a) 판형교

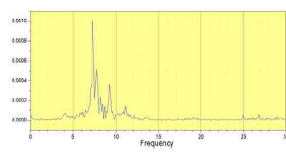


(b) 트러스교

<센서 설치도>

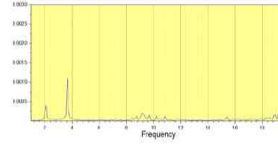


(a) 횡방향

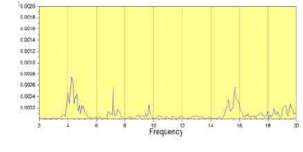


(b) 수직방향

<판형교 FFT 결과>



(a) 횡방향



(b) 수직방향

<트러스교 FFT 결과>

- 확보된 계측데이터를 활용하여 개발된 안전성평가 체크리스트 및 절차서(안)의 적용 및 신뢰성 검증

<판형교 업데이트 결과>

| mode | measured<br>[Hz] | initial model<br>[Hz] | error<br>[%] | updated model<br>[Hz] | error<br>[%] | Mac    |
|------|------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------|
| 1(L) | 5.66             | 8.07                  | 18.09        | 5.67                  | 0.00         | 0.991  |
| 2(V) | 7.15             | 7.65                  | 0.40         | 7.24                  | 0.02         | 0.9922 |

<트러스교 모델개선 결과>

| mode | measured<br>[Hz] | initial model<br>[Hz] | error<br>[%] | updated model<br>[Hz] | error<br>[%] | Mac    |
|------|------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------|
| 1(L) | 5.66             | 8.07                  | 18.09        | 5.67                  | 0.00         | 0.991  |
| 2(V) | 7.15             | 7.65                  | 0.40         | 7.24                  | 0.02         | 0.9922 |

- 업데이트된 모델을 이용하여 안전성 검증

거더 응력 검토 ☒ 안전 OK

- 허용휨응력 163.1MPa > 154.5MPa
- 허용전단응력 110.0MPa > 65.1MPa

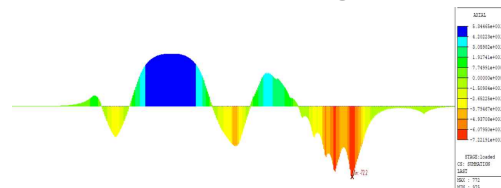
레일응력 검토 ☒ 안전 OK

- 허용 부가축응력 92.0MPa > 72.2MPa

<거더 응력>

| location      | $F_z$<br>[kN] | $M_x$<br>[kN×m] | $M_y$<br>[kN×m] | $f_s$<br>[MPa] | $v$<br>[MPa] |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| Girder center | -282          | -41.3           | 6718.3          | 154.5          | 65.1         |
| Girder end    | -914          | 14.7            | 326.2           | 15.3           | 7.2          |

<재하시 레일 부가축응력도>



## (2) 4차년도

○ 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 및 절차서 보완 및 완성

- 테스트베드 실험 및 현장실험 결과를 부록으로 반영하여 안전성평가 체크리스트와 절차서를 완전 수립 및 완성하였음

**레일 장대화를 위한 무도상 교량  
안전성 평가 체크리스트**

2021. 08



**레일 장대화를 위한 무도상 교량  
안전성 평가 절차서**

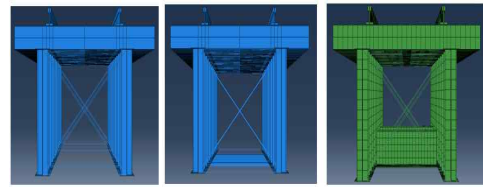
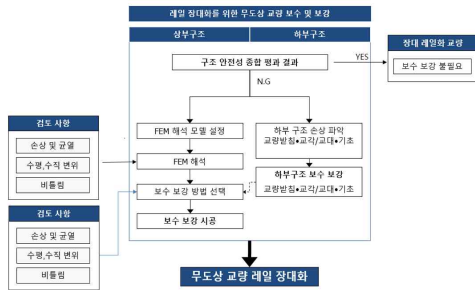
2021. 08



### (3) 무도상교량 보수보강 매뉴얼 (핵심성과 A, A-3)

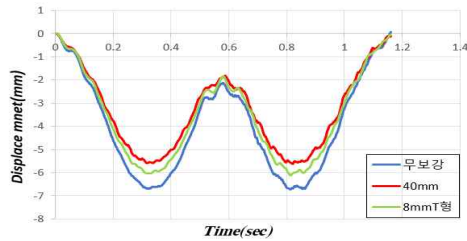
#### (1) 3차년도

- 레일 장대화를 위한 무도상 교량 보수보강 매뉴얼(안) 개발 및 테스트베드 적용
  - 레일 장대화와 연계한 보수보강 방법 검토
  - 보수보강 방법에 따른 장대레일 궤도-교량 시스템 구조안정성 검토
  - 테스트베드 교량 보수보강 전후의 안전성능 해석적 비교 검토
  - 레일 장대화를 위한 무도상 교량 보수보강 매뉴얼(안) 개발



<상부구조 무도상 판형교에 대한 테스트베드 적용 및 보강 상세 모델 제시>

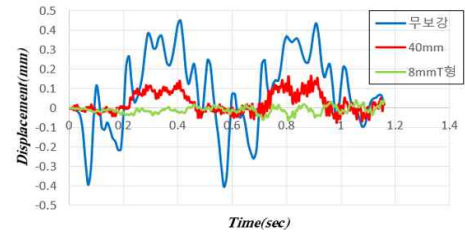
<구조 안전성 검토 절차도 재시>



<수직 변위 응답 저감효과>



하부구조 보수보강 사례 1



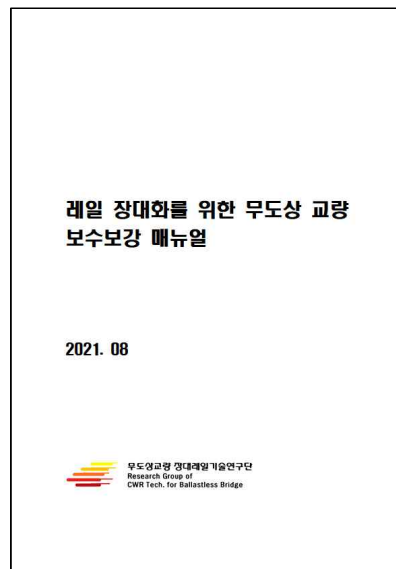
<수평 변위 응답 저감효과>



하부구조 보수보강 사례 2

## (2) 4차년도

- 무도상 교량 안전성평가가 체크리스트와 연계한 보수보강 매뉴얼 보완 및 완성
  - 테스트베드 실험 결과를 반영한 레일 장대화를 위한 보수보강 매뉴얼을 완전 수립 및 완성하였음



## (4) 무도상교량 종방향 상호작용 해석기술 (핵심성과 B, B-1)

### (1) 1차년도

- 레일장대화 기법 조사

- 활동체결구를 사용하는 공법

- 교량 구간에 레일 신축 이음매가 필요없이 교량 전후 구간 전체를 함께 장대 레일화를 기할 수 있어 궤도 유지관리에 취약부인 레일 신축이음매를 제거할 수 있으며 현재 일반선에 일반적으로 산재하여 있는 다경간 단순 판형교에 적용하기 가장 적절한 방안

- 신축이음을 설치하는 공법

- 종방향 활동성이 우수한 받침을 사용하고 교량 높이가 낮아 교각의 종방향 강성이 충분한 경우와 직선 교량에만 적용할 수 있으며, 레일의 안정성이 저감될 수 있어 적용 시 주의 필요

- 교량침목과 거더가 자유롭게 이동하는 공법

- 레일에 발생하는 축력이 교량에 전달되지 않으므로 교량의 건전성에 미치는 악영향을 배재할 수 있다는 측면에서 긍정적이나, 적용 사례가 많지 않아 적용 시 주의

- 교량받침을 이용하는 공법

- 받침 배치 변화 또는 특수 받침을 사용하는 공법
- 받침 배치를 변화시키는 경우 레일축력 변화가 연구결과마다 상이하여 특정 방식의 우위를 판단할 수 없음
- 특수받침을 사용하는 경우 단순히 받침 배치를 변화시키는 방법보다 레일축력이 저감되는 효과가 있어 긍정적이나 적용 사례가 많지 않아 적용 시 주의 필요

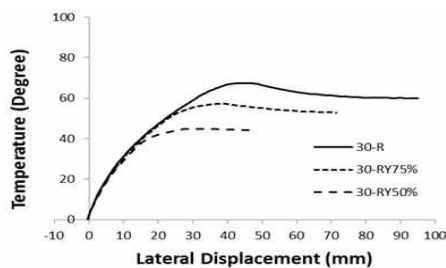
○ 레일장대화 기법별 영향인자 도출

- 좌굴해석을 통하여 레일장대화에 따른 허용 부가압축응력 제시 필요

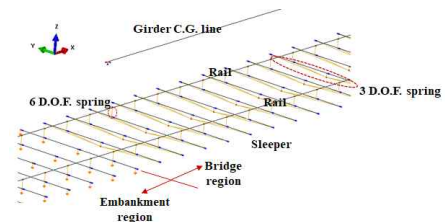
- 문헌조사 결과 교량상 장대레일의 허용 부가압축응력은 궤도의 좌굴과 밀접한 관계가 있으며 국내외 여러 설계기준에서 허용 부가압축응력 기준을 제시하고 있음

- 무도상교량에 대한 기초 궤도좌굴해석

- 횡방향 강성 레일 장대화 시 허용 부가압축응력과 아주 밀접한 관계
- 종방향 강성 종방향 축응력 분포에 미치는 영향은 컸지만, 좌굴에 미치는 영향은 크지 않음



<횡방향 강성에 따른 좌굴온도 변화>



<3D 무도상교량 좌굴 모델>

○ 장치 성능요건 도출 및 실험 검토

- 레일 장대화를 위한 궤도-교량 시스템 요구조건

- 레일 부가 압축응력 : 최저좌굴강도 이하(최저좌굴강도는 좌굴 해석을 통해 산정되어야 하며 궤도 횡저항력, 교량의 동적 횡변위, 곡선반경 등을 고려해야 함)
- 레일 부가 인장응력 : 레일 피로 파괴 방지를 위한 한계값 이하(한계값은 레일의 인장강도에 따른 피로거동을 고려하여 결정해야 함)
- 하부구조부담력  
교량받침의 파손방지, 교각의 전도(overturning)방지  
교량받침의 강도는 실제 현장에 부설된 받침에 대한 수평하중 시험을 통해 결정하는 것이 바람직함
- 부재력  
부재 총응력(정적+동적)이 항복강도 이하이고, 동적 응력이 피로한도를 초과하지 않을 것
- 처짐  
궤도틀림 관리기준치 이하(레일 선형 조정 범위 이내)

○ 무도상교량 하부구조 안정성 검토기법 조사

- 교량하부구조 상태평가기준조사 수행

- 국내외 기준현황 및 사례조사, 수중점검 지침 및 상세조사 수행

- 상부구조의 가중치 평균(58.4%)이 하부구조의 가중치 평균(25.9%)의 2.3배에 해당
- 철도 무도상교량과 같이 노후화가 많이 진행된 구조물에 있어서는 가중치 조정방안에 대한 추가적인 연구 필요
- 교량하부구조 건전도 평가방법 조사 수행
  - 국내외 최신기술 현황 조사
  - 초음파에 의한 수중조사, 비파괴시험법(표면/지중), 교량세굴 모니터링 방법 상세조사
- 교량하부구조 보수보강공법 조사 수행
  - 콘크리트 구조물(교각/기초판 등), 교각/교대가 설치되는 기초지반, 유수의 흐름으로 인한 세굴 등의 영향을 종합적으로 고려한 보수보강공법 선정 필요
  - 속도향상, 궤도구조 손상 방지 유지보수 절감 등의 효과 기대

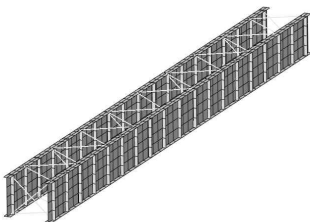
## (2) 2차년도

### ○ 무도상교량 하부구조 안정성 검토 기법

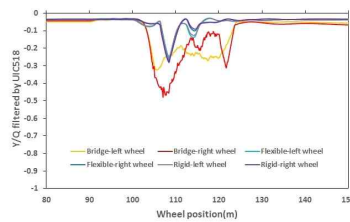
- 무도상 교량 하부구조 안전성 검토기법
- 현장 적용을 위한 교량 하부구조 안전성 검토 기법 및 절차 제안
- 현장 적용을 위한 교량 하부구조 보수보강 기법 제안

### ○ 무도상교량 장대레일 기준[안]

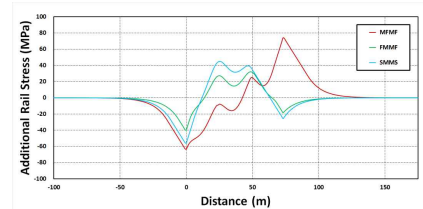
- 무도상 교량 레일장대화 공법 특성 및 설계기준 적용방안 분석
- 유연다물체동역학을 이용한 차량-궤도-교량 상호작용 해석기법 정립
- 수치해석을 통한 레일 장대화 효과, 궤도틀림 영향, 지진 안전성 및 변위제어공법 적절성 분석
- 국내외 장대레일 관련 기준 분석, 국내기준(철도설계기준, KR Code 등) 개정 사항 제시
- 무도상 교량 레일장대화 설계기준[안] 제시



<무도상 판형교 유한요소해석 모델>



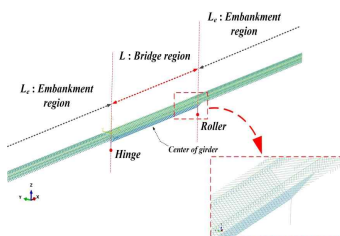
<방향틀림으로 인한 좌우측 탈선계수>



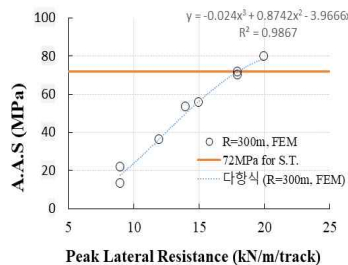
<공법별 부가축응력 비교>

### ○ 좌굴해석 기법

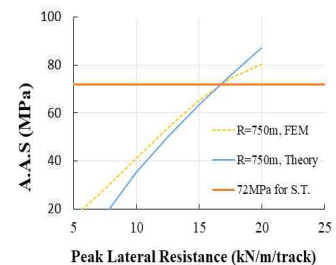
- 궤도 좌굴해석 모델개발/검증
- 무도상 판형교 궤도좌굴 지배인자에 대한 변수해석
- 무도상 판형교에 대한 허용부가축응력(압축) 제시



<무도상 판형교의 유한요소해석 모델>



<허용부가축응력-횡저항력 관계(R=300m)>



<허용부가축응력 비교(R=750m)>

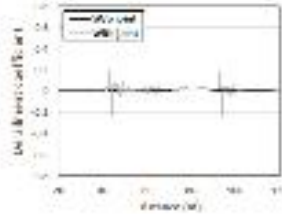
## (3) 3차년도

### ○ 무도상교량 장대레일 기준 검토

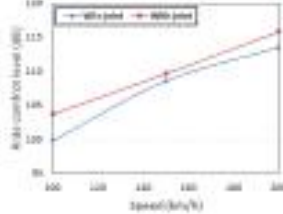
- 침목고정장치 탄성받침의 적정 탄성범위 분석 → 설계탄성계수  $50 \pm 20 \text{ kN/mm}$ 로 제시

- 레일장대화에 따른 증속 가능성 분석

- 복선 30m 하로판형교(한천교) 검토 → EMU 100km/h, ITX-청춘 150km/h, KTX 200km/h 까지 증속 가능
- 단선 30m 상로판형교와 유도상교량(SRC) 비교
  - KTX 300km/h까지 주행
  - 유도상화 시 탈선계수는 거의 차이없음 (0.1 이하)
  - 승차감은 상로판형교가 약간 유리



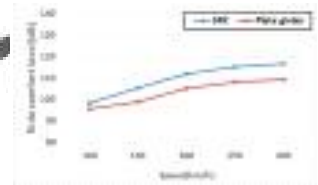
<KTX 탈선계수>



<KTX 승차감>



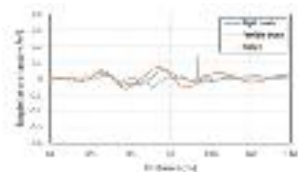
<SRC 합성교량>



<승차감 비교>

- 궤도틀림에 대한 영향 분석

- 유도상교량(판형교)의 횡방향강성이 작아 횡방향 틀림(방향/궤간 틀림)이 주행안전성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타남.



<주행안전성: 고저틀림>



<주행안전성: 궤간틀림>

- 교각 보강 또는 신규 건설 시 지점 이동 및 상부구조 연속화를 통한 레일장대화 공법(SCC 공법)

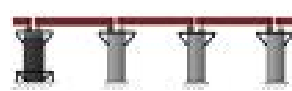
- 기존 판형교 현황 분포: 단순 지간 다경간 다수
- 기존 공법 적용 시 과도한 하부구조 보강비 필요
- 다경간 판형교에 대한 레일장대화 시 적용
- 상부구조 연속화를 통한 상부구조 강성 증대, 하부구조 공사비 절감



① 기존 다경간 판형교



② 교각 (종방향) 보강



③ 교각상부 브래킷 설치



④ 신규보강재 설치/지점이동

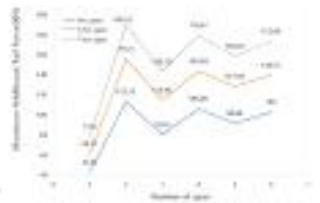
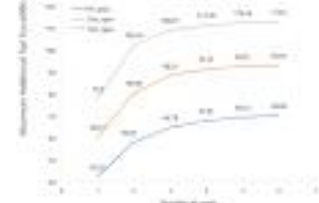
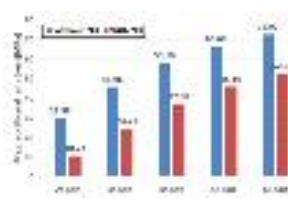
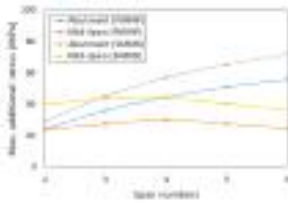


⑤ 기존 보강재 제거/연속화 ⑥ 신규 받침 설치 및 완료

<SCC 공법 개요도>

- 유도상교량 레일장대화 기준 및 가이드라인 확정

- 레일장대화 설계개념에 따른 요건 반영
  - SSF(Strong Sleeper Fastener): 콘크리트궤도와 유사
  - SRF(Strong Rail Fastener): 자갈궤도와 유사
  - TPI(Track Panel Isolation): 궤광 격리
- 판형교의 특성을 반영한 변위제어공법 적용성 분석 결과 반영
  - 장대레일하중은 교대 부담, 교각 ×
  - 과도한 교대 반력 저감을 위한 변위 제어 필요
  - ZLR 적용 시 레일부가응력 제어 가능

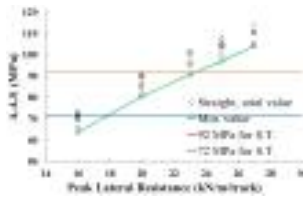


<경간에 따른 레일부가응력> <ZLR 적용 시 레일부가응력>

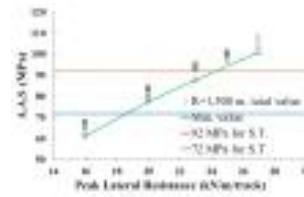
<기존 공법 분석: FMFM>

<기존 공법 분석: FMMF>

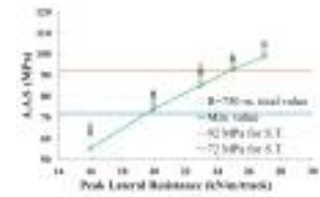
- 기존 공법(FMFM, FMMF)의 적용성 분석
- 보수보강을 위한 횡방향 변위한계에 대한 분석 → 보수보강 횡방향 한계 L/1,000
- 한계곡선반경 및 침목고정장치의 횡방향 강성의 최소값 제시
  - 한계곡선반경 750m
  - 최소 횡방향강성 20kN/m/track



(a) R = ∞



(b) R=1500m



(c) R = 750m

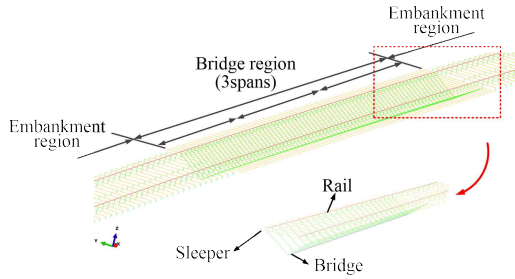
<곡선 궤도에 대한 최소 허용 부가축응력>

- 설계 가이드 라인 보완
  - 무도상교량 장대레일기준, KR code 등 관련 지침을 반영하여 장대레일 설계 사례 제시
  - 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 및 평가
  - 교량단부 사용성 검토
  - 판형교와 트러스교에 대한 설계 예제 제시
- 관련 기준(철도설계기준, 선로유지관리지침, KR Code) 개정 사항 확정
- KR C-08080
  - 무도상교량 레일허용응력
  - 레일장대화 시 횡방향 요구성능 (L/1,000)
  - 자갈도상 교란방지를 위한 교대부 변위제한 4mm
- KR C-14050
  - 장대레일 선로조건
  - 장대레일 설정온도
- 철도설계기준
  - 장대레일 종하중: 무도상교량 내용 추가
- 선로유지관리지침 개정 필요 사항
  - 합성침목 관련 내용 (배치정수)
- 철도건설공사 전문시방서
  - 설정온도 (콘크리트도상 기본으로 교량전후 구간 상황 고려 변동)

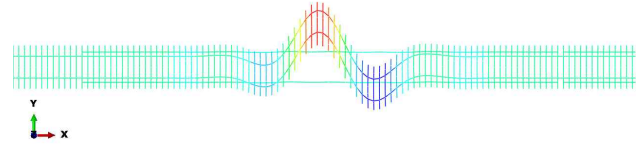
#### (4) 4차년도

##### ○ 무도상교량 장대레일 기준 검토

- 기 작성된 무도상 판형교 좌굴해석모델 고도화
  - SSF(Strong Sleeper Fastener)개념의 교량침목 고정장치의 성능에 맞춰 2-3차년도에 개발되었던 무도상 판형교의 좌굴해석 모델 고도화 수행

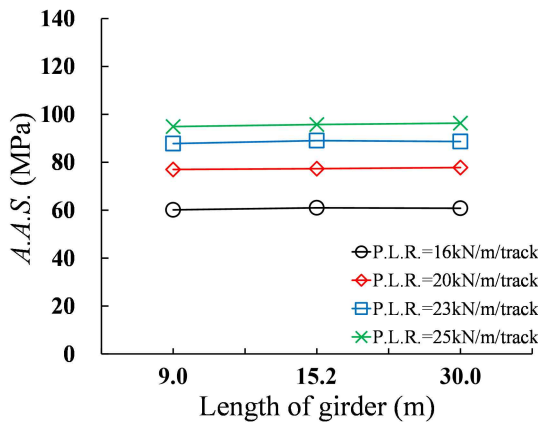


<무도상 판형교의 좌굴해석모델>

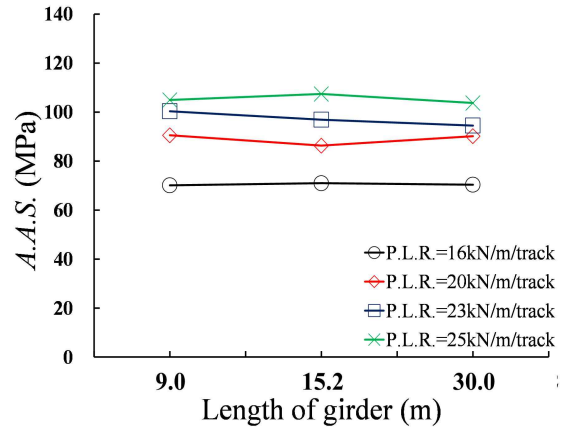


<무도상 판형교의 좌굴형상>

- 좌굴해석에 사용된 변수 중 지간은 (구) 철도청 표준도 상의 최소(9.0m) 및 최대(30.0m) 지간장을 고려하였고, 곡선반경은 KR C-14050(2017)에 제시된 자갈도상의 장대레일 설치 시의 최소곡선반경(300m)를 고려하여 변수를 결정함
- 좌굴해석의 주요 변수는 횡방향 궤도 저항력으로 16kN/m/track에서 25kN/m/track까지 변화시킴
- 침목과 거더 간 중·횡방향 한계변위는 교량침목 고정장치의 성능과 동일하게 2mm로 고려함. 침목과 거더 간의 회전강성은 고려하지 않았으며, 종방향 거동은 SSF개념에 맞춰 콘크리트도상에서 하중비재하 시 저항력인 40kN/m/track으로 적용함
- 교량침목 고정장치의 횡방향 요구저항력 제시
- 변수해석 수행 후 해석결과는 교량구간 콘크리트도상의 허용 부가압축응력 기준인 92MPa를 만족하는 지로 평가함. 해석결과로 허용부가압축응력 산정 시 UIC 720-R(2005)의 Level 1 safety 기준을 사용하였음
- 아래 그림은 해석결과를 거더의 지간별로 정리한 그림으로 그림에서 알 수 있듯이 거더의 지간이 변화함에 따라 허용부가압축응력의 변화량은 미미함



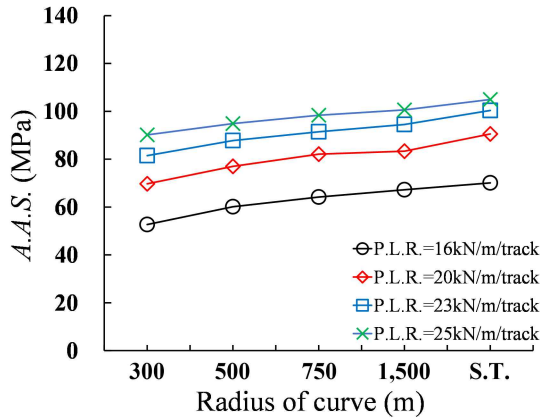
(a)



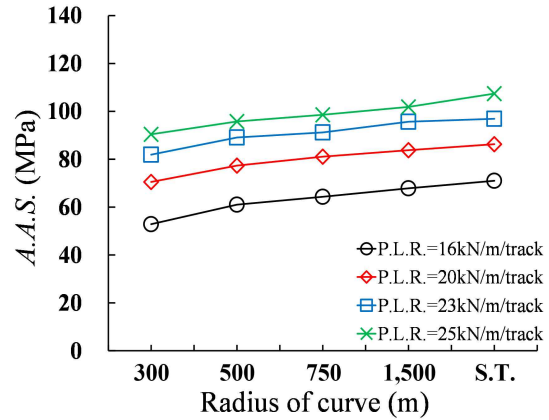
(b)

<지간에 따른 허용부가압축응력 변화: (a) R=S.T.; (b) R=500 m>

- 아래 그림은 해석결과를 곡선반경별로 정리한 그림으로 곡선반경이 작아짐에 따라 허용부가압축응력이 감소하는 것을 확인할 수 있고, 직선에서 최소 300m로 감소함에 따라 허용부가압축응력이 최대 25% 감소됨을 알 수 있음



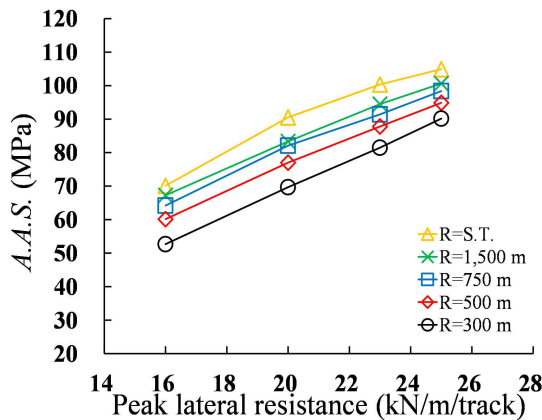
(a)



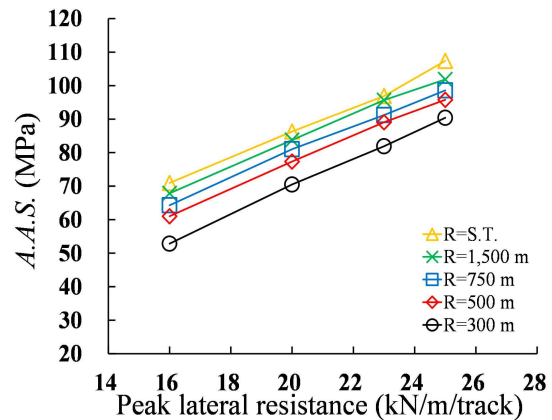
(b)

<곡률반경에 따른 허용부가축응력 변화: (a)  $L_c=9$  m; (b)  $L_c=15$  m>

- 아래 그림은 횡방향 궤도저항력에 따른 허용부가축응력의 변화로 횡방향 궤도 저항력이 25kN/m/track에서 16kN/m/track로 감소하면서 허용부가축응력이 최대 42% 감소하는 것을 볼 수 있음



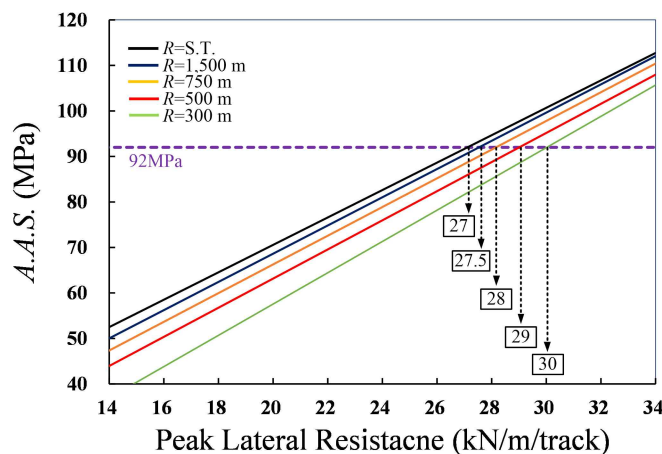
(a)



(b)

<도상횡저항력에 따른 허용부가축응력 변화: (a)  $L_c=9$  m; (b)  $L_c=15$  m>

- 기존 연구 결과(이형덕 등, 2020)에 따르면 무도상 교량의 경우, 낮은 횡방향 저항력으로 인하여 열차 주행에 따른 횡방향 변형이 발생할 수 있고 이러한 교량의 횡방향 변위는 장대레일에 초기변형으로 작용하여 장대레일의 좌굴강도를 최대 약 17% 정도 감소시킬 수 있다고 보고하고 있음
- 이러한 강도 저감을 고려하여 해석 결과를 종합하고 회귀분석 하면 아래 그림과 같음



<도상횡저항력과 곡률반경에 따른 해석 결과의 회귀분석>

- 최종적으로 좌굴해석결과를 종합하여 곡률반경별로 콘크리트도상 수준의 허용부가축응력 기준(92MPa)를 만족하기 위한 횡방향 요구저항력은 아래 표와 같이 정리할 수 있음
- 표에서 알 수 있듯이 모든 경우에 횡방향 요구저항력은 40kN/m/track을 확보할 경우 충분한 안전성을 갖는 것을 알 수 있으며 이를 활용하여 거더 고정장치의 횡방향 강성을 결정하였음

<궤도의 횡방향 요구저항력(설정온도 25℃)>

| 곡선반경 (m) | 횡방향 요구저항력 (kN/m/track) |
|----------|------------------------|
| $\infty$ | 27                     |
| 1,500    | 27.5                   |
| 750      | 28                     |
| 500      | 29                     |
| 300      | 30                     |

## (5) 무도상교량 장대레일 설계기술 (핵심성과 B, B-2)

### (1) 1차년도

#### ○ 국내외 설계기준 및 문헌조사

- UIC 774-3R의 장대레일 축력 해석방법
  - 개별해석 : 온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중에 대해 분리하여 해석하는 간단한 해석방법
  - 완전해석 : 온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중을 동시에 진행하여 온도하중에 의한 축력을 유지한 상태에서 시/제동 및 수직하중을 재하하여 해석하는 방법
- KR C 08080 (궤도-교량 종방향 상호작용 해석)의 해석 방법
  - 레일의 응력 및 교량받침에 작용하는 총 하중을 평가하는 경우 레일 및 교량 상부구조의 온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중에 대한 개별적으로 해석을 수행하고 이를 조합하는 해석 방법
- 선행연구 동향 분석
  - 장대레일 축력은교량의 길이, 교량상판의 길이, 교각의 강성, 교량받침의 배치, 도상저항력, 온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중, 신축이음매의 배치 등의 영향을 받기 때문에 교량구간의 레일을 장대화하기 위해서는 설계 시 궤도 및 구조물 양측면에서 충분한 검토가 필요

#### ○ 무도상 교량 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 방안 수립

- 현행 국내에서는 개별해석을 통한 장대레일 축력해석을 수행
  - 일과 거더의 변형을 고려하지 않은 해석으로 궤도 종저항력의 비선형 거동에 대한 오차를 포함하고 있어, 궤도 종방향 저항력에 대한 하중이력의 비선형을 고려한 순차해석이 필요할 것으로 판단
- 무도상 교량 장대레일 축력해석의 주요인자
  - 궤도 종저항력
    - 국내외 기준은 자갈/콘크리트 기준이기 때문에 무도상 궤도 종저항력 기준 부재로 정립 필요 순차해석에 따른 궤도종저항력 모델링 정립 필요
  - 교량 상부제원
    - 무도상 교량 상로교, 하로교 타입의 해석을 위한 정확한 물성치 정립 필요
  - 교량 하부제원
    - 교량의 교좌장치 물성치와 기초강성 지반반력상수 등에 대한 정의 필요
  - 무도상 판형교에 적용된 중력식 교각, 나무말뚝에 대한 해석물성치 산정 필요

### (2) 2차년도

#### ○ 개발시제품 적용 전후 궤도-교량 종방향 상호작용 해석

- 무도상 교량 레일 장대화를 위한 설계중요인자(궤도 종저항력, 지점배치, 교각 및 기초의 강성 등) 분석
- 개발 시제품 종방향 저항력 및 교량받침 거동특성을 반영한 궤도-교량 종방향 상호작용 해석
- 교량받침 마찰조건을 고려한 레일부가축응력 및 교량받침 작용력 비교분석
- 궤도 종저항력 저감 시 마찰조건을 고려한 레일부가축응력 및 교량받침 작용력 비교분석

#### ○ 무도상 교량 단부사용성 해석방안 수립

- 무도상 교량 단부에서의 해석 기준(영향요소 및 작용력) 분석
- 무도상 교량 단부 사용성 검토 기준 및 검토 방법 비교분석
- 개선된 단부 사용성 검토기준 정립

#### ○ 개발 시제품 적용 전후 단부 사용성 해석

- 무도상 교량 단부에서의 레일 체결구 상향력 및 압축력 검토

- 단부 사용성 해석 시 필요한 입력제원 및 물성치 정립
- 단부에서의 레일 체결구 상향력 및 압축력 해석 후 결과 정리

#### ○ 무도상교량 설계가이드 라인

- 레일안전성 해석, 평가절차 수립을 위한 배경이론 및 자료 제시
- 레일장대화를 위한 개량 전후 궤도-교량 상호작용 안정성 평가 절차 제시
- 가이드라인 내용
  - 무도상 교량 현장상황 평가, 장대레일 설계 절차 제시
  - 궤도 안전성 평가와 교량 안전성 평가의 상호 피드백 절차 제시
  - 교량 외관평가, 설계입력변수 가정을 위한 기초 자료 및 설계 예제 포함

### (3) 3차년도

#### ○ 무도상교량(판형교/트러스교) 구조안전성 검토

- 안전성 평가 검토구간
  - 트러스교 및 상/하로 판형교 선정
  - 리벳이음으로 시공, 가장 취약개소를 선정하여 검토구간 상정 및 안전성 및 내하력 실시
- 트러스교 검토 → 2@63.20 = 126.40m (단순교)



(a) 축방향력 (Fx)



(b) 전단력 (Vz)



(c) 모멘트 (My)



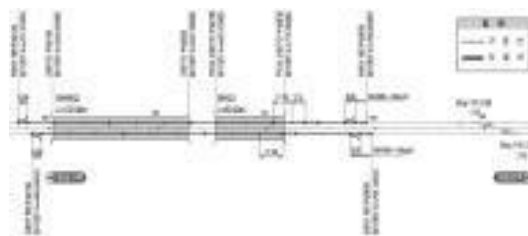
(d) 모멘트 (Mz)

<트러스교 해석 결과>

- 판형교 검토
  - 침목고정장치의 종횡저항력 증가(5배)에 따른 교량 구조 적절성 분석
  - 침목고정장치는 실내시험결과를 기준으로 한계변위, 종저항력으로 구분하여 CASE해석 수행
  - 레일체결장치는 목/합성수지 침목에 적용이 가능한 e-Clip 타입의 궤도종저항력(30kN/m/Track) 반영
  - 침목고정장치 한계변위 특성에 대한 CASE해석결과 변위가 커질수록 레일부가축응력과 교량받침 작용력이 감소하는 경향이 나타남
  - 침목고정장치 종저항력 특성에 대한 CASE해석결과 저항력이 커질수록 레일부가축응력과 교량받침 작용력이 증가하는 경향을 나타내고 있음
  - 교량받침에 발생하는 작용력에 따른 교좌장치 성능, 교각/교대의 안전성(필요시 보강) 검토 등은 4차년도에 상세 해석 및 설계 예정

#### ○ Testbed 구축을 위한 궤도 상세설계

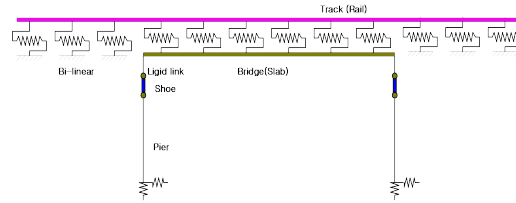
- 궤도시공계획 분석
  - 궤도시공 공정계획 검토
  - 궤도시공 현황도



- 기타 시공계획 분석
  - 접속부 자갈궤도 시공 계획 검토
  - 장대레일 용접 및 설정 계획
  - 궤도장비 운용 계획
  - 궤도철거
  - 운행선 공사 업무흐름 및 안전관리 사항
  - 일반철도 궤도공사 준공기준

○ Testbed 구간 궤도-교량 종방향 상호작용 및 단부사용성 해석

- Testbed 구간 시험 시공 전/후 단계해석



<한천교 해석모델>

- 개발품 적용 시의 적정성 검토

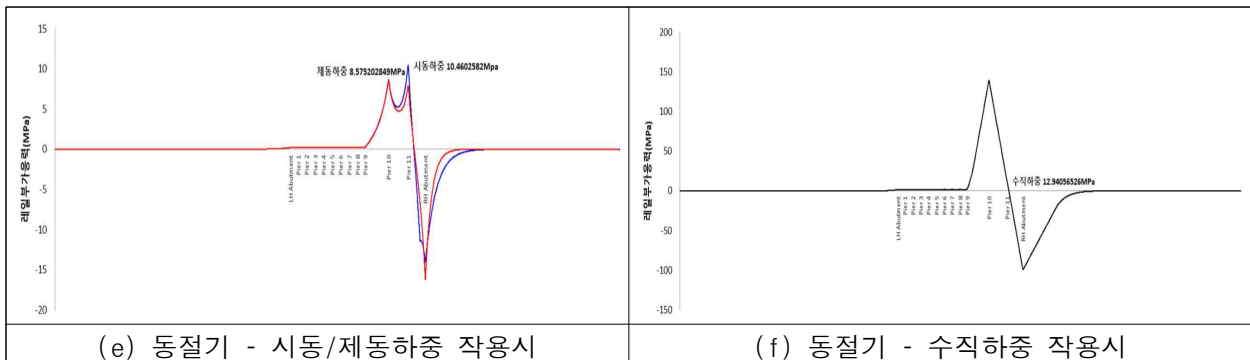
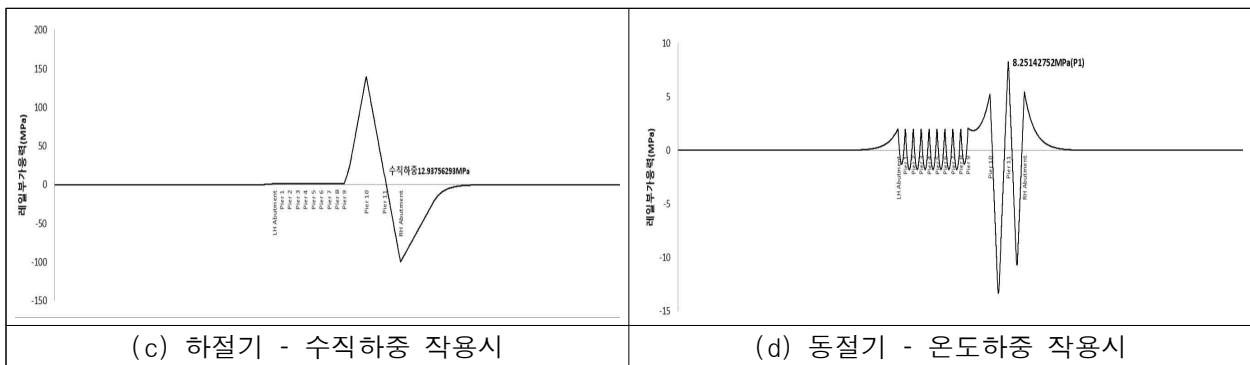
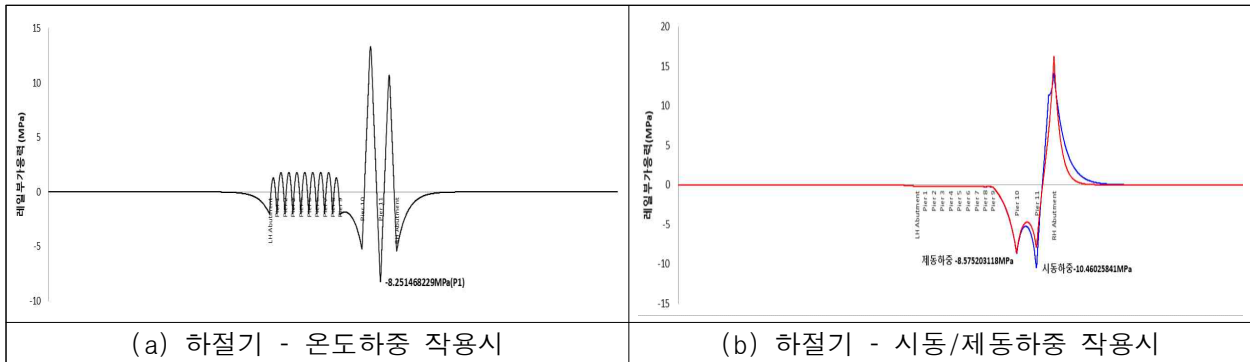
<해석 결과>

| 구 분 | 온도하중  | 시동하중  | 제동하중  | 수직하중      | 하중조합  | 허용응력  | 판정  |
|-----|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----|
| 하절기 | -46.7 | -12.6 | -11.1 | 0<br>(인장) | -59.3 | -72.0 | 0.K |
| 동절기 | 46.7  | 12.6  | 11.1  | 0<br>(압축) | 59.3  | 72.0  | 0.K |

(4) 4차년도

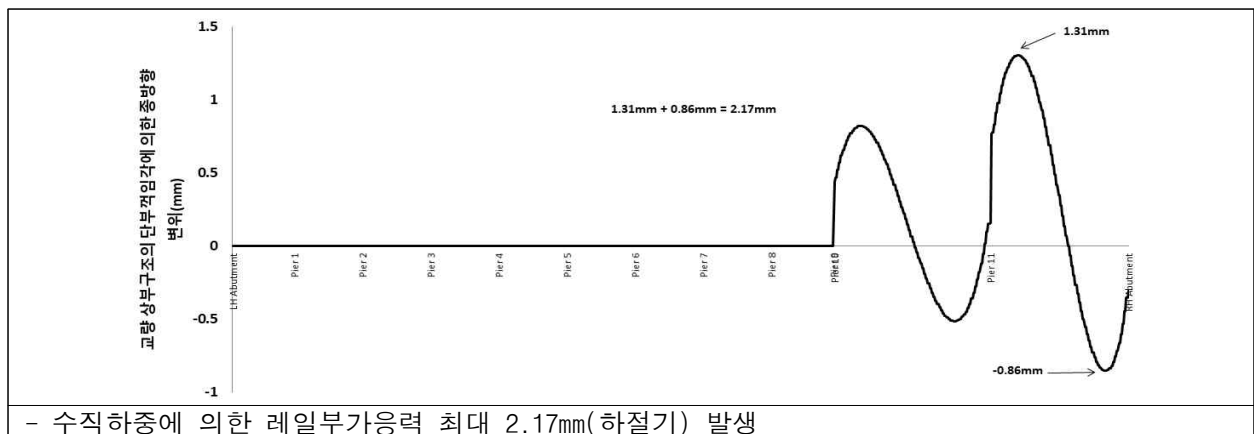
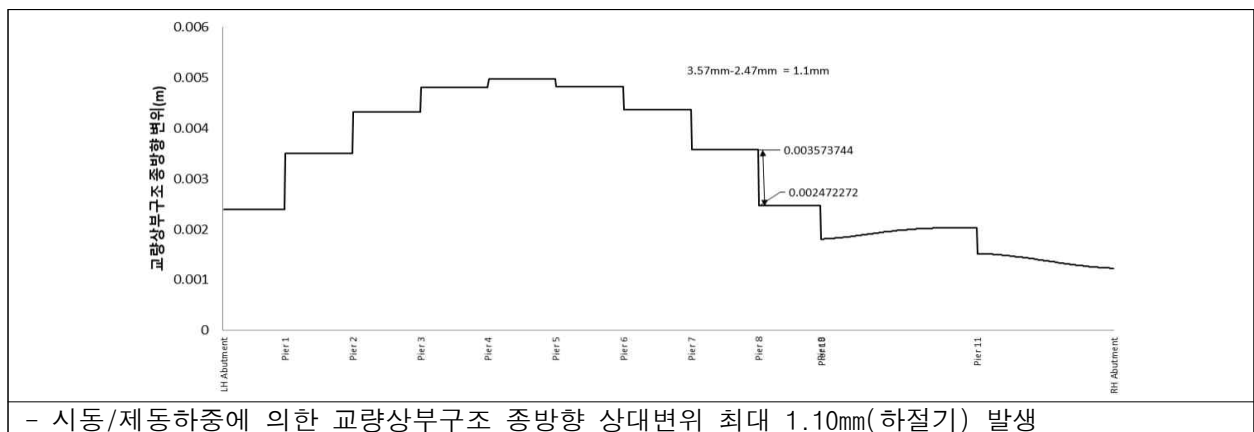
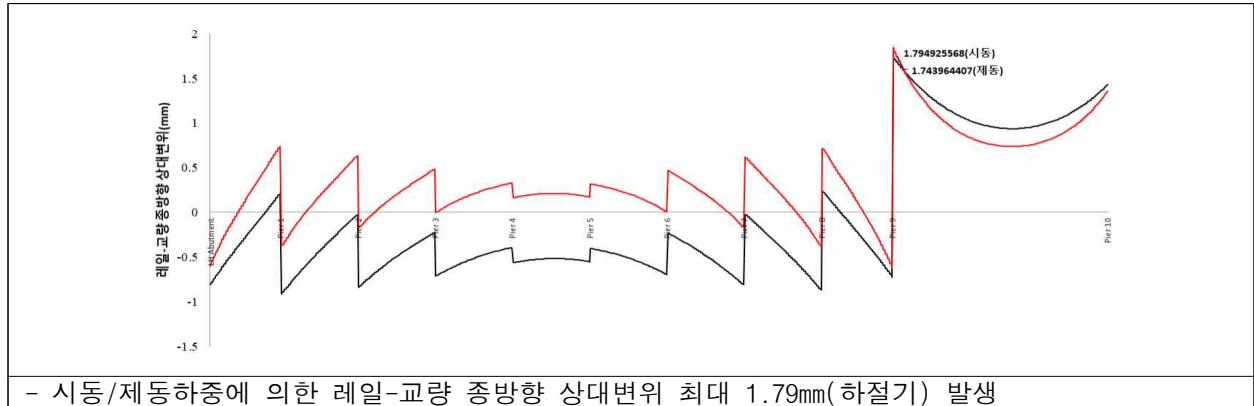
○ Testbed 계측결과를 반영한 궤도-교량 종방향 상호작용해석

- 인접교량(한천천교) 및 개량된 지점배치(FMMF)를 적용한 레일장대화 검토



<한천교 해석 결과(한천천교와 지점배치(FMMF방식) 동시 적용)>

- Testbed 계측결과를 반영한 단부 사용성해석
  - Testbed 계측결과를 반영한 설계파라미터 적절성 검토 및 단부 사용성해석
- Testbed 계측결과를 이용한 성능검증
  - Testbed 계측결과를 이용한 성능검증 해석 수행

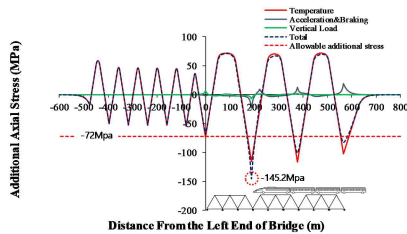


## (6) 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 기술 (핵심성과 B, B-3)

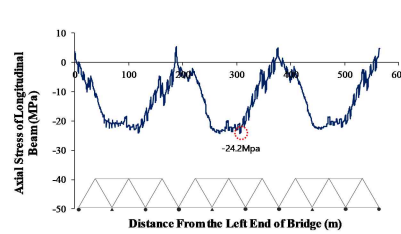
### (1) 2차년도

- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 기술
  - 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 해석기술
  - 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 설계기술
- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 해석기술
  - 기존 무도상 장대교량의 궤도-교량 상호작용 영향 분석
    - 문헌분석을 통한 기존 무도상 장대교량의 교량 및 궤도의 제원과 해석 주요인자 결정.

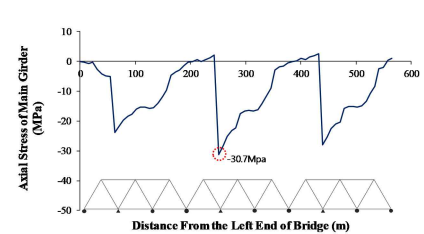
- 궤도-교량 상호작용 해석을 위한 F.E. 모델링 및 작용하중 선정.
- 기존무도상 장대교량 궤도-교량 상호작용 해석을 통한 레일부가응력, 교량부가응력 및 교량받침 수평 반력 검토.



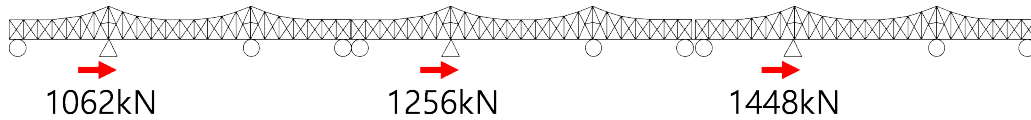
< 레일부가응력 >



< 종형부가응력 >



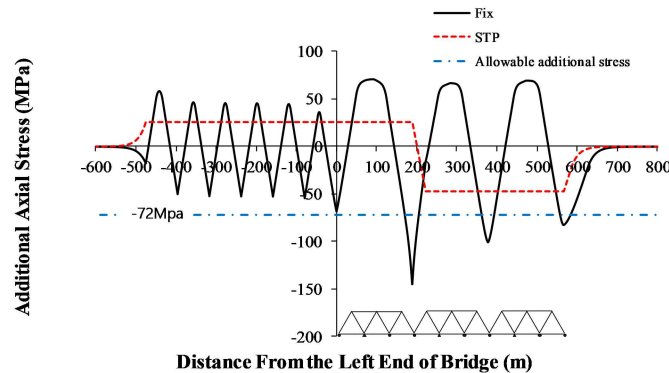
< 하현재부가응력 >



< 받침 수평반력 >

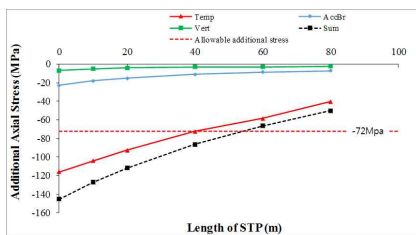
- 기존 무도상 장대교량의 궤도-교량 상호작용 효과 저감 방안

- STP를 전체구간에 적용한 궤도-교량 상호작용 영향분석으로 STP의 적용은 많은 레일부가응력을 저감시키며, 교량부가응력과 받침수평반력은 전달되지 않음.

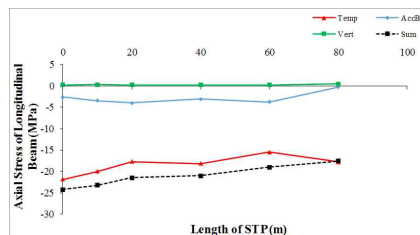


< STP를 적용한 레일부가응력 >

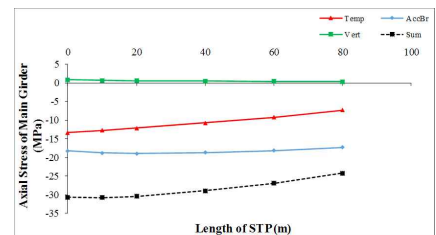
- STP의 적용길이를 국부적으로 사용하여 위험구간 단부로부터 60m를 적용 시 허용부가응력을 만족함.



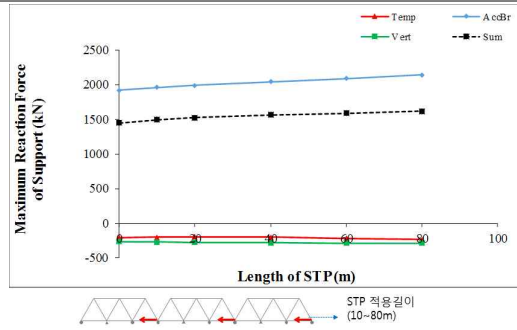
< 60m STP적용 레일부가응력 >



< 60m STP적용 종형부가응력 >

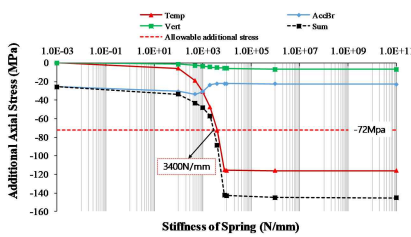


< 60m STP적용 하현재부가응력 >

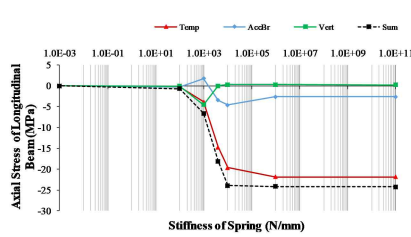


< 60m STP적용 최대수평반력 >

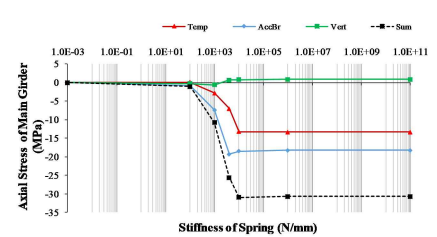
- 시제동 고정형 받침을 적용하여 교량받침에 부하되는 수평반력을 제어할 수 있으며, 그 효과는 약 73%의 저감효과가 있음.
- 침목고정장치 강성을 적정수준으로 제한하여 레일부가응력과 교량응력등을 허용범위를 만족시킬 수 있음.



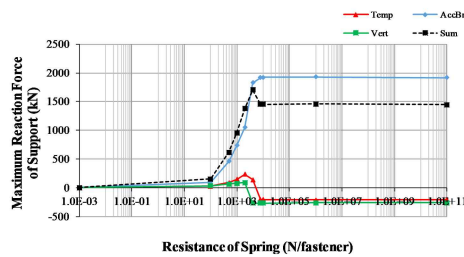
< 강성별 레일부가응력 >



< 강성별 종형부가응력 >



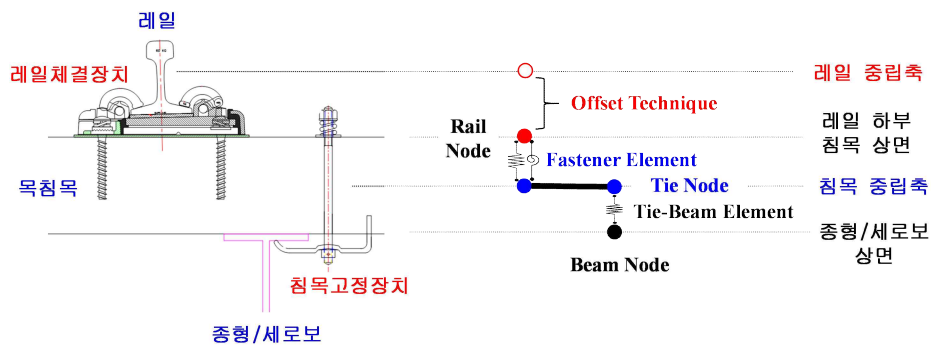
< 강성별 하연재부가응력 >



< 강성별 최대수평반력 >

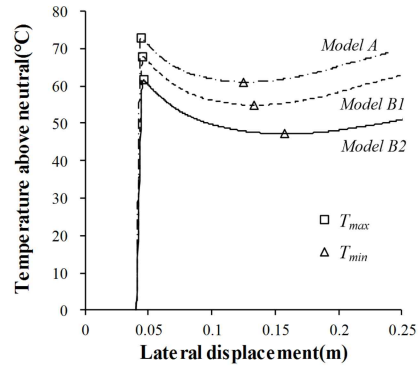
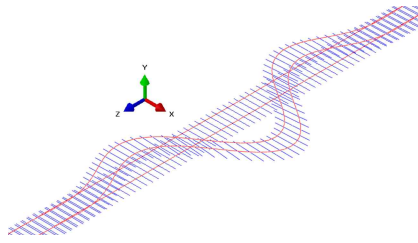
- 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 안정성 분석

- 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 안전성 분석을 위한 F.E. 해석모델링



< 무도상 궤도의 좌굴 F.E 모델 >

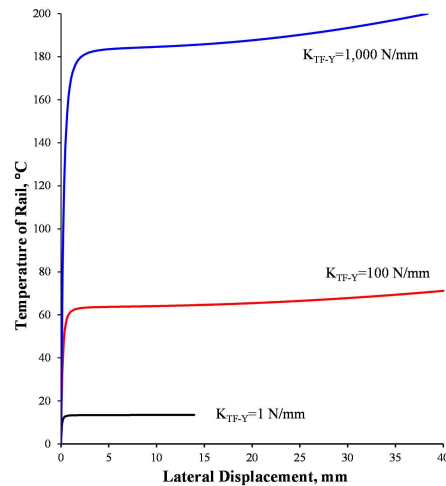
- 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 안전성 분석을 위한 F.E. 해석모델 검증



< 검증용 모델의 좌굴 형상 >

< 검증용 모델의 온도-횡변위 곡선 >

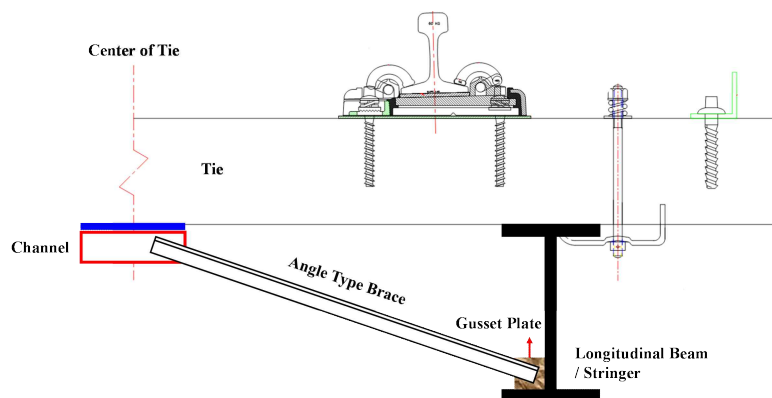
- 종방향 미끄럼을 허용하는 궤광 좌굴 안정성 해석



< 온도-횡변위 곡선 (침목고정장치의 연직강성을 고려한 STP) >

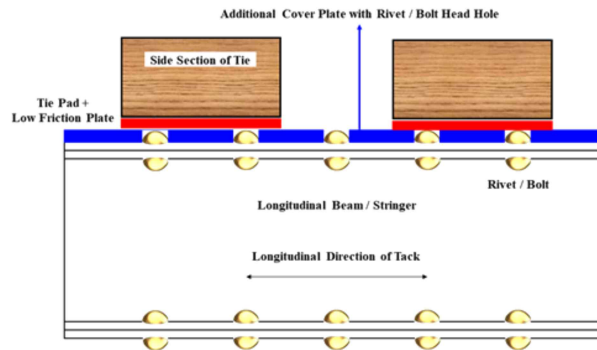
#### ○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 설계기술

- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템 설계
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광시스템의 필요 저항강성을 산정하고, 좌굴의 거동특성을 파악.
- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광의 횡방향 저항 강성 증대 방안
  - 침목의 중앙에 ㄷ형강을 설치하고 L형강으로 교량의 세로보 또는 종형에 연결하여 STP의 횡방향 강성을 증가.



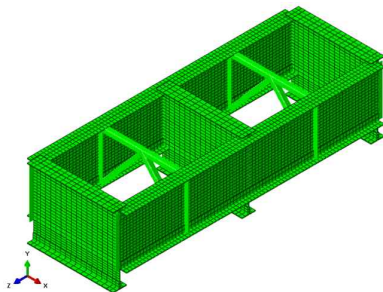
< 침목과 세로보(종형)의 연결 >

- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광과 교량 상부구조(가로보 및 세로보)의 미끄럼확보 방안

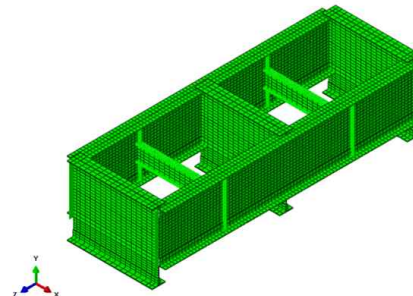


< 미끄럼을 제공하기 위한 보강 덮개판 >

- 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템의 복진과 시·제동 하중에 대한 저항 메커니즘 및 저항 강성 증대 방안
  - STP의 적용시 복진과 시제동 하중에 대한 저항강성 증대를 위한 브레이싱의 설치방안 검토.
  - 레일 종방향 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광 시스템 적용을 위한 교량 구조물의 소요성능 조건 정립
  - 브레이싱 또는 가로보의 설치로 STP의 횡방향 강성 보강방안을 모색하며, 보강방안에 따른 교량의 거동 특성 파악.



< K-bracing 모델 >



< 가로보 적용 모델 >

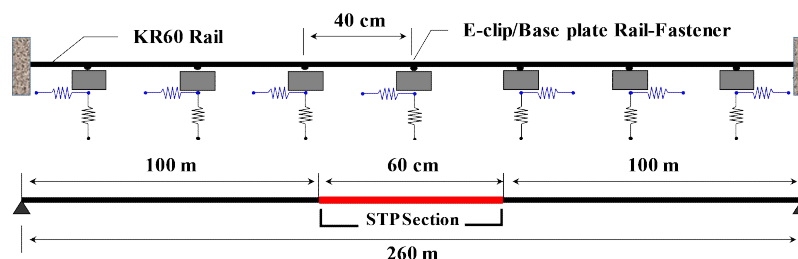
## (2) 3차년도

### ○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 기술

- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 성능평가
- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 사용성평가

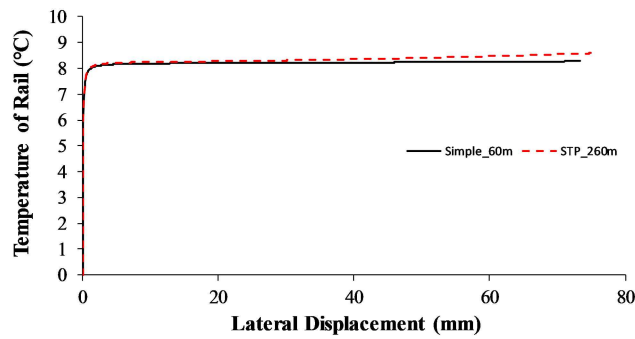
### ○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 성능평가

- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 침목/장치 성능요건 도출
  - 2차년도에 개발한 모델에서 STP구간을 추가 모사하여 F.E 모델 개발.
  - 총연장 260m중 모델중앙 60m의 STP 구간 모사.

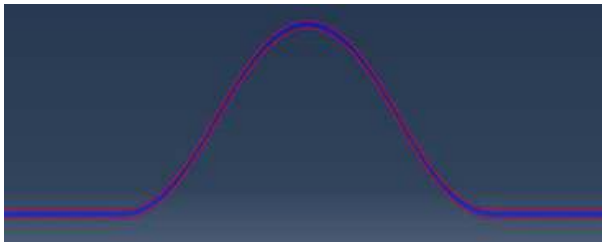


< F.E. 모델 측면도 >

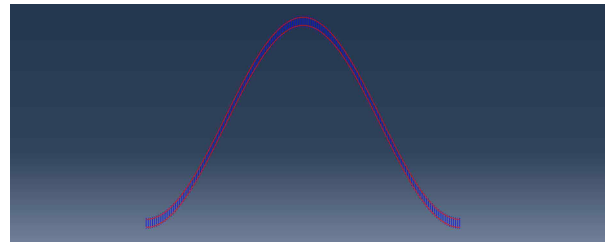
- F.E. 모델의 검증을 위하여 횡/연직방향 저항력을 고려하지 않은 STP가 60m적용된 260m 모델과 레일 양단이 단순고정된 60m 모델을 비교 분석
- 해석결과 두 모델간의 좌굴모드는 경계의 차이가 있어 다르지만, 좌굴온도는 최대 1.07%의 차이밖에 없음



(a) 온도-횡변위 선도



(b) STP\_260m 모델 좌굴모드

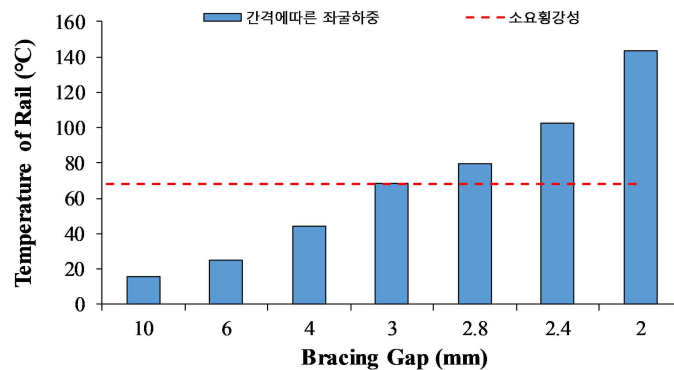


(c) Simple\_60m 모델 좌굴모드

< 좌굴해석 모델 비교 결과 >

- STP 시스템 적용 간격 도출

- 횡/연직방향 강성 보강방안의 설치 간격은 좌굴하중 도출시 STP시스템의 소요 횡강성과 비교해 안정적이어야 함
- 2m에서 10m간격까지의 변수를 설정하여 해석을 진행.
- 기존 연구에서 STP 시스템의 횡방향 소요 횡강성은 온도로 환산 시 약68℃수준.
- 해석결과 소요 횡강성 68℃를 만족하기 위한 간격은 3m이하 간격 필요.



< 브레이싱 간격에 따른 좌굴해석 결과 >

- STP용 침목/장치 성능요건

- 수치해석 결과 기존 목침목과 나사스파이크의 인발성능기준 30kN를 만족할 시 STP 연직방향 성능요건 만족을 만족하는 것으로 나타남.
- 횡방향 성능요건은 횡방향 저항력에 따른 변수해석을 진행하였으며, 그 결과 소요 횡강성 68℃를 만족하기 위해서는 최소 1000N/rail의 저항력이 확보되어야 한다.

- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 침목/장치 성능실험

- 실험개요

- STP 적용에 횡/연직방향 저항력 보강방안 필요
- 침목/장치의 성능 확보 필수
- 나사스파이크의 전단/인발 성능 소요 강성 확인
- STP 시스템 적용을 위한 성능 기준 존재 X
- ASTM-E488-96의 Direct loading Method 준용
- 침목과 나사스파이크의 전단저항선도 도출

- 실험체 및 실험지그(Jig)

- 실험체는 근입깊이에 따른 최소한의 거리 필요

< 실험 장비 최소 기준 >

| Adhesive Anchors              |                                        | All Other Anchors             |                                        |
|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Spacing between Test Supports | Minimum Distance to Edge or Test Frame | Spacing between Test Supports | Minimum Distance to Edge or Test Frame |
| Tension Loads                 |                                        |                               |                                        |
| 2.0 $h_{ef}$                  | 1.0 $h_{ef}$                           | 4.0 $h_{ef}$                  | 2.0 $h_{ef}$                           |
| Shear Loads                   |                                        |                               |                                        |
| 4.0 $h_{ef}$                  | 2.0 $h_{ef}$                           | 4.0 $h_{ef}$                  | 2.0 $h_{ef}$                           |

- 실험지그(Jig) 제작

- ASTM-E488-96을 참고하여 실험지그(Jig) 제작



(a) Reaction Bridge (Jig)



(b) Shear Plate & Pile

< 전단 실험 지그 >

- 전단실험 측정기기

- 유압실린더(TCH-3063)
- 중공로드셀(20tonf)
- 변위계(FDP-25A)
- 데이터로거(TMR-200)

- 전단하중 재하방법

- 초기하중은 최대하중의 5%로 규정(ASTM E488-96)
- 하중재하 시간은 1~3분으로 제한
- 하중재하속도는 분당 최대하중의 25~100%로 재하

- 전단하중 실험 세팅 순서

- 제작한 지그에 규격에 맞는 실험체(침목) 고정
- Shear Plate를 사이에 넣고 나사스파이크 체결
- Shear Plate와 Pile 연결
- Pile에 중공로드셀과 유압실린더 연결
- 변위값을 측정하기 위한 변위계 실험지그에 설치
- 데이터로거에 변위계와 로드셀을 연결
- 유압실린더를 통해 하중을 증가시켜 실험 진행

- 나사스파이크 및 침목 파괴 분석

- 전단실험에 따라 합성거동 하는 것으로 판단



(a) 나사스파이크

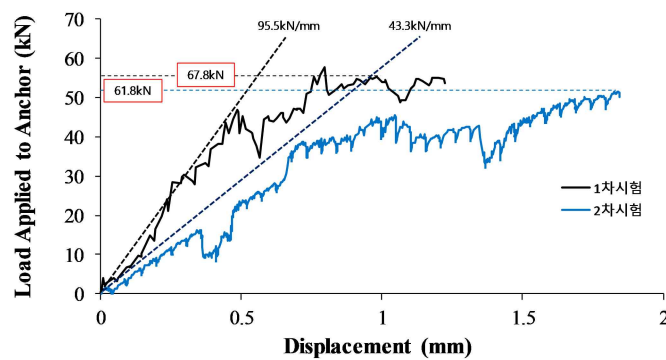


(b) 목침목

< 실험 결과 >

- 전단실험 결과 데이터 분석

- 실험결과를 비교하기 위해 2번의 실험 진행



< 목침목 전단실험결과 비교 분석 (평균) >

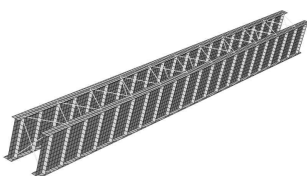
- 전단실험 결과 전단강성 및 전단하중 비교

- 1차시험 전단하중 : 67.8kN
- 1차시험 전단강도 : 95.5kN/mm
- 2차시험 전단하중 : 61.8kN
- 2차시험 전단강도 : 43.3kN/mm

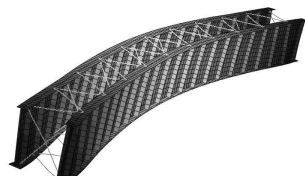
○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 사용성평가

- 종방향 미끄럼허용 궤광시스템의 열차 주행안전성 평가
- 해석 조건 및 F.E. 모델

- 30m의 교량에서 STP 시스템 10m 적용(보강방안 간격 2.5m)
- Abaqus를 활용한 교량 자유진동해석 진행.
- 차량에 대한 모델링은 VI Rail을 이용해 KTX 차량 고려.



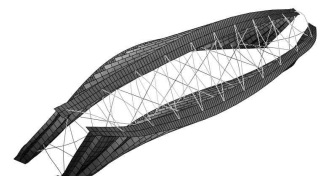
(a) Numerical model



(b) 1<sup>st</sup> horizontal bending



(c) 1<sup>st</sup> vertical bending



(d) 1<sup>st</sup> torsion

< 판형교 해석모델 및 모드형상 >

- STP 시스템이 적용된 주행안전성 및 승차감 평가

- 최대 탈선계수와 윤증감소율은 각각 0.04, 0.209로 국내 철도차량안전기준에 부합.
- 승차감은 100km/h에서 200km/h의 속도를 고려하였으며, ISO 2631 규격 기준 RCL(Ride Comfort Level) 99dB에서 108dB으로 나쁘지 않은 승차감 이상.

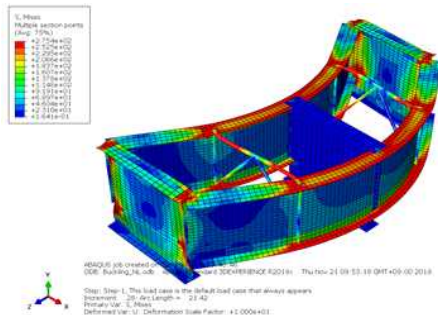
- 주행안전성 해석 결과

< 주행안전성 해석 결과 >

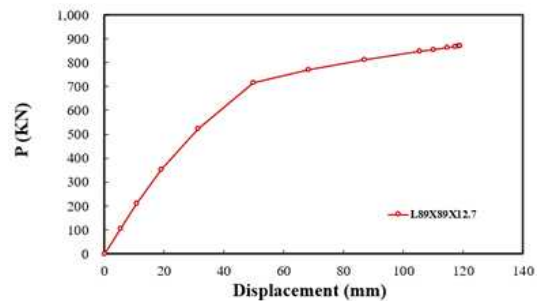
| Type                      |         |              | 100km/h | 150km/h | 200km/h |
|---------------------------|---------|--------------|---------|---------|---------|
| Derailment coefficient    |         |              | 0.040   | 0.036   | 0.038   |
| Wheel unloading variation |         |              | 0.066   | 0.117   | 0.209   |
| Lateral force (kN)        |         |              | 3,808   | 3,422   | 3,530   |
| Acc. (m/s <sup>2</sup> )  | Boige   | Lateral      | 0.050   | 0.087   | 0.119   |
|                           |         | Longitudinal | 0.059   | 0.142   | 0.362   |
|                           | Carbody | Lateral      | 0.021   | 0.035   | 0.053   |
|                           |         | Vertical     | 0.691   | 0.721   | 1.435   |

- STP 시스템의 안전성 확보를 위한 교량 보강방안 및 소요 성능 평가

- 모델링은 가로보 총 6m로 솔리드모델로 고려.
- 보강방안의 상부스트럿의 유무에 따른 영향분석.
- 해석결과 제안된 STP 보강방안은 충분한 횡저항력 성능 확보하였으며, 상부스트럿이 존재 시 저항성능 향상.
- 검토 결과 적정제원은 L-89X89X12.7.



(a) L89X89X12.7



(b) Load-Displacement Curve

< 유한요소 해석결과 >

- 케이스별 해석결과

< 케이스별 해석결과 >

| 구분              | Scection       | w/ Struts |           | w/o Struts |           |
|-----------------|----------------|-----------|-----------|------------|-----------|
|                 |                | $W_{cr}$  | Differ(%) | $W_{cr}$   | Differ(%) |
| Combined        | L-100X100X10.0 | 203.7     | 157.4     | 215.8      | 173.2     |
|                 | L-76X76X12.7   | 242.1     | 206.5     | 203.0      | 157.0     |
|                 | L-76X76X6.4    | 187.0     | 136.7     | 117.0      | 48.1      |
|                 | L-51X51X3.2    | 135.2     | 71.1      | 33.5       | -57.6     |
| Bracing only    | L-100X100X10.0 | 126.5     | 60.1      | 82.0       | 3.7       |
|                 | L-89X89X12.7   | 144.7     | 83.1      | 89.3       | 13.0      |
|                 | L-89X89X11.1   | 135.0     | 70.9      | 79.4       | 0.5       |
|                 | L-76X76X12.7   | 151.2     | 91.4      | 74.2       | -6.0      |
|                 | L-76X76X6.4    | 113.4     | 43.5      | 39.3       | -50.3     |
|                 | L-51X51X3.2    | 46.0      | -41.8     | 11.1       | -85.9     |
| Cross-beam only | -              | 79.0      | -         | 79.0       | -         |

(3) 4차년도

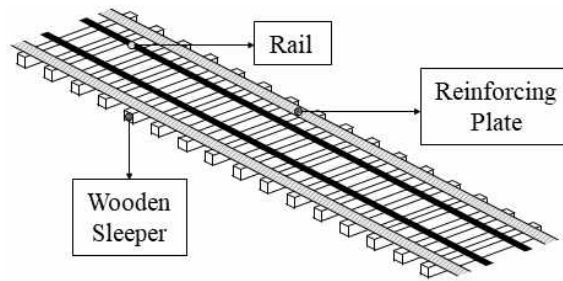
○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 적용을 위한 교량평가

- STP 시스템 횡방향 보강을 위한 보강판 성능 검토

- STP 시스템의 침목고정장치 부재로 인한 횡방향 저항력 감소를 해결하기 위해 설치가 쉬운 보강판을

추가하는 방안을 고안.

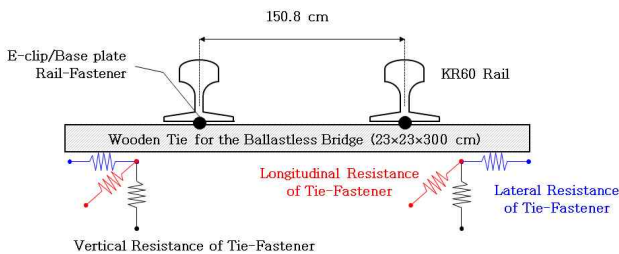
- 보강판의 설치는 침목 상단 양 끝에 설치하여 궤광의 횡방향 저항력 증대를 최대화.
- 보강판의 효과를 알아보기 위해 유한요소 좌굴해석을 수행 함.



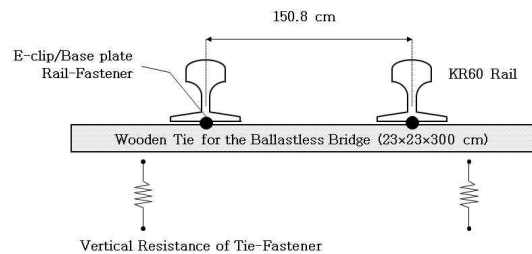
< STP 보강판 설치 개요 >

- F.E Model

- 보강판의 성능 검토를 위한 F.E. 모델은 3차년도의 STP 시스템 60m가 적용된 좌굴 모델을 사용.
- F.E. 모델의 단면도에서 일반 단면은 3축에 대한 스프링 요소를 적용하였으며, STP 구간은 병진방향 스프링 요소만 적용.



(a) General Section



(b) STP Section

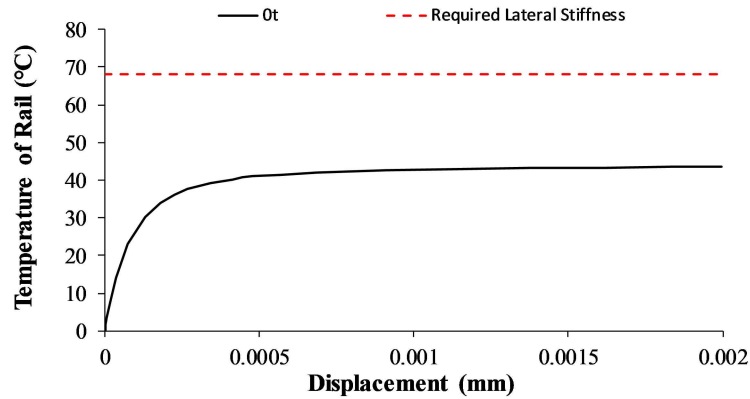
<F.E Model (Cross Section)>

- 체결장치의 저항력은 Conn3d2 요소를 사용하여 구성하였으며, 다음 표와 같음.

< 체결장치 물성치 >

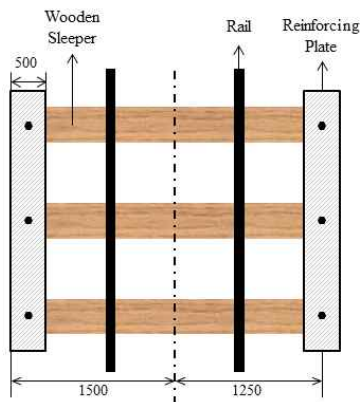
| Type            | Resistance     |
|-----------------|----------------|
| Longitudinal    | 8000 N, 0.5 mm |
| Lateral         | 2.6E+4 N/mm    |
| Vertical        | 3.5E+4 N/mm    |
| X-axis Rotation | 6.0E+4 N/rad   |
| Y-axis Rotation |                |
| Z-axis Rotation | 1.0E+5 N/rad   |

- 보강판이 설치된 STP 시스템의 좌굴해석을 하기에 앞서 비교분석을 위한 순수한 궤광의 횡방향 저항 강성을 도출하기 위한 유한요소 해석을 진행.

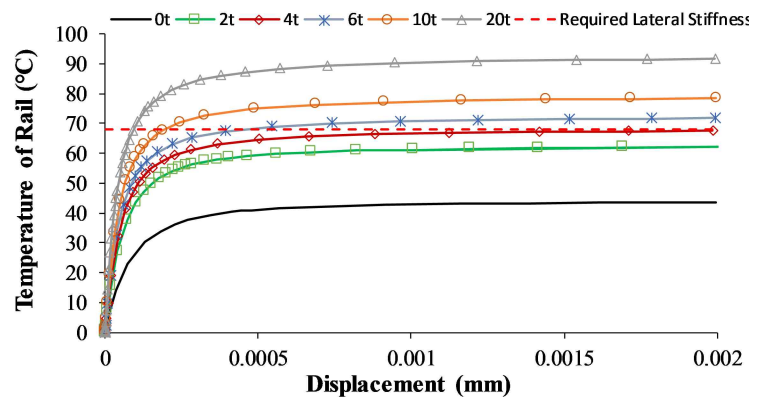


< 순수한 궤광의 좌굴해석 결과 >

- 보강이 되지 않은 순수한 궤광 60m의 좌굴 응력은 약 45.5°C로 소요횡강성 68°C를 만족하지 못하는 것으로 나타남.
- 이는 별도의 보강이 없는 STP시스템은 좌굴에 매우 취약함을 알 수 있음.
- 그리하여 보강판을 설치하여 해석을 진행하였으며, 폭은 500mm, 두께는 2~20mm로 변수해석을 진행함.

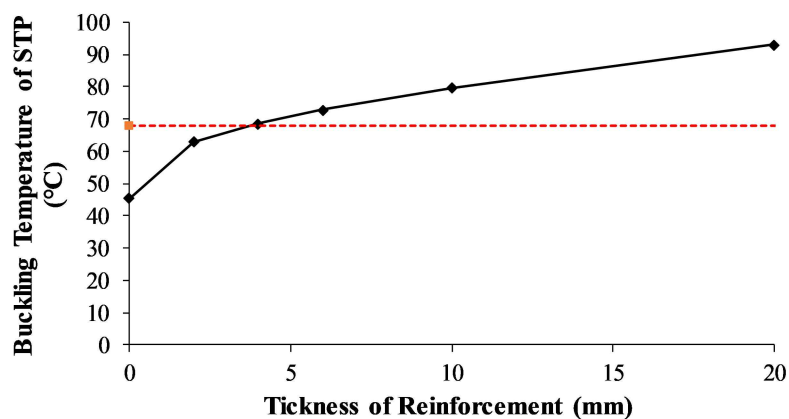


< STP 보강판 설치 개요 >



< 보강판 두께에 따른 좌굴해석 결과 >

- 해석결과 약 4mm의 보강판 설치 시 소요횡강성 68°C를 만족하는 것으로 보이나, 정확한 판단을 위해 Southwell Plot Method를 활용하여 분석.



< 좌굴응력 (Southwell Plot) >

- 분석결과 4mm이상의 보강판 설치시 좌굴응력이 68.5°C로 소요횡강성을 만족하는 것으로 나타남.
- STP 시스템 보강판 현장실험
- 횡방향 보강판의 성능을 검증하기 위하여 현장에서 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광의 Testbed를 구현하여 실험을 진행하였다. Test bed를 구축하기 위해 30m 구간에 60cm의 침목간격으로 기존 PC침목을

목침목으로 교체 시공.

- 중앙의 10m구간을 Sliding Track Panel을 모사하기 위해 자갈을 제거하였으며, 횡방향으로 자유거동할 수 있게 세팅.
- 횡방향 저항력 증대를 위한 보강판을 다음 그림과 같이 설치하였으며, 보강판의 폭은 100mm, 두께는 4mm와 6mm를 시공.
- 하중재하를 위한 유압실린더와 로드셀의 설치를 위하여 반력벽을 제작하였으며, 다음 그림과 같이 기존 벽에 설치하여 평탄성을 확보.



< 궤도 시공 >

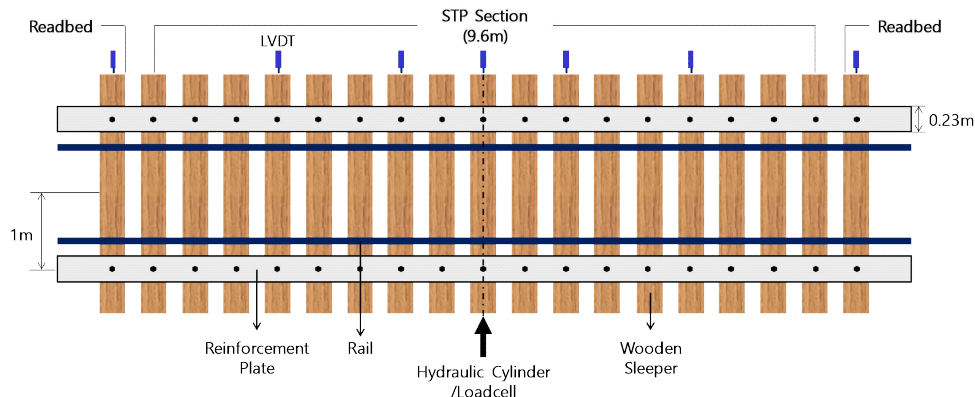


< 보강판 시공 >



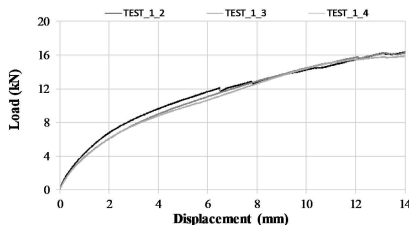
< 반력벽 시공 >

- 실험을 위한 계측 기기의 설치 위치 선정과 세팅은 다음 그림과 같음.

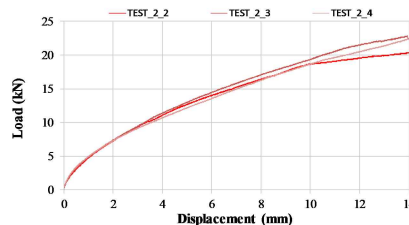


< 보강판 설치 및 측정기기 세팅 >

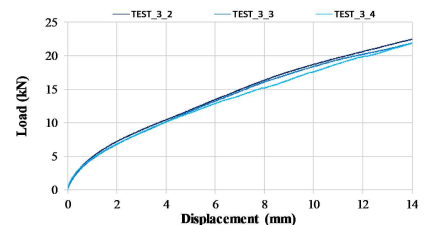
- STP 시스템이 적용된 궤광의 횡방향 강성 도출 실험은 다음과 같이 진행하였으며, 각 실험별로 사전 실험 1회를 포함 한 총 4회를 수행.
- STP 시스템 횡방향 보강을 위한 보강판 현장실험 결과 변위 하중 선도는 다음과 같음.



< 순수한 궤광 실험 결과 >



< 보강판 4mm 실험 결과 >



< 보강판 6mm 실험 결과 >

- 궤광 유격에 의한 변수를 제거하기 위하여 불안정한 초기 데이터를 제거한 후 강성을 산정하여 각 실험간 결과를 비교 분석 수행.
- 현장실험 결과 순수한 궤광 대비 4mm보강판 설치 시 약 1.5배, 6mm 설치 시 약1.7배 증가함을 알 수 있다. 이는 매우 유의미한 결과로 횡방향 저항력 증대에 효과적임을 알 수 있음.
- 또한 현장실험의 타당성을 확인하기 판단하기 위해 유한요소 해석결과와 비교 분석을 수행 함.

< 현장실험/해석 비교 분석 >

| Reinforcement | Experiment | Analysis | Ratio (%) |
|---------------|------------|----------|-----------|
| 0 mm          | 0.7047     | 0.6815   | 96.7      |
| 4 mm          | 1.0639     | 1.0273   | 96.6      |
| 6 mm          | 1.1823     | 1.1235   | 95.0      |

- 현장실험과 유한요소 해석의 비교분석 결과 최대 오차 5%으로, 매우 유사한 결과를 도출하였으며, 이는 미끄럼을 허용하는 침목형 궤광의 현장 Testbed 실험결과가 타당함을 알 수 있음.

## (7) 무도상교량 장대레일 시험기술 (핵심성과 B, B-4)

### (1) 1차년도

#### ○ 무도상교량 장대레일 시험기술

- 국내외 시험방법 및 문헌조사
- 무도상 교량 장대레일화 실내실험 기법 조사 및 센서 TEST

#### ○ 국내외 시험방법 및 문헌조사

- 유도상 교량에서는 자갈도상부설로 장대레일 축력에 대한 저항력이 확보되나 무도상 판형교에서는 종 · 횡방향 저항력 확보가 어려워 장대레일 부설을 기피함
- 최근 교량받침의 배치방안에 대한 연구와 축력 저감받침의 개발 및 설치, 활동체결구의 활용, 교량상 장대레일 구간 인근의 신축이음매 설치 등에 대한 연구를 통해 무도상 판형교에 장대레일 부설이 가능
- 전장 25m이상의 교량은 피해야 하나 25m 미만의 교량에 있어서도 거더, 교대와 교각의 강도에 대해 검토하고 강도가 부족한 경우에는 보강, 교량 위 레일체결부 및 침목과 거더와의 체결부는 횡방향의 저항력을 가질 뿐 아니라 부상을 충분히 방지 할 수 있는 구조로 설계.
- 무도상 교량과 5m이상의 유도상 교량에 있어서는 전 · 후방향의 종저항력을 주지 않도록 해야 함. 교대와 교각은 장대레일로 인해 발생하는 힘에 대해 충분히 견딜 수 있는 구조로 함(선로유지관리지침).
- 장대레일 종하중은 1궤도당 10KN/m (1tonf/m) 로 하고 작용위치는 레일면상으로 하며, 궤도 및 교량의 구조형식, 거더 길이, 장대레일 신축이음, 지점의 배치 등을 고려해서 1궤도당 2000KN (200tonf)을 초과하지 않도록 제시
- 제동하중은 LS하중의 15%,시동하중은 동륜하중의 25%로 사용(철도설계기준(철도교))
- 일본기준(신간선 건조물 설계표준)

<일본의 장대레일 설치 기준>

| 궤도조건              | 교형길이<br>(m) | 교량전장<br>(m) | 신축<br>이음매 | 지점<br>배치방안                       | 레일당<br>복진저항 |
|-------------------|-------------|-------------|-----------|----------------------------------|-------------|
| 무도상교량<br>(교량침목궤도) | $l < 60$    | $L < 60$    | 없음        | 제약없음                             | 0t/m        |
|                   |             | $L \geq 60$ | 없음        | 단순교가 연속할 때 FFMM<br>방식으로 지점배치     | 0.75t/m     |
|                   | $l \geq 60$ |             | 있음        | 지지의 배치에 관련하여 신축<br>이음매의 위치를 결정한다 | 0.75t/m     |

- UIC 774-3R에서 언급하는 내용으로 교량 상 장대레일에서 영향을 미치는 주요 매개 변수로는 교량의 신축길이(지간장), 교형길이(경간장), 교형의 휨강성, 교형의 높이 등 제시.
- 교량주형의 온도는  $\pm 35^{\circ}\text{C}$ 를 초과하지 않고 레일의 온도는  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 를 초과하지 않으며 교량주형과 레일 간의 온도차는  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 를 넘지 않아야 함.
- 일반 토공구간과는 달리 교량 상 장대레일의 축력분포는 받침의 배치방식에 따라 영향을 받는 구조
- 교량 받침의 고정단 부근에서는 인장력이 발생하며 가동단 부근에서는 압축력이 발생
- FFMM방식이 FMFM방식보다 축력의 집중현상이 발생하지 않으므로 최대축력의 측면에서는 유리
- 교량 상에 장대레일을 부설할 경우, 온도변화에 따라 교형이 변형하기 때문에 장대레일의 온도축력 이외에 교량 신축으로 인한 부가축력이 발생

#### ○ 무도상 교량 장대레일화 실내실험 기법 조사 및 센서 TEST

- 교량(주부재, 하부구조, 체결구 등)의 강성 및 동특성 확인을 위한 시험 방법 조사
- 기존 무도상 교량의 궤도 부분은 지금도 유도상화 및 보강형을 추가 하는 방식으로 개량이 진행
- 판형교 및 트러스 교량의 궤도 부분을 실험한 경우가 있으면 설계 및 해석에 도움이 될 것이나, 동일한 경우는 찾지 못함.
- 콘크리트 및 자갈 궤도를 실패형으로 실험한 경우를 비교 검토 한 후, 무도상 교량에 적용하는 방식을 취하는 것으로 관련 사례 조사



<중 · 횡저항력 및 수평 하중 재하 시험>

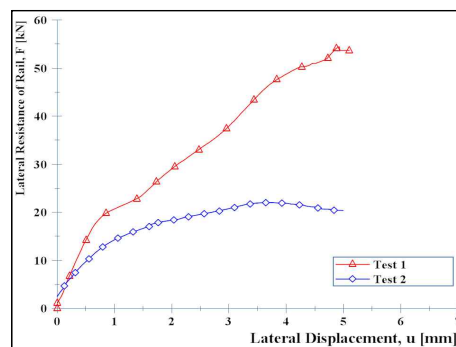
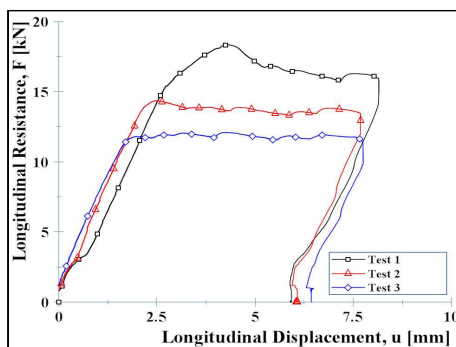
## (2) 2차년도

### ○ 무도상교량 장대레일 시험기술

- 실내실험을 통한 궤도-교량 상호작용 기초실험
- 무도상 교량 실내 실험
- 무도상 교량 실외 실험

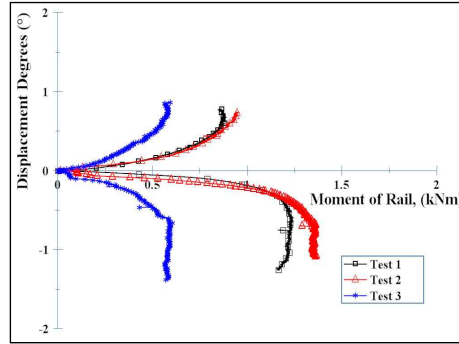
### ○ 실내실험을 통한 궤도-교량 상호작용 기초실험

- 무도상 교량의 동특성 측정 (종방향, 횡방향 저항력 측정)



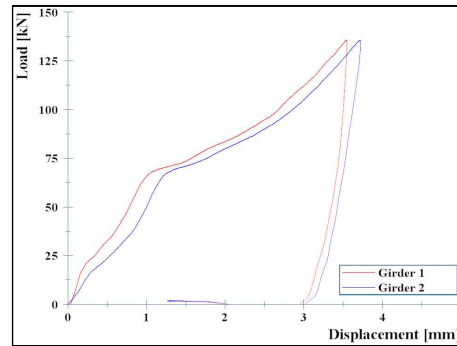
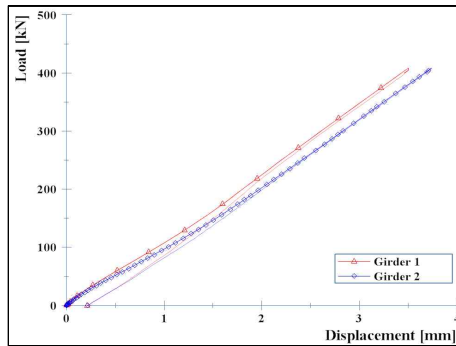
<레일체결장치 종방향, 횡방향 저항력 실험 결과>

- 체결장치의 종방향 저항력 실험 결과 Test 1의 종방향 저항력은 12.93kN, Test 2의 종방향 저항력은 11.09kN, Test 3의 종방향 저항력은 9.61kN이 산정. 도출된 값으로 계산한 레일체결장치의 종방향 저항력은 11.21kN, 한계변위의 경우 평균값은 1.75mm로 측정
- 레일체결장치 비틀림 저항력 실험 결과
  - 목침목의 경우, 레일과 침목 사이의 타이플레이트의 횡방향 및 비틀림 저항력이 매우 중요하며, 실험은 KRS TR 0014-15에 준용하여 수행



<레일체결장치 비틀림 저항력 실험 결과>

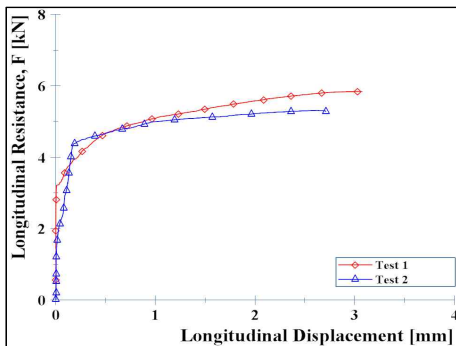
- 레일체결장치의 비틀림 저항력 실험 결과 Test 1의 비틀림 저항력은 좌,우 각각 1.66kN, 1.03kN, Test 2의 비틀림 저항력은 좌,우 각각 1.71kN, 1.23kN, Test 3의 비틀림 저항력은 좌,우 각각 0.66kN, 0.53kN 로 측정
- 거더 수직·수평 재하 실험 결과
- 무도상 교량은 레일장대화 기술 개발 시 레일 장대화로 발생하는 부가적인 축력으로 인한 노후화된 교량의 안전성에 대한 우려를 야기하여, 새로운 궤도 구축 시에 보강이 필요



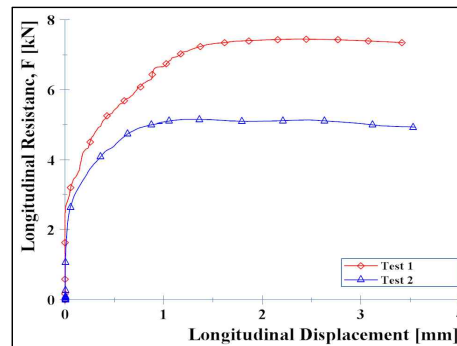
<거더 수직·수평 재하 실험 결과>

#### ○ 무도상 교량 실내 실험

- 무도상 목침목 종방향 저항력 실험
- 무도상 궤도와 같은 경우, 유도상궤도의 도상 저항력과 달리 무도상궤도에서는 레일은 체결장치와 침목에 결속되어 있으며, 침목은 교량침목고정장치에 의해 고정되어 있어, 교량침목고정장치의 체결력이 목침목의 종방향 저항력이 됨.
- 목침목 종방향 저항력 실험은 구형 교량침목고정장치(T-bolt)와 신형 교량침목고정장치(탄성체결식)에 대하여 각각 2회 씩 진행하였으며, 1mm/min의 일정한 속도로 침목에 하중을 재하시키며, 구형 교량침목고정장치인 T-bolt와 탄성체결식 교량침목고정장치에 대하여 종방향 저항력 실험을 진행



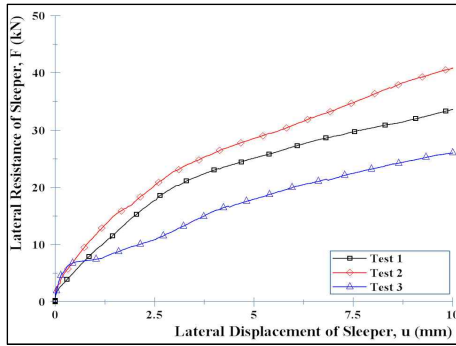
(a) T-bolt



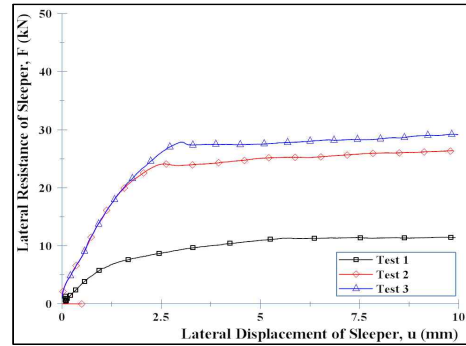
(b) 탄성체결식

<목침목의 종방향 저항력 실험결과>

- 무도상 목침목 횡방향 저항력 실험
- 구형 교량침목고정장치인 T-bolt와 탄성체결식 교량침목고정장치에 대하여 횡방향 저항력 실험



(a) T-bolt



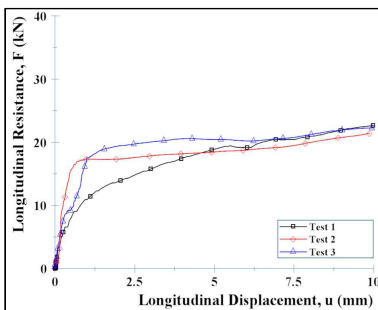
(b) 탄성체결식

<목침목의 횡방향 저항력 실험결과>

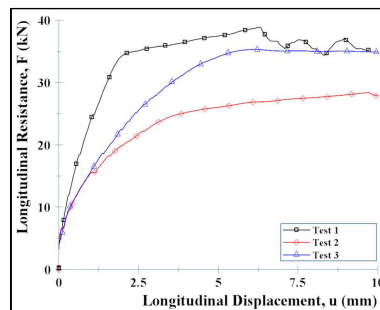
- 구형 교량침목고정장치(T-bolt)의 횡저항력 및 한계변위는 Test 1의 경우 각각 31.14kN과 8.52mm, Test 2의 경우 각각 42.75kN 및 11.00mm, Test 3의 경우 각각 24.75kN과 9.00mm로 측정
- 신형 교량침목고정장치(탄성체결식)의 종저항력 및 한계변위는 Test 1의 경우 각각 11.34kN 및 5.79mm, Test 2의 경우 각각 24.07kN과 2.65mm, Test 3의 경우 각각 27.45kN 및 2.83mm로 측정

- 궤광 종방향 저항력 실험

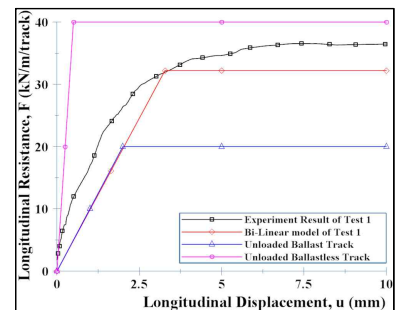
- 무도상실험은 액추에이터를 이용하여 1mm/min의 속도로 레일 양단에 가력하였으며, 레일 및 침목에 충분한 미끄러짐이 발생하면 실험을 종료함.
- 실험은 단위조합에 대하여 3회, 다수조합에 대하여 1회 수행되었으며, 이중 단위조합에 대한 실험은 구형 및 신형 침목고정장치 체결 시에 대하여 각각 수행



(a) T-bolt(단위조합)



(b) 탄성체결식(단위조합)



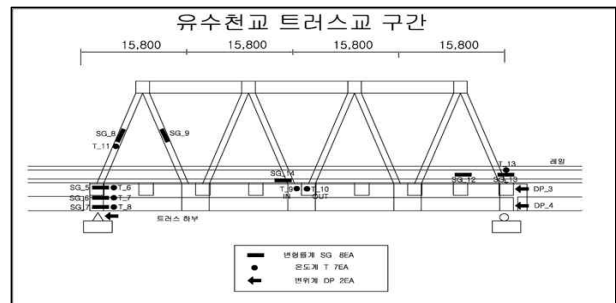
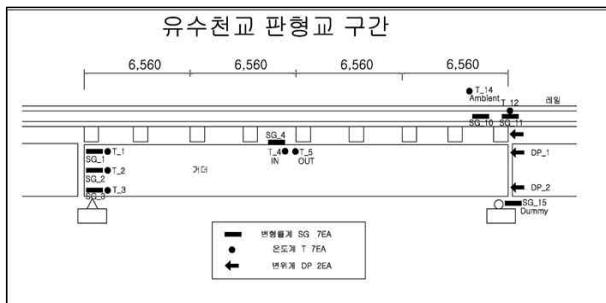
(다수조합)

<궤광의 종방향 저항력 실험결과>

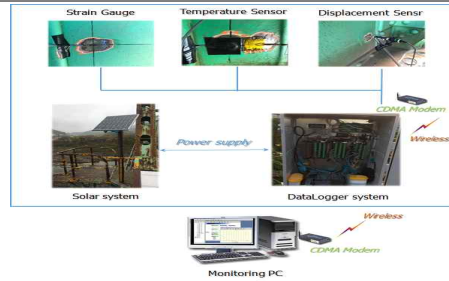
- 실험결과 종저항력은 약 32.22kN, 한계변위는 약 3.28mm로 측정실험

○ 무도상 교량 실외 실험

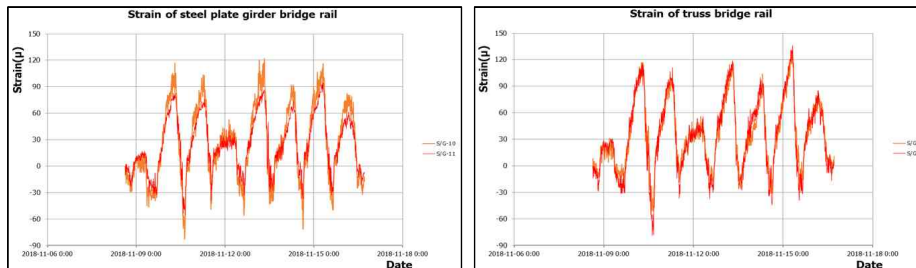
- 경전선 폐선 부지내 무도상 교량(판형교, 트러스)의 환경변화에 따른 부재 거동 장기 측정



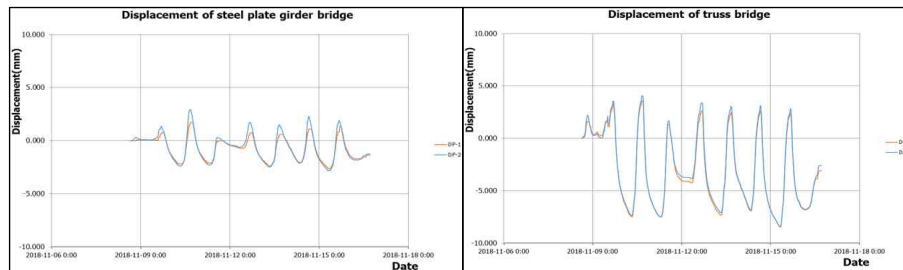
<판형교 구간 및 트러스교 구간 계측기 설치 위치>



<계측 모니터링 시스템 구성도>



<판형교, 트러스교 레일 변형률>



<판형교, 트러스교 거더 변위>

- 무도상 교량 해석기법의 적절성 검토를 위한 실외 실험 결과
  - 온도 측정 결과 판형교 거더 온도(32.13℃)가 트러스교 거더 온도(24.36℃)보다 최대 온도가 약 6℃ 정도 높게 측정되었다. 이는 판형교의 거더가 높아서 나타나는 현상으로 사료됨
  - 변형률계 측정 결과 거더 변형률은 거더 중앙 상부에서 가장 크게 변화하였으며, 판형교 거더 변형률 (최대 인장 80.0 $\mu$ , 최대 압축 -70.0 $\mu$ )이 트러스교 거더 변형률(최대 인장 58.2 $\mu$ , 최대 압축 -35.0 $\mu$ )보다 변화량이 크게 도출. 변위계 측정 결과 거더 변위 증가(최대 3.588mm) 보다는 변위 감소(-8.457mm)가 크게 나타났으며, 이는 대기온도가 낮아 거더의 수축량이 커서 발생한 것으로 사료됨
  - 온도에 증감으로 인해 거더, 레일 변형률, 거더 변위가 발생하였고, 초기 측정 대비 온도가 감소하면 변위 감소(-), 압축 변형률이 나타났으며, 온도가 상승하면 변위 증가(+), 인장 변형률이 측정

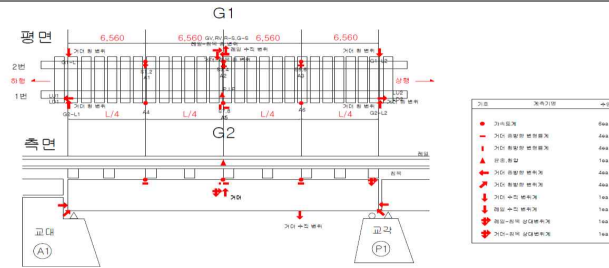
### (3) 3차년도

#### ○ 무도상교량 장대레일 시험기술

- 무도상 교량 시험 기술의 현장 적용성 평가
- 무도상 교량상 레일장대화에 따른 궤도 종저항력, 횡저항력 시험 기술 개발
- TEST BED 현장 장기 모니터링 시스템 구축

#### ○ 무도상 교량 시험 기술의 현장 적용성 평가

- 국내철도설계지침 (KR C-14030, 2018)에서는 표준 동적하중에 차륜·레일 간 요철, 레일 절손 등에 기인하는 차량 탄성하 부분의 상·하진동에 따른 예외적인 충격에 의한 동적하중을 제시하고 있음
- 유수천교 재하시험 계측기 설치 위치도



<유수천교 계측기 위치도>

- 궤도 충격계수 결과

- 윤중은 열차속도에 따른 동적 하중으로 간주할 수 있으며 열차의 정적하중과 비교하여 궤도의 충격계수를 추정

<유수천교 궤도 충격계수>

| 속도<br>(km/h) | $P_{sta}$ (Average)<br>(tonf) | $P_{dyn}$ (Average)<br>(tonf) | 충격계수  |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| 5            | 5                             | 5.05                          | 1.010 |
| 10           |                               | 5.10                          | 1.020 |
| 20           |                               | 5.16                          | 1.032 |
| 30           |                               | 5.34                          | 1.068 |

- 거더 충격계수 결과

- 무도상 교량에 열차 주행 시 응답 이력 곡선을 이용 거더에 설치된 센서의 응답을 충격계수로 산정

<유수천교 거더 충격계수>

| 속도<br>(km/h) | 충격계수  |       |
|--------------|-------|-------|
|              | 거더 1  | 거더 2  |
| 5            | 0.017 | 0.016 |
| 10           | 0.026 | 0.023 |
| 20           | 0.048 | 0.044 |
| 30           | 0.070 | 0.064 |

- 고유진동수 결과

- 무도상 교량의 고유진동수는 동적재하시험 시 모터카가 30km/h의 속력으로 주행 시의 고유진동수 분석

<유수천교 고유진동수>

| 이론 고유진동수(Hz) |      | 실측 고유진동수(Hz) |      |
|--------------|------|--------------|------|
| 상한계          | 하한계  | 거더 1         | 거더 2 |
| 8.42         | 3.43 | 6.78         | 7.17 |

- 처짐 결과

- 정적재하 시 Load Case 지점에서 모터카 재하를 실시하였으며 각 구간에 대한 처짐 측정

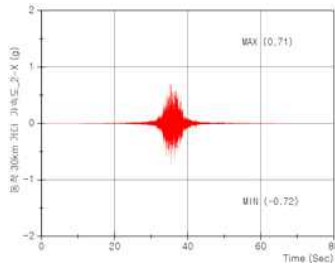
<유수천교 연직처짐(mm)>

| L.C 1 | L.C 2 | L.C 3 | L.C 4 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.95  | 1.84  | 2.11  | 2.28  |

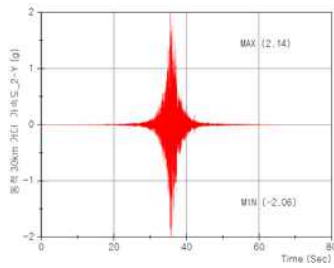
- 거더 가속도 결과

- 동적재하 시 거더의 1/4 지점, 2/4 지점, 3/4 지점에 가속도 센서를 설치하여 각각의 속도에 대해 가속도를 측정

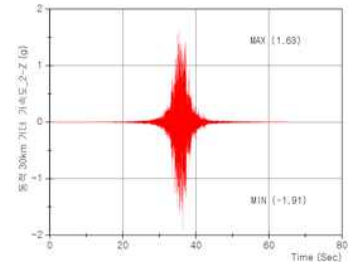
<속도별 가속도 응답>



(g) 30km/h X축

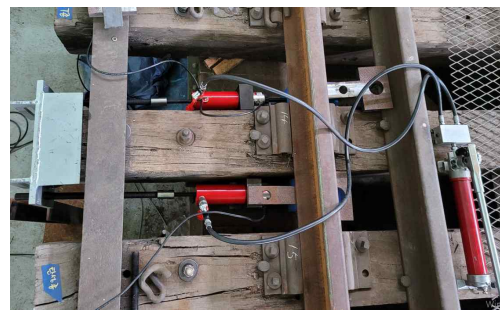


(h) 30km/h Y축



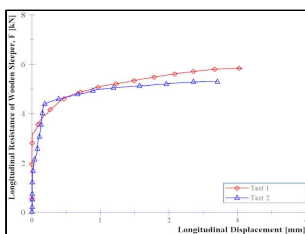
(i) 30km/h Z축

- 대상 교량의 가속도계 측정 결과 종방향 가속도는 최대 0.72g, 횡방향 가속도는 2.39g, 수직방향 가속도는 1.91g로 측정
- 무도상 교량상 레일장대화에 따른 궤도 종저항력, 횡저항력 시험 기술 개발
  - 철도설계지침 (KR C-08080, 2017) 궤도-교량 종방향 상호작용 검토에서는 궤도의 종류나 열차 수직하중의 유무에 따라 저항력-변위 선도를 비선형으로 제시
  - 무도상교량에 대한 물성치는 정확하게 정립되지 않아 국외의 철도설계코드인 (Eurocode, 2002) 에서는 궤도의 종류나 열차 수직하중의 유무에 따라 저항력-변위 선도를 비선형으로 제시하되 각각의 수치는 설계자가 직접 실험 등을 거쳐 현장 적용
  - 도상 횡저항력 측정 장치
- 개발한 무도상교량의 횡방향 저항력 측정 장치는 로드셀(1EA)과 변위계(1EA)로 구성되었으며 실제 기존선 궤도의 하중 및 변위를 측정하는 장치



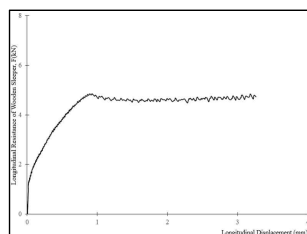
<종 · 횡방향 저항력 측정장치>

- 시제품 성능 평가 TEST
  - 제작된 종저항력 및 횡저항력 측정 장비 시제품의 검증을 위해 2차년도에 부산대학교 선박해양연구원으로 이송한 무도상교량인 연하가도교를 이용하여 개발된 측정 장치의 성능 평가를 실시
- 종저항력 측정 장치 실험 결과
  - 개발된 무도상궤도 종저항력 측정장치에 대해 실내실험을 수행한 결과 종저항 장치의 경우, 전년도 연구 결과와 유사한 경향을 보임



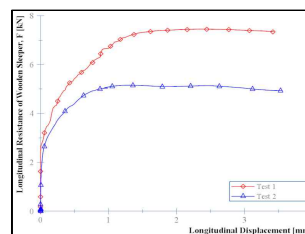
(a) 전년도

실험결과\_T-Bolt



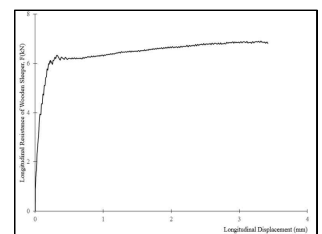
(b) 개발 장치

실험결과\_T-Bolt



(c) 전년도

실험결과\_탄성체결식

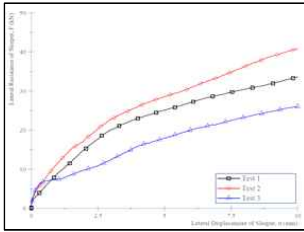


(d) 개발 장치

실험결과\_탄성체결식

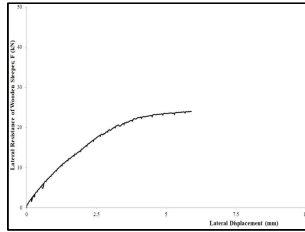
<종저항력 측정 실험 결과 비교>

- 횡저항력 측정 장치 실험 결과
  - 개발된 무도상궤도 횡저항력 측정장치에 대해 실내실험을 수행한 결과, 전년도 연구 결과와 유사한 경향을 보임



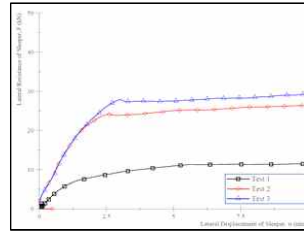
(a) 전년도

실험결과\_T-Bolt



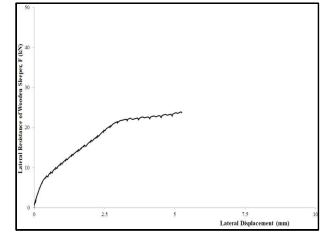
(b) 개발 장치

실험결과\_T-Bolt



(c) 전년도

실험결과\_탄성체결식



(d) 개발 장치

실험결과\_탄성체결식

<횡방향력 측정 실험 결과 비교>

○ TEST BED 현장 장기 모니터링 시스템 구축

- TEST BED를 구축 할 무도상 판형교(한천교)는 서울시 성동구 용답동에 소재되어 있으며, 현장 답사를 통해 상호작용 해석 수행을 위한 실측 값을 측정하였으며, 센서 설치 위치를 검토함

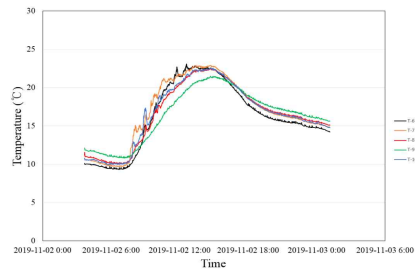
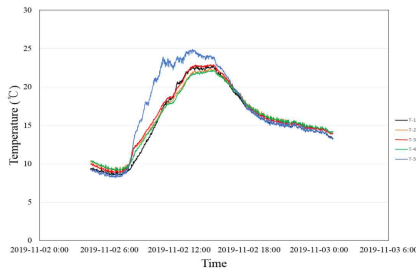
- 현장 답사 및 상호작용 해석 수행, 교량 보수·보강 방안 등을 고려하여 센서 설치 위치 및 측정 항목을 도출

<궤도-판형교량 계측 항목>

| 구분    | 궤도 | 계측기     | 설치 위치  | 비고 |
|-------|----|---------|--------|----|
| 상부 구조 | 레일 | 횡방향 변위계 | 레일 이음매 |    |
|       |    | 윤중 · 횡압 | 레일 하중  |    |
|       | 거더 | 중 변위계   | 거더     |    |
|       |    | 변형률계    | 거더     |    |
|       |    | 가속도계    | 거더     |    |

- 온도 센서는 판형교 주거더 1 (T1~T5), 주거더 2(T6~T10)에 설치하였으며, 각 거더에는 1/4지점, 2/4지점, 3/4지점 별 거더 복부에 설치함

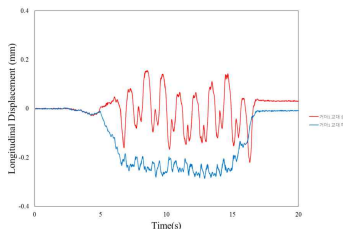
- 주거더 1이 주거더 2에 비해 전체적인 온도가 높은 경향이 나타났으며, 이는 직사광선이 주거더 1에 더욱 영향을 미치는 것으로 보임



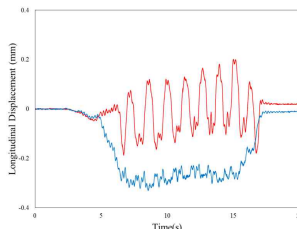
<온도 측정 결과>

- 한천교의 종변위 센서는 판형교 주거더 1(D1~D4), 주거더 2(D5~D8)에 설치하였으며, 각 거더에는 교대부와 교각부에 설치하였으며, 대상 교량은 선로가 복선으로 되어 있어 열차 상행시 상행부의 주거더 1에 비해 하행부의 주거더 2의 종변위 응답 값은 미소한 수준임

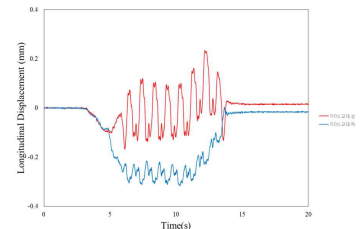
- 한천교의 종변위 센서는 판형교 주거더 1(D1~D4)의 계측 결과 교대부에서는 거더 상부와 하부의 종변위 차가 뚜렷히 나타났으나 교각부에서는 거더 상부와 하부의 종변위 차가 유사한 경향으로 나타남



(a) 도시철도



(b) ITX-청춘  
<변위 측정 결과>



(c) KTX-산천

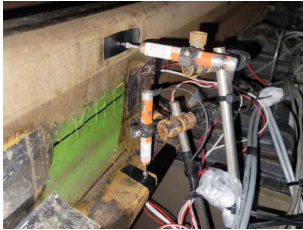
#### (4) 4차년도

##### ○ 무도상교량 장대레일 시험기술

- 운영중인 노선에 대한 시험 기술 현장 적용
- 무도상교량 장대레일화 시험기준[안]
- 무도상교량 장대레일화 현장 유지관리기준[안]

##### ○ 운영중인 노선에 대한 시험 기술 현장 적용

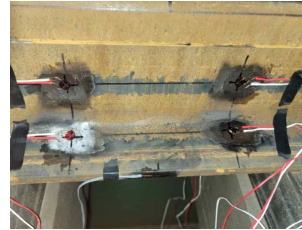
- 한천교와 같이 시험부설된 무도상 교량의 장대레일 및 합성침목, 합성침목 구성품의 궤도 응답을 통해 궤도 시설물의 성능 검증
- 분석결과 한천교의 주행안전성 및 궤도구조 안전성은 기준을 만족하는 것으로 나타남



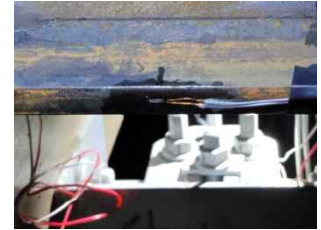
(a) 레일 변위



(b) 침목 변위



(c) 윤중/횡압



(d) 레일응력

<한천교 궤도시설물 성능검증>

<한천교 궤도시설물 성능검증 결과 종합 (최대값)>

| 구 분           |              | 시험결과(최대값) |       |        |       |        |       | 평가기준                                                         |       | 평가결과 |
|---------------|--------------|-----------|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------------------------------------------------|-------|------|
|               |              | 1차        |       | 2차     |       | 3차     |       |                                                              |       |      |
| 주행<br>안전성     | 탈선<br>계수     | KTX-산천    | 0.100 | KTX-이음 | 0.116 | KTX-이음 | 0.128 | － 최대값 : 1.2<br>－ 빈도누적초과 확률<br>・ 100.% ≤ 0.8<br>・ 0.10% ≤ 1.1 |       | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 0.110 | ITX-청춘 | 0.238 | ITX-청춘 | 0.227 |                                                              |       |      |
|               |              | 도시철도      | 0.185 | 도시철도   | 0.170 | 도시철도   | 0.299 |                                                              |       |      |
|               | 윤중<br>감소율    | KTX-산천    | 0.302 | KTX-이음 | 0.369 | KTX-이음 | 0.240 | － 빈도누적초과 확률<br>・ 100.% ≤ 0.5<br>・ 0.10% ≤ 0.8                |       | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 0.560 | ITX-청춘 | 0.572 | ITX-청춘 | 0.653 |                                                              |       |      |
|               |              | 도시철도      | 0.675 | 도시철도   | 0.673 | 도시철도   | 0.648 |                                                              |       |      |
|               | 축당횡압<br>(kN) | KTX-산천    | 13.81 | KTX-이음 | 10.48 | KTX-이음 | 11.58 | KTX-산천                                                       | ≤66.7 | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 10.51 | ITX-청춘 | 10.45 | ITX-청춘 | 11.98 | KTX-이음                                                       | ≤60   |      |
|               |              | 도시철도      | 11.79 | 도시철도   | 11.38 | 도시철도   | 10.54 | ITX-청춘                                                       | ≤70   |      |
|               |              | 도시철도      |       |        |       |        |       | 도시철도                                                         | ≤70   |      |
| 레일<br>응력(MPa) |              | KTX-산천    | 67.07 | KTX-이음 | 52.44 | KTX-이음 | 52.54 | ≤ 130                                                        |       | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 48.81 | ITX-청춘 | 51.84 | ITX-청춘 | 46.66 |                                                              |       |      |
|               |              | 도시철도      | 56.18 | 도시철도   | 52.18 | 도시철도   | 47.37 |                                                              |       |      |
| 레일수직변위(mm)    |              | KTX-산천    | 2.66  | KTX-이음 | 2.30  | KTX-이음 | 2.48  | 자갈도상 ≤ 4                                                     |       | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 2.70  | ITX-청춘 | 2.59  | ITX-청춘 | 2.54  | 콘크리트 ≤ 3                                                     |       |      |
|               |              | 도시철도      | 2.67  | 도시철도   | 2.60  | 도시철도   | 2.53  |                                                              |       |      |
| 침목수직변위(mm)    |              | KTX-산천    | 0.89  | KTX-이음 | 0.80  | KTX-이음 | 0.88  | 자갈도상 ≤ 3                                                     |       | 적합   |
|               |              | ITX-청춘    | 0.89  | ITX-청춘 | 0.83  | ITX-청춘 | 0.89  | 콘크리트 ≤ 1                                                     |       |      |
|               |              | 도시철도      | 0.86  | 도시철도   | 0.88  | 도시철도   | 0.89  |                                                              |       |      |

##### - 운영 중인 무도상교량 장대레일 궤도 종저항력 및 횡저항력 시험기술 보완

- 무도상교량의 종방향 저항력 측정 장치는 로드셀(2EA)과 변위계(2EA)를 설치하여 실제 기존선 궤도의 하중 및 변위를 측정하는 장치로 전년도 연구에서 개발된 기존 유압식 모터펌프를 이용하여 측정하는 장치 경량화를 위하여 핸드형 유압펌프를 이용한 종방향 저항력 측정장치를 제작함
- 유압실린더 또한 경량화 하였으며, 기존 제작된 측정장치에 비해 약 50% 중량이 감소하여 현장에서 이동 및 설치에 장점을 가지고 있음.

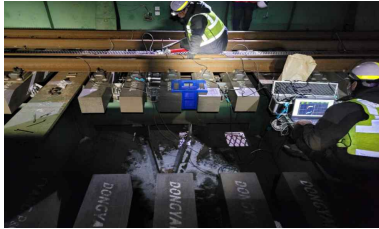


<경량화 종저항력 측정장치>



<경량화 횡저항력 측정장치>

- 장대레일화 무도상 교량의 종·횡 저항력 측정장치 보안을 위해 제작된 지그를 거치하여 현장 적용함



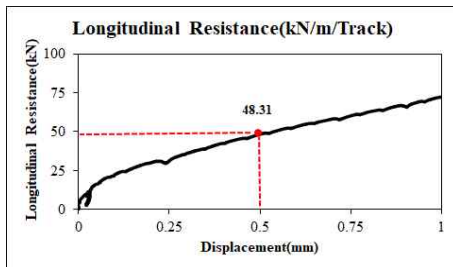
(a) 종저항력 측정



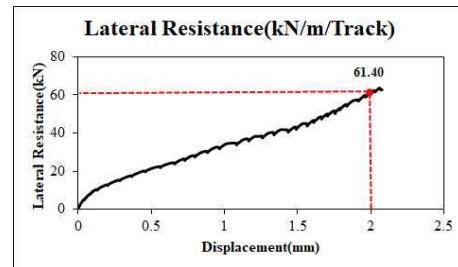
(b) 횡저항력 측정

<침목고정장치 종·횡저항력 측정 전경>

- 장대레일화 무도상교도 종·횡저항력 측정장치에 대해 현장적용을 수행한 결과 종저항력은 변위 0.5mm에서 약 48.31kN/track/m의 저항력이 측정되었으며, 횡저항력은 변위 2mm에서 약 61.40kN/m/track의 저항력이 측정되어, 연동식 침목고정장치의 성능 기준인 변위 2mm 이하에서 40kN/m/track에 비해 높게 측정됨.
- 이는 개발된 합성침목 및 연동식 침목고정장치가 기존 목침목 고정장치 이상의 강성이 확보된 것으로 판단됨



(a) 종저항력



(b) 횡저항력

<침목고정장치 종·횡저항력 측정 결과>

#### ○ 무도상교량 장대레일화 시험기준(안)

##### - 무도상교량 장대레일 궤도 종저항력 및 횡저항력 시험장비 운용메뉴얼(안)

- 무도상교량의 종방향 저항력 측정 장치의 기본 구성은 종저항 하중을 가력할수 있는 유압실린더 (2EA), 각각의 하중 및 변위를 측정할 수 있는 로드셀(2EA)과 변위계(2EA), 각각의 유압실린더에 유압을 가할수 있는 핸드형 펌프로 구성되며, 유압펌프는 유압실린더를 연결하여 유압을 각각 조정하거나 동시에 같은 유압을 가하여 같은 하중이 가력할 수 있음.
- 측정장치는 운용 중 파손, 균열, 결함(fault)이나 성능저하(degradation)로 인한 손상(damage)이 예기치 않게 발생하는데, 현장 측정 전 항상 결함의 유무를 확인하고, 하중계의 건정성 확인 필요.
- 또한, 측정의 정밀도와 신뢰성을 높이기 위해서는 주기적인 교정을 통한 인증 필요하며, 인증 절차는 국가기관 등과 같은 공신력 있는 기관으로부터 인정을 받은 시험소에서 수행하여야 함.

(a) 종저항력 하중계(좌)

(b) 종저항력 하중계(우)  
<교정 성적서>

(c) 횡저항력 하중계

- 무도상교량 장대레일화 시험기준 및 시험매뉴얼(안)

- 국내의 철도설계지침인(KR C-14060, 2019)에서는 종저항력 및 횡저항력 실험에 대해 종방향 및 횡방향의 각 방향 하중에 의한 궤광의 소성변형 가능성 확인의 목적으로 조립 시험 기준을 변위 2mm에서의 하중이 종/횡 저항력 설계값 이상으로 제시하고 있으며, 침목이 슬래브에 매립되어 있지 않고 앵커 등으로 슬래브에 고정되어 있거나 방진고무상자 내부에 들어가 있는 구조에 대해 실험이 가능하며 실험 조건은 다음과 같음.
  - ① 설계 횡/종하중(정적) 적용
  - ② 열차하중(정적)을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우 중 극한 조건 적용
  - ③ 시험체는 최소 침목 5개 길이 이상
  - ④ 체결장치의 최대 연직방향 조정 폭까지 조정 한 후 시행
- 기존 교량침목장치인 T-Bolt와 탄성체결식 침목고정장치는 열차통과시에 진동 및 저항력에 대해 궤도틀림 등이 발생하여 장대화시 궤도-교량 상호작용에 의해 발생하는 종·횡 저항력에 준하는 저항력 제공이 어려운 실정임.
- 개발된 침목고정장치는 이러한 문제를 해결하여 레일장대화시 요구되는 종·횡 저항력 충분히 만족하는 장치로서 현장에 부설된 개발 침목고정장치가 요구되는 저항력에 대해 성능을 충족하는지에 대한 판단이 필요함.

<침목고정장치 요구성능>

| 항목  |      | 요구성능            | 비고         |
|-----|------|-----------------|------------|
| 종방향 | 저항력  | 40kN/m/track 이상 | KR C-08080 |
|     | 한계변위 | 2.0mm 이하        | KR C-08080 |
| 횡방향 | 저항력  | 20kN/m/track 이상 | 기존 요건 없음   |
|     | 한계변위 | 2.0mm 이하        | 기존 요건 없음   |

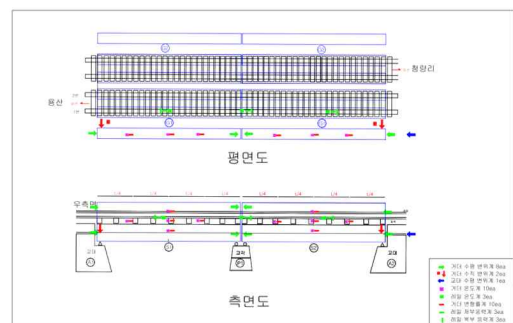
○ 무도상교량 장대화 현장 유지관리기준(안)

- TEST BED 현장계측 장기 모니터링 시스템 구축

- 새로운 공법이 적용된 철도교량과 같은 경우, 공용 중 안전성이 최우선으로 고려되어야 하는 구조물 이므로 궤도 안전성을 지속적으로 감시할 모니터링 시스템이 필요하며, 장기모니터링은 철도교량과 궤도 주요 부위에 설치된 센서로부터 필요한 정보를 수집·분석하여 모니터링하게 됨.
- 이에 교량의 레일장대화 후 온도변화에 따른 교량의 거동에 대해 분석할 수 있는 장기 모니터링 시스템을 구축하고 분석하였으며, 장대화 전후에 따른 열차 주행 시에 대한 응답을 비교하여야 함.

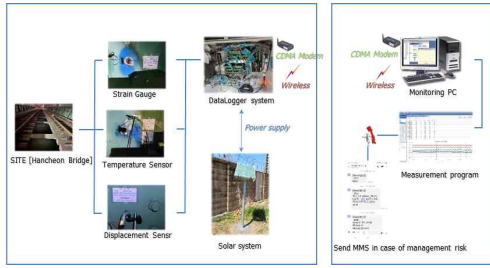
<장기모니터링 계측 항목>

| 구분    | 궤도 | 계측기 | 설치 위치 |
|-------|----|-----|-------|
| 상부 구조 | 레일 | 응력계 | 레일 복부 |
|       |    |     | 레일 저부 |
|       | 거더 | 온도계 | 레일 복부 |
|       |    | 변위계 | 거더    |
|       |    | 응력계 | 거더    |
| 하부 구조 | 교각 | 온도계 | 거더    |
|       |    |     | 교각    |



<장기모니터링 센서 위치도>

- 장기모니터링은 자동계측시스템으로 이루어지며, Data Logger의 데이터 수신, 데이터 입출력 관리, 경보기능, 데이터 송수신 등의 기능, 버 계측 프로그램은 발주처가 요청하는 형식으로 만들어져야 하며, 자동화 기기의 통제, 데이터의 통신과 저장, 계측결과의 실시간 그래픽화, 계측 결과의 출력 등의 기능 등의 성능을 가져야함.
- 한천교 무도상 교량은 고속열차(KTX), 일반열차(ITX), 도시철도열차 등의 실 운행열차가 복선으로 상시 주행하고 있음
- 2021년 06월 16일 센서 및 계측시스템 설치를 완료하였으며, 측정주기는 10분간격임

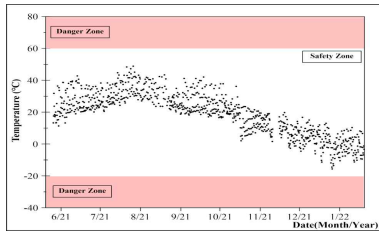


<자동 계측 시스템 구성도>

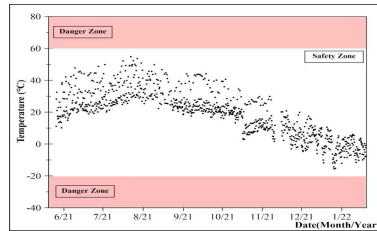
<한천교 모니터링 관리기준>

| 구분 | 항목         | 설정값<br>1차기준 | 한계값<br>2차기준 |
|----|------------|-------------|-------------|
| 레일 | 레일부가응력     | 72MPa       | 92MPa       |
|    | 종방향 상대변위   | 1.0mm       | 2.0mm       |
|    | 온도         | -18℃, 55℃   | -20℃, 60℃   |
| 교량 | 교각부 종방향 변위 | 45mm        | 45mm        |
|    | 온도         | -18℃, 55℃   | -20℃, 60℃   |

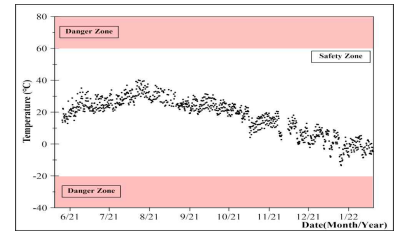
- 센서 설치 후 개별 센서의 측정 Range 값을 조정하는 과정을 거쳤고, 여름철 폭염기간부터 장기 모니터링을 실시하였으며, 측정 결과 관리 기준치를 만족하였음.



(a) 거더 온도

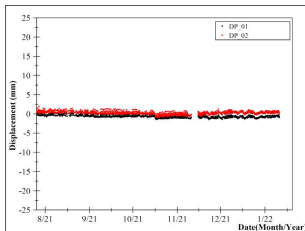


(b) 레일 온도

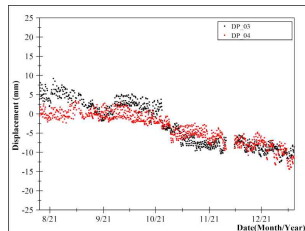


(c) 대기 온도

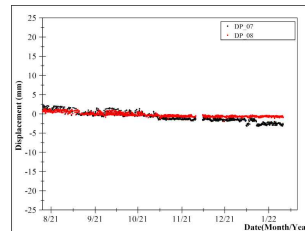
<장기모니터링 온도 측정 결과>



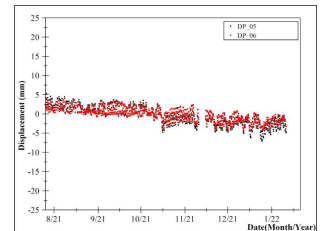
(a) A1 교대측  
종변위(고정단)



(a) P1 교각측  
종변위(가동단)

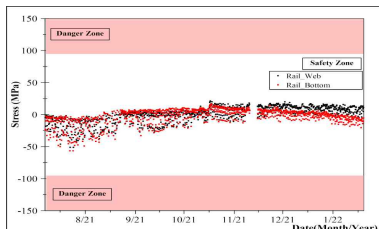


(c) A2 교대측  
종변위(고정단)

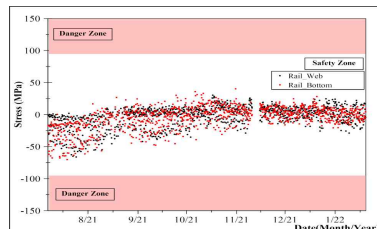


(d) P1 교각측  
종변위(가동단)

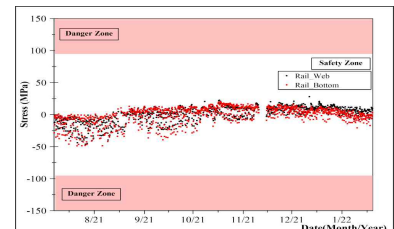
<장기모니터링 변위 측정 결과>



(a) 주거더1 종양부 레일



(b) P1 교각부 레일



(c) 주거더2 종양부 레일

<장기모니터링 레일 응력 측정 결과>

- 장대레일 전 · 후 소음 · 진동 응답 비교

- 대상교량인 한천교는 무도상교량에 레일장대화가 이루어졌으며, 이에 레일장대화의 성능 검증을 위해 교량의 거더에 가속도계를 설치하였으며, 또한 소음계를 설치하여, 장대화 전·후의 응답을 각각 비교함
- 계측 열차는 소음 5대, 진동 각 3대이며, 한천교 장대레일화 시공 전·후에 각각 측정함
- 소음계는 레일로부터 수평거리 2.5m, 수직거리 1.5m에 설치하였으며, 시공 전후 유사한 시간에 계측함
- 배경 소음 측정 결과 장대레일 시공전에 비해 장대레일 시공후 약 5% 감소하였으며, 특히, 대상교량의 장대레일이 설치된 교량은 교량 밑에 10차선 대로가 부설되어 있어, 이에 도로를 지나가는 차량들에 의해 교량 위에서도 약간의 소음이 발생하고 있음
- 대상교량의 장대레일 시공 후 궤도 구성품이 전체가 교체되었으며, 이로 인하여 배경소음이 미소하게 감소하였으며, 교체된 궤도구성품이 교량 밑을 지나가는 차량에 의한 소음에 대해 미소한 흡음역할을 하는 것으로 판단됨

<배경 소음 계측 결과>

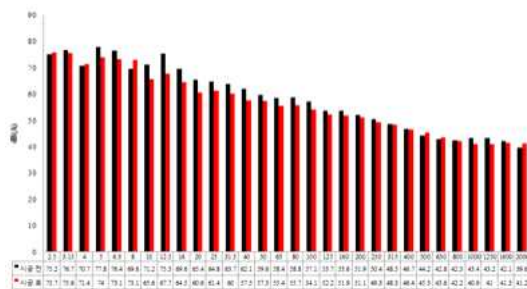
| 구분<br>dB(A) | 장대레일 시공 전<br>50.35 | 장대레일 시공 후<br>48.09 |
|-------------|--------------------|--------------------|
|-------------|--------------------|--------------------|

- 소음 최대값 측정 결과 ITX-청춘 열차와 도시철도 열차는 장대레일 시공 전에 비해 장대레일 시공 후가 낮게 측정 되었으며, 평균 약 7% 감소하는 것으로 나타남.
- ITX-청춘 열차의 경우, 장대레일 시공 전에 비해 시공 후가 최대 약 8.5dB 감소하였으며, 도시철도 열차의 경우, 장대레일 시공 전에 비해 장대레일 시공 후가 최대 약 8.4dB 감소함

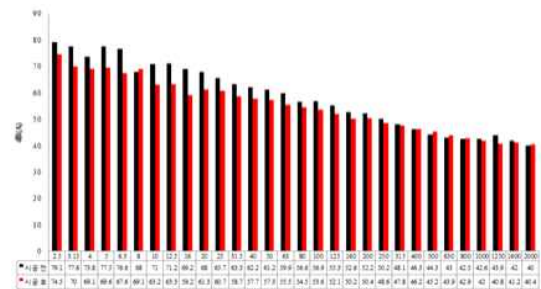
<소음 최대값 계측 결과>

| 열차종류   | 구분        | 1회     | 2회     | 3회     | 4회     | 5회     | 최대<br>(dB) | 최소<br>(dB) | 평균<br>(dB) |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|------------|
| ITX-청춘 | 장대레일 시공 전 | 104.39 | 107.12 | 107.54 | 107.41 | 105.32 | 107.54     | 104.39     | 106.36     |
|        | 장대레일 시공 후 | 100.92 | 95.85  | 99.96  | 97.58  | 97.30  | 100.92     | 95.85      | 98.31      |
| 도시철도   | 장대레일 시공 전 | 106.68 | 102.46 | 100.38 | 101.72 | 106.01 | 106.68     | 101.38     | 103.45     |
|        | 장대레일 시공 후 | 96.40  | 98.32  | 95.47  | 94.21  | 97.17  | 98.32      | 94.21      | 96.31      |

- 1/3 Octave band를 이용한 소음 주파수 영역별 비교 결과, ITX-청춘에서는 16Hz에서 최대 13.12%(약 10dB) 감소하였으며, 도시철도에서는 6.3Hz에서 최대 7.54%(약 6dB) 감소함



(a) ITX-청춘



(b) 도시철도

<1/3 Octave band 소음 주파수 분석>

- 진동계는 거더의 1/4, 2/4, 3/4 지점에 각각 가속도계를 설치하였으며, 종방향이 X축, 횡방향이 Y축, 수직방향이 Z축임

<진동 계측 결과>

| 열차종류   | 구분        |    | G1-1X | G1-1Y | G1-1Z | G1-2X | G1-2Y | G1-2Z | G1-3X | G1-3Y | G1-3Z |
|--------|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ITX-청춘 | 장대레일 시공 전 | 1회 | 0.38  | 0.8   | 1.59  | 0.48  | 0.65  | 1.5   | 0.24  | 0.56  | 1.28  |
|        |           | 2회 | 0.35  | 0.74  | 1.39  | 0.44  | 0.58  | 1.37  | 0.23  | 0.53  | 1.26  |
|        |           | 3회 | 0.43  | 0.78  | 1.63  | 0.62  | 0.76  | 1.68  | 0.36  | 0.53  | 1.45  |
|        | 장대레일 시공 후 | 1회 | 0.43  | 0.86  | 1.45  | 0.41  | 0.7   | 1.81  | 0.27  | 0.56  | 1.21  |
|        |           | 2회 | 0.29  | 0.58  | 1.21  | 0.38  | 0.47  | 1.23  | 0.19  | 0.4   | 0.81  |
|        |           | 3회 | 0.3   | 0.65  | 1.06  | 0.3   | 0.49  | 0.97  | 0.15  | 0.26  | 0.65  |
| 도시철도   | 장대레일 시공 전 | 1회 | 0.13  | 0.19  | 0.75  | 0.11  | 0.25  | 0.34  | 0.22  | 0.41  | 0.34  |
|        |           | 2회 | 0.15  | 0.26  | 0.64  | 0.28  | 0.28  | 0.33  | 0.33  | 0.17  | 0.14  |
|        |           | 3회 | 0.16  | 0.34  | 0.73  | 0.73  | 0.68  | 0.88  | 0.38  | 0.23  | 0.25  |
|        | 장대레일 시공 후 | 1회 | 0.11  | 0.18  | 0.4   | 0.07  | 0.1   | 0.18  | 0.27  | 0.11  | 0.07  |
|        |           | 2회 | 0.14  | 0.26  | 0.68  | 0.22  | 0.48  | 0.56  | 0.28  | 0.13  | 0.09  |
|        |           | 3회 | 0.14  | 0.19  | 0.54  | 0.15  | 0.17  | 0.23  | 0.13  | 0.14  | 0.12  |

| 열차종류   | 구분        |    | G2-1X | G2-1Y | G2-1Z | G2-2X | G2-2Y | G2-2Z | G2-3X | G2-3Y | G2-3Z |
|--------|-----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ITX-청춘 | 장대레일 시공 전 | 1회 | 0.31  | 0.28  | 1.19  | 0.22  | 0.58  | 1.06  | 0.33  | 0.55  | 1.14  |
|        |           | 2회 | 0.24  | 0.28  | 0.74  | 0.2   | 0.4   | 0.81  | 0.31  | 0.6   | 1.33  |
|        |           | 3회 | 0.36  | 0.51  | 1.23  | 0.29  | 0.38  | 1.12  | 0.43  | 0.7   | 1.65  |
|        | 장대레일 시공 후 | 1회 | 0.28  | 0.33  | 1.18  | 0.25  | 0.35  | 0.79  | 0.36  | 0.58  | 1.26  |
|        |           | 2회 | 0.32  | 0.37  | 1.1   | 0.24  | 0.43  | 0.74  | 0.31  | 0.49  | 1.37  |
|        |           | 3회 | 0.35  | 0.39  | 1.23  | 0.25  | 0.44  | 0.88  | 0.35  | 0.6   | 1.55  |
| 도시철도   | 장대레일 시공 전 | 1회 | 0.17  | 0.19  | 0.64  | 0.14  | 0.26  | 0.57  | 0.28  | 0.33  | 0.82  |
|        |           | 2회 | 0.17  | 0.18  | 0.51  | 0.14  | 0.21  | 0.43  | 0.23  | 0.31  | 0.76  |
|        |           | 3회 | 0.23  | 0.2   | 0.77  | 0.14  | 0.32  | 0.72  | 0.22  | 0.48  | 1.17  |
|        | 장대레일 시공 후 | 1회 | 0.3   | 0.27  | 1.04  | 0.19  | 0.33  | 0.69  | 0.29  | 0.46  | 1.18  |
|        |           | 2회 | 0.19  | 0.26  | 1.03  | 0.11  | 0.28  | 0.39  | 0.11  | 0.26  | 0.46  |
|        |           | 3회 | 0.25  | 0.22  | 0.56  | 0.08  | 0.15  | 0.29  | 0.13  | 0.18  | 0.28  |

- 진동 측정 결과 ITX-청춘 열차와 도시철도 열차의 장대레일 시공 전·후 분석 시 X축과 Y축은 유사하거나 장대레일 시공 후의 측정이 대체적으로 낮게 나타났으며, Z축의 경우, 장대레일 시공 전·후 분석 시 약 50% 감소하여, 장대레일 교체 후 교량의 수직 상하 진동이 현저히 감소하는 경향을 나타냄.

## (8) 시험시공 구간 사전 검토 (핵심성과 C, C-1)

### (3) 3차년도

#### ○ 시험시공구간 사전검토

- 궤도 구조안정성 및 사용성 평가
- 차량의 주행안전 및 승차감 평가

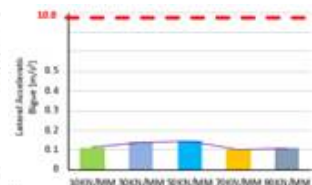
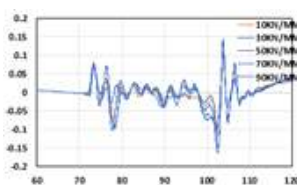
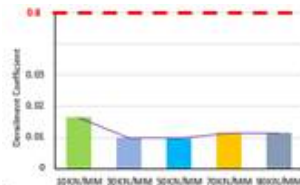
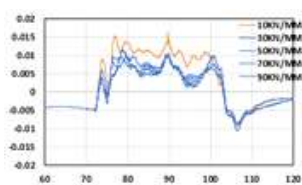
#### ○ 궤도 구조안정성 및 사용성 평가

- 시험시공 구간 (경원선 왕십리-청량리 한천교)
- 2경간 복선 하로 판형교 (설계하중 LS-22)



#### - 궤도구조 안전성/안정성 평가

- 교량상 장대레일 부가응력 검토 (하절기 압축응력, 동절기 인장응력)
- 교량 단부 레일상대변위 검토
- 동절기 인장응력에 의한 파단시 개구량 검토
- 침목고정장치 적용 시의 궤도좌굴안정성 검토
- 침목고정장치 탄성반침의 적정 탄성범위 분석
  - 30m 판형교를 대상으로 ABAQUS 및 VI Rail을 이용한 유연다물체해석 수행
  - 열차하중 : KTX(150~200km/h), ITX 새마을/무궁화 (100~150km/h)
  - UIC 518의 주행안전성을 기준으로 탈선계수, 횡압 및 대차횡가속도 평가  
→ 설계탄성계수  $50 \pm 20 \text{ kN/mm}$ 로 제시



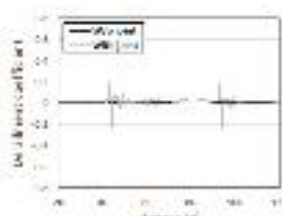
<탈선계수 검토>

<대차횡가속도 검토>

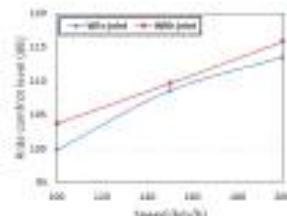
#### ○ 차량의 주행안전 및 승차감 평가

##### - 레일장대화에 따른 증속 가능성 분석

- 복선 30m 하로판형교(한천교) 검토 → EMU 100km/h, ITX-청춘 150km/h, KTX 200km/h 까지 증속 가능
- 단선 30m 상로판형교와 유도상교량(SRC) 비교
  - KTX 300km/h까지 주행
  - 유도상화 시 탈선계수는 거의 차이없음 (0.1 이하)
  - 승차감은 상로판형교가 약간 유리



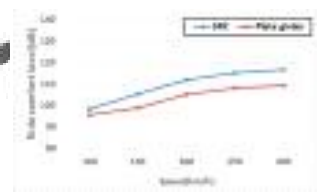
<KTX 탈선계수>



<KTX 승차감>



<SRC 합성교량>



<승차감 비교>

## (9) 성능시험 (핵심성과 C, C-4)

---

### (3) 3차년도

#### ○ 성능시험 계획서

- 교량용 합성수지침목 및 연동식 침목고정장치에 대한 성능시험 계획서 작성
  - 설계보고서
  - 구조계산서
  - 설계도면
  - 공사시방서
  - 자재사양서
  - 성능규격 및 성능시험결과보고서
  - 유지보수매뉴얼
  - 인터페이스검토서

### (3) 4차년도

#### ○ 성능시험

- 교량용 합성수지침목 및 연동식 침목고정장치에 대한 국가철도공단 성능검증 신청
- 교량용 합성수지침목
  - 2020.06 기술요건적합성 및 실내조립시험 통과
  - 2021.03 현장설치시험계획 통과
- 연동식 침목고정장치
  - 2021.01 기술요건적합성 및 실내조립시험 통과
  - 2021.04 현장설치시험계획 통과
- 시험시공
  - 대상지 : 경원선 왕십리-청량리 한천교
  - 시공완료 : 2021.05.28.
  - 2021.03까지 현장 모니터링 수행 후 성능검증 최종 평가

---

## • 2세부

### (1) 목침목-거더(교량) 고정장치

---

#### (1) 1차년도

##### ○ 무도상교량 현황조사

- 전국의 무도상교량의 관리소속, 선구, 년식, 종별, 연장별 분류를 통해 향후 실용화를 위한 기초자료 확보
- 무도상교량 궤도 유지보수 현황 및 실적 분석 결과 일반 자갈궤도에 비해 300%의 유지관리 인력이 투입되고 있어 이에 대한 개선이 필요함
- 코레일의 무도상교량 유지보수 개선사례 파악을 통해 향후 개발품 개발방향 설정에 활용(침목-거더 체결장치 개선, 탄성받침(패킹), 궤도정정을 위한 보수장비)

##### ○ 기술동향 조사

- 판형교의 무도상 궤도에서 교량침목을 거더의 상면에 고정하기 위한 T-볼트 대용 고정장치 등이 개발/시험 적용하였으나, 레일 장대화를 목표로한 성능 개선 사례는 없음
-



#### < 국내 유사기술 개발현황 조사 >

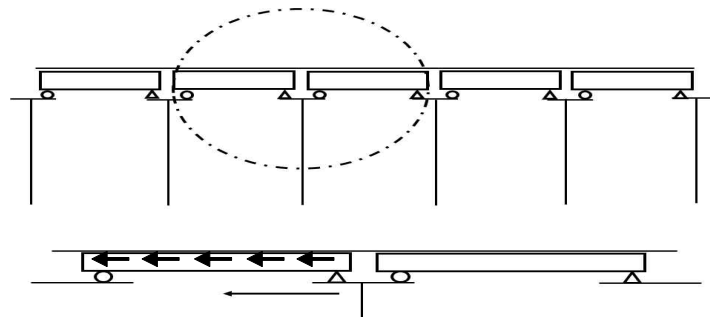
- 국내외 특허 및 연구사례를 조사하고 기술개발 동향을 분석하고 본 과제를 통한 해당기술 개발의 필요성을 재확인
- 자갈궤도 또는 슬라브궤도에서 새로운 형식의 궤광이 다수 제안되었지만 노후된 판형교 또는 트러스교에서 궤도를 개량하기 위한 궤광구조 개발에 대한 연구 또는 개발사례는 미비함



< 무도상 판형교용 강제침목 시스템(유사사례, 독일) >

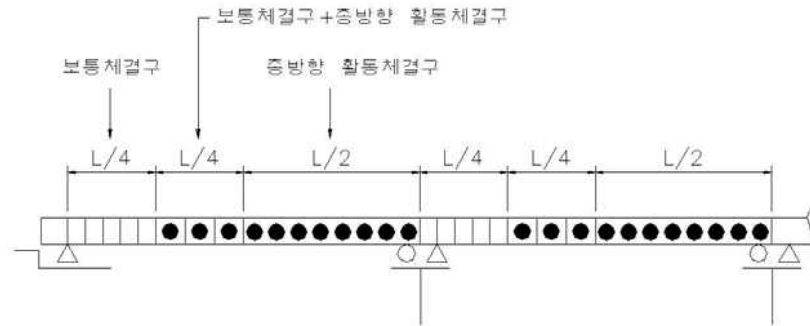
#### ○ 개발 방향설정 및 기술요건 정립

- 장대레일과 거더의 상호작용 (거더 신축 및 레일의 온도신축에 의한 추가 응력 및 장대레일 구속시 교량 고정단에서 종방향력 발생)으로 인한 레일 장대화 제한



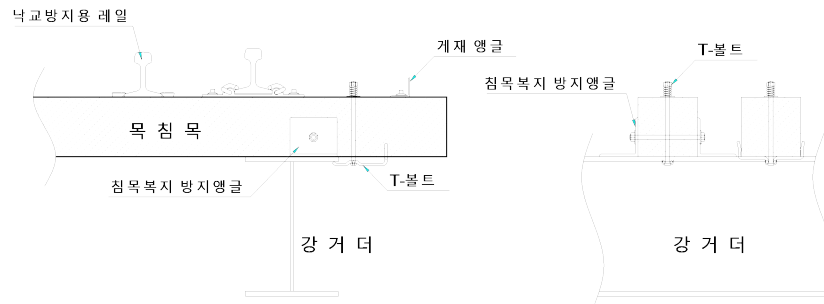
< 장대 레일과 거더의 상호작용 >

- 좌굴에 대한 안정성, 절손 시 개구량 69mm이하, 레일 발생응력  $1,800\text{kg/cm}^2$  이하 확보 및 복진 저항력이 장대 레일화에 미치는 영향을 고려해야 됨
- 레일 거더 상호작용에 의한 추가응력 발생을 최소화하며, 하부구조에 작용하는 장대레일 종방향 하중을 최소화하는 방안 검토



< 보통체결구와 중방향 활동 체결구의 배치 예 >

- 레일 및 거더 변위에 영향을 끼치는 모든 요인은 레일축력 변화의 영향인자이며, 레일 체결력, 침목 저항력, 판형교량상 레일체결 상태, 침목부진 방지앵글, 게재 앵글, 목침목 좌굴방지 장치, 낙교방지용 레일 등 장대 레일 거동에 영향을 미치는 궤도 구성요소 조사



< 궤도 구성요소 >

- 기존 목침목 체결장치의 문제점을 분석하고, 이를 고려한 목침목-거더(교량) 고정장치 개발 방향 설정 및 초도 설계안 도출



< 궤도틀림 보수작업 >



< 잦은 침목천공 >

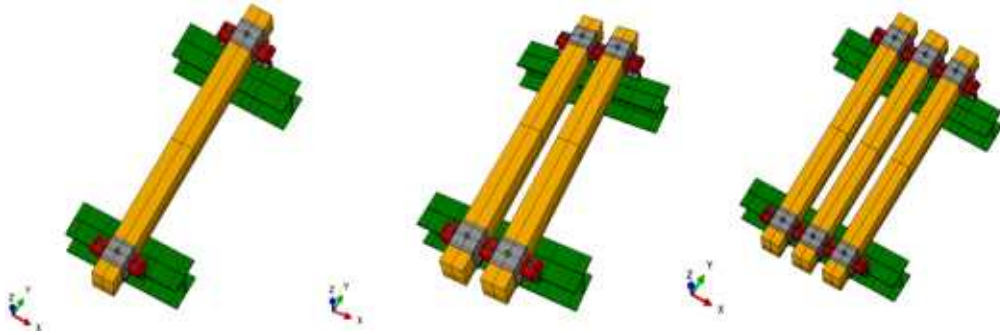
#### ○ 현장요구사항 분석

- 교량침목-거더 체결장치 사용자 요구사항 분석을 위해 무도상교량 유지보수 담당자와 현장 답사 및 인터뷰 시행
- 현장직원들의 무도상교량에 대한 의식조사를 위해 전국 시설사업소 직원 109명에 대해 설문조사 수행
- 향후 제품 개발시 현장의견을 반영하여 실용화 가능성 향상을 위한 참고자료로 활용

#### (2) 2차년도

##### ○ 상세설계 및 구조해석

- 무도상교량 장대레일화시 온도변화에 따른 레일 축력이 발생할 때 이를 제어하고 구속할수 있는 성능을 갖춘 고정장치를 개발하기위한 구조해석 및 이를 바탕으로 한 상세설계 수행
- 침목-거더간 체결장치의 거동경향 및 취약부 검토를 위한 해석모델 작성
- 침목 연속화 고정이 가능한 고정장치의 거동특성 및 각 조건에서의 응력발생경향 분석을 위해 해석모델은 침목 1정일 경우부터 3정을 연속화한 경우에 대해 적용



< 침목-거더 체결장치 해석 Modelling >

< 침목-거더 간 종방향 횡방향 저항력 성능목표 >

| 구 분   | 종방향 저항력<br>(kN/체결장치) | 횡방향 저항력<br>(kN/침목) |
|-------|----------------------|--------------------|
| 저항력 값 | 12.0                 | 11.0               |

- 해석결과는 아래표와 같으며 성능기준을 모두 만족함

< 침목-거더 간 체결장치 발생 변위 및 응력 해석결과 >

| Set | Displacement(mm) |       |      | Vonmises (Mpa) |       |       | 검토   |
|-----|------------------|-------|------|----------------|-------|-------|------|
|     | 종방향              | 횡방향   | 성능기준 | 종방향            | 횡방향   | 성능기준  |      |
| 1   | 0.815            | 1.157 | 2.0  | 167.9          | 139.1 | 235.0 | O.K. |
| 2   | 0.874            | 1.154 |      | 179.0          | 141.6 |       | O.K. |
| 3   | 0.884            | 1.159 |      | 180.5          | 143.0 |       | O.K. |

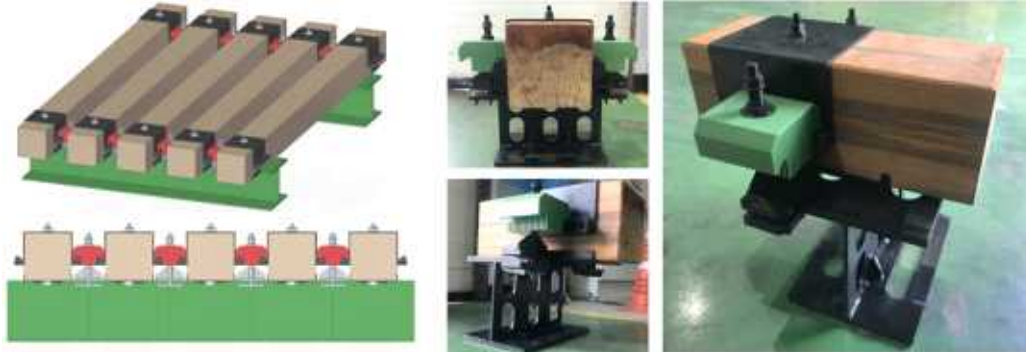
#### ○ 시제품 제작 및 보완

- 초도품을 대상으로 전문가와 자문회의를 통해 개선사항을 도출하였으며, 이를 반영하여 기본 개념을 다시 수립하여 장치를 개발하고 이에 대해 다시 개선하는 과정을 거쳐 시제품(안)을 도출하였음



< 장치개선 과정 >

- 3차 개선안으로 현장답사를 진행 하였으며, 충주 달천교에서 현장의견수렴을 위한 회의를 진행하였으며, 볼트 및 부속품의 기성품 사용과 설치 및 보수작업에 용이하도록 제품의 단순화 등 현장의견을 반영하여 시제품 설계에 반영하였음
- 침목-거더간 체결장치의 개선된 최종 시제품은 아래와 같이 제작하였으며, 시제품을 실규모 침목 목업에 설치하여 요구성능 시험을 진행하였음



< 시험품 Modelling 및 제작품 >

○ 품질 및 성능시험

- 침목-거더 체결장치의 성능시험을 진행하였으며, 종방향 · 횡방향 저항력 시험을 진행
- 침목 1~4 정의 모듈화 시험을 진행
- 성능 및 품질시험 기준 시험하중 (종 12kN/침목, 횡 11kN/침목) 적용



< 종·횡 저항력 시험 >

- 시험결과 침목 1~4정의 종방향 저항력 성능시험을 진행하였으며, 13~15kN을 도달하는 성능을 보였으며, 최대변위 2mm를 초과하지 않았음
- 침목 1정~4정의 횡방향 저항력 성능시험을 진행하였으며, 11kN~15kN을 도달하는 성능보였으며, 최대변위 2mm를 초과하지 않았음
- 종방향 횡방향 성능시험 모두 설정한 성능시험 기준에 준하는 성능 발현
- 침목의 수축 및 bending 현상에 의하여 시험시 변수 발생
- 추후 연구시 개발되는 제품의 성능평가지 변수요인 최소화하여 시험 진행예정

< 침목 개수에 따른 종방향 저항력 시험 결과 >

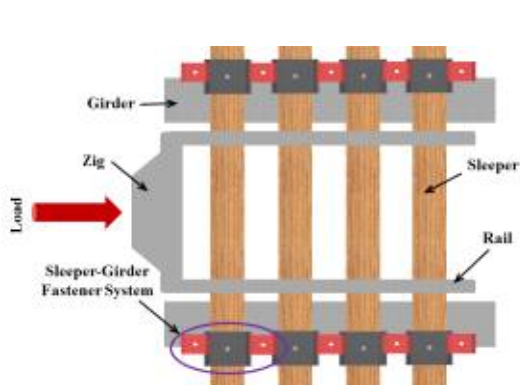
| 구 분    | 종 저항력 (kN) | 최대 변위 (mm) | 비 고 |
|--------|------------|------------|-----|
| 침목 1 정 | 13.50      | 1.55       |     |
| 침목 2 정 | 13.46      | 1.01       |     |
| 침목 3 정 | 15.28      | 1.13       |     |
| 침목 4 정 | 13.88      | 0.85       |     |

< 침목 개수에 따른 횡방향 저항력 시험 결과 >

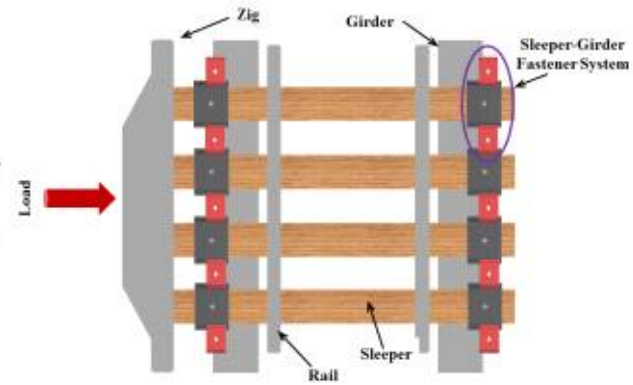
| 구 분    | 횡 저항력 (kN) | 최대 변위 (mm) | 비 고 |
|--------|------------|------------|-----|
| 침목 1 정 | 11.12      | 0.40       |     |
| 침목 2 정 | 15.20      | 1.52       |     |
| 침목 3 정 | 15.31      | 1.94       |     |
| 침목 4 정 | 15.28      | 1.96       |     |

○ 성능 및 품질시험 기준 수립

- 종 · 횡저항력 성능시험 하중은 궤도 시스템의 안전성을 확보하기 위해 50%의 안전율을 고려하여 각각 12kN/침목, 11kN침목으로 설정하였으며, 한계변위는 2mm로 설정



< 종저항력 성능시험 모식도 >



< 횡저항력 성능시험 모식도 >

○ 보완항목 선정 및 개선방안

- 현장의견 수렴을 통하여 보완 항목을 선정

< 제작품 현장의견 수렴 >

| 구분       | 보완 항목                                                                                                                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 서울본부     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침목 또는 체결장치의 변위를 측정할 수 있는 포인트(지점)가 필요</li> <li>- 사용되는 너트를 풀림방지 너트로 수정 및 너트 Size 통일</li> <li>- EP블럭의 열에 대한 내구성 확인</li> </ul> |
| 수도권 동부본부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vice 부분의 스프링과 같은 탄성체를 주어 충격에 의한 너트 풀림을 방지</li> <li>- 열차 충격에 의한 Vice 부분 마모시 EP의 역할 상실</li> </ul>                            |

- 진동에 의한 너트 풀림은 너트에 표시 함으로써 풀림 정도 확인
- 샤프트의 탄성체를 통하여 운행시 마모에 대한 대비

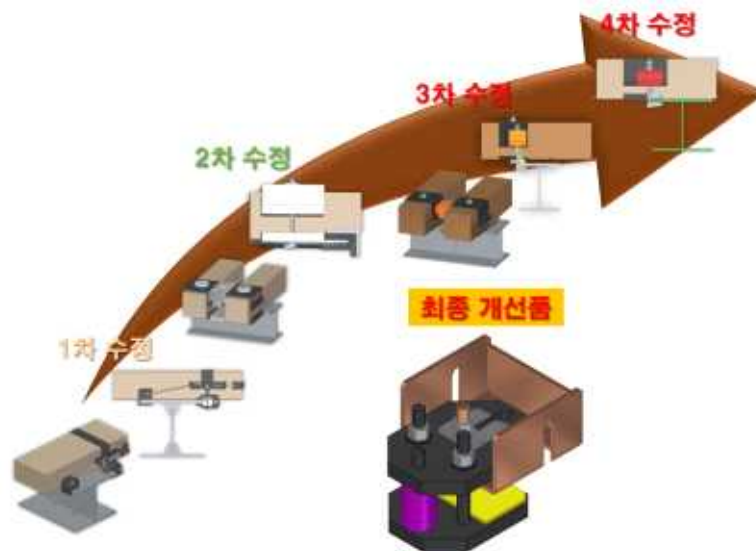


< 현장 실무자 의견수렴 >

### (3) 3차년도

#### ○ 구조해석 및 보완상세 설계

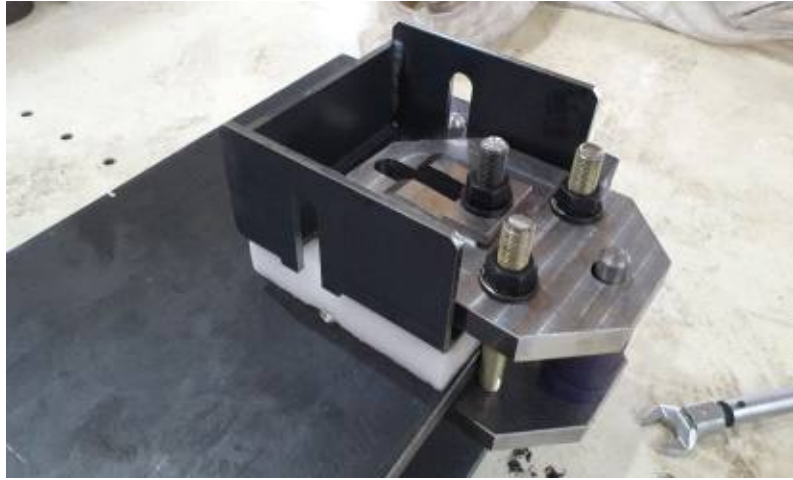
- 형상이 불균등한 침목에 대해서 침목 고정부를 통해 고정하는 것이 가능
- 기존 교량에 설치되어있는 리벳, 브레이싱과 같은 구조 보강재가 설치되어 있는 상황에도 침목과 고정 장치의 파손없이 설치 가능하도록 개선
- 우레탄 소재의 탄성 받침을 고정장치에도 적용하여 열차 진동 저감효과를 더함
- 기존에 설계 된 Finger 연결부의 현장 조건에 따른 설치 불가능한 상황에 장치의 이동설치를 용이하게 해주는 침목 연결장치 부품 적용을 통해 개선
- 침목에 가 설치되어 거더 위에 위치하게되고 현장에서 모든 조립공정을 장치 상단 부분에서 진행하도록 개선
- 기존 개발한 장치보다 경제성 및 활용성이 뛰어남



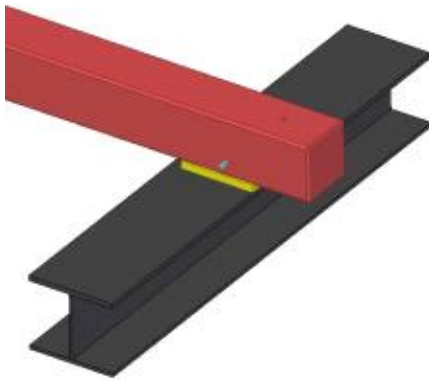
< 제품 개선안 과정 >

#### ○ 개선품 제작

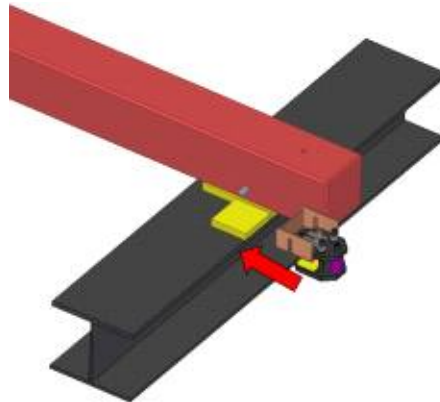
- 개선된 침목-거더 고정장치의 구성품은 침목 연결장치, 상판, 하판, 탄성받침 등으로 구성
- 침목 연결장치의 연결부는 침목을 관통하는 샤프트를 통해 침목과 침목 간에 연결을 가능하게 하며, 장치와 침목을 연결하는 역할임
- 장치 상판의 하부에 Spherical를 두어 장치의 너트 체결 시 장치 상하판의 높낮이 변화에 따른 뒤 틀림을 보강
- 거더에 합성 침목을 위치해 놓은 상태에서 침목과 거더를 침목 연결장치를 이용하여 고정
- 구성품의 종류를 최소화하고 현장시공 시 선 작업후 시공이 가능함으로써 시공 시 작업을 최소화하며, 시공시간을 단축
- 선 작업이 가능함으로 현장시공시 장치의 개별품의 이탈 및 손실 가능성이 낮아짐



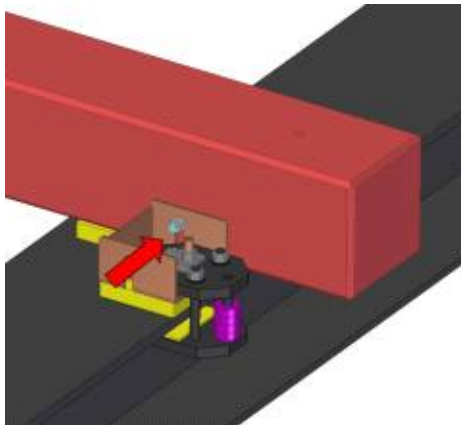
< 침목-고정 장치 개선품 >



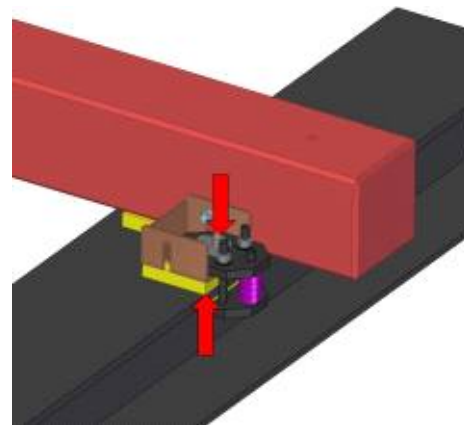
(1) 침목 및 탄성받침 거치



(2) 장치 받침 거치 후 장치 체결준비



(3) 장치 거치 후 침목 연결 너트 체결

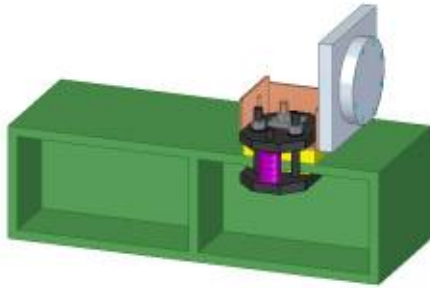


(4) 장치 상부 너트 체결을 통한 상하부 장치 고정

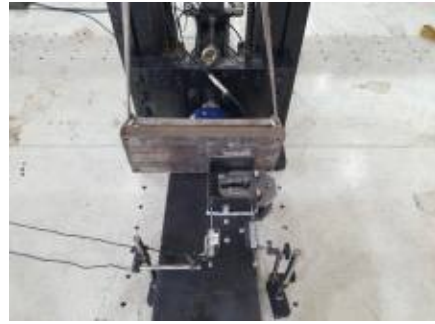
< 침목-거더(교량) 고정장치 조립순서 >

○ 품질 및 성능시험

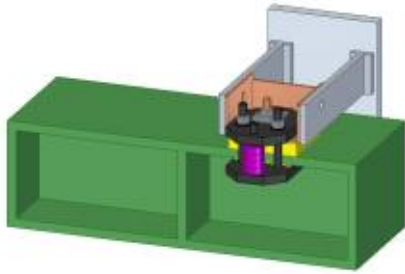
- 장치 특성시험 및 파괴시험을 통해 장치의 취약부와 거동을 파악하고자 함
- 특성시험은은 종 · 횡 방향으로 비탄성변형 전까지의 하중을 재하하는 시험과 비탄성 변위까지 확인한 하중값으로 진행되는 단계별 하중 시험을 진행함



(1) 장치 성능시험 종 방향 모식도 Modelling



(2) 장치 성능시험 종 방향



(3) 장치 성능시험 횡 방향 모식도 Modelling



(4) 장치 성능시험 횡 방향

< 침목-거더(교량) 고정장치 성능시험 >

- 비탄성 변위 시험 결과 종 방향과 횡 방향에서 약 3.2kN, 2.9kN의 저항력 발생
- 단계별 하중 시험 결과 종 방향과 횡 방향에서 약 3.4kN, 4.4kN의 저항력 확인
- 이를 통해 장치의 시스템적인 측면에서 성능 확인을 위해 침목 1개 단위 시험 진행하였으며, 종 방향과 횡 방향의 저항력을 파악하였음
- 침목 단위 시험은 체결장치 없는 침목 상태, T-볼트 체결상태, 침목-거더 고정장치 체결상태로 진행
- 침목 단위 시험 결과 체결장치 없는 침목 상태에 경우 종 방향 0.5kN, 횡 방향 0.7kN의 저항력 발생
- T-볼트 체결시 종 방향 3.87kN, 4.33kN의 저항력 발생
- 개발한 침목-거더 고정장치 체결시 종 방향 20.7kN, 횡 방향 25.4kN의 저항력이 발생
- 본 시험을 통해 장치의 개별 성능 보다는 시스템적인 면으로 비교하였을 때, 기준으로 설정한 콘크리트 궤도 하중비재하시의 값과 비슷한 성능을 만족함

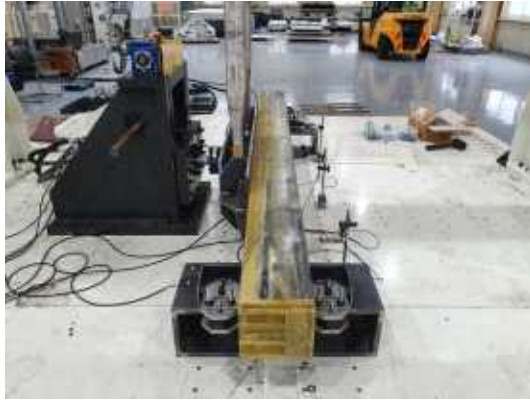


(a) 침목 1개 단위 시험 (체결장치 X)



(b) 침목 1개 단위 시험 (T-볼트)

< 침목 1개 단위 성능시험 (T-볼트) >



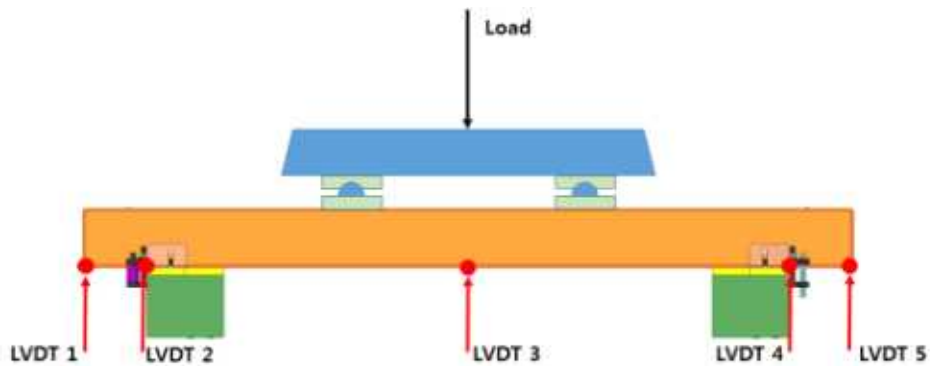
(a) 침목 1개 단위 시험 (종 방향)



(b) 침목 1개 단위 시험 (횡 방향)

< 침목-거더 고정장치 성능시험 >

- 장치의 시스템 측면의 성능시험을 통해 장치의 현장적용을 확인 후 수직 재하 시험을 통해 열차 운행 시 침목의 상향력을 확인하기 위하여 시험을 진행
- 시험을 진행하여 체결장치 없는 침목, T-볼트 체결 시, 침목-거더 고정장치 체결 시로 3가지 시험 Case로 비교분석
- 시험 결과 침목의 거동은 모두 비슷하게 나타났으며, T-볼트와 침목-거더 고정장치의 비교시 침목 끝단에서의 변위 발생량의 차이가 미미함
- 침목의 끝단에서 발생하는 변위량 조정은 침목-거더 고정장치의 체결위치 조정으로 수정 보완 가능



< 수직 재하 시험 모식도 >



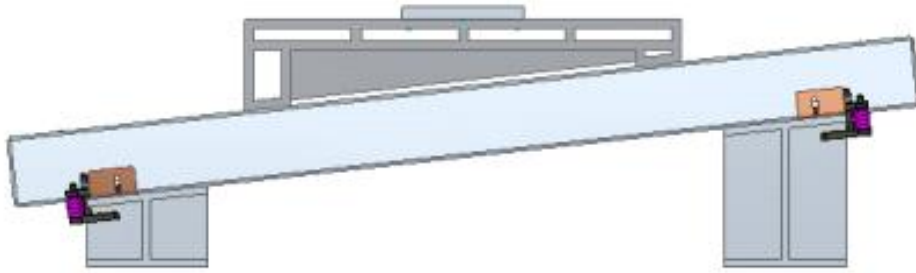
(a) 수직 재하 시험 (침목-거더 고정장치)



(b) 수직 재하 시험 (T-볼트)

< 수직 재하 시험 설치 전경 >

- 궤도의 곡선부 구간에서 반복되는 열차 주행에 의한 반복하중이 발생하며, 이에따른 궤도 손상 및 침목-거더 고정장치의 체결력 저하를 발생시킴
- 내구성 성능을 검증하고자 경사 반복시험을 진행하였으며, 반복 횟수는 200만회를 진행함
- 시험결과 반복하중에 의한 피로 파괴 및 손상이 발생하지 않았으며, 장치의 체결력도 저하되지 않는 것으로 나타남



< 경사 반복시험 모식도 >



(a) 경사 반복시험 (정면)



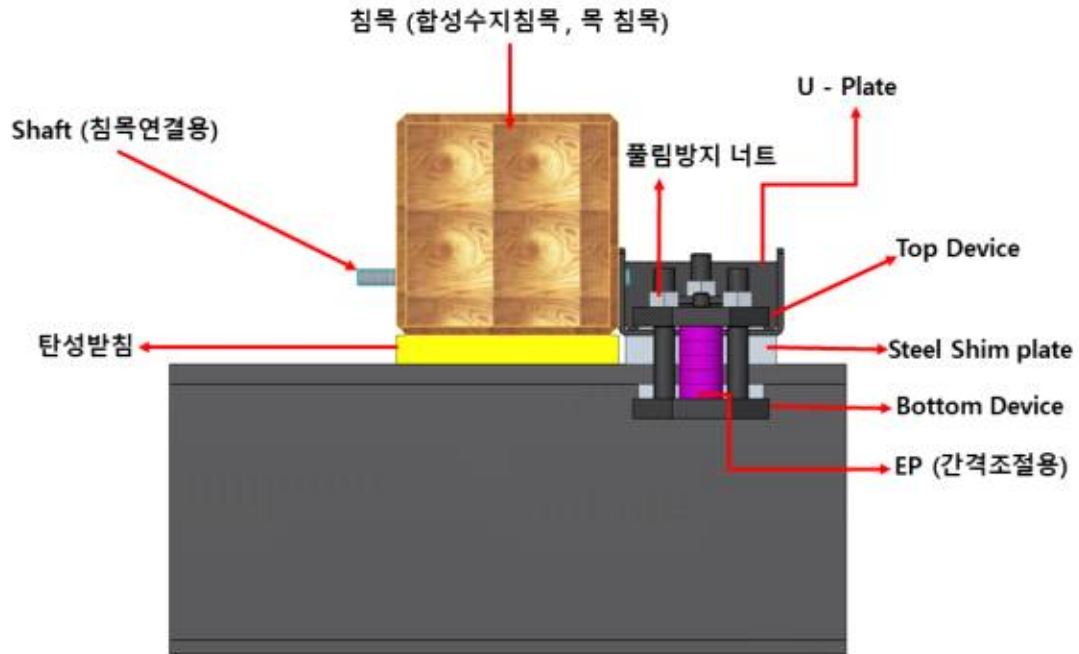
(b) 경사 반복시험 (측면)

< 경사 반복시험 설치 전경 >

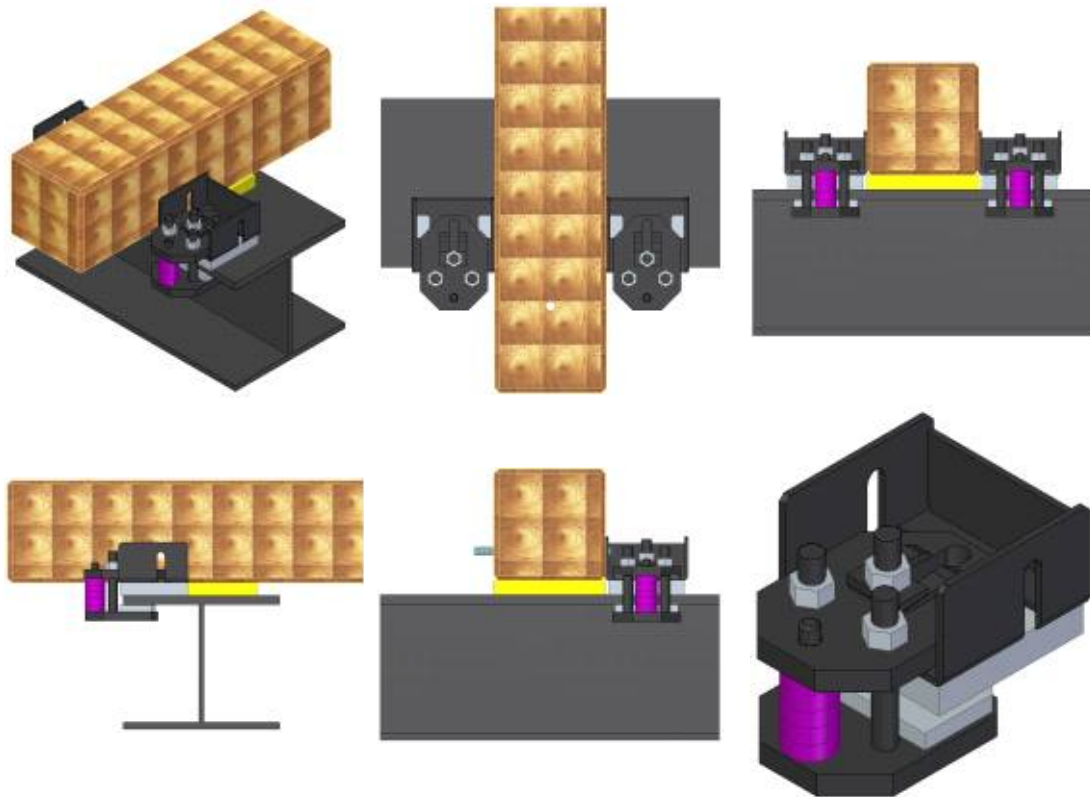
#### (4) 4차년도

##### ○ 침목-거더(교량) 고정장치(연동식 침목고정장치) 설계도면

- 무도상교량의 레일 장대화를 위한 설계의 기본 개념은 SRF(Stronger Rail Fastener), SSF(Stronger Sleeper Fastener) 및 TPI(Track Panel Isolation)가 있음
- SSF와 SRF는 궤도의 종방향 저항력 기준에 따라 구분하며, SRF는 자갈도상궤도와 같이 도상저항력을 기준으로 하나, SSF는 콘크리트궤도와 같이 레일체결장치의 종방향 저항력을 기준으로 함
- 그러므로 침목고정장치는 SRF의 경우 레일체결장치보다 낮은 종방향 저항능력, SSF의 경우 레일체결장치 보다 높은 종방향 저항능력을 안정적으로 제공해야 함
- 모든 설계 기본 개념은 TBI로 인한 궤도의 좌굴 안정성을 확보할 수 있는 충분한 횡방향 저항성능이 필요함
- 기존 침목고정장치는 이러한 설계개념 구현을 위하여 요구되는 저항성능의 안정적인 제공이 어려우므로 신규 개발된 연동식 침목고정장치는 무도상 교량의 레일 장대화를 위한 필수적 장치임



< 연동식 침목고정장치 상세 모식도 >

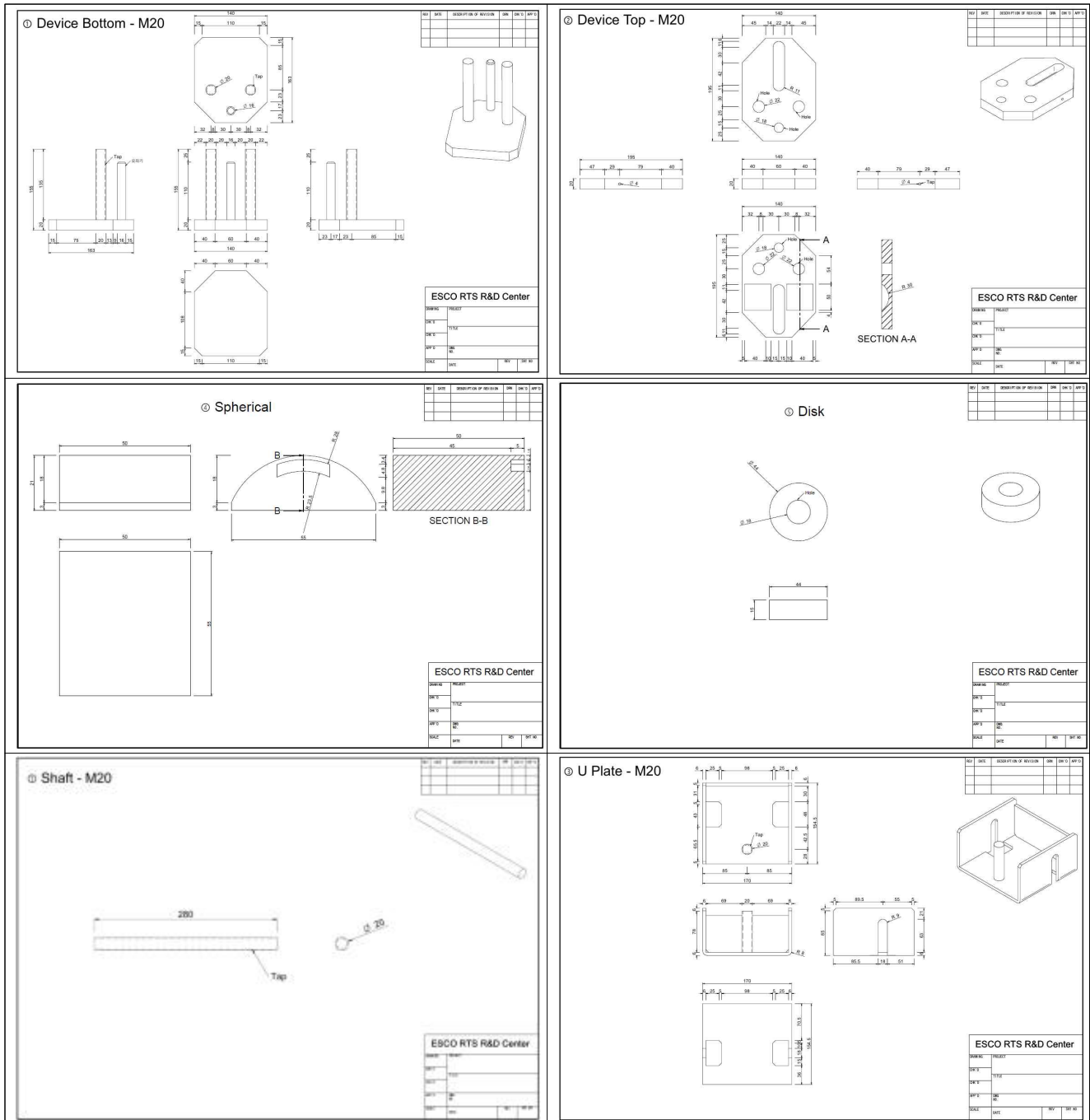


< 연동식 침목고정장치 조립도 >

- 침목고정장치는 교량의 주부재에 침목을 고정해야 하는 침목고정장치 고유의 역할에 대한 기준 및 규격에 제시된 요건을 만족해야 하며, 이외에 다음과 같은 요구조건을 만족해야 함

- (1) 레일 장대화 시 설계 개념에 따른 적절한 종방향 저항력과 궤도 좌굴 방지를 통한 안정성을 확보하기 위한 충분한 횡방향 저항력을 제공해야 하는 기능성
- (2) 장기간 사용 시에도 안정적으로 강성, 강도 및 저항력을 유지하기 위한 내구성
- (3) 용이한 성능 점검과 유지보수를 위한 유지보수성

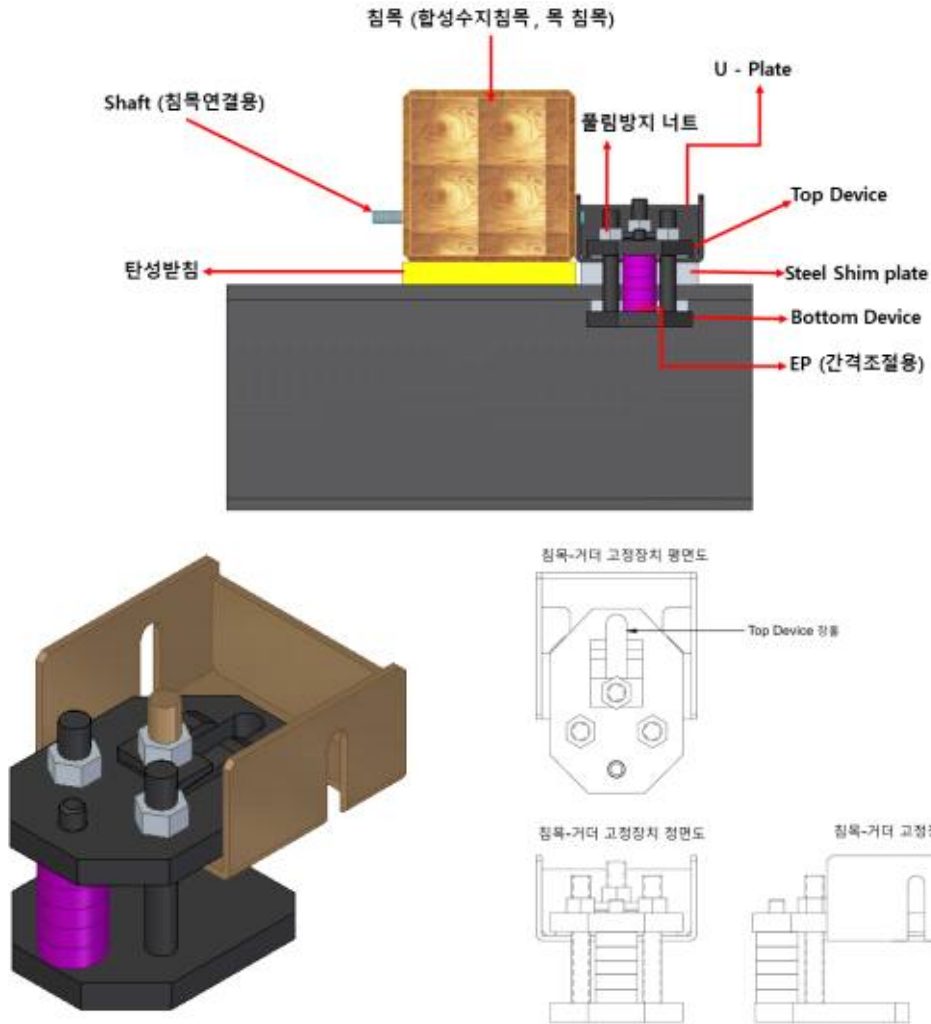
- 위의 조건들을 만족시키는 침목고정장치에 대한 실시설계 도면작성



< 연동식 침목고정장치 설계도면 >

○ 침목-거더(교량) 고정장치(연동식 침목고정장치) 시제품제작 및 성능시험

- 침목 고정장치를 제작하기 위해 장치의 강성 및 저항력을 확보하기 위해 성능시험을 진행
- 연동식 침목고정장치에 사용되는 모든 재료는 각각의 규정된 시험을 실시하여 품질의 적합여부를 확인한 후 적합할 경우에 사용하고 관련 시험성적서 등을 확보함



< 연동식 침목고정장치 >

- 침목고정장치의 요구성능은 다음표의 제시값을 적용함

< 침목고정장치의 요구성능 >

| 분류  | 항목       |      | 요구성능                |                           |     |                           | 비고                     |
|-----|----------|------|---------------------|---------------------------|-----|---------------------------|------------------------|
| 기능성 | 종방향      | 저항력  | 40kN/m/track 이상     |                           |     |                           | KR C-08080             |
|     |          | 한계변위 | 2.0mm 이하            |                           |     |                           | KR C-08080             |
|     | 횡방향      | 저항력  | 40kN/m/track 이상     |                           |     |                           | 기존 요건 없음               |
|     |          | 한계변위 | 2.0mm 이하            |                           |     |                           | 기존 요건 없음               |
|     | 인장강도     |      | 노화전                 | 120kgf/cm <sup>2</sup> 이상 | 노화후 | 110kgf/cm <sup>2</sup> 이상 | KRCS A010 05<br>(탄성받침) |
|     | 신장율      |      | 노화전                 | 300% 이상                   | 노화후 | 200% 이상                   |                        |
|     | 경도       |      | 58 ~ 68 Hs          |                           |     |                           |                        |
| 내구성 | 피로 200만회 |      | 피로 200만회 이후 요구성능 유지 |                           |     |                           | ISO 12856              |
|     |          |      | 정적수직강성 변화 25% 이하    |                           |     |                           | KRS TR 0014<br>(탄성받침)  |

- 단일 장치 종·횡 저항력 시험방법은 시험지그에 침목고정장치를 체결한 뒤 궤도기준의 종방향과 횡방향으로 하중을 가하여 장치 단위의 저항력을 확인하는 것으로 탄성회복(임계)변위를 초과하여 충분한 비탄성변위가 발생할 때까지 진행하였음
- 하중 재하 속도는 2kN/min으로 재하



(a) 침목고정장치 종방향 시험



(b) 침목고정장치 횡방향 시험

< 침목고정장치 종·횡 저항력 시험 >

- 침목단위 시험은 장치의 현장 적용성 판단을 위해 실제 합성침목과 거더지그에 장치를 체결하여 시험을 진행하였음
- 거더 모사 시험지그에 침목 1정을 거치한 상태에 침목고정장치 4개를 침목과 체결 후 종방향과 횡방향으로 하중을 재하하여 침목고정장치의 성능시험기준을 바탕으로 시험을 진행
- 시험방법은 하중제어로 가압하는 방법으로서, 시험은 비탄성변위(슬립구간)가 발생할 때까지 지속하며, 장치의 변형이나 슬립이 발생할 경우 종료하였음



(a) 침목 1개 단위 시험 (종방향)



(b) 침목 1개 단위 시험 (횡방향)

< 침목고정장치 침목 1개 단위 종·횡방향 시험 >

- 침목고정장치의 무도상 교량의 궤도에 적용 시 열차 주행에 의한 윤종이 작용함
- 또한, 궤도의 곡선부 구간에서의 반복되는 열차 주행에 의한 반복하중이 발생하며, 이러한 반복하중에 의한 궤도 손상이 발생
- 이와 같은 다양한 조건에서의 내구성능 검증을 위해 침목고정장치의 경사 반복시험을 수행하였음
- 시험방법은 경사가 설정된 지그에 침목고정장치를 체결한 뒤 경사지그를 통해 침목의 레일부에 하중을 재하 하였으며, 반복횟수는 200만회 진행한 뒤 장치의 이상유무를 확인



< 경사 반복시험 설치 전경 >

- 시험결과 성능의 요구조건을 만족함. 침목고정장치의 내구성에 관한 피로 200만회 시험 결과는 풀림방지 너트의 풀림이 발생하지 않았고 장치에 설치한 LVDT (변위계)로 측정한 결과 변위가 발생하여도 원위치로 탄성 복원하는 변위만 발생한 것을 확인하였으며, 어떠한 파손이나 균열은 발생하지 않음

< 연동식 침목고정장치의 성능 시험 결과 >

| 분류        | 항목       |      | 요구성능                                                         | 성능시험 결과                       |                          |     |                          |
|-----------|----------|------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----|--------------------------|
| 기능성       | 종방향      | 저항력  | 40kN/m/track 이상                                              | 75.5kN/m/track <sup>[1]</sup> |                          |     |                          |
|           |          | 한계변위 | 2.0mm 이하                                                     | 1mm                           |                          |     |                          |
|           | 횡방향      | 저항력  | 40kN/m/track 이상                                              | 63.9kN/m/track <sup>[1]</sup> |                          |     |                          |
|           |          | 한계변위 | 2.0mm 이하                                                     | 1mm                           |                          |     |                          |
|           | 인장강도     |      | (전)120kgf/cm <sup>2</sup> 이상<br>(후)110kgf/cm <sup>2</sup> 이상 | 노화전                           | 179.6kgf/cm <sup>2</sup> | 노화후 | 263.3kgf/cm <sup>2</sup> |
|           | 신장율      |      | (전)300% 이상<br>(후)200% 이상                                     | 노화전                           | 580%                     | 노화후 | 680%                     |
| 내구성       | 경도       |      | 58 ~ 68 Hs                                                   | 노화전                           | 67Hs                     | 노화후 | 61Hs                     |
|           | 피로 200만회 |      | 피로 200만회 이후<br>요구성능 유지                                       | 피로 시험 후 육안검사 이상 무             |                          |     |                          |
|           |          |      | 정적수직강성 변화<br>25% 이하                                          | 18% 증가                        |                          |     |                          |
| 주행<br>안전성 | 정적 수직강성  |      | 30kN/mm<br>~ 90kN/mm                                         | 61.42kN/mm                    |                          |     |                          |

[1] 연동식 침목고정장치 단품 성능 시험 결과는 종저항력 78.93kN/m/track, 횡저항력 85.9kN/m/track 으로 침목 1개 단위 시험 결과보다 크며, 성능시험 결과는 보수적인 값을 적용  
\* 1m/track당 5개의 고정장치가 적용되는 것으로 가정하여 계산





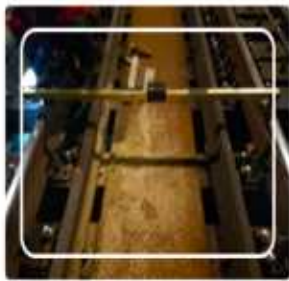
< 진동에 의한 패킹 탈락 >



< 리벳에 의한 침목 훼손 >

#### - 탄성받침 유사 개발 제품

- 무도상교량에서 궤도정정 후 발생한 틈에 패드주머니 설치 후 수지를 주입하여 두께 조절하는 방식으로 실제 간극을 수지로 주입하여 두께 및 형상을 현장조건에 맞도록 시공 가능
- 궤도 정정시 새로운 받침 필요, 수지주입후 경화 시간이 필요하여 주간 작업 어려움



(a) 궤도 정정



(b) 가변패드 주머니 설치



(c) 수지 주입



(d) 원료

< 시공 순서 >

#### ○ 기존 탄성받침 현황을 확인하기 위한 현장조사

- 현재 사용되고 있는 탄성받침은 거동 중에 발생하는 미끄럼 및 들뜸 롤오버 등으로 인해 탄성받침이 상하부 플레이트와 고무 받침의 접촉면적 감소, 상·하부 플레이트와 고무받침이 완전 분리형으로 기본적인 미끄럼 현상이 자주 발생



<탄성받침 손실 >



< 탄성받침 기능상실 >



< 리벳에 의한 하중집중 >

#### ○ 탄성받침의 문제점

- 판형 교량상의 면맞춤이나 수평(캔트)이 10mm이하 일 때는 팩킹의 제작이 어려워 교량의 궤도정정 작업이 어려운 실정임.
- 열차의 진동이나 충격으로 파손되거나 탈락되는 경우가 많음.

#### ○ 탄성받침 설계방향

- 궤도에 작용하는 모든 하중에 대한 균등한 분배 및 국부적으로 가해지는 피로 응력 제거
- 진동에 대한 뒤틀림 특성 개선 및 소음과 진동을 흡수 가능
  - 폴리우레탄의 Isocyanate를 Prepolymer화 및 개질을 통한 기계적 특성 향상 부여
  - PolyolMixture조절을 통한 탄성특성과 진동 및 소음 저감 효과 부여(Cross-linking density 조절 및 Chain extender 종류 및 함량 조절)

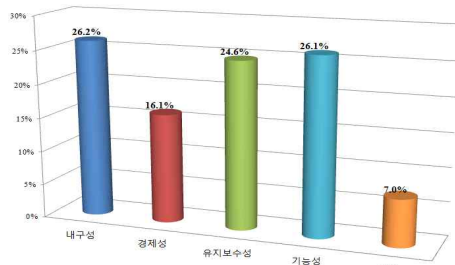
- 궤도 선형조정(높낮이)이 가능하여 열차 주행 안정성 확보



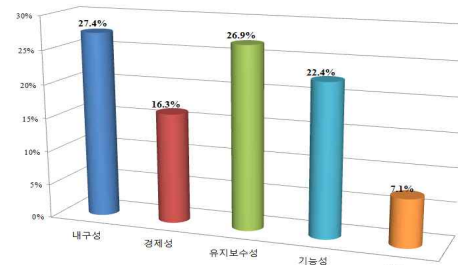
< 탄성받침 설계방향 제시 >

#### ○ 현장요구사항 분석

- 시설유지보수를 담당하고 있는 현장직원 109명을 대상으로 시행
- 교량 패킹 개발시 내구성과 기능성이 우선으로 고려되어야 할 것으로 보이며, 합성침목은 내구성과, 유지보수성이 중요시 여기는 것으로 분석
- 작업자의 전반적인 의식을 파악하기 위해 무도상교량 주요작업, 유지보수 발생원인, 문제점, 개선이 필요한 사항 및 교량침목-거더 체결장치, 탄성받침(패킹), 합성침목 개발시 고려해야 할 우선순위 설문



< 탄성받침 개발시 우선 고려사항>



<합성침목 개발시 우선 고려사항>

#### (2) 2차년도

##### ○ 기존 목침목 탄성 받침 물성 규격 조사

- 현재 기존 목침목 탄성 받침 물성 규격이 존재하지 않음
- 참고 규격으로 한국 철도공사의 철도용품 공사규격서에 나오는 물성과 규정을 참고함
- 탄성받침의 2가지 Type에서 기계적 물성을 나타내는 Hard Type 받침을 중점적으로 개발 진행

< 철도공사 철도용품 공사규격서)KRCS A010 05 방진대(저진동 궤도용) >

| 구 분           | 시험항목                             | 기준치       |       |     |       | 비고 |
|---------------|----------------------------------|-----------|-------|-----|-------|----|
| 목 침 목<br>PC침목 | 인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> )       | 노화전       | 120이상 | 노화후 | 110이상 |    |
|               | 신장율(%)                           | 노화전       | 300이상 | 노화후 | 200이상 |    |
|               | 경도(Hs)                           | 58 ~ 68   |       |     |       |    |
|               | 전기저항( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) | $10^7$ 이상 |       |     |       |    |

※ 노화 조건 :  $100 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 항온조에서 96시간 동안 노화시킨 후 24~48시간(RC침목용 16시간이상) 밀폐된 공간에서 상온까지 냉각한 다음 시험한다.

##### ○ 원료 선정을 위한 타사 기존 제품 물색 및 분석

- 타사 제품들을 분석한 결과 B 836의 제품이 탄성 받침을 제작하는데 적절하다고 판단함
- 타사 제품 Grade를 모방하여 Prepolymer 합성

< 타 제품들의 기존 제품 원료 >

| 제품명               | 원료                            |
|-------------------|-------------------------------|
| Vibrathane B836   | Polyether polyol, MDI         |
| Vibrathane B8045  | polycaprolactone polyol, MDI  |
| Adiprene LFP950A  | Polyether polyol, PPDI        |
| Adiprene LFP1950A | Polyester polyol, PPDI        |
| Adiprene LFP2950A | polycaprolactone polyol, PPDI |
| Adiprene LFP3940A | Polycarbonate polyol, PPDI    |

< 제품 특성 비교 >

| 구분                | NCO% | 점도<br>(cps@80°C) | 외관<br>(@25°C) | Color,<br>Gardner |
|-------------------|------|------------------|---------------|-------------------|
| Vibrathane B836   | 8.91 | 1160             | Solid         | 0-2               |
| Vibrathane B8045  | 9.43 | 630              | Solid         | 0-2               |
| Adiprene LFP950A  | 5.43 | 830              | Solid         | 0-6               |
| Adiprene LFP1950A | 2.95 | 3300             | Solid         | 0-6               |
| Adiprene LFP2950A | 3.75 | 1300             | Solid         | 0-2               |
| Adiprene LFP3940A | 3.37 | 7500             | Solid         | 0-2               |

○ Prepolymer 합성 및 시편 제작

- B836의 제품에 비슷한 제품을 만들기 위해 다양한 배합으로 Prepolymer 합성

< Prepolymer 합성 >

| 구 분 |   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|-----|---|------|------|------|------|------|------|
| 폴리올 | A | 25   |      |      | 25   |      | 25   |
|     | B |      | 25   |      |      | 25   | 25   |
|     | C |      |      | 25   | 25   | 25   |      |
| 첨가제 | D | 25   | 25   | 25   |      |      |      |
|     | E | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| MDI | A | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   |

- 합성한 Prepolymer를 Polyol과 반응하여 시편 제작

< 항목별 투입량 >

| 항목    | 투입량       |
|-------|-----------|
| 폴리올 A | 85~95     |
| 폴리올 B | 10~15     |
| 실리콘   | 0.6~1.0   |
| 촉매A   | 0.01~0.03 |
| 촉매B   | 0.2~0.5   |
| 발포제   | 0.2~0.5   |

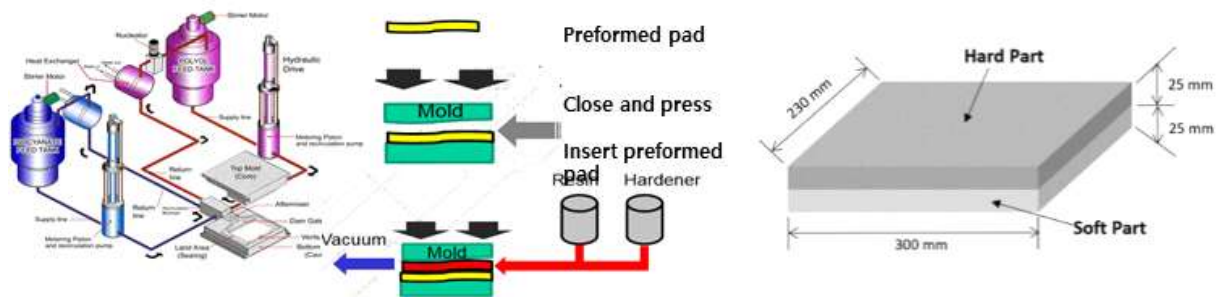
< 시편 제작 >

| 구 분                               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Shore A                           | 58  | 67  | 69  | 78  | 71  | 67  |
| Tensile<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 110 | 120 | 170 | 130 | 150 | 150 |
| Elongation(%)                     | 190 | 240 | 250 | 150 | 220 | 210 |

- 시편의 물성 측정 결과 및 안정성, 가수분해성을 종합한 결과 Formulation 3이 가장 적합한 것으로 판단됨

○ 제작 방법

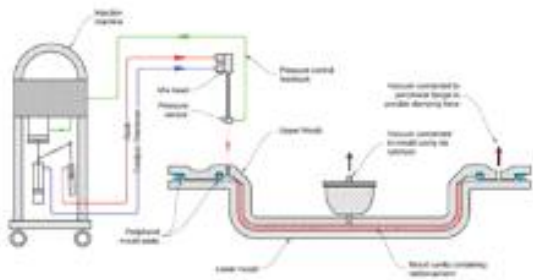
- 고밀도 hard한 폴링 우레탄 시스템으로 상부접촉면을 먼저 성형후 몰드 하부에 장착 한후 soft한 하부 접착면 폴리 우레탄 시스템을 주입하여 제조



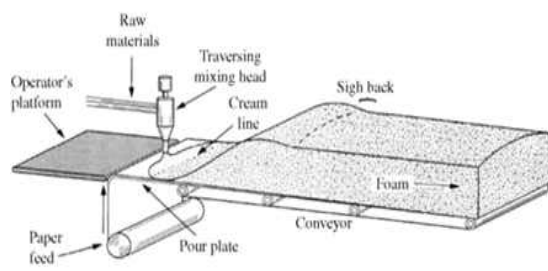
< Dual Pad 공정도 >

○ 탄성받침 공정 조사

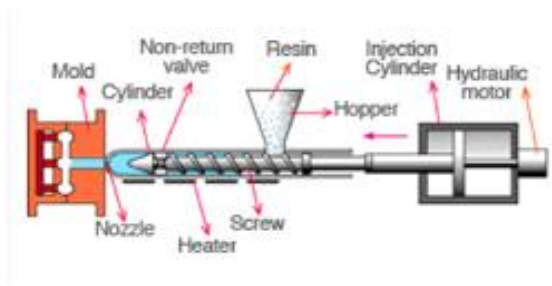
- 폴리우레탄 탄성 받침 제작에 용이한 공정법 조사 후 분석
- 원료에 따른 공정법의 차이점 분석
- 성형법에 따른 소재 적합성 분석



< 진공 성형 >



< 슬라브스톡 폼 성형 >



< 사출 성형 >

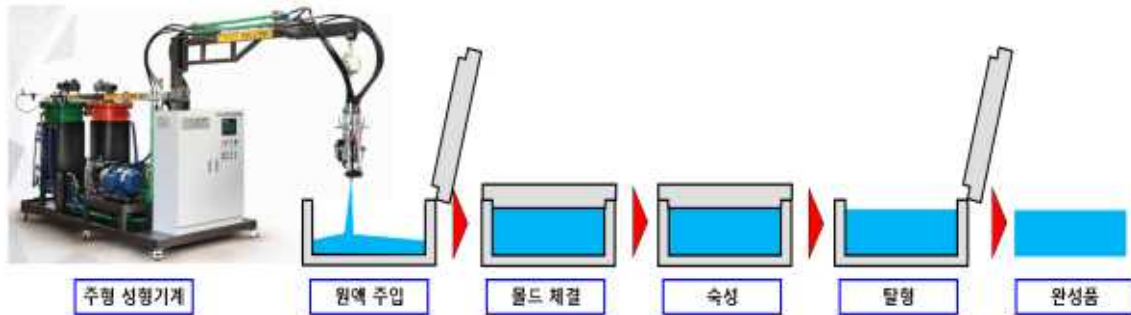


< 발포 성형 >

### (3) 3차년도

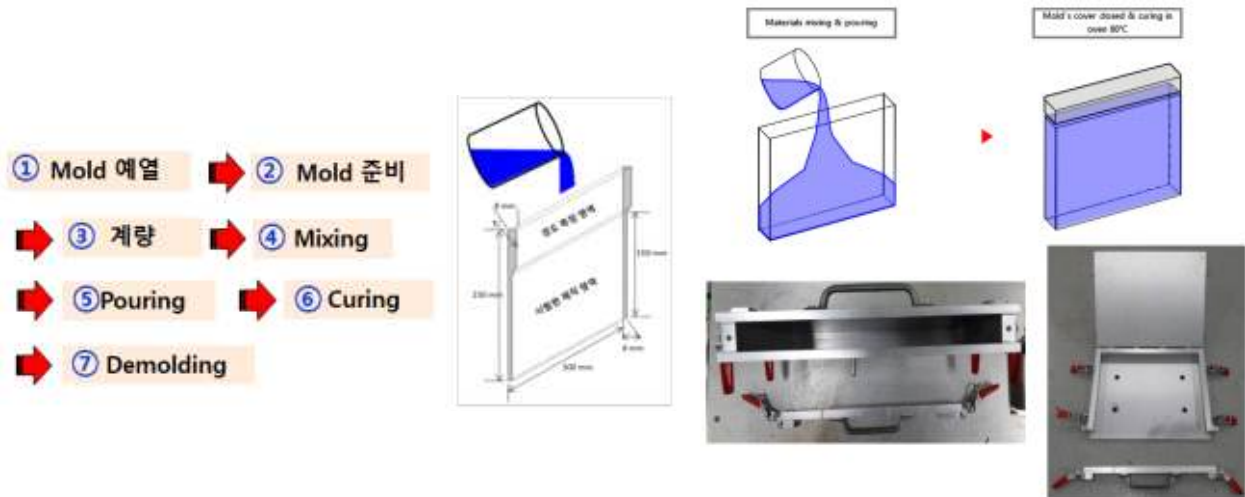
#### ○ 폴리우레탄 소재 탄성받침 제작

- 폴리우레탄 탄성체의 특징을 이용하여 진동과 충격에 강하며 좋은 내구성으로 한계수명이 긴 탄성받침 개발
- 원재료는 Prepolymer 6800B와 혼합 Polyol 으로 주형성형은 유동상태의 폴리우레탄을 Mold에 주입 및 고화시킨 후 탈형하여 제품을 수득하며, 압축성형은 발포 Cell의 Size를 작도록 제어해 주기 위해 Mold를 닫힌 계(Closed system)로 만드는 공법임
- 성형방법 : 주형압축성형 (주형성형과 압축성형의 혼합된 성형방식)



< 주형압축성형 공정 방법 >

- 탄성받침 시험편 제작과정 : Mold 예열후 준비된 원재료를 계량 및 투입하여 이를 고속으로 Mixing한 후 Mold에 붓고 Mold를 닫은 다음 소정의 시간 후에 Mold를 열어 탄성받침 시험편을 제작함. 이후 소정의 시간동안 Aging과정을 거친 후 공인시험기관 물성의뢰 또는 자체 시험평가 진행함.



< 탄성받침 실험실 제작 과정 >

< 탄성받침 제작용 실험실 Mold >

#### ○ 물성 공인인증시험

- 혼합폴리올과 Prepolymer 최적의 배합을 통해 시험편 제작



< 시험 시편 및 노화전/후의 시편 >

- 제작한 시편을 공인인증시험기관에 물성 의뢰하였으며, 물성규격은 철도공사 철도용품 공사규격서 (KRCS A010 05 방진대(저진동 궤도용)) 만족

< 최종 탄성받침 물성 시험 결과 >

| 구 분 |     | 시험 항목   |                     |        | 결 과 |
|-----|-----|---------|---------------------|--------|-----|
|     |     | 경 도     | 인장강도                | 신장율    |     |
|     |     | HS      | kgf/cm <sup>2</sup> | %      |     |
| 노화전 | 규 격 | 58 - 68 | 120 이상              | 300 이상 |     |
|     | 결과치 | 67      | 179.6               | 580    | 합 격 |
| 노화후 | 규 격 | 58 - 68 | 110 이상              | 200 이상 |     |
|     | 결과치 | 61      | 263.3               | 680    | 합 격 |

○ 정적 수직강성시험

- 정적 수직강성 규격은 한국철도공사 표준규격 KRS TR 0014-18R인  $60 \pm 20$  kN/mm을 만족

< 정적 수직강성 시험 결과 >

| 연번 | 시험, 검사종목              | 단위    | 검사결과  | 평균값   |
|----|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1  | 탄성받침(단품) 수직강성 시험 No.1 | kN/mm | 66.43 | 60.80 |
| 2  | 탄성받침(단품) 수직강성 시험 No.2 |       | 56.95 |       |
| 3  | 탄성받침(단품) 수직강성 시험 No.3 |       | 59.03 |       |



< 기본물성 시험성적서 >



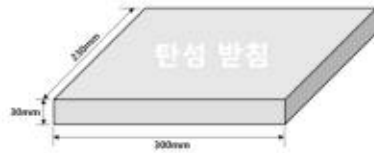
< 정적수직강성 시험성적서 >



< 정적수직강성 시험 >

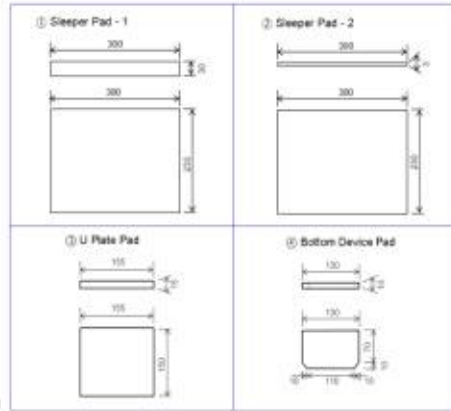
○ 탄성받침 제작도면

- 침목-거더 체결장치에 적용될 받침 2종과 침목-거더사이의 탄성받침 2종으로 총 4종의 탄성받침 제작을 위한 도면을 바탕으로 제작함.



#### 탄성받침 4종

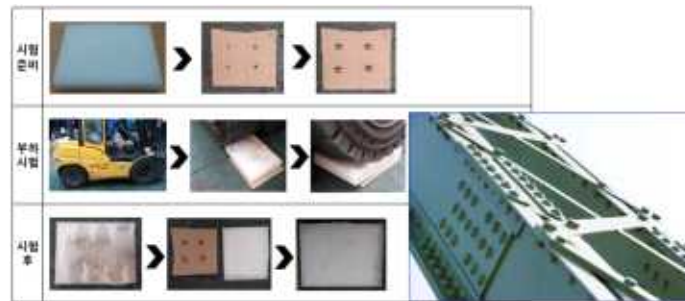
- ① Sleeper Pad - 1 : 230 X 300 X 30 mm
- ② Sleeper Pad - 2 : 230 X 300 X 3 mm
- ③ U Plate Pad : 150 X 155 X 15 mm
- ④ Bottom Device Pad : 80 X 130 X 10 mm



< 탄성받침 제작도면 >

#### ○ 탄성받침 거더 리벳 충격 시험 (자체 시험)

- 거더에는 다수의 리벳이 설치되어 있으며 그 위에 탄성받침이 위치하기 때문에 이를 모의실험 함.
- 3톤 중량의 지게차로 탄성받침아래에 지름 25mm의 Ball 4개를 위치시킨 후 그 위를 지게차가 충격하중을 30초간 준 후 해제하고 탄성받침의 외관 상태를 확인함.
- 모의실험 후의 탄성받침은 약간의 충격 흔적은 있었으나 95%이상 원상 복구하여 거더 리벳에 대한 충격에도 양호한 것으로 판단함.

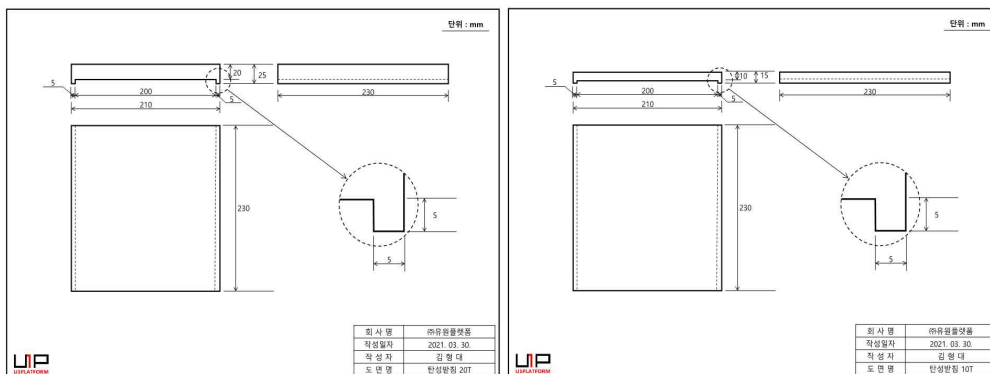


< 탄성받침 vs 거더 리벳 충격 모의시험 >

#### (4) 4차년도

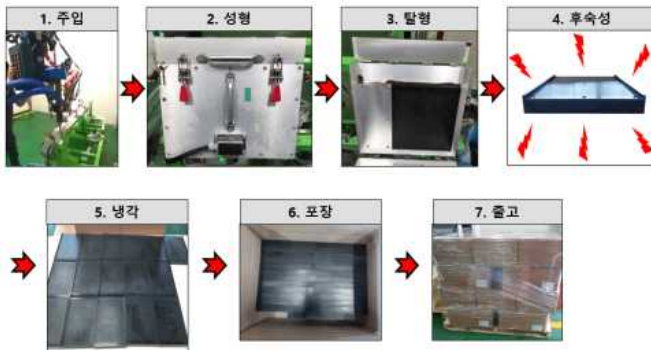
##### ○ 양산 최적화 기술개발

- 시험시공 설치용 탄성받침 제작 ( 제작 및 납입 수량 : 700장 )
- 거더를 감쌀 수 있도록 양 끝에 턱을 올려 탄성받침의 이탈을 방지하도록 설계됨



< 탄성받침 도면 >

- 제작 방법은 일반 우레탄 발포기를 이용하였으며, Mold의 vent Line을 제거하고 제작됨
- 탄성받침의 제작 순서는 일반 2 Comp. 우레탄발포기에 원료를 투입하여 정확한 액비로 준비된 성형 Mold에 주입하고 일정시간 후에 Mold를 열어 성형품을 취외 → 일정시간 상온에서 냉각을 거친후, 열풍 건조기에 넣어 70℃ x 18시간동안 Aging → 상온에서 냉각



< 탄성받침 제작 순서 >



< 탄성받침 시제품 >

- 시험시공용 탄성받침의 물성측정 결과, 3차년도 공인시험 물성 결과와 유사하며, 철도공사 철도용품 공사 규격서(KRCS A010 05 방진대(저진동 궤도용))에 만족

< 물성 측정 결과 >

| 구 분                               | 규격      | 1   | 2   | 3   | 4   |
|-----------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| Shore A                           | 58 ~ 68 | 65  | 66  | 64  | 65  |
| Tensile<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 120 이상  | 145 | 161 | 142 | 157 |
| Elongation(%)                     | 300 이상  | 590 | 550 | 620 | 570 |



< 탄성받침 물성측정 모습 >

- 200만회 피로시험 전/후의 탄성받침 정적수직 강성 결과 양호함
- 피로시험 전/후의 결과값 모두 자체관리규격인  $60 \pm 20$  kN/mm를 만족하는 결과를 보임
  - 피로시험 전과 후의 변화는 25% 이하이어 함
  - 탄성받침 경사반복시험 전/후 (피로시험) 결과는 자체관리 규격을 모두 만족하였음

< 탄성받침 경사반복시험 전/후 결과 >

| 구 분    | 단위    | 시험 전  | 시험 후  | 변화값(%) | 시험방법                   |
|--------|-------|-------|-------|--------|------------------------|
| 경사반복시험 | kN/mm | 61.13 | 70.16 | 14.8   | KRS TR<br>0014 - 18(R) |
|        |       | 61.72 | 74.86 | 21.3   |                        |

## 시험 성적서

접 수 번 호 : KCTA-2020-0633      접 수 일 자 : 2020년 10월 28일  
의뢰 인 : 한 우 진      시험처이종목적 : (국립교통과학기술진흥원, 국가철도공단)  
발 제 항 : (주)에스코빌티비즈      주 소 : 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 7 에스코빌티비즈  
주 소 : 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 7 에스코빌티비즈  
시 료 명 : 침목단위 침목고장장치 수직재하 및 강사면복합시험

- 결 과 -

| 연번 | 구분        | 시험 항목      | 단위    | 시험 방법               | 시험 결과값 |       |       |       |       |
|----|-----------|------------|-------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|    |           |            |       |                     | LVD11  | LVD12 | LVD13 | LVD14 | LVD15 |
| 1  | Case1     | 침목 하중      | mm    | 수직재하 시험             | 2.33   | 6.04  | 11.74 | 5.07  | 1.06  |
| 2  | Case2     | 침목-거더 고장장치 | mm    | 침목재하 시험             | 1.69   | 5.55  | 11.12 | 4.52  | 0.64  |
| 3  | 강사면복합시험   | -          | -     | -                   | 이상발생   |       |       |       |       |
| 4  | 탄성반침 시험 전 | 1111-1     | mm/mm | KRS TR 0014 - 18(R) | 61.13  |       |       |       |       |
| 5  | 탄성반침 시험 후 | 1111-3     | mm/mm | KRS TR 0014 - 18(R) | 61.72  |       |       |       |       |
|    |           |            |       |                     | 70.16  |       |       |       |       |
|    |           |            |       |                     | 74.86  |       |       |       |       |

[비고]  
1. 수직재하시험(단위 침목간격): 시험하중 - 300 kN, 시험속도 - 1 kN/sec  
2. LVD1 1,2,3,4,5 위치 침목중심  
3. 침목단위시험: 시험하중 - 132.04 kN, frequency - 4 Hz, 시험횟수 - 2 000 000 cycle.  
4. 강사면복합시험은 복원시험으로 확인함.  
5. 탄성반침: 침목단위시험: 시험하중 - C형식, 4지점 외부변위측정, 시험편 수-1개.

|     |       |      |       |       |       |
|-----|-------|------|-------|-------|-------|
| 작성자 | 김 호 연 | 기밀관리 | 기술책임자 | 박 준 형 | 일/월/년 |
|-----|-------|------|-------|-------|-------|

비고 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험 및 시험방법을 시험한 결과로서 판례 제정에 대한 공감을 보증하지는 않습니다.  
비고 2. 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 수송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용은 금합니다.  
비고 3. 이 성적서는 원본(제발행부)을 지참한 후 효력이 있으며, 사본 및 전자 인쇄본(제발행부)은 효력이 없습니다.

케이씨티시험연구원      2020년 11월 26일  
전화번호 : 041)583-7890      팩스번호 : 041)583-7891  
주 소 : 충청남도 천안시 동남구 서문로 1899-35      충청남도 천안시 동남구 서문로 1899-35

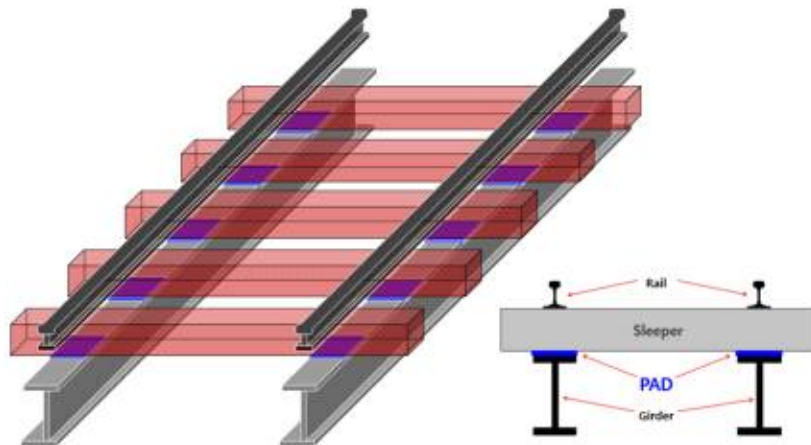
KCT-KQP-15-F02      총 6 페이지 중 1 페이지      KCT



< 정적수직강성 시험성적서 >

< 정적수직강성시험 장면 >

- 침목과 거더 사이에 탄성받침이 위치하여 레일 위의 기차 하중과 소음, 진동 등을 감소시키며, 거더에 전달되는 진동을 제어해 주는 역할을 함



< 탄성받침 설치 위치 >

## (3) 교량 침목을 대체할 친환경 침목 개발

### (1) 1차년도

#### ○ 합성수지침목 기술현황 조사

- 합성수지침목의 Main polymer 분석 : 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스타이렌, EVA, PVC
- 합성수지침목의 Filler 분석 : recycling-tire, recycling-PET, recycling-wood

#### ○ 선행연구와의 차별화를 위한 선행연구 분석

- 선행연구 개발자(동국대 임중연 교수) 미팅을 통한 차별성 확인
- 적용되는 Main polymer와 Filler의 차이가 존재함

< 선행기술과의 차별성 >

| 구분           | 선행기술                                                        | 본 연구                                            |
|--------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 개발명          | 폐목분 및 나노신소재를 활용한 합성침목 대체가능 침목재료 원천기술 개발 및 유한요소법을 통한 침목 최적설계 | 기존 궤도구조 합성침목 배합설계 개발                            |
| Main polymer | Polyethylene, Polypropylene                                 | Polyethylene                                    |
| Filler       | Nano-cellulose                                              | Recycling-wood, Recycling-PET, Recycling-rubber |
| 적용분야         | 일반철로                                                        | 무도상 교량, 일반철로                                    |
| 장점           | 친환경성                                                        | 친환경성, 경량성, 성형성, 제조공정 단순화, 기계적 강도                |
| 제품화          | 실험적, 이론적 접근                                                 | 개발 후 생산                                         |

- 무도상교량에 적용할 합성수지침목은 열차하중을 견딜 수 있는 높은 기계적과 탄성특성이 요구됨
  - Polyurethane은 가교반응이 발생 됨으로서 3차원 network 구조를 형성
  - 3차원 구조(고분자화)로 인하여 우수한 기계적 강도와 내열성, 진동흡수성과 내마모성이 발현됨

○ 전문가 자문회의

- 소재 : 열가소성보다 열경화성 소재 사용 필요
- 첨가제 : 나노셀룰로오스에 비해 대량 공급이 가능한 페플라스틱 및 페타이어가 실용면에서 유리
- 제조방식 : 첨가제 함량에 제한이 없는 압축몰딩 방식 검토
- 침목 개발 시 기계적 강도, 저온취성, 내마모성, 자외선에 의한 가수분해 현상을 제어할 수 있는 기술 필요



< 전문가 자문회의 >

○ 침목 현황 확인을 위한 현장조사

- 교량 방문을 통해 현재 사용 중인 침목 상태 및 문제점
- 침목의 요구 성능 확인 후 침목의 기계적 특성 향상을 위한 설계 방안 검토



< 볼트에 의한 쪼개짐 >



< 노화에 의한 갈라짐 >



< 갈라짐 방지 기술현황 >

○ 국외 합성침목 기술동향 분석(성능, 소재특성)

- 미국: ieTek Sleeper, Wood core Sleeper, Axion EcoTrax, PRIMIX, IntegriCo
- 일본: Sekisui Chemical

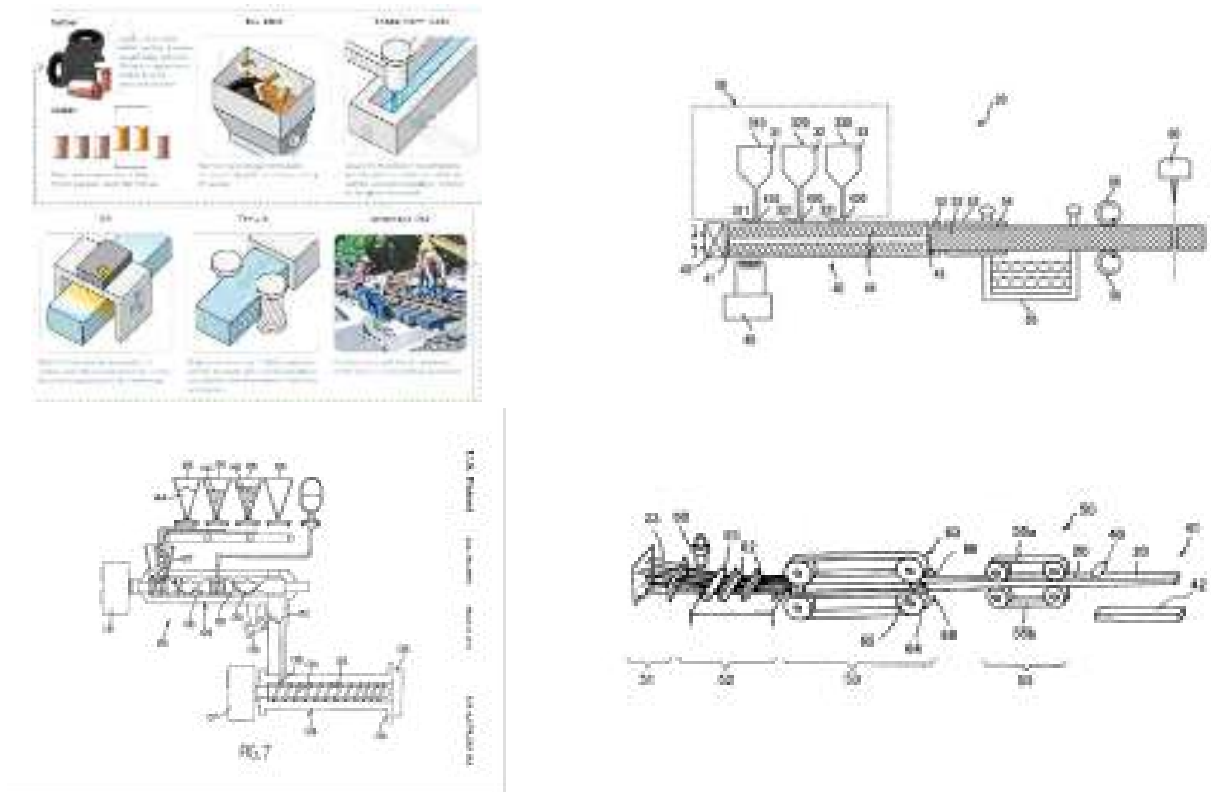
- 인도: Permali Wallace Pty
- 태국, 남아프리카공화국(Tufflex), 네덜란드(KLP), 영국(I-Plas), 독일(Railwast)



< 국외 합성침목 제품 사진 >

#### ○ 유사제작공정 분석

- 합성침목 제조기술 개발 동향 분석

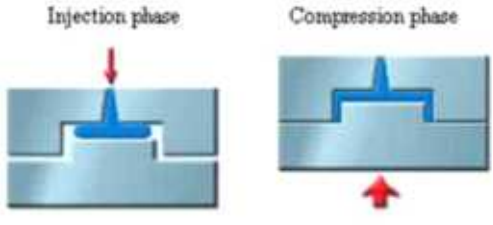


< 합성침목 제조 기술 공법 >

- 합성수지 성형 기법 조사

사출성형법, 사출압축성형, RIM 성형법, 압축성형법 특징 및 주요활용분야 등

< 사출성형과 압축 성형 기법 비교 >

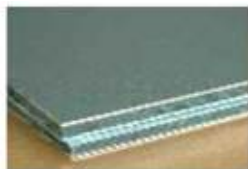
| 사출성형                                                                                                                                                                                                        | 압축 성형                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                            |                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-열가소성, 열경화성 수지 모두 가능</li> <li>-수지를 호퍼에 넣고 실린더 내에서 용융되어 금형에 전달되는 방식</li> <li>-수지의 용융과정부터 금형 전달까지의 시간이 짧아 성형속도가 빠름</li> <li>-수지의 냉각속도가 빨라 크고 두꺼운 제품 성형이 어려움</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-열경화성 수지 성형에 적용</li> <li>-소재를 금형에 넣고 고온, 고압환경에서 제품 제작 방법</li> <li>-크고 두꺼운 제품 성형 가능</li> </ul> |

(2) 2차년도

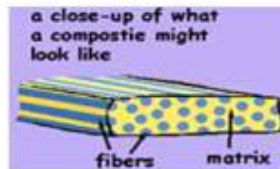
○ 폴리우레탄 성형 공정 조사

- 보강재가 첨가된 고분자 복합재료 성형방법

- 보강재가 첨가된 고분자 복합재료는 아래와 같은 구조로 형성됨



직증 복합재



섬유강화 복합재



입자 복합재

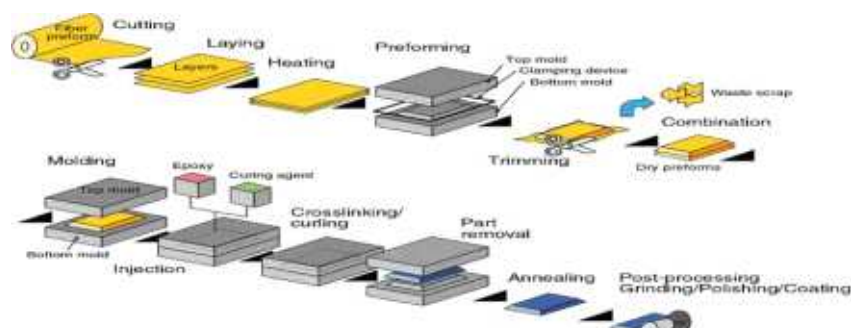
< 유형별 보강재가 첨가된 고분자 복합재료 구조 >

- 이러한 고분자 복합재료는 다양한 성형법을 토대로 제작됨
- 대표적인 고분자 복합재료 성형법은 High pressure - Resin transfer molding (HP-RTM), Filament winding, Composite spray molding(CSM), Resin injection molding(RIM) 등이 있음

○ 고분자 복합재료 성형방법

- High pressure - Resin Transfer Molding (HP-RTM)

- Fiber 소재로 조합된 fabric 형태의 구조물을 preforming 금형내에서 접착제를 활용해 부착한 후 열을 가하여 Fiber 구조층 형성
- Fiber 선 구조층을 성형 금형에 주입하여 수지를 주입한 후 가온, 고압을 주어 제품 성형하는 공법



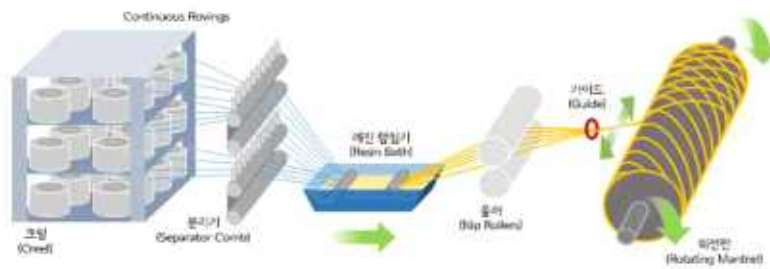
< HP-RTM 공법 >



< HP-RTM 국내업체 방문 >

#### -Filament winding

- 회전판에 섬유사를 감아놓은 후 사이에 접착 레진을 두어 섬유사가 레진에 담겨져 표면에 코팅되어 회전판에 감기며 제품이 성형되는 공법



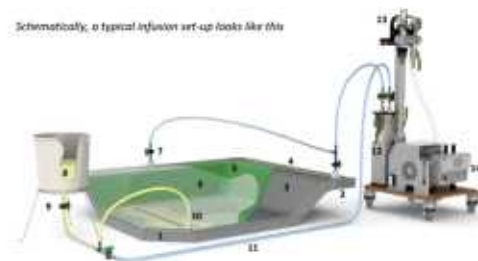
< Filament winding 공법 >



< Filament winding 국내업체 방문 >

#### - 진공 성형 (Vaccumed-Resin Injection molding)

- 금형 내부를 진공으로 만들어 수지를 주입하여 성형하는 방법



< 진공성형 공법 >

#### ○ 재료시험 및 시편 제작

- 복합소재 침목의 물성 기준을 위한 보강재 재료시험
- 보강재는 바잘트섬유, 천연섬유, 아크릴, PE Powder, PE Chip 등 다양한 Filler를 접목시켜 시험 진행
- 최종적으로 물성 규정과 경제성에 부합하는 바잘트섬유, 천연섬유, 아크릴 공인인증 평가

< 물성시험 항목 >

| 구 분                      | 평가 내용                       | 시험 항목                       | 시험 조건 및 방법      |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 힘 시험                     | 하중 저항성 및<br>내구성 평가          | 정·동적 강성 시험                  |                 |
|                          |                             | 피로시험                        | 200만회(2Hz~10Hz) |
|                          |                             | 극한하중 재하 시험                  | 120kN/min       |
|                          |                             | 영구변형 시험                     | 1000 cycles     |
| 온도 시험                    | 외기 변화에 따른<br>재료 변형 여부<br>평가 | 열팽창 시험                      | -30℃ ~ 60℃      |
|                          |                             | 온도변화에 따른<br>스크류/인서트 영구변형 시험 | 15kN            |
| 레일체결장치와<br>의 인터페이스<br>시험 |                             | 반복하중 재하 시험                  | 300만회 경사 반복하중   |
|                          |                             | 전기저항 시험                     | 5k $\Omega$ 이상  |
|                          |                             | 스파이크 또는 볼트류의<br>인발저항 시험     | 30kN or 60kN    |
| 화재 시험                    | 난연 성능 및<br>독성가스 배출 평가       | -                           |                 |

< 보강재 재료시험 >

| 번호 | 재료         |                                                                                     | 휨강도<br>(Mpa) | 탄성계수<br>(Gpa) | 밀도<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 무게(g) | 판정  | 비고                  |
|----|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|----------------------------|-------|-----|---------------------|
| 1  | 바잘트섬유      |    | 118.26       | 7.42          | 1117                       | 350   | 적합  |                     |
| 2  | 천연섬유       |    | 118.9        | 7.86          | 1156                       | 347   | 적합  |                     |
| 3  | 아크릴        |    | 90.48        | 6.07          | 780                        | 234   | 적합  |                     |
| 4  | Si Powder  |    | 39.58        | 1.11          | 890                        | 267   | 부적합 | 탄성계수<br>부적합         |
| 5  | PE Powder  |   | 16.76        | 0.58          | 573                        | 172   | 부적합 | 휨강도,<br>탄성계수<br>부적합 |
| 6  | PE Chip    |  | 19.7         | 1.04          | 1020                       | 306   | 부적합 | 강도향상<br>미비함         |
| 7  | Black Yarn |  | 73.43        | 2.07          | 1090                       | 327   | 부적합 | 탄성계수<br>부적합         |

○ 공인인증시험

- 공인인증 평가 결과 ISO 12856-1과 JIS E 1203의 규격을 모두 만족하나 공급성, 경제성 및 품질 개선 등을 예상한 결과 바잘트섬유가 향후 제품품질 및 성형성 개선 등에서 우수함

< 보강재 공인인증시험 결과 >

| 구분                        | 규격                      |            | 공인인증시험                |                       |                       |
|---------------------------|-------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                           | ISO 12856-1             | JIS E 1203 | 바잘트섬유                 | 천연섬유                  | 아크릴                   |
| 휨강도 (MPa)                 | $\geq 28$               | -          | 143                   | 94.8                  | 121                   |
| 탄성계수 (GPa)                | $\geq 6$                | -          | 7.984                 | 6.036                 | 7.016                 |
| 압축강도 (N/mm <sup>2</sup> ) | $\geq 40$               | -          | 78.6                  | 93.4                  | 86.9                  |
| 전단강도 (N/mm <sup>2</sup> ) | $\geq 7$                | -          | 25.4                  |                       |                       |
| 스파이크인발 (kN)               | -                       | $\geq 15$  | 73                    |                       |                       |
| 나사인발 (kN)                 | -                       | $\geq 30$  | 118.1                 |                       |                       |
| 직류절연저항 ( $\Omega$ )       | $\geq 1 \times 10^{10}$ | -          | $10 \times 10^{13}$   | $65 \times 10^{10}$   | -                     |
| 수분 흡수율 (%)                | $\leq 2$                | -          | 0.14                  | 0.9                   | 0.14                  |
| 선형 팽창계수 ( $K^{-1}$ )      | $\leq 5 \times 10^{-5}$ | -          | $4.37 \times 10^{-8}$ | $7.29 \times 10^{-8}$ | $4.74 \times 10^{-8}$ |



< 바잘트섬유 시험성적서 >



< 천연섬유 시험성적서 >

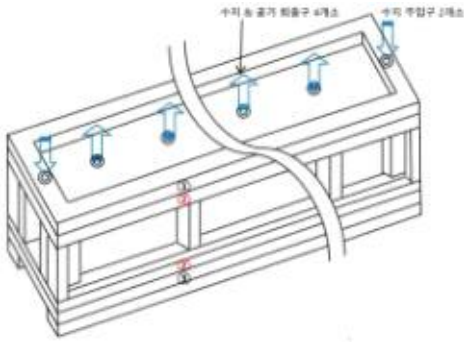


< 아크릴 시험성적서 >

○ 합성 침목 제작 공정 확립

- 침목 제작 금형 설계

• 검증된 폴리우레탄 수지와 현무암 섬유 메쉬 적용침목 제작 공정 설계



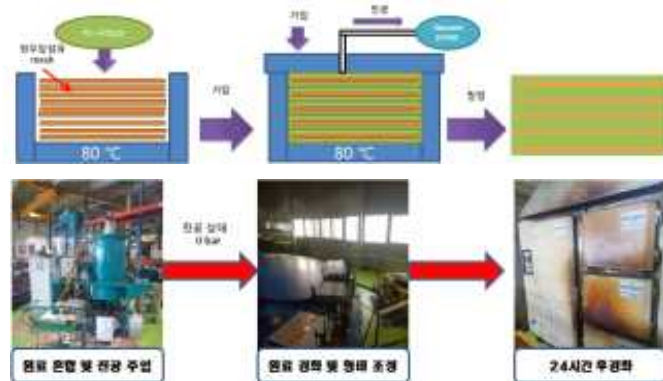
<금형 조립도>



<합성 침목 시제품 제작용 금형사진>

#### ○ 합성침목 공정 방법

- 금형은 탈형에 용이하도록 분해가능 금형으로 설계
- 금형 외부에 비닐백에 감싸넣어 틈에 의한 공압 상승 효과 제거
- Basalt fiber mesh를 금형 내 적층- 금형 내 폴리우레탄(MDI+Polyol)을 혼합하여 금형 내 수지를 주입
- 프레스로 금형 표면을 눌러 공압에 눌러 발포에 의한 금형 들뜸 현상 방지
- Vacuum pump를 금형에 체결하여 폴리우레탄 중합과정에서 발생하는 기포를 외부로 배출
- 내부 기포 발생시 물성 저하가 발생하고, 섬유와 수지간의 접착력 저하 발생 우려
- 1시간 금형 내 반응을 진행하고, 탈형 후 상온에서 24시간 후경화 후 제품 보관



<제품 가공 모식도>

#### ○ 기존 개발 공법과의 차별성

- 폴리우레탄 기반 복합소재침목 개발에 앞서 선행되어진 “나노-재활용 신소재 연구”에 대하여 비교 분석
- 소재적이 면에서 폴리우레탄은 열경화성수지로서 우수한 기계적 특성과 함께 내열성, 내화학적, 온도 변화에 의한 변형이 약함으로 치수 안정성이 우수하다는 장점이 있음
- 반면 폴리에틸렌과 폴리프로필렌과 같은 열가소성수지의 경우 가교가 발생하지 않음으로 온도에 의한 치수변화가 발생하며 내화학적과 내구성에서 폴리우레탄에 비해 부족한 특성이 보일 것으로 판단 됨
- 폴리우레탄의 경우 다양한 무리질과 재활용 물질을 보강성 첨가제로 사용이 가능하기 때문에 대량생산과 생산성 측면에서 유리하다 판단 됨
- 생산방식 및 생산공정에서 “나노-재활용 신소재 연구”의 경우 열가소성수지와 블렌드하여 사출하는 방식으로 사출 시 보강성 첨가제 적용 함량이 제한적이며, 그 제한적인 첨가제 함량으로 기계적 특성 향상이 제한적일 것으로 판단 됨
- 열경화성인 우레탄은 압축 몰딩방식으로 제조하기 때문에 Reinforced filler를 최대 50%까지 첨가 가능
- 교량에 사용될 침목의 경우 열차주행 중에 발생하는 진동을 흡수할 수 있는 탄성력이 중요한 인자로 여겨지므로 우수한 탄성력을 지닌 폴리우레탄이 복합소재침목에 적합한 소재로 검토 됨

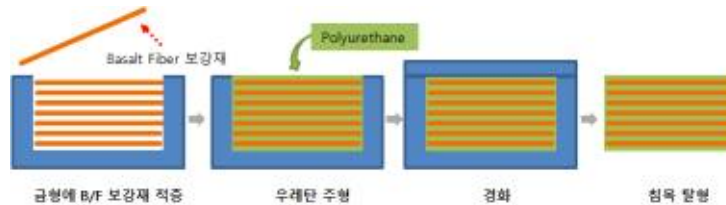
#### (3) 3차년도

##### ○ 보완상세설계

- 본 연구에서 개발한 합성침목은 경질폴리우레탄 소재를 활용하여 현무암 섬유와 경질폴리우레탄 수지를

인발성형하여 substrate로 하였고, 경질폴리우레탄 수지를 채워 넣어 마감재로 사용

- 일본 Sekisui-railway에서 개발한 FFU syntheyic wood는 경질폴리우레탄 소재에 유리섬유로 보강
- 유리섬유는 인체에 유해하지 않는 소재로 석면을 대체하는 획기적인 소재이지만, 단기간의 알레르기 유발과 피부에 자극을 주어 따갑게 하거나 칼에 닿게 베이는 정도의 상처를 유발하는 단점이 있음
- 본 연구에서는 특허 문제를 회피하기 위해 유리섬유와 동등수준의 물성과 인체에 친화적인 소재로써 현무암섬유를 최종 채택하여 개발
- 폴리우레탄 수지와 현무암 섬유 적용 침목 제작 공정 설계
- basalt fiber 보강재를 사용하여 금형에 보강재를 적층 후 우레탄을 주형하고, 금형 뚜껑을 닫은 후 일정 시간 경화 시킨 후 침목을 탈형하는 공정단계를 거침

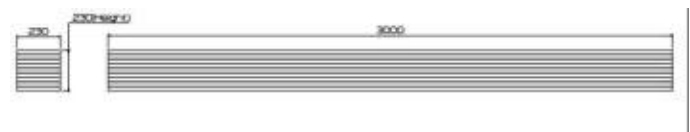
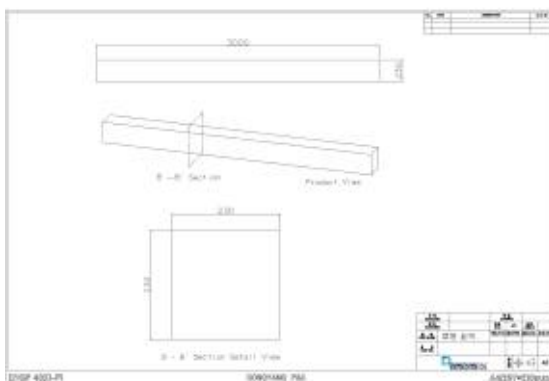


< 침목 공정 단계 >

- 제품 도면 작성
  - 보통침목/ 교량용 침목 / 분기기용 침목 사이즈에 맞도록 침목 도면 작성

<침목 종류별 사이즈>

| 종류      | 두께(mm)  | 폭(mm) | 길이(mm)    |
|---------|---------|-------|-----------|
| 보통침목    | 150     | 240   | 2500      |
| 교량용 침목  | 150~230 | 230   | 3000      |
| 분기기용 침목 | 150     | 240   | 2800~4600 |



< 교량용 침목 도면 >

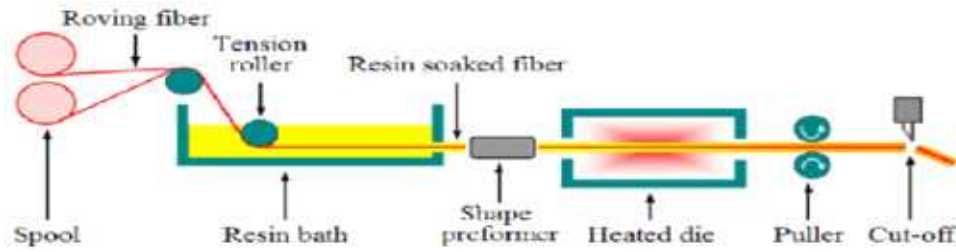
- 금형 설계/제작
  - 총3 SET의 금형을 제작하였으며,
  - 금형 내부 사이즈는 230X230X3000mm / 230X150X3000mm / 150X230X3000mm

## ○ 개선품 제작

-제작방법(인발공정(폴트루전) 공법)

- Hot press공법은 단속적 방법으로 제조되는데 이를 연속적 제조가 가능한 인발 공정 공법 도입

- 폴트루전 공법은 일정 다면의 복합 재료를 연속적으로 생산하는 방법
- 생산성이 우수한 장점으로 섬유 다발이 수지 함침통을 통과하여 가열 다이 통과 후 경화되어진 성형 제품을 사용하게 되어 기존의 Hot press 방법으로 Filler 압착시 부피 조정이 어려운 점을 개선



< 인발공정(폴트루전) 공법 >

- 인발 공정 도입 시편의 물성 측정결과 ISO 12856-1 규격에 적합

< 인발공정(폴트루전)공법으로 제조된 침목의 물성 >

| 구분                        | SPEC      | Result |
|---------------------------|-----------|--------|
| 휨강도 (MPa)                 | $\geq 28$ | 281    |
| 탄성계수 (GPa)                | $\geq 6$  | 27.6   |
| 압축강도 (N/mm <sup>2</sup> ) | $\geq 40$ | 55.2   |
| 전단강도 (N/mm <sup>2</sup> ) | $\geq 7$  | 13.5   |



< 공인 시험성적서>

- 밀도를 낮추면 같은 원액으로 더 많은 양의 우레탄수지를 제작할 수 있는 때문에 원가 개선을 위해 폴리우레탄 밀도를 저하시켜 휨강도 탄성률 비교

< 침목 밀도별 굴곡강도, 탄성률 >

| 밀도(kg/m <sup>3</sup> ) | 굴곡강도(MPa)        | 탄성률(Gpa)         |
|------------------------|------------------|------------------|
| 400                    | 7.7, 11.4, 12.1  | 0.24, 0.37, 0.33 |
| 750                    | 21.7, 19.3, 26.8 | 0.56, 0.58, 0.61 |
| 1000                   | 27.3             | 2.16             |

- 밀도에 따른 굴곡강도 및 탄성률 측정결과 밀도가 낮아질수록 기존밀도인 1,000kg/m<sup>3</sup>의 탄성률과의 차이가 크게 벌어져 밀도를 낮춘 원가 개선 불가능
- 바잘트 실험은 생산 지역별(중국산, 러시아산) 투입되는 Filler의 이원화를 통하여 공급안정성 및 원

< 바잘트 생산 지역별(중국산, 러시아산) 침목의 물성 >

| 구분                       | SPEC | 중국산            | 러시아산           |
|--------------------------|------|----------------|----------------|
| 휨강도(MPa)                 | ≥ 28 | 118.3<br>123.1 | 121.7<br>130.3 |
| 탄성계수(GPa)                | ≥ 6  | 7.42<br>7.78   | 7.13<br>7.45   |
| 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) | ≥ 40 | 58.5<br>63.1   | 60.5<br>65.1   |

- 중국산·러시아산별 휼강도, 탄성계수 및 압축강도 값의 큰 차이가 없으므로 재료 이원화 가능
- 합성침목의 온도의존성 평가는 60도와 -30도에서 24시간 후 측정하는 내열성 평가와 내한성 평가 진행

< 침목의 내열성, 내한성 평가 물성 >

| 기준               | 구분                       | SPEC | Result |
|------------------|--------------------------|------|--------|
|                  | 휨강도(Mpa)                 | ≥ 28 | 178    |
|                  | 탄성계수(GPa)                | ≥ 6  | 8.201  |
| 내열성 평가<br>(60도)  | 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) | ≥ 40 | 59.3   |
|                  | 전단강도(N/mm <sup>2</sup> ) | ≥ 7  | 26.1   |
|                  | 휨강도(Mpa)                 | ≥ 28 | 190    |
| 내한성 평가<br>(-30도) | 탄성계수(GPa)                | ≥ 6  | 8.447  |
|                  | 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) | ≥ 40 | 64.4   |
|                  | 전단강도(N/mm <sup>2</sup> ) | ≥ 7  | 18.5   |

- 온도의존성 평가 결과 내열성, 내한성 모두 ISO 12856-1규격 만족

[illegible]

### < 공인 시험성적서 >

- 난연성 측정은 ISO 12856-1에 따라 IEC 60695-11-20 방법으로 진행
- 시편 Bar 형태는 125mm X 13mm X 0.75, 1.5, 3, 6, 12mm 이며, Plate 형태는 150mm X 150mm X 0.75, 1.5, 3, 6, 12mm 임
- UL-94 HBF Test (Horizontal Burning Foamed Material Test)를 진행하였으며, 등급은 총 3등급으로 HF-1>HF-2>HBF로 불꽃을 가한 후의 연소시간, 적하에 의한 탈지면의 변화 등으로 등급이 결정되며 합성 수지 침목의 난연성 측정결과 가장 좋은 HF-1등급으로 측정됨



### < 공인 성적서 >

- 촉진내후성 시험을 통한 자외선에 의한 분해 평가 진행

- ISO 4892-2 Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 2 : Xenon-arc lamps 규격에 의한 5,000시간(약 37.5년) 촉진 노화 진행
- 노화 전 · 후 ISO 12856-1 규격에 의해 휨강도, 탄성계수, 종방향 압축강도, 전단강도 물성 측정 결과 노화 후에도 기준 물성을 만족함

### <Xenon Arc에 의한 노화 전 · 후 물성 시험 결과>

| 시험 종류    | 시험조건        | 기준                     | 시험결과  |       |
|----------|-------------|------------------------|-------|-------|
|          |             |                        | 노화 전  | 노화 후  |
| 휨강도      | ISO 12856-1 | $\geq 28\text{MPa}$    | 167   | 132   |
| 탄성계수     | ISO 12856-1 | $\geq 6000\text{MPa}$  | 8,940 | 8,660 |
| 종방향 압축강도 | ISO 12856-1 | $\geq 40\text{N/mm}^2$ | 68.4  | 50.8  |
| 전단강도     | ISO 12856-1 | $\geq 7\text{N/mm}^2$  | 11    | 14.9  |



### < 노화 후 물성 공인성적서 >

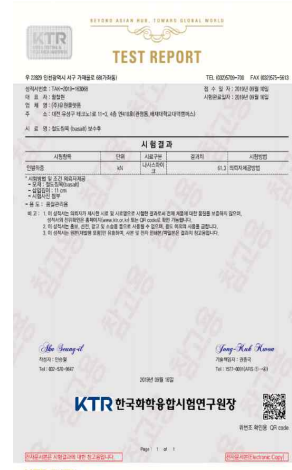
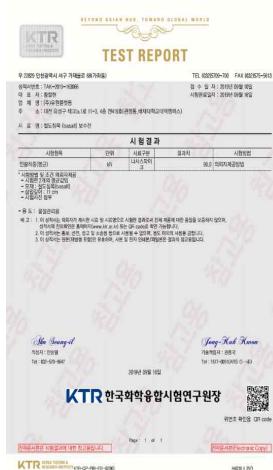
- 폴트루전 공법을 사용하여 합성수지 침목 제조시 보수를 위한 기계적 물성 평가 진행
- 침목 시편에 천공시의 구멍 크기만큼(약18~20mm) 구멍을 뚫은 후 개발된 보수액으로 처리한 보수 전과 후의 나사스파이크 인발에 대한 기계성 물성 측정결과 ISO 12856-1 규격에 적합하므로 검증 완료

<보수 전 · 후 나사 스파이크 인발 시험 결과>

| 시험 종류            |                        | 시험조건       | 기준     | 시험결과                             |
|------------------|------------------------|------------|--------|----------------------------------|
| Pulling Strength | Screw Spike<br>(나사 인발) | JIS E 1203 | ≥ 30kN | (보수 전) 90.0 kN<br>(보수 후) 61.3 kN |



< 보수 전 · 후 나사 스파이크 인발 >



< 공인 시험인증서 >

○ 시작제품 현장 부설

- 장소 : 7호선 천왕차량 기지

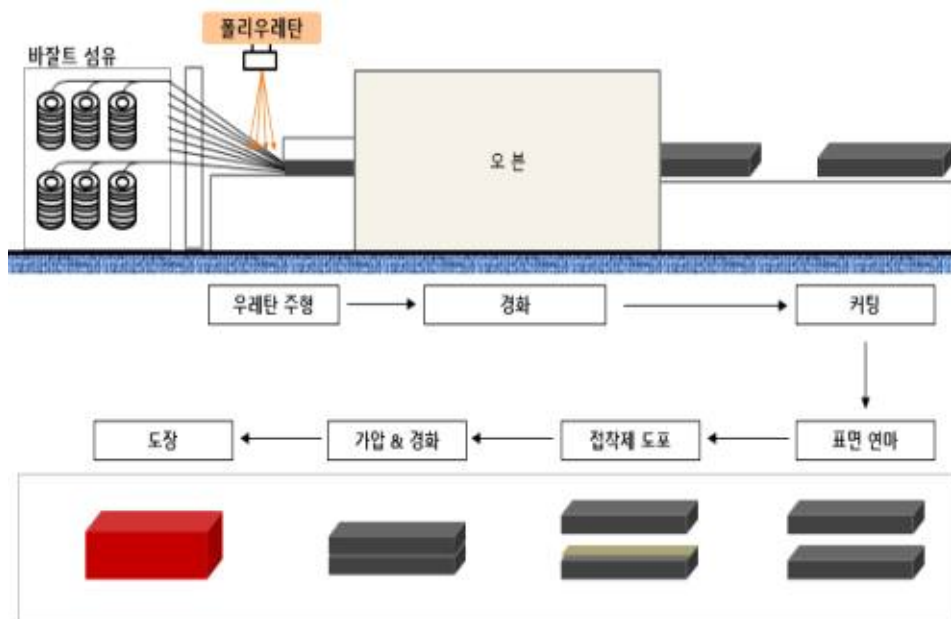


< 시험체 현장 부설 >

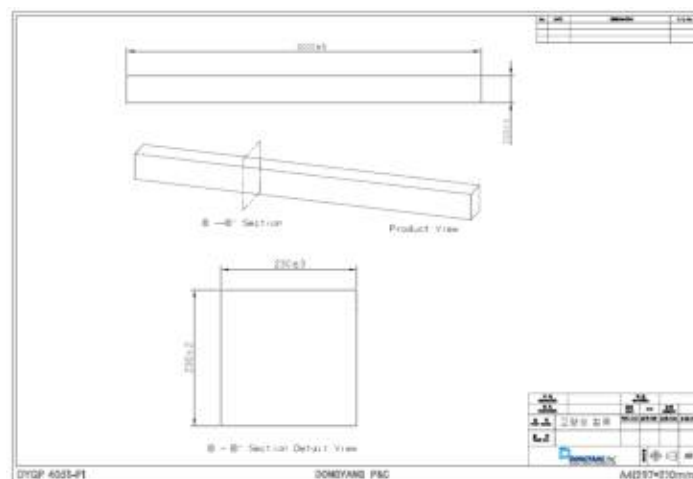
(4) 4차년도

○ 합성 침목 제조 공법

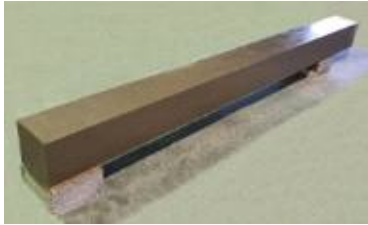
- 본 연구에서 개발한 합성침목은 경질우레탄 소재를 활용하여 현무암 섬유와 경질 폴리우레탄 수지를 동시에 인발 성형하여 침목을 제작
- 본 연구에서는 친화적인 소재로써 바잘트(현무암)섬유를 최종 채택하여 개발



< 합성수지침목 제작 공법 >



< 교량용 합성 침목 도면 >



< 교량용 합성수지침목 시제품 >

○ 합성수지침목 국내 물성비교에 따른 요구성능 도출

- 현재까지 국내에서 합성수지침목과 관련한 기준, 지침 또는 시방서가 없음
- KS F 3005(가압식 크레오소트유 방부 처리 침목)
  - 방부처리한 목침목에 대한 내용으로 자체의 결함, 치수와 제조방법 및 방부처리와 크레오소트유 관련한 사항 제시
  - 역학적 성능과 관련해서는 기건 비중 0.45와 섬유 직각방향의 압축 비례한도응력 4.0MPa 만을 제시
- KRS TR 0007(목침목)
  - 목침목 종류별 형상 및 치수, 제조 및 가공, 검사 및 시험 등의 사항 제시
  - 역학적 성능과 관련해서는 KS F 3005와 동일하게 기건 비중 0.45와 섬유 직각방향의 압축 비례한도응력 4.0MPa 만을 제시
- KRS TR 0008(PSC 침목)
  - PSC 침목과 RC 침목에 대한 내용의 잠정규격
  - 목침목과 직접적인 관련이 없으나, 목침목에 대하여 제시되지 않고 있는 전기절연저항에 대하여 DC 500V급 절연저항계로 측정된 5MΩ 제시
- KRSA T 2017 1003(합성수지침목)
  - 기준이나 표준, 편람 또는 지침은 아니나, 합성수지침목과 관련하여 공공기관에서 제시한 유일한 규격서로 JIS E 1203 인용
  - 재료 및 제조와 관련한 내용은 일본에서 개발된 합성수지침목과 마찬가지로 유리장섬유와 우레탄 수지를 주원료로 할 것을 제시
  - 침목의 형상치수와 관련한 사항은 JIS E 1203과 달리 국내 KS F 3005 및 KRS TR 0007의 치수를 준용함

< 국내 기준에 따른 합성수지침목 성능요구조건 >

| 항 목          | 단위                 | KS F 3005<br>KRS TR 0007 | KRS TR 0008         | KRSA T 2017 1003     |
|--------------|--------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|
| 치수           | mm                 | 230×230×3,000            |                     | 230×230×3,000        |
| 비중           |                    | 0.45                     |                     | 0.74±0.1             |
| 휨강도          | MPa                |                          |                     | 70 이상                |
| 휨탄성계수        | MPa                |                          |                     | 6,000 이상             |
| 내 횡하중        | kN                 |                          |                     | 170 이상               |
| 종방향 압축강도     | N/mm <sup>2</sup>  |                          |                     | 40 이상                |
| 압축비례강도       | N/mm <sup>2</sup>  | 4.0 이상                   |                     |                      |
| 전단강도         | N/mm <sup>2</sup>  |                          |                     | 7 이상                 |
| 접착전단강도       | N/mm <sup>2</sup>  |                          |                     | 7 이상                 |
| 흡수율          | mg/cm <sup>2</sup> |                          |                     | 10 이하                |
| 인발하중(스파이크)   | kN                 |                          |                     | 15 이상                |
| 인발하중(나사스파이크) | kN                 |                          |                     | 30 이상                |
| 절연저항         | Ω                  |                          | 5.0×10 <sup>6</sup> | 1.0×10 <sup>10</sup> |
| 교류파괴전압       | kV                 |                          |                     | 20 이상                |

○ 합성수지침목 국외 물성비교에 따른 요구성능 도출

- JIS E 1203(일본)
  - 합성수지침목과 관련한 최초의 표준으로 관련 산업체들의 요구로 2007년 제정
  - 유리장섬유 및 경질 발포 우레탄으로 구성된 재료를 이용하여 제조된 선로용 합성수지침목에 대하여 규정
  - 침목의 재료 강도, 전기특성, 단위체적 질량, 흡수량 등 물성치에 대한 허용공차, 시험 방법 등 규정
  - 침목의 종류별 규격 제시
- ISO 12856
  - 합성수지침목의 제조에 사용되는 플라스틱과 보강 플라스틱 재료의 특성에 대하여 기술
  - ISO 12856-1에 Type A, Type B, Type C 3가지 종류로 구분
    - Type A    높은 휨강도를 가진 경량 플라스틱 침목
    - Type B    상대적으로 고성능의 플라스틱 침목
    - Type C    표준 성능의 플라스틱 침목
- AREMA Manual for Railway Engineering(미국)
  - 30장에 Engineering Composite Ties로 합성침목관련 기준 제시
  - Polymer Composites(PC), Glued Laminated(GL), Structural Composite Lumber(SCL)의 3가지 형식으로 구분
- EN 17318(유럽)
  - 플라스틱침목의 시험방법 및 기준을 규정
  - EN 17318-1 Railway applications - Infrastructure - Plastic sleepers and bearers. Part 1: General requirements
  - EN 17318-2 Railway applications - Infrastructure - Plastic sleepers and bearers. Part 2: Product testing

< 국외 기준에 따른 합성수지침목 성능요구조건 >

| 항 목                     |       | 단위                 | JIS E 1203           | ISO 12856-1         |                     |                     | AREMA               |         |         | EN-17318                         |
|-------------------------|-------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|---------|----------------------------------|
|                         |       |                    |                      | A                   | B                   | C                   | PC                  | GL      | SCL     |                                  |
| 휨강도 <sup>[1]</sup>      |       | MPa                | ≥70                  | ≥28                 | ≥18                 | ≥13.8               | ≥13.8               | ≥66.9   | ≥53.8   |                                  |
| 휨탄성계수 <sup>[1]</sup>    |       | MPa                | ≥6,000               | ≥6,000              | ≥2,500              | ≥1,170              | ≥1,170              | 11,700A | 12,000A |                                  |
| 종방향 압축강도 <sup>[1]</sup> |       | MPa                | ≥40                  | ≥40                 | ≥8                  |                     |                     |         |         |                                  |
| 횡방향 압축강도                |       | MPa                |                      |                     | ≥8                  | ≥6.2                | ≥6.2                | ≥4.5    |         |                                  |
| 전단강도 <sup>[1]</sup>     |       | MPa                | ≥7                   | ≥7                  | ≥4.5                |                     |                     |         |         |                                  |
| 접착전단강도                  |       | MPa                | ≥7                   | ≥7                  |                     |                     |                     |         |         |                                  |
| 교류파괴전압                  |       | kV                 | ≥20                  | ≥20                 | ≥20                 |                     |                     |         |         |                                  |
| 절연저항                    |       | MΩ                 | ≥10,000              | ≥10,000             | ≥0.01               | ≥0.02               | ≥0.02               | ≥0.01   | ≥0.01   |                                  |
| 인발력(스파이크)               |       | kN                 | ≥15                  |                     |                     |                     | ≥8.5                |         |         |                                  |
| 인발력(나사스파이크)             |       | kN                 | ≥30                  |                     |                     |                     | ≥22.2               |         |         |                                  |
| 밀도                      |       | g/cm <sup>3</sup>  | 0.74±0.1             | ≥0.64               | ≥0.80               | ≥0.80               | 0.80-1.38           | 0.96    | 0.90    |                                  |
| 흡수율                     |       | mg/cm <sup>2</sup> | ≤10                  | ≤2.0                | ≤2.0                |                     |                     |         |         |                                  |
| 선팅창계수                   |       | K <sup>-1</sup>    | ≤5×10 <sup>-5</sup>  | ≤5×10 <sup>-5</sup> | ≤6×10 <sup>-4</sup> | ≤3×10 <sup>-4</sup> | ≤3×10 <sup>-4</sup> |         |         |                                  |
| 난연성                     |       |                    |                      |                     |                     |                     |                     |         |         |                                  |
| 내피로성 <sup>[2][3]</sup>  |       | 회/MPa              | ≥10 <sup>5</sup> /28 |                     |                     |                     | 40 Year             |         |         |                                  |
|                         |       | 회/kN               |                      |                     |                     |                     |                     |         |         | ≥2×10 <sup>6</sup> /ΔF<br>Δk≤10% |
| 체결장치                    | 반복하중  | 회                  |                      |                     |                     |                     |                     |         |         | ≥3×10 <sup>6</sup>               |
| 인테페이스                   | 레이황변위 | mm                 |                      |                     |                     |                     |                     |         |         | ≤1.0                             |

[1] ISO 12856-1은 내열(60℃, 24Hr) 및 내한(-30℃, 24Hr) 시험을 추가로 규정하고 있음

[2] 내피로성은 반복횟수/작용응력 또는 반복횟수/작용력을 의미함

- 본 개발의 합성수지침목은 국내·외 기준을 참고하여 요구성능을 도출하고 물성검증을 실시

○ 합성수지침목 원재료 물성 검증

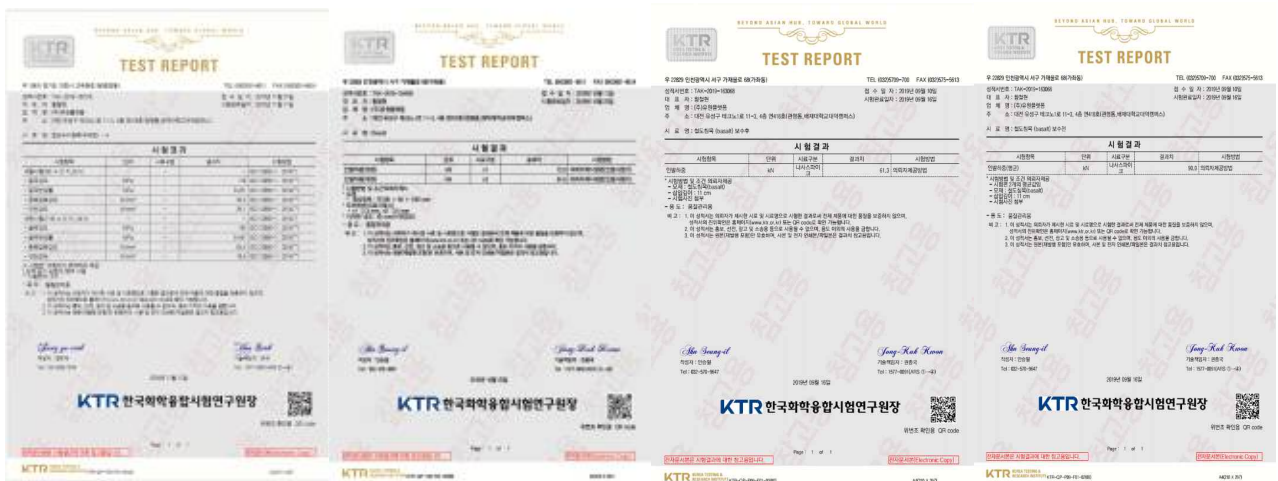
- ISO 12856-1Type A에 의한 원재료 물성 검증 완료
- 인발하중에 대한 조건은 JIS E 1203을 적용
- 휨강도의 경우는 가장 큰 값(70MPa 이상)을 제시하고 있는 JIS E 1203 적용
- 난연성은 UL94:2013 적용

< 합성수지침목 원재료 물성 >

| 구 분                  |          | 요구성능                                                                                          | 결과                                                                                         |
|----------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 인발하중 (스파이크)          |          | $\geq 15\text{KN}$                                                                            | 69.25kN                                                                                    |
| 인발하중 (나사스파이크)        |          | $\geq 30\text{KN}$                                                                            | 90KN                                                                                       |
| 종방향 압축강도             |          | $\geq 40\text{N/mm}^2$                                                                        | 78.6N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
| 전단강도                 |          | $\geq 7\text{N/mm}^2$                                                                         | 25.4N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
| 접착 전단강도              |          | $\geq 7\text{N/mm}^2$                                                                         | 16.7N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
| 휨강도                  |          | $\geq 70\text{MPa}$                                                                           | 143MPa                                                                                     |
| 휨탄성계수                |          | $\geq 6,000\text{MPa}$                                                                        | 7,984MPa                                                                                   |
| 절연저항                 |          | $\geq 1 \times 10^{10} \Omega$                                                                | $1 \times 10^{13} \Omega$                                                                  |
| 밀도                   |          | $\geq 0.64\text{g/cm}^3$                                                                      | 0.825g/cm <sup>3</sup>                                                                     |
| 흡수율                  |          | $\leq 2\%$                                                                                    | 0.14%                                                                                      |
| 선팅창계수                |          | $\leq 5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$<br>(50 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ) | $2.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$<br>(20 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ) |
| 내열 시험<br>(60℃ 24Hr)  | 휨강도      | $\geq 28\text{MPa} \times 0.7$                                                                | 178 MPa                                                                                    |
|                      | 휨탄성계수    | $\geq 6,000\text{MPa} \times 0.7$                                                             | 8,201 MPa                                                                                  |
|                      | 종방향 압축강도 | $\geq 40\text{N/mm}^2 \times 0.7$                                                             | 59.3N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
|                      | 전단강도     | $\geq 7\text{N/mm}^2 \times 0.7$                                                              | 26.1N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
| 내한 시험<br>(-30℃ 24Hr) | 휨강도      | $\geq 28\text{MPa}$                                                                           | 190MPa                                                                                     |
|                      | 휨탄성계수    | $\geq 6,000\text{MPa}$                                                                        | 8,447MPa                                                                                   |
|                      | 종방향 압축강도 | $\geq 40\text{N/mm}^2$                                                                        | 64.4N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
|                      | 전단강도     | $\geq 7\text{N/mm}^2$                                                                         | 18.5N/mm <sup>2</sup>                                                                      |
| 내피로성                 |          | $\geq 2 \times 10^6 / \Delta F$ , $\Delta k \leq 10\%$                                        | $\Delta k = -4\%$ (정적), $+8\%$ (동적)                                                        |
| 체결장치<br>인터페이스        | 반복하중 횟수  | $\geq 3 \times 10^6$                                                                          | $\geq 3 \times 10^6$                                                                       |
|                      | 레일휨변위    | $\leq 1.0\text{mm}$                                                                           | 0.46mm                                                                                     |
| 난연성                  |          | HB                                                                                            | HB                                                                                         |



< 물성 측정 성적서 > < 접착 전단강도 성적서 > < 밀도 성적서 > < 선팅창 계수 성적서 >



< 온도 의존성평가 성적서 > < 인발하중 성적서 > < 보수 전 · 후 나사스파이크 인발 평가 성적서 >



<난연성 평가 시험성적서>

○ 국내 · 외 침목과의 물성 비교

- 합성수지침목은 목침목 대비 인발하중, 휨강도 우수하며, 플라스틱침목 대비 인발하중, 휨강도, 휨탄성계수, 전기저항, 선팅창 계수가 매우 우수
- 선팅창계수는 -30℃~60℃(1h)사이에서의 치수변화로 합성수지침목의 열팽창 및 치수변화 정도는 플라스틱침목 대비3.7~6.3배 우수

<합성수지침목과 국내 · 외 침목의 대표적인 물성 비교>

| 구분                      | 목침목 <sup>[1]</sup> | 플라스틱침목 <sup>[2]</sup> |                       |                       | 합성수지침목              |                            |
|-------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|
|                         |                    | TieTek                | Axion                 | IntegriCo             | SEKISUI             | 개발품                        |
| 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.085              | 1.153                 | 0.849 ~ 0.897         | 1.121                 | 0.67~0.82           | <b>0.825</b>               |
| 인발하중(나사스파이크, kN)        | 40                 | 35.6                  | 31.6                  | 73.4                  | 65                  | <b>90</b>                  |
| 휨강도(MPa)                | 65                 | >18.6                 | 20.6                  | 18.6                  | 142                 | <b>143</b>                 |
| 휨탄성계수(MPa)              | 16,000             | >1,724                | 1,724                 | 1,655                 | 8,100               | <b>7,984</b>               |
| 전기저항(Ω)                 | -                  | 5.0×10 <sup>8</sup>   | -                     | -                     | 1.4×10 <sup>8</sup> | <b>1×10<sup>13</sup></b>   |
| 선팅창계수(K <sup>-1</sup> ) | -                  | 1.35×10 <sup>-4</sup> | 0.74×10 <sup>-4</sup> | 1.26×10 <sup>-4</sup> | -                   | <b>2.0×10<sup>-5</sup></b> |

[1], [2] IHHA 2015 Conference 21 - 24 June 2015 Perth, Australia

○ 합성수지침목 시험 항목

- 합성수지 침목 관련 표준(안) 마련 (EN17318 규격 준용)
- 일반철도 및 도시철도 자갈도상 및 침목 하부에 탄성층이 있는 비자갈도상에 사용되는 합성수지침목에 대하여 적용

< 합성수지침목 시험 항목 >

| 시험종류      | 시험조건                                                | 판정기준                                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 정적강성시험    | 30kN/min 속도로 하중 최소 75kN인 유압장비로 단순 반복응력              | 4회까지 pre-loading 단계이며, 5회차 하중 상승 단계에서 하중-변위                              |
| 동적강성시험    | (5±1)Hz 주파수로 하중 최소 75kN인 유압장비로 sine 파형응력            | 마지막 100회 하중재하 주기동안 10회에 걸친 하중-수직변위                                       |
| 피로시험      | (2~10)Hz 주파수로 하중 최소 75kN인 유압장비로 sine 파형응력           | 누적 하중재하 횟수 기준 50만회, 100만회, 150만회, 200만회 시의 변위 측정                         |
| 반복하중시험    | (4±1)Hz 주파수에서 주기적으로 33° 경사지그에서 최대 150kN까지 sine 파형응력 | 최초 하중재하 1000회 및 300만회 종료 후 레일 동적 상대변위 측정 및 육안 검사                         |
| 동적수직강성 시험 | (4±1)Hz 주파수에서 주기적으로 최대 100kN까지 sine 파형응력            | 마지막 100회 하중재하 주기동안 10회에 걸친 하중-수직변위의 최소(1kN) 및 최대 (51.2kN)하중에서의 평균 변위값 산정 |

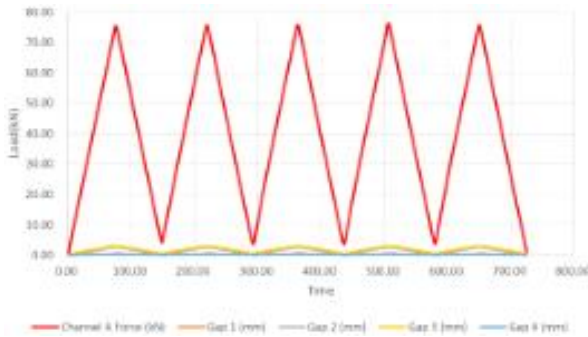
○ 정적강성, 동적강성, 피로시험에 대한 시험 조건

< 정적강성, 동적강성, 피로시험 조건 >

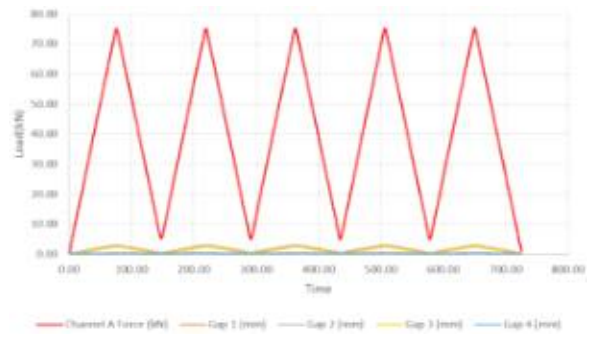
| 시험 종류 |                        | 시험조건(TestCondition)      |           |                    |
|-------|------------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
|       |                        | 최대하중<br>(Max.Load)       | 속도(speed) | 횟수(Cycle)          |
| 정적강성  |                        | $F_{c0,n}=75$ kN         | 60 kN/min | 5cycle             |
| 동적강성  |                        | $0.1 \sim 1 F_{c0,n}$ kN | 5 Hz      | 1000cycle          |
| 피로시험  | 피로시험                   | $F_{c0,n}=75$ kN         | 3 Hz      | 2,000,000cycle     |
|       | 피로시험후정적강성              | $F_{c0,n}=75$ kN         | 60 kN/min | 5cycle             |
|       | 피로시험후동적강성              | $0.1 \sim 1 F_{c0,n}$ kN | 5 Hz      | 1000cycle          |
|       | 피로시험후정적휨강도<br>(극한강도시험) | -                        | 30 kN/min | 파괴 또는<br>최대처짐 20mm |

○ 정적강성시험 수행

- 시험 결과 강성 변화율 10% 이하로 요구 성능 만족



< 정적강성시험 하중-시간 그래프 >



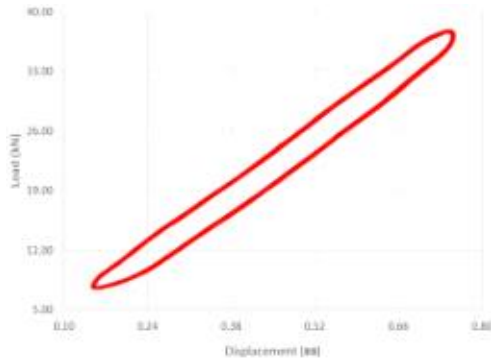
<정적강성시험( 피로시험 후) 하중-시간 그래프>

<정적강성 피로시험 전 · 후 시험 결과>

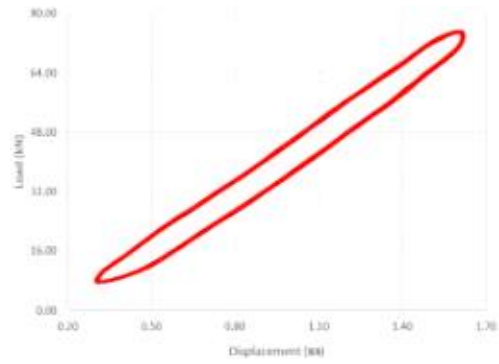
| 구분                        |   | No.1  | No.2  | No.3  | Average | 증감  | 요구성능  |
|---------------------------|---|-------|-------|-------|---------|-----|-------|
| $k_{cn,stat1}$<br>(kN/mm) | 전 | 31.95 | 32.26 | 31.96 | 32.06   | 1%▼ | ≤ 10% |
|                           | 후 | 31.32 | 31.78 | 31.78 | 31.63   |     |       |
| $k_{cn,stat2}$<br>(kN/mm) | 전 | 32.57 | 32.72 | 32.40 | 32.56   | 4%▼ | ≤ 10% |
|                           | 후 | 31.32 | 31.26 | 31.31 | 31.30   |     |       |

○ 동적강성시험 수행

- 시험 결과 강성 변화율 10% 이하로 요구 성능 만족

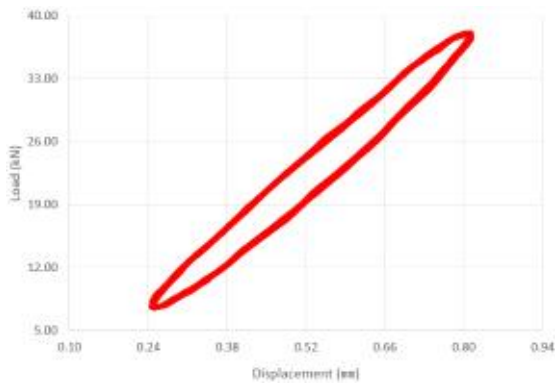


(a)  $k_{cn,dyn1}$  7.50 ~ 37.50kN

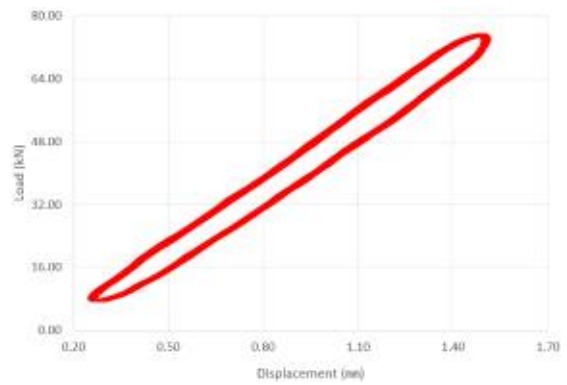


(b)  $k_{cn,dyn2}$  7.50 ~ 75.00kN

<동적강성시험 하중-변위 그래프>



(a)  $k_{cn,dyn1}$  7.50 ~ 37.50kN



(b)  $k_{cn,dyn2}$  7.50 ~ 75.00kN

<동적강성시험(피로시험 후) 하중-변위 그래프>

< 동적강성 피로시험 전 · 후 시험 결과 >

| 구분                       |   | No.1  | No.2  | No.3  | Average | 증감  | 요구성능  |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|---------|-----|-------|
| $k_{cn,dyn1}$<br>(kN/mm) | 전 | 32.41 | 32.13 | 31.79 | 32.11   | 8%▲ | ≤ 10% |
|                          | 후 | 34.80 | 34.55 | 34.37 | 34.57   |     |       |
| $k_{cn,dyn2}$<br>(kN/mm) | 전 | 32.89 | 32.46 | 32.43 | 32.59   | 3%▲ | ≤ 10% |
|                          | 후 | 33.68 | 33.64 | 33.25 | 33.52   |     |       |

○ 피로시험 수행

- 200만회 반복 하중 재하 결과 육안검사를 시행하였으며, 침목 중앙부 상면, 측면, 저부에 균열 및 파손은 없었음

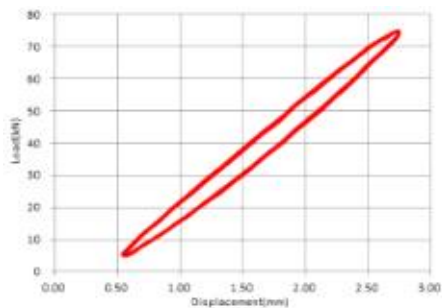


< 피로시험 >

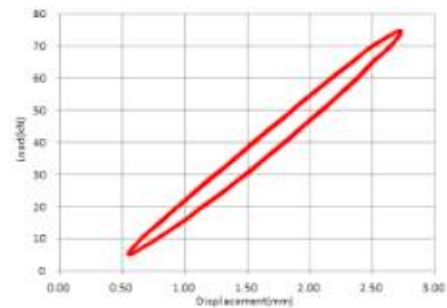


< 피로시험 후 육안검사 >

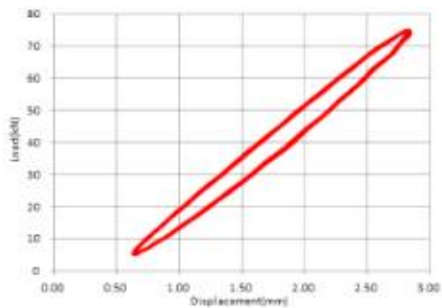
- 7.50kN에서 75.00kN 까지의 하중을 sine 파형 및 3Hz의 주파수로 200만회를 가하였으며, 최초 1000회 하중재하가 진행되는 동안 누적 하중재하 횟수 기준 50만회, 100만회, 150만회 및 200만회 시에 변위를 측정



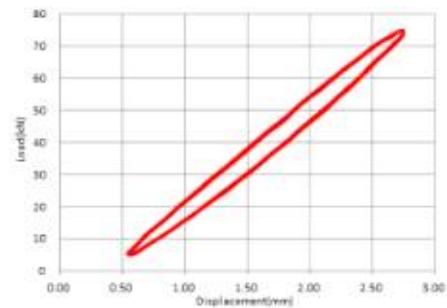
(a) 피로시험 50만회 하중-변위



(b) 피로시험 100만회 하중-변위



(c) 피로시험 150만회 하중-변위



(d) 피로시험 200만회 하중-변위

< 피로시험 하중-변위 그래프 >

< 피로시험 시 변위 측정 결과 >

| 변위(mm)  | 1000회 | 50만회 | 100만회 | 150만회 | 200만회 |
|---------|-------|------|-------|-------|-------|
| Max     | 2.32  | 2.38 | 2.57  | 2.51  | 2.38  |
| Min     | 0.28  | 0.33 | 0.52  | 0.44  | 0.33  |
| Average | 1.30  | 1.36 | 1.55  | 1.48  | 1.36  |

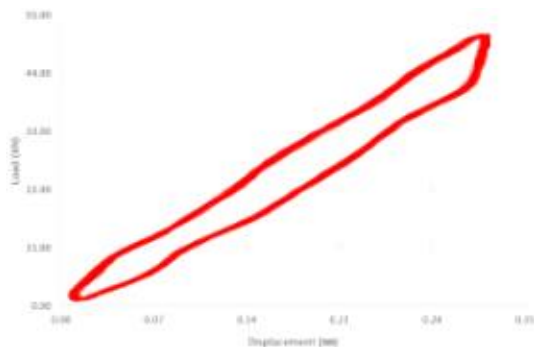
○ 인터페이스(체결장치) 시험 조건

<동적수직강성, 반복하중 시험 조건>

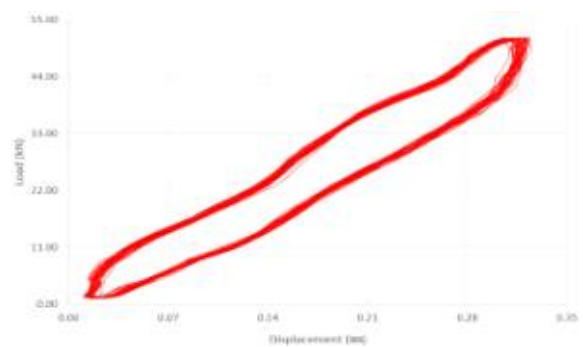
| 시험 종류   | 시험조건(Test Condition)           |           |                |
|---------|--------------------------------|-----------|----------------|
|         | 최대하중                           | 속도(speed) | 횟수(Cycle)      |
|         | (Max.Load)                     |           |                |
| 동적 수직강성 | 51.2kN<br>(*C형식-일반철도용)         | 5 Hz      | 1000cycle      |
| 반복하중시험  | 75kN또는83kN<br>(동적 수직강성에 따라 다름) | 3 Hz      | 3,000,000cycle |

○ 동적 수직강성시험 수행

- 300만회 인터페이스 반복하중 시험 수행 시 레일체결장치 형식별 하중재하 각도, 하중재하 위치 및 최대 하중 값을 결정하기 위함
- 시험결과 인터페이스 반복하중 시험 이후 4% 증가함



<동적 수직강성 시험 하중-변위 그래프>



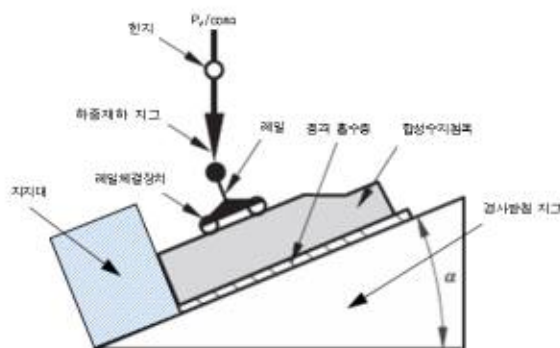
<동적 수직강성 시험(인터페이스 반복하중 시험 후) 하중-변위 그래프>

<인터페이스 반복하중시험 전 · 후 동적 수직 강성 시험 비교>

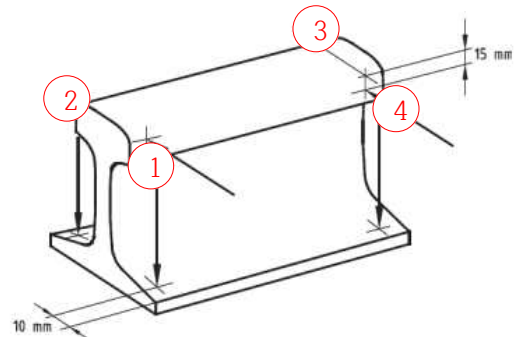
| 구분                   |   | No.1   | No.2   | No.3   | Average | 증감  |
|----------------------|---|--------|--------|--------|---------|-----|
| $k_{LFA}$<br>(kN/mm) | 전 | 163.16 | 165.19 | 165.35 | 164.57  | 4%▲ |
|                      | 후 | 173.80 | 169.44 | 168.93 | 170.72  |     |

○ 인터페이스 반복하중시험 수행

- 레일 및 레일체결장치가 설치된 침목에 300만회 경사 반복 하중이 재하될 때 볼트를 포함한 침목이 하중을 안정적으로 지지하며 장기 내구성에 문제가 없는지 여부를 평가하기 위한 시험

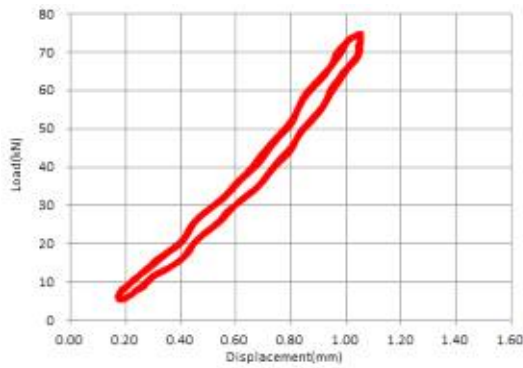


< 반복하중 시험을 위한 시험체 설치 >

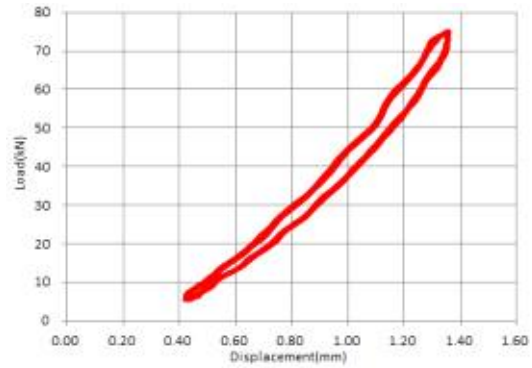


< 반복하중 시험 시 레일 변위 측정 위치 >

- 동적 수직강성시험에서 3회 시험 결과 평균값인 164.57kN를 참고하여 진행
- 4지점의 위치에서 침목 대비 레일의 동적 상대변위를 측정하고, 300만회 하중재하가 종료되면 레일의 동적 변위를 동일한 방법으로 측정



(a) 초기 1000cycle



(b) 후기 1000cycle

<인터페이스 반복하중 시험 하중-변위 그래프>

- 시험결과, 반복하중 시험 전 대비 반복하중 시험 종료 후 레일 두부 영구 횡변위는 1mm 이하로 만족
- 반복하중 시험 및 동적 수직강성 시험 종료 후, 레일체결장치를 해체하여 육안 검사를 시행하였으며, 레일체결장치 구성품 및 침목의 균열, 파손 및 변형은 없었음
  - 스크류 볼트 / 앵커 볼트 영구변형 없음
  - 볼트 해체 전 볼트 흔들림 없음/ 볼트 Hole 직경 변화 없음
  - 볼트 주변 합성수지 또는 플라스틱 침목 균열 및 파손 없음

<반복하중 시험 시 변위 측정 결과>

| 변위(mm)                    |        | 동적상대변위 (mm) |           |
|---------------------------|--------|-------------|-----------|
|                           |        | 1, 4번 변위량   | 2, 3번 변위량 |
| 시작 시점                     | 5~75kN | 0.84        | 0.29      |
| 종료 시점                     | 5~75kN | 0.79        | 0.29      |
| 반복하중 시험 종료 시 레일 두부 영구 횡변위 |        | 0.46        |           |



< 인터페이스 반복하중 시험 후 육안 검사 >

**시험 성적서**

본 시험은 2024년 05월 05일  
 시험장소: 서울특별시 강남구 테헤란로 152 (삼성전자빌딩)  
 시험종류: (주)케이씨에스  
 시험대상: (주)케이씨에스  
 시험목적: 시험목적

| 시험항목    | 시험결과 | 시험비고 |
|---------|------|------|
| 1. 시험대상 | 시험대상 | 시험대상 |
| 2. 시험목적 | 시험목적 | 시험목적 |
| 3. 시험항목 | 시험항목 | 시험항목 |
| 4. 시험결과 | 시험결과 | 시험결과 |
| 5. 시험비고 | 시험비고 | 시험비고 |

케이씨에스 시험연구원

<교량용 침목 피로시험 성적서>

**시험 성적서**

본 시험은 2024년 05월 05일  
 시험장소: 서울특별시 강남구 테헤란로 152 (삼성전자빌딩)  
 시험종류: (주)케이씨에스  
 시험대상: (주)케이씨에스  
 시험목적: 시험목적

| 시험항목    | 시험결과 | 시험비고 |
|---------|------|------|
| 1. 시험대상 | 시험대상 | 시험대상 |
| 2. 시험목적 | 시험목적 | 시험목적 |
| 3. 시험항목 | 시험항목 | 시험항목 |
| 4. 시험결과 | 시험결과 | 시험결과 |
| 5. 시험비고 | 시험비고 | 시험비고 |

케이씨에스 시험연구원

<교량용 침목 인터페이스(체결장치) 반복하중 시험 성적서>

○ 합성수지침목 유지보수 매뉴얼 마련

- 보수제 사용 기준 : 침목 훼손으로 인한 보수
  - 부분적인 균열 또는 파손으로 궤도 변형이 우려되는 경우
  - 침목의 수명이 단축될 우려가 있는 결함 발생할 경우
  - 침목 최초 시공시 흠 천공 매립 및 파손 발생할 경우
- 사용 재료

< 합성수지 보수액 재료 >

| 물성         | DURA-SR 10A (수지)                                                                    | DURA-SR 10B (경화제)                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 외관         |  |  |
|            | 불투명 미적색 액상                                                                          | 투명 적갈색 액상                                                                             |
| 혼합비        | 100                                                                                 | 100                                                                                   |
| 액 사용 권장 온도 | 25℃                                                                                 |                                                                                       |
| 믹싱시간       | 10-20초                                                                              |                                                                                       |
| 사용시간(25℃)  | 90초 이내                                                                              |                                                                                       |
| 경화시간(25℃)  | 초기경화 5분<br>완전경화 30~60분                                                              |                                                                                       |

- 시공방법(나사스파이크 흠 손상시)

- ① 나사스파이크 제거
- ② 시공하고자 하는 흠의 크기를 더 크게 천공
- ③ 진공청소기를 이용하여 천공흠의 분진 제거

- ④ 수지와 경화제를 혼합하여 주입
- ⑤ 경화완료 후 드릴로 나사스파이크 길이만큼 천공
- ⑥ 나사스파이크를 넣고 임팩트렌치로 조임



< 나사스파이크 홀 손상시 보수 방법 >

#### - 보수제 물성 공인인증시험

< 보수제 물성시험 결과 >

| 항목    | 단위                | Spec    | 결과   | 시험방법           |
|-------|-------------------|---------|------|----------------|
| 밀도    | g/cm <sup>3</sup> | 1.2±0.1 | 1.19 | KSM ISO 1183-1 |
| 경화수축율 | %                 | 1.0이하   | 진행 중 | KS F 4923      |
| 경도    | Shore D           | 80±10   | 80   | KSM ISO 868    |
| 흡수율   | %                 | 0.2이하   | 0.09 | JIS K 6911     |
| 압축강도  | N/mm <sup>2</sup> | 45이상    | 208  | ISO 604        |



< 밀도 시험성적서 >



< 경도 시험성적서 >



< 흡수율 시험성적서 >



< 압축강도 시험성적서 >

#### ○ 현장부설

- 성능시험 후 공인성적서를 발급받았으며, 성능을 확보한 뒤 침목을 제작하여 현장 시험부설 함



< 합성수지침목 납품 >



< 합성수지침목 현장 시험부설 >

#### (4) 시공성 향상을 위한 부대장비 개발

##### (1) 1차년도

###### ○ 무도상교량 시공관련 자료조사

- 기존 시공사례의 시공공정을 토대로 작업시간, 부대장비, 재료, 작업인원 등 세부적인 내용을 정리하여 시공속도 향상에 필요한 요소를 고려하여 부대장비의 개발 방향을 선정
- 아래 그림은 무도상교량의 시공공정을 나타낸 그림이며, 교량 침목교환 및 레일/체결구 교환공정은 핵심적인 시공공정이어서 복잡하기 때문에 실제 현장시공속도에 크게 영향을 줌



<무도상교량 레일장대화 시공공정>

- 무도상교량 레일 장대화 시공공정을 설정한 목표를 달성할 수 있는 구성요소는 크게 3가지로 선정
- 첫째는 개발침목(합성수지 침목)의 천공작업을 하는 장비이다. 이는 선 레벨측량을 통해서 운반 및 배열을 하고 설치를 하는 공정의 후속작업으로 천공작업 시간을 많이 필요하지만 배정된 시간이 거의 없는 공정에 속한다. 시공사는 이를 고려하여 일 연장을 결정하게 되며, 일 최대연장을 20m로 정하고 있어 시공속도를 줄이는 요인이다.
- 두번째는 레일과 체결장치를 연결하는 체결장비이다. 현재 시공공정에서는 인력시공으로 앞선 공정과 마찬가지로 시공속도에 영향을 미치고 있으며, 판형교 교량이라는 점을 봤을 때 안전상의 문제도 고려하지 않을 수 없다.
- 세번째는 본 작업과 동시에 이루어지는 레일용접 및 연마작업이다. 레일교환 작업의 후속작업이며 모든 공정이 인력작업으로 이루어지고 있다. 현재 모든 시공에서 허용범위오차를 허용하지 못하는 경우는 거의 없으나 연간 주기적인 유지보수를 하고 있다. 이는 인력작업이기 때문에 정밀한 시공이 어렵다는 내용으로 간주될 수 있다.
- 본 연구내용을 정리하면 무도상교량 시공사례들을 근간으로 시공속도를 향상시킬 수 있는 방안은 현장에 맞는 부대장비를 개발하여 기계화(자동화) 시공을 접목해야 하며, 시공성 뿐만 아니라 유지관리에 맞는 장비개발 연구를 수행하였다.

###### ○시공성향상을 위한 부대장비 개발방향 설정

- 무도상교량 시공사례를 검토해보면 제한된 현장공간과 작업시간으로 많은 인력이 투입된다. 하지만 투입 인원에 비해 현장공간이 제한되어 있다. 지금까지 레일 및 침목천공, 체결구체결 작업시 사용된 부대장비는 단일의 작업만이 가능하여 오랜 작업시간이 소요되었다. 무도상 교량의 장대화 시공을 위해서는 시공속도를 향상시킬 수 있는 부대장비 개발이 필요한 실정이다.
- 또한, 앞서 자문회의를 통한 검토의견의 공통사항으로 해외 부대장비의 현황 및 기술조사를 통해 개발 할 부대장비의 방향을 설정하는 것이 중요하다고 판단된다. 무도상교량 시공시 사용하는 부대장비는 표와 같으며 이를 바탕으로 해외 부대장비의 현황 및 기술동향을 검토하였다.

| 공종       | 장비명     | 작업내용        | 비고         |
|----------|---------|-------------|------------|
| 침목 천공    | 레일천공기   | 레일천공        |            |
|          | 교량침목천공기 | 침목천공        | 개발 부대장비 선정 |
| 레일체결구 체결 | 엔진임팩    | 레일 체결구 체결장치 | 개발 부대장비 선정 |
|          | 전기임팩    | T볼트 조이기     |            |
|          | 팬풀러     | 체결구체결       |            |
| 레일 용접    | 가스압접기   | 레일가스압접      |            |
|          | 테르미트용접기 | 레일테르미트용접    |            |
|          | 레일연마기   | 레일연마        | 개발 부대장비 선정 |



- 용접 완료 후 프로파일을 측정하지 않고 프로파일 기능이 없는 연마기로 조작자가 횡방향으로 임의 연마를 실행하여 프로파일은 형성되지 않았으며 높거나 낮아 차량 운행시 충격이 발생하여 승차감을 저하시키고 자갈이 파괴되어 선로가 침하하는 문제가 발생되어 지속적 관리 대상이었다. 직선부와 달리 분기 및 스위치는 연마차를 이용하여 연마하기에는 위험 부담이 있고 일부 구간은 연마 작업을 시행 할 수 없으며 사용이 용이한 소형 장비가 없어 연마를 하지 않거나 검측도 하지 않고 정확한 자료 없이 일부 구간은 육안으로 임의 연마를 실시하여 사용하였으며 높은 가격과 교환의 어려움이 있다. 또한 레일의 종류는 4가지로 분류되는데 각 형상이 다르기 때문에 기존연마기 사용에 제한이 있어, 레일형상에 맞게 변형이 가능하도록 설계에 반영하였다.
- 레일천공기 및 교량침목천공기의 경우 장비 설치속도의 향상과 보다 빠른속도의 천공, 경량화하여 현장 직원이 장비사용이 용이 할 수 있도록 장비를 개발하는데 검토 중이다. 교량침목천공장비의 경우 개발된 침목에 따라 개발의 방향 설정이 달라지기 때문에 개발 침목에 접목이 가능한 장비 개발을 계획 중이다.

## (2) 2차년도

### ○ 시공성 향상을 위한 부대장비 개발

- 시공성 향상을 위한 레일연마장비 개발은 설계도면을 보강하면서 제작을 수행하였다. 그림과 같이 레일 연마장비의 Type별 전경그림이다. 엔진식은 시공성에 유리한 유형으로 현장에 발전기를 별도로 투입하지 않아도 시공이 가능하여 작업속도에 영향을 받지않는다. 하지만 엔진의 무게가 25kg정도로 총 중량이 75kg으로 두 사람이 들고 현장에서 움직이기에는 다소 버거울 수 있는 문제점을 고려하여 전기식을 같이 제작하였다. 총 중량은 약 50kg 정도이며, 현장에서 움직임 또한 영향을 받지않아 작업 투입 및 철수 시에 용이하다. 현재 장비는 시제품형태로 제작은 되었지만 현장 성능평가를 통해서 수정 및 보완하여 시공성을 확보할 계획이다.



(a) 엔진 type



(b) 전기 type

<레일연마장비 Type별 전경>

- 침목-레일 체결구 시스템에는 베이스플레이트와 침목을 결합하는 방법이다. 판형교 특성은 H빔으로 설계되어 좌우 및 고저의 절대값이 없다. 사전조사를 통한 측량 기록지를 통해서 시공하는 방법을 적용하고 있는데 현장에서의 오차를 무시할 수 없어서 현장에서 직접시공하고 있다. 이로 인하여 시공속도에 영향을 미치기 때문에 본 과업을 통하여 부대장비 개발을 통하여 시공성 및 정밀도 확보를 목표로 하고 있다. 레일체결구 체결장비는 컨셉도출을 통하여 3D 모델링 및 2D설계를 통하여 제작을 수행하였다. 기존 파워랜치를 target으로 설계를 수행하였으며 시공속도 향상을 위하여 베이스플레이트의 거리를 고려하여 한번에 2공씩 시공이 가능하도록 하였다.

### (3) 3차년도

#### ○ 시공성향상을 위한 부대장비 개발

- 시공성 향상을 위한 레일연마장비 개발은 설계도면을 보강하면서 제작을 수행
- 엔진식은 시공성에 유리한 유형으로 현장에 발전기를 별도로 투입하지 않아도 시공이 가능하여 작업속도에 영향을 받지 않음
- 엔진의 무게가 25kg정도로 총 중량이 75kg 이상의 무거운 중량의 문제점을 고려하여 전기식을 추가 제작
- 총 중량은 약 50kg 정도이며, 현장에서 움직임 또한 영향을 받지않아 작업 투입 및 철수 시에 용이하도록 제작됨
- 레일연마장비는 총 3type으로 개발하였는데 이는 1차시공 연마장비 2개와 2차시공 연마장비 1개로 구분할 수 있음
- 연구개발된 시공부대장비의 성능평가를 위하여 실제 궤도부설현장과 시연을 통해 표면연마부 디지털 레일연마 검사기를 측정하여 결과값을 확인함
- 결과는 용접시방서에 명기된 허용오차범위 이내로 들어와 품질확보를 확인할 수 있었으며, 1차장비의 경우 레일연마 소요시간은 10분 이내로 나왔으며, 2차장비는 15분이 소요되는 것으로 확인됨
- 용접부 레일연마 후 디지털 검측기에 의한 측정결과는 모두 만족함

이 문서는 한국철도시설공단 소유로 무단 유통을 금합니다

국립의 나라 경의로본 대한민국

**KRR** 한국철도시설공단

수신자 수신자참조  
(경유)

제목 레일용접부 연마품질 향상을 위한 "자동연마기 시연회" 시행 알림

상위문서 ID 처리기한

1. 철도건설사업에 적극 협조하여 주시는 귀 기관(사)에 감사드리며, 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 레일용접부 연마품질 향상을 위한 "자동연마기 시연회"를 다음과 같이 시행할 예정이오니 많은 참여를 부탁드립니다. 각 기관(사)에서는 참석자 명단을 붙임 양식에 따라 2019. 3.8(금)까지 이메일(corlgus25@krr.or.kr) 또는 유선(042-607-3336, 3337)으로 알려주시기 바랍니다.

가. 일 시 : 2019. 3.15(금) 13:00 ~ 15:40

나. 장 소 : 울산신항인입철도 궤도공사 현장(가스압강)

- 울산광역시 울주군 청량읍 용암리 산36-5 (청량정가랑)

다. 참석대상 : 공단, 철도공사, 설계사, 시공사 및 자동연마기 관계 업체자

라. 주요내용 : 용접부 레일연마 시연 및 검사 등

붙임 자동연마기 시연회 계획(안) 1부, 끝.

한국철도시설공단이

영남본부(동해남부사업단장), 수도권본부(수도권사업단장), 충청본부(충청권사업단장), 강원본부(강원권사업단장), 한국철도시설공단

수신자

※담당자 김동규 권도봉부장 박승훈 권도봉장

합조자 권도봉부장 유진영

시행 권도봉-710 ( 2019.02.28. ) 접수 ( )

우 / http://www.krr.or.kr

전화 042-607-3337 / 전승 042-607-3339 / kdr1289@krr.or.kr / 공개

한반도를 넘어 세계로 나아가는 RAIL Network 실현

한국철도시설공단 / 권도봉 / 10002863 / 권도봉 / 2019-02-28 10:19:41

이 문서는 한국철도시설공단 소유로 무단 유통을 금합니다

**레일용접부 연마품질 향상을 위한 자동연마기 시연회**

1. 목적

가. 레일용접부 연마품질 향상을 위한 자동연마기 시연회 개최 목적

나. 레일용접부 연마품질 향상을 위한 자동연마기 시연회 개최 목적

2. 연차 및 연차별

가. 연차별 연차별 연차별

나. 연차별 연차별 연차별

3. 국내·외 자동연마기 현황

가. 국내·외 자동연마기 현황

나. 국내·외 자동연마기 현황

4. 자동연마기 시연회 계획

가. 자동연마기 시연회 계획

나. 자동연마기 시연회 계획

5. 협조사항

가. 협조사항

나. 협조사항

6. 향후계획

가. 향후계획

나. 향후계획

한국철도시설공단 / 권도봉 / 10002863 / 권도봉 / 2019-02-28 10:19:41



<레일연마장비 1차 시연회(성능평가) 전경, 한국철도시설공단 주관(2019.03.08.)>



소통과 믿음으로 고객과 함께 하는 KORAIL

**한국철도시설공단**



수신자 수신자 참조  
(경유)  
제목 레일용접부 자동연마기 2차 시연회 시행 알림

1. 철도건설사업에 적극 협조하여 주시는 귀 기관(사)에 감사드리며, 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 지난 3월 레일용접부 자동연마기 1차 시연회에 참여한 국산개발 자동연마기의 성능개선(레일두부 측면 연마면위 확대, 연마속 개선)을 완료하고 연마품질을 확인하기 위해 다음과 같이 2차 시연회를 시행하오니 관심있는 본들의 많은 참여를 부탁드립니다.

○ 일시 및 장소 : ' 19. 5. 9(목) 14:00-, 한국철도기술연구원 11동, 골.

**한국철도시설공단이 사칭**

수도권본부(수도권사업단장), 영남본부(영남본부사업단장), 호남본부(호남본부사업단장), 충청본부(충청본부사업단장), 강원본부(강원본부사업단장), 한국철도공사 자청, 철도건설사업협회의 회

★담당자 채기현 궤도계부장 박종준 궤도차장 임영진 전기선

협조자

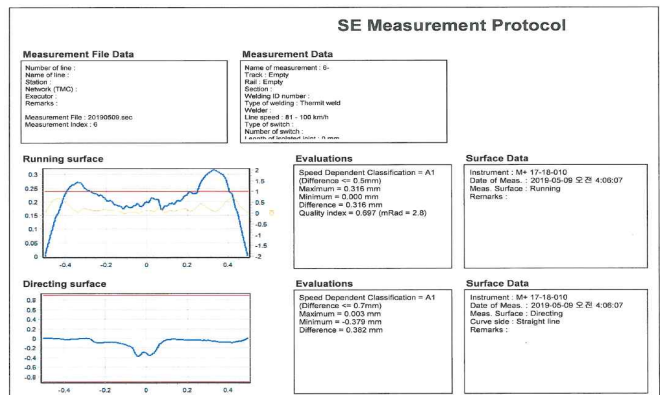
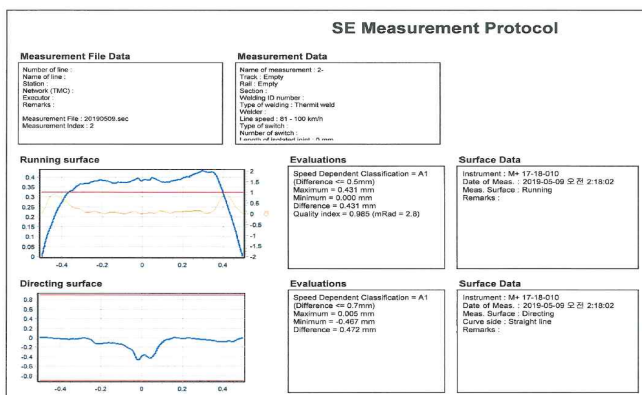
시행 궤도차-1646 ( 2019.05.07. ) 접수 선로관리차-1817 ( 2019.05.08. )

우 34618 대전광역시 동구 중영로 242 / http://www.kr.or.kr

전화 042-607-3336 / 전송 042-607-3339 / corlqus25@kr.or.kr / 공계



<레일연마장비 1차 시연회(성능평가) 공문 및 전경, 한국철도시설공단 주관(2019.03.08.)>



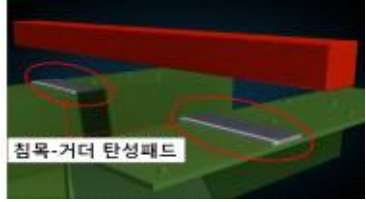
<레일연마 디지털 직진도 성능평가 1차결과 기록지(기준치 0.K)>

<레일연마 디지털 직진도 성능평가 2차결과 기록지(기준치 0.K)>

○무도상교량 레일장대화 시험시공 계획 수립

- 무도상교량 장대레일화 시공공정 개선 방안은 기존 인력을 기계화 시공공정으로 바꾸는 방법을 선정
- 기존 시방서를 근간으로 개선하여 장대레일화 작업을 수행하는 용접 및 후처리 공정을 넣어 보다 효율적으로 시공하며 균질한 품질확보를 확인함

- 무도상교량 레일장대화 TEST BED 시험시공을 위한 주요자재, 투입장비, 작업내용을 반영한 최적공정 시공흐름도 작성 연구를 수행함
- 무도상교량 침목 및 장대레일 개량공사를 시행하고자 할 때는 장비 및 기구를 사전에 확보하여 작업에 차질이 없도록 리스트를 제시함

| 주요공정                     | 기존 공정 사진                                                                            | 개선 공정                                                                                | 세부내용                                            |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 측량 및<br>기주점설치            |    |                                                                                      | 기존시공방법 준용                                       |
| 교량침목<br>반입 및<br>가공       |    |    | 개발된 침목-거더 탄성받침을 이용하여 별도의 침목가공 없이 지장물 및 높이조절이 가능 |
| 교량침목<br>운반 및<br>배열       |    |    | 선형측량 결과값을 통한 침목 및 탄성받침 배열                       |
| 무도상교량<br>궤도부설            |   |                                                                                      | 기존시공방법 준용                                       |
| 침목-교량<br>고정작업            |  |  | 내구성 및 시공성을 고려한 개발 고정장치를 시공하여 시공품질 확보            |
| 레일용접<br>및<br>장대레일<br>재설정 |  |  | 레일연마장비 개발을 통하여 레일의 기준값에 만족하는 균질한 표면 연마 확보       |

#### (4) 4차년도

##### ○ TEST BED 시험시공

- 사전 현황측량을 실시하여 개발 합성수지침목(레일-침목 체결장치, 패킹 포함) 및 침목-거더 체결장치를 투입 전 준비작업을 실시하고 공정에 반영함
- 레일 장대화 중요 제품이 운행중인 교량에서 이루어지고 작업여건이 어려움에 따라 열차 운행에 지장을 주지 않는 차단시간 내에 작업을 원활히 진행할 수 있도록 최적화된 시공방법을 마련함
- 교량 상부에서 대부분의 작업이 진행되어 작업시간이 상대적으로 많이 소요됨에 따라서 투입되는 장비들의 보완 및 개발을 통하여 시공성을 향상에 대한 연구를 수행함.
- 개발 부대장비 투입하여 레일 장대화에 필요한 레일의 정렬, 고정, 설치 및 침목의 교환과 같은 기본적인 작업에 도움을 줄 수 있는 부대 장비의 개발을 병행하여, 1차적으로 고정장치 개발 후 작업의 순서와 시공성, 여건 등을 고려하여 시공공정 개선사항을 반영함

- 현장 운영기관 및 작업원 등의 의견을 수렴하여 실제 활용 시 문제가 없도록 개발함
- 청량리역 한천교 Test-bed 시험부설
  - 시험부설을 통한 최적시공공정 확보를 위함
  - 시공에 투입되는 주요자재, 중장비, 부대장비, 개발 부대장비 등에 대하여 공정흐름도 개선, 현장 적용성 확인 및 개선, 투입전 사전작업사항 검토, 야적장 자재반입 및 선로 자재투입 등의 현장조건을 모두 반영하여 무도상교량 레일 장대화 개량공사의 시공성을 확보함
  - 본 시험부설의 주요 공종은 75.0m 장적레일 판형교에 상하선 60Kg레일 0.120km구간 시공의 주요자재, 투입장비, 작업내용 및 시공흐름도 작성함
  - 개발부대장비의 현장적용성을 확인하였으며, 레일연마 2차 장비에 대해서는 디지털 용접부 검사측정장비를 통하여 성능평가를 수행함



| No. | 공종명                     | 작업내용                                                         | 비 고 |
|-----|-------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 1   | 교량구조물 확인측량              | 교량구조물에 대한 중심선형 및 종단선형, 지장물확인<br>기준점 및 중심점좌표 측량               |     |
| 2   | 자재이동/운반 및 가공            | 궤도자재 운반 및 적치                                                 |     |
| 3   | 침목운반 및 배열               | 모터카 이용 침목운반 및 배열                                             |     |
| 4   | 교량침목교환 및 연동식<br>체결장치 체결 | 체결구해체→T볼트해체→침목교환→침목천공→베이스설치→<br>침목-거더 체결장치 설치→체결구설치→면,줄 맞춤확인 |     |
| 5   | 레일 및 체결구 배열             | 베이스플레이트, 레일반침, 베이스 높이조절반침 사용                                 |     |
| 6   | 레일 및 체결구 교환             | 침목 100m당 250개 코일스프링WT용<br>체결구해체→레일교환→코일스프링체결→선형정정            |     |
| 7   | 레일용접 및<br>가드레일 배열,설치    | 레일용접(1차연마→2차연마/ 용접부 현장검사)<br>스파이크해체→가드레일교환→스파이크설치            |     |
| 8   | 발생품 회수, 적재, 정리          | 모터카이용 발생레일 및 교량침목체결구<br>회수 및 야적장 적재                          |     |



(a) 교량구조물 확인측량



(b) 모터카 이용 자재이동/운반 및 가공



(c) 합성수지 침목 교환



(d) 레일 및 체결구 교환



(e) 침목-거더 체결장치 설치



(f) 침목-거더 체결장치 설치 완료



(g) 가드레일 배열, 설치



(h) 발생품회수, 적재, 정리

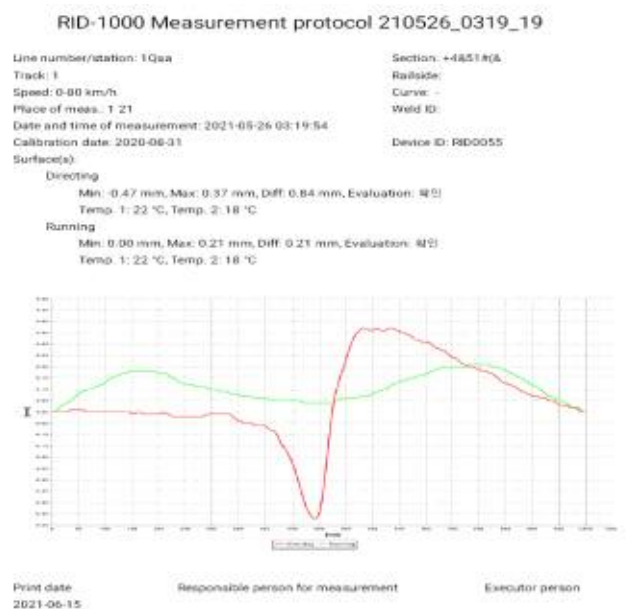
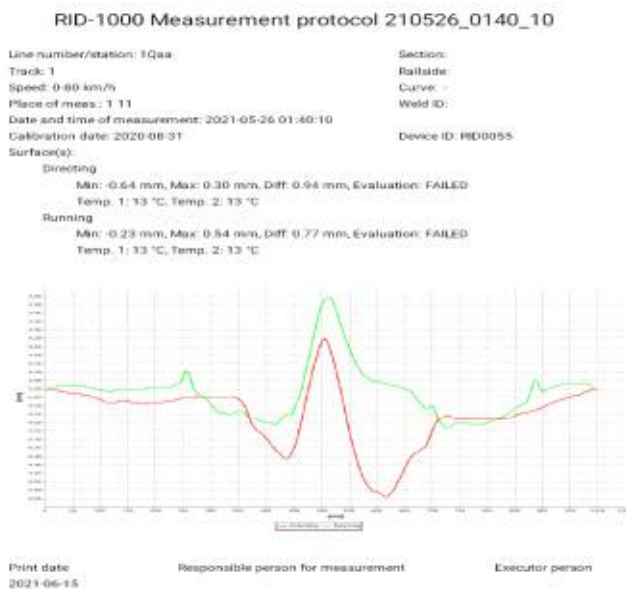
< 한천교 TEST BED 시험부설 주요 자재 >

| 품 명     | 규 격           | 단위 | 수 량   | 비 고 |
|---------|---------------|----|-------|-----|
| 레일      | 60kgN,L=25.0m | 개  | 12    |     |
| 가드레일    | 50kgN,L=25.0m | 개  | 12    |     |
| 접속부PC침목 | PCT           | 개  | 64    |     |
| 교량침목    | 150X240X2500  | 개  | 250   |     |
| T볼트     | 판형교(SS400)    | 조  | 500   |     |
| 베이스프레이트 | ALT-1         | 개  | 500   |     |
| 코일스프링크립 | WT용e2001      | 개  | 1,000 |     |
| 레일받침    | ALT-1         | 개  | 500   |     |
| 나사스파이크  | 22*160        | 개  | 2040  |     |

< 한천교 TEST BED 시험부설 주요 부대장비 >

| 장 비 명    | 규 격             | 단 위 | 수 량 | 비 고                       |
|----------|-----------------|-----|-----|---------------------------|
| 굴삭기      | 무한궤도 0.2w(집계)   | 대   | 1   | 침목배열/ 레일배열,설치/ 자재상차,하화    |
| 고속절단기    |                 | 대   | 2   | 레일절단                      |
| 엔진임팩     |                 | 대   | 2   | 나사스파이크 조이기                |
| 전기임팩     |                 | 대   | 2   | T볼트조이기                    |
| 레일천공기    |                 | 대   | 2   | 레일천공                      |
| 침목천공기    | 개발장비(거치대)       | 대   | 2   | 침목천공                      |
| 엔진톱      |                 | 대   | 2   | 교량침목가공                    |
| 전기대패     |                 | 대   | 2   | 교량침목가공                    |
| 유압자키     |                 | 대   | 2   | 레일올리기                     |
| 함마       |                 | 대   | 2   | 체결구해체                     |
| 팬풀러      |                 | 대   | 2   | 체결구체결                     |
| 크로바(양빠루) |                 | 대   | 2   | 스파이크뽑기                    |
| 레일연마기    | 개발장비(1차, 2차 장비) | set | 1   | 레일연마 1차장비, 2차장비 -> 용접부 검사 |

- 레일연마 2차 장비 용접부 검사결과



< 2차 레일연마 전 >

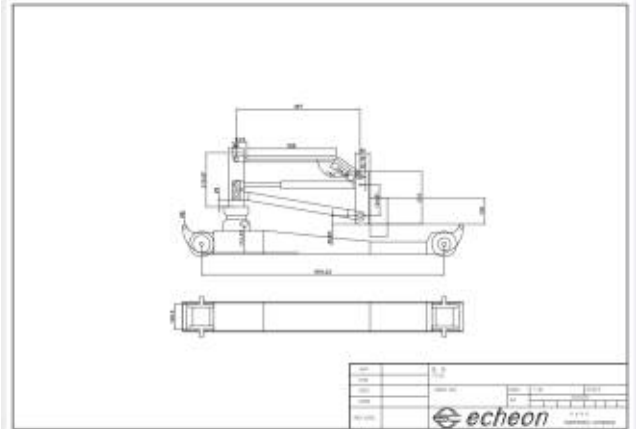
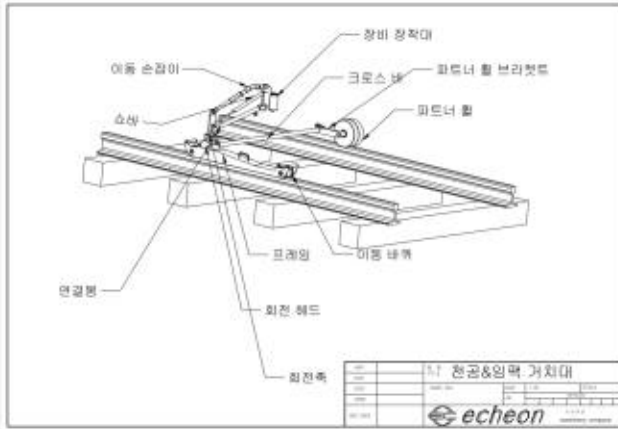
< 2차 레일연마 후 >

- 부대장비 유지보수 매뉴얼 작성

- 개발 부대장비 레일연마 1차 장비, 레일연마 2차 장비, 침목천공 거치대의 현장시공에 적용할 수 있도록 작성된 각 각의 유지관리 매뉴얼 마련함



## 침목천공기 거치대



## 레일연마 1차 장비



## 레일연마 2차 장비



### ○ 부대장비 현장적용

- 원주~제천 복선전철(운학~제천) 궤도공사 중 2차 레일연마 공사(2020년) : 2400개소 시공 완료
- 무도상 교량 한천교 시험시공(2021년) : 4개소 시공 완료
- 시공 후 용접부 검사를 통해 기준치 이내의 결과 값이 나옴

| 계 약 서                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                           |                                                    |                                      |                |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---------------|
| 계 약 자                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 발주처                                                       | 원한일철도, ㈜충청개발                                       |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 계약상대자                                                     | 상 호                                                | ㈜천경기업                                | 사업자등록번호        | 416-61-24550  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                           | 주 소                                                | 경기도 의왕시 원도박동로 176, 한국철도기술연구원 25 111호 | 전 화 번 호        | 070-5158-9192 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 대표자                                                       | 이 순 구, 강 정 은                                       | 법인등록번호                               | 201311-0012524 |               |
| 계 약 내 용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 계약명                                                       | 원주~제천 복선전철(운학~제천) 궤도공사 중 2차 레일연마 공사                |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 계약금액                                                      | 금 일억오천팔백사십만 원정 (₩158,400,000) ※부가세 포함              |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 계약보증금                                                     |                                                    |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 대금지급방법                                                    | 현금지급                                               |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 계약기간                                                      | 2020년 08월 01일 ~ 2020년 12월 31일                      |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 위 치                                                       | 발주처 지정장소                                           |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 기 타                                                       | ※ 수량의 변동이 있을시 실경산(1개소당 ₩60,000)                    |                                      |                |               |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 결과물                                                       | 2차 레일연마 2,400개소                                    |                                      |                |               |
| <p>원한일철도(주)청원궤도와 계약대상자는 상호 대등한 입장에서 합의의 계약문서에 의하여 위 의 공사에 대한 도급계약을 체결하고 합의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 약속하며, 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인 후 각각 1통씩 보관한다.</p> <p>※ 특약 : 2차 레일연마 개소 재연마 사유 발생시 자체없이 협의하여 하자보수(무급)를 시행한다.</p> <p>붙임서류 :<br/>1. 사업자등록증<br/>2. 통장사본, 인</p> <p style="text-align: right;">계약일자 : 2020년 08월 01일</p> <p style="text-align: center;">위와 같이 계약을 체결함에 있어 첨부 계약조건을 준수할 것을 약속하고 서명날인함.</p> |                                                           |                                                    |                                      |                |               |
| 갑 (구체자)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 상호 : 원한일철도<br>대표 : 강갑순<br>사업자등록번호 : 128-61-42364          | 상호 : ㈜충청개발<br>대표 : 이 순 구<br>사업자등록번호 : 108-61-41582 |                                      |                |               |
| 을 (공급자)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 상호 : ㈜천경기업<br>대표 : 이 순 구, 강 정 은<br>사업자등록번호 : 416-61-24550 |                                                    |                                      |                |               |

| 계 약 조 건                  |                                                                                                                                             |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>제1조(목적)</b>           | "을"은 "갑"과 계약한 □원주~제천 복선전철(운학~제천) 궤도공사 중 2차 레일연마 공사다를 성실히 수행함을 목적으로 한다.                                                                      |
| <b>제2조(과업의 범위)</b>       | 원주~제천 복선전철(운학~제천) 궤도공사 중 2차 레일연마 공사                                                                                                         |
| <b>제3조(준수사항과 일반적 의무)</b> | "을"은 이 계약을 통하여 제시한 사항 또는 작성한 도서에 대하여 "갑"의 승인없이 원도, 복사, 담보, 처분 등을 할 수 없다. 또한 계약 완료와 동시에 일체의 관련 물건을 "갑"에게 인도하여야 하며, 준공시까지 교섭관련 사항에 대한 책임을 진다. |
| <b>제4조(채권양도 및 저당금지)</b>  | "을"은 "갑"의 승인없이 본 계약에 관한 채권을 제 3자에게 양도하거나 혹은 담보의 목적으로 제공할 수 없다.                                                                              |
| <b>제5조(과업의 변경)</b>       | "갑"은 계약기간 중 원 발주자의 여건 변동에 따라 과업 내용 및 시기, 금액 등을 일부 변경할 수 있다.                                                                                 |
| <b>제6조(하도급)</b>          | "을"은 본 계약의 이행에 관하여 용역의 전부 또는 일부분을 일괄하여 제3자에게 위탁 또는 하도급해서는 안된다. 단, "갑"의 승인을 받았을 때는 예외로 한다.                                                   |
| <b>제7조(하자보증)</b>         | 1) "을"은 용역의 수행 후 성과물의 하자발생시 재시공을 시행하여야 한다.<br>2) 기타 하자보증 등 재반 관련사항은 원 발주자의 요구에 따른다.                                                         |
| <b>제8조(대금결정 및 지급)</b>    | "갑"은 "을"에게 매월말일 20일 전금결제 또는 발주처 기성 수령 후 7일 이내 가성 인 정 금액 지급한다.                                                                               |

## (5) 무도상교량 레일장대화 시험시공

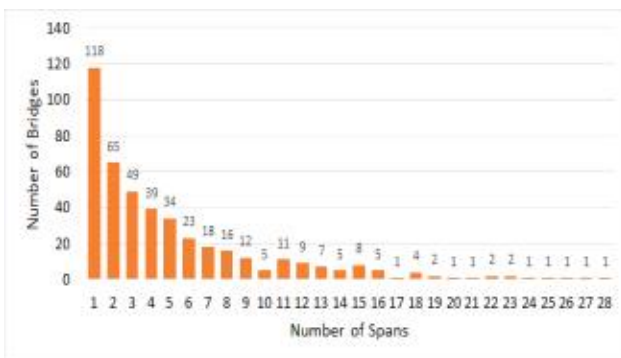
### (1) 4차년도

#### ○ 철도시설 성능검증 시험

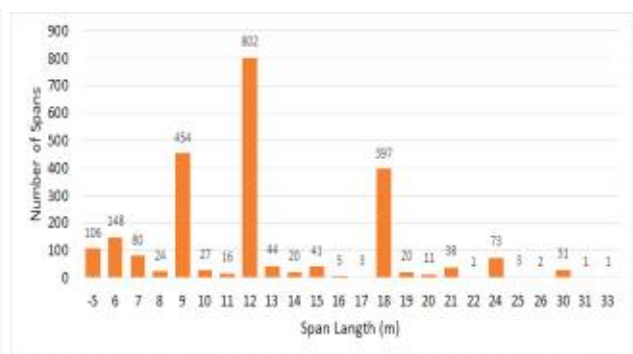
- 구성품의 재질 형상에 대한 성능의 규격과 시험결과, 제작기준, 조합품의 성능요건, 설계도면, 시공 또는 설치방법, 유지보수 방법, 기존 시스템 및 타 분야와의 인터페이스 사항 등

#### ○ 테스트베드 선정 검토

- 현장설치 시험지 조건은 국토교통부 및 한국철도공사와의 협의 결과를 반영하여 선정
  - 국토교통부 협의 결과: 구조적 안전성 문제가 없으며, 개량계획이 없는 판형교 우선 선정
  - 한국철도공사 협의 결과: 유도상화가 어려운 도심지 판형교 우선 선정
- 도심구간 중 주변 주민들의 불편이 높아 레일장대화 시 체감효과가 크고, 고속, 일반 및 화물 등 다양한 열차의 통과량이 많은 곳
- 경간장이 크거나 경간수가 많아 궤도-교량 상호작용에 의한 종방향 작용력이 크게 발생하는 곳
  - 국내 공용중인 판형교는 대부분 경간장 10m ~ 20m의 단경간 교량이 연속되어 있는 형태로 최대 경간 수는 28개, 최대 경간장은 33m

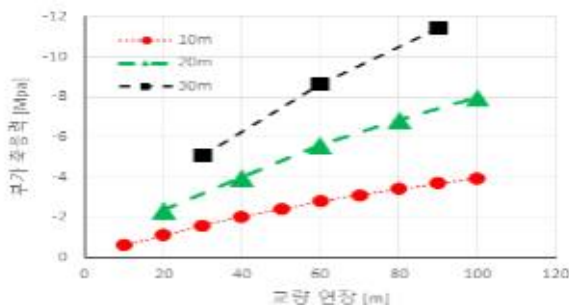


< 판형교 경간수 분포 >

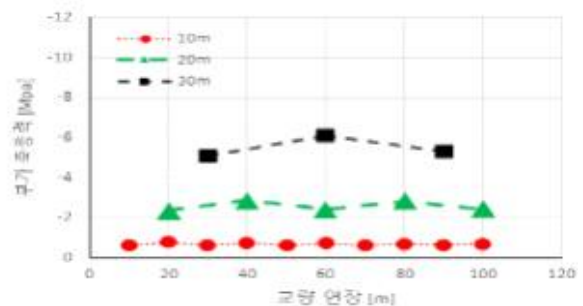


< 판형교 경간장 분포 >

- 궤도-교량 상호작용으로 궤도에 작용하는 부가축력은 경간수나 경간장이 커짐에 따라 증가하나, 경간 수보다 경간장의 영향이 큼



(a) FMFM



(b) FMMF

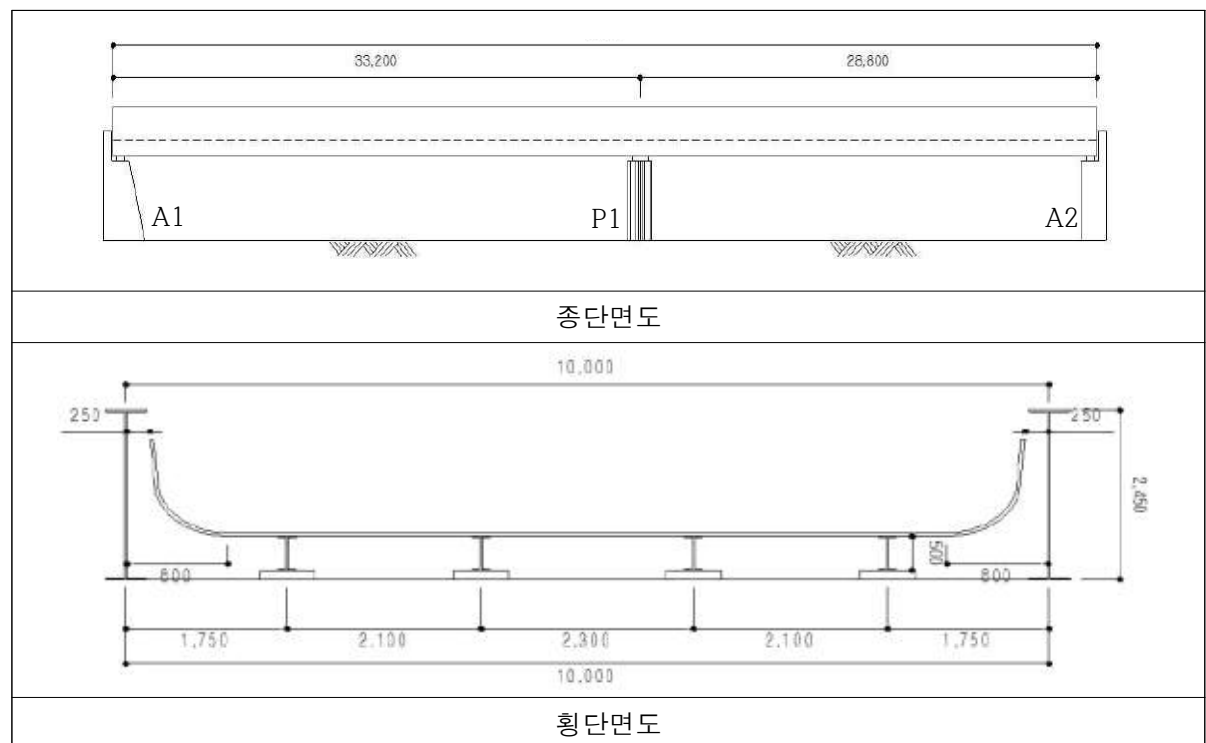
< 경간수/경간장 변화에 따른 레일 부가축응력 변화 >

- 교량침목 교체와 동시에 수행되는 것을 감안, 도심구간 중 시공 구간 인접 위치에 자재적재와 공사용 장비 반입이 가능한 진입로 확보 등 안전성과 시공성이 높은 곳
- 시험시공 기간 중 발생하는 안전사고 등 상해 사고 발생 시 신속 대응할 수 있도록 병원 및 시설사무소와 인접한 곳

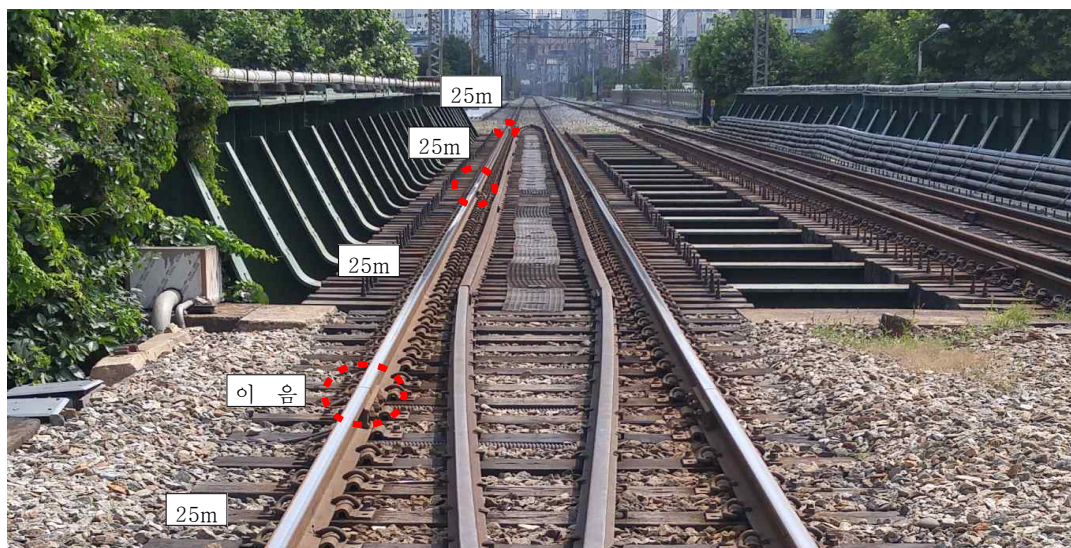
#### ○ 테스트베드(한천교) 선정 개요

- 공용중인 판형교 중 최대 경간장(33m)으로 구성
- 고속, 일반, 화물, 광역열차 등 다양한 열차 통과
- 일일 열차통과 횟수 총 약 200회(상선 100회, 하선 100회)
- 도심지로 주변 주거인구가 많으며, 높은 소음 수준으로 인한 잦은 민원 구간
- 장비 및 차량 진입이 수월하며, 교량 주변에 넓은 장소가 있어 시공성 높음
- 시설사업소(청량리역에서 200m) 및 병원 인접으로 비상시 긴급대응 용이

| 구 분       | 한천교 (경원선(본선) 왕십리-청량리)                                                              |  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 위치        | 서울특별시 동대문구 용두동 693번지                                                               |  |
| 교량 전경     |  |  |
| 연장(경간구성)  | 62.0m(2경간, 33.20m + 28.28m)                                                        |  |
| 구조형식      | 상부: 하로 I형 강재 플레이트거더, 하부교대: 역T형, 교각: 벽식                                             |  |
| 교량받침      | 스패리컬받침(2020년 교체)                                                                   |  |
| 일일열차 통과횟수 | 약 200회/일 (상·하선 각 100회/일)                                                           |  |
| 통과열차 정보   | KTX-산천, KTX-청춘, 무궁화, 전동차 등 (통과속도 약100km/h)                                         |  |



<한천교 도면>

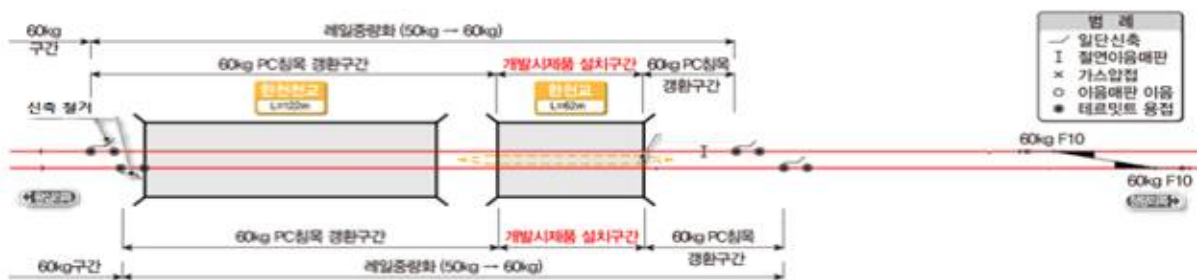


○ 현장설치시험

- 장소 : 한천교(경원선 왕십리-청량리 상·하선)
- 시공기간 : 2021.4.20. ~ 2021.5.30.(40일간)
- 궤도현황



그림 시공전 궤도현황



시공후 궤도현황

- 시험시공 전후 비교

| 구분     | 부설 전(현재)                   | 부설 후(장대화)                |
|--------|----------------------------|--------------------------|
| 레일     | 50kgN, L=25.00m 정척구간       | KR60, 장대화                |
| 체결구    | 50kgN 베이스플레이트, 나사스파이크, e클립 | 60kgN ALT-1, 나사스파이크, e클립 |
| 침목     | 교량용 목침목(WT)                | 교량용 합성수지침목               |
| 침목고정장치 | 탄성체결식                      | 연동식 침목고정장치               |
| 현장사진   |                            |                          |
|        |                            |                          |



< 현장시험부설 공사 후 >

## (6) 무도상 교량 장대레일 개발공법의 LCC분석 및 사업화

### (1) 1차년도

#### ○ 무도상 교량의 생애주기 분석을 위한 기초자료 수집

##### - 무도상교량 현황조사

- 전체 3,033개소로, 10년 미만은 945개소, 10~20년은 572개소, 20~30년 258개소, 30~40년 332개소, 40년~50년 165개소이고, 50년 이상된 노후 교량은 761개소에 달하고으며, 주로 철도교 급속교체 대상교량인 무도상 판형교는 전체교량의 47%를 차지하고 있음.
- 국내의 무도상 교량은 455개소로서 이중 판형교가 446개소이며 연장은 32,863m이고, 트러스교는 9개소이며 연장은 5,859m 이며, 대부분의 교량연장이 100m 미만으로 구성되고 있음.

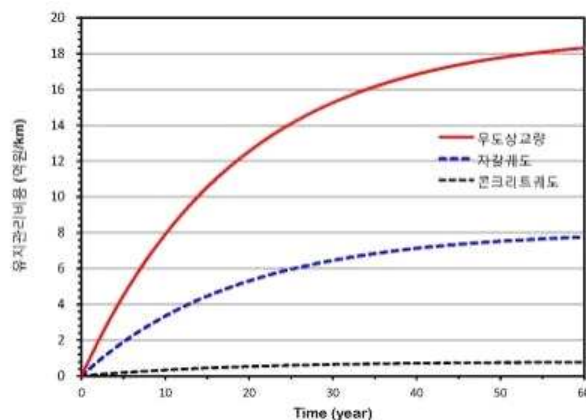
#### ○ 가치평가를 위한 기존 무도상 교량의 문제점

##### - 국내 무도상 교량 유지관리 현황

- 국내 무도상교량의 대부분이 50년 이상의 노후화 된 교량으로 주기적인 유지보수가 필요하다. 한국철도공사 각 지역본부 무도상교량(판형교, 트러스교) 작업실적 분석 결과 각 지역본부에서 무도상교량에 투입한 작업인원은 2014년~2015년 2년동안 총 14,630명, 작업시간은 18,898시간임.
- 한국철도공사 평균임금 국가R&D 현물부담 계상기준 (4급 21호봉 기준 연급여 약 7,000만원, 월급여 약 585만원, 일급여 585/30 약 20만원)적용시 무도상교량(판형교, 트러스교) 최근 2년 2014~2015년 유지보수 인건비는 약 90억원 소요됨.

##### - 궤도구조별 유지관리비용 비교

- 무도상 교량 전체연장(43km 171) 유지비용으로 환산 시 1.05억원/km•년 으로 산출
- 일반 자갈궤도 유지보수 비용인 0.44억원/km•년 비용으로 산출
- 콘크리트 궤도의 유지보수 비용은 자갈궤도의 10% 정도이므로, 0.05억원/km•년 으로 20배 정도의 많은 유지보수 비용이 발생하고 있음.



< 유지보수비 비교 >

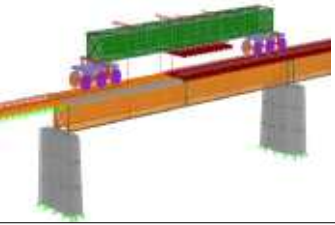
(2) 2차년도

○ 유도상화 공법의 분석

- 노후화된 판형교를 개량하기 위한 유도상화 개량사업

- 국가철도 개량투자계획에 2018년부터 2022년까지 136개소를 대상으로 추진계획이 있으며, 판형교량 유도상화 개량사업에 기 투자액 699억원을 포함하여 총 6,943억원이 계획되고 있음.
- 유도상화 개량공법은 가설공법별 경제성 및 시공상 문제점이 있지만, 현재까지 무도상 교량의 유일한 개량공법이라 할 수 있음

< 유도상화 공법비교 >

| 구 분   | 크레인 일괄가설                                                                                                    | 밀어넣기 공법                                                                                             | 분할 선로이송 가설공법                                                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 현황도   |                            |                   |                               |
| 시공 순서 | ① 신규 교량 제작<br>② 기존 거더 철거<br>③ 신규 교량 거치 (대형크레인)<br>④ 자갈, 침목 부설                                               | ① 지지말뚝과 이동용 대차설치<br>② 신규교량 제작<br>③ 야간 기존거더 철거<br>④ 신규교량 이동거치<br>⑤ 자갈, 침목 부설                         | ① 거더제작 및 체결구 설치<br>② 열차로 슬래브 현장이동<br>③ 궤도인양/슬래브 설치<br>④ 슬래브-거더 가고정 및 합성<br>⑤ 레일설치 및 이송장치 철수                      |
| 열차 운행 | - 차단:기존거더 철거시<br>- 서행:필요                                                                                    | - 차단:기존거더 철거시<br>- 서행:필요                                                                            | - 차단:슬래브 설치시<br>- 서행:불필요                                                                                         |
| 장, 단점 | - 교량거치 시간 절약<br>- 일반적인 공법<br>- 경량인 경우 공사비 저렴<br>- 대형크레인 사용<br>- 작업장, 작업로 등 부대 비용 및 공기 증가<br>- 전차선 차단 및 철거필요 | - 교량거치 시간 보통<br>- 시공성 및 안정성 양호<br>- 공사비 고가<br>- 시공 기술력 필요<br>- 가벤트 설치로 공간제한<br>- 콘크리트 현장타설로 품질관리 필요 | - 단순공정/전차선 차단 불필요<br>- PC제품으로 안전성, 품질양호<br>- 경량구조로 시공 공정이 단순<br>- 공기단축<br>- 정밀시공 및 슬래브 결합공정 필요<br>- 이송장치 제작 등 필요 |

- 유도상화 공법의 초기공사비 분석

- 초기건설비용은 가설공법별로 구분하여 제시할 수 있으며, 건설비는 계약예규 예정가격작성기준에 따라 설계가로 산출하였고, 수량 및 단가 산출기준은 한국철도시설공단 KRQP 지침에 따라 산출
- 한국철도공사 대구본부에서 발주한 경부선 청도강교(19.9×6 + 9.79×2 = 138m) 판형교를 대상으로 초기건설비를 산출 함

< 가설공법별 초기건설비 E/S 증감율 >

| 구 분    | 금 액(원)          |                  | 증 감 율<br>(②-①) / ① |
|--------|-----------------|------------------|--------------------|
|        | ①당 초<br>(2018년) | ② E/S<br>(2021년) |                    |
| 크레인 가설 | 10,238,535,575  | 12,418,351,706   | 21.29%             |
| 밀어넣기   | 12,172,136,112  | 14,692,012,656   | 20.70%             |
| 단계별 신설 | 16,561,706,543  | 17,975,610,450   | 8.54%              |

- 경부선 청도강교의 유도상화 공법별 초기공사비를 분석한 결과 크레인 일괄가설공법은 90백만원/m, 밀어넣기 가설공법은 106백만원/m, 단계별 신설교량 가설공법은 133백만원/m 임.
- 개략적 기준에 의한 철도건설 교량 및 궤도 신설공사비 68백만원/m 보다 많은 초기 건설비가 투입되는 공법으로 노후화된 판형교를 개량하기 위한 대체 연구가 필요함.

○ 무도상 교량 장대레일 개발부품 원가산정

- 무도상 개발부품의 원가산정

- 무도상 개발부품은 합성침목, 체결장치 및 탄성받침로 나눌 수 있음.



① 합성수지 침목



② 침목고정 장치



③ 탄성받침

< 무도상 개발부품 >

|       |                |                  |                         |             |                  |
|-------|----------------|------------------|-------------------------|-------------|------------------|
|       |                |                  | 이 익                     |             | 판<br>매<br>원<br>가 |
|       |                |                  | 일반관리비<br>판매간접비<br>판매직접비 | 총<br>원<br>가 |                  |
| 제조간접비 |                | 제<br>조<br>원<br>가 |                         |             |                  |
| 직접경비  | 직접원가<br>(기초원가) |                  |                         |             |                  |
| 직접노무비 |                |                  |                         |             |                  |
| 직접재료비 |                |                  |                         |             |                  |

- \* 직접원가 = 직접재료비 + 직접노무비 + 직접재료비
- \* 제조원가 = 직접원가 + 제조간접비
- \* 총원가 = 제조원가 + 판매(직접, 간접)비 + 일반관리비
- \* 판매가격 = 총원가 + 이익

< 산출기초자료 >

- 개발품 원가계산은 「예정가격 작성기준(기획재정부 계약예규 제380호, 2018.06.07)」에 의거하여 재료비, 노무비, 경비, 일반관리비 및 이윤으로 구분 산정하였음.

< 개발품 원가 >

(단위: 원)

| 순 번 | 품 명  | 단위 | 수 량 | 단 가     | 금 액       | 비 고 |
|-----|------|----|-----|---------|-----------|-----|
| 1   | 합성침목 | EA | 1   | 725,000 | 725,000   |     |
| 2   | 체결장치 | EA | 2   | 200,000 | 400,000   |     |
| 3   | 탄성받침 | EA | 2   | 62,500  | 125,000   |     |
| 계   |      |    |     |         | 1,250,000 |     |

- 해외제품과 원가비교

- 일본에 Sekisui Chemical은 철도 침목에 사용 할 ESLON Neo Lumber FFU(Fiber Reinforced Foamed Urethane)을 개발, 국내에서 이강솔루션이 총괄판매 독점 계약을 하고 있으며, 판매단가는 92만원으로 판매되고 있음.

- 독일 철강회사인 티센크루프(ThyssenKrupp)에서 무도상 교량용 침목 시스템으로 StahlBrückenSchwelle(SBS)라는 제품을 개발, 1 SET당 가격은 독일 현지에서 국내까지 운송료와 세금을 부과시 1 SET당 가격은 대략 2,200,000원으로 추정 됨
- 개발부품의 1SET당 가격인 1,224,000원보다 976,000원 고가이므로 향후 무도상 교량용 개발부품이 가격경쟁력은 충분할 것으로 판단 됨.

### (3) 3차년도

#### ○ 시방규정에 맞는 수량산출 기준

- 본 연구의 실증검증을 위해 개발제품의 테스트 현장이 필요했으며, 경원선 청량리역 주변 한천교 선로에서 시험시공을 계획 하였음.



< 한천교 시공 전 현황 >

#### - 시범시험 시공의 순서

- 레일절단 → 고정 e 클립제거 → 모터카 및 집게차 진입 → 레일인상 → 목침목 제거 → 자재 상하차 → 침목배열 → 중심선 측량 → 체결 순으로 진행되었으며, 위 과정을 반영하여 공사비 산정 계획

#### ○ 무도상 교량 개량공법 경제성 평가를 위한 가치평가 기준 설립

- 무도상 교량 개량공법 경제성 검토는 개량공법 적용에 있어 기존 개량공법과 경제성 비교를 통해 적용 가능성을 사전에 파악하고, 향후 무도상 교량 개량사업 추진 시 사업화 전략에 기초자료로 매우 중요 함.
- 경제성 평가에서는 비용을 분석해야 하는데 비용은 초기 건설비용 뿐 아니라 유지보수비를 포함한 운영 비용, 구성요소의 교체비용 등을 포함한 총 수명주기비용(Life cycle cost, LCC)으로 평가 함.
- 개량공법별 총 수명주기비용(Life cycle cost, LCC)을 평가하기 위해서는 기간, 기간별 현재의 가치(할인율), 유지보수 주기 등 기준이 되는 기본 가정을 규정하였음.
  - LCC 기간은 초기공사 후 유지보수기간을 포함한 기간으로 가정하여 교량 개량 후 궤도의 수명주기를 60년으로 기간을 가정함
  - 할인율은 미래의 가치를 현재의 가치와 같게 하는 비율이며, 예비타당성 조사 시 적용하는 사회적 할인율, 전문기관의 연구용역 결과를 토대로 도로, 철도, 항만, 공항 등 교통시설의 타당성 평가를 위한 사회적 할인율로 적용되는 5.5%를 적용함.
  - 연간 통과톤수는 한국철도공사 시설업무현황을 참고하여 개발공법의 시범시험 시공 구간인 경원선 왕십리-청량리 구간으로 선정 2020년 기준 21MGT(million gross ton)으로 가정 함.

### (4) 4차년도

#### ○ 생애주기 비용(LCC)모델 선정

- 경제성 평가를 위한 총 수명주기비용(LCC)의 시나리오는 3가지로 설정함.  
시나리오 1(S1) : 현재 무도상 교량 그대로 유지(Do nothing)

시나리오 2(S2) : 유도상화(밀어넣기 식) 공법

시나리오 3(S3) : 무도상 교량 장대레일 개발공법(한천교)

- 총 생애주기비용(LCC)은 초기건설비(initial construction cost), 교체비용(renewal cost) 및 운영비용(operational cost)으로 구성되어 있음.

- 초기 건설비는 건설에 필요한 모든 비용을 말하며, 교체 비용은 궤도의 총 수명 중 발생하는 구성품의 교체비용을 의미함. 운영비용은 다시 유지보수비(maintenance cost, MT)와 리스크 비용(risk cost, RK)으로 나눌 수 있음.

○ 무도상 교량 장대레일 개발공법 초기공사비 산출 비교

- 무도상 교량 개발공법 시험시공 수량 및 단가산출 기준

• 공사원가는 [국가철도공단 KRQP 단가산출기준]을 참고하였으며, 신규단가 품에 대해서는 시공 과정의 시간, 투입인력 및 자재를 체크하여 수량 및 공사원가를 작성하였음

- 무도상 교량 개발공법 시험시공 공사비 -단선기준(L=120m)

< 무도상 시험시공 m당 공사비 >

| 구 분              | 무도상 시험시공 공사비-단선기준(L=120.0m) |
|------------------|-----------------------------|
| 1. 무도상 장대레일 설치공사 | 456,810,849                 |
| 1-1. 목침목 철거      | 64,752,713                  |
| 1-2. 합성침목 설치     | 56,918,469                  |
| 1-3. 부대공         | 25,485,867                  |
| 1-4. 자재비         | 309,653,800                 |
| 2. 연단보강공사        | 14,200,000                  |
| 직접 공사비           | 471,010,849                 |
| 제 잡 비            | 245,422,928                 |
| 폐기물처리비           | 2,217,340                   |
| 총 공 사 비          | 718,651,117                 |
| m당 무도상 공사비       | 5,988,759원/m                |

- 무도상 교량 km당 시나리오별 개량에 따른 초기 공사비

< 무도상 교량 시나리오별 초기 공사비 >

| 구 분             | 무도상 교량 개량 초기공사비-복선기준 (백만원/km) |          |          |
|-----------------|-------------------------------|----------|----------|
|                 | S1(현재)                        | S2(유도상화) | S3(개발공법) |
| 1. m당 직접공사비     | -                             | 65.0     | 7.9      |
| 2. m당 간접공사비     | -                             | 41.0     | 4.1      |
| 3. m당 총공사비(1+2) | -                             | 106.0    | 12.0     |
| 4. km당 초기 공사비   | -                             | 106,000  | 11,978   |

• 현재 무도상 교량 그대로 유지하는 시나리오 S1은 개량에 들어가는 비용이 없으며, 유도상화 공법의 시나리오 S2는 1,060억 / km 로 가장 비용이 높게 나왔으며, 무도상 교량 장대레일 개발공법의 시나리오 S3는 120억 / km로 시나리오 S2 대비 **11.3%** 비용으로 무도상 교량을 개량 할 수 있음.

- 무도상 교량 km당 시나리오별 개량에 따른 60년 후 개량 공사비

< 무도상교량 60년 후 개량 공사비 >

| 구 분                                 | 무도상 교량 60년 후 개량 공사비-복선기준<br>(백만원/km) |          |          |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|
|                                     | S1(현재)                               | S2(유도상화) | S3(개발공법) |
| 1. 현재 교량공사비                         | -                                    | 106,000  | 11,978   |
| 2. 50년 후 철거 공사비                     | 3,000                                | -        | 3,000    |
| 3. 50년 후 신설 교량 공사비                  | 65,472                               | -        | 65,472   |
| 4. 50년 후 신설 궤도 공사비                  | 1,188                                | -        | 1,188    |
| 5. 50년후 건설비 (2~4)                   | 69,660                               | -        | 69,660   |
| 6. 50년후 건설비 현재가치<br>( ⑤의 년 5.5% 할인) | 4,790                                | 0        | 4,790    |
| 7. 건설비 합계 (1+6)                     | 4,790                                | 106,000  | 16,768   |

• 60년 후 초기건설비 비교는 시나리오 S2의 건설비가 너무 높게 나와 비교 불가 사항이나, 시나리오 S1이 시나리오 S3보다 120억/km 절감으로 초기건설비는 초기 개량 공사비가 없는 시나리오 S1이 가장 낮게 나왔음.

○ 무도상 교량 장대레일 개발공법 교체비용 산출 비교

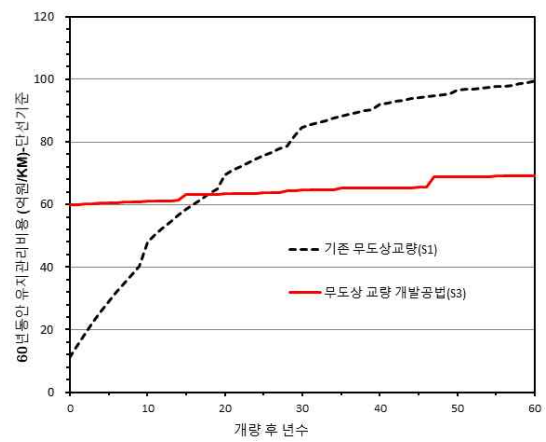
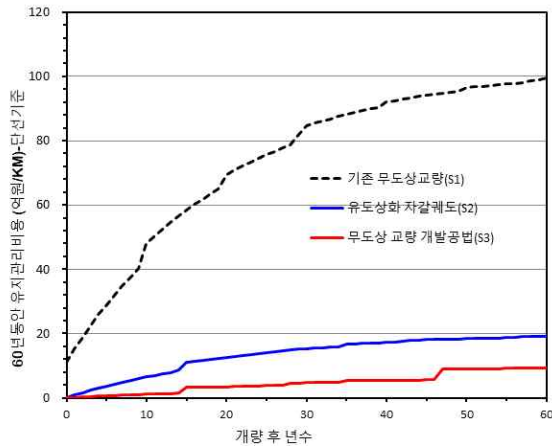
- 선로유지관리지침(2016)에 따라 레일은 직선 구간으로 가정하여 600MGT(million gross ton)마다 교체하는 것으로 가정하였으나, 목침목과 스파이크, 타이 플레이트는 년 1회 점검 시 이상 유무에 따라 교체하는 것으로 규정되어 있음.
- 무도상 교량 그대로 유지하는 시나리오 S1은 대부분 50년 이상의 노후화 교량이므로 매년 점검 시 유지 보수 작업 중 자재 손실 및 자재 품질불량으로 25% 정도 교체하는 것으로 가정 함.
- 유도상화 공법 시나리오 2는 대부분 교량과 자갈궤도 구조로 이루어져 있으며, 교량 상·하부는 자갈궤도 구조에 비해 교체 및 유지관리 운영비용이 극히 적으므로 유도상화 공법에 대한 교체비용은 자갈궤도 구조에 대하여 산정
- 도상 교량 장대레일 개발공법의 시나리오 S3는 레일의 교체는 유도상화 공법과 동일하게 600MGT(million gross ton)마다 교체하는 것으로 가정하였으나, 합성침목과 체결장치는 예상 내구연한을 50년, 탄성받침은 30년으로 주기마다 전체교체하는 것으로 가정 함.

○ 무도상 교량 장대레일 개발공법 운영비용 산출 비교

- 일상적인 유비보수는 검측차를 이용한 궤도검측으로 궤도선형오차, 선로 순회점검, 레일연마, 궤도틀림 정정, 자갈고르기를 포함하고 있음.
- 기준 무도상 교량의 유지비용은 1.05 억원/km·년 으로 산출되었으며, 기준 인건비를 2021년 기준으로 환산 시 연간 유지보수 비용은 1.25 억원/km로 산정 됨.
- 유도상화 공법 시나리오 2는 궤도 검측, 소규모 유지보수, 레일 연마, 궤도틀림 정정, 자갈 고르기의 운영비용과 리스크비용으로 산정 할 수 있으며, 그 중 자갈 고르기 비율이 83%로 가장 높은 운영비용을 나타내고 있음.
- 무도상 교량 장대레일 개발공법의 시나리오 S3의 경우를 일체형 장대레일 구조로 가정 유도상화 공법 시나리오 2에서 자갈고르기 항목을 제외 한 사항을 반영하여 운영비용을 산정하였음.

○ 시나리오별 경제성 비교분석

- 시나리오별 초기 건설비를 제외한 60년간 교체 및 운영비용을 검토한 결과 기존 무도상 교량(S1)은 유도상화 공법(S2)과 무도상 교량 장대레일 개발공법(S3)대비 교체 및 운영비용면에서 매우 비경제적임을 알 수 있음.



< 시나리오별 교체 및 유지관리 비용 >

< 개발공법 초기건설비 반영 교체 및 유지관리 비용 >

- 시나리오별 초기 건설비를 포함한 60년간 교체 및 운영비용은 18년 이후부터 무도상 교량 장대레일 개발 공법(S3)이 기존 무도상 교량(S1) 보다 절감되는 시기이며, 60년 이후 생애주기 비용은 무도상 교량 장대 레일 개발공법(S3)이 기존 무도상 교량(S1) 보다 약 21억원/km, 23% 정도 경제적임.
- 초기건설비를 반영한 최종 60년 동안 생애주기 비용(LCC) 결과 무도상 교량 장대레일 개발공법의 시나 리오 S3가 S1대비 42억/km, S2대비 912억/km로 상대적으로 경제적 경쟁력이 높음을 알 수 있음.
- 특히 무도상 교량 장대레일 개발공법(S3)은 유도상화 공법(S2) 보다 건설비 84%, 교체 및 운영비용 51%의 경제성을 보였으며, 기존 무도상 교량 대비 18~23% 이상의 경제적 효과를 알 수 있음.

○ 무도상 장대레일 개발공법 소음저감 편익비용

- 한천교 시범시험 현장을 대상으로 시공 전 · 후 소음도를 5회 이상 측정하여 장대레일 시공 전과 시공 후로 소음도를 측정한 결과 최대 6.79dB 감소하였고, 평균 5~8% 소음이 저감됨을 확인.
- [국토교통부, 교통시설투자평가지침]의 소음가치 평균원단위 (원/dB·년·m) 자료를 참고하여 소음저 감 가치를 평가한 결과 60년 생애주기동안 916,000원/m 의 저감가치로 환산할 수 있으며, 국내 판형교 전체 연장 366km를 반영하면 3,352억원의 사회 간접이익을 도출할 수 있음.

○ 국내 · 외 무도상 교량 개량사업 현황

- 국가철도 개량투자계획 자료로 판형교량 유도상화 개량투자계획에 기존 699억원에이 투입되었고, 2018년 부터 2020년까지 630억원 개량계획과 장래 5,614억원을 포함하여 총 6,943억원이 계획되어 있음.
- 한강철도 등 모든 트러스교량에 대해서는 유도상화 작업이 어려움이 있어 유도상화 사업에서 제외되었고, 트러스 교량의 개소수는 11개소 총 연장 6.588km로 유도상화 공법외 대체 공법이 시급한 현실임
- 북한철도의 70% 이상이 일제 강점기에 건설되어 유지보수 부진에 따른 시설 노후화가 심각하며, 궤도의 수명주기를 60년으로 가정 시 개보수 이상의 신설 또는 새로운 공법이 필요한 실정임.

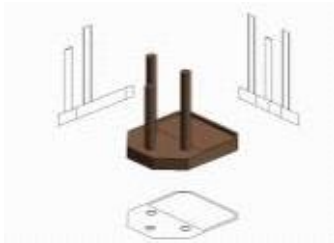
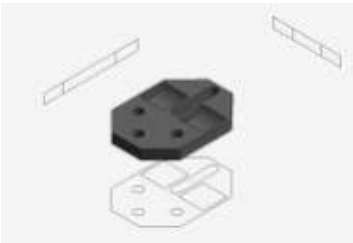
○ 국내 · 외 무도상 교량 장대레일 개발공법 적용방안

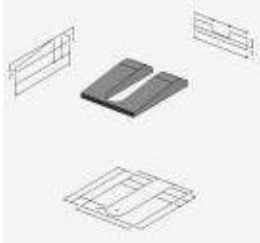
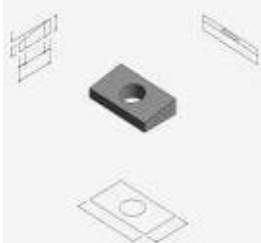
- 개발공법 사업화 방안은 국내와 국외로 제시 할 수 있으며, 국내의 경우 판형교량 유도상화 대체 사업화와 트러스교 장대레일화 사업으로 나눌 수 있음.
- 개발공법은 유도상화 공법의 11.3% 초기비용으로 개량사업을 수행 할 수 있으며, 유도상화 대체 사업화를 제시 할 수 있음.
- 국내 철도 개량계획 판형교량 유도상화 개량사업은 2021년부터 장래계획이 총 5,614억원이 계획되어 있으며, 이를 무도상 장대레일 개발공법으로 대체 적용 시 634억으로 개량사업을 수행 할 수 있으며, 4,980억원의 예산 절감효과를 기대 할 수 있음.
- 트러스 개량사업에 무도상 장대레일 개발공법을 적용도 가능하며, 개발공법을 적용하면 초기 건설비 791억원으로 트러스교 개량사업 가능함.
- 북한철도 노후화 개량사업은 대륙철도 횡단을 위해서 레일의 장대화는 필연적이며, 이에 따른 막대한 예산이 예상됨. 북한철도 노후화 개량사업에 본 연구개발의 적용은 전 세계에 크나큰 이슈와 홍보를 가져 올 수 있으며, 해외제품과의 가격경쟁력에서도 우수함을 증명 할 것으로 기대 됨

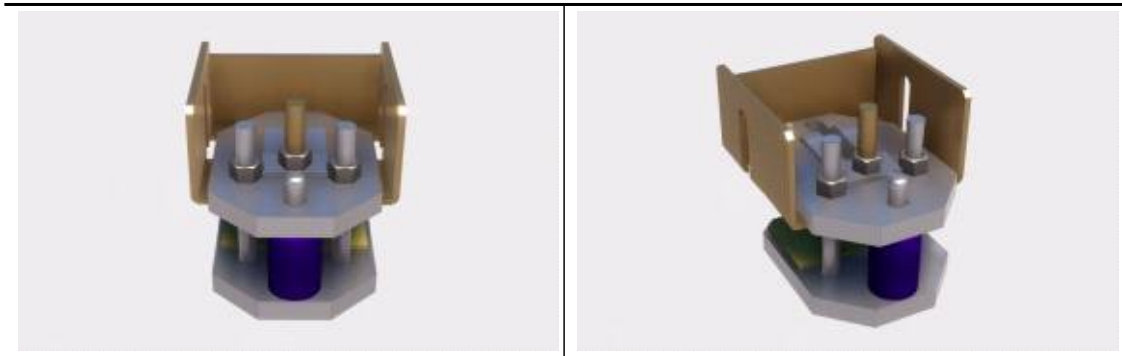
(7) 개발부품 시공장비 3D 모델링

(1) 2차년도 <무도상 장대레일 개발 부품 BIM 모델링>

- 무도상 교량 장대레일 개발부품의 BIM 모델링
  - 무도상 교량 장대레일 개발제품을 입체적으로 사전에 만들어 제품 생산의 문제점 파악 및 모든 제품 제작 분야의 협업자들이 생산절차를 확인하고 서로 의견을 나눠 협업의 능률을 극대화 하고자 함.
  - 침목체결장치

| Device Bottom                                                                     | Device Top                                                                        | U Plate                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |

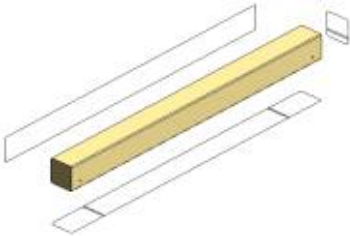
| Disk                                                                               | Bolt_Nut(M16)                                                                      | Pad1                                                                                | Pad2                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |



정면도

측면도

• 합성침목

| 합성 침목                                                                               | Shaft                                                                                | Bolt_Nut                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |

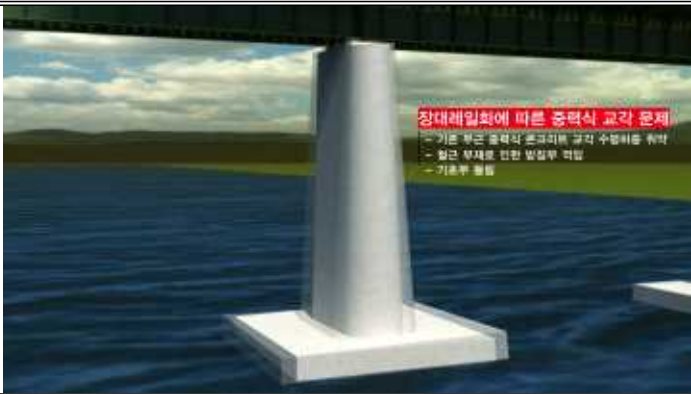
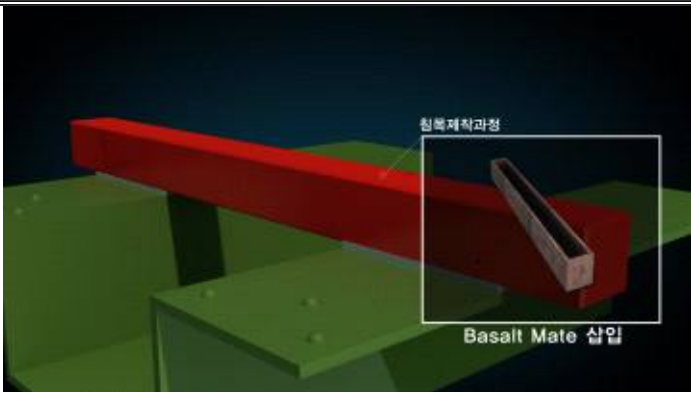
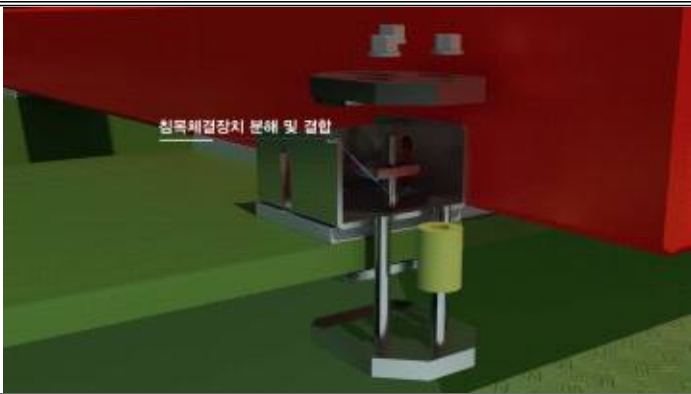
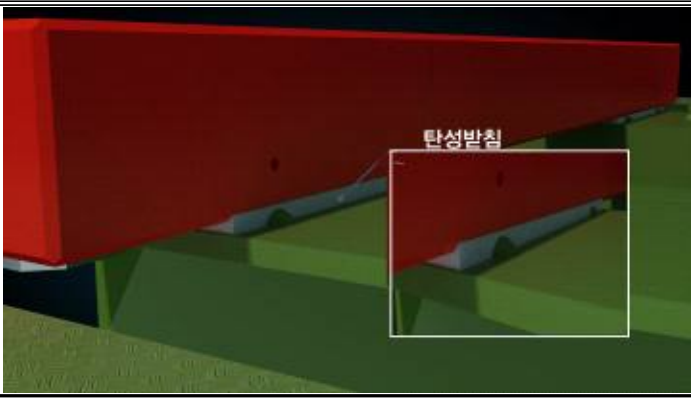
• 탄성 받침

| 침목 Pad                                                                            |                                                                                   | U Plate Pad                                                                         |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |                                                                                   |   |  |
| Bottom Device Pad                                                                 | Sleeper Pad1                                                                      | Sleeper Pad2                                                                        |  |
|  |  |  |  |

(2) 3,4차년도 <핵심성과 D, 무도상 장대레일 개발공법 제품생산 및 시공 동영상>

○ 무도상 교량 장대레일 개발공법 제품생산 및 시공 동영상

|                                                                                                                                                                  |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Introduction</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가상 무도상교량 열차 통과</li> <li>- 기존 무도상교량 문제점 설명을 위한 설정</li> </ul>                                         |   |
| <p>2. 비장대화 문제점 소개</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레일이음매 충격 및 진동으로 궤도 파손</li> <li>• 이음매 충격하중으로 인한 하부구조 파손</li> <li>• 레일이음매시 소음발생 및 승차감 저하</li> </ul> |  |
| <p>3-1.레일 장대화 장애요소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 목침목의 문제점</li> <li>• 반복된 열차하중으로 목침목 균열 발생</li> </ul>                                           |  |

|                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>3-2.레일 장대화 장애요소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 침목고정장치의 문제점 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 열차통과시 진동에 의한 궤도틀림 발생</li> <li>• 고정장치 장기간 사용시 탄성력 및 체결력 저하</li> </ul> </li> </ul>  |  <p>T-볼트 손상 및 이완</p> <p>- 열차통과 진동으로 볼트의 이완 현상<br/>- 위치, 스프링, 볼트 체결이 풀려 궤도틀림 발생</p>             |
| <p>3-3.레일 장대화 장애요소</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 하부구조의 문제점 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 중력식 교각 수평하중 취약</li> <li>• 철근 부재로 인한 받침부 꺾임</li> <li>• 기초부 들림</li> </ul> </li> </ul> |  <p>장대레일화에 따른 중력식 교각 문제</p> <p>- 기존 부근 중력식 교각의 수평하중 취약<br/>- 철근 부재로 인한 받침부 꺾임<br/>- 기초부 들림</p> |
| <p>4-1.개발부품 상세설명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 합성침목 설명 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 합성침목 제작과정 간략 설명</li> </ul> </li> </ul>                                                     |  <p>침목제작과정</p> <p>Basalt Mate 삽입</p>                                                          |
| <p>4-2.개발부품 상세설명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 침목체결장치 설명 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 침목체결장치 구성 및 결합방법 설명</li> </ul> </li> </ul>                                               |  <p>침목체결장치 분해 및 결합</p> <p>침목체결장치 구성 및 결합</p>                                                 |
| <p>4-3.개발부품 상세설명</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탄성받침 설명 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 탄성받침 설치시 장점과 부품의 적정성 설명</li> </ul> </li> </ul>                                             |  <p>탄성받침</p> <p>탄성받침</p>                                                                     |

|                                                                                                                                          |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>5.레일용접 연마장비</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 레일의 시공용접 연마장비</li> <li>• 레일의 테르밋 용접부위를 개발한 연마장비를 적용하여 장대레일 이음부 연마</li> </ul> |  |
| <p>6.개발부품 시공완료</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발부품으로 시공된 무도상 교량을 열차가 통과</li> </ul>                                         |  |

## (8) 운행선 개량시 시공속도 향상방안

### (1) 4차년도

- 운행선 무도상 교량 개량공사는 교량상에서의 작업인 점과 무도상 교량의 특성상 작업자의 안전을 보전하기 어려울 뿐만 아니라, 기존의 공법으로는 시공속도 향상에 어려움이 있음
- 본 연구에서 제시하는 운행선 시공속도 향상방안은 전용장비를 이용하는 방안을 제시하고자 하며, 다만 제시된 전용장비는 후속 연구 및 사업화를 통해 추가 개발할 계획임

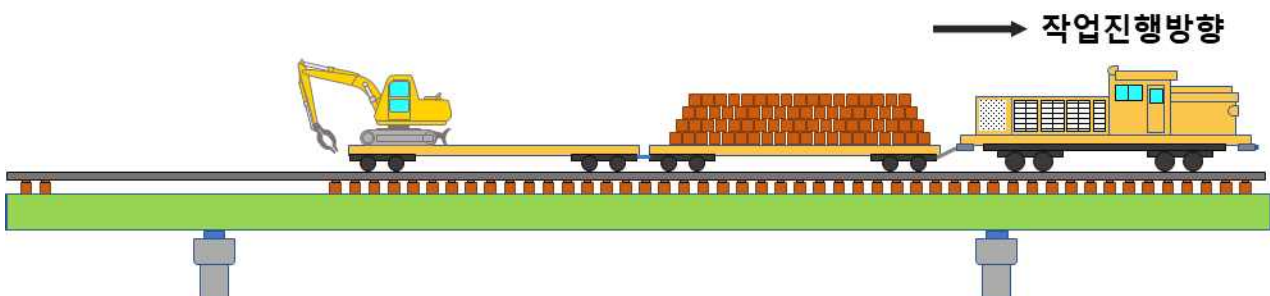
#### ○ 기존 레일 존치한 시공방법

- 개량 본선의 레일 절단없이 침목 교환 및 연동형 침목고정장치 설치 공법
- 기존 침목 철거, 침목고정장치를 포함한 신규침목 설치를 기존 및 전용장비를 사용하여 시공속도를 향상하고, 운행선 시공안전성이 향상된 공법

#### - 공법 적용 순서

##### ① 기존 침목 철거

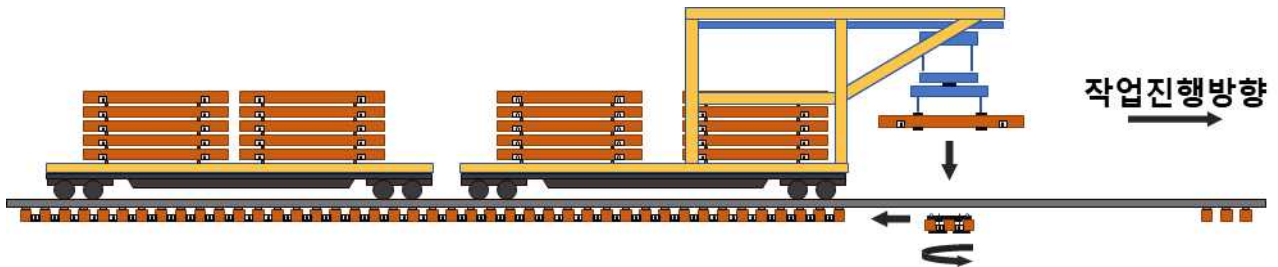
- 장비 구성 : 모터카+저상트롤리+소형 백호
- 작업종점 방향으로 진행하며 기존 침목 철거



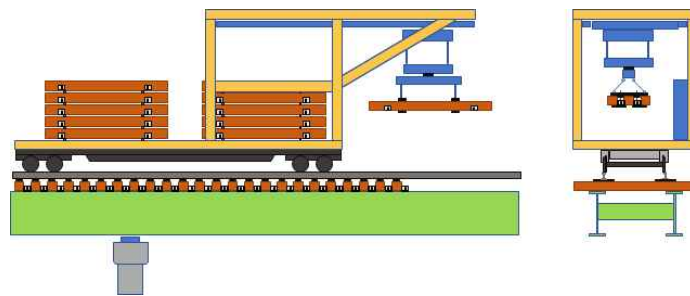
< 침목철거 모식도 >

##### ② 전용장비를 활용한 침목설치 방안

- 모터카+트롤리+전용장비(문형 크레인 포함)
- 연동형 침목고정장치로 상호 연결된 침목 3정을 전용장비를 이용해 기존 침목이 철거된 공간에 연속해서 설치함
- 전용장비는 3정씩 연결된 침목을 인양, 이동, 하화, 설치를 위한 장치 포함



<전용 장비를 이용한 침목설치 개념도>

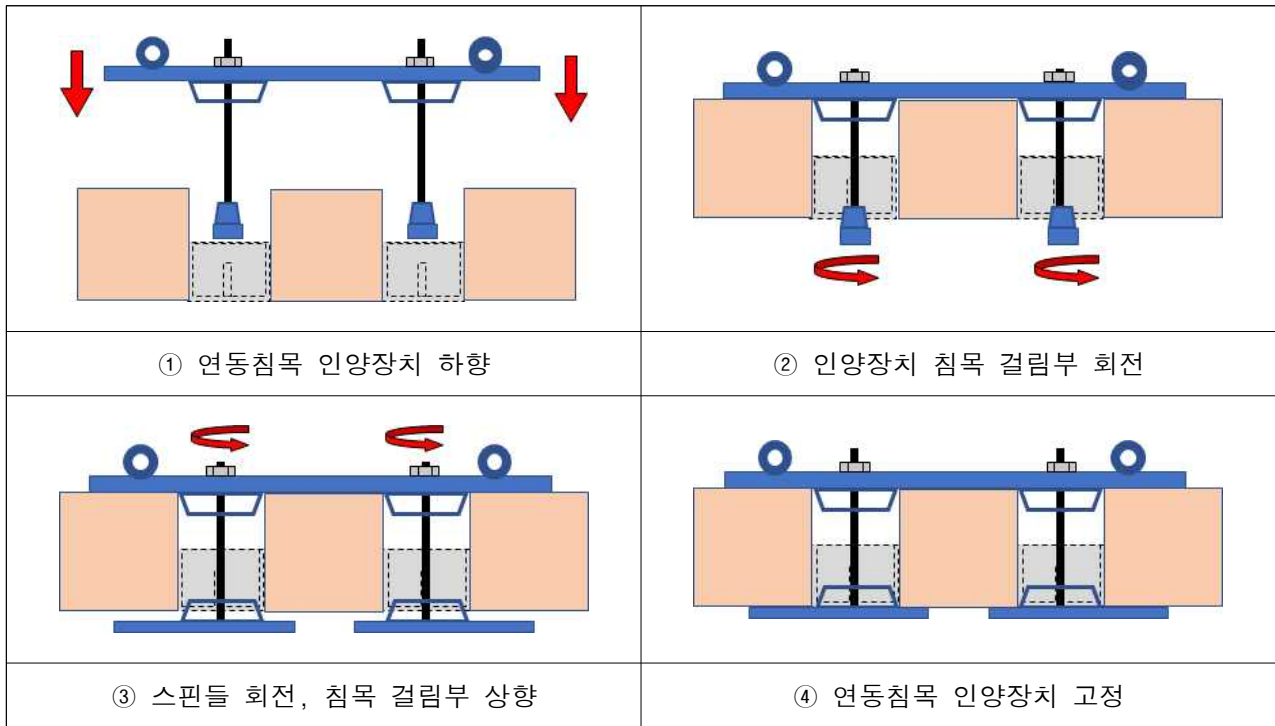


<전용장비 개념도>

|              |           |             |
|--------------|-----------|-------------|
|              |           |             |
| 침목+침목고정장치 하화 | 레일하면에서 회전 | 기 설치측 이동 설치 |

<연동 침목 설치 개념도>

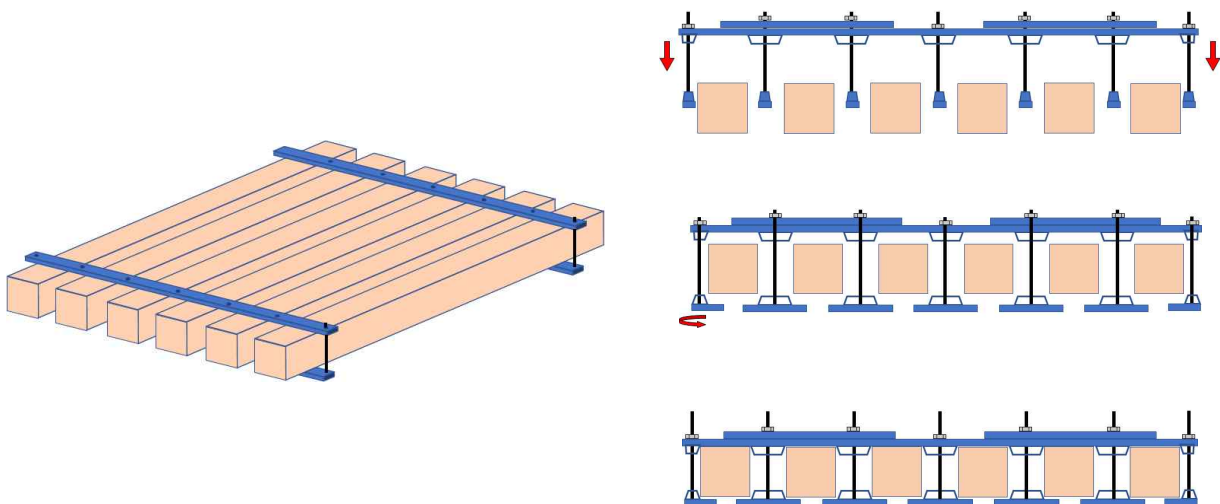
- 전용장비는 3정씩 연결된 침목을 인양, 이동, 하화, 설치를 위한 장치 포함
- 연동침목 인양하기 위한 장치는 전용장비 크레인에 설치되며 아래 그림과 같은 구조로 적용될 수



<크레인 인양을 위한 연동침목 연결 방법 >

○ 레일 중량화와 동시에 작업 시 적용 방안(레일 교환 기반)

- 최근 도시철도 및 광역철도구간의 레일중량화 구간의 무도상교량 궤도 개량시 적용할 수 있음
- 사전작업을 통해 다수의 침목을 연결하여 임시 레일을 포함한 패널을 구성하고, 문형크레인 기반의 전용 장비를 이용해 패널을 설치하는 공법
- 침목 및 레일철거는 상기 기존침목 철거 방법과 동일함
- 침목을 연동한 패널단위로 설치하며, 임시레일 위로 전용장비가 진입하여 연속설치하므로 차단시간내 시공속도 향상 기대
- 임시 장치를 통한 연동침목의 패널구성 개념은 다음과 같음



<연동침목 패널 구성 방법 개념도 >

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

###### • 1세부

###### □ 기술적 측면

- 무도상 교량(트러스교/판형교)의 해석기술 및 안전성평가 체크리스트 확보로 기존 무도상 교량에 레일장대화 가능한지를 판단할 수 있는 기술을 확보하게 됨.
- 무도상 교량(트러스교/판형교)에 장대 레일 적용에 따른 취약부 분석을 통하여 교량의 구조안전성을 도모할 수 있는 교량의 보수보강 매뉴얼을 확보하게 됨.
- 철도인프라설계상 가장 핵심적인 차량-궤도-교량 상호작용 해석기술의 확보로 철도 궤도 및 노반구조물에서 발생할 수 있는 다양한 특수문제를 해결할 수 있는 원천적인 설계기술을 확보하게 됨.
- 본 기술은 판형교 및 트러스교 등 기존의 무도상 교량에서 궤도구조를 최소한으로 개량하거나 신형식 궤도구조로 교체하여 레일을 장대화하는 기술로서 한강철교와 같은 장연장/장경간 트러스교량 형식에 적용 가능한 공간적 제한 없이 적용할 수 있는 기술임.
- 차량이 레일이음매 통과 시 차륜과 레일에 의한 소음/진동문제에 대한 민원이 지속적으로 증가하는 상황임으로 본 연구에서 개발하는 레일장대화 기술은 향후 교량구간 철도건설에 있어서 활용도가 매우 높은 기술임
- 철도 인프라건설에서 있어서 가장 중요한 설계요소는 주행안전성, 승차감 등 사용성 확보라고 할 수 있음. 본 연구사업에서는 무도상교량에 대한 가장 고차원의 사용성 확보기술의 개발되므로 향후 현수교, 사장교 또는 그 밖의 특수철도교량 설계에 적용할 수 있는 기술을 확보하게 됨.
- 본 연구사업은 학교, 연구원, 철도 건설 또는 운영기관, 제조 및 제작업체 등의 협동연구가 요구되므로 다분야의 다각적 기술교류에 따른 전반적 철도기술발전을 도모할 수 있음.

###### □ 경제적 측면

###### ○ 중소기업 육성

- 무도상 교량 레일 장대화에 필요한 다양한 장치 및 공법들의 개발로 중소기업의 기술육성 및 사업다각화
- 국내 450여개 이상 부설된 무도상 교량에 대한 안전성평가 절차 수립 및 보수보강 매뉴얼 개발을 통해 해당 분야에 대한 신시장 창출

###### □ 사회적 측면

- 레일 장대화로 열차속도제한요소 제거로 열차속도가 향상됨에 따라 철도수송력 증강 및 고속화 정책에 기여
  - 교량의 구조안전성, 열차의 주행 안전성, 승객의 승차감 등이 향상됨에 따라 국책으로 추진하는 안전우선, 국민의 삶의 질 향상 정책에 기여
  - 철도 연변 소음 진동의 저감에 따라 친환경 정책에 부응
  - 과학기술을 기반으로 한 국민행복, 중소기업 육성, 일자리 창출 등을 주요 국정과제로 하는 현 정부의 창조경제 패러다임 변화에 부응
    - 열차운행안전성 및 편의성 향상을 통한 교통복지 실현에 기여
    - 철도이용 고객 및 철도연변 주민의 쾌적성 향상
    - 중소기업 육성 및 사업 다각화
-

---

## • 2세부

### ☐ 기술적 측면

- 본 기술은 기존의 무도상 교량에서 궤도구조를 최소한으로 개량하여 레일을 장대화하는 기술로서 공간적 제한 없이 적용할 수 있는 기술임.
- 차량이 레일이음매 통과 시 차륜과 레일에 의한 소음/진동문제에 대한 민원이 지속적으로 증가하는 상황임으로 본 연구에서 개발하는 레일장대화 기술은 향후 교량구간 철도건설에 있어서 활용도가 매우 높은 기술임
- 본 연구사업은 학교, 연구원, 철도 건설 또는 운영기관, 제조 및 제작업체 등의 협동연구가 요구되므로 다분야의 다각적 기술교류에 따른 전반적 철도기술발전을 도모할 수 있음.

### ☐ 경제적 측면

- 중소기업 육성
  - 무도상 교량 레일 장대화에 필요한 다양한 장치 및 공법들의 개발로 중소기업의 기술육성 및 사업다각화
  - 국내 450여개 이상 부설된 무도상 교량에 대한 안전성평가 절차 수립 및 보수보강 매뉴얼 개발을 통해 해당 분야에 대한 신시장 창출

### ☐ 사회적 측면

- 레일 장대화로 열차속도제한요소 제거로 열차속도가 향상됨에 따라 철도수송력 증강 및 고속화 정책에 기여
- 교량의 구조안전성, 열차의 주행 안전성, 승객의 승차감 등이 향상됨에 따라 국책으로 추진하는 안전우선, 국민의 삶의 질 향상 정책에 기여
- 철도 연변 소음 진동의 저감에 따라 친환경 정책에 부응

---

## (2) 정량적 연구개발성과

---

## • 1세부

### ○ 교량 개량공사비 절감

- 무도상판형교 유도상화사업 대상의 대부분이 2,022년 이후에 시행될 예정이고 본 연구사업 성과를 반영할 경우 2,022년 이후 유도상화사업에서 약 개량비용 약 50~75%절감 가능.
- 트러스교, 도심지교량 등 유도상화 사업이 불가능한 개소를 우선 적용을 추진하고, 본 연구를 통해 개발한 안전성평가 절차에 따라 안전성에 문제가 있는 교량은 유도상화하고, 안전성에 문제가 없는 교량은 레일 장대화를 통하여 소음·진동 저감 및 교량 손상 방지를 통하여 유지보수비용 절감 및 공용수명 연장 추진
- 기존궤도를 개발장치들로 보강할 경우 유도상화 공사 대비 50% 이상 절감 가능

### ○ 유지보수 비용 절감

- 레일이음매의 제거로 충격진동이 현격히 저감됨에 따라 차량, 궤도, 교량의 손상이 크게 저감되며, 그에 따라 유지보수비 절감.
- 철도공사 관내 각 지역본부 무도상교량(판형교, 트러스교) 작업실적 분석 결과 무도상교량에 투입한 작업 인원은 2014년~2015년 2년동안 총 14,630명, 작업시간은 18,898시간임
- 유지보수 비용 산출.  
한국철도공사 평균임금 (4급 21호봉 기준 연급여 약 7,000만원, 월급여 약 585만원, 일급여 585/30 약 20만원)적용 시 무도상교량(판형교, 트러스교) 최근 2년 2015~2015년 유지보수 인건비 약 90억원 소요.

## • 2세부

### ○ 교량 개량공사비 절감

- 무도상판형교 유도상화사업 대상의 대부분이 2,022년 이후에 시행될 예정이고 본 연구사업 성과를 반영할 경우 2,022년 이후 유도상화사업에서 약 개량비용 약 50~75%절감 가능.
- 트러스교, 도심지교량 등 유도상화 사업이 불가능한 개소를 우선 적용을 추진하고, 본 연구를 통해 개발한 안전성평가 절차에 따라 안전성에 문제가 있는 교량은 유도상화하고, 안전성에 문제가 없는 교량은 레일 장대화를 통하여 소음·진동 저감 및 교량 손상 방지를 통하여 유지보수비용 절감 및 공용수명 연장 추진
- 기존궤도를 개발장치들로 보강할 경우 유도상화 공사 대비 약 84% 절감 가능
- 초기 건설비를 포함한 60년간 교체 및 운영비용은 18년 이후부터 무도상 교량 장대레일 개발 공법이 기존 무도상 교량 운영보다 절감되는 시기이며, 60년 이후 생애주기 비용을 비교하면 약 21억원/km으로 23% 절감 가능

### ○ 유지보수 비용 절감

- 레일이음매의 제거로 충격진동이 현격히 저감됨에 따라 차량, 궤도, 교량의 손상이 크게 저감되며, 그에 따라 유지보수비 절감.
- 철도공사 관내 각 지역본부 무도상교량(판형교, 트러스교) 작업실적 분석 결과 무도상교량에 투입한 작업 인원은 2014년~2015년 2년동안 총 14,630명, 작업시간은 18,898시간임
- 유지보수 비용 산출.  
한국철도공사 평균임금 (4급 21호봉 기준 연급여 약 7,000만원, 월급여 약 585만원, 일급여 585/30 약 20만원)적용 시 무도상교량(판형교, 트러스교) 최근 2년 2015~2015년 유지보수 인건비 약 90억원 소요.

### ○ 소음저감에 따른 사회 간접이익

- 한천교 시범시험 현장을 대상으로 시공 전·후 소음도를 5회 이상 측정하여 장대레일 시공 전과 시공 후로 소음도를 측정한 결과 최대 6.79dB 감소하였고, 평균 5~8% 소음이 저감됨을 확인
  - [국토교통부, 교통시설투자평가지침]의 소음가치 평균원단위 (원/dB·년·m) 자료를 참고하여 소음저감 가치를 평가한 결과 60년 생애주기동안 916,000원/m 의 저감가치로 환산할 수 있으며, 국내 판형교 전체 연장 366km를 반영하면 3,352억원의 사회 간접이익을 도출할 수 있음
-

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

#### □ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                                       | 학술지명                          | 주저자명                | 호                           | 국명   | 발행기관                   | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일        | 등록번호<br>(ISSN)         | 기여율  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|------|------------------------|-------------------------|------------|------------------------|------|
| 1  | 레일이음매로 인한<br>무도상 판형교의<br>동적응답 분석                                                                                                          | 한국철도학<br>회논문집                 | 채수호,<br>유용          | 제21권<br>제11호                | 대한민국 | 한국철도학회                 | 비SCIE                   | 2018.12    | 1738-6225              | 100% |
| 2  | 변위제어를 이용한<br>무도상 강교량<br>레일장대화 공법의<br>적용성 분석                                                                                               | 한국철도학<br>회논문집                 | 채수호,<br>유용          | 제22권<br>제2호                 | 대한민국 | 한국철도학회                 | 비SCIE                   | 2019.02    | 1738-6225              | 100% |
| 3  | 무도상 교량의<br>레일 장대화에<br>따른 궤도-교량<br>상호작용 영향<br>저감 방안                                                                                        | 한국철도학<br>회논문집                 | 이용재,<br>장승엽         | 제24권<br>제4호                 | 대한민국 | 한국철도학회                 | 비SCIE                   | 2021.04    | 1738-6225              | 100% |
| 4  | 무도상 판형교의<br>장대레일 좌굴해석<br>모델 개발 및<br>교량침목 체결장치<br>최소 저항력 산정                                                                                | 한국철도학<br>회 논문집                | 이형덕,<br>문지호         | 제21권<br>제10호                | 대한민국 | 한국철도학회                 | 비SCIE                   | 2018.11.   | 1738-6225<br>2288-2235 | 100% |
| 5  | 무도상 판형교<br>상부구조의<br>단면상수 산정에<br>대한 이론적 연구                                                                                                 | 한국도시철<br>도학회<br>논문집           | 이형덕,<br>문지호         | 제7권<br>제3호                  | 대한민국 | 한국도시철도<br>학회           | 비SCIE                   | 2019.09.   | 2288-4807              | 100% |
| 6  | 무도상 판형교의<br>장대레일 부설을<br>위한 거더-침목<br>고정장치의<br>횡저항력 산정                                                                                      | 한국방재학<br>회지                   | 이형덕,<br>문지호         | 제20권<br>제1호                 | 대한민국 | 한국방재학회                 | 비SCIE                   | 2020.02.   | 1738-2424<br>2287-6723 | 100% |
| 7  | Lateral<br>Resistance<br>Requirement of<br>Girder-Sleeper<br>Fastener for CWR<br>Track on an<br>Open-Deck Steel<br>Plate Girder<br>Bridge | Applied<br>Sciences           | 이형덕,<br>최상현,<br>문지호 | 제11권<br>제15호                | 스위스  | MDPI                   | SCIE                    | 2021.07.   | 2076-3417              | 100% |
| 8  | I-형 플레이트거더<br>고장력볼트이음부<br>의 강도특성                                                                                                          | 복합신소재<br>구조학회<br>논문집          | 수타진                 | 통권<br>36권<br>Vol.9,<br>No.4 | 대한민국 | 한국복합신소<br>재구조학회        | 비SCI                    | 2018-12    | 2093-5145              | 100% |
| 9  | CWR 적용시<br>무도상 철도<br>판형교 상부구조의<br>안전성 평가                                                                                                  | 한국철도학<br>회 논문집                | 문태욱                 | Vol.23,<br>No.1             | 대한민국 | 한국철도학회                 | 비SCI                    | 2020-01    | 2288-2235              | 100% |
| 10 | 정적 변형을<br>데이터 기반<br>머신러닝에 의한<br>무도상 철도<br>판형교의 손상<br>탐지                                                                                   | 한국구조물<br>진단유지관<br>리공학회<br>논문집 | 문태욱                 | Vol.24,<br>No.6.            | 대한민국 | 한국구조물진<br>단유지관리공<br>학회 | 비SCI                    | 2020-12    | 2234-6937              | 100% |
| 11 | 무도상<br>철도판형교의<br>비틀림거동 특성                                                                                                                 | 대한토목학<br>회 논문집                | 현승혁                 | Vol.41,<br>No.3.            | 대한민국 | 대한토목학회                 | 비SCI                    | 2021-06    | 1015-6348              | 100% |
| 12 | Analysis of<br>Track-Bridge<br>Interaction and                                                                                            | 한국도시철<br>도학회                  | 윤재찬                 | 23호                         | 대한민국 | 한국도시철도<br>학회           | 비SCIE                   | 2018.12.04 | 1225-1569              | 100% |

| 번호 | 논문명                                                                                                                       | 학술지명                                 | 주저자명          | 호           | 국명   | 발행기관        | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일        | 등록번호<br>(ISSN) | 기여율  |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|------|-------------|-------------------------|------------|----------------|------|
|    | Retrofit Design for Installation of CWR on Non-ballasted Railway Bridge                                                   |                                      |               |             |      |             |                         |            |                |      |
| 13 | 계측결과를 이용한 무도상 판형교 장대레일 해석모델의 타당성 검토                                                                                       | 한국철도학회 논문집                           | 이주호           | 1           | 대한민국 | 한국철도학회      | 비SCIE                   | -          | 1738-6225      | 100% |
| 14 | 무도상 장대교량 레일의 장대화 방안에 대한 소고                                                                                                | 한국방재학회 논문집                           | 박종찬           | 18          | 대한민국 | 한국방재학회      | 비SCI                    | 18.12.31   | 1738-2424      | 100% |
| 15 | Quantification of ballasted track-bridge interaction behavior due to the temperature variation through field measurements | NDT and E international              | Kyung Min Yun | 103         | 네덜란드 | Elsevier    | SCI                     | 2019.04.01 | 0969-8695      | 100% |
| 16 | 무도상 교량의 보강판 설치에 따른 미끄럼 허용 궤광 시스템의 횡저항력 증대 효과                                                                              | 한국방재학회 논문집                           | 박종찬           | 5           | 대한민국 | 한국방재학회      | 비SCI                    | 2021.10.01 | 1738-2424      | 100% |
| 17 | 기존 무도상 판형교 궤도의 종저항 거동에 대한 실험                                                                                              | 한국도시철도학회 논문집                         | 김경호           | 6           | 대한민국 | 한국도시철도학회    | 비SCIE                   | 2018.12.31 | 2288-4807      | 100% |
| 18 | 열차주행속도를 고려한 무도상교량 플레이트거더의 충격계수 산정을 위한 실험적 연구                                                                              | 한국복합신소재구조학회 논문집                      | 전병훈           | 11          | 대한민국 | 한국복합신소재구조학회 | 비SCIE                   | 2020.02.03 | 2288-0232      | 100% |
| 19 | 유한요소해석을 통한 침목고정장치가 무도상 판형교 강성에 미치는 영향                                                                                     | 한국철도학회 논문집                           | 백인철, 성덕룡      | Vol.22 No.8 | 대한민국 | 한국철도학회      | 비SCIE                   | 2019.08    | ISSN 1838-6225 | 100  |
| 20 | 합성 침목 제조를 위한 폴리우레탄 기반 복합 소재 기술 개발                                                                                         | 한국복합신소재구조학회 논문집                      | 황철현           | Vol.10 No.5 | 대한민국 | 한국복합신소재구조학회 | 비SCIE                   | 2019.10    | ISSN 2093-5145 | 100  |
| 21 | 무도상 판형교용 침목의 허용 높이 산정                                                                                                     | 한국철도학회 논문집                           | 원용환, 백인철      | Vol.23 No.2 | 대한민국 | 한국철도학회      | 비SCIE                   | 2020.02    | ISSN 1738-6225 | 100  |
| 22 | Rail Surface Defect Detection and Analysis using Multi-Channel Eddy Current Method Based Algorithm for Defect Evaluation  | Journal of Nondestructive Evaluation | Se Gon Kwon   | Vol.40 No.3 | 미국   | Springer    | SCIE                    | 2021.09    | ISSN 0195-9298 | 100  |

#### □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭    | 발표 내용                                                                       | 발표자 | 발표 일시      | 장소 | 국명   |
|----|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|------------|----|------|
| 1  | 한국철도학회   | 무도상 교량 궤도의 좌굴 강도                                                            | 문지호 | 2018.05.17 | 목도 | 대한민국 |
| 2  | 한국철도학회   | 교량상 콘크리트 궤도의 저항력 분포에 따른 부가축응력 분석                                            | 이영섭 | 2018.05.18 | 목포 | 대한민국 |
| 3  | 한국철도학회   | 무도상 교량의 장대레일화에 대한 소고                                                        | 박종찬 | 2018.05.18 | 목포 | 대한민국 |
| 4  | 한국도시철도학회 | Analysis of the Additional Axial stress of rail according to the Resistance | 이형덕 | 2018.10.12 |    | 대한민국 |

|    |              |                                                                                                                                                 |     |            |     |      |
|----|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|-----|------|
| 5  | rt2018       | Proposal of Analysis Method for the Serviceability Review of Concrete Track Ends                                                                | 이영섭 | 2018.10.17 | 제주  | 대한민국 |
| 6  | art2018      | 유한요소해석을 이용한 곡선 무도상 판형교의 좌굴해석 모델 개발                                                                                                              | 박종찬 | 2018.10.17 | 제주  | 대한민국 |
| 7  | art2018      | Development of buckling analysis model for CWR on ballastless track bridge                                                                      | 문지호 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 8  | art2018      | Safety Assessment of Plate-Girder Railway Bridges with Ballast-less Track due to Continuous Welded Rails                                        | 노형찬 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 9  | art2018      | Reinforcement Method of Lower Bracing in Railway Plate Girder Bridges                                                                           | 박성준 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 10 | art2018      | Effects of Rail Corrugation on Tension Clamp under Train Passage                                                                                | 안창범 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 11 | art2018      | Experimental Estimation of lateral and longitudinal resistances of track elements in a ballastless steel plate girder bridge                    | 김경호 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 12 | art2018      | Analysis of the Vibration Characteristics of a Ballastless Steel Plate Bridge Considering Vehicle-Track-Structure Interaction                   | 유 용 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 13 | art2018      | Numerical Studies of the Foundation Responses with the Existing Ballastless Track Bridges for the application of Continuous Welded Railway      | 오정호 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 14 | art2018      | Study on principal influential Factor of track-bridge longitudinal interaction analysis for continuous welded rail of steel plate girder bridge | 이창진 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 15 | art2018      | Safety Assessment of Plate-Girder Railway Bridges with Ballast-less Track due to Continuous Welded Rails 발표                                     | 노형찬 | 2018.10.18 | 제주  | 대한민국 |
| 16 | 한국방재 학회      | 변위제어를 이용한 다경간 무도상 강교량의 레일 장대화                                                                                                                   | 채수호 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 17 | 한국방재 학회      | 무도상 판형교의 단면계수 결정에 대한 연구                                                                                                                         | 이형덕 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 18 | 한국방재 학회      | 무도상 철도교량 레일장대화를 위한 종방향 저항력 해석모델 특성에 개한 연구                                                                                                       | 박성현 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 19 | 한국방재 학회      | 무도상 판형교 궤도의 횡방향 거동에 대한 실험적 고찰                                                                                                                   | 김경호 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 20 | 한국방재 학회      | Sliding Track Panel System을 적용한 무도상교량 좌굴해석에 대한 연구                                                                                               | 박종찬 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 21 | 한국방재 학회      | 무도상 교량 레일장대화시 침묵고정장치 강성이 궤도-교량 상호작용에 미치는 영향                                                                                                     | 박종찬 | 2019.02.20 | 서울  | 대한민국 |
| 22 | 한국방재 학회      | 무도상 철도교량 레일장대화를 위한 종방향 저항력 해석모델 특성에 개한 연구                                                                                                       | 박성현 | 2019.02.26 |     | 대한민국 |
| 23 | 한국복합신소재구조학 회 | 궤도틀림에 따른 무도상 판형교의 주행안전성 분석                                                                                                                      | 채수호 | 2019.04.25 | 강릉  | 대한민국 |
| 24 | 한국복합신소재구조학 회 | 무도상 판형교의 침묵고정장치 물성을 고려한 궤도-교량 종방향 상호작용 해석                                                                                                       | 윤재찬 | 2019.04.25 | 강릉  | 대한민국 |
| 25 | 한국복합신소재구조학 회 | 실내실험을 통한 판형교량 상 무도상 궤도의 종 횡방향 저항 특성                                                                                                             | 김학승 | 2019.4.25  | 강릉  | 대한민국 |
| 26 | 한국도시철도학회     | 유한요소해석을 이용한 무도상 판형교의 단면상수 평가                                                                                                                    | 이형덕 | 2019.05.10 | 제주도 | 대한민국 |
| 27 | 한국도시철도학회     | 무도상교량 국부적 STP 적용에 따른 궤도-교량 상호작용 영향분석                                                                                                            | 박종찬 | 2019.05.10 | 제주도 | 대한민국 |
| 28 | 한국철도학회       | 무도상 트러스교의 장대레일 축력 및 교량받침 작용력 저감을 위한 해석적 연구                                                                                                      | 윤재찬 | 2019.05.23 | 여수  | 대한민국 |
| 29 | 한국철도학회       | 무도상 교량 레일장대화를 위한 침묵고정장치 적정 강성 도출                                                                                                                | 박종찬 | 2019.05.23 | 여수  | 대한민국 |
| 30 | 한국철도학회       | 무도상 교량의 STP적용을 위한 소요 횡강성 산정                                                                                                                     | 이영섭 | 2019.05.23 | 여수  | 대한민국 |
| 31 | 한국철도학회       | 무도상 트러스교의 장대레일 축력 및 교량받침 작용력 저감을 위한 해석적 연구                                                                                                      | 박성현 | 2019.05.23 | 여수  | 대한민국 |

|    |                                                                    |                                                                                                |               |            |      |       |
|----|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|------|-------|
| 32 | 대한토목학회                                                             | 변형률 계측 데이터를 통한 트러스교 디지털트윈 모델 설계                                                                | 문태욱           | 2019.10.17 | 평창   | 대한민국  |
| 33 | 한국철도학회                                                             | 무도상 판형교의 침목고정장치 물성을 고려한 궤도-교량 종방향 상호작용 해석                                                      | 이창진           | 2019.11.15 | 제주도  | 대한민국  |
| 34 | 한국철도학회                                                             | 실내실험을 통한 기존 무도상 교량용 목침목 전단성능 평가_발표                                                             | 박종찬           | 2019.11.15 | 제주도  | 대한민국  |
| 35 | 한국철도학회                                                             | 무도상 판형교 구조적 특성을 반영한 궤도교량 상호작용 수치해석 연구                                                          | 이창진           | 2019.11.15 | 제주도  | 대한민국  |
| 36 | 한국강구조학회                                                            | 강철도교의 한계상태설계법 개발을 위한 국내외 압축부재 설계기준 비교분석                                                        | 김준희           | 2020.06.13 |      | 대한민국  |
| 37 | 산학기술학회                                                             | 미끄럼 허용 궤광 시스템 횡방향 지지부재의 영향 분석                                                                  | 박종찬           | 2020.07.24 |      | 대한민국  |
| 38 | 한국방재학회                                                             | 미끄럼 허용 궤광 시스템의 좌굴강도 보강에 대한 해석적 연구                                                              | 박종찬           | 2020.08.20 |      | 대한민국  |
| 39 | 한국방재학회                                                             | 장대레일이 부설된 테스트베드 무도상 교량의 궤도좌굴 해석                                                                | 이형덕           | 2020.08.21 | 온라인  | 대한민국  |
| 40 | 대한토목학회                                                             | 머신러닝을 이용한 정적 변형률 기반 철도교 손상탐지 모델 설계                                                             | 문태욱           | 2020.10.21 | 제주   | 대한민국  |
| 41 | 대한토목학회                                                             | 철도판형교의 비틀림거동 특성                                                                                | 현승혁           | 2020.10.22 | 제주   | 대한민국  |
| 42 | 산학기술학회                                                             | 미끄럼 허용 궤광 시스템 횡방향 지지부재의 현장 실험                                                                  | 박종찬           | 2021.07.02 |      | 대한민국  |
| 43 | 한국방재학회                                                             | 시험시공 계측결과를 이용한 무도상교량 장대레일 설계의 적정성 분석                                                           | 최규문           | 2021.09.09 | 온라인  | 대한민국  |
| 44 | The 2nd Asian Conference on Railway Engineering and Transportation | Development of a sleeper-grider fastening system for a ballastless railway bridge              | Sang-Jin Lim  | 2018.10.18 | Jeju | KOREA |
| 45 | 한국 복합 신소재 구조학회 춘계학술대회                                              | EP Block을 이용한 침목-강거더 체결시스템의 해석적 연구                                                             | 이찬영           | 2019.04.25 | 강릉   | 대한민국  |
| 46 | 한국 복합 신소재 구조학회 춘계학술대회                                              | 합성 침목 제조를 위한 폴리우레탄 기반 복합 소재 기술 개발                                                              | 황철현           | 2019.04.25 | 강릉   | 대한민국  |
| 47 | 한국철도학회 심포지움                                                        | 철도 무도상교량 궤도틀림 저감을 위한 침목 고정장치 개발                                                                | 백인철           | 2019.08.30 | 강릉   | 대한민국  |
| 48 | 2019 WCRR                                                          | Development of a bridge sleeper fastening system for CWR on an existing open-deck steel bridge | 백인철           | 2019.10.31 | 도쿄   | 일본    |
| 49 | 한국철도학회 추계학술대회                                                      | 목침목을 대체할 수 있는 합성수지 침목 개발 연구                                                                    | 이호담           | 2019.11.15 | 제주   | 대한민국  |
| 50 | 한국철도학회 추계학술대회                                                      | 합성수지 침목 성능기준에 관한 고찰                                                                            | 이호담           | 2020.11.13 | 제주   | 대한민국  |
| 51 | 방재학회                                                               | 합성수지침목 성능기준에 대한 연구                                                                             | 이호담, 백인철, 이승현 | 2021.09.09 | 온라인  | 대한민국  |

## □ 기술 요약 정보

| 번호 | 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 완성도 | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관 외 활용 여부 | 허용방식 |
|----|----|-----|-------|--------|-------|-------|-------|----------------|------|
|    |    |     |       |        |       |       |       |                |      |

## □ 보고서 원문

| 번호 | 연도 | 보고서 명 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|----|-------|-----|-------|
|    |    |       |     |       |

## □ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|----|------------------------|----------|----------|-------|
|    |                        |          |          |       |

## [기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 구분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                        | 국명   | 출원                 |            |                 | 등록                 |            |            | 기여율  | 활용<br>여부 |
|----|----|-------------------------------------------------|------|--------------------|------------|-----------------|--------------------|------------|------------|------|----------|
|    |    |                                                 |      | 출원인                | 출원일        | 출원번호            | 등록인                | 등록일        | 등록번호       |      |          |
| 1  | 특허 | 중방향 슬립을 허용하는 강철도교용 무도상궤도 구조                     | 대한민국 | 충남대학교 산학협력단        | 2018.12.04 | 10-2018-0154305 | 충남대학교 산학협력단        | 2019.05.21 | 10-1982567 | 100% |          |
| 2  | 특허 | 변위제어를 이용한 무도상 교량 레일 장대하 공법                      | 대한민국 | 한국교통대학교 산학협력단      | 2019.02.28 | 10-2019-0024115 |                    |            |            | 100% |          |
| 3  | 특허 | 교량 상부구조 연속화, 지점 이동 및 교각 교체를 이용한 철도 교량 보강 공법     | 대한민국 | 한국교통대학교 산학협력단      | 2019.11.20 | 10-2019-0149790 | 한국교통대학교 산학협력단      | 2021.07.15 | 10-2279873 | 100% |          |
| 4  | 특허 | 무도상 궤도 중,횡 저항력 측정장치                             | 대한민국 | (주)에이베스트           | 2019.05.07 | 10-2019-0053126 |                    |            |            | 100% |          |
| 5  | 특허 | 상부구조 연속화를 이용한 교량의 급속교체 공법                       | 대한민국 | 한국교통대학교 산학협력단      | 2019.09.26 | 10-2019-0118922 | 한국교통대학교 산학협력단      | 2021.06.30 | 10-2273310 | 100% |          |
| 6  | 특허 | 유-무기 복합소재 제조용 조성물, 유-무기 복합소재, 및 이를 포함하는 합성수지 침목 | 대한민국 | 한국철도공사, (주)유원플랫폼   | 2018.01.31 | 10-2018-0011769 | 한국철도공사, (주)유원플랫폼   | 2018.05.08 | 10-1857777 | 100  |          |
| 7  | 특허 | 레일 표면 연마장치                                      | 대한민국 | (주)천경기업, 한국철도공사    | 2018.11.06 | 10-2018-0135201 | (주)천경기업, 한국철도공사    | 2020.09.01 | 10-2153107 | 100  |          |
| 8  | 특허 | 침목고정장치                                          | 대한민국 | 한국철도공사, (주)에스코알티에스 | 2018.11.14 | 10-2018-0140006 | 한국철도공사, (주)에스코알티에스 | 2019.11.20 | 10-2049086 | 100  |          |
| 9  | 특허 | 침목고정장치                                          | 대한민국 | 한국철도공사, (주)에스코알티에스 | 2019.11.06 | 10.2019-0141271 | 한국철도공사, (주)에스코알티에스 | 2020.05.13 | 10-2112965 | 100  |          |
| 10 | 특허 | 응복합 패널 소재를 이용한 합성 철도 침목 제조 방법                   | 대한민국 | (주)동양이화, 한국철도공사    | 2019.11.27 | 10-2019-0153928 | (주)동양이화, 한국철도공사    | 2020.01.31 | 10-2074629 | 100  |          |
| 11 | 특허 | 경량 레일표면 연마장치                                    | 대한민국 | (주)천경기업, 한국철도공사    | 2019.11.29 | 10-2019-0156266 | (주)천경기업, 한국철도공사    | 2021.12.09 | 10-2339067 | 100  |          |
| 12 | 특허 | 자동 레일표면 연마장치                                    | 대한민국 | (주)천경기업, 한국철도공사    | 2019.11.29 | 10-2019-0156265 |                    |            |            | 100  |          |
| 13 | 특허 | 철도용 탄성 패드                                       | 대한민국 | 한국철도공사, (주)유원플랫폼   | 2020.10.20 | 10-2020-0135593 | 한국철도공사, (주)유원플랫폼   | 2021.06.11 | 10-2266175 | 100  |          |
| 14 | 특허 | 휴대용 철도용품 거치대                                    | 대한민국 | (주)천경기업            | 2021.12.27 | 10-2021-0188729 |                    |            |            | 100  |          |

## ○ 지식재산권 활용 유형

[illegible]

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                                               | 창작일        | 저작자명        | 등록일        | 등록번호          | 저작권자명 | 기여율  |
|----|----------------------------------------------------|------------|-------------|------------|---------------|-------|------|
|    | 동적데이터(고유진동수)를 활용한 무도상 판형교 모델 개선 프로그램 (3D frame)    | 2018.04.02 | 인하대학교 산학협력단 | 2018.11.19 | C-2018-033368 | 신수봉   | 100% |
|    | 동적데이터(고유진동수)를 활용한 철도 트러스교 모델 개선 프로그램 (3D truss 모델) | 2018.04.02 | 인하대학교 산학협력단 | 2018.11.19 | C-2018-033369 | 신수봉   | 100% |

☐ 신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 고시일 | 보호기간 | 지정번호 |
|----|----|-----|------|------|
|    |    |     |      |      |

☐ 기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증기관 | 인증 내용 |      | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|------|-------|------|--------|-----|
|    |       |      | 인증명   | 인증번호 |        |     |
|    |       |      |       |      |        |     |

☐ 표준화

○ 국내표준

| 번호 | 인증구분 | 인증여부 | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류 | 제안/인증일자 |
|----|------|------|-----|---------|------|------|---------|
|    |      |      |     |         |      |      |         |

○ 국제표준

| 번호 | 표준화단계 구분 | 표준명 | 표준기구명 | 표준분과명 | 의장단 활동여부 | 표준특허 추진여부 | 표준개발 방식 | 제안자 | 표준화 번호 | 제안일자 |
|----|----------|-----|-------|-------|----------|-----------|---------|-----|--------|------|
|    |          |     |       |       |          |           |         |     |        |      |

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명           | 출시/제작일     | 제작업체명   | 설치장소          | 이용분야    | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|----|----------------|------------|---------|---------------|---------|-----------|-------------|------------|
| 1  | 침목고정장치         | 2018.10.10 | 씨에스티    | KCT(한국건설 시험원) | 성능시험    |           |             |            |
| 2  | 침목-거더(교량) 고정장치 | 2019.07.30 | 대주 ENG  | KCT(한국건설 시험원) | 장치 성능시험 |           |             |            |
| 3  | 침목-거더(교량) 고정장치 | 2019.08.20 | 대주 ENG  | KCT(한국건설 시험원) | 성능시험    |           |             |            |
| 4  | 탄성받침           | 2019.06.24 | 유원플랫폼   | KTR           | 성능시험    |           |             |            |
| 5  | 탄성받침           | 2019.08.13 | 유원플랫폼   | SGS           | 성능시험    |           |             |            |
| 6  | 1차 연마장비        |            | (주)천경기업 |               | 레일연마    |           |             |            |
| 7  | 2차 연마장비        | 2019.12    | (주)천경기업 |               | 레일연마    | 1년        |             |            |
| 8  | 탄성받침           | 2020.10.28 | 유원플랫폼   | KCT           | 성능시험    |           |             |            |

|    |                   |            |         |     |      |    |        |          |
|----|-------------------|------------|---------|-----|------|----|--------|----------|
| 9  | 합성수지침목            | 2020.11.20 | (주)동양이화 | KCT | 성능시험 |    |        |          |
| 10 | 천공기 거치대           | 2021.03    | (주)천경기업 |     | 침목천공 |    |        |          |
| 11 | 탄성받침              | 2021.04.30 | 유원플랫폼   | 한천교 | 시험시공 | 1년 | 국가철도공단 | '22.3 예정 |
| 12 | 합성수지침목            | 2021.04.16 | (주)동양이화 | 한천교 | 시험시공 | 1년 | 국가철도공단 | '22.3 예정 |
| 13 | 침목-거더(교량)<br>고정장치 | 2021.04.20 | 대주 ENG  | 한천교 | 시험시공 | 1년 | 국가철도공단 | '22.3 예정 |

### □ 현장적용

| 번호 | 적용기술명 | 적용일 | 발주기관명 | 적용 연구개발기관명 | 적용현장명(장소) |
|----|-------|-----|-------|------------|-----------|
|    |       |     |       |            |           |

### □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료   |         |
|----|----------|-----------|-------------|-----------|-------|---------|
|    |          |           |             |           | 발생 연도 | 발생액(천원) |
|    |          |           |             |           |       |         |

### □ 사업화 투자실적

| 번호 | 연도 | 투자 자금 성격* | 추가 연구개발 투자(천원) | 설비 투자(천원) | 기타 투자(천원) | 합계(천원) |
|----|----|-----------|----------------|-----------|-----------|--------|
|    |    |           |                |           |           |        |

### □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식 | 사업화 형태   | 지역       | 사업화명      | 내용                   | 업체명                | 매출액     |         | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|----|--------|----------|----------|-----------|----------------------|--------------------|---------|---------|----------|-------|
|    |        |          |          |           |                      |                    | 국내 (천원) | 국외 (달러) |          |       |
| 1  | 자가실시   | 기존 제품 개선 | 원주시, 제천시 | 레일표면 연마장치 | 2차레일 연마장비를 활용한 공사 수행 | (주)한일 철도, (주)청명 궤도 | 158,400 |         | 2020     | 20년   |
| 2  | 자가실시   | 신제품 개발   | 광주광역시    | 침목보수제     | 침목보수제                | 광주광역시도시철도공사        | 154     |         | 2021     | 20년   |
| 3  | 자가실시   | 신제품 개발   | 대전광역시    | 침목보수제     | 침목보수제                | 대전광역시도시철도공사        | 539     |         | 2021     | 20년   |
| 4  | 자가실시   | 신제품 개발   | 서울특별시    | 침목보수제     | 침목보수제                | 대광공영 주식회사          | 3,080   |         | 2021     | 20년   |

### □ 매출 실적(누적)

| 번호 | 사업화명      | 발생 연도 | 매출액     |        | 합계      | 산정 방법                   |
|----|-----------|-------|---------|--------|---------|-------------------------|
|    |           |       | 국내(천원)  | 국외(달러) |         |                         |
| 1  | 레일표면 연마장치 | 2020  | 158,400 |        | 158,400 | 66천원X2,400개소            |
| 2  | 침목 보수제    | 2021  | 3,773   |        | 3,773   | 판매가 77천원X49 box=3,773천원 |
| 합계 |           |       | 162,173 |        | 162,173 |                         |

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

| 성과                             |             |       |      |      |      |
|--------------------------------|-------------|-------|------|------|------|
| 사업화 계획                         | 사업화 소요기간(년) |       |      |      |      |
|                                | 소요예산(천원)    |       |      |      |      |
|                                | 예상 매출규모(천원) |       | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 |
|                                |             |       |      |      |      |
|                                | 시장 점유율      | 단위(%) | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 |
|                                |             | 국내    |      |      |      |
|                                |             | 국외    |      |      |      |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 |             |       |      |      |      |
| 무역 수지 개선 효과(천원)                | 수입대체(내수)    |       | 현재   | 3년 후 | 5년 후 |
|                                |             |       |      |      |      |
|                                | 수 출         |       |      |      |      |

□ 고용 창출

| 번호 | 사업화명 | 사업화 업체명 | 고용창출 인원(명) |       | 합계(명) |
|----|------|---------|------------|-------|-------|
|    |      |         | yyyy년      | yyyy년 |       |
|    |      |         |            |       |       |
|    |      |         |            |       |       |
| 합계 |      |         |            |       |       |

□ 고용 효과

| 구분    |      |      | 고용 효과(명) |  |
|-------|------|------|----------|--|
| 고용 효과 | 개발 전 | 연구인력 |          |  |
|       |      | 생산인력 |          |  |
|       | 개발 후 | 연구인력 |          |  |
|       |      | 생산인력 |          |  |

□ 비용 절감(누적)

| 번호 | 사업화명 | 발생 연도 | 산정방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|-------|------|------------|
|    |      |       |      |            |
|    |      |       |      |            |
| 합계 |      |       |      |            |

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

| 구분    | 사업화명 | 수입 대체 | 수출 증대 | 매출 증대 | 생산성 향상 | 고용 창출<br>(인력 양성 수, 명) | 기타 |
|-------|------|-------|-------|-------|--------|-----------------------|----|
| 해당 연도 |      |       |       |       |        |                       |    |
| 기대 목표 |      |       |       |       |        |                       |    |

□ 산업 지원(기술지도)

| 번호 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원(명) |
|----|----|----|-------|----|-------|
|    |    |    |       |    |       |
|    |    |    |       |    |       |

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 총 계약액 | 기 징수액 | 해당 연도 | 징수액 | 향후 예정액 | 수출/수입 |
|----|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-----|--------|-------|
|    |       |        |        |         |       |       |       |     |        |       |

[사회적 성과]

□ 법령 반영

| 번호 | 구분<br>(법률/시행령) | 활용 구분<br>(제정/개정) | 명 칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|----------------|------------------|-----|-------|-----|-------|----------|
|    |                |                  |     |       |     |       |          |

□ 정책활용 내용

| 번호 | 구분<br>(제안/채택) | 정책명 | 관련 기관<br>(담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|-----|------------------|-------|-------|
|    |               |     |                  |       |       |

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구 분<br>(설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분<br>(신규/개선) | 설계 기준/설명서/<br>지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|---------------------------|------------------|-------------------------|-----|-------|
|    |                           |                  |                         |     |       |

□ 신진연구자 채용

| 번호 | 채용 연구개발기관명 | 채용일 | 근로기간 | 채용인원(명) | 채용인원 중 청년인력(명) |
|----|------------|-----|------|---------|----------------|
|    |            |     |      |         |                |

□ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 연도 | 현황(명) |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|----|----|----|-------|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
|    |    |    | 학위별   |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|    |    |    | 박사    | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
|    |    |    |       |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |

□ 산업 기술 인력 양성

| 번호 | 연도 | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육 기관 | 교육 개최 횟수 | 총 교육 시간 | 총 교육 인원 |
|----|----|-------|---------|-------|----------|---------|---------|
|    |    |       |         |       |          |         |         |

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 연도 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비(천원) |
|----|----|---------|-----|---------|-------|-----------|
|    |    |         |     |         |       |           |

## □ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분<br>(유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
|    |               |    |    |    |    |    |

## □ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명     | 제목                                   | 홍보일             |
|----|-------|---------|--------------------------------------|-----------------|
| 1  | 기사    | 대한도목학회지 | 철도 무도상교량 레일의 장대화 기술                  | 2019.05         |
| 2  | 기사    | 강구조학회   | 무도상교량의 레일장대화                         | 2020.08         |
| 3  | 기사    | 강구조학회   | 무도상교량 장대레일의 허용부가축응력                  | 2020.08         |
| 4  | 기사    | 강구조학회   | 연동식 침목고정장치를 이용한 무도상 교량의 장대레일 설계      | 2020.08         |
| 5  | 기사    | 한국철도학회  | 무도상교량 레일의 장대화 기술                     | 2020.10         |
| 6  | 기사    | 한국철도학회  | 무도상 판형교 장대레일 사용을 위한 연동식 침목 고정장치 기술개발 |                 |
| 7  | 저널    | 철도저널    | Basalt-fiber를 이용한 합성수지 침목 개발         | 2020.10.        |
| 8  | 전시    | 한국철도학회  | 2019년 한국철도학회 춘계학술대회 부스전시             | 2019.05.23.~24. |
| 9  | 전시    | 한국철도학회  | 2020년 한국철도학회 춘계학술대회 부스전시             | 2020.11.12.~13. |
| 10 | 언론보도  | 연합뉴스 등  | 한국철도, 무도상 철도교량 장대레일 설치 핵심기술 개발       | 2021.07.16.     |
| 11 | 전시    | 한국철도학회  | 2021년 한국철도학회 추계학술대회 부스전시             | 2021.11.11.~13. |
| 12 | 전시    | 국도교통부   | 2021년 국도교통기술대전                       | 2021.12.8.~10.  |

## □ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명                | 포상 내용                                                      | 포상 대상                           | 포상일        | 포상 기관    |
|----|----|--------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------|----------|
| 1  | 수상 | 우수논문발표             | 교량상 콘크리트<br>궤도의 저항력<br>분포에 따른<br>부가축응력 분석                  |                                 | 2018.06.08 | 한국철도학회   |
| 2  | 수상 | 우수논문               | 무도상 교량의<br>장대레일화에 대한<br>소고                                 |                                 | 2018.10.18 | 한국도시철도학회 |
| 3  | 수상 | 우수논문               | 무도상 교량<br>레일장대화시<br>침목고정장치<br>강성이 궤도-교량<br>상호작용에 미치는<br>영향 |                                 | 2019.02.21 | 한국방재학회   |
| 4  | 수상 | 우수논문               | 무도상교량 국부적<br>STP 적용에 따른<br>궤도-교량<br>상호작용 영향<br>분석          |                                 | 2019.05.17 | 한국도시철도학회 |
| 5  | 수상 | 우수논문               | 실내실험을 통한<br>기존 무도상<br>교량용 목침목<br>전단성능 평가                   |                                 | 2019.12.10 | 한국철도학회   |
| 6  | 수상 | 우수논문               | 미끄럼 허용 궤광<br>시스템 횡방향<br>지지부재의 현장<br>실험                     |                                 | 2021.07.02 | 한국산학기술학회 |
| 7  | 수상 | 2019년 철도 10대<br>기술 |                                                            | 무도상교량 궤광<br>구속형 침목-거더<br>고정 시스템 | 2019.09.20 | 한국철도학회   |

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

| 번호 | 구축<br>기관 | 연구시설/<br>연구장비명 | 규격<br>(모델명) | 개발여부<br>(○/×) | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록여부 | 연구시설·장비<br>종합정보시스템*<br>등록번호 | 구축일자<br>(YY.MM.DD) | 구축비용<br>(천원) | 비고<br>(설치 장소) |
|----|----------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
|    |          |                |             |               |                             |                             |                    |              |               |

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○

-

○

-

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○

-

○

-

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

| 성과유형                | 첨부자료 예시                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| 연구논문                | 논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가) |
| 지식재산권               | 지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)       |
| 제품개발(시제품)           | 제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료                               |
| 기술이전                | 기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등                      |
| 사업화<br>(상품출시, 공정개발) | 사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등 |

<참고 2> 「국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

| 구분 | 대상             | 등록 및 기탁 범위                                                                                                            |
|----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 등록 | 논문             | 국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)                                                                           |
|    | 특허             | 국내외에 출원 또는 등록된 특허정보                                                                                                   |
|    | 보고서원문          | 연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문                                                                                         |
|    | 연구시설<br>· 장비   | 국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동 활용이 가능한 모든 연구시설·장비                                           |
|    | 기술요약정보         | 연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보                                                                             |
|    | 생명자원 중<br>생명정보 | 서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보                                              |
|    | 소프트웨어          | 창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보                                                                                             |
| 기탁 | 표준             | 「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함) |
|    | 생명자원 중<br>생물자원 | 세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원                   |
|    | 화합물            | 합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보                                                                                         |
|    | 신품종            | 생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보                                                                                 |

## 2) 목표 달성 수준

### ·1세부

| 연구개발목표                 | 달성내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 달성도(%) |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ○ 무도상 교량 안전성평가 알고리즘 개발 | ○ 열차통과로 발생하는 상시진동을 이용하여 안전성을 평가할 수 있는 알고리즘 개발<br>- 구조물에서 측정이 용이한 가속도계를 이용하여 측정한 응답 사용<br>- 고유진동수를 이용하여 실제 교량의 역학적 특성을 인식하고 해석모델과의 비교를 통하여 안전성을 검토할 수 있는 알고리즘 개발<br>- 실제 교량에서 측정한 응답을 이용하여 적용성 검증<br>○ 최신의 안전성 평가 기법을 적용한 알고리즘 개발<br>- 최신 기법인 GA(Genetic Algorithm)를 이용한 알고리즘 개발<br>- 판형교 및 트러스에 대한 별개의 알고리즘 작성 및 프로그램 제작 (소프트웨어 등록) | 100    |
| ○ 무도상 교량 안전성평가 체크리스트   | ○ 무도상 교량 안전성평가 체크리스트 수립 및 완성                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 100    |

| 연구 개발 목표                  | 달성 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 달성도(%) |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 및 절차서 개발                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가입력값, 상태점검, 상부구조 안전성평가, 하부구조 안전성평가로 총 4가지 체크리스트를 수립함</li> <li>○ 레일 장대화를 위한 무도상 교량 안전성평가 절차서 수립 및 완성</li> <li>- 상태점검 및 평가입력값, 상부구조 안전성평가, 하부구조 안전성평가로 나누어 절차서를 수립함</li> <li>- 절차서의 부록으로 테스트베드 실험 내용을 교량 형식별 상부구조 안전성평가와 하부구조 안전성평가로 나누어 작성함</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |
| ○ 무도상 교량 보수보강 매뉴얼 개발      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 레일 장대화를 위한 무도상 교량 보수보강 매뉴얼 수립 및 완성</li> <li>- 상부구조 보수보강, 하부구조 보수보강으로 나누어 상황에 맞는 보수보강 기법을 작성함</li> <li>- 매뉴얼의 부록으로 테스트베드 실험 내용을 교량 형식별 상부구조와 하부구조로 나누어 보수보강 효과를 작성함</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 100    |
| ○ 무도상교량 종방향 상호작용 해석 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ TBI 및 무도상교량의 특성을 고려한 비선형 좌굴해석 기법 개발</li> <li>- 무도상교량 간략 모델링 기법 개발 (3차원 모델 비교를 통한 검증 완료)</li> <li>- UIC 720R의 좌굴한계를 고려한 해석기법 개발</li> <li>○ 무도상교량 레일장대화 시 TBI로 인한 좌굴을 방지할 수 있는 교량부 및 접속부 궤도 요구성능 제시</li> <li>- 비선형 좌굴해석을 통하여 2세부 개발 침목고정장치로 구현할 수 있는 궤도저항력 제시</li> <li>- 교량부 뿐 아니라 접속부에 대한 요구 궤도저항력 제시</li> <li>○ 무도상교량 장대레일 부설을 위한 설계기준[안] 개발</li> <li>- 비선형 좌굴해석을 이용한 레일부가축응력 등 허용기준 제시</li> <li>- 장대레일 설계철학에 따른 허용기준 제시</li> <li>- 교량의 횡방향 변위를 고려한 판형교의 횡방향 강성 요구조건 제시</li> <li>○ 무도상교량 레일장대화와 관련한 기준/지침 개정안 도출</li> <li>- 철도설계기준, 선로유지관리지침, KR Code 등의 관련 기준에 대한 개정 필요사항 제시</li> <li>○ 무도상교량의 특성을 고려한 레일장대화 공법 개발</li> <li>- 종방향 하중에 취약한 중력식 교각 특성을 고려한 변위제어공법 개발 (특허 출원)</li> <li>- 단경간, 장연장 특성을 갖는 판형교에 적용 가능한 레일장대화 공법 개발 (특허 등록)</li> <li>- 기초형식이 불분명한 무도상교량 하부구조의 지지력을 비파괴적으로 추정할 수 있는 기법 개발 (특허 출원 예정)</li> </ul> | 100    |
| ○ 무도상교량 장대레일 설계기술 개발      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ TBI를 고려한 무도상 교량 장대레일 설계 및 단부사용성 검토 기법 개발</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 100    |

| 연구 개발 목표                | 달 성 내 용                                                                                                                                                                     | 달성도(%) |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ○ 종방향 미끄럼허용 궤광시스템 기술 개발 | ○ 무도상교량 레일장대화 설계를 위한 설계가이드라인 개발<br>○ 트러스교와 같은 장경간, 장연장 교량에 적용할 수 있는 STP 공법 개발<br>- 교량-궤광 거리를 통하여 TBI로 인하여 궤도에 발생하는 부가응력을 저감할 수 있는 공법 개발<br>- STP 적용을 위한 해석, 설계 및 성능평가 기술 개발 | 100    |
| ○ 무도상교량 장대레일 시험 기술 개발   | ○ 무도상교량에 적용할 수 있는 종횡방향 궤도저항력 측정 장치 개발<br>- 무도상교량 레일장대화 시 요구되는 종횡방향 궤도저항력 측정을 통하여 궤도안정성 확인 가능<br>- 경량으로 휴대성이 높고 시험시공지 시험 적용을 통하여 활용성 확인                                      | 100    |

## ·2세부

| 연구 개발 목표                               | 달 성 내 용                                                                                                                                                                                                                              | 달성도(%) |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ○ 침목-거더 종방향 및 횡방향 저항력 확보를 위한 고정 시스템 개발 | ○ 종·횡방향 저항력 확보를 위한 최적화 설계 완료<br>○ 다양한 현장에 적용가능한 최적화 제작 기술 확보<br>○ 유닛/실대형 규모 시험을 통한 요구 성능 확인<br>- 공인성적서 발급 완료                                                                                                                         | 100    |
| ○ 선형조정 및 충격완화용 침목 탄성 받침 개발             | ○ 품질/성능(피로내구 200만회)시험을 통한 내구성 확보<br>- 공인성적서 발급 완료<br>○ 요구 성능 만족<br>- KRCS A010 05 방진대(저진동 궤도용)                                                                                                                                       | 100    |
| ○ 교량 침목을 대체할 친환경 합성 수지침목 개발            | ○ 품질/성능(피로내구 등)시험을 통한 내구성 확보<br>- 공인시험기관을 통한 성능검증<br>○ 시제품 제작을 위한 최적화<br>- 공정 설계, 방안 도출, 최적화 제작 기술 확보<br>○ 국제규격 성능 만족<br>- ISO 12856-1 및 JIS E1203의 물성을 만족하는 시제품 제작                                                                  | 100    |
| ○ 시공성 향상을 위한 부대장비 개발                   | ○ 품질/성능(피로내구 등)시험을 통한 내구성 확보<br>- 공인시험기관을 통한 성능검증<br>○ 시제품 제작을 위한 최적화<br>- 공정 설계, 방안 도출, 최적화 제작 기술 확보<br>○ 현장적용을 통한 제품 실용화 인증                                                                                                        | 100    |
| ○ 연구성과 적용을 위한 테스트베드 설계 및 시공            | ○ 공인원가 전문기관의 개발제품 원가 평가<br>- 침목-거더(교량)고정장치, 탄성받침, 합성수지침목 단가의 신뢰성 확보<br>○ 무도상 교량 장대레일 개발공법의 초기 건설비 산정<br>- 기초자료 확보<br>○ 해외제품과 비교하여 가격 경쟁력 확보<br>○ 유사공법 대비 개발공법의 생애주기(LCC)비용 비교분석<br>- 사업화 전략자료 확보<br>○ 3D 모델링 설계와 시공 동영상을 통한 개발제품의 이해 | 100    |

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

○

-

○

-

---

##### 2) 자체 보완활동

---

○

-

○

-

---

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

---

○

-

○

-

---

#### 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

##### · 1세부

- 무도상 교량(트러스교/판형교)에 레일 장대화 시공 가능 여부를 객관적으로 판단할 수 있는 교량의 안전성평가 체크리스트 및 절차서 확보.
    - 레일 장대화를 위한 무도상 교량의 안전성평가 체크리스트와 절차서를 통해 실무자가 시공 가능 여부를 수월하게 판단할 수 있음.
    - 레일 장대화를 시공을 통한 다양한 기대효과를 발현할 수 있음.
  - 무도상 교량(트러스교/판형교)에 장대레일 시공을 위하여 교량에 보편적으로 적용 가능한 보수보강 매뉴얼 확보.
    - 기존에 있었던 공법을 활용한 보수보강 매뉴얼로 실무자와 시공자 모두 원활하게 적용 가능.
  - 무도상교량 레일장대화 공법
    - 변위제어공법은 중연장 단순지간 판형교에 적용 시 가장 유리하므로 교체가 어렵거나 높은 비용이 요구되는 2~4경간 판형교 구간에 적용 가능
    - 장연장 단순지간 판형교의 경우 상부 연속화 및 장경간화, 신규 교각을 통한 종방향 안전성 확보가 가능한 공법 적용을 통하여 레일장대화 가능
    - STP공법은 한강교량과 같은 장경간, 장연장 트러스교에 적용이 가능하므로 공용 중 발생하는 소음 진
-

· 2세부

○ 침목-거더 고정 시스템 개발

- 침목-거더 고정 시스템(이하 연동식 침목고정장치)은 본 과제 연구개발명(기존선 무도상교량 장대레일화 기술개발)에 부합하는 기술이며 장대레일화시 요구되는 궤도의 횡저항 성능확보를 위해 필수적인 장치라 판단됨.
- 연동식 침목고정장치는 기존의 저항력 기준에 의해 검토되었지만 현장부설 모니터링 결과반영을 통해 성능 향상과 유연성 있는 설계가 가능하여 거더의 폭, 넓이, 목침목두께, 심플레이트 유무등 다양한 변수가 많은 현장에 적용이 용이함.

○ 선형조정 및 충격완화용 목침목 탄성받침 개발

- 무도상 궤도에서 가장 중요한 소음과 진동을 최소화해 주는 탄성받침은 본 과제에서 가장 중요한 부품이라 판단됨
- 합성수지침목, 침목-거더(교량) 체결장치, 레일장대화 모두를 아우르는 부품들의 안정한 성능유지에 필수 불가결한 부품임
- 1세부에서 제시된 탄성받침의 성능 목표를 충실히 수행하여 최종 성능목표를 상회하는 만족한 결과물을 완성하여 본 과제의 성공도를 더 높이는데 일조함

○ 친환경 합성수지침목

- 목침목 대비 내구성능 상승으로 유지보수 주기 증대 및 비용 절감 효과  
목침목 보다 내구성이 3배 정도 높아 유지보수 주기 증대를 통한 비용 절감 효과가 있음  
※ 기준 : 목침목 사용연수 10~20년 대비 합성침목 사용연수 50년  
각 지자체 교통공사 및 도시철도의 지하철 분기기에 대한 연간 목침목 교체 수량은 연간 1,000개 ~ 10,000개 이상 수준으로, 이를 합성침목으로 교체 시 50년간 발생하는 자재 구입 비용은 목침목으로 교체 시 50년간 발생하는 자재 구입 비용 대비 38%의 비용 절감 효과가 있음
  - 고가의 해외 제품을 대체하여 국익 증대 효과  
2008년부터 현재까지 각 지자체 및 도시철도의 외산 수입 합성침목 도입 수량은 10,000개 이상 될 것으로 으로 추정되며, 이를 동양이화의 국산 합성침목으로 적용할 경우 고가의 외산 수입 제품 대비 약 50% 수준의 비용절감이 가능하게 하며 이를 통해 국익 증대 실현이 가능함
  - 교량 궤도 유지보수에 필수적인 경량화 실현  
목침목과 동일한 중량 수준의 경량화 실현으로 국내의 노후화된 교량 궤도의 유지보수 시 기존 교량에 하중 부담을 전혀 주지 않으면서 목침목 기반의 궤도를 교체 가능한 대체 효과가 있음
-

## 6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

### ·1세부

- 무도상교량 안전성평가 체크리스트, 절차서 및 보수보강매뉴얼 활용 계획
  - 장대레일이 시공되는 무도상교량의 안전성 평가 및 보수보강에 활용
  - 기존 무도상교량의 안전성 평가 및 보수보강에 활용
- 무도상교량 레일장대화 공법 적용 계획
  - 변위제어공법은 종연장 단순지간 판형교에 적용 시 가장 유리하므로 교체가 어렵거나 높은 비용이 요구되는 2~4경간 판형교 구간에 적용
  - 장연장 단순지간 판형교의 경우 상부 연속화 및 장경간화, 신규 교각을 통한 종방향 안전성 확보가 가능한 공법 적용 가능
  - STP공법은 한강교량과 같은 장경간, 장연장 트러스교에 적용 가능
- 개발공법 활용계획
  - 개발중인 판형교 안전성평가 절차에 따라 구조적 문제가 있다고 판단되는 교량은 유도상화로 추진하고,
  - 안전성에 문제가 없는 교량은 레일장대화를 통하여 소음·진동 저감 및 교량 내구성 증진
    - \* 유도상공법 대비 약 11%의 비용으로 시공 가능
  - 한천교 시공결과를 바탕으로 유도상화가 불가능하고, 소음진동의 피해가 큰 도심지 판형교를 우선 적용 후 트러스교 적용 추진

| 1단계(~'21)                  |   | 2단계(~'23)                    |   | 3단계('23년 이후)         |
|----------------------------|---|------------------------------|---|----------------------|
| 도심지 판형교 중 적정 개소 시험 시공(한천교) | ⇒ | 짧은 연장 또는 구조 양호 도심지 판형교 우선 적용 | ⇒ | 한강철교, 낙동강교 등 트러스교 적용 |

### · 2세부

- 개발공법 활용계획
  - 개발중인 판형교 안전성평가 절차에 따라 구조적 문제가 있다고 판단되는 교량은 유도상화로 추진하고,
  - 안전성에 문제가 없는 교량은 레일장대화를 통하여 소음·진동 저감 및 교량 내구성 증진
    - \* 유도상공법 대비 약 11%의 비용으로 시공 가능
  - 한천교 시공결과를 바탕으로 유도상화가 불가능하고, 소음진동의 피해가 큰 도심지 판형교를 우선 적용 후 트러스교 적용 추진

| 1단계(~'21)                  |   | 2단계(~'23)                    |   | 3단계('23년 이후)         |
|----------------------------|---|------------------------------|---|----------------------|
| 도심지 판형교 중 적정 개소 시험 시공(한천교) | ⇒ | 짧은 연장 또는 구조 양호 도심지 판형교 우선 적용 | ⇒ | 한강철교, 낙동강교 등 트러스교 적용 |

- 연동식 침목고정장치 활용 확대 방안
  - 본 연구에서의 무도상교량의 레일 장대화를 위한 침목고정장치의 기본 개념은 SSF(Stronger Sleeper Fastener)를 적용하여 레일체결장치 보다 높은 종방향 저항성능을 안정적으로 제공하는 것으로 함
  - 본 연구 성과인 연동식 침목고정장치는 현장 설치의 용이성을 확보하기 위해 반원형 회전구 및 경사 고정부 등을 두어 개발하였으나, 단가 경쟁력 확보 및 현장 시공의 용이성을 위하여 장치구조를 개선하여 확대 적용 계획
  - 한국철도공사는 물론 공항철도, 교통공사(서울, 인천, 대전, 부산), 광역도시철도공사 등에 개별적인 합성수지침목 홍보 및 고객 수요 충족을 통한 판로 확대 계획
  - 연도별 사업화 매출 계획

\*한국철도공사

- 한국철도공사의 연평균 1km의 무도상 교량을 정기 보수/개량
- 연동식 침목고정장치 적용 시 2022년부터 매출 계획
- 연동식 침목고정장치 한강철교 2024년~2025년 수주 추진 및 매출 계획

| 구분     | 공사구간<br>(m) | 소요량<br>(개) | 단가<br>(천원/개) | 예상 매출액<br>(천원/년)       | 적용시기            |
|--------|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------|
| 매년 1km | 1,000m      | 5,000      | 250          | 1,250,000              | 2022년~          |
| 한강철교   | 3,000m      | 15,000     | 250          | (50%적용 시)<br>1,875,000 | 2024년<br>~2025년 |

\* 서울교통공사

- 서울 지하철 3,4호선 동호철교 및 동작철교 연동식침목고정장치 수주 추진 및 매출 계획
- 국가철도공단 성능인증 및 개량공사 원가 절감 방안 제시를 통한 경쟁력 확보

| 구분       | 공사구간<br>(m) | 소요량<br>(개) | 단가<br>(천원/개) | 예상 매출액<br>(천원) | 적용시기  |
|----------|-------------|------------|--------------|----------------|-------|
| 3호선 동호철교 | 960         | 4,800      | 250          | 1,200,000      | 2022년 |
| 4호선 동작철교 | 1,920       | 9,600      | 250          | 2,400,000      | 2023년 |

\* 연동식 침목고정장치 국내 매출 계획

| 항목                |              |          | 2021년<br>(현재) | 2022년<br>(1년 후) | 2023년<br>(2년 후) | 2024년<br>(3년 후) | 2025년<br>(4년 후) | 2026년<br>(5년 후) |
|-------------------|--------------|----------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 연동식<br>침목<br>고정장치 | 수량<br>(개)    | 정기<br>보수 | -             | -               | 5,000           | 5,000           | 5,000           | 5,000           |
|                   |              | 한강<br>철교 | -             | -               | -               | 7,500           | -               | -               |
|                   |              | 동호<br>철교 | -             | 4,800           | -               | -               | -               | -               |
|                   |              | 동작<br>철교 | -             | -               | 9,600           | -               | -               | -               |
|                   |              | 기타<br>교량 | -             | -               | -               | -               | 5,000           | 5,000           |
|                   | 단가<br>(천원/개) |          | -             | 250             | 250             | 250             | 250             | 250             |
| 매출액    합계 (천원)    |              |          | -             | 1,200,000       | 3,650,000       | 3,125,000       | 2,500,000       | 2,500,000       |

<연동식 침목고정장치 국내 매출 계획>

\* 해외 상용화 계획

- 해외의 경우, 2023년도 이후부터 상용화 계획

| 항목                |               | 2021년<br>(현재) | 2022년<br>(1년 후) | 2023년<br>(2년 후) | 2024년<br>(3년 후) | 2026년<br>(5년 후) |
|-------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 연동식<br>침목<br>고정장치 | 수량(개)         | -             | -               | 2,000           | 5,000           | 5,000           |
|                   | 단가(천원/개)      | -             | -               | 250             | 250             | 250             |
|                   | 예상<br>매출액(천원) | -             | -               | 500,000         | 1,000,000       | 1,000,000       |

<연동식 침목고정장치 해외 매출 계획>

○ 친환경 합성수지 침목 활용 확대 방안

- 본 연구에서는 교량침목을 타겟으로 개발이 완료되었으며, 개발품의 확대 적용을 위해 분기침목 개발 병행 추진
- \* 기존 목침목 분기기 개량 시 합성침목으로 교체할 경우에는 침목 교환만으로 개량 공사가 가능하나, 콘크리트침목으로 교체할 경우에는 침목 교환뿐만 아니라 레일까지 교체해야 하기 때문에 측선분기기와 같이 활용도가 낮은 분기기에 적용시 사업화 가능성이 높음
- 본 연구에서는 바잘트섬유 합성수지침목을 개발하였으나, 단가 경쟁력 확보 및 고객의 선택 다양화를 위하여 유리섬유 합성수지침목을 개발하여 확대 적용 계획
- 한국철도공사는 물론 공항철도, 교통공사(서울, 인천, 대전, 부산), 광역도시철도공사 등에 개별적인 합성수지침목 홍보 및 고객 수요 충족을 통한 판로 확대 계획
- 연도별 사업화 매출 계획

\*한국철도공사

- 한국철도공사의 연평균 1km의 침목을 정기 보수/개량
- 바잘트 섬유 합성수지침목 적용 시 2022년부터 매출 계획
- 바잘트 섬유 합성수지침목 한강철교 2024년~2025년 수주 추진 및 매출 계획

| 구분     | 공사구간<br>(m) | 소요량<br>(개) | 단가<br>(천원/개) | 예상 매출액<br>(천원/년)       | 적용시기            |
|--------|-------------|------------|--------------|------------------------|-----------------|
| 매년 1km | 1,000m      | 2,500      | 800          | 2,000,000              | 2022년~          |
| 한강철교   | 3000        | 7,500      | 800          | (50%적용 시)<br>3,000,000 | 2024년<br>~2025년 |

\* 서울교통공사

- 서울 지하철 3,4호선 동호철교 및 동작철교 합성수지침목 수주 추진 및 매출 계획
- 유리섬유 합성수지침목 적용을 통한 원가 절감 & 침목의 가격 경쟁력 확보

| 구분       | 공사구간<br>(m) | 소요량<br>(개) | 단가<br>(천원/개) | 예상 매출액<br>(천원) | 적용시기  |
|----------|-------------|------------|--------------|----------------|-------|
| 3호선 동호철교 | 960         | 2,400      | 650          | 1,560,000      | 2022년 |
| 4호선 동작철교 | 1,920       | 4,800      | 650          | 3,120,000      | 2023년 |

\* 합성수지침목, 침목보수제 국내 매출 계획

- 바잘트섬유 합성수지침목과 원가 절감된 유리섬유 합성수지침목을 구분하여 사업화 계획 수립
- 230X230X3000mm 기준의 교량용 바잘트섬유 합성수지침목 판매가격 800천원 설정
- 230X150X3000mm 기준의 분기기용 바잘트섬유 합성수지침목 판매가격 650천원 설정
- 240X150X2800~4600 기준의 분기기용 유리섬유 합성수지침목 판매가격 480천원(평균) 설정

| 항목                |            |                |           | 2021년<br>(현재) | 2022년<br>(1년 후) | 2023년<br>(2년 후) | 2024년<br>(3년 후) | 2025년<br>(4년 후) | 2026년<br>(5년 후) |
|-------------------|------------|----------------|-----------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 교량                | 바잘트<br>섬유목 | 수량<br>(개)      | 정기<br>보수  | -             | 1,250           | 2,500           | 2,500           | 2,500           | 2,500           |
|                   |            |                | 한강<br>철교  | -             | -               | -               | 3,750           | -               | -               |
|                   |            |                | 신규        | -             | -               | -               | -               | 2,500           | 5,000           |
|                   |            | 단가<br>(천원/개)   |           | -             | 800             | 800             | 800             | 800             | 800             |
|                   |            | 매출액<br>(천원)    |           | -             | 1,000,000       | 2,000,000       | 5,000,000       | 4,000,000       | 6,000,000       |
|                   | 유리<br>섬유목  | 수량<br>(개)      | 동 호<br>철교 | -             | 2,400           | -               | -               | -               | -               |
|                   |            |                | 동 작<br>철교 | -             | -               | 4,800           | -               | -               | -               |
|                   |            |                | 신규        | -             | -               | -               | 2,500           | 2,500           | 5,000           |
|                   |            | 단가<br>(천원/개)   |           | -             | 650             | 650             | 650             | 650             | 650             |
|                   |            | 매출액<br>(천원)    |           | -             | 1,560,000       | 3,120,000       | 1,625,000       | 1,625,000       | 3,250,000       |
| 분기기용              |            | 수량(개)          | -         | 200           | 300             | 400             | 500             | 600             |                 |
|                   |            | 단가<br>(천원/개)   | -         | 480           | 480             | 480             | 480             | 480             |                 |
|                   |            | 매출액<br>(천원)    | -         | 96,000        | 144,000         | 192,000         | 240,000         | 288,000         |                 |
| 침목<br>보수제         |            | 수량(Box)        | 49        | 250           | 300             | 350             | 400             | 450             |                 |
|                   |            | 단가<br>(천원/Box) | 77        | 77            | 77              | 77              | 77              | 77              |                 |
|                   |            | 매출액<br>(천원)    | 3,773     | 19,250        | 23,100          | 26,950          | 30,800          | 34,650          |                 |
| 매출액    합계    (천원) |            |                |           | 3,773         | 2,675,250       | 5,287,100       | 6,843,950       | 5,895,800       | 9,572,650       |

<합성수지침목, 침목보수제 국내 매출 계획>

\* 해외 상용화 계획

- 해외의 경우, 2023년도 이후부터 상용화 계획

| 항목                      |               | 2021년<br>(현재) | 2022년<br>(1년 후) | 2023년<br>(2년 후) | 2024년<br>(3년 후) | 2026년<br>(5년 후) |
|-------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 바잘트<br>섬유<br>합성수지<br>침목 | 수량(개)         | -             | -               | 1,000           | 2,500           | 5,000           |
|                         | 단가(천원/개)      | -             | -               | 700             | 700             | 700             |
|                         | 예상<br>매출액(천원) | -             | -               | 700,000         | 1,750,000       | 3,500,000       |

<합성수지침목 해외 매출 계획>

- 추가 연구의 필요성

- \* 합성침목의 폐기 처리시 산업폐기물이 아닌 우드 플라스틱으로의 재활용이 가능하도록 추가 연구 필요  
< 목침목은 방부처리로 인해 환경 오염을 유발시키며 교체 공사 시 특수폐기처리로 인한 추가 비용이 발생하는 문제가 있으며, 콘크리트침목 역시 마찬가지로 폐기 비용이 발생하는 문제가 있음>

---

○ 레일 용접부 연마장비

- 장대레일 부설시 용접부 품질 향상을 위해 본과업 외에 궤도신설 구간 적용가능하여 사업화 추진 중
  - \* 원주~제천 복선전철(운학~제천) 궤도공사 중 2차 레일연마 공사(2020년) : 2,400개소 시공 완료
-

< 별첨 >

| 별첨 자료   |
|---------|
| 1. 참고문헌 |
| 2.      |
| 3.      |

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘기존선 무도상 교량  
장대레일화 기술 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서  
시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.