건설교통기술촉진연구사업

PRTD-C058771

기존 철도판형교의 급속교체기술 개발 및 시공 최종보고서

2014.06.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 홍익대학교 산학협력단
공동연구기관 / 한국철도 기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

2. 제출문

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "기존 철도판형교의 급속교체기술 개발 및 시공 "과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 06 . 26

주관연구기관명 : 홍익대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 최 은 수
공동연구기관명 : 한국철도기술연구원
공동연구책임자 : 김 현 민

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	PRTD-C058771	해 당 단 계 연 구 기 간	2011-07-28~ 2014-05-27	단 계 구 분	(해당단계)/ (**총 단 계**)
연 구 사 업 명	건설교통기술촉진연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	기존 철도판형교의 급속교체기술 개발 및 시공			
	단위과제명	구조물 설계 및 실험 (공동)			
연 구 책 임 자	최 은 수	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 28명 내부 :17명 외부 :11명	총 연구비	정부 :1,500,000천원 기업 : 600,000천원 계 : 2,100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	홍익대학교 산학협력단		참여기업명	㈜인우건설,㈜에스코알티에스	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약				보고서면수	251

1. 연구 목표

■ 기존 철도판형교의 급속교체 공법 및 이를 위한 상부구조와 교량받침을 개발하여 철도의 주행안정성, 주행속도의 향상 및 진동•소음의 감소 등 철도교 사용성 향상

2. 연구개발 내용

■ 성능이 향상된 상부구조 개발

■ 급속교체를 위한 이동식 크레인 차량 개발

■ 수직방향 급속교체용 교량받침 개발

■ 개발 장비의 원가분석 및 VE ,LCC 분석

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	판형교,급속교체,크레인 차량,상부구조,높이조절받침
	영 어	steel girder bridge, accelerated replacement, crane-vehicle, superstructure, adjustable bearing

요약문

요 약 문

Ⅰ. 제 목

기존 철도판형교의 급속교체기술 개발 및 시공

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

■ 기존 철도판형교의 급속교체 공법 및 이를 위한 상부구조와 교량받침을 개발하여 철도의 주행안정성, 주행속도의 향상 및 진동•소음의 감소 등 철도교 사용성 향상을 목표로 한다.

■ 이동식 크레인 차량을 이용한 판형교의 교체는 기존의 급속교체 효과를 그대로 유지하면서 현장작업 최소화의 녹색건설을 달성할 수 있다.

■ 국내 철도교의 약 45%가 판형교이며, 교체의 필요성이 제기되고 있으므로 시장의 성장가능성이 충분히 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

■기술개발 동향 및 현황분석

-특허, 현장적용 및 상용화 실적 분석

-교량상부, 교체공법 및 시공기술, 교량받침 기술개발 현황 조사

■상부구조형식 개발

-최적의 상부구조 형식을 개발 및 설계용역

-정적 구조해석을 통한 응력 및 변위 검토

-차량주행에 따른 변위/가속도 검토

-콘크리트 슬래브 궤도의 특성분석 및 최적 슬래브 궤도 선정

■이동식 크레인 차량 설계

-기존공법의 기술수준 및 한계점 분석

-이동식 크레인 설계 및 구조해석

■수직방향 급속교체용 교량받침 설계

-교량받침의 설계 및 구조해석

■개발 장비의 원가분석

■개발 공법의 VE 및 LCC 분석

Ⅳ. 연구개발결과의 활용계획

■이동식 크레인 차량은 판형교의 수직방향 급속교체 시공에 활용될 수 있다.

■급속교체를 위해서 개발된 상부구조 형식은 짧은 경간의 신설교량에도 활용이 가능하다.

■급속교체를 위해서 개발된 높이조절 교량받침은 자기부상열차 궤도구조와 같이 정밀한 높이조절 기능이 요구되는 구조물에 활용이 가능하다.

■본 과제목표인 12m 이하 단경간에 대한 급속교체기술을 중점추진 후 장경간에 관련기술을 적용 및 활용될 수 있다.

5. 영문 요약서

SUMMARY

A major goal of this project is to develop a unit of train vehicles for accelerated replacement of existing open-steel-plate-girder railway bridges. Through this project, a few sub-goals can be archived:

- Increasing a driving speed of trains as well as riding quality and safety.
- Accelerated replacing construction with minimum environmental disturbance.
- Exploitation of a new market of accelerated replacing construction.

This projects have conducted several researches to archive the main goal:

- Analyzing trends of related technologies and patents
- Development of superstructure
  - Designing optimum superstructures with concrete and steel
  - Static and dynamic tests
  - FE analyses with various train speeds
  - Manufacturing a sample superstructure
- Design and manufacturing crane-vehicle
  - Design and structural analysis of a crane-vehicle
  - Laboratory test of accelerated replacing construction
- Development of adjustable bridge bearings in vertical direction
- Economic evaluation of the suggested accelerated replacing construction
  - Cost analysis of construction
  - VE and LCC analysis

The results of this project can be used for:

- Replacing of existing open-steel-girder railway bridges
- New constructions of short span railway bridges
- Adjustable bearings can be used for other fields such as MAGLAB bridges
- Providing basic data for expand this project to replacement of long span railway bridges

6. 영문 목차

CONTENTS

1. Introduction·····6
(1) Goals of the project·····6
(2) Current status of related domestic and international technologies·····12

2. Research activities and results·····27
(1) Strategy and method for driving the project·····27
(2) Development of a crane-vehicle train for acclerated replacing construction···28
(3) Development of superstructure for replacing exiting railway bridges·····67
(4) Manufacturing a sample superstructure for static and dyanmic tests·····153
(5) Development of an adjustable bridge bearing·····194
(6) Cost analysis of developed equipment·····222
(7) VE and LCC analysis of developed method·····229

3. Achievement of goals and contribution·····240
(1) Analysis of achieving goals·····240
(2) Suggesting contributions of the project·····245

4. Implantation plan of research results·····246
(1) Driving follow-up project using the output·····246
(2) Plan of implantation of the project outputs·····246
(3) Utilizing plan for research results·····247

7. 목차

목 차

제1장 연구개발과제의 개요·····6
제1절 연구개발 목표·····6
제2절 국내외 기술개발 현황·····12

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과·····27
제1절 연구개발 추진 전략 및 방법·····27
제2절 급속교체 이동식 크레인 차량 개발·····28
제3절 성능이 향상된 상부구조 개발·····67
제4절 철도판형교의 급속교체 상부구조 제작·····153
제5절 높낮이 조절 가능한 교량받침 개발·····194
제6절 개발 장비에 대한 사업원가분석·····222
제7절 개발공법에 대한 VE 및 LCC 분석·····229

제3장 연구목표 달성 및 효과·····240
제1절 연구목표의 달성도·····240
제2절 연구개발 기대효과·····245

제4장 연구개발결과의 활용계획·····246
제1절 관련 후속연구개발의 전망·····246
제2절 연구성과 활용계획·····246
제3절 연구결과의 활용방안·····247

제1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발 목표

1. 연구개발 최종목표

가. 본 과제에서 기존 철도판형교의 급속교체 공법 및 이를 위한 상부구조와 교량받침을 개발하여 철도의 주행안정성, 주행속도의 향상 및 진동•소음의 감소 등 철도교 사용성 향상을 목표로 한다.

나. 본 과제에서는 경간이 12m 이하 판형교를 급속교체 할 수 있는 공법을 개발하여, 실용화할 수 있도록 한다.

개발 목표	성능지표	개발수준		비고
		기존	목표	
▪ 수직방향 급속교체를 위한 이동식 크레인 차량 개발	1경간 교체 시간	4시간	3시간	• 수직방향 교체방식에 의한 시간 단축 • 자갈도상 시공시간 감소
	1경간 당 현장공사기간	30일	5일	• 교체교량은 공장에서 제작 • 교체시공을 위한 사전작업 현장 수행
▪ 성능이 향상된 철도교량 상부구조형식 개발	상부구조 중량 (9m 판형교 기준)	130 ton	80 ton	• 컴팩구조 및 콘크리트 슬래브 궤도로 중량 감소
▪ 급속교체 시공용 교량받침	높이조절기능	0mm	10mm	• 기계적 장치에 의한 높이조절 기능
▪ 개발공법의 실험적 현장시공 및 매뉴얼 작성	시제품 제작	-	7개	• 성능실험 및 현장시공에 사용
	현장시공성능 검증	-	-	• 현장시공성능 검증

다. 1경간 교체시간 - 영동선 석포-동점간 육송천2교량 교체시공 약 4시간 소요

라. 1경간 현장 공사기간 - 30일(=신규교량 현장 제작+교체를 위한 가시설 설치+교량받침 교체+교량 교체)

마. 기존 RC-Slab교 중량 - 130ton(9m)~180ton(13m)

바. 높낮이 조절 교량받침 - 교량 교체 후 기존레일과 교량상의 레일 레벨차 보정 용이, 30mm까지 높이조절 가능

사. 시작품 제작 - 상부구조(2개), 교량받침(4개), 이동식 크레인 차량(1개) 총 7개 제작

2. 연구목표 및 내용(총괄)

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 기술개발 동향 및 현황분석	▪ 관련 특허, 현장적용 및 상용화 실적 조사 ▪ 교량상부, 교체공법 및 시공기술, 교량받침 기술개발 현황 및 적용사례 조사
	▪ 상부구조 형식 개발	▪ 상부구조의 설계 및 구조해석 ▪ 교량•차량 상호작용 해석 ▪ 급속교체 교량용 궤도구조 검토
	▪ 이동식 크레인 차량 설계	▪ 기존공법과 기술수준 및 한계점 분석 ▪ 이동식 크레인 설계
	▪ 수직방향 급속교체용 교량받침 설계	▪ 교량받침의 설계 및 구조해석
2차년도	▪ 상부구조 성능 실험	▪ 상부구조 제작 ▪ 상부구조 정•동적 실험 및 피로성능 평가 ▪ 소음, 진동, 유지관리성 평가
	▪ 이동식 크레인 제작 및 안정성 평가	▪ 이동식 크레인 제작 ▪ 시공단계별 안정성 검토 ▪ 이동간의 안정성 검토
	▪ 교량받침의 성능평가	▪ 실험적 성능 검증
3차년도	▪ 실험적 현장시공성 평가	▪ 급속교체용 상부구조 제작 ▪ 실험적 현장시공 수행 및 평가
	▪ 상부구조 표준도 작성	▪ 경간별 상부구조 표준도 작성
	▪ 이동식 크레인 시험운행	▪ 이동식 크레인 시험운행 수행 및 평가
	▪ 시공 매뉴얼 작성	▪ 시공 매뉴얼 작성

(1) 1차년도 연구목표 및 내용

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간	해당 기관
1차 년도	■기술개발 동향 및 현황분석 -특허, 현장적용 및 상용화 실적 분석 -교량상부, 교체공법 및 시공기술, 교량받침 기술개발 현황 조사	▪판형교에 적용될 수 있는 교량상부구조 형식 및 특허 조사 ▪판형교 급속교체 관련 특허 및 실용화 기술 조사 ▪교량받침 기술개발 수준 및 판형교 적용 교량받침 특허 조사 ▪높이 조절 교량받침 해외 일반철도 사용실적 조사 □변리사를 통한 특허자료조사 검토 및 검증	26	주관/참여
	■상부구조형식 개발 -상부구조설계 및 구조해석 -교량•차량 상호작용 해석 -급속교체 교량용 궤도구조 검토	▪최적의 상부구조 형식을 개발 및 설계 ▪정적 구조해석을 통한 응력 및 변위 검토 ▪콘크리트 슬래브 궤도의 특성분석 및 최적 슬래브 궤도 선정 □상부구조는 구조기술사 검토 및 검증 □교량/차량 상호작용 해석결과의 전문가 검토 □궤도형식 선정에 대한 전문가 검토	44	주관/공동
	■이동식 크레인 차량 설계 -기존공법의 기술수준 및 한계점 분석 -이동식 크레인 설계	▪관련 특허 및 실용화 공법의 기술수준 및 특허 분석 ▪이동식 크레인 차량에 대한 국내·국외 특허조사 ▪이동식 크레인 설계 □특허자료분석에 대한 변리사 검증 □이동식 크레인 성능에 대한 전문가 검토	44	주관
	■수직방향 급속교체용 교량받침 설계 -교량받침의 설계 및 구조해석	▪급속교체 시공에 적합 교량받침 고안 ▪교량받침의 설계 및 구조해석 □교량받침 설계 및 해석결과 전문가 검토	26	참여

(2) 2차년도 연구목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
2차년도	■상부구조 성능 실험 -상부구조 제작 -정·동적 및 피로실험 -소음진동 및 유지관리성 평가	▪정적 실험을 통한 상부구조의 내하력·처짐 평가 ▪동적 실험을 통한 고유치 특성 분석 - FEM 해석치와 동적 실험 결과 분석 ▪피로실험을 통한 피로성능 평가 ▪기존의 상부구조형식과 비교하여 소음진동 및 유지관리성 평가 -소음·진동관리법에 의하여 철도소음·진동의 한도(60~75 LeqdB, 60~70 dB)로 제한 -기존 철도판형교와 개발된 상부구조의 열차주행시 발생된 소음·진동 비교분석 -기존 철도판형교와 개발된 상부구조의 유지관리성 비교분석 ▪교량상부구조 단부 높이차 극복방안 고안 -기존 철도판형교와 설계된 상부구조와의 형고차이에 따른 단부 높이차 발생 -기존철도판형교(경간:12.1m, 형고:1.4m)와 설계된 상부구조(경간:12.1m, 형고:1.0m)의 형고차이 0.4m 극복 방안 고안 ▪3차년도 현장시공 실험 수행 시 필요한 급속교체 시공용 상부구조 제작 -상부구조 실험에 통하여 문제점 파악 -급속교체를 위한 최적의 상부구조 형식결정 -최종 확정된 최적의 상부구조 형식 제작
		□상부구조 내하력 평가 전문가에 검증 □소음진동 전문가에 자문
	■이동식 크레인 제작 및 안정성 평가 -이동식 크레인 제작 -시공단계별 안정성 평가 -이동간 안정성 평가	▪이동식 크레인 차량 제작 ▪상부구조의 탑재 위치에 따른 구조해석을 통해 차량부재의 응력 및 변위 검토 ▪철도 이동 간 탑재 상부구조의 안정성 평가
		□철도차량 전문가 자문 및 안정성 검토
	■교량받침 성능 평가 -실험적 성능 검증	▪수직하중 재하시험을 통한 지지성능 평가 -수직재하 시험을 통한 하중 및 발생 변위량 검토 ▪수평하중 재하시험을 통한 내진성능 평가 -수직하중 가압 후 수평 하중 재하시험을 통한 하중 및 발생

		변위량 검토 ▪ 회전 재하시험을 통한 회전각 변위에 따른 이상 검토

(3) 3차년도 연구목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
3차년도	■ 현장시공성 평가 -급속교체용 상부구조 제작 -실험적 현장시공 실험 수행 및 평가 -밀어놓기 공법과 비교 분석	▪ 상부구조 인상 및 하강 모의 TEST ▪ 이동식 크레인 내에서 상부구조 인상 및 하강 TEST ▪ 상부구조 탑재상태에서 이동식 크레인 주행 TEST ▪ 실험적 현장시공 실험 수행 ▪ 밀어넣기 공법과 경제성 및 시공성 비교 분석 수행
		□ 한국철도공사 시공 전문가 실험 참관 및 검증
	■ 상부구조 표준도 완성 -경간별 표준도 완성 -콘크리트 상부구조 개발 및 설계	▪ 경간별 표준도 최종 완성 ▪ 시장성을 위한 콘크리트 상부구조 개발 및 설계
		□ 한국철도시설공단 전문가 검토 및 자문
	■ 이동식 크레인 시험운행 -이동식 크레인 시험운행 및 평가 -차량전도방지 장치 설치계획	▪ 철도 레일 상 운행시험을 통한 안정성 평가 ▪ 작업 안전을 위한 차량전도방지 장치 설치 계획 및 검토
	■ 최종보고서 및 시공 매뉴얼 작성 -경간별 판형교 현황 조사 -시공 매뉴얼 작성 -최종보고서 작성	▪ 판형교 설치 위치에 대한 지형 특성을 고려한 급속교체 공사가능 구간과 경간장 분포 현황을 분석 ▪ 15m 이상 판형교에 대한 적용 연구 ▪ 현장공사 단계에 따른 시공 매뉴얼 작성 ▪ 최종 보고서 작성
		□ 매뉴얼의 구조기술사 검토

3. 종합 결론

가. 철도 판형교의 교체는 철도 선진화를 이루기 위해서 반드시 필요한 사업이며, 이를 통해서 차량운행의 속도향상, 물류속도의 증진, 구조물의 안정성 증대 및 승차감의 증대 등의 효과를 얻을 수 있다.

나. 현재 사용되고 있는 판형교의 교체공법은 교체를 위한 과도한 부차적 시설이 필요하고, 친환경의 녹색건설 측면에서 현장작업이 많아 바람직하지 않다. 본 연구에서 수행하고자 하는 이동식 크레인 차량을 이용한 판형교의 교체는 기존의 급속교체 효과를 그대로 유지하면서 현장작업 최소화의 녹색건설을 달성할 수 있으며, 최적화 상부구조로 개발을 통해서 구조적 성능개선도 이룰 수 있다.

다. 국내 철도교의 약 45%가 판형교이며, 교체의 필요성이 제기되고 있으므로 시장의 성장가능성이 충분히 있으며, 근접국가인 일본에서도 상당수의 판형교가 존재하며, 공용연수 증가로 인한 교체의 필요성은 국내와 사정이 동일하다. 그러나 현재 일본에서 사용하는 기술수준은 본 연구에서 개발하고자 하는 기술수준에 비해 낮기 때문에 개발완료 후 수출가능성이 있다.

라. 기존공법과 개발중인 급속교체 공법의 경제성을 비교한 결과, 기존 공법의 경우 고가의 공사비용으로 과도한 경제적 비용을 발생시키며, 또한 공사를 진행할 때 열차운행의 차단으로 인한 부가적 경제적 손실이 발생된다. 이를 최소화하기 위하여 개발중인 급속교체 공법은 공사비용 최소화 및 공사기간의 단축의 특징으로 경제적 이득을 꾀할 수 있다고 판단된다.

마. SWOT 분석

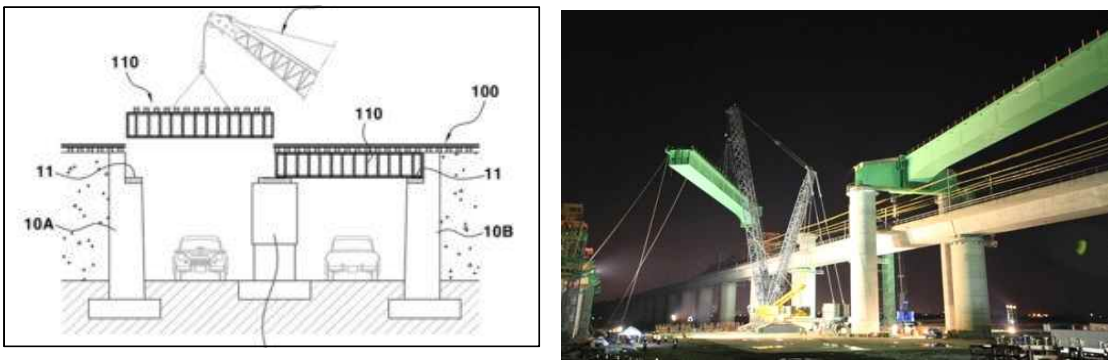
내적요인 / 외적요인	장점	단점
	□현장작업 최소화 시공 □연구 인프라 구축 양호 □관련분야 전문가 양성 □관련분야 산업의 활성화 가능	□연구 및 투자 자금의 열세 □시공법의 신뢰성 □시장진입의 어려움
기회요소	우수선행과제	우선보완과제
□정부의 녹색성장 정책 □시장의 독점적 환경 □철도산업의 유지보수비 절감에 대한 요구 □철도의 속도향상 선진화 □철도물류의 증대	□녹색건설 기술 개발 □최적화 상부구조 개발 □특허 등 지적재산권 등록 □실용화 연구를 통한 사업화	□참여기업의 투자 확대 □발주처의 인식 전환 □현장시험시공
위험요소	위험해결문제	장기보완과제
□철도레일이용 시공법에 대한 거부감 □장지간 교량 교체의 어려움	□레일상의 작업 안정성 확보 □관련업체와 컨소시엄 구성	□전문인력 양성 □장지간 교체 기술 개발 □다양한 적용성 연구

2절 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 관련분야에 대한 기술개발현황
가.철도교 급속교체
(1). 국내외 급속교체 시공으로 사용된 기법
(가) 크레인을 이용한 직접 교체공법
① 교량측면에 대형 크레인을 이용하여 교량 상부를 일괄 교체하는 공법

② 크레인 작업이 가능한 공간이 확보되어야 사용할 수 있는 공법

③ 대부분의 판형교는 하천, 강 또는 계곡을 횡단하기 때문에 크레인 작업 공간이 없어, 적용하기에 부적절하다.



[그림 1.1] 크레인을 이용한 직접 교체공법

(나) 밀어넣기 공법
① 교량측면에 가시설을 설치하고 신규 상부구조를 제작 후, 기존 상부구조를 크레인으로 제거하거나, 측면의 또 다른 가시설 위로 교체한 후, 신규 상부구조를 교량의 위치로 밀어 넣는 공법으로 급속교체가 가능하다.

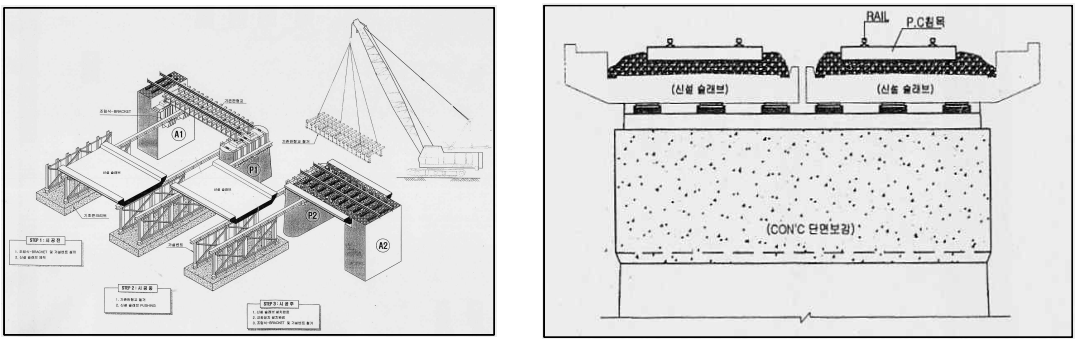
② 교량측면에 상당한 크기의 가시설을 설치해야하며, 강상 및 계곡 등 가시설 설치가 어려운 현장에서는 적용이 어렵다.

③ 현장에서 가시설 및 상부구조를 제작하므로 소음, 지반교란 및 환경피해가 발생할 수 있다.

④ 크레인을 이용하여 기존 상부구조를 제거하는 경우 크레인 접근공간이 필요하며, 측면으로 밀어 내기 위해서 또 다른 가시설이 필요하게 되어 경제적 부담이 증가하게 된다.

⑤ 상부구조를 콘크리트 슬래브와 자갈도상을 사용하여 기존의 판형교에 비해 자 중 이 약 3배 이상 증가하게 되므로 교각에 대한 영향이 크고, 자중증가로 인해 작용하는 지진하중

이 증가하여 내진성능이 감소하게 된다. 특히, 판형교의 교각은 무보강 콘크리트 구체이며, 중앙부에 콘크리트 이음부가 있어 지진에 의한 횡하중에 매우 취약하다.



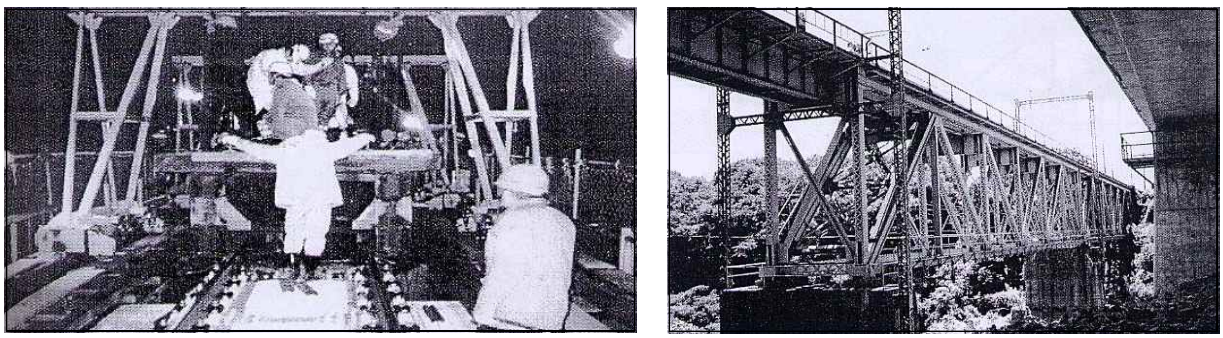
[그림 1.2] 밀어 넣기 공법

(다) 제3궤도 이동식 크레인 교체공법
① 철도궤도 외측에 크레인 이동 궤도를 설치하고 신구 상부구조를 크레인을 이용하여 수직방향으로 교체•시공하는 기법

② 크레인을 이동을 위한 추가적인 궤도의 설치가 필요하며, 크레인 구동을 위한 모 터 등이 필요하고, 크레인은 단거리만을 이동가능하다.

③ 상부구조를 측면이 아닌 수직방향으로 제거•교체하므로 측면공간과 하부공간의 영향을 받지 않는다.

④ 상부구조를 제거하기 위해서 교량 밖으로 이동해야 하고, 신규 상부구조를 다시 이동해서 설치해야 하므로, 교체 시간이 과다하게 소요되어 급속교체에 효과적이지 못하다.



[그림 1.3] 제3궤도 이동식 크레인 교체 공법

(라) Mobile Crane을 이용한 교량 교체 공법
① 크레인 유도용 가설 거더의 설치가 필요하다.

② 가시설의 설치로 크레인이 이동하기 때문에 크레인은 단거리만 이동가능하다.

③ 유도용 가설 거더 설치 및 기존 교량 철거 등 장기간의 교체시간이 필요하여 급속교체시공은 곤란하다.



[그림 1.4] Mobile Crane을 이용한 교량교체 공법

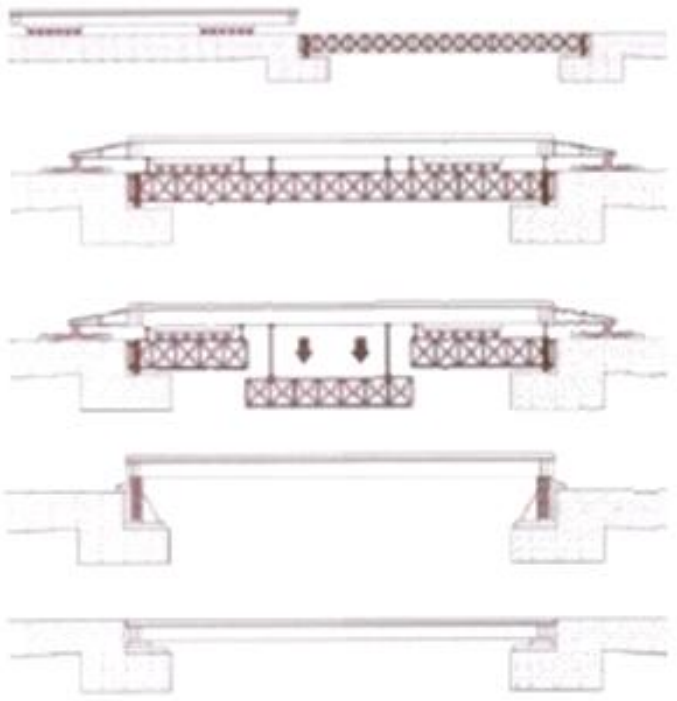
(마) 프랑스 SNCF 개량공법

① 선로 이용하여 상부구조 운반 및 가설

② 상부구조를 제거하기 위해서 전차선 철거 필요

③ 교량 교체를 위하여 선로를 장기간 사용하여야 하므로 급속교체시공 곤란하다.

④ 기존 상부구조 철거 시 교량 아래로 별도의 작업공간이 필요하다. 대부분의 판형교는 하천, 강 또는 계곡을 횡단하기 때문에 적용의 어려움이 있다.



[그림 1.5] 프랑스 SNCF 개량공법 순서

(2) 국내 기술 및 산업 동향

(가) 현재 국내에서 철도 판형교 급속교체와 관련하여 시공되고 있는 기법은 '밀어 넣기 공법'이 유일하다. 크레인을 이용한 직접교체 공법으로 시공된 사례가 있으나 상용화되어 지속적인 시공실적은 없다.

(나) '밀어 넣기 공법'에서 사용하는 상부구조 형식은 콘크리트 슬래브를 사용하고 있으며, 콘크리트 슬래브 구조는 지간이 짧은 경우에는 형고가 낮아 형하공간을 확보하는데 유리하지만, 지간이 길어지는 경우 형고가 높아져 형하공간 확보가 어렵다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 슬래브 하부에 I형롤 빔을 설치하여 형고를 낮게 하고 있다.

(다) 또한, 콘크리트 슬래브 구조와 더불어 자갈도상을 사용하기 때문에 자중이 크게 증가한다. 이러한 경우 기존 상부구조에 비해서 약 3배의 고정하중이 교각에 전달되기 때문에 교각의 침하 등의 안정성에 대한 검토가 필요하다. 특히, 작용하는 지진하중이 증가하게 되고 무근 콘크리트 교각의 중앙부에 위치한 이음부는 균열손상에 매우 취약하여 지진 시에 균열 또는 전도의 위험성이 증가하게 된다. 따라서 상부구조 자중의 증가로 인한 하부구조 교각의 영향을 검토하고 필요 시 보강에 대한 기법을 개발할 필요가 있다.

(라) 국내의 시장현황은 '한국철도공사'에서 년 40-50억원 정도의 금액을 사용하여 판형교를 교체작업을 실시하고 있다. 철도관련시설물은 '한국철도시설공단'의 관리하에 있으며, 유지보수에 해당하는 판형교 교체는 '한국철도공사'에서 수행하고 있다. 아래의 표는 한국철도시설공단에서 계획하고 있는 철도교량 계획이다.

[표 1.1] 철도교량 개량 계획

[단위: 백만원]

구분		소요	기시행	계획						
				계	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	이후
유도상화	개소	278	-	278	15	15	15	15	15	203
	사업비	112,045	26,439	85,606	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	61,606
거더교환	개소	78	-	78	1	1	1	1	1	73
	사업비	154,550	-	154,550	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	138,550
계	개소	356	-	356	17	5	6	19	6	303
	사업비	266,595	26,439	240,156	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	200,156

(마) 철도 판형교는 전체적인 차량의 평균운행속도에 크게 영향을 미치는 키 노드 가 될 수 있으므로, 판형교의 구조적 성능을 개선하는 것은 차량 운행속도향상에 크게 도움이 된다. 따라서 시장의 규모는 현재보다 점진적으로 증가할 가능성이 있다.

(바) 국내에서 판형교 급속교체 시공을 하는 업체는 (주)코벡이 유일하며, 독 점 적 지 위 를 가지고 있으며, 회사의 개요는 다음과 같다.

회사명	(주)코벡
설립일	• 1976. 05 대교특수건설
판형교 교체 실적	• 호남선 강경-용동간 복천교량 외 4개 유도상화(2003) • 연산-논산간 금강천교량 외 3개소 유도상화(2003) • 영동선 석표-동점간 육송천2교량 교체(2008)
관련보유특허	• 철도교의 강교를 슬래브교로 치환하는 공법 및 그 가설구조 (제 415768 호)

(사) 판형교 급속교체 관련해서 국내의 전문가는 극히 제한적이며, 판형교와 관련된 연구를 수행하거나 급속교체 시공에 대한 연구를 진행하는 전문가는 다음과 같다.

전 문 가	소속기관	연구개발내용
윤 태 양	포항산업과학연구원	모듈러 교량 실용화 기술
황 윤 국	한국건설기술연구원	교량 응급복구 기술
최 은 수	홍익대학교	판형교 거동 및 교량받침 연구
오 지 택	한국철도기술연구원	판형교 동적 거동 연구
최 진 유	한국철도기술연구원	판형교 거동 및 유도상화
박 용 걸	서울과학기술대학교	판형교 보강 및 유도상화
민 경 주	철도안전기술원	판형교 받침 및 장대레일

(아) 철도 판형교 급속교체와 관련한 국내연구 인프라 수준은 '한국철도기술 연구원'에 설치되어 있는 실험실 및 장비들을 기준으로 판단하면, 연구수행하기에 충분하다고 판단된다. 또한, 분산공유 건설인프라 실험실이 구축되어 있기 때문에 연구내용 중 실험을 수행하기 위한 실험장비는 충분히 갖추어져 있다.

(3) 지금까지의 연구개발 실적
(가) 철도 판형교와 관련된 연구개발 실적은 주로 판형교의 유도상화 및 교량받침에 관한 연구가 주로 수행되었다. 또한, 판형교 교각은 무근 콘크리트 구체로 되어 있는데 이에 대한 내진성능 평가 및 보강에 대한 연구도 수행되었다. 도로교 관련해서는 급속시공 또는 모듈화 시공에 대한 연구가 진행되고 있다.

(나) 철도 판형교 및 교량교체와 관련된 국내의 연구개발 내용을 정리하면 다음과 같다.
① 프리캐스트 슬래브 패널을 이용한 철도판형교의 유도상화 (2008), 서울과학기술대학교, ㈜삼표산업
㉮ 침목으로 되어 있는 철도판형교의 궤도를 슬래브 패널을 이용하여 콘크리트 슬래브로 교체 시공 후 교량의 성능을 검증하는 연구로 해석적 기법을 사용하여 콘크리트 슬래브 궤도 설치 전후의 변위 및 가속도를 비교 검토하였다.

② 도로교 신속교체 및 응급복구용 교량가설 기술개발 연구기획보고서 (2006), 한국건설기술연구원,
㉮ 재해로 인한 교량의 붕괴 또는 손상 시 신속한 통행로 복구를 위한 응급복구용 교량 시스템 및 가설교량의 기술개발과 교량 교체공사 시 교통 차단에 의한 사회적 직•간접적 손실을 최소화하기 위한 교량 구조물의 신속교체공법 개발 기획연구하였다.

③ 모듈러 교량 기술개발 및 실용화 (2010), 포항산업과학연구원 강구조연구소
㉮ 모듈을 이용한 교량의 표준화 시공 및 급속시공에 대한 연구

④ 초간편 H형강 교량 개발(2009), ㈜석탑엔지니어링
㉮ H형강을 거더로 사용하면서 지간장 20~30m의 중/소규모 교량에 적용이 가능한 초간편 H형강 교량을 개발에 대한 연구, 초간편 H형강 교량은 기존 형강교량에 비해 공기를 3배 이상 단축시킬 수 있어 자연재해 등에 의한 교량의 응급복구 및 교통체증구간 노화 교량에 대한 급속교체분야까지 적용이 가능하다.

⑤ 기타

㉮ 파형강판을 이용한 도로 철도 노후교량의 급속교체 기술 개발(2007), 한양대학교

㉯ 온프리스트레싱을 이용한 급속교체용 강교량 개발(2008), 연세대학교

㉰ 교량 상부 구조물 지지용 수평 접이식 가설벤트공법에 대한 시공 및 구조 검토(2011), 홍익대학교

(다) 타 연구기관의 판형교 관련 논문실적

구분	논문 제목	저자	발표 년월일	학술지명	Vol.
학술진흥재단 등재학술지	방진궤도시스템 적용에 따른 강철도 무도상 판형교의 거동 분석	박용걸	2006.12	한국철도학회 논문집	V.9 n.6 pp.717~724
학술진흥재단 등재학술지	외부 후긴장 공법 적용에 따른 무도상 판형교의 동적거동 분석	박용걸	2006.4	한국철도학회 논문집	V.9 n.2 p.160~168
학술진흥재단 등재학술지	외부 후 긴장된 무도상 철도 판형교 동적 거동	박용걸	2008.05	대한토목학회 논문집	V.28 n.3A pp.315~322
학술진흥재단 등재학술지	기존선 철도차량을 이용한 철도교의 상호작용해석	조은상	2009.01	대한토목학회 논문집	V.29 n.1A pp.31~43
학술진흥재단 등재학술지	철도차량의 증속에 따른 판형교의 진동특성	조은상	2006.12	한국강구조학회 논문집	V.18 n.6 pp.769-781
학술진흥재단 등재학술지	광섬유 격자센서를 이용한 철도 판형교의 증속 실험	정원석	2005.12	한국강구조학회 논문집	V.17 n.6 pp.681-688
국내학술대회 발표	틸팅차량과 용접형 판형교의 동적 상호작용에 관한 해석적 고찰	이희업	2003.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	변단면 하로판형교의 계획 및 설계	민영택	2006.11	한국철도학회	
국내학술대회 발표	2주형 판형교의 최적설계	김건회	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	무도상 판형교 레일 장대화에 따른 궤도 유지관리 비교연구	남보현	2007.11	한국철도학회	
국내학술대회 발표	KNR 용접형 판형교의 동적거동에 관한 해석적 고찰	이희업	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	환경소음 저감을 위한 판형교 성능개선 연구	민경주	2009.11	한국철도학회	
국내학술대회 발표	Ⅱ-형 PC로 보강된 합성 판형교량의 성능개선 효과	민경주	2006.5	한국철도학회	

국내학술대회 발표	철도 무도상판형교의 고유진동특성에 대한 연구	오지택	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	판형교 장대화에 따른 성능 개선	민경주	2007.05	한국철도학회	
국내학술대회 발표	유전자 알고리즘에 의한 용접형 판형교의 단면 최적설계	이희업	2003.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	판형교의 고유진동수 특성에 관한 연구	오지택	2001.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	철도 판형교의 동적응답 주파수 특성에 대한 분석	오지택	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	무도상 판형교의 동적거동특성 분석을 위한 실험적 연구	최진유	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	실물실험을 통한 PC-Slab합성 판형교의 성능비교연구	민경주	2010.7	한국철도학회	
국내학술대회 발표	무도상 판형교의 동적거동특성 분석을 위한 해석적 연구	최진유	2002.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	무도상 판형교의 횡방향 동적거동특성 분석을 위한 실험적 연구	오지택	2003.10	한국철도학회	
국내학술대회 발표	구 당산철교 판형교 세로보의 피로균열에 대한 시뮬레이션	조재병	2003.05	한국강구조학회	
국내학술대회 발표	판형교 고장력 볼트 이음부의 합리화에 대한 실험적 연구	김희주	2005.10	대한토목학회	
국내학술대회 발표	판형교 강성을 고려한 외부 후긴장 보강 설계에 관한 연구	박용걸	2003.10	대한토목학회	
국내학술대회 발표	2주형 판형교의 크로스빔 응력 해석에 관한 연구	송지훈	2004.10	대한토목학회	

(4) 특허 동향

(가) 판형교와 관련된 특허는 주로 상부구조의 형식 및 교체하는 공법에 대한 특허들이며, 부차적으로 판형교의 교량받침 교체 및 교체작업을 위한 교량상승 기법에 관한 특허들도 포함되어 있다.

No.	특허번호	출원일	특허일	IPC	출원인	발명의 명칭
1	10-0711086	2004. 10.05	2007 01.18	E01D 21/00	(주) 철도안전 연구소	철도 교량용 판형교의 거더 개량용 가설장비 및 개량 공법

2	10-0959008	2004.09.17	2010 04.28	E01D 2/00	포항산업 과학연구원	프리캐스트 패널을 갖는 이중합성 철도 판형교
3	10-0621928	2004.09.17	2006 07.26	E01D 2/00	포항산업 과학연구원	프리캐스트 패널을 갖는 이중합성 철도 판형교 시공방법
4	10-0556219	2004.05.14	2005 11.21	E01D 21/00	(주)코벡	철도교량의 상부구조물 교체 및 이를 이용한 유도상화방법
5	10-0613868	2005.12.27	2006 07.13	E01D 2/00	(주)코레일테크	기존 판형교를 활용한 피씨 합성형 거더와 그 시공법
6	20-0298714	2002.09.17	2004.03.18	E01D 19/04	(주) 철도안전연구소	판형교용 교좌장치
7	10-0421646	2003.10.14	2004.02.16	E01D 22/00	(주)철도안전연구소	피씨 슬래브 및 측벽을 포함하는 개량된 피씨 합성판형교
8	10-0655861	2005.07.12	2006 10.26	E01D 19/12	(주)에이브이티	철도교량용 침목 체결시스템
9	20-0322061	2003.05.19	2005.12.23	E01B 3/00	(주)철도안전연구소	침목 고정용 형강
10	20-0311588	2003.01.28	2005 12.23	E01D 19/00	(주)철도안전연구소	판형교의 인상 및 진동흡수장치
11	10-1033107	2008.06.18	2011.01.31	E01D 2/00	(주)삼림엔지니어링	슬래브와 거더가 일체화된 강합성 교량
12	10-0646208	2005.03.16	2006 08.10	E01D 2/00	김학수	소음 및 진동 저감형 플레이트거더교 구조
13	10-0573706	2005.12.29	2006 03.16	E01D 2/04	(주)코레일테크	자갈막이가 부착된 유도상 피씨-박스 거더
14	10-0603906	2005.12.28	2006 06.22	E01D 2/00	(주)코레일테크	유자형 하로 유도상 피씨 거더
15	10-0603901	2005.12.23	2006 06.22	E01D 2/00	(주)코레일테크	기존 거더의 일부를 활용한 판형교 유도상 구조 및 시공방법
16	10-0633736	2004.02.25	2006 07.04	E01D 19/04	(주) 철도안전연구소	경사진 탄성블록을 갖는 반고정식 교좌장치
17	10-0777432	2006.04.27	2007 10.12	E01D 2/00	(주) 포스코	강합성 구조물 및 이를 적용한 이중합성 판형교

18	10-0603905	2005. 12.27	2006 06.22	E01D 2/00	(주)코레일테 크	기존 판형교 전체 거더를 활용한 판형교 유도상화 거더 및그 공법
19	10-0907141	2008. 07.17	2009 05.21	E01D 21/00	조영철	이동크레인 설치구조 및 이를 이용한 철도교 상부구조물의교체시공방법
20	10-0783010	2006. 08.02	2007.1 0.24	E01B 25/30	조영철	쐐기부재를 가지는 받침대 및 이를 이용한 자기부상열차용트랙

나. 성능이 향상된 상부구조 개발

(1) 철도교 국내외 기술 및 산업 동향

(가) 무도상 판형교는 도상이 없이 침목고정용 훅크볼트에 의해 교량용 목침목이 주형에 직결되는 형태로써 유도상 교량과 달리 열차주행 하중이 교량 상부구조에 직접 전달되는 특성을 가지고 있어 교량에 가해지는 충격이 크다. 또한 상부구조의 중량이 차량하중에 비해 상대적으로 작아 차량의 종류 및 주행 특성에 따라 복잡한 진동특성을 나타내며 이에 따라 양측 주형을 연결하는 부부재의 피로손상발생 빈도가 높다. 이러한 무도상 판형교의 구조적 특성에 의해 열차주행에 따른 교량의 동적 안정성을 확보하기에 많은 어려움이 있다.

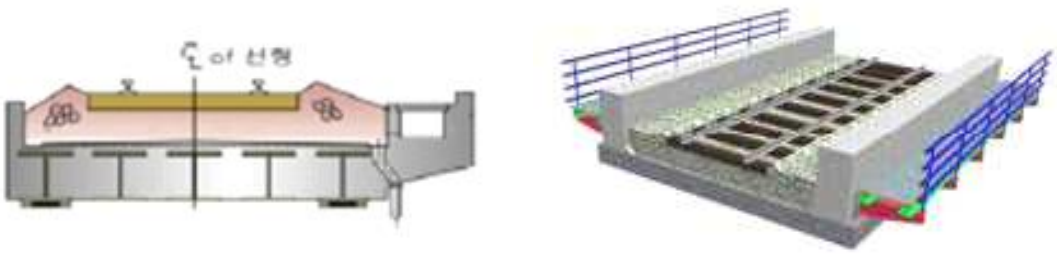
(나) 무도상 판형교의 문제점을 해결하기 위해 정부에서는 유도상화 공사를 실시하였으며, 현재까지 판형교의 교체시공에 사용된 교량형식은 아래와 같다.

① RC-Slab교

㉮ 일반적인 슬래브 거도로써 제작이 단순하고 현장에서 제작하며, 대형 크레인 또는 밀어넣기 공법을 적용한다.

㉯ 이 공법의 장점은 단순고정으로 제작되며, 일반적인 공법으로 시공기술의 확보, 자갈도상으로 선로정정에 유리하다.

㉰ 공사비가 다소 고가이며, 현장제작으로 품질관리에 불리하고 과도한 중량으로 주로 단경간에만 적용 가능하며, 경간이 길어짐에 따라 하부구조 보강이 필요하다. 또한 작업장 등 부대공사비가 추가되며, 장기간의 공사기간이 필요하다.



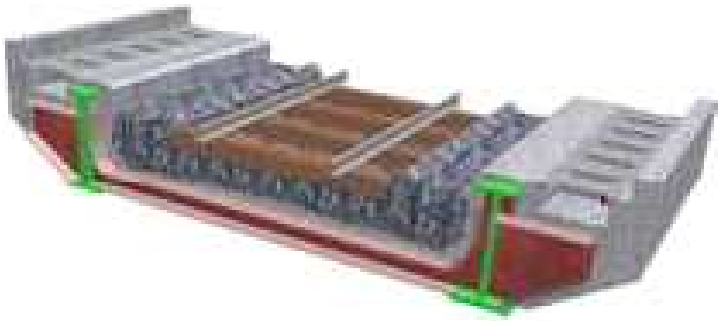
[그림 1.6] RC-Slab교의 형상

② S.R.C 하로교

㉮ 강재와 콘크리트를 합성시킨 하로형 구조로써, 형교가 낮아 도로 및 천 통과 시 유리하며, 사하중 부담이 적음 또한 대형크레인 공법적용이 가능하다.

㉯ 강재에 의한 안정성 증가, 슬래브교에 비해 경량, 비교적 장지간 교량에 유리한 형식, 교량을 개축할 때 적용성 좋다는 장점이 있다.

㉰ 강재량의 사용이 많아 공사비가 다소 고가이며, 현장콘크리트 합성교로 정밀시공 필요, 하중증가에 따른 가설비 증가, 장기간의 공사기간이 필요하다는 단점이 있다.



[그림 1.7] S.R.C 하로교의 형상

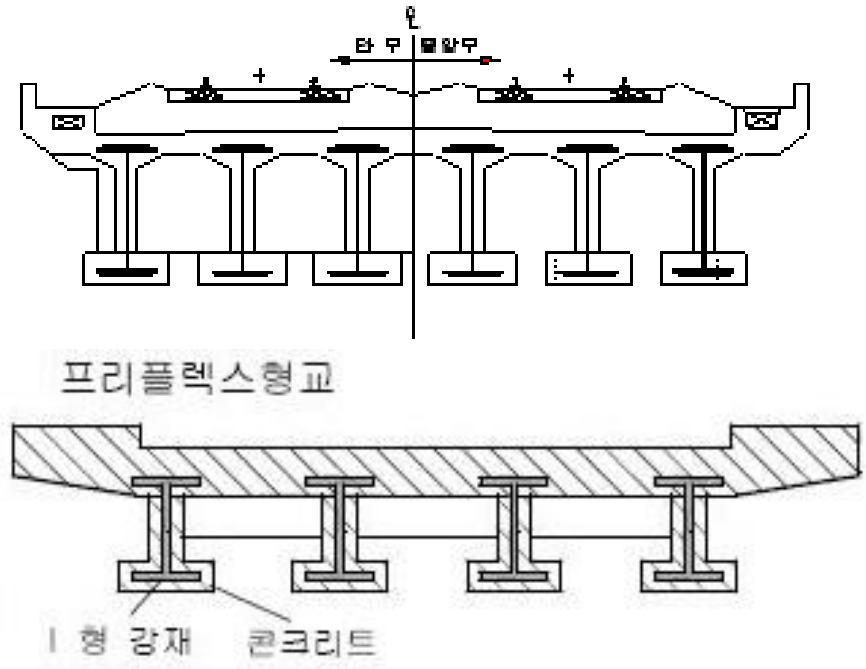
③ PF-BEAM

㉮ 미리 소정의 작용솟음을 준 강형(I-Girder)에 휨 변형을 발생시키는 하중을 주어 강형의 휨 강성만으로 인장측 강플랜지 주변의 콘크리트에 압축 프리스트레스를 도입한 일종의 프리텐션공법으로 강형과 콘크리트의 구조적 이점을 최대한 활용한 합성 거더 공법

㉯ Steel Girder 및 접합부위의 안정성을 미리 검사할 수 있으며, 지간에 비해 형고가 낮아 형하공간 확보에 용이하다.

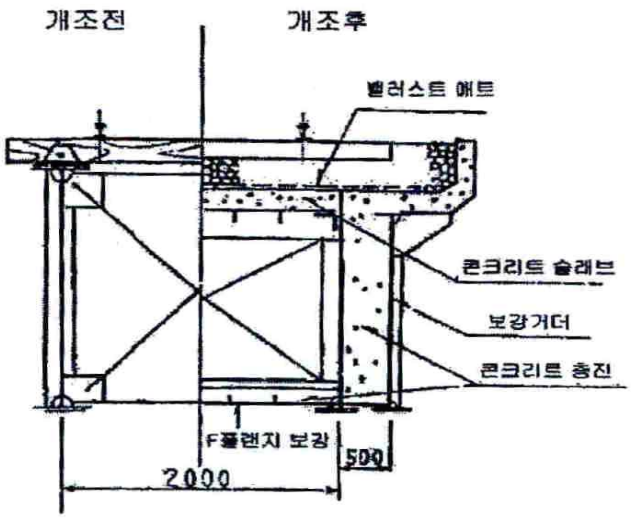
㉰ 공사비가 기존공법보다 고가이며 시공 시 정밀도를 요하며, 별도의 Deck Slab 타설로 공기지연 및 시공성이 저하된다.

㉱ 철도교에서 최장 37m 적용 설계 및 시공 실적이 다수

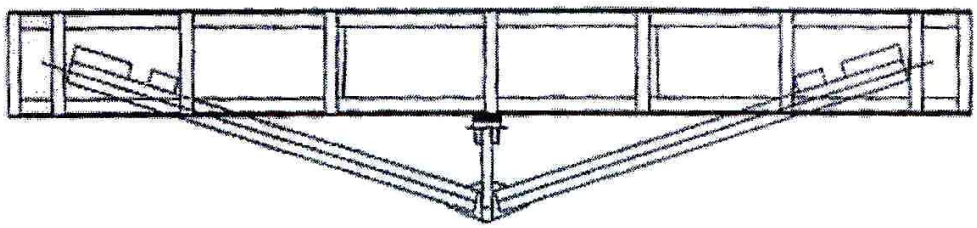


[그림 1.8] PF-BEAM교의 형상

(다) 일본에서는 기존의 판형교를 강합성형 및 콘크리트로 대체하고 있는 실정으로 국내의 경우와 같이 전체교량 중에서 판형교의 비율이 높지 않다. 판형교를 강합성 콘크리트 교량으로 개조한 경우를 보면, 기존 판형교의 내부에 프레임 보강을 하고 외부에는 보강거더를 설치하여 그 사이에 콘크리트를 충진하고 있다. 또한, 핑그보강공법은 30년 이상의 공용연수 증가 효과가 있었으나 횡진동 및 플랜지와 복부의 접착부 이완 및 균열파손 등의 문제로 더 이상 사용되지 않고 있다.



[그림 1.9] 강합성 콘크리트로 개조된 판형교 형상



[그림 1.10] 핑그보강공법의 형상

다. 높낮이 조절 가능한 교량받침 개발

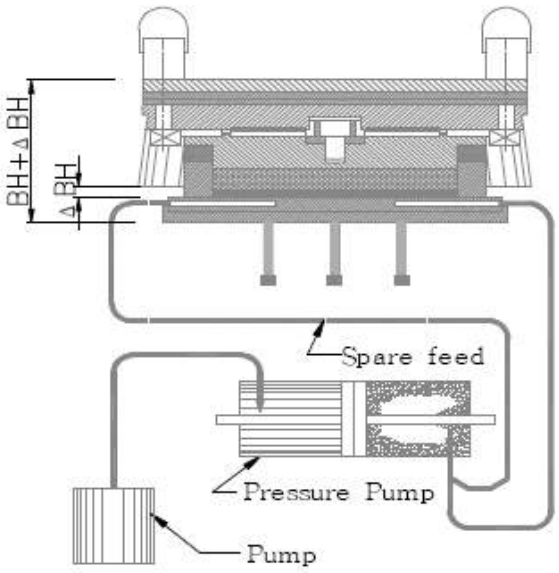
(1) 현재까지 국내외에서 높낮이 조절 받침 기술은 아래와 같다.

(가) 보정용 받침(SHW사, 독일)

① 포트받침을 토대로 실리콘 오일을 포트의저판과 고무판 사이, 즉 고무판의 아래로 두 개의 주입홀을 통해서 안으로 밀어 넣어 교좌장치 자체의 높이를 올리는 방식이다. 이 때 실리콘 오일의 주입을 위해 특별한 주입장치가 필요하며, 압력의 유지를 위해 밀봉 작업이 필요하다.

② 승강식 받침 기술은 인상만 가능하기 때문에 지점침하 등에 따른 상부 구조의 높이 보정에만 적용할 수 있어 “보정용 받침(adjustable bearing)”이라고 불리며 유지관리 목적으로 사용된다.

③ 실리콘 오일의 주입구에 압력계를 설치하면 교좌장치에 작용하는 반력을 측정할 수 있어 하중 계측용 받침으로도 활용이 가능하다. 독일과 프랑스에서는 고속전철 교량과 같은 중요한 교량이나 지점 침하가 우려되는 지역에 있는 교량에 적용하여 유지 관리용으로 활용하고 있다.

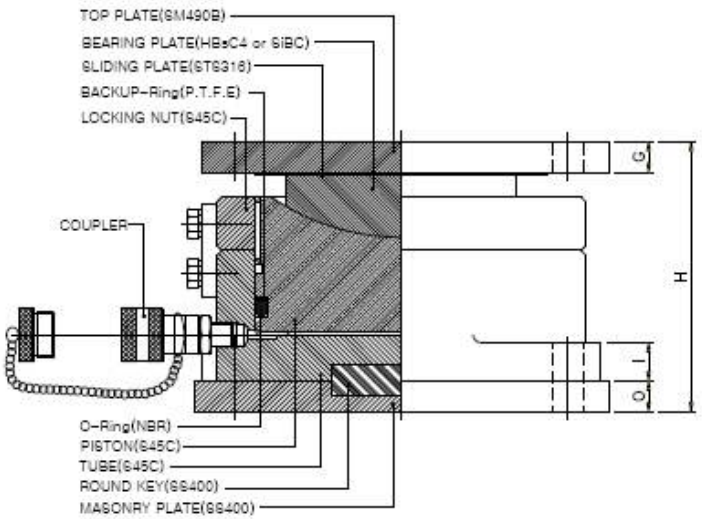


[그림 1.11] 보정용 받침 구성도(SHW사, 독일)

(나) 높낮이 조절 받침(Gumba사, 독일)

① 교량의 시공 시 또는 기존 교량의 연속화 등에 의해 상부 구조의 인상 및 하강이 필요한 경우에 사용 가능한 기술로 스펠리컬 받침을 기초로 개발되었으며, 장치 내부에 별도의 유압 시설을 내장하여 필요시 상부 구조를 인상할 수 있도록 하였다.

② SHW사의 기술과는 달리 필요시마다 유압 조절을 통해 상부 구조를 승강시킬 수 있는 장점이 있으나, 유압 시설의 내장으로 장치의 높이가 높아지고 유압이 가해진 상태로 장기간 유지 시 누유 발생 등 내구성 감소 문제가 발생할 수 있다.



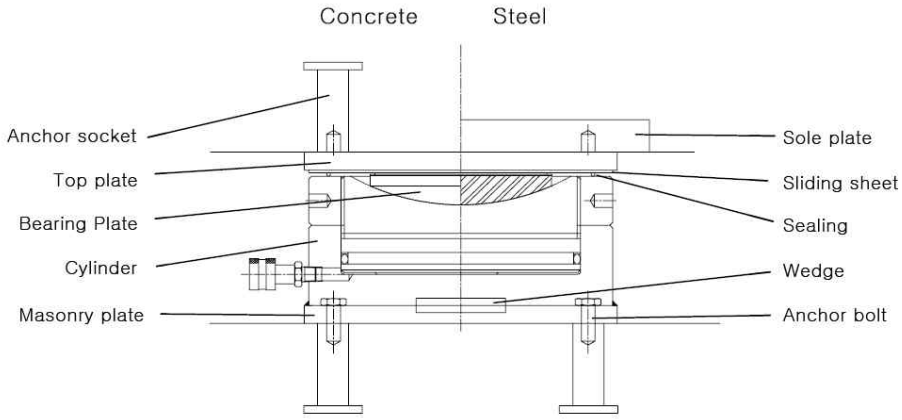
[그림 1.12] 높낮이 조절 받침 기술 구성도(Gumba사, 독일)

(다) Locking Nut System 승강식 교좌장치((주)케이알, 한국)

① (주)케이알의 경우 Gumba사의 높낮이 조절 받침 기술을 기술이전 받아 개발한 경우이다. 이 기술은 건설신기술 398호로 지정받았으며, 기술명은 Locking Nut System이 부착된 교량 받침의 Up-Down 기술이다. Gumba사의 기술과의 차이는 유압을 이용해 하중을 측정하며 교량받침을 상승·하강한 후 유압이 아닌 잠금조절장치를 통해 하중을 지지하는 방식을 적용한 것이다.

② 상판과 교각이 정착되지 않아 상부 구조물이 떠있는 교량이나 하중분배의 불균형으로 특정지점이 파손된 경우, 연약지반 등에서 단차발생으로 파손된 신축이음부 보수 등에 적용할 수 있다.

③ 상부구조의 인상과 하강 시 정밀시공이 가능하고 보수 소요기간이 짧으며 코핑부 연단거리에 영향을 받지 않아 곡선교와 사교에 사용가능하다. 단차조정 보수비용은 상부 쏠플레이트를 조정하거나 받침 콘크리트의 높이를 조정하는 기존 기술에 비해 절반수준으로 줄일 수 있으나 신설 시공 시 가격이 다소 비싸다.



[그림 1.13] Locking Nut System 승강식 교좌장치
일반도((주)케이알, 한국)

제2장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구개발 추진 전략 및 방법

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근 방법)
■ 기술개발 동향 및 현황분석 -특허, 현장적용 및 상용화 실적 분석 -교량상부, 교체공법 및 시공기술, 교량받침 기술개발 현황 조사	▪ 판형교 급속교체 관련 특허 및 실용화 기술조사 ▪ 판형교에 적용될 수 있는 교량상부구조 형식 및 특허조사 ▪ 교량받침 기술개발 수준 및 급속교체 적용 교량받침 특허조사
■ 상부구조형식 개발 -상부구조설계 및 구조해석 -교량•차량 상호작용 해석 -급속교체 교량용 궤도구조 검토	▪ 최적의 상부구조 형식을 개발 및 설계용역 ▪ 정적 구조해석을 통한 응력 및 변위 검토 ▪ 차량주행에 따른 변위/가속도 검토 ▪ 콘크리트 슬래브 궤도의 특성분석 및 최적 슬래브 궤도 선정 ▪ 장대레일의 축력이 상부구조에 미치는 영향 검토
■ 이동식 크레인 차량 설계 -기존공법의 기술수준 및 한계점 분석 -이동식 크레인 설계	▪ 관련 특허 및 실용화 공법의 기술수준 및 특허분석 ▪ 이동식 크레인 차량에 대한 국내·국외 특허 조사 ▪ 이동식 크레인 설계 용역
■ 수직방향 급속교체용 교량받침 설계 -교량받침의 설계 및 구조해석	▪ 급속교체 시공에 적합 교량받침 고안 ▪ 교량받침의 설계 및 구조해석

제2절 급속교체 이동식 크레인 차량 개발

1. 개요

가. 기존 급속교체 시공공법 중 수평방향 교체시공은 시공을 위하여 측면에 가시설 및 가시설을 설치하기 위한 공간이 필요하며, 하천 또는 강상인 경우 가시설 설치비용이 증가하게 되고, 교체된 기존의 판형교 상부구조를 현장에서 철거하기 위한 작업이 필요하게 된다. 또한, 현장작업으로 터파기 및 기초시공으로 지반훼손, 토질 및 수질의 오염 가능성, 소음발생 등의 환경문제를 발생시킬 가능성이 크다.

나. 수직방향 교체시공은 별도의 가시설이 필요하지 않으며, 새로운 상부구조를 현장타설이 아닌 공장제작으로 제작하기 때문에 급속교체시공에 효과적이며, 품질향상 및 시공비용을 절감할 수 있다.

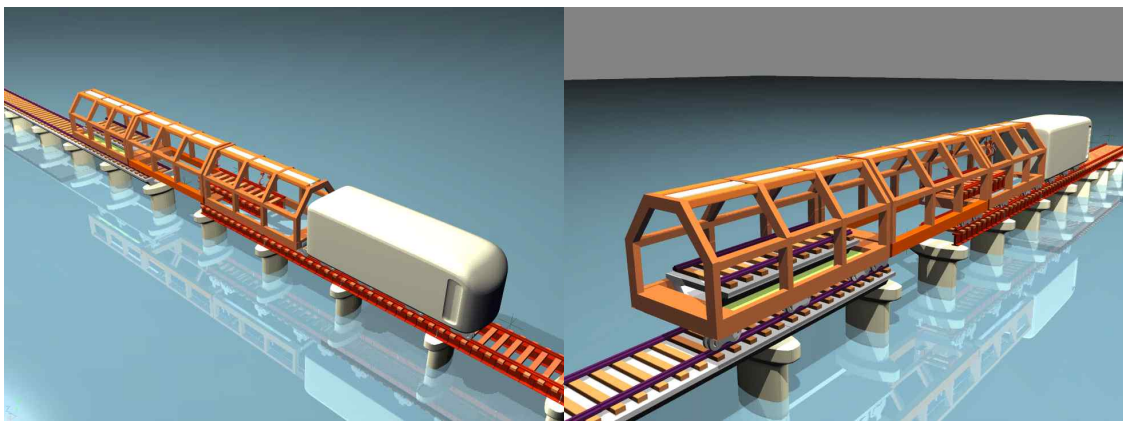
다. 철도레일을 따라 이동할 수 있는 이동식 크레인 차량을 이용한 교체시공의 특징은 다음과 같다.

(1) 기관차를 이용하여 장거리 운송이 가능하므로 상부구조를 공장에서 제작이 가능하며, 공장과 현장 간에 상당한 거리가 있어도 시공에 어려움이 없다

(2) 수직으로 교체•시공하므로 주변 환경에 의해서 작업이 영향을 받지 않는다.

(3) 모든 상부구조를 공장에서 제작하므로 품질이 우수하고, 현장작업이 혁신적으로 감소한다.

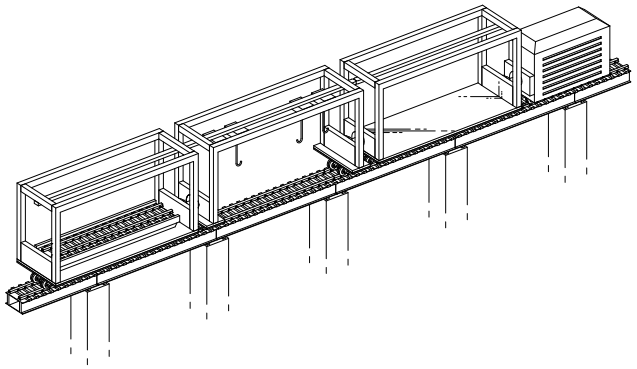
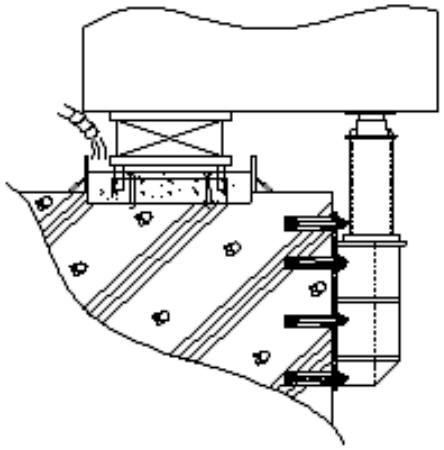
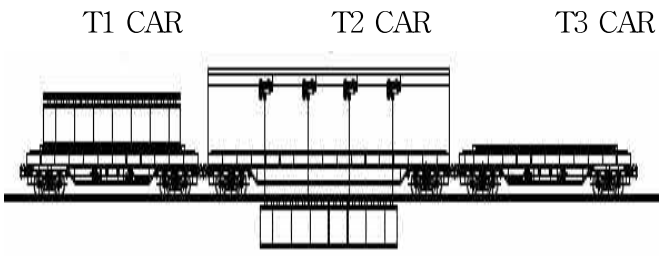
(4) 철도레일을 이용하기 때문에 추가적인 이동레일을 설치할 필요가 없다.

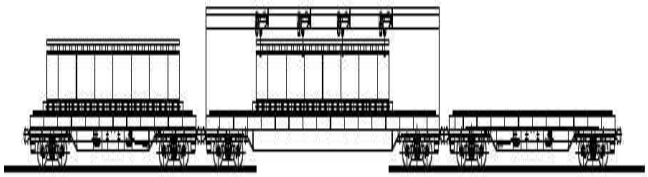
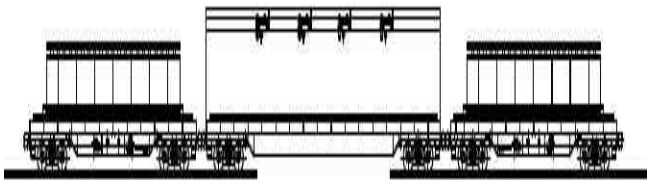
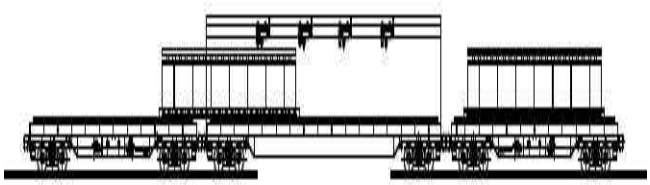
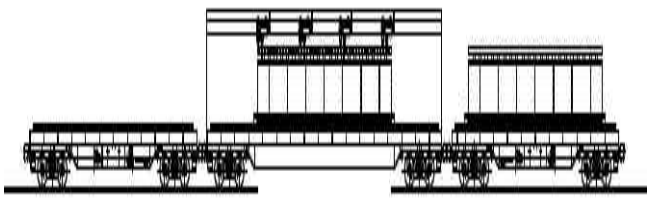
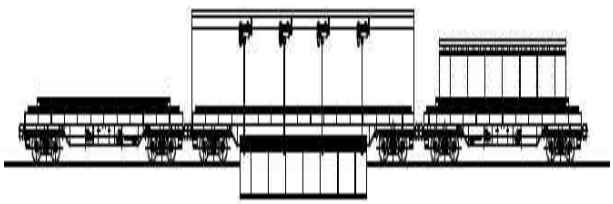
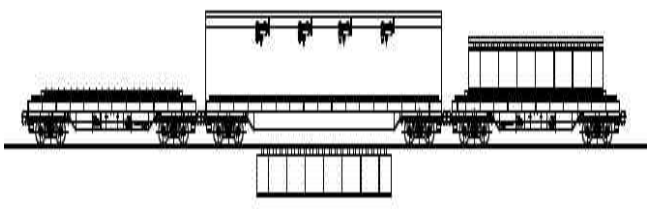


[그림 2.1] 이동식 크레인을 이용한 판형교 상부구조 교체 3차원 전경

2. 이동식 크레인 차량을 이용한 교체공법 개요

순서	교체시공 개요	교체시공 삽도
1	• 기존 철도교량의 교각높이, 교량받침의	

	높이, 상부구조물의 길이•폭•무게•높이 등을 고려하여 신규 교량을 준비 • 준비된 신규 교량을 현장으로 이동 및 교체시공을 위한 이동식 크레인 차량 준비	
2	• 열차의 통행에 지장이 없도록 잭업장치(유압잭)에 의한 기존상부 구조물 인상 • 열차통행 중 기존 교량받침 제거 • 준비된 상부구조물의 높이와 무게 등을 고려하여 설계된 새로운 교량받침 설치 • 추후 새로운 상부구조물의 레일과 기존레일의 레벨에 일치할 수 있도록 새로 설치되는 교량받침의 레벨을 정확히 설정하여 시공하여야 함	
3	• 신규 교량을 차량에 적재 후 교체될 기존구조물 위치까지 기관차에 의해 이동 • 정차위치 확정 후 작업 중 움직이지 않도록 이동제한장치 설치 • T-2CAR(교체전용화차)에 부착된 크레인을 이용하여 기존 구조물을 호이스트에 연결 * 호이스트 : 교량을 인상· 하강하기 위해 크레인과 교량을 연결시켜주는 장치	

4	• 소정의 길이로 레일을 절단시킴 • 레일절단 후 기존구조물 인상시킴 • 인상된 구조물 가대차에 적재	
5	• 구조물이 적재된 가대차를 T3 CAR(판형교 이송대)로 이동 • 이동은 차량 내에 설치된 레일을 이용	
6	• 별도의 위치조정용 도구를 이용 기존교량이 제거된 위치에 정확히 신규교량을 조립할 수 있도록 설치 후 정위치로 조절함 • T1 CAR에 위치한 신규 교량이 적재된 가대차를 T2 CAR(교체전용화차)로 이동시킴	
7	• 신규 교량을 호이스트에 연결하고 크레인을 이용하여 하강시킬 수 있도록 준비	
8	• 신규 교량을 인상 후 가대차를 원래위치로 이동시킴 • 신규 교량을 정위치에 하강시켜 교각위의 교량받침에 탑재시킴	
9	• 교량받침과 신규 교량을 상호 연결시킴 • 기존레일과 신규 교량상의 레일의 레벨차는 교량받침의 높낮이를 조절하여 보정	

10	• 특수 용접공법(테르밋 용접방법 등)을 이용한 신규 교량의 레일과 기존레일의 상호용접연결 • 용접 연결 후 레일에 접착된 Slag를 제거하여 레일연결 작업을 완료함	
11	• 제거된 교량이 탑재된 이동식 크레인 차량은 철수 • 주변정리 후 열차운행	

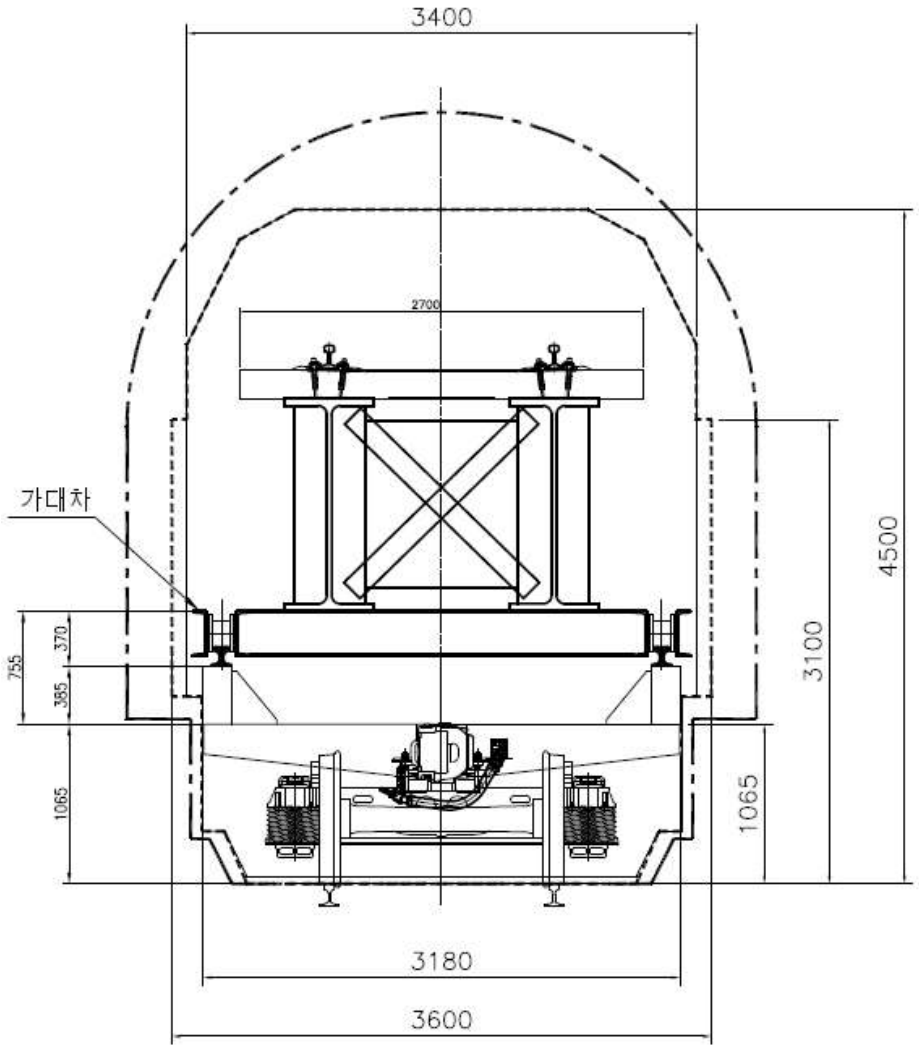
• 교량받침 교체 시공순서

작업준비 → 유압잭 설치 → 상부인상 → 기존 받침 철거 → 신규 교량받침 설치 → 보강철근 설치 및 거푸집 설치 → 무수축 모르타르 타설 → 유압잭 해체 및 상부체결 → 도장 및 면정리

3. 차량의 일반사항

가. 차량의 구조는 언더프레임에 레일 및 가대차를 설치하여 판형교 적재 운송할 수 있는 적재차량과 판형교 철거 및 설치 차량으로 크레인을 설치하여야 한다.

나. 차량은 선로상 어떠한 조건에서도 차량한계를 초과해서는 안 되며, 이동 간에 승차장, 전차선 및 전신주 등과 접촉이 없어야 한다.



[그림 2.2] 이동식 크레인 차량과 차량한계

* －－－ - －－－ - －－－ : 차량한계
* ---------- : 이동식 크레인 차량

다. 수직방향 교체시공으로 이동식 크레인 차량내의 크레인은 상부구조를 수직방향으로 상승 또는 하강하는 기능을 보유하여야 한다. 또한, 상부구조를 적재한 상태에서 차량의 축중이 22ton 이하가 되도록 제작되어야 한다(상부구조 중량한계 : 60ton). 그러므로 크레인의 총 인양중량은 60ton 이상이 되어야 한다.

라. 차량의 주요제원

(1) T1 CAR : 신규 교량을 시공위치까지 이송하기 위한 차량

(2) T2 CAR : 기존 판형교 교체를 위한 크레인이 장착된 차량

(3) T3 CAR : 기존 판형교 철거 후 이송하기 위한 차량

(4) 판형교 운반용 대차 : 신규교량 및 기존 판형교 적재 후 각 차량으로 이동을 위하여 차량 내 설치된 레일을 이용하여 이동하는 대차

[표 2.1] 차량의 제원

구분	T1 CAR / T3 CAR (판형교 이송 차량)	T2 CAR(판형교 교체 전용화차)
자중	18 ton	28 ton
하중	60 ton	60 ton
차체길이 (엔드실에서 엔드실까지)	15,000 mm	21,090 mm
연결면간 거리	15,910㎜	22,000㎜
차체높이	1,585㎜	4,500㎜
차체폭	3,180㎜	3,180㎜
차륜경	Ø 860㎜	Ø 860㎜
차축	RCT.D축	RCT.D축
고정축거	1,800㎜	1,800㎜
연결기 높이	880㎜	880㎜

마. 적용규격은 KS(한국산업규격), KRS(철도표준규격), KRCS(한국철도공사규격), 국제규격 등을 따르며, 차량 및 부품제작에 관한 치수, 용적, 중량 및 기타 기준단위는 SI단위 사용을 원칙으로 하며 필요시 미터법을 사용한다.

바. 사용조건

(1) 기후조건 : 다음 기후조건에서 정상운행이 가능하여야 하며, 특히 저온일 때 동결이 방지되도록 제작되어야 한다.

- 외기온도 : −35℃ ~ 50℃

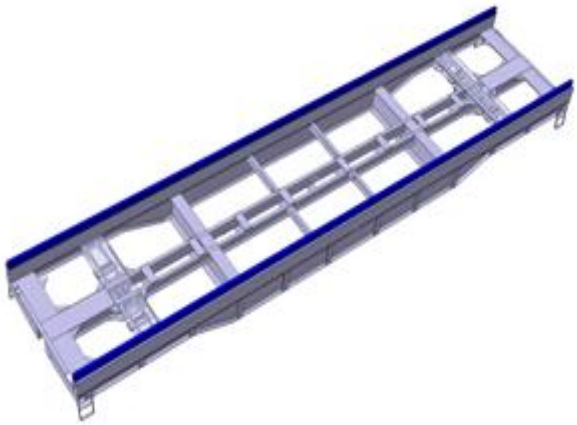
- 습　　도 : 5 ~100%
- 해　　발 : 1,000m

(2) 선로조건
- 선로 궤간 : 1,435 ㎜
- 최급구배 : 35‰
- 최소곡선반경 : 100 m

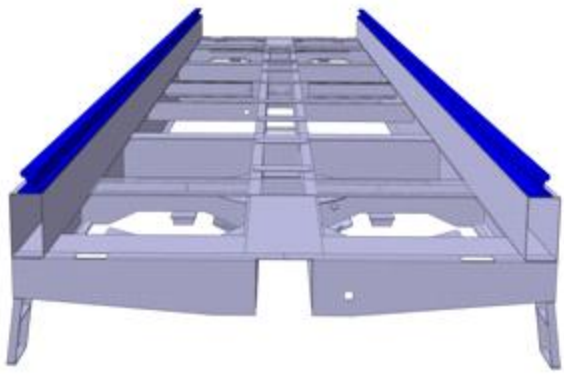
(3) 차량한계 : 「철도차량 안전기준에 관한 규칙」제22조의 ②, ③항에 의한다.

(4) 빗물, 먼지, 눈 등에 대하여 각종기기가 충분히 보호되어야 한다.

사. 개발된 이동식 크레인 차량 형상



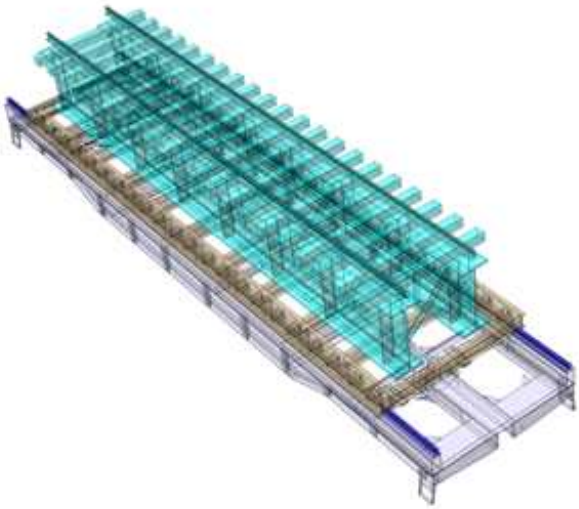
(a) 전체 모습



(b) 정면 모습

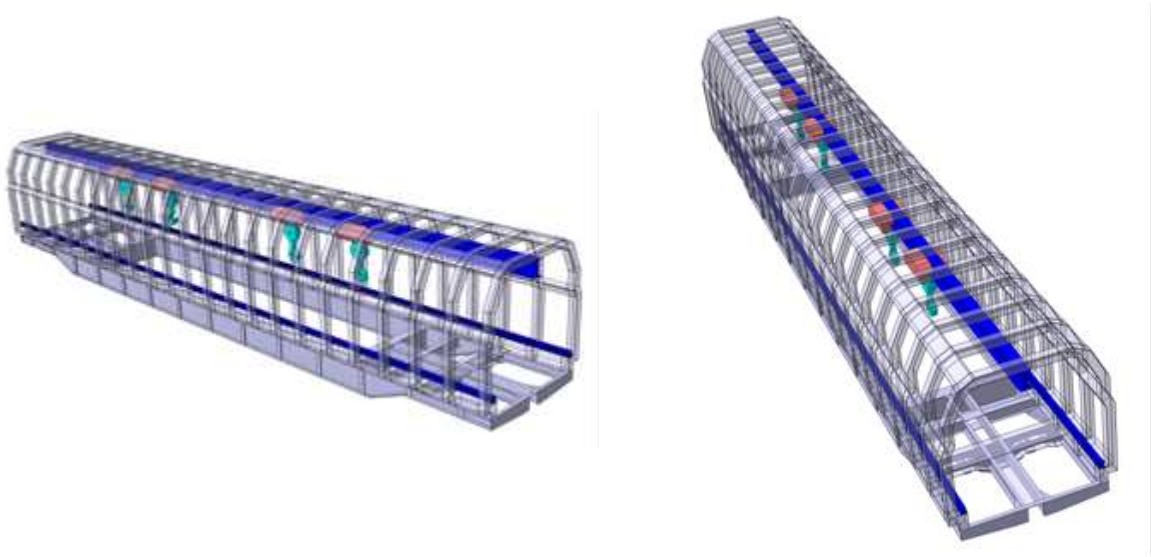


(c) 판형교 운반용 대차



(d) 판형교 적재상태의

[그림 2.3] T1 CAR/T3 CAR(판형교 이송차량) 형상



(a) 전체 모습-1　　(b) 전체 모습-2



(c) 판형교 운반용 대차 통과형상　　(d) 크레인에 판형교 적재 형상

[그림 2.4] T2 CAR(판형교 교체 전용화차) 형상

4. 차량의 기술사항

가. 차체

(1) 일반사항

(가) 차체는 충분한 강도를 갖는 금속재 용접구조로 정상적인 운행조건에서 사용내구연한까지 안전하게 운행 될 수 있어야 한다.

(나) 차체는 동일도면에 의해 제작되어야 하며 주요부품의 조립을 위한 주요치수는 허용 공차 내에 있어야 한다.

(다) 차체는 경량구조로 최대하중과 운행조건하에서 시스템의 기능을 만족하도록 충분한 강성과 처짐에 대한 기술적 검토와 충돌 시 「철도차량 안전기준에 관한 규칙」에 의한 충격에너지를 흡수할 수 있는 구조이어야 한다.

(라) 차체의 재질은 이 설명서에 기술된 내용에도 불구하고, 또 다른 소재를 활용하여 차량을 제작할 수 있으나 그 성능이 우수함을 입증하여야 하며, 「철도안전법」 제26조에서 정한

안전기준에 만족하여야 한다.

(2) 언더프레임(Under Frame)
(가) 언더프레임은 수직하중(적재하중 및 각종 기기하중), 연결기를 통해 전달되는 수평하중 및 대차를 통해 전달되는 하중을 충분히 견딜 수 있어야 한다.

(나) 언더프레임은 충분한 강도와 안전율이 고려된 사이드실 어복형 용접구조로 센터실, 사이드실, 엔드실, 보디볼스타 등으로 구성된다.
① 센터실(Center Sill)
센터실은 프레스강판 구조로 재질은 KS D 3515 용접구조용압연강재(SM490A) 또는 동등이상으로 한다.

② 보디볼스타(Body Bolster)
보디볼스타는 두개의 격판형식의 용접구조로 하며 상부 및 하부커바는 사이드실에서 사이드실까지 제작되어야 하며 재질은 KS D 3515 용접구조용 압연강재(SM490A) 또는 동등이상으로 한다.

③ 사이드실(Side Sill)
사이드실은 어복형 구조로서 외부에서 각 기기의 점검이 용이하도록 점검구가 있어야 하며 재질은 KS D 3515 용접구조용압연강재(SM490A) 또는 동등이상으로 한다.

④ 엔드실(End Sill)
엔드실은 사이드실에서 사이드실까지 일체형으로 제작되어야 하며 재질은 KS D 3515 용접구조용압연강재(SM490A) 또는 동등이상이어야 한다.

(다) 단부쪽에는 완충장치를 갖추어야 하며 충격으로 발생하는 반발력과 관성력에 충분한 강도를 유지하여야 하며, 이는 해석에 의해 증명되어야 한다.

(라) 차체 센터플레이트는 주강품으로 충분한 강도가 보장되어야 한다.

(마) 차체를 들어올리기 위해 대차부근의 사이드실 하부 4개소에는 차체인양용 패드를 설치하여야 한다.

(바) 차륜상부의 언더프레임 상재는 제동불꽃으로 인한 화재방지를 위해 강판으로 막음처리하여야 한다.

(3) 호이스트 프레임
(가) 언더프레임 위에 설치될 호이스트 프레임은 어떠한 외력에도 충분한 내력을 갖는 구조로 총 하중 60톤을 견인이 가능하도록 설치하여야 한다.

(나) 판형교 블록 이송가대차의 운행 시 호이스트 프레임에 간섭이 발생하지 않도록 구성하여야 한다.

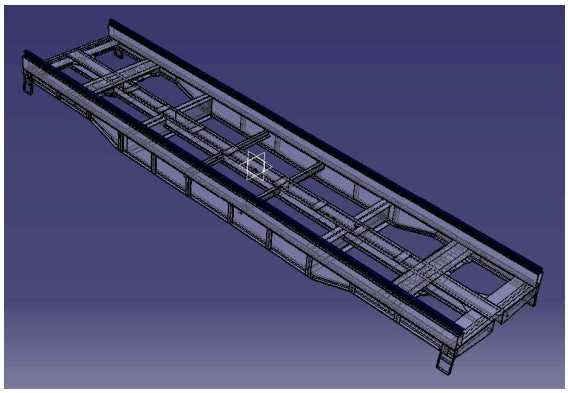
(다) 호이스트 취부용 I-Beam(400)이 호이스트 포스트 프레임 위에 얹혀진 형태로 구성되며 I-Beam에 가해진 하중이 각 포스트에 분산되는 구조로 제작되어야 한다.

(4) 측등걸이
(가) 언더프레임 단부에 대각선 방향으로 측등걸이를 설치하여야 하며 사용할 때는 핀고정에 의해 세울 수 있고 사용하지 않을 때는 단부측 아래로 전환할 수 있는 구조이어야 한다.

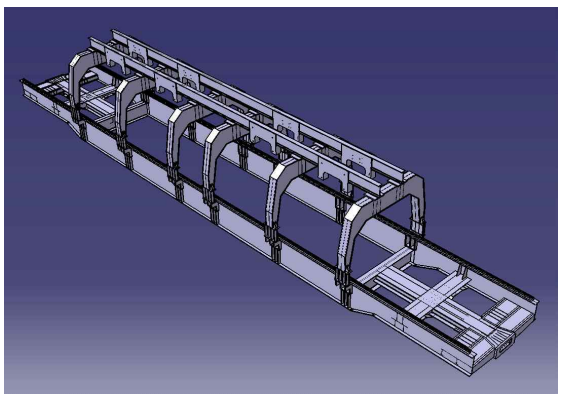
(5) 입환손잡이 및 발판
(가) 사이드실의 양 단부 쪽에는 승강 및 입환작업이 용이한 안전 손잡이 및 발판을 설치하여 백색 형광페인트 도장을 하여야 하며, 발판은 안전을 위하여 미끄럼 방지 구조로 하여야 한다.

(6) 구체의 강도
(가) 구체는 「철도차량 안전기준에 관한 지침」 제7조 화차 하중조건하에서 측정된 응력이 구체 재질의 항복 강도를 초과하지 않아야 한다.

(나) 구체는 적정캠버를 유지하여야 하며, 역캠버가 발생되지 않아야 한다.



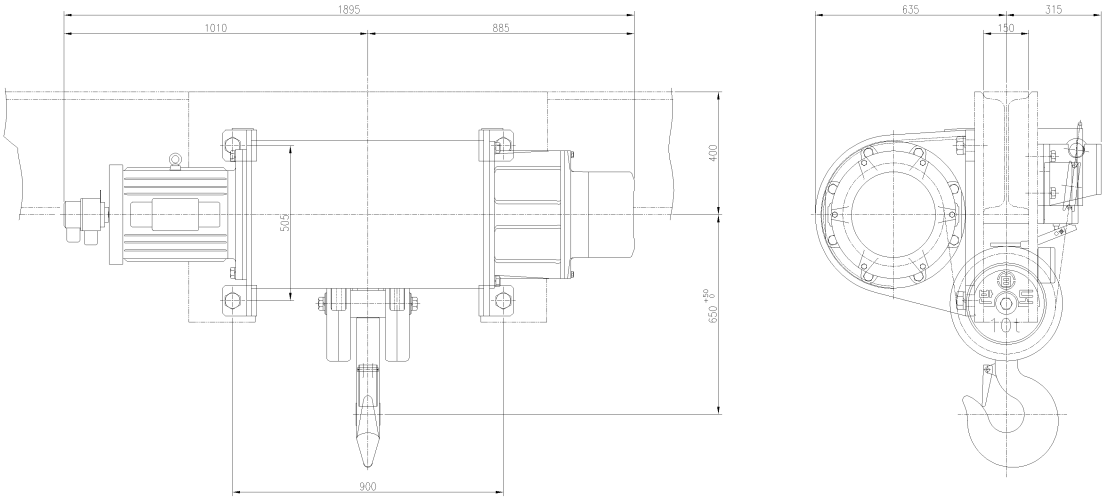
[그림 2.5] T1 CAR 차체 조립형상



[그림 2.6] T2 CAR 차체 조립형상

나. 호이스트 장치
(1) 일반사항
(가) 협소한 취부공간 및 취급안전을 감안하여 DEMAG Type 10톤급 고정식 호이스트 8개를 설치하며 약 60톤 하중의 판형교 블록의 철거, 교체작업에 문제가 없도록 구성한다.

(나) 호이스트 장치는 [호이스트 장치 8대 - 제어대 - 호이스트 컨트롤 판넬 - PLC 컨트롤 판넬 - 레지스터]로 구성되며, 호이스트를 제외한 나머지 전장품은 T2 CAR 단부 측면에 설치된다.



SPECIFICATION		
RATED LOAD	10000	KG
TESTED LOAD	12500	KG
LIFT	6	M
RATING	30	MIN
HOISTING SPEED	0.45 ~ 4.5	M/MIN
HOISTING MOTOR	9kW x 8P	
WIRE ROPE	(6x37)+FC ø16 x 4 FALLS	
TRAVERSING BEAM	I-400x150x12.5x25t	
POWER SOURCE	AC ø3 x 380V x 60Hz	
WEIGHT	1350	KG
REMARKS	INVERTER 적용	

[그림 2.7] DEMAG Type 10톤 호이스트

다. 주행장치

(1) 일반사항

(가) 열차 운행시 주행안전성이 확보될 수 있도록 「철도차량 안전기준에 관한 규칙」 제2절 주행안전기준에 적합하여야 한다.

(나) 주행안정성이 좋고 소음이 적으며 보수유지가 용이한 구조로 하여야 하며, 대차틀은 차량 사용내구연한까지 안전하게 운행할 수 있는 구조이어야 한다.

(다) 호환성이 있도록 설계되어야 하고 회전부나 견인부위 등은 마모부분을 최소화할 수 있는 구조이어야 한다.

(라) 대차는 4륜 보기로서 4개의 단위부품으로 구성된 4 피스(4 pieces) 주강대차로 서현 가장치 스프링을 통해 차체 하중이 축상에 균일하게 전달되어야 한다.

(2) 윤 축

(가) 차륜의 기술사양은 KS R 9221 또는 동등 이상의 규격에 의하며 정상 운행 시 차륜이 상마모 등 차륜손상이 없어야 한다.

(나) 차축의 기술사양은 KS R 9220 또는 동등 이상의 규격에 의한다.

(다) 보호 피복제는 차륜 압입 및 롤러 베어링을 조립할 때 깨끗이 제거하여야 하며 완성품은 녹방지 도장 후 흑색도장 한다. 다만, 차륜 답면은 제외한다.

(라) 차륜, 차축은 비파괴 시험을 하여 결함이 없음을 확인한 것이어야 한다.

(3)저널 베어링(Journal Bearing)
(가) 저널 베어링은 저널 크기 ø140×254㎜ 의 RCT형 NFL베어링으로 그리스 수명은 80만 km이상이어야 한다.

(나) 오일시일은 베어링 회전시 마찰을 최소화하고 누유 및 이물질 유입을 차단하는 구조로 검수의 편의성 및 호환성을 위해 한국철도공사의 승인을 받아야 한다.

(다) 베어링 설계기준은 AAR규격에 의한다.

(4) 축상
(가) 축상은 충분한 강도와 베어링을 장착할 수 있는 구조로 유지보수가 용이하여야 한다.

(5) 대차 1차 지지장치
(가) 영・공차시의 하중조건에 적합하고 진동성능이 우수하며 마모부를 최소화 할 수 있는 1차 지지장치를 적용하여야 한다.

(6) 대차 프레임
(가) 센터피봇트, 축상지지, 대차의 제동장치 등을 견고하게 취부할 수 있는 구조로 강도가 충분하여야 한다.

(나) 용접부는 소정의 열처리를 시행하고 기계가공을 하여야 하며 별도 지정 부분에 대하여는 비파괴검사를 시행하여야 한다.

(다) 사이드프레임은 좌우 스윙운동(swing motion)을 통하여 측방향 충격을 흡수하는 구조로 페데스탈 록커시트(Pedestal Rocker Seat)를 포함한 구조이어야 한다.

(7) 센터 피봇트(Center Pivot)
(가) 센터 피봇트는 견고한 구조로서 차체의 상하, 좌우 및 어떠한 진동에서도 견인력에 충분히 견딜 수 있는 구조이어야 하며 마모판을 적용하여야 한다.

(나) 마모판의 제작 및 시험은 KRS RN 0003-06 2종 규격에 의한다.

(8) 사이드베아라(Side Bearer)
(가) 사이드베아라는 몸체, 캡, 로울러, 탄성블록 등으로 구성된 접촉식 탄성 사이드베아라를 적용하여야 한다.

(나) 제작 및 시험은 KRS RN 0005-06 규격에 의한다.

(9) 대차 제동장치
(가) 브레이크 빔은 충분한 강도를 유지하여야 하고 양측 사이드 프레임 하부에 조립식 구조로 하여야 한다.

(나) 모든 제동 구성품은 교환 작업이 용이하도록 충분한 공간이 있어야 한다.

라. 제동장치
(1) 공기제동
(가) 고무막판식 제어밸브(KRF-3)를 적용한 차륜 답면 제동장치로 영·공차 시 연속하중감지가 용이하고, 주행속도 90km/h에서 제동거리 600m이내의 제동성능을 확보하여야 한다.

(나) 기존 90km/h용 제동장치와 혼합 편성 시 제동 및 완해작용 성능에 이상이 없어야하며 스키드현상이 발생하지 않아야 한다.

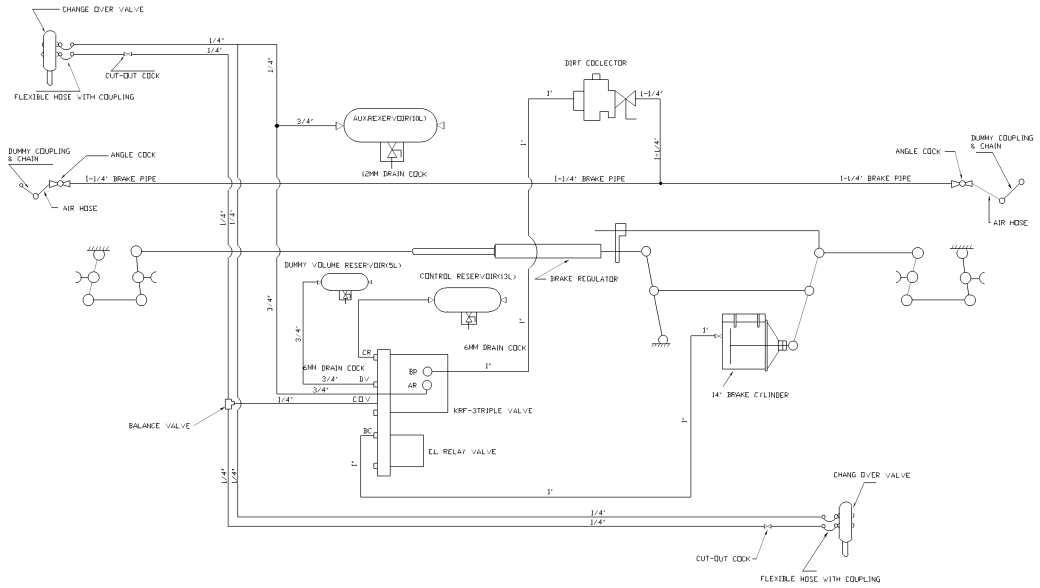
(다) 제동장치의 제작 및 시험은 KRCS 2240-2445 규격에 의하며 신속완해 기능이 있어야 한다.

(라) 제동관 압력은 5㎏/㎠이어야 한다.

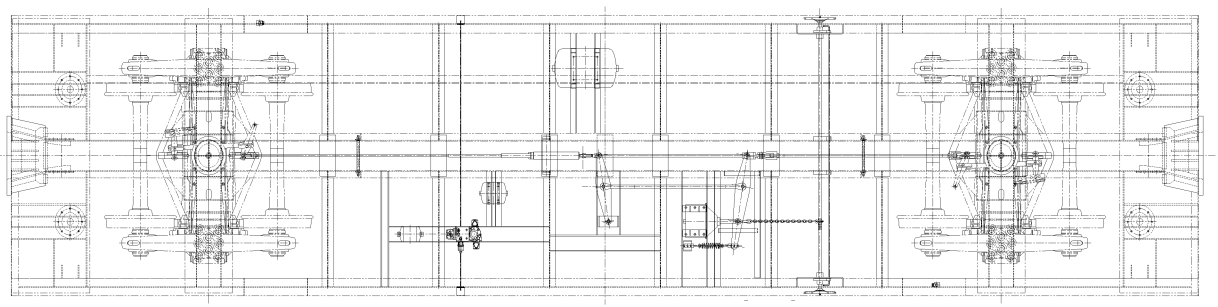
(마) 본관과 지관 사이에 압력공기의 비상토출 기능이 있는 공기정화기를 설치하여 제동관 압력이 1.5초당 1.5㎏/㎠이상의 비상 감압 조건 시 열차가 자동정지 되어야 하고 제작 및 시험은 KRCS 2240-2487 규격에 의한다.

(바) 제동부품은 진동변위 및 부품사용마모 등을 고려하여 부품 간 간섭이 없도록 적정 간격을 확보하여야 한다.

(사) 제동부품 설치위치는 유지보수가 용이하도록 충분한 작업공간을 확보하여야 한다.



[그림 2.8] KRF-3 제동선도



[그림 2.9] 제동기기 배치도(T1 CAR)

(2) 제동배관

(가) 제동본관은 KS D 3562 압력배관용탄소강관(SPPS 38) 또는 동등이상의 탄소강관으로 부식방지처리를 시행한 호칭 32A×sch80을 사용하여야 하며, 앵글콕크와 공기호스 연결기를 차체 양쪽 끝에 대각으로 설치하여야 한다.

(나) 앵글콕크는 콕크 차단 시 공기 호스내의 압력공기가 대기로 배출되는 구조이어야 한다.

(다) 공기호스의 규격은 KRS BR 0006-06에 의한다.

(라) 제동지관은 압력배관용탄소강관(SPPS 38) 또는 동등이상의 탄소강관으로 부식방지처리를 시행한 스케줄80을 사용하고 호칭 8A지관은 KS D 3576 배관용스테인레스강관(STS 304)으로 스케줄20S 이상을 사용하여야 한다.

(마) 모든 배관작업은 제어밸브, 제동통, 앵글콕크 등을 조립하기 전에 이물질이 배관 내에 없도록 압축공기로 제거하여야 한다.

(3) 제동통
(가) 제동통은 ø355㎜ 실린더와 피스톤, 내한성 패킹, 완해스프링, 카바 등으로 구성된다.

(나) 실린더 내경은 정밀가공 후 경질크롬 도금을 시행하여야 하며 피스톤의 재질은 KS D 4302 구상흑연주철품(GCD450)으로 흑연 구상화율은 70%이상이어야 한다.

(다) 완해 스프링의 반력은 0.4kg/㎠이어야 한다.

(라) 제동통의 성능 및 누설시험은 6.5kg/㎠의 압력공기를 충기하여 작용이 원활하고 최대 피스톤행정은 180㎜이상으로 1분간 0.07kg/㎠이상의 감압이 없어야 한다.

(4) 자동간격가감기
(가) 차륜과 제륜자와의 간격을 일정하게 유지시키는 자동간격가감기를 설치하여야 한다.

(나) 자동간격가감기는 수분침투가 방지되어야 하며 자동간격가감기 상부에는 카바를 설치하여 빗물, 눈 등의 유입이 없도록 하고 차륜과 제륜자와의 간격은 영·공차시의 대차스프링 변위를 감안하여 설정하여야 한다.

(다) 조정 가능한 스핀들 길이는 430㎜이상이어야 한다.

(라) 자동간격가감기의 규격은 KRS BR 0010-06에 의한다.

(5) 수용 제동기(Hand Brake)
(가) 각 차량에는 한국철도공사 승인을 득한 수용제동기를 제동, 완해 조작이 가능해야 하며 취급 시 간섭이 없는 구조로 하여야 한다.

(나) 제동율은 인력을 490N으로 하였을 때 20% 이상이어야 한다.

(6) 브레이크 빔 및 제륜자 및 키
(가) 브레이크 빔은 충분한 강도를 유지하여야 하고 제륜자는 차륜손상에 영향이 없는 합성제륜자에 의한다.

(나) 키는 제륜자 교환 시 삽입이 용이하고 운행 중 빠지지 않는 구조이어야 한다.

(7) 더미 호스커플링(Dummy Hose Coupling)
(가) 공기호스를 사용하지 않을 때 공기호스를 고정하기 위한 더미커플링을 설치하여야 하며 사용 시 공기호스 커플링과 조립 및 해체가 용이하여야 한다.

마. 연결완충장치

(1) 연 결 기
(가) 연결기는 AAR E형, 윤곽 10A번이며 샹크 크기는 159㎜×203㎜이고 AAR M 211규격에 의하며 재질은AAR-M201 C급 또는 동등이상이어야 한다.

(2) 연결기 요크(Coupler Yoke)
(가) 요크는 AAR M 211규격에 의하며 재질은 AAR M 201 C급 또는 동등이상 이어야 한다.

(3) 폴로워(Follower)
(가) 폴로워 재질은 KS D 4101 탄소강 주강품(SC450) 또는 동등이상 이어야 한다.

(4) 완 충 기
(가) 완충기는 견인력과 충격에 견딜 수 있고 기존 부품과의 호환성이 있어야 하며, 완충용량은 220톤 이상이어야 한다.

(5) 완충기 키
(가) 완충기 키의 설계는 AAR에 기준하고 재질은 KS D 3710 탄소강 단강품(SF540A) 또는 동등이상이어야 한다.

(6) 완충기 리테이너
(가) 설계는 AAR에 기준하고 재질은 KS D 3710 탄소강 단강품(SF540A) 또는 동등이상이어야 한다.

(7) 스트라이커(Striker)
(가) 스트라이커는 주강 또는 단조품으로 재질은 KS D 4101 탄소강 주강품(SC480) 또는 동등이상으로 센타실의 양쪽 끝에 용접 조립되며 완충기를 조립지지하고 연결기 변위에 따른 그 주위의 충격을 충분히 흡수하여야 한다.

(8) 요크가이드(Yoke Guide)
(가) 강재위에 리벳으로 조립된 합성수지 마모판을 조립하고 센터실에 볼트로 취부되는 구조로 재질은 SS400 이상이어야 한다.

(9) 샹크가이드(Shank Guide)
(가) 연결기 샹크를 지지하는 구조로 L130×75×12㎜ 강재위에 리벳으로 조립된 합성수지 마모판을 조립하고 록크너트를 사용하여 스트라이커에 조립되어야 한다.

(10) 해방장치

(가) 차량 양단부에는 해방레바를 설치하여야 하며 차량측면에서 용이하게 취급할 수 있고 운행 중 진동, 충격에도 작동되지 않도록 안전장치를 구비하여야 한다.

(나) 해방레바는 회전 시 연결기 록크를 상승시켜 너클이 개방되는 상작용식으로 하여야 한다.

(11) 센터 휠러(Center Filler)
(가) 센타휠러는 보디볼스타에 조립되며 드라프트 기어 스톱을 결합한 용접구조이어야 한다.

(나) 재료는 KS D 3503 일반구조용압연강재(SS400) 또는 동등이상 이어야 한다.

바. 기타

(1) 용 접
(가) 용접될 부분의 표면은 녹, 페인트, 그리스 및 기타 이물질을 깨끗이 제거한 후 용접하여야 하며 용접 후에는 잔류응력 제거 등 후처리를 하여야 한다.

(나) 용접작업기준은 KS에 따르며 상세 용접작업설명서를 제출하여 승인을 받아야 한다.
① 용접방법
불합리한 용접방법이나 용접결함은 없어야 한다.

② 용접기호 표시
용접기호 표시는 KS에 따르며 도면에서 용접에 관한 형식범위 및 규격을 표시하여 적용한다.

③ 접합부
접합부는 승인된 도면 및 작업설명서에 따라 용접하며 모든 이음부는 흠이 없도록 하고 용접선 이음부는 다른 곳과 턱이 3㎜이상 되지 않도록 일정하게 용접한다.

④ 용접부
비드(Bead)의 덧살은 모재면 보다 높아야 하며 핀홀(Pin Hole)의 최대허용은 용접 길이 200㎜에 1개 이하로 하고 핀홀 직경은 1.6㎜를 초과하면 안 된다. 접합부의 용접 깊이와 공차는 승인도면 및 작업설명서에 의한다.

⑤ 재용접
용접 후 다시 용접하려고 할 때에는 그라인더 또는 와이어브러시로 깨끗이 청소 후에 시행하며 이미 용접된 금속 간 완전 융합이 이루어져야 한다.

⑥ 결함부 처리
용접 접합부의 모든 결함은 완전 제거하여 굴곡이나 흠이 없어야 한다.

⑦ 시험 및 검사

용접 전, 용접 중, 용접 후에 대해 용접공의 자격, 용접재료, 용접설비, 용접시공, 용접 후 열처리 등의 적부를 확인·검사하고 결함 우려 개소에 대하여는 비파괴시험을 시행하여야 한다.

(2) 도장 및 표기
(가) 쇼트브라스트
모든 용접이 완료되면 기름, 그리스 및 기타 이물질을 완전히 제거한 후 언더프레임을 포함한 차체에 대해 쇼트브라스트(SIS Sa 2½이상)를 시행하여 표면조도 20-50㎛를 유지하여야 한다.

(나) 세정
쇼트브라스트 후 차체 표면에 남아있는 먼지나 기름 등의 잔류물을 공기압이나 세척제를 사용하여 세정하여야 한다.

(다) 외부도장 및 도료
① 차량의 외부도장은 「철도차량 칭호 및 도장에 관한 규정」에 따른다.

② 차체 및 언더프레임 일체의 도장은 충격과 진동에 잘 견디며 내식성이 강한 세라믹을 주원료로 한 무기질 코팅제를 사용하며 도료의 접착강도 시험방법은 KS M 3722, 20℃에 의하고 인장접착강도는 160kg/㎠이상, 도장두께는 120㎛ 이상이어야 한다.

(라) 표기
① 표기는 「철도차량 칭호 및 도장에 관한 규정」에 의하며 도장완료 후 도면에 표시된 위치에 따라 명기하여야 한다.

② 차호 및 표기는 형광백색페인트로 한다.

5. 시험 및 검사
가. 일반사항
(1) 시험 및 검사기준서는 승인한 도면, 기술자료 및 부품제작설명서에 따라 차량 및 부품의 성능과 품질을 확인할 수 있도록 상세히 작성하여야 한다.

(2) 차량 제작과정, 각종시험 및 완성차 점검 등에 홍익대학교는 수시로 기술요원을 파견하여 제작상태, 시험 등의 입회 및 확인점검을 할 수 있다.

나. 기능시험
(1) 공기 제동시험
(가) 단차 제동시험
① 공기제동장치의 시스템 전체 및 각 부품의 기능 적합여부를 확인할 수 있는 시험을 시행하여야 한다.

② 모든 배관의 연결부는 7㎏/㎠ 압력으로 누설시험을 시행하며 허용 압력강하는 1분간에 0.1㎏/㎠ 이하이어야 한다.

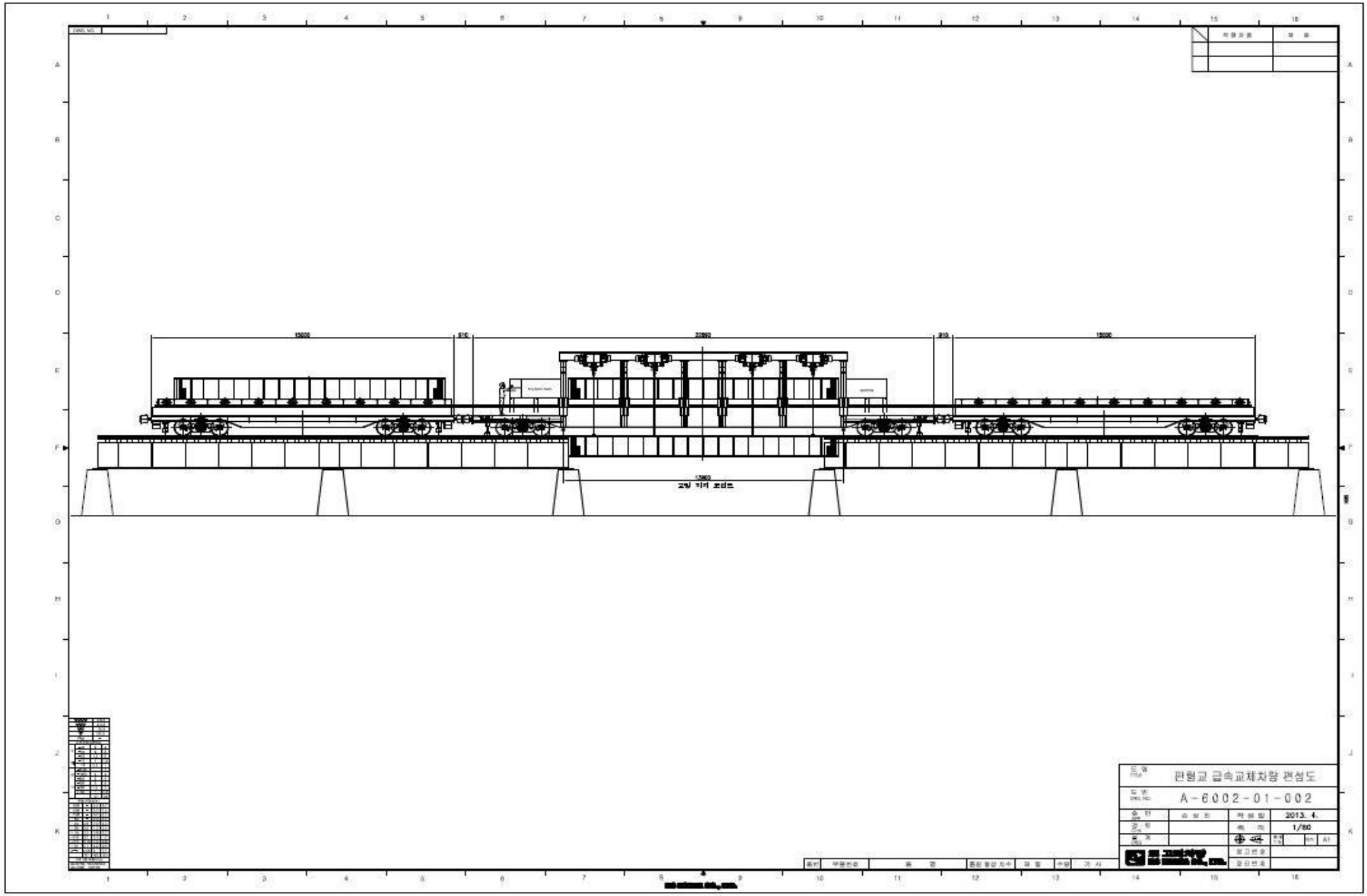
(나) 편성 제동시험

① 현차 20량 이상 편성시험 또는 편성시험대 시험을 시행하며 시험편성의 전부와 후부에서 정상적인 완해시간 및 비상제동체결 여부를 5회 이상 확인하여야 한다.

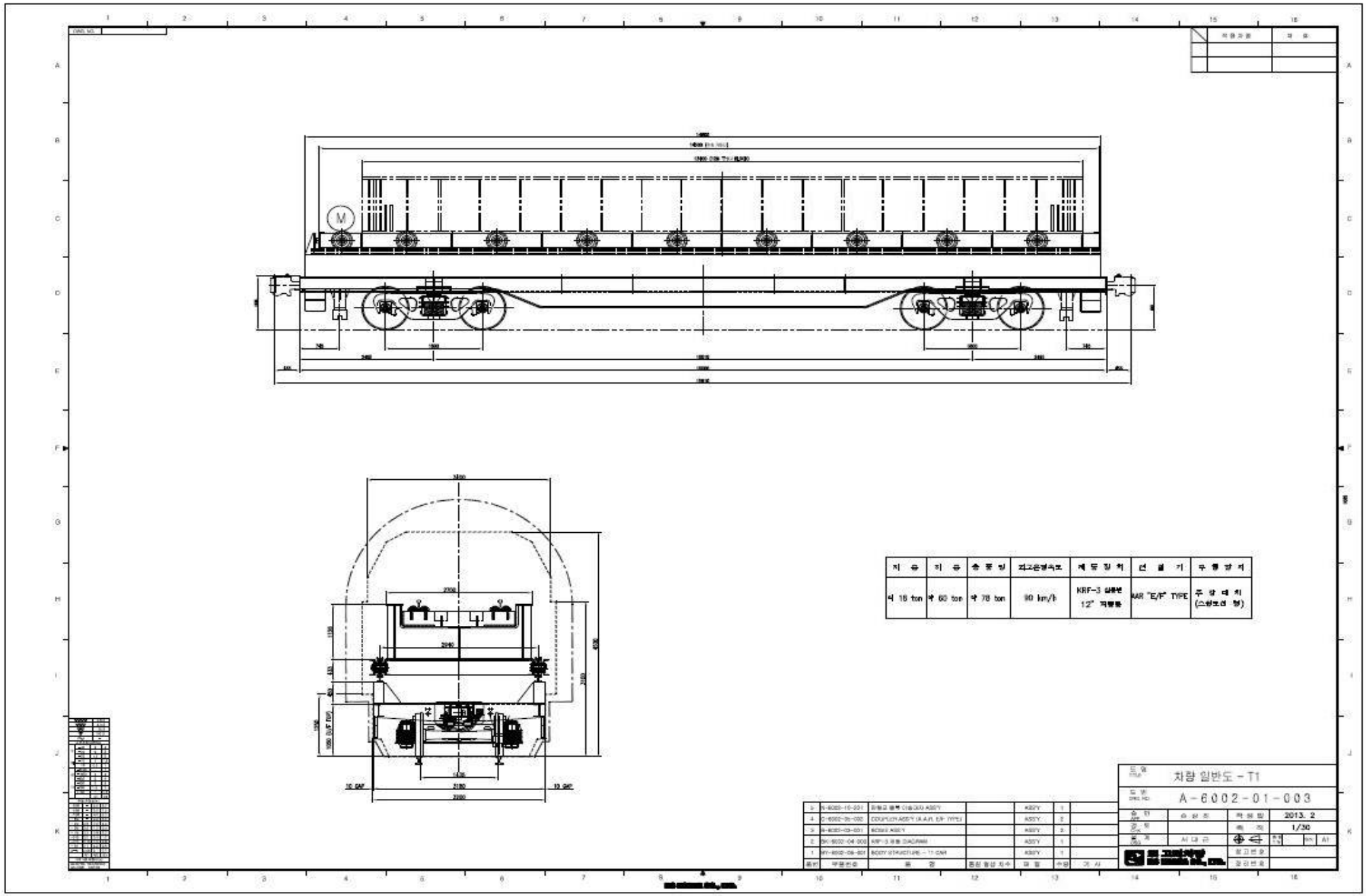
② 다만, 시운전차량이 20량 이하일 경우는 시운전열차 편성 선로에서 기존운영차량과 혼합 편성하여 시험할 수 있으며 2.1)항과 같이 정상적인 제동성능을 확인하여야 한다.

(다) 수용 제동시험

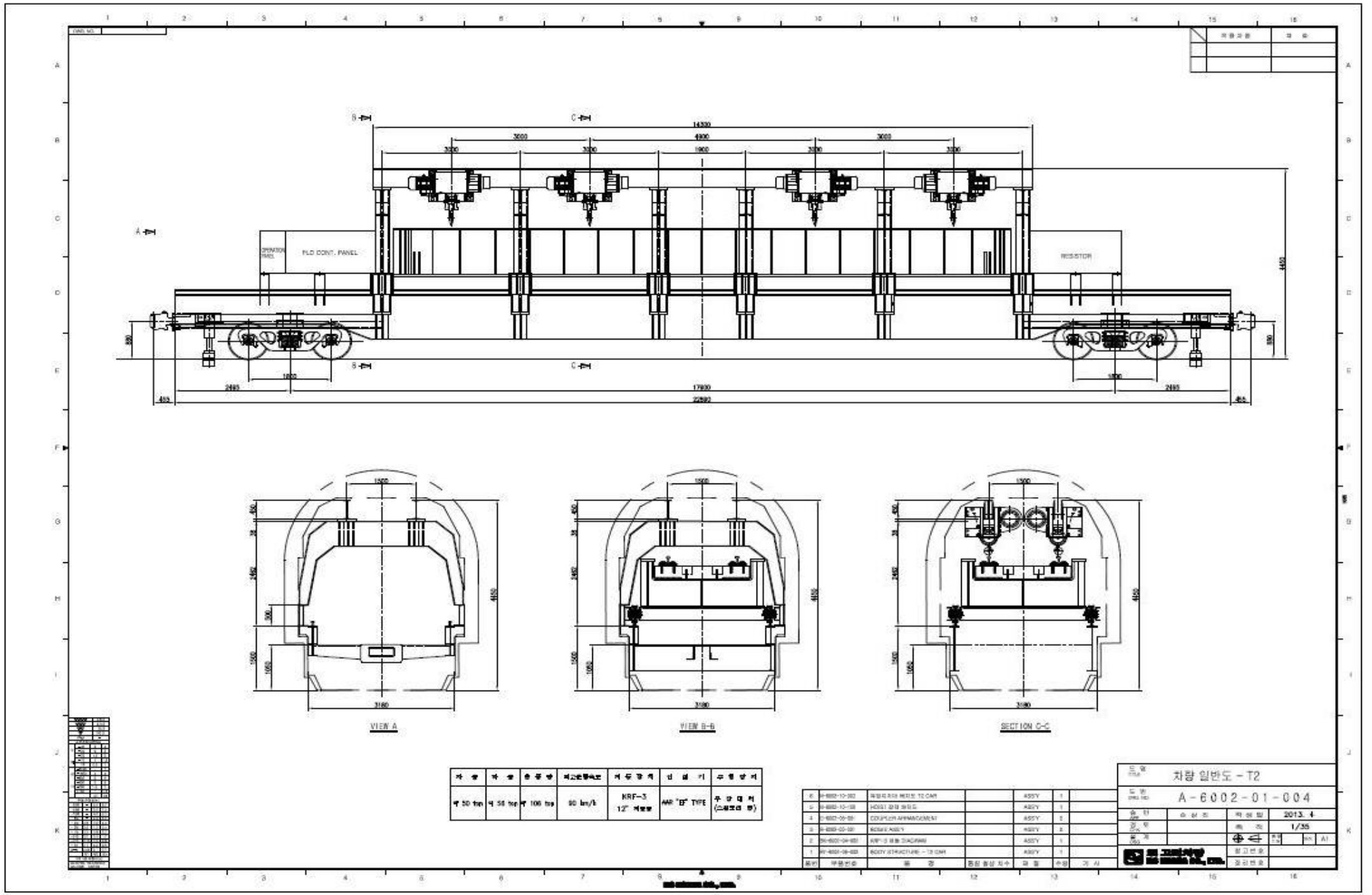
수용제동 작용 시 각 제동기구의 간섭여부 및 기초 제동장치의 정상 작동여부를 확인하여야 한다.



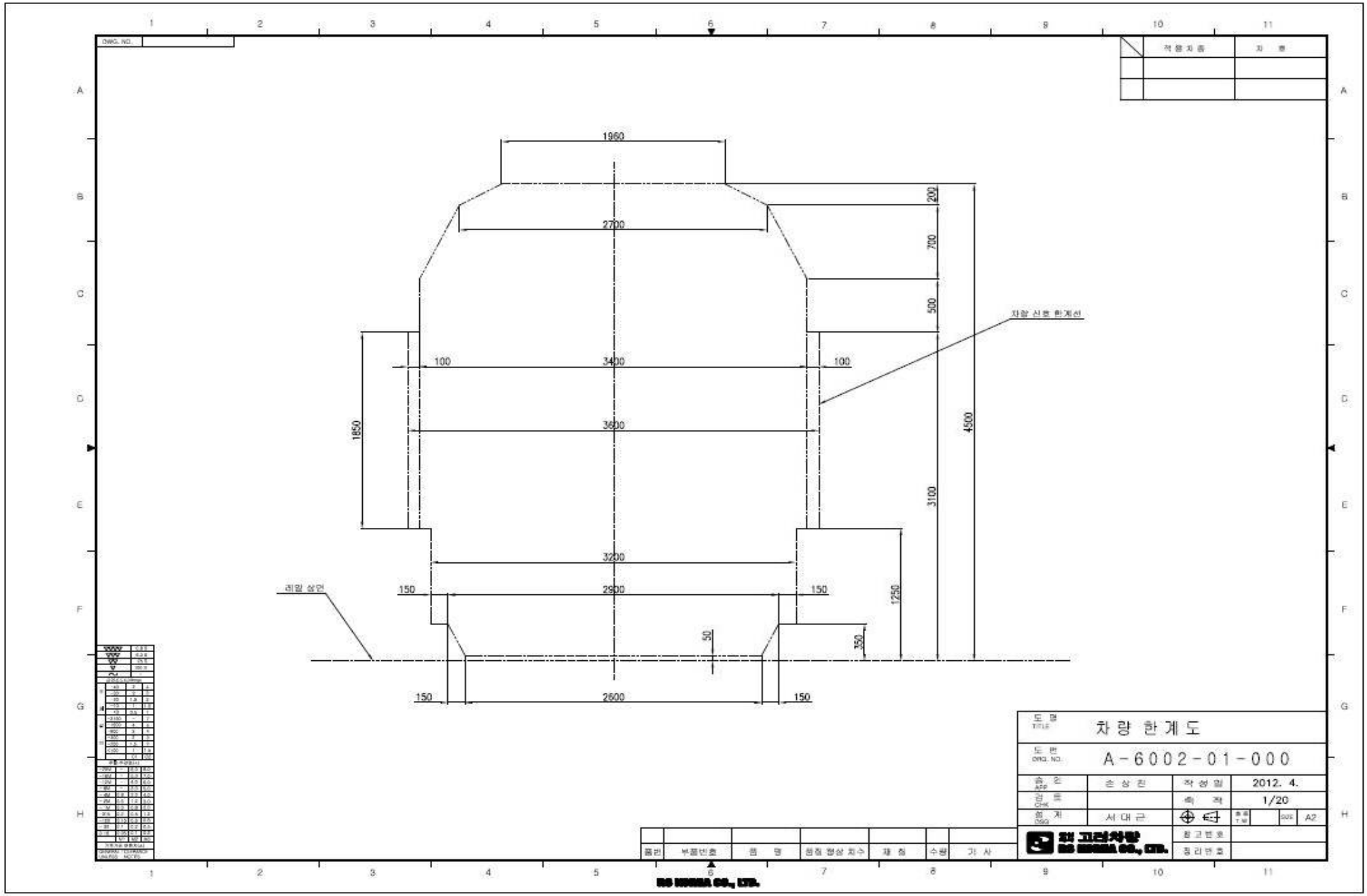
[그림 2.10] 판형교 급속교체차량 편성도(1)



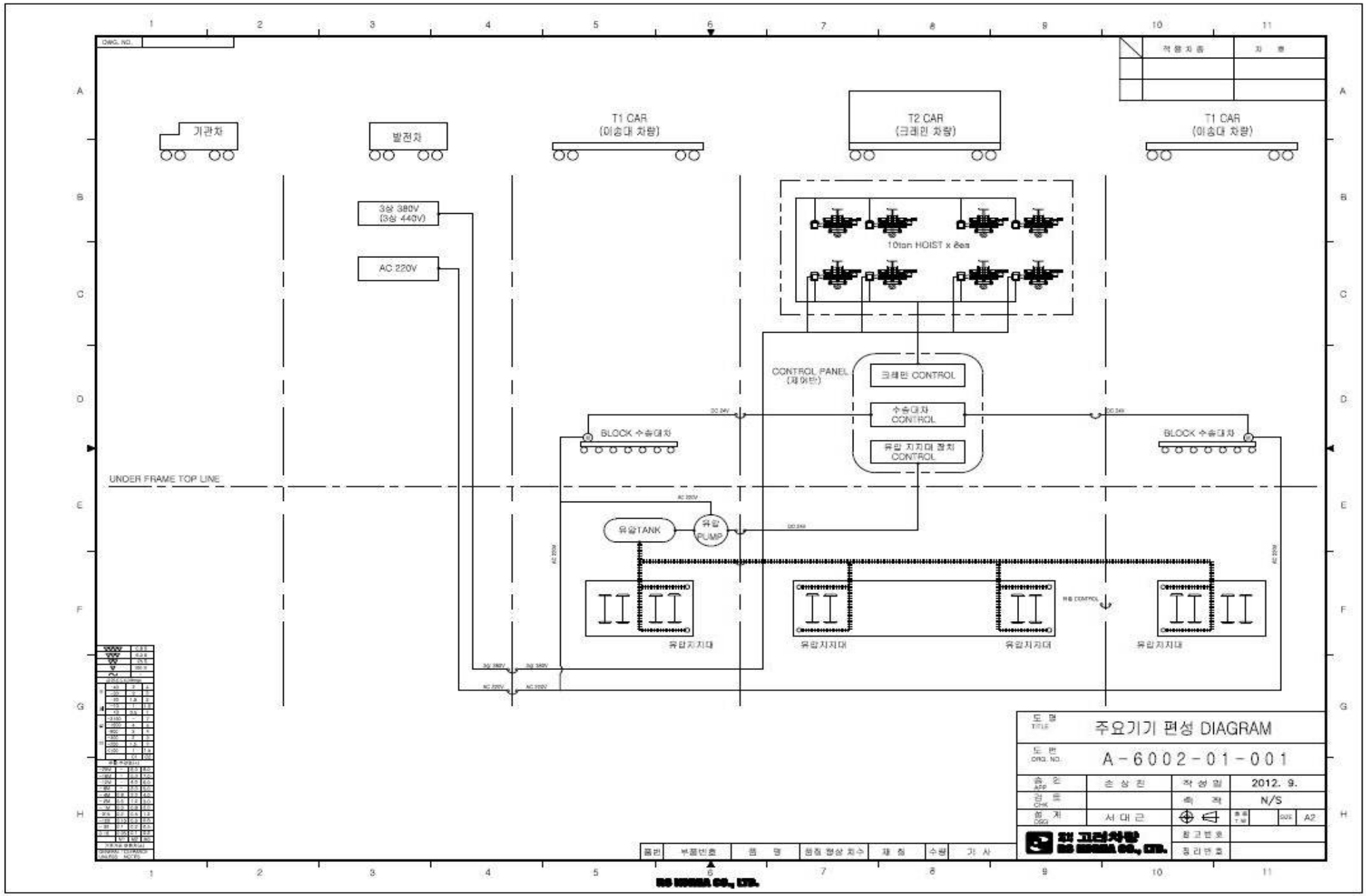
[그림 2.11] T1 CAR 차량 일반도(판형교 이송대)



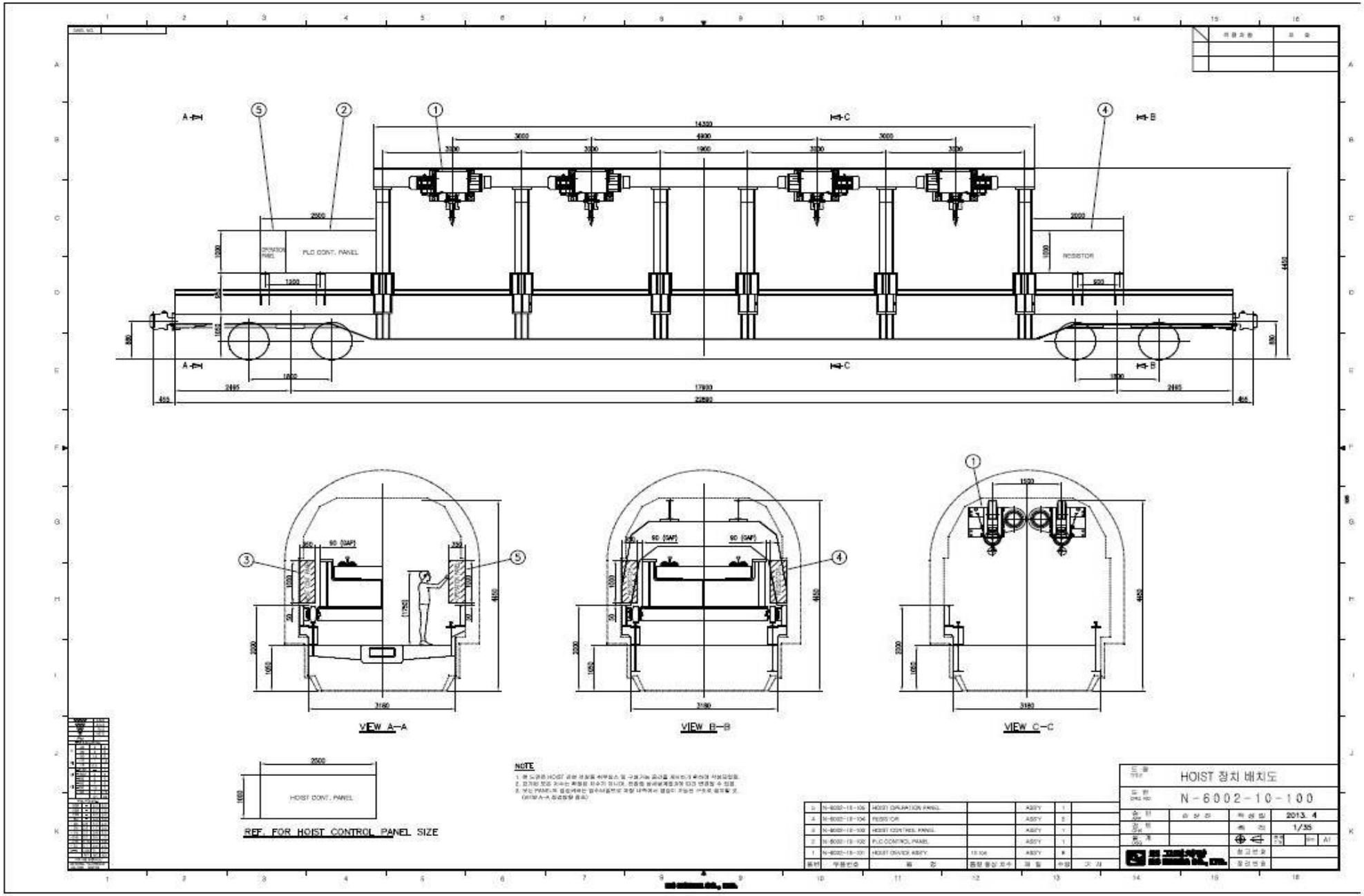
[그림 2.12] T2 CAR 차량 일반도(판형교 교체 전용화차)


1960
2700
200
700
500
4500
3100
1850
100
3400
100
3600
3200
150
2900
150
1250
50
350
150
2600
150
자장 신호 한계선
리밍 상면
차 량 한 계 도
A-6002-01-000
손 상 진
2012. 4.
1/20
서 대 근
A2

[그림 2.13] 차량한계도



[그림 2.14] 주요기기편성 다이아그램



[그림 2.15] HOIST 장치 배치도

6. 설계된 크레인 차량 구조해석

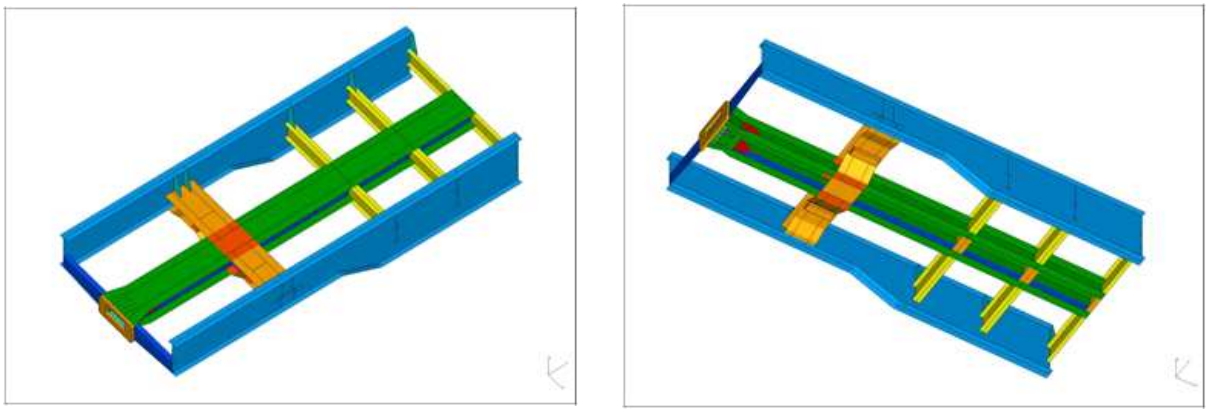
가. 판형교 급속교체차량의 T1 CAR

(1) 개요

판형교 급속교체차량의 T1 CAR 차체에 대하여 유한요소해석을 수행한 결과이다. 해석에 사용한 프로그램은 CATIA V5의 STATIC ANALYSIS MODULE 이다.

(2) 해석모델

판형교 급속교체차량 차체의 구조해석 모델은 그림 2.16에 나타내었다.
해석모델에 사용된 절점 수는 7,453개이며, 요소 수는 21,439개이다.



[그림 2.16] 판형교 급속교체차량 T1 car 차체의 구조해석 모델

(3) 하중조건

판형교 급속교체차량의 중량조건은 표 2.2에 나타내었다.

[표 2.2] 판형교 급속교체차량의 중량조건

No.	항목	산출근거	중량 (ton)
1	수송대차 차체중량	설계중량	8
2	적재중량	판형교 블록 설계중량	60
3	동하중계수	철도차량 안전기준에 관한 규칙	0.3g

구조해석에서 판형교 급속교체차량 차체에 적용할 하중조건은 제작설명서를 기준으로 작성하였다.
모든 하중조건에 대해, 차체의 볼스터 센터플레이트 위치에서 차체의 폭방향, 수직방향 변위를 구속하였다.

(가) 수직동(최대)하중

수송대차 차체중량과 적재중량을 underframe side sill의 상면에 등분포 하중으로 가하였다.
운행조건을 고려하여, 차체에 작용하는 동하중계수를 0.3g로 하여 수직하중을 계산하였다.

■ 최대하중(1.3g)

= (1.0 + 동하중계수 0.3g) × (수송대차 차체중량 +) = 1.3 × (60 + 8) = 88.4 ton

(4) 평가기준

(가) 재질의 기계적 특성

판형교 급속교체차량 차체의 재질은 SM490A 이며, 재질의 기계적 특성은 표 2.3과 같다.

[표 2.3] 주요 재질의 기계적 특성

No.	재질	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	비고
1	SM490A	325	490	차체

(나) 평가기준

각 하중조건하에서 차체에 발생하는 최대응력은 사용재질의 항복강도 이하이어야 한다.

(5) 구조해석결과

각 하중조건에서 차체의 응력 분포는 그림2.17에 나타내었으며, 각 하중조건별 고응력부와 응력값을 표 2.4에 정리하였다.

[표 2.4] 하중조건별 주요 고응력부와 응력값

No.	하중조건	고응력부 위치	재질	최대응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	처짐량 (mm)	비고
1	수직동하중(1.3g)	Bolster	SM490A	155	325	0.106	차체

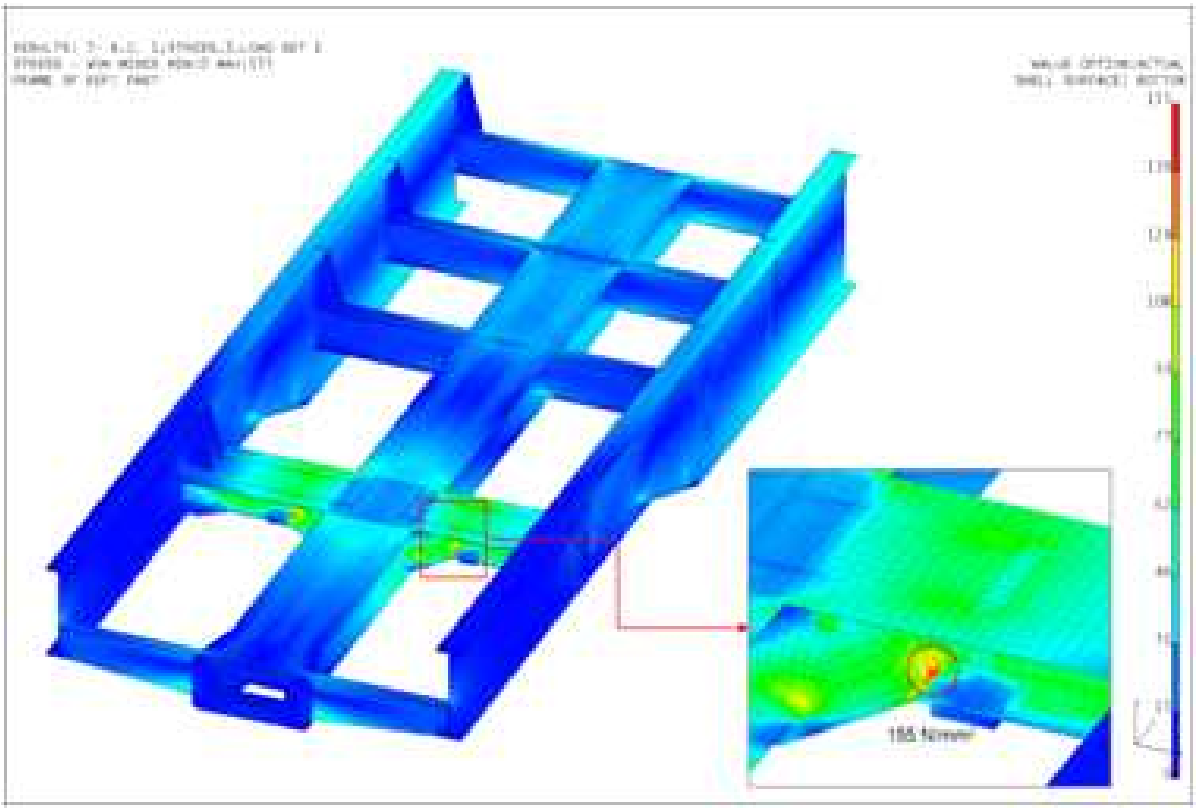
수직정하중조건에서 차체에 발생하는 최대응력은 Bolster 부위에서 155 MPa이다.

주어진 하중조건에서 차체에 발생하는 최대응력이 사용재질의 항복강도보다 작은 값임을 알 수 있다.

(6) 결론

판형교 급속교체차량 T1 car 차체의 구조해석 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 수직하중조건에서 발생하는 최대응력은 사용재질의 항복강도 이내에 있다.

이상의 결과로부터 판형교 급속교체차량 차체는 충분한 강도를 확보하고 있는 것으로 판단할 수 있다.



[그림 2.17] 판형교 급속교체차량 T1 car 차체의 응력분포: 수직동하중(1.3g)

나. 판형교 급속교체차량의 T2 CAR

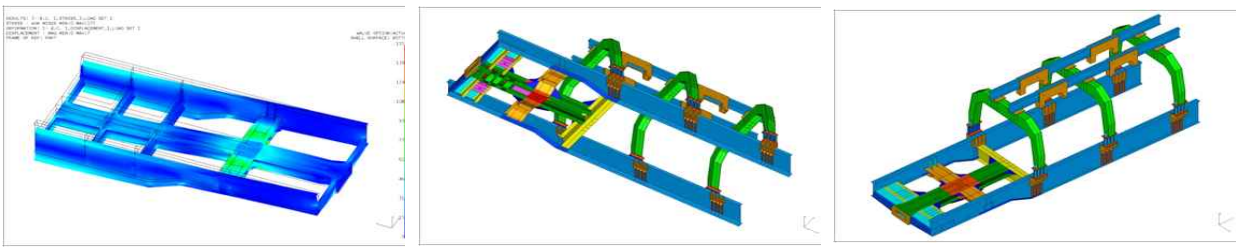
(1) 개요

판형교 급속교체차량의 T2 CAR 차체에 대하여 유한요소해석을 수행한 결과이다. 해석에 사용한 프로그램은 CATIA V5의 STATIC ANALYSIS MODULE 이다.

(2) 해석모델

판형교 급속교체차량 차체의 구조해석 모델은 그림 2.18에 나타내었다.

해석모델에 사용된 절점 수는 13,464개이며, 요소 수는 41,150개이다.



[그림 2.18] 판형교 급속교체차량 T2 car 차체의 구조해석 모델

(3) 하중조건

판형교 급속교체차량의 중량조건은 표 2.5에 나타내었다.

[표 2.5] 판형교 급속교체차량의 중량조건

No.	항목	산출근거	중량 (ton)
1	Hoist 자중 (8 set)	Hoist 설계중량	10.8
2	적재중량	판형교 블록 설계중량	60
3	동하중계수	철도차량 안전기준에 관한 규칙	0.3g

구조해석에서 판형교 급속교체차량 차체에 적용할 하중조건은 제작설명서를 기준으로 작성하였다.

모든 하중조건에 대해, 차체의 볼스터 센터플레이트 위치에서 차체의 폭방향, 수직방향 변위를 구속하였다.

(가) 수직동(최대)하중

수송대차 차체중량과 적재중량을 underframe side sill의 상면에 등분포 하중으로 가하였다. 운행조건을 고려하여, 차체에 작용하는 동하중계수를 0.3g로 하여 수직하중을 계산하였다.

■ 최대하중(1.3g)

= (1.0 + 동하중계수 0.3g) × (수송대차 차체중량 +) = 1.3 × (60 + 10.8) =92 ton

(4) 평가기준

(가) 재질의 기계적 특성

판형교 급속교체차량 차체의 재질은 SM490A 이며, 재질의 기계적 특성은 표 2.6과 같다.

[표 2.6]주요 재질의 기계적 특성

No.	재질	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	비고
1	SM490A	325	490	차체

(나) 평가기준

각 하중조건하에서 차체에 발생하는 최대응력은 사용재질의 항복강도 이하이어야 한다.

(5) 구조해석결과

각 하중조건에서 차체의 응력 분포는 그림 2.19에 나타내었으며, 각 하중조건별 고응력부와 응력값을 표 2.7에 정리하였다.

[표 2.7] 하중조건별 주요 고응력부와 응력값

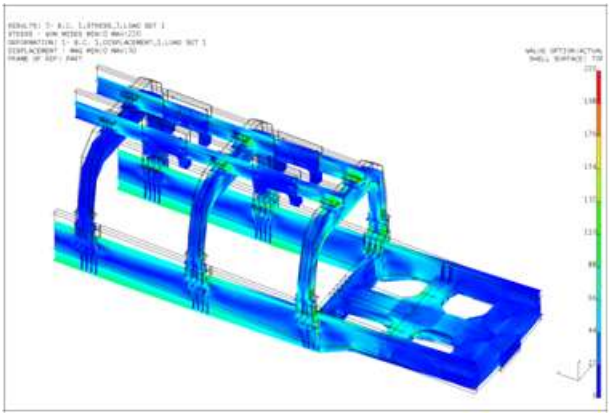
No.	하중조건	고응력부 위치	재질	최대응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	처짐량 (mm)	비고
1	수직동하중(1.3g)	포스트 지지대 하부	SM490 A	220	325	0.106	차체

수직정하중조건에서 차체에 발생하는 최대응력은 포스트 지지대 하부에서 220 MPa이다.
주어진 하중조건에서 차체에 발생하는 최대응력이 사용재질의 항복강도보다 작은 값임을 알 수 있다.

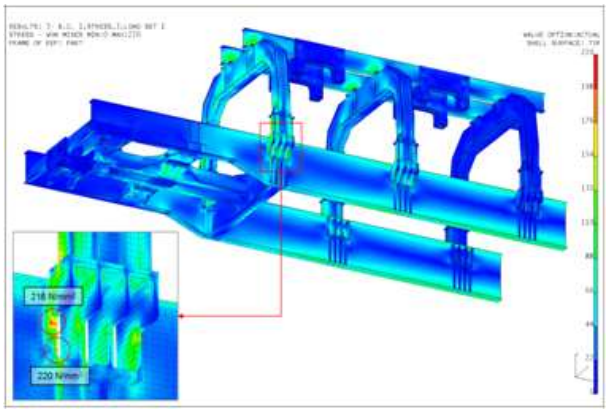
(6) 결론

판형교 급속교체차량 T2 car 차체의 구조해석 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 수직하중조건에서 발생하는 최대응력은 사용재질의 항복강도 이내에 있다.

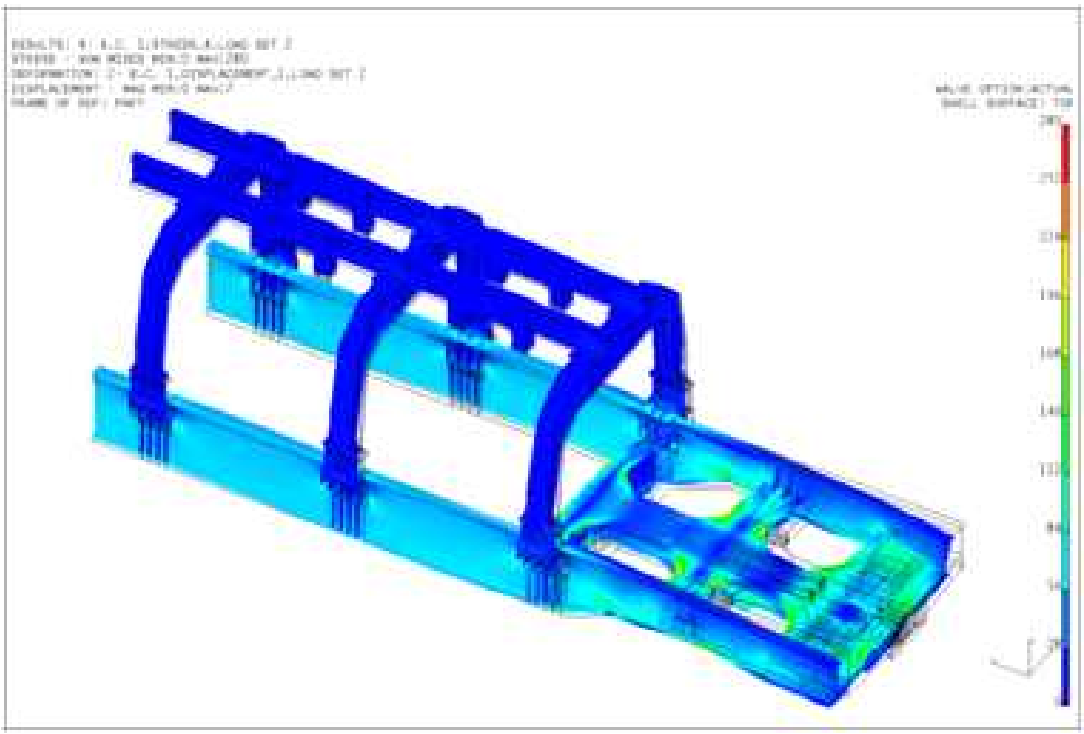
이상의 결과로부터 판형교 급속교체차량 차체는 충분한 강도를 확보하고 있는 것으로 판단할 수 있다.



[그림 2.19] 판형교 급속교체차량 T2 car 차체의 응력분포: 수직동하중(1.3g)



[그림 2.20] 판형교 급속교체차량 T2 car 차체의 최대응력 발생부위: 수직동하중(1.3g)



[그림 2.21] 판형교 급속교체차량 T2 car 차체의 변위: 압축하중(2,000 kN)

7. 이동식 크레인 시험운행 수행 및 평가

가. 개요

(1) 제작된 이동식 크레인 차량의 동적특성과 안전성, 급속교체 공법의 효과를 파악하기 위해서 차량의 시험운행은 필수적이다. 현장에서 이루어지는 시험운행에 어려움이 있으므로 실내 시험을 통해 상세하게 분석하는 것이 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 급속교체 판형교 실험체를 이용하여 제작된 이동식 크레인 차량의 실내 실험을 수행하고 이에 따른 특성을 분석하였다.

(2) 시험운행 수행 및 평가는 판형교 이송 차량(T1 car)과 크레인 차량(T2 car)으로 이루어진 이동식 크레인 차량을 대상으로 판형교 실험체 운반 및 시공시 차량의 처짐 및 변형률의 산출과 기존 공법과 비교하여 단축된 시간을 측정하기 위해 수행되었다.

나. 시험 운행 방법

(1) 시험체 설치

(가) 시험운행 대상 시험체는 본 과제를 통해 개발된 급속교체용 상부구조와 이동식 크레인 차량으로 실물로 제작되었다. 시험은 이동식 크레인 차량과 상부구조의 용이한 운반 및 실험을 위해 고려차량 내 가철로에서 수행되었고, 시험체는 아래 그림과 같다.



[그림 2.22] 크레인 차량



[그림 2.23] 급속교체용 상부구조



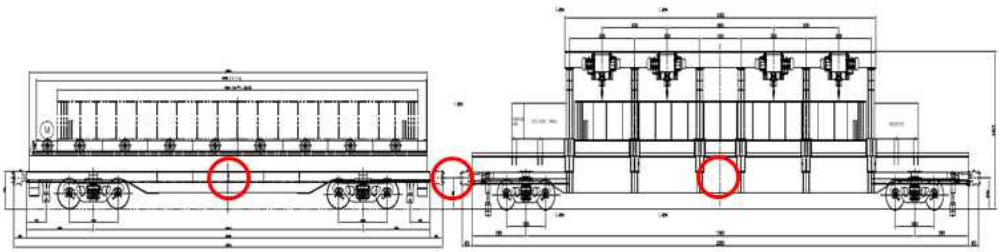
[그림 2.24] 판형교 이송 차량

(2) 설치 방법

(가) 실험은 부산에 위치한 고려차량에서 수행되었으며, 차량의 변위와 변형률 측정을 위해 다음과 같이 설치되었다.

(나) 측정 지점

① T1 car와 T2 car 중앙부 및 T1 car와 T2 car의 연결부에 측정 장치를 설치하여 수직, 수평 변위 및 변형률을 측정하였다.



[그림 2.25] 변위 및 변형률 측정 지점

(다) 측정 장치

-LVDT

-Strain gage

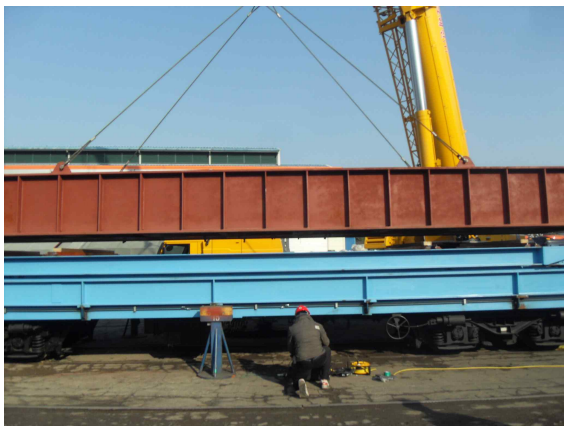
-시간 측정 장치

-EDX

(3) 시험 방법

(가) 판형교 상차시 T1 car의 변위 측정

① 판형교 이송차량(T1 car)의 중앙부에 LVDT 및 EDX를 연결하여 급속교체용 상부구조 상차시 발생하는 변위를 측정하였다.



[그림 2.26] 상부구조 상차시 변위 측정

(나) 판형교 운반 및 크레인 차량 작동시 T1 및 T2 car의 변위 측정

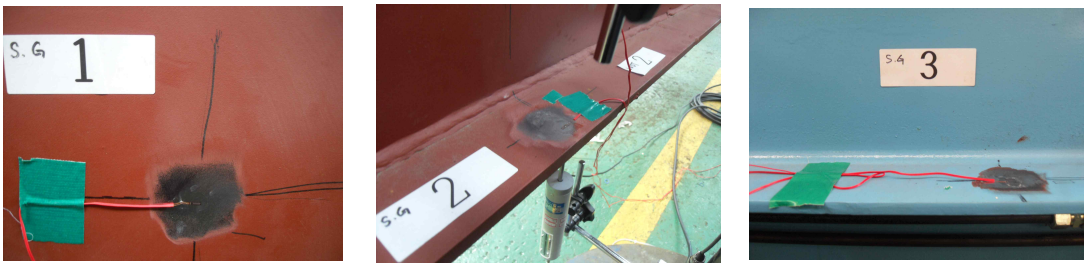
① 이송차량, 크레인 차량 및 연결부에 측정 장치를 연결하여 판형교 이동 및 작업 수행시 발생하는 수평 및 수직 변위를 측정하였다.



[그림 2.27] 이동식 크레인 차량 변위 측정

(다) 판형교 운반 및 크레인 차량 작동 시 T1 및 T2 car의 변형률 측정

① 이송차량, 크레인 차량 및 연결부에 측정 장치를 연결하여 판형교 이동 및 작업 수행시 발생하는 변형률을 측정하였다.



[그림 2.28] 이동식 크레인 차량 변형률 측정

(라) 이동식 크레인 차량 시험 운행 소요 시간 측정

① 기존 공법과 비교하여 급속 교체 공법의 효과를 분석하기 위해 시험 운행 시 소요되는 시간을 측정하였다.

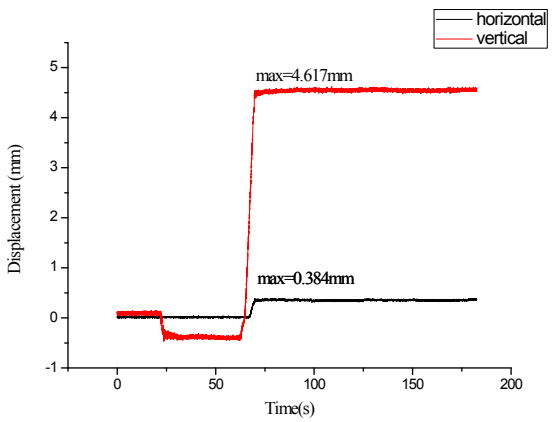


[그림 2.29] 이동식 크레인 차량 시험 운행

(4) 시험 결과

(가) 판형교 상차 시 T1 car의 변위

① 판형교 이송 차량에 급속교체 상부구조 상차 시 발생하는 변위는 다음 그림 2.30과 같다. 수직 변위는 최대 4.617mm로 나타났고, 수평 변위는 최대 0.384mm로 아주 작게 발생되었다.



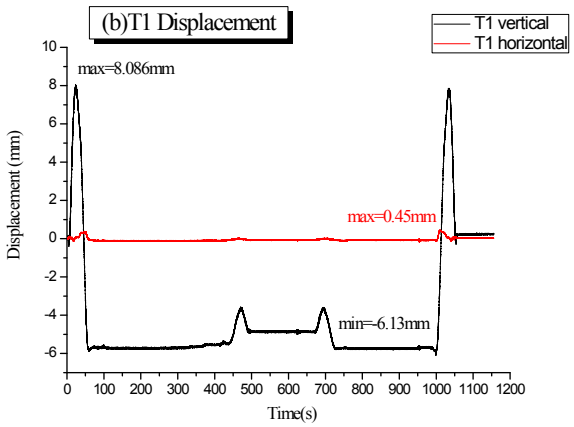
[그림 2.30] 상부구조 상차시 T1 car 변위 변화량

(나) 판형교 운반 및 크레인 차량 작동시 T1 및 T2 car의 변위

이동식 크레인 차량 시험 운행시 판형교 이송차량 및 크레인 차량, 두 차량의 연결부에서 발생하는 변위는 다음과 같다.

① 판형교 이송차량 (T1 car)

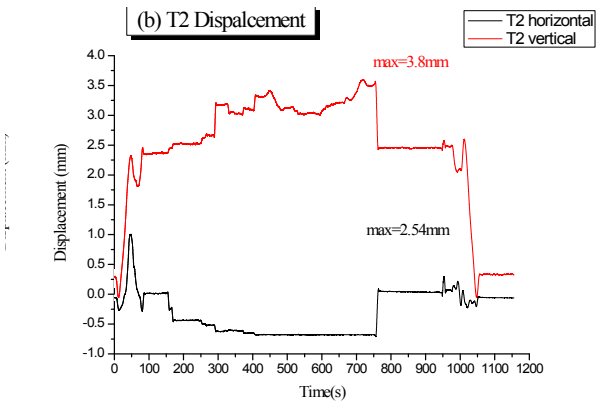
판형교 이송차량의 최대 수직 변위는 8.086mm로, 상부구조 운반용 대차가 크레인 차량으로 이동시 발생하였다. 최대 수평 변위는 0.45mm로, 크레인 차량으로 이동된 운반용 대차가 다시 이송차량으로 이동할 때 발생하였다.



[그림 2.31] 시험 운행시 T1 car 변위 변화량

② 크레인 차량 (T2 car)

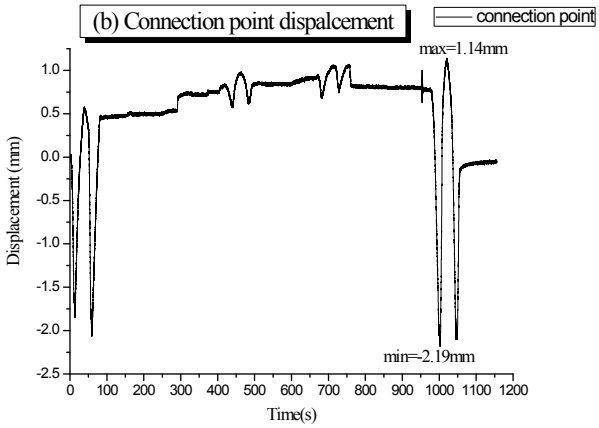
크레인 차량의 최대 수직 변위는 3.8 mm로, 크레인 차량의 호이스트가 상부구조를 들어올린 후 이송차량의 가대차가 다시 크레인 차량으로 진입할 때 발생하였다. 최대 수평 변위는 2.54 mm로, 크레인 차량에 다시 진입한 가대차에 호이스트에서 해체한 상부구조를 다시 상차시켰을 때 발생하였다.



[그림 2.32] 시험 운행시 T2 car 변위 변화량

③ 차량 연결부

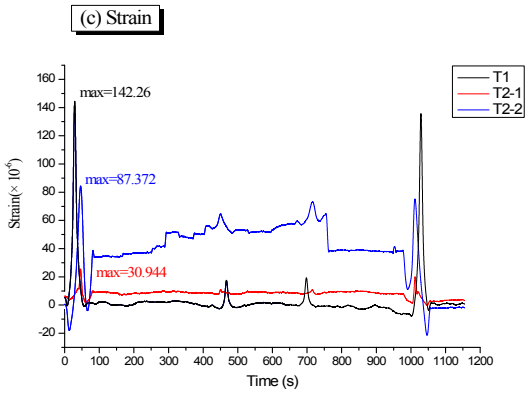
이송차량과 크레인 차량의 연결부에서 최대 수직 변위는 2.19 mm로, 호이스트에서 해체한 상부구조를 다시 상차한 이송대차가 크레인 차량에서 이송 차량으로 다시 이동시 발생하였다.



[그림 2.33] 시험 운행시 차량 연결부 변위 변화량

(다) 판형교 운반 및 크레인 차량 작동시 T1 및 T2 car의 변형률

① 이동식 크레인 차량 시험 운행시 판형교 이송차량의 최대 변형률은 142.26로, 이송차량의 운반용대차가 크레인 차량으로 진입시 발생하였다. 크레인 차량의 최대 최대 변형률은 87.372로 이송차량과 마찬가지로 이송차량의 운반용대차가 크레인 차량으로 진입 시 발생하였다.



[그림 2.34] 시험 운행시 이동식 크레인 차량의 변형률

(라) 이동식 크레인 차량 시험 운행 소요 시간

① 이동식 크레인 차량 시험 운행시 실시한 작업들은 다음과 같다.

- 상부구조가 상차된 이송차량의 운반용 대차 크레인차량으로 이동
- 이동한 상부구조 호이스트에 연결 및 운반용 대차 이동
- 크레인 차량에 연결된 상부구조 상하 이동 작업
- 운반용 대차 재진입 및 호이스트에 연결된 상부구조 해체
- 운반용 대차에 다시 상차된 상부구조를 이송차량에 재이송

② 위의 작업에 소요된 시간은 약 18분이다.

(5) 차량 변위 검토

(가) 개요

본 검토는 판형교 급속교체차량의 실제 호이스트 작업 기능 시 판형교 블록 하중에 의한 T2 car 차체 변위를 예상하여, 시험 중 다이얼게이지 부착 등을 위한 참고자료로 사용하기 위한 검토이다. T2 car를 대상으로 하였으며, 해석에 사용한 프로그램은 I-DEAS이다.

(나) 인용규격

본 검토서에서 참고한 규격은 다음과 같다.

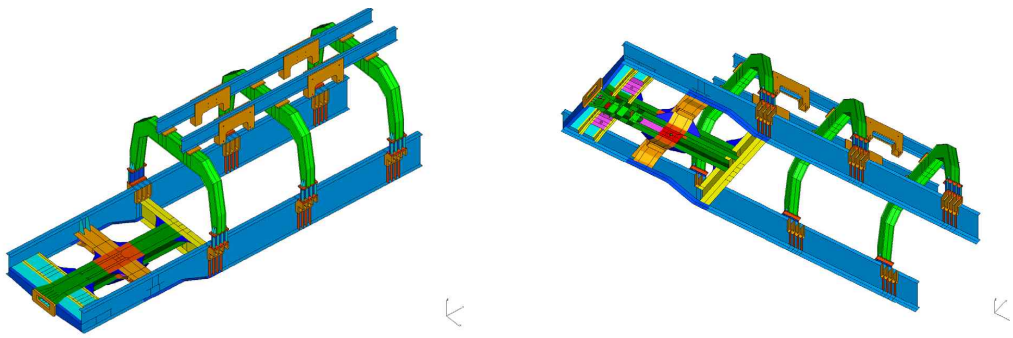
① 철도차량 안전기준에 관한 지침

② 판형교 급속교체차량 제작설명서

(다) 해석모델

T2 car 차체의 구조해석 모델을 다음 그림에 나타내었다. T2 car 차체의 형상과 해석에 적용할 경계조건이 대칭임을 고려하여 차체의 1/2만을 모델링하였다.

해석모델은 shell 요소와 solid 요소를 사용하여 작성하였으며, 해석모델에 사용된 절점 수는 138,901개이며, 요소 수는 124,175개이다.



[그림 2.35] T2 car 구조해석 모델

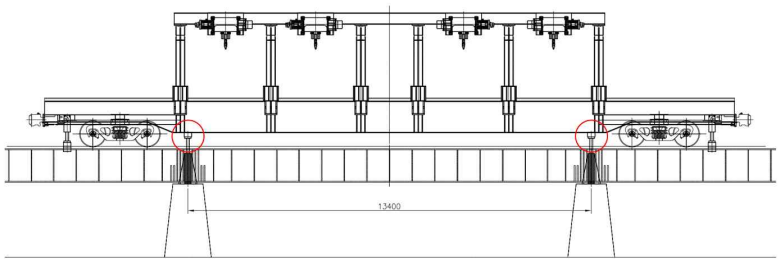
(라) 하중조건

판형교 급속교체차량 T2 car의 중량조건을 표 2.8에 나타내었다.

[표 2.8] T2 car의 중량조건

No.	항목	중량	산출근거
1	적재물중량	43 ton	가장 큰 판형교 블럭의 중량

구조해석에서 T2 car 차체에 적용할 하중조건은 '철도차량 안전기준에 관한 지침'을 참조하여 작성하였다. 사이드실 하면에서 차체의 수직방향 변위를 구속하였으며, 볼스터 센터피봇 위치에서 차체의 폭 방향 변위를 구속하였다. 사이드실 하면의 차체 지지 위치는 다음 그림에서 붉은색 원으로 나타내었다. 실사용조건을 고려하여 12m 호칭 판형교블럭을 상부 I-BEAM에 장착된 호이스트에 의해 들어올렸을 때를 가정하여 판형교블럭 자중 43톤을 차체에 적용하여 해석을 수행하였다.



[그림 2.36] 차체의 지지 위치

(마) 변위예측결과

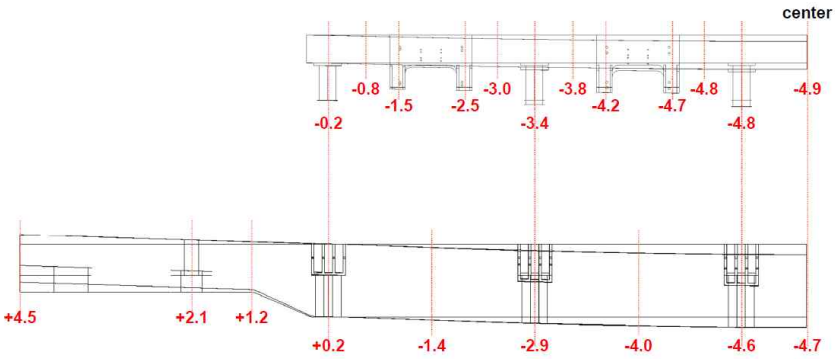
실 사용조건에서 하중을 가하여 발생한 주요 최대변위부와 해당수치를 다음 표에 정리하였다.

[표 2.9] 주요 변위발생 위치 및 최대변위

No.	주요 변위발생 위치	최대변위 (mm)	비고
1	I-BEAM 정중앙부	-4.9	
2	중앙부 POST 구조물	-4.8	
3	UNDERFRAME SIDESILL 정중앙부	-4.7	
4	END SILL 상부	+4.5	들어올려짐 현상

호이스트작업 하중조건에서 차체에 발생하는 최대변위는 호이스트가 설치되는 I-beam 정중앙부의 -4.9mm와 UNDERFRAME SIDESILL 정중앙부 차체의 주요변위(처짐량) 분포는 그림 2.37에 나타내었다.

모든 하중조건에서 차체에 발생하는 최대응력이 사용재질의 허용응력보다 작은 값임을 알 수 있다.



[그림 2.37] 43 ton 하중 적용시 지점별 변위 변화량

(바) T2 car 변위 비교

① T2 car 처짐 측정결과 25ton 하중 적용 시 최대 3.8mm 처짐이 발생한다. 차체 변위 검토의 하중이 43 ton이었을 때 처짐이 4.7mm 임을 감안하면 예상 하중 측정값은 2.73mm이 되야 하지만 측정값이 3.8mm으로 예상 값보다 약 1.07mm 더 큰 처짐이 발생하는 것을 알 수 있다.

② 구조 해석 프로그램 내의 차량 해석 시 경계 조건과 실제 시험 운행 시 차량의 경계 조건의 차이로 인해 변위 해석 값과 측정값 사이에 오차가 발생했다고 볼 수 있다.

제3절 성능이 향상된 상부구조 개발

1. 성능이 향상된 강교량 상부구조 설계

가. 개요

(1) 본 연구는 기존 노후 된 판형교를 특수제작 된 철도차량을 이용하여 급속교체가 가능하도록 하는 연구이다. 이를 위해서 철도하중에 대한 안정성을 확보하고 제작이 용이하며 차량으로 적재가 가능한 교량단면을 개발할 필요가 있다. 따라서 차량을 이용하여 적재 및 이동이 가능하도록 교량의 폭, 높이와 총중량 등의 제약조건을 만족하는 교량단면을 산정하고 그 단면의 안정성을 확보하기 위해 구조해석을 수행하였다.

(2) 구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2009 V3.0.0을 사용하였다. 교량의 수치모델은 주형 및 가로보와 레일은 3차원 보요소를 사용하였고 콘크리트 슬래브에 대해서는 쉘요소를 사용하였으며 열차활하중은 LS-22표준활하중을 재하하였다.

나. 대상교량 선정

(1) 본 연구에서는 기존 판형교의 대표적인 지간장 3가지의 대상교량을 아래 표 2.10과 같이 선정하여 구조해석을 실시하였다. TYPE 1의 경우 교량연장은 13.4m로 연구대상교량 중 가장 긴 연장을 가지며 받침간 거리는 12.9m이다. TYPE 2의 경우 교량연장은 10.14m 이며 받침간 거리는 9.7m이고, TYPE 3의 경우 교량연장은 7.0m 이며 받침간 거리는 6.6m 이다.

[표 2.10] 대상교량 선정

구 분	교 량 연 장	받 침 간 거 리	비 고
TYPE 1	13.4m	12.9m	
TYPE 2	10.14m	9.7m	
TYPE 3	7.0m	6.6m	

다. 단면 산정

(1) 이동식 크레인 차량 탑재의 제약조건

(가) 판형교 급속교체를 위한 특수차량은 그 크기에 한계가 있으므로 제작된 교량을 적재 및 이동이 가능하도록 하기 위해서는 상부형식의 제약조건이 발생한다. 단면의 폭과 높이 및 총중량의 한계치는 표 2.11과 같이 폭은 2.7m이하여야 하고, 높이는 레일을 포함한 1.2m내외여야 한다. 또한 레일 및 기타 부가하중을 포함한 교량전체의 중량은 600kN이하여야 한다.

[표 2.11] 이동식 크레인 차량 탑재의 제약조건

구 분	폭	높이	총중량
급속교체 교량	2.7m 이하	1.2m 내외	600kN 이하

(2) 궤도형식 선정

(가) 궤도형식은 크게 자갈도상과 콘크리트 도상으로 구분되어지는데, 교량의 1 Span을 제작 및 운반하여 급속교체하는 본 연구의 특성상 자갈도상은 사실상 불가능 하므로 콘크리트 도상을 적용 한다.

(나) 궤도 형식은 일반적인 돌출형 궤도 형식과 매립식 궤도로 구분 할 수 있는데 매립식 궤도의 경우 유지관리가 힘들고, 본 연구의 특수차량을 이용한 급속교체 특성상 판형교 급속교체 시 기존 돌출형 궤도와 용접작업이 불가능 하므로 돌출형 궤도를 적용한다.

[표 2.12] 궤도 형식 비교

구 분	돌 출 형 궤 도	매 립 식 궤 도
단 면 도		
특 징	· 유지관리가 용이함 · 급속교체 시 기존 궤도와 용접 가능	· 유지관리가 어려움 · 급속교체 시 기존 궤도와 용접 불가능
적용구간	· 일반철도 구간	· 화물기지등 내부 도로교통 운행구간
적 용	◎	

(3) TYPE 1(L=13.4m) 단면 산정

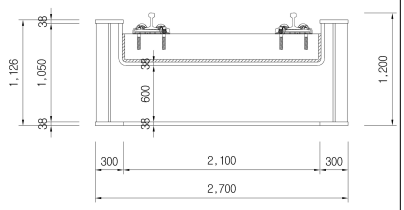
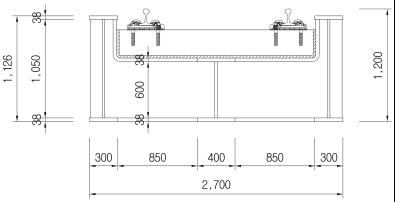
(가) 최적 주형수 산정

① 경간장 13.4m(TYPE 1)의 판형교 단면은 앞에서 언급한 표 2.13의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키기 위해 하로판형교 형식을 적용하였다. 이때 주형의 개수를 2주형으로 하였을 경우와 3주형으로 하였을 경우를 비교한 결과는 아래 표 2.14과 같다.

② 표 2.14에서 보는바와 같이 2주형의 경우 거더 및 가로보의 응력검토와 피로검토 모두 만족하는 결과를 보였으나 2011년 철도설계기준의 처짐검토에서 승차감에 따른 처짐 검토 시 허용 값을 초과하는 결과가 나타났다.

따라서, 경간장 13.4m의 TYPE 1형식의 판형교는 표2.2의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건 및 2011년 철도설계기준의 처짐 검토 시 주행안정성과 승차감에 따른 처짐의 허용 값을 모두 만족하도록 3주형의 하로판형교 단면을 적용하였다.

[표 2.13] 주형개수에 따른 구조검토

구 분		2 주 형	3 주 형	비 고
횡 단 면 도				
외측거더	응 력 검 토	170.004 MPa < 247 MPa	124.103 MPa < 247 MPa	27% 감소
	피 로 검 토	114.724 MPa < 112 MPa	67.687 MPa < 112 MPa	41% 감소
내측거더	응 력 검 토	-	126.411 MPa < 247 MPa	
	피 로 검 토	-	72.770 MPa < 112 MPa	
가로보	응 력 검 토	28.006 MPa < 247 MPa	40.048 MPa < 247 MPa	43% 증가
	피 로 검 토	10.524 MPa < 70 MPa	7.893 MPa < 70 MPa	25% 감소

[표 2.14] 주형개수에 따른 구조검토(계속)

구 분		2 주 형	3 주 형	비 고
처짐	2004년 철도설계기준	12.585mm < 16.125mm ➠ O.K	-	허용처짐량 : (L/800) =16.125mm 충격계수 제외
	2011년 철도설계기준	• 주행안정성 18.440mm < 21.5mm ➠ O.K • 승차감 18.440mm > 11.727mm ➠ N.G	• 주행안정성 11.014mm < 21.5mm ➠ O.K • 승차감 11.014mm < 11.727mm ➠ O.K	허용처짐량 : 주행안정성 (L/600) =21.500mm 승차감 (L/1100) =11.727mm
적 용			◎	

(나) 상부슬래브 가설방안 검토

① 상부슬래브 가설은 거더상에 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하는 현장타설 공법과 기 제작된 프리캐스트 바닥판을 설치한 후 전단포켓을 통해서 무수축모르터를 충진하여 강거더와 프리캐스트 바닥판을 합성시키는 프리캐스트 공법이 일반적으로 사용되고 있다.

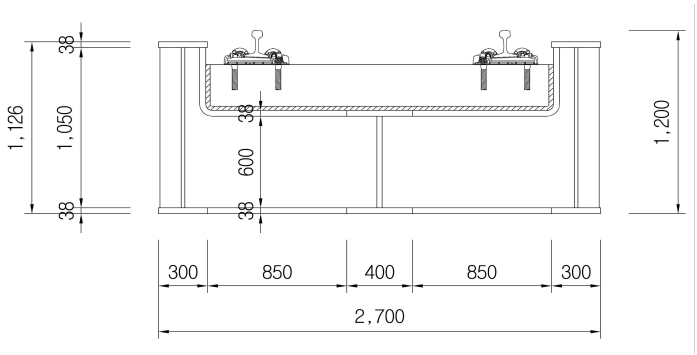
② 본 연구의 TYPE 1(L=13.4 m) 교량의 상부슬래브는 판형교 급속교체라는 연구목적에 부합하여 공기단축 및 시공성 향상과 공장제작으로 양호한 콘크리트 슬래브의 품질을 확보 할 수 있는 프리캐스트 공법을 적용하였다.

③ 프리캐스트 바닥판 합성형 교량에서 일반적으로 사용되는 기존 스터드 전단연결재를 개선하여 전단연결재의 상부에 나사 피치를 제작하고 너트를 사용하여 볼트헤드를 형성함으로서 전단연결재 하부의 포켓면적을 줄여 강거더와 프리캐스트 바닥판의 합성력을 증대시켰다.

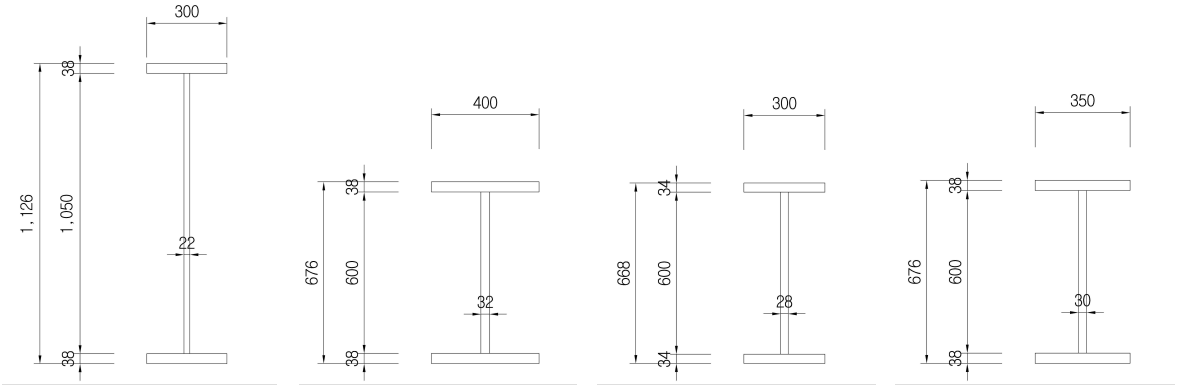
(다) 단면산정

① 앞에서 언급한 표 2.13의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키는 단면을 그림 2.38과 같이 산정하였다. 주형 및 가로보 치수는 그림 2.39과 같이 적용하였고, 그림 2.39과 같이 가로보의 간격은 지점부 1.2 m, 일반부는 1.5 m로 산정하였다.

상부구조물의 총중량은 473 kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600 kN이하)을 만족한다.

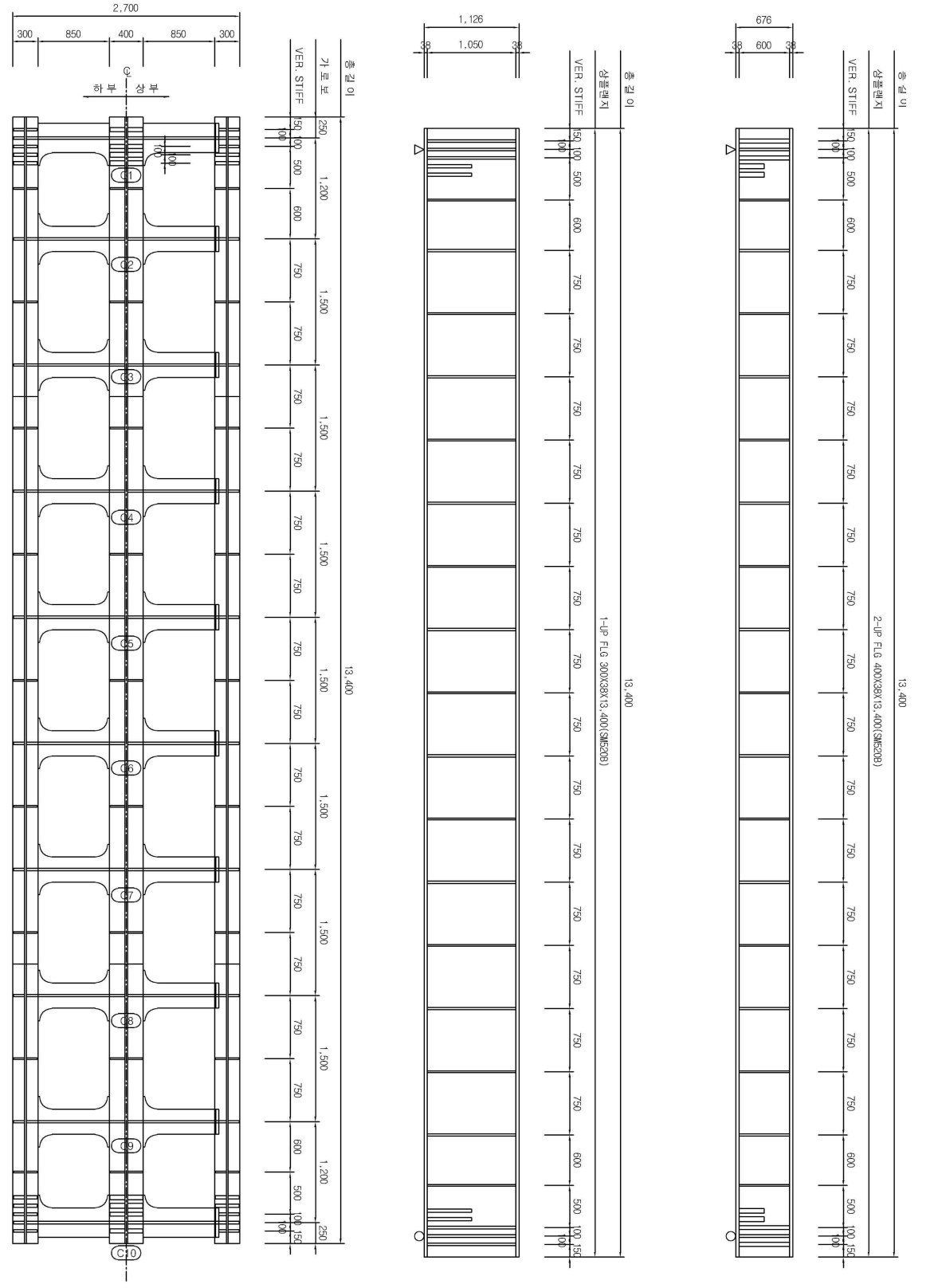


[그림 2.38] TYPE 1(L=13.4m) 횡단면도



(가) 외측 거더 (나) 중앙 거더 (다) 일반부 가로보 (라) 지점부 가로보

[그림 2.39] TYPE 1(L=13.4m) 주형 및 가로보 치수



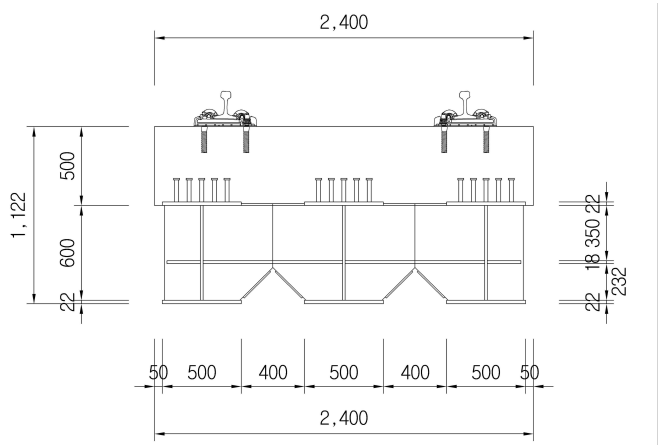
(가) 평면도 (나) 외측거더 종단면도 (다) 중앙거더 종단면도

[그림 2.40] TYPE 1(L=13.4m) 평면도, 종단면도

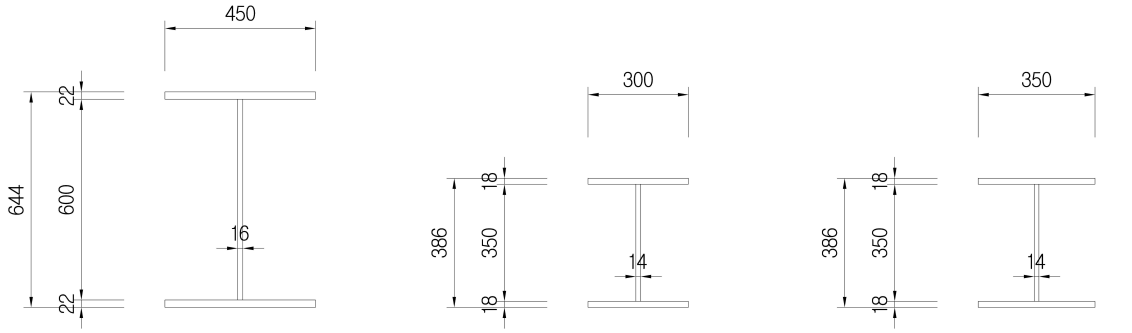
(4) TYPE 2(L=10.14m) 단면 산정

(가) 경간장 10.14m(TYPE 2)의 판형교 단면은 앞에서 언급한 표 3.12의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키면서 일반적인 형태인 상로판형교 형식을 적용하였다. 주형 및 가로보 치수는 그림 2.41과 같이 적용하였고, 그림 2.42과 같이 가로보의 간격은 1.5m로 산정하였다.

상부구조물의 총중량은 412kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600kN이하)을 만족한다.

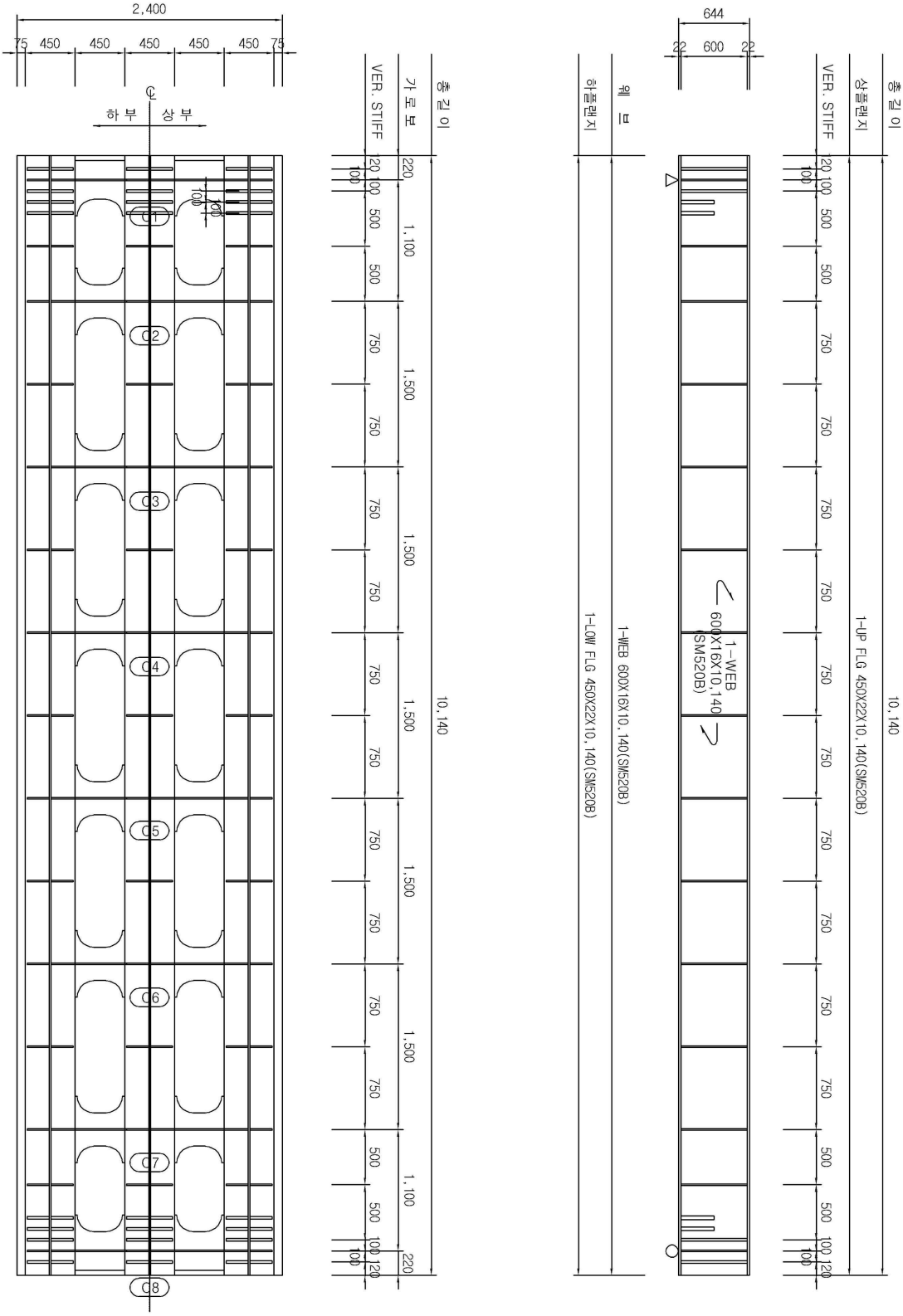


[그림 2.41] TYPE 2(L=10.14m) 횡단면도



(가) 거 더 (나) 일반부 가로보 (다) 지점부 가로보

[그림 2.42] TYPE 2(L=10.14m) 주형 및 가로보 치수



(가) 평면도 (나) 종단면도

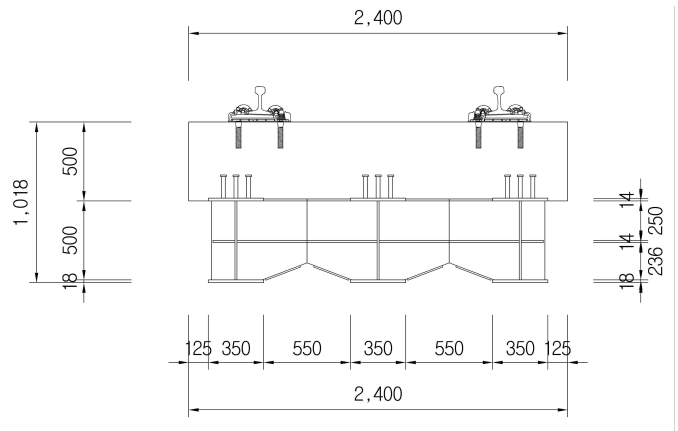
[그림 2.43] TYPE 2(L=10.14m) 평면도, 종단면도

(5) TYPE 3(L=7.0m) 단면 산정

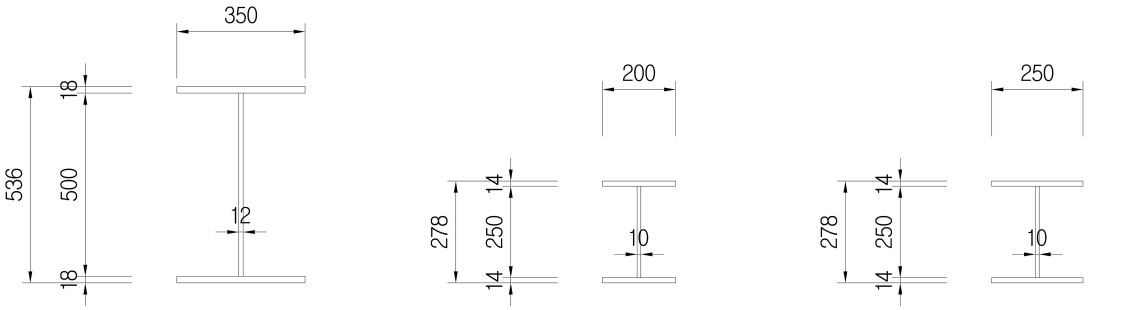
(가) 경간장 7.0m(TYPE 3)의 판형교 단면은 앞에서 언급한 표 2.13의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키면서 일반적인 형태인 상로판형교 형식을 적용하였다.

주형 및 가로보 치수는 그림 2.44과 같이 적용하였고, 그림 2.45와 같이 가로보의 간격은 1.5m로 산정하였다.

상부구조물의 총중량은 257kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600kN이하)을 만족한다.

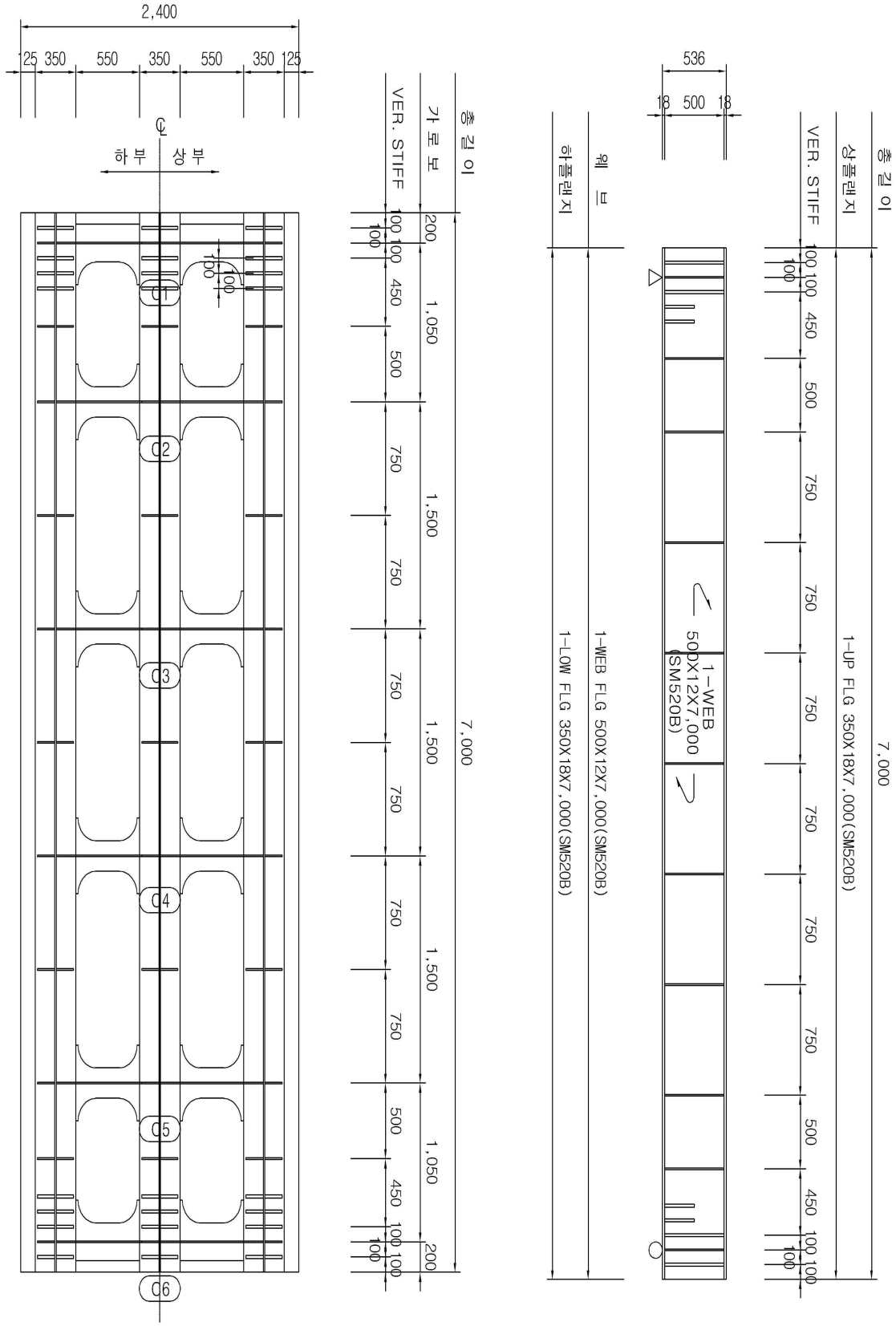


[그림 2.44] TYPE 3(L=7.0m) 횡단면도



(가) 거 더 (나) 일반부 가로보 (다) 지점부 가로보

[그림 2.45] TYPE 3(L=7.0m) 주형 및 가로보 치수



(가) 평면도 (나) 종단면도

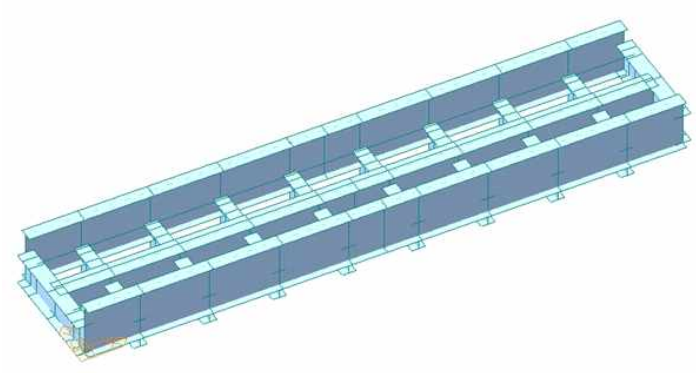
[그림 2.31] TYPE 3(L=7.0m) 평면도, 종단면도

라. 교량의 모델링

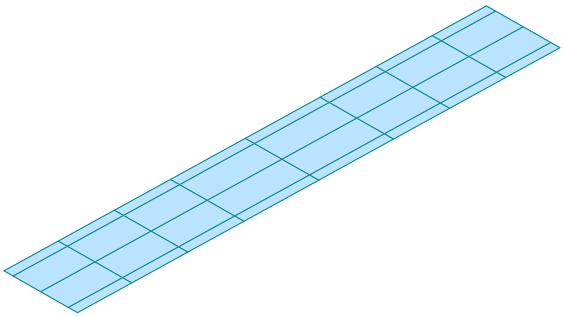
(1) 해석 모델

(가) 본 연구의 대상교량인 판형교에 대하여 철도하중에 의한 대상 구조물의 거동을 분석하기 위해서 실제 구조물과 가장 근접하게 3D모델링을 수행하였다. 구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2012 V1.0.0을 사용하였다.

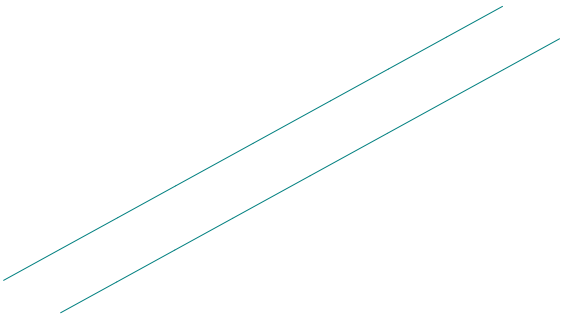
대상 교량의 모델링은 그림 2.46에서 보는 바와 같이 주형 및 가로보, 콘크리트 슬래브, 실제 하중을 재하하는 레일을 구분하여 모델링을 수행하였다. 각 부재의 물성치는 표 2.15과 같다.



(가) 주형 및 가로보



(나) 콘크리트 슬래브



(다) 레일

[그림 2.46] 판형교 철도교량 수치해석 모델

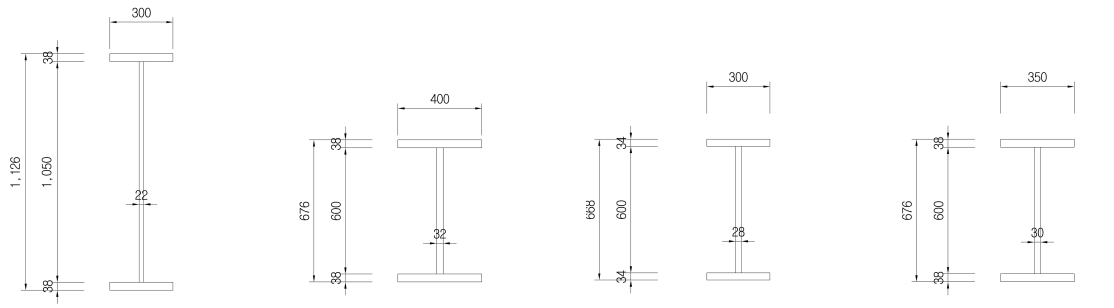
[표 2.15] 구조부재의 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	탄성계수(E, MPa)	비 고
레 일	78.5	200,000	
콘크리트 슬래브(궤도)	24.5	28,576	f_{ck} = 30MPa
강 재	78.5	200,000	강종 : SM520B

(2) 단면 계수

(가) TYPE 1(L=13.4m)

① 각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.47 및 표 2.16과 같다. 구조해석 시 강재의 자중은 수직보강재 등의 보강재 자중을 고려하려 강재중의 30%를 할증하여 해석을 시행하였다.



(가) 외측 거더　　(나) 중앙 거더　　(다) 일반부 가로보　　(라) 지점부 가로보

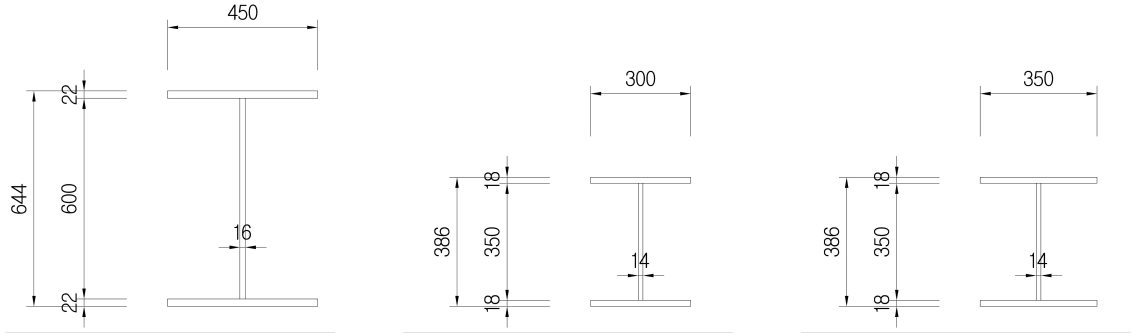
[그림 2.47] 주형 및 가로보 치수

[표 2.16] 각 단면의 단면계수

구 분		A(㎟)	Iyo(㎟)	y(㎜)	Ay2(㎟)	Iyc(㎟)
외측 거더	상부플랜지	11,400	1,371,800	544	3,373,670,400	3,375,042,200
	복 부 판	23,100	2,122,312,500	-	-	2,122,312,500
	하부플랜지	11,400	1,371,800	-544	3,373,670,400	3,375,042,200
	합 계	45,900	2,125,056,100	-	6,747,340,800	8,872,396,900
중앙 거더	상부플랜지	15,200	1,829,067	319	1,546,767,200	1,548,596,267
	복 부 판	19,200	576,000,000	-	-	576,000,000
	하부플랜지	15,200	1,829,067	-319	1,546,767,200	1,548,596,267
	합 계	49,600	579,658,133	-	3,093,534,400	3,673,192,533
일반부 가로보	상부플랜지	10,200	982,600	317	1,024,987,800	1,025,970,400
	복 부 판	16,800	504,000,000	-	-	504,000,000
	하부플랜지	10,200	982,600	-317	1,024,987,800	1,025,970,400
	합 계	37,200	505,965,200	-	2,049,975,600	2,555,940,800
지점부 가로보	상부플랜지	13,300	1,600,433	319	1,353,421,300	1,355,021,733
	복 부 판	18,000	540,000,000	0	0	540,000,000
	하부플랜지	13,300	1,600,433	-319	1,353,421,300	1,355,021,733
	합 계	44,600	543,200,867	0	2,706,842,600	3,250,043,467

(나) TYPE 2(L=10.14m)

① 각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 3.48 및 표 3.16과 같다. 구조해석 시 강재의 자중은 수직보강재 등의 보강재 자중을 고려하려 강재중의 30%를 할증하여 해석을 시행하였다.



(가) 거 더 (나) 일반부 가로보 (다) 지점부 가로보

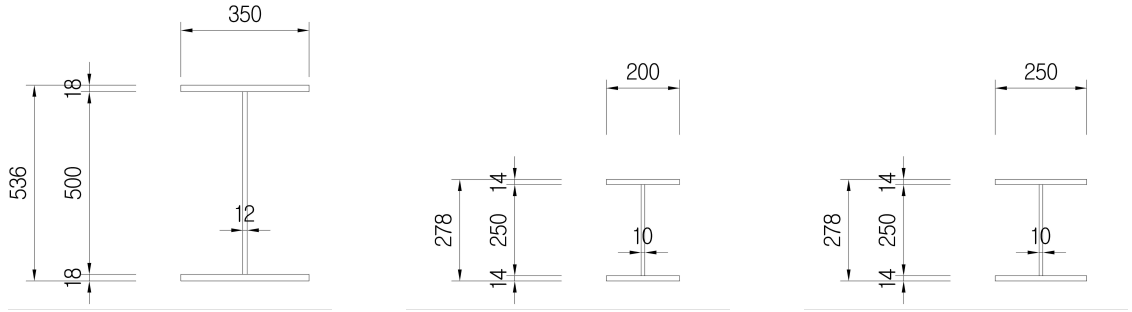
[그림 2.48] 주형 및 가로보 치수

[표 2.17] 각 단면의 단면계수

구 분		A(㎟2)	Ixo(㎟4)	y(㎜)	Ay2(㎟4)	Ixc(㎟4)
거 더	상부플랜지	9,900	399,300	311	957,537,900	957,937,200
	복 부 판	9,600	288,000,000	0	0	288,000,000
	하부플랜지	9,900	399,300	-311	957,537,900	957,937,200
	합 계	29,400	288,798,600	0	1,915,075,800	2,203,874,400
일반부 가로보	상부플랜지	5,400	145,800	184	182,822,400	182,968,200
	복 부 판	4,900	50,020,833	0	0	50,020,833
	하부플랜지	5,400	145,800	-184	182,822,400	182,968,200
	합 계	15,700	50,312,433	0	365,644,800	415,957,233
지점부 가로보	상부플랜지	6,300	170,100	184	213,292,800	213,462,900
	복 부 판	4,900	50,020,833	0	0	50,020,833
	하부플랜지	6,300	170,100	-184	213,292,800	213,462,900
	합 계	17,500	50,361,033	0	426,585,600	476,946,633

(다) TYPE 3(L=7.0m)

① 각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.49 및 표 2.18와 같다. 구조해석 시 강재의 자중은 수직보강재 등의 보강재 자중을 고려하려 강재중의 30%를 할증하여 해석을 시행하였다.



(가) 거 더 (나) 일반부 가로보 (다) 지점부 가로보

[그림 2.49] 주형 및 가로보 치수

[표 2.18] 각 단면의 단면계수

구 분		A(㎜2)	Ixo(㎜4)	y(㎜)	Ay2(㎜4)	Ixc(㎜4)
거 더	상부플랜지	6,300	170,100	259	422,610,300	422,780,400
	복 부 판	6,000	125,000,000	0	0	125,000,000
	하부플랜지	6,300	170,100	-259	422,610,300	422,780,400
	합 계	18,600	125,340,200	0	845,220,600	970,560,800
일반부 가로보	상부플랜지	2,800	45,733	132	48,787,200	48,832,933
	복 부 판	2,500	13,020,833	0	0	13,020,833
	하부플랜지	2,800	45,733	-132	48,787,200	48,832,933
	합 계	8,100	13,112,300	0	97,574,400	110,686,700
지점부 가로보	상부플랜지	3,500	57,167	132	60,984,000	61,041,167
	복 부 판	2,500	13,020,833	0	0	13,020,833
	하부플랜지	3,500	57,167	-132	60,984,000	61,041,167
	합 계	9,500	13,135,167	0	121,968,000	135,103,167

마. 하중 산정

(1) 해석 모델의 하중은 아래 표 2.19과 같이 산정하였다.

(가) 고정하중의 강재자중은 각종 보강재 중량을 고려하여 30% 할증하였다.

(나) 부가고정하중은 레일을 자중을 고려하였다.

(다) 활하중은 LS-22 표준활하중을 이동하중으로 재하하였다.

(라) 활하중에 의한 충격은 활하중 응력에 충격계수를 곱한 값으로 하였다.
(충격계수 I = 50-L2/48 = 46.53%)

(마) 장대레일 종하중은 1궤도당 12kN/m로 레일면상에 작용하는 것으로 고려하였다.

(바) 풍하중은 열차하중이 있을 때와 없을 때로 구분하여 재하하였다.

(사) 시동하중은 동륜하중의 25%를 재하하였다.

(아) 제동하중은 LS하중의 15%를 재하하였다.

(자) 시동하중 또는 제동하중은 레일면상 높이 2.0m높이에서 교축방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.

(차) 차량횡하중은 L하중의 1동륜축중의 15%의 값으로 1.5m간격으로 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다.

(카) 온도하중은 온도변화의 범위를 ±35℃로 고려하였다.

[표 2.19] 하중 산정

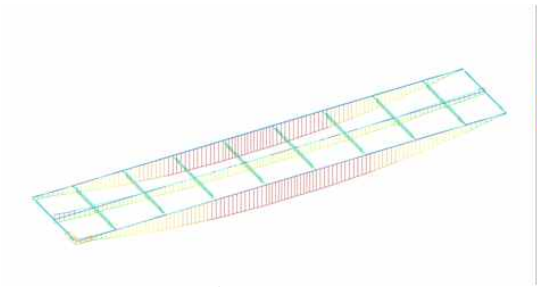
구 분	하 중 종 류	하 중 산 정
고 정 하 중	1. 강재자중	보강재를 고려하여 30%할증
	2. 슬래브 자중	콘크리트 자중
	3. 부가고정하중	레일 자중
활 하 중	4. 열차활하중	LS-22하중
	5. 활하중에 의한 충격	처짐검토시 미고려
장대레일 종하중	6. 장대레일 종하중	레일상면에 작용
풍 하 중	7. 열차가 없을 때	
	8. 열차가 있을 때	
시제동하중	9. 시동하중	동륜하중의 25%
	10. 제동항중	LS하중의 15%
차량횡하중	11. 열차횡하중	1동륜 축중의 15%
온도하중	12. 강재 온도차	±35℃

바. 구조해석 결과

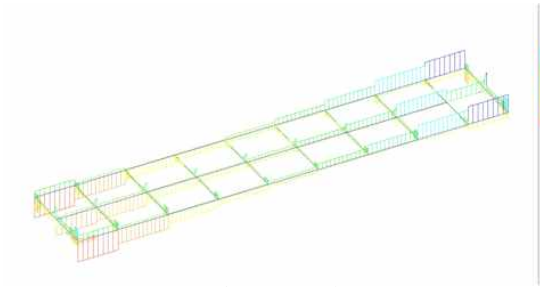
(1) 단면력 산정

(가) TYPE 1(L=13.4m)

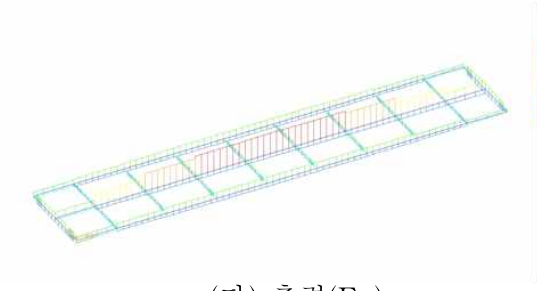
① 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.50 및 표 2.20과 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대값이 발생한다.



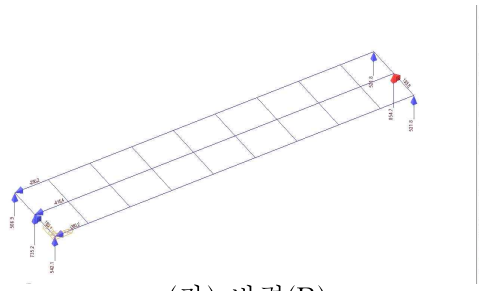
(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 축력(Fx)



(라) 반력(R)

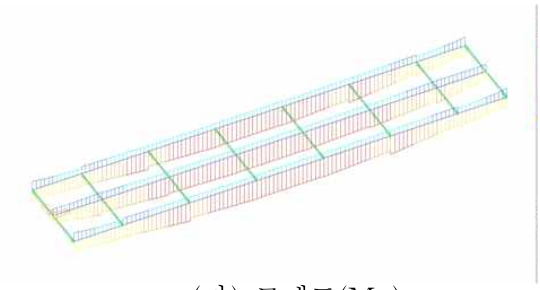
[그림 2.50] 구조해석

[표 2.20] 단면력 정리

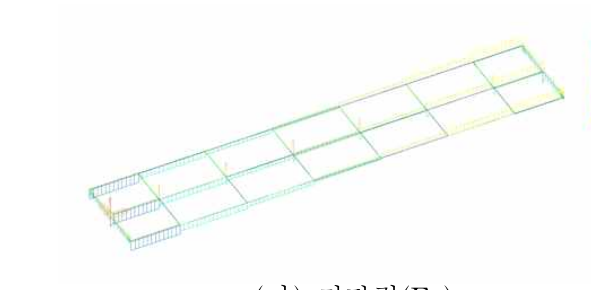
구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	864.990	83.280	1658.78
	Min	-301.67	-601.86	-101.10
중앙 거더	Max	2870.73	139.14	744.79
	Min	-272.52	-469.86	-420.57
일반부 가로보	Max	360.10	69.31	232.39
	Min	-268.94	0.17	-185.21
지점부 가로보	Max	747.95	123.48	142.37
	Min	-524.70	-82.31	-136.99

(나) TYPE 2(L=10.14m)

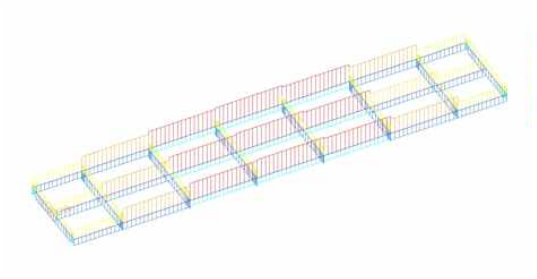
① 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.51 및 표 2.21와 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대값이 발생한다.



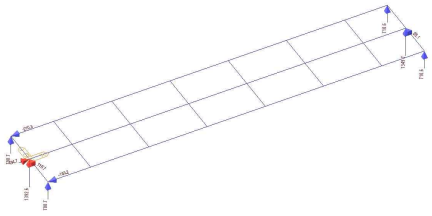
(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 축력(Fx)



(라) 반력(R)

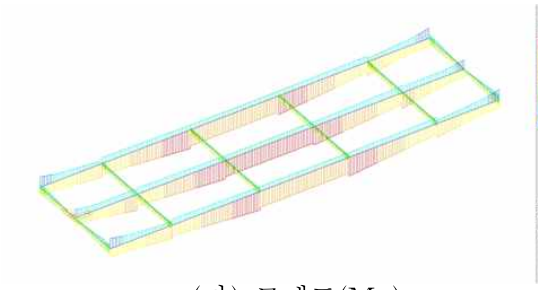
[그림 2.51] 구조해석

[표 2.21] 단면력 정리

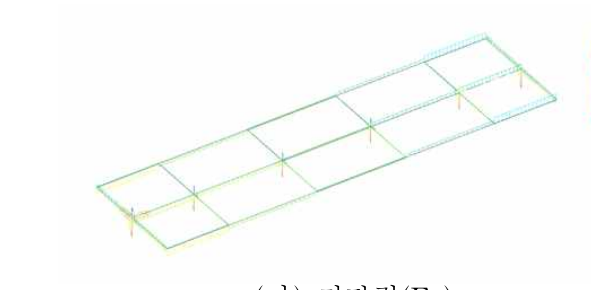
구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	1644.76	27.99	481.27
	Min	-610.79	-6.16	-234.91
중앙 거더	Max	1666.27	37.23	481.54
	Min	-658.48	-191.51	-193.47
일반부 가로보	Max	716.51	9.09	56.95
	Min	-708.77	-0.19	-31.65
지점부 가로보	Max	613.44	72.05	84.45
	Min	-632.13	-72.83	-54.12

(다) TYPE 3(L=7.0m)

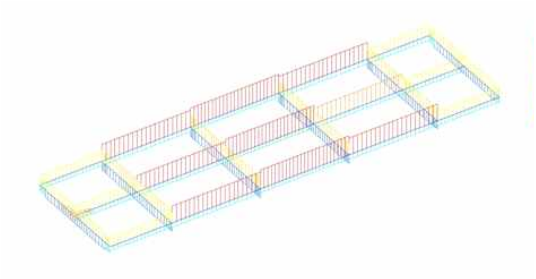
① 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.52 및 표 2.22과 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대값이 발생한다.



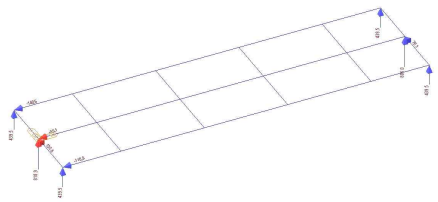
(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 축력(Fx)



(라) 반력(R)

[그림 2.52] 구조해석

[표 2.22] 단면력 정리

구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	794.99	52.71	177.76
	Min	-226.18	-3.03	-98.16
중앙 거더	Max	789.73	3.18	174.04
	Min	-214.78	11.7	-91.23
일반부 가로보	Max	405.57	162.51	10.81
	Min	-275.89	-2.99	-1.34
지점부 가로보	Max	361.20	15.68	17.60
	Min	-246.73	-21.25	-9.58

(2) 단면 검토

(가) 허용응력 산정

① 기본허용응력

㉮ 구조용 강재 및 용접부에 대한 기본허용응력은 표 2.23에 제시한 값으로 한다. 본 연구대상인 하로판형교의 강재는 강종 SM520을 사용하였으며, 주형의 경우 상·하부플랜지의 두께가 40mm이하이므로 허용응력은 인장·압축응력이 215MPa, 전단응력이 120MPa이고, 가로보의 경우 판의 두께가 40mm이하이므로 기본 허용응력은 인장·압축응력이 215MPa, 전단응력이 120MPa이다.

[표 2.23] 기본허용응력(철도설계기준 P.9-24)

(단위 : MPa)

강 종 / 응력종류, 판두께		SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM 490 Y SM 520 SMA 490	SM 570 SMA 570
허용축인장응력 허용휨인장응력	40이하	140	190	215	270
	40 초과 75 이하	130	175	200	260
	75 초과 100 이하			195	250
허용축압축응력 허용휨압축응력	40이하	140	190	215	270
	40 초과 75 이하	130	175	200	260
	75 초과 100 이하			195	250
허용전단응력	40이하	80	105	120	155
	40 초과 75 이하	75	100	115	145
	75 초과 100 이하			110	145
허용지압응력	40이하	210	285	320	405
	40 초과 75 이하	195	265	300	385
	75 초과 100 이하			295	380

② 강재의 좌굴 허용응력

㉮ 허용좌굴응력은 표 2.24에 제시한 값으로 한다.

[표 2.24] 강재의 허용좌굴응력(철도설계기준 P.9-26)

(a) 축방향 압축응력(총단면적 기준)

(단위 : MPa)

강 종 / 판 두께		SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM 490 Y SM 520 SMA 490	SM 570 SMA 570
축방향 압축응력	40MM 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 9$ 140 $9<\frac{l}{r}\leq 130$ $140-0.80(\frac{l}{r}-9)$ $\frac{l}{r}>130$ $740{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 190 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $190-1.26(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $740{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 215 $7.5<\frac{l}{r}\leq 105$ $215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>105$ $740{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 270 $10<\frac{l}{r}\leq 95$ $270-2.14(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $740{,}000/(\frac{l}{r})2$
	40MM 초과 75MM 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 10$ 130 $10<\frac{l}{r}\leq 135$ $130-0.72(\frac{l}{r}-10)$ $\frac{l}{r}>135$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 175 $8<\frac{l}{r}\leq 115$ $175-1.12(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>115$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 200 $7.5<\frac{l}{r}\leq 110$ $200-1.36(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 260 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $260-2.04(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$
	75MM 초과 100MM 이하			$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 195 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $195-1.32(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 250 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $250-1.92(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/(\frac{l}{r})2$

[표 2.25] 강재의 허용좌굴응력(철도설계기준 P.9-26)(계속)

(a) 축방향 압축응력(총단면적 기준)

(단위 : MPa)

<table>
<tr><td>강 종
판 두께</td><td>SS 400
SM 400
SMA 400</td><td>SM 490
SM 490 C-TMC</td><td>SM490 Y
SM 520
SMA 490</td><td>SM 570
SMA 570</td></tr>
<tr><td rowspan="3">휨
압
축
응
력</td><td colspan="4">(1) 강축에 대한 휨
축방향 압축응력의 세장비($\frac{l}{r}$) 대신에 다음식으로 표시한 등가세장비
($\frac{l}{r}$)e를 사용한다.
$\left(\frac{l}{r}\right)_e = F\frac{l}{b^*}$
여기서, I형 단면의 경우 $F = \sqrt{12+2\beta/\alpha}$
박스거더단면의 경우
$\beta<\beta o$: F = 0
$\beta o \le \beta < 1$: $F = \frac{1.05(\beta-\beta_o)}{1-\beta_o}\sqrt{3\alpha+1}\sqrt{b/l}$
$1 \le \beta < 2$: $F = 0.74\sqrt{(3\alpha+\beta)(\beta+1)}\sqrt{b/l}$
$2 \le \beta$: $F = 1.28\sqrt{3\alpha+\beta}\sqrt{b/l}$
$\beta_o = \frac{14+12a}{5+21a}$
U형단면의 경우 $F = 1.1\sqrt{12+2\beta/\alpha}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">(2) 약축에 대한 휨</td></tr>
<tr><td>140</td><td>190</td><td>215</td><td>270</td></tr>
</table>

③ 허용응력 산정

㉮ 앞에서의 표 2.24와 표 2.25에 의해 주형과 가로보의 허용응력을 계산하면 다음 표 2.26과 같다. 최대 단면력은 하중조합1(주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향)의 조합으로 이루어진 하중조합에서 최대값이 발생하므로 허용응력증가계수는 1.15를 사용하였다.

[표 2.26] 허용응력산정

구 분			등가세장비 (l/r)e	허용응력 (MPa)	허용응력 증가계수	적용허용응력 (MPa)	비 고
TYPE 1	외측거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	20.033	196.1	1.15	225.5	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	중앙거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	14.293	204.7	1.15	235.4	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	일반부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	15.643	202.7	1.15	233.1	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	지점부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	13.148	206.5	1.15	237.5	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
TYPE 2	거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	12.445	207.5	1.15	238.6	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	일반부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	11.150	209.5	1.15	240.9	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	지점부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	9.467	212.0	1.15	243.8	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
TYPE 3	거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	15.981	202.2	1.15	232.5	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	일반부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	16.708	201.1	1.15	231.3	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	지점부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	13.192	206.4	1.15	237.4	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	

(3) 응력검토

(가) TYPE 1(L=13.4m)

① 응력검토 요약

거더 및 가로보의 응력검토 결과는 표 2.27과 같다. 표에서 보는바와 같이 주형과 가로보에 발생하는 응력은 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, 합성응력 검토 결과도 1.1보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.27] 거더 및 가로보의 응력검토 결과

구 분	허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
				Max	Min	Max	Min	Max	Min	
외 측 거 더	247.3	225.5	138.0	124.103	-86.413	3.605	-26.055	0.503	0.197	O.K
중 앙 거 더	247.3	235.4	138.0	126.411	-44.194	7.247	-24.472	0.514	0.258	O.K
일반부 가로보	247.3	233.1	138.0	40.048	-31.432	4.126	0.010	0.165	0.135	O.K
지점부 가로보	247.3	237.5	138.0	31.576	-26.011	6.860	-4.573	0.137	0.114	O.K

(나) TYPE 2(L=10.14m)

① 응력검토 요약

거더 및 가로보의 응력검토 결과는 표 2.28과 같다. 표에서 보는바와 같이 주형과 가로보에 발생하는 응력은 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, 합성응력 검토 결과도 1.1보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.28] 거더 및 가로보의 응력검토 결과

구 분	허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
				Max	Min	Max	Min	Max	Min	
외 측 거 더	247.3	238.6	138.0	126.261	-55.097	2.916	-0.642	0.511	0.231	O.K
중 앙 거 더	247.3	238.6	138.0	127.032	-50.665	3.878	-19.949	0.515	0.257	O.K
일반부 가로보	247.3	240.9	138.0	72.062	-59.830	1.855	-0.039	0.292	0.248	O.K
지점부 가로보	247.3	243.8	138.0	69.227	-58.022	14.704	-14.863	0.300	0.261	O.K

(다) TYPE 3(L=7.0m)

① 응력검토 요약

거더 및 가로보의 응력검토 결과는 표 2.29과 같다. 표에서 보는바와 같이 주형과 가로보에 발생하는 응력은 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, 합성응력 검토 결과도 1.1보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.29] 거더 및 가로보의 응력검토 결과

구 분	허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
				Max	Min	Max	Min	Max	Min	
외 측 거 더	247.3	232.5	138.0	91.825	-39.264	8.785	-0.505	0.377	0.169	O.K
중 앙 거 더	247.3	232.5	138.0	90.517	-36.739	0.530	1.950	0.366	0.159	O.K
일반부 가로보	247.3	231.3	138.0	63.646	-35.743	65.004	-1.196	0.537	0.155	O.K
지점부 가로보	247.3	237.4	138.0	56.129	-35.828	6.272	-8.500	0.232	0.163	O.K

(4) 피로검토

(가) 일반사항

① 피로검토는 인장응력 또는 교번응력이 발생하는 부위에서 피로검토를 수행한다.

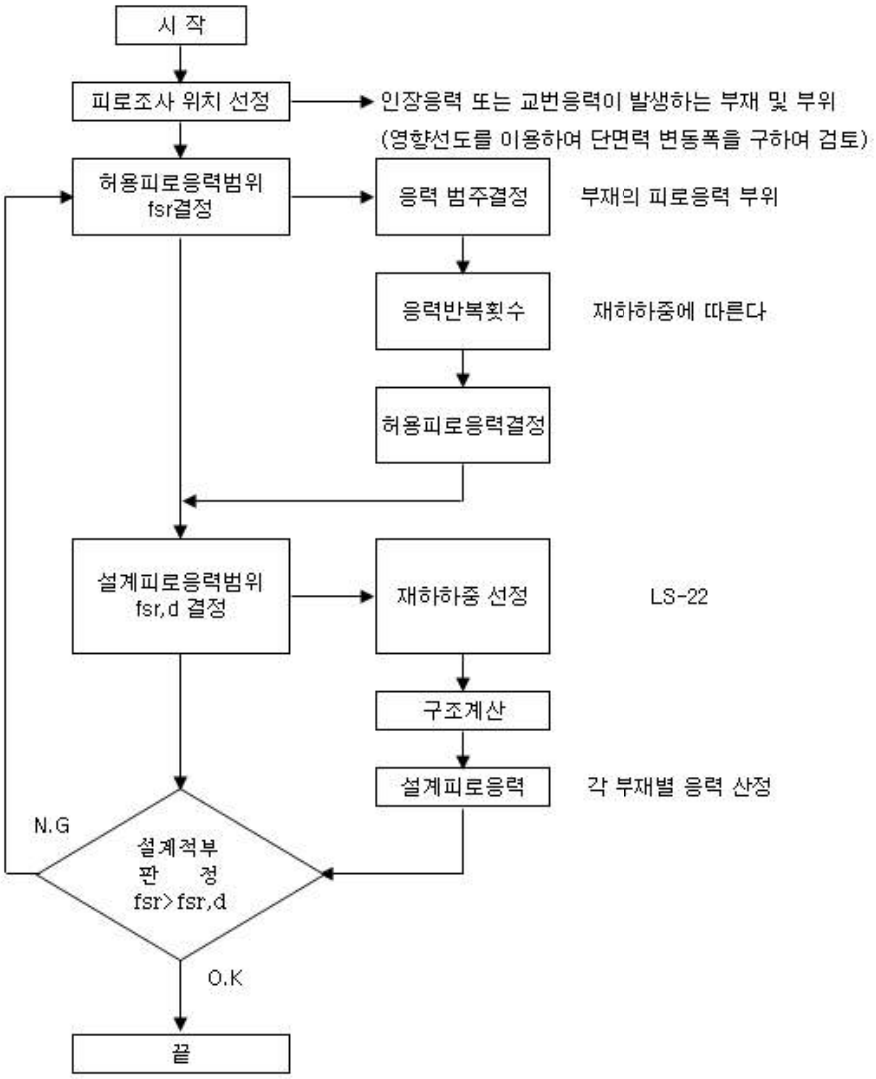
② 압축응력만이 발생하는 부위는 피로검토를 수행할 필요가 없다.

③ 주형과 같이 동종의 용접부가 연속되어 있는 경우, 또는 동일한 상세가 여러 곳에서 사용되는 응력범위가 최대로 발생하는 위치에서 피로검토를 수행한다.

④ 피로설계에 적용되는 충격하중은 다음의 비율로 조정한다.

(L ≤ 9.0m : 100%, L > 9.0m : 65%)

⑤ 피로설계를 위한 활하중은 단선재하 시로 검토한다.



[그림 2.53] 피로검토 순서도

(나) TYPE 1(L=13.4m)

① 외측 거더의 피로검토

㉮ 외측 거더의 피로상세범주 : "B", 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.30] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	83.42	1035.76
	Min	0.00	-2.29

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -63.907MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 67.542MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.145MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.145MPa

㈏ 피로검토 결과

[표 2.31] 외측 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
외측 거더	-63.907	0.145	64.052	67.542	-0.145	67.687	112MPa	O.K

② 중앙 거더의 피로검토

㉮ 중앙 거더의 피로상세범주 : “B″, 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.32] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
중앙 거더	Max	1289.70	450.17
	Min	0.00	-58.08

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -15.422MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 67.426MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 5.344MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -5.344MPa

㈏ 피로검토 결과

[표 2.33] 중앙 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
중앙 거더	-15.422	5.344	20.766	67.426	-5.344	72.770	112MPa	O.K

③ 일반부 가로보의 피로검토

㉮ 일반부 가로보의 피로상세범주 : “C″, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.34] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
일반부 가로보	Max	108.45	35.56
	Min	-0.15	-16.92

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.267MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 6.130MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 1.756MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.763MPaㅊ

㉯ 응력검토 결과

[표 2.35] 일반부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
일반부 가로보	-1.267	1.756	3.023	6.130	-1.763	7.893	70MPa	O.K

④ 지점부 가로보의 피로검토

㉮ 지점부 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.36] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
지점부 가로보	Max	2.66	12.05
	Min	-10.26	-0.90

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.194MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 1.313MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.136MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.324MPa

㉯ 응력검토 결과

[표 2.37] 지점부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
지점부 가로보	-1.194	-0.136	1.330	1.313	-0.324	1.636	70MPa	O.K

(다) TYPE 2(L=10.14m)

① 외측 거더의 피로검토

㉮ 외측 거더의 피로상세범주 : “B”, 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.38] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	816.09	175.70
	Min	0.00	-28.37

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 2.087MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 53.429MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 4.145MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -4.145MPa

㈏ 피로검토 결과

[표 2.39] 외측 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
외측 거더	2.087	4.145	2.058	53.429	-4.145	57.574	112MPa	O.K

② 중앙 거더의 피로검토

㈎ 중앙 거더의 피로상세범주 : “B″, 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.40] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
중앙 거더	Max	852.29	178.29
	Min	0.00	-28.49

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 2.940MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 55.039MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 4.163MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -4.163MPa

㈏ 피로검토 결과

[표 2.41] 중앙 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
중앙 거더	2.940	4.163	1.222	55.039	-4.163	59.201	112MPa	O.K

③ 일반부 가로보의 피로검토

㉮ 일반부 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.42] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
일반부 가로보	Max	50.26	5.35
	Min	-10.95	-3.58

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.707MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 5.037MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.823MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -2.074MPa

㉯ 응력검토 결과

[표 2.43] 일반부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
일반부 가로보	0.707	0.823	1.530	5.037	-2.074	7.111	70MPa	O.K

④ 지점부 가로보의 피로검토

㉮ 지점부 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.44] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
지점부 가로보	Max	15.74	3.11
	Min	-0.30	-1.06

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.359MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 2.158MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.412MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.446MPa

㉯ 응력검토 결과

[표 2.45] 지점부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
지점부 가로보	-0.359	0.412	0.771	2.158	-0.446	2.604	70MPa	O.K

(라) TYPE 3(L=7.0m)

① 외측 거더의 피로검토

㉮ 외측 거더의 피로상세범주 : “B”, 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.46] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	370.96	85.51
	Min	0.00	-19.47

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -3.668MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 43.556MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 5.376MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -5.376MPa

㉯ 피로검토 결과

[표 2.47] 외측 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
외측 거더	-3.668	5.376	9.044	43.556	-5.376	48.932	112MPa	O.K

② 중앙 거더의 피로검토

㉮ 중앙 거더의 피로상세범주 : “B”, 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.48] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
중앙 거더	Max	478.97	67.23
	Min	0.00	-24.40

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 7.187MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 44.315MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 6.738MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -6.738MPa

㈏ 피로검토 결과

[표 2.49] 중앙 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
중앙 거더	7.187	6.738	0.449	44.315	-6.738	51.053	112MPa	O.K

③ 일반부 가로보의 피로검토

㉮ 일반부 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.50] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
일반부 가로보	Max	27.83	2.80
	Min	-7.33	-0.89

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.049MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 5.810MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.144MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.687MPa

㈏ 응력검토 결과

[표 2.51] 일반부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
일반부 가로보	0.049	0.144	0.193	5.810	-1.687	7.497	70MPa	O.K

④ 지점부 가로보의 피로검토

㉮ 지점부 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.52] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN · m)
지점부 가로보	Max	14.68	1.39
	Min	-5.41	-0.74

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.115MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 2.975MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.192MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.331MPa

㈏ 응력검토 결과

[표 2.53] 지점부 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	fR	Max	Min	fR		
지점부 가로보	0.115	0.192	0.307	2.975	-1.331	4.306	70MPa	O.K

(5) 처짐 검토

(가) 교량의 연직처짐

① 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감평가에 대해 가각 표 2.54와 같이 적용한다.

[표 2.54] 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중 + 충격계수(복선 이상 재하)
승 차 감	1. 표준열차하중 + 충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선재하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

② 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 아래 식의 값으로 제한해야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600}$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하궤도수는 표 2.55를 따른다.

[표 2.55] 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중 재하궤도수

궤도수		
1	2	3이 상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)

③ 승객의 승차감 만족을 위한 실 운행열차하중 동적해석에 의한 최대 연직처짐은 표 3.55의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대값 중 불리한 값을 적용한다.

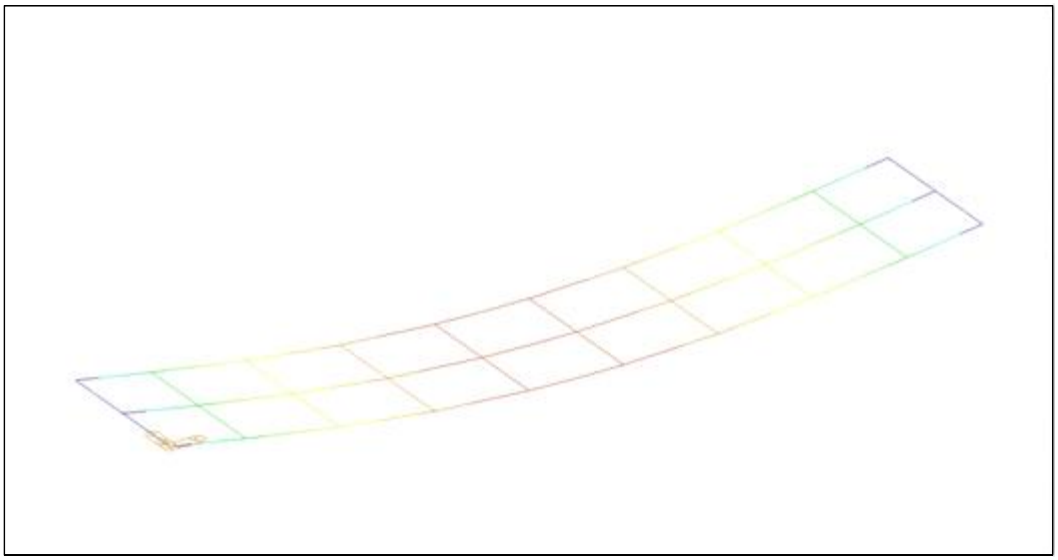
[표 2.56] 최대연직처짐 제한(승차감='매우양호')

설계속도 (V)(km/h)	거더 또는 부재의 경간(m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270 < V ≤ 350	L/1500	L/1500	L/1600	L/1750	L/1900	L/2100	L/2200	L/2350	L/2500	L/2200	L/1900
200 < V ≤ 270	L/1300	L/1400	L/1500	L/1600	L/1700	L/1900	L/2000	L/2100	L/2000	L/1700	L/1400
V ≤ 200	L/1100	L/1200	L/1300	L/1500	L/1500	L/1400	L/1300	L/1200	L/1500	L/800	L/600

(나) TYPE 1(L=13.4m)

① 거더의 처짐 형상

㉮ TYPE 1(L=13.4m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.54과 같다. TYPE 1 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.



[그림 2.54] TYPE 1(L=13.4m) 거더의 처짐 형상

② 처짐 검토 결과

㉮ 본 연구의 대상교량의 지간길이는 12.9m이므로 허용처짐량은 11.727mm(L/1100)이다. 해석결과 발생처짐량은 11.014mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

[표 2.57] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	12.900	11.727	11.014	O.K

(다) TYPE 2(L=10.14m)

① 거더의 처짐 형상

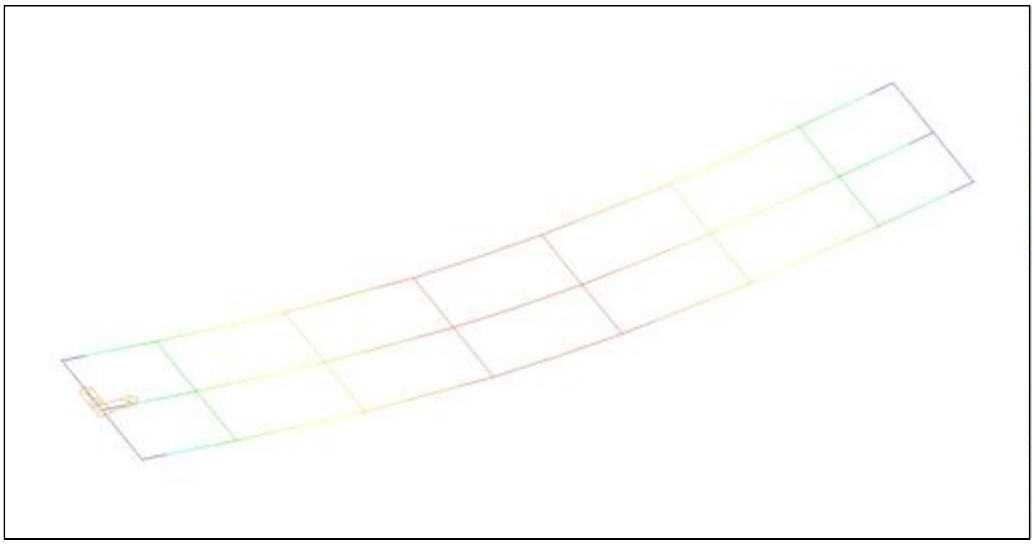
㉮ TYPE 2(L=10.14m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.55와 같다. TYPE 2 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.

② 처짐 검토 결과

㉮ 본 연구의 대상교량의 지간길이는 9.70m이므로 허용처짐량은 8.818mm(L/1100)이다. 해석결과 발생처짐량은 4.073mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

[표 2.58] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	9.700	8.818	4.073	O.K

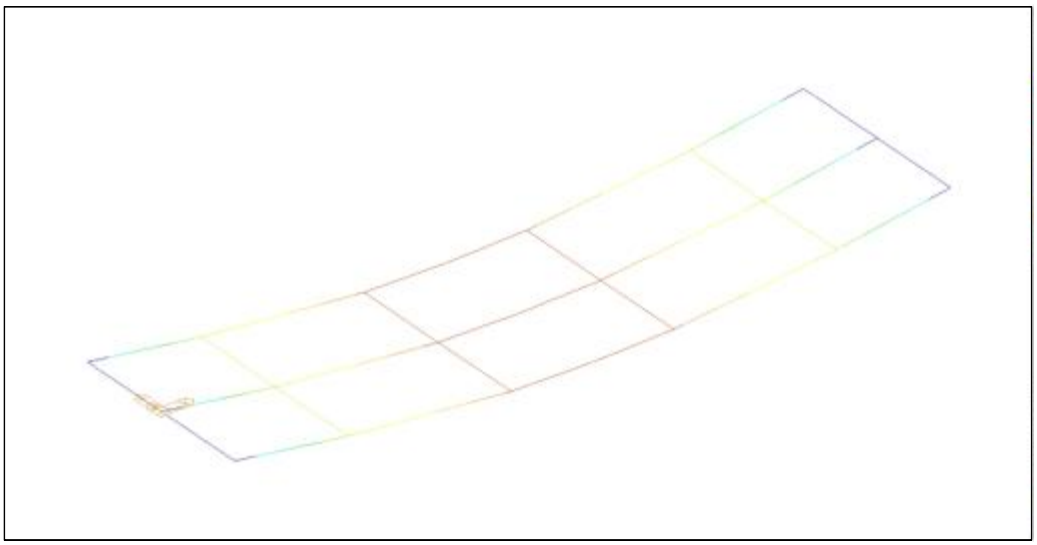


[그림 2.55] TYPE 2(L=10.14m) 거더의 처짐 형상

(라) TYPE 3(L=7.0m)

① 거더의 처짐 형상

㉮ TYPE 3(L=7.0m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.56와 같다. TYPE 3 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.



[그림 2.56] TYPE 3(L=7.0m) 거더의 처짐 형상

② 처짐 검토 결과

㉮ 본 연구의 대상교량의 지간길이는 6.6m이므로 허용처짐량은 6.000mm(L/1100)이다. 해석결과 발생처짐량은 1.860mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

[표 2.59] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	6.600	6.000	1.860	O.K

(6) 검토 결과

(가) 위에서 살펴본 바와 같이 본 연구의 특성상 발생하는 교량단면제원의 제약조건을 만족하는 단면을 선정하고 구조해석을 실시한 결과는 아래 표 2.60~2.62과 같다. 표에서 보듯이 부재의 응력 검토 결과 발생하는 응력이 모두 허용응력을 넘어서지 않으며, 피로 검토 결과 허용피로응력의 범위를 넘지 않는 것을 확인하였다. 또한, 처짐 검토 결과 주형의 허용처짐 값을 만족시키는 것으로 나타났다.

(나) 본 연구대상의 판형교 단면은 철도설계기준에서 제시하는 허용응력, 허용피로응력, 허용처짐 값을 초과하지 않으며 차량운반 제한조건 내 단면의 폭과 높이, 총중량의 제약조건을 만족시키면서 구조적으로 안정성을 확보하는 것으로 판단된다.

[표 2.60] 응력검토 결과

구 분		허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	
TYPE 1	외측 거더	247.3	225.5	138.0	124.103	-86.413	3.605	-26.055	0.503	0.197	O.K
	중앙 거더	247.3	235.4	138.0	126.411	-44.194	7.247	-24.472	0.514	0.258	O.K
	일반부 가로보	247.3	233.1	138.0	40.048	-31.432	4.126	0.010	0.165	0.135	O.K
	지점부 가로보	247.3	237.5	138.0	31.576	-26.011	6.860	-4.573	0.137	0.114	O.K
TYPE 2	외측 거더	247.3	238.6	138.0	126.261	-55.097	2.916	-0.642	0.511	0.231	O.K
	중앙 거더	247.3	238.6	138.0	127.032	-50.665	3.878	-19.949	0.515	0.257	O.K
	일반부 가로보	247.3	240.9	138.0	72.062	-59.830	1.855	-0.039	0.292	0.248	O.K
	지점부 가로보	247.3	243.8	138.0	69.227	-58.022	14.704	-14.863	0.300	0.261	O.K

[표 2.61] 응력검토 결과(계속)

구 분		허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	
TYPE 3	외측 거더	247.3	232.5	138.0	91.825	-39.264	8.785	-0.505	0.377	0.169	O.K
	중앙 거더	247.3	232.5	138.0	90.517	-36.739	0.530	1.950	0.366	0.159	O.K
	일반부 가로보	247.3	231.3	138.0	63.646	-35.743	65.004	-1.196	0.537	0.155	O.K
	지점부 가로보	247.3	237.4	138.0	56.129	-35.828	6.272	-8.500	0.232	0.163	O.K

[표 2.62] 피로검토 결과

부 재		상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
		Max	Min	fR	Max	Min	fR		
TYPE 1	외측 거더	-63.907	0.145	64.052	67.542	-0.145	67.687	112MPa	O.K
	중앙 거더	-15.422	5.344	20.766	67.426	-5.344	72.770	112MPa	O.K
	일반부 가로보	-1.267	1.756	3.023	6.130	-1.763	7.893	70MPa	O.K
	지점부 가로보	-1.194	-0.136	1.330	1.313	-0.324	1.636	70MPa	O.K
TYPE 2	외측 거더	2.087	4.145	2.058	53.429	-4.145	57.574	112MPa	O.K
	중앙 거더	2.940	4.163	1.222	55.039	-4.163	59.201	112MPa	O.K
	일반부 가로보	0.707	0.823	1.530	5.037	-2.074	7.111	70MPa	O.K
	지점부 가로보	-0.359	0.412	0.771	2.158	-0.446	2.604	70MPa	O.K

[표 2.63] 피로검토 결과(계속)

부 재		상부플랜지			하부플랜지			허용 피로응력	검 토
		Max	Min	fR	Max	Min	fR		
TYPE 3	외측 거더	-3.668	5.376	9.044	43.556	-5.376	48.932	112MPa	O.K
	중앙 거더	7.187	6.738	0.449	44.315	-6.738	51.053	112MPa	O.K
	일반부 가로보	0.049	0.144	0.193	5.810	-1.687	7.497	70MPa	O.K
	지점부 가로보	0.115	0.192	0.307	2.975	-1.331	4.306	70MPa	O.K

[표 2.64] 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
TYPE 1	12.900	16.125	12.585	O.K
TYPE 2	9.700	8.818	4.073	O.K
TYPE 3	6.600	6.000	1.860	O.K

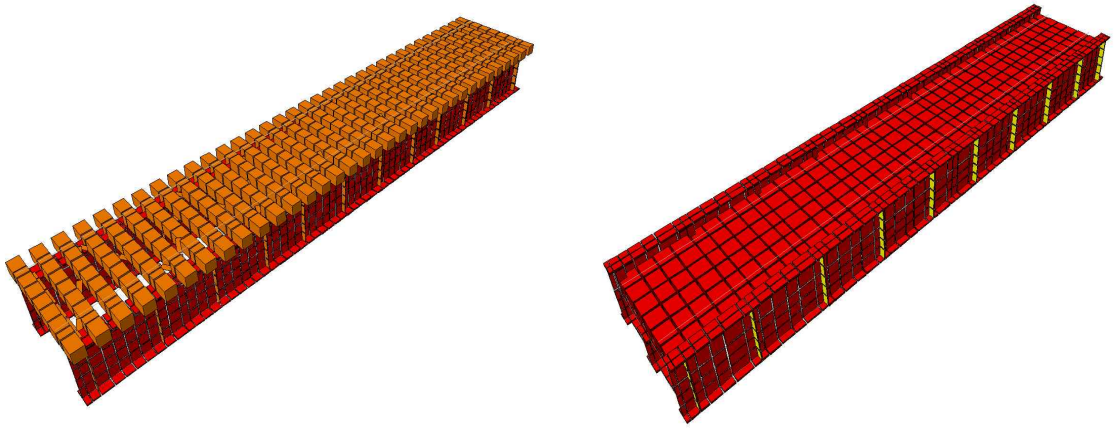
사. 설계된 상부구조 동적안정성 검토

(1) 평가 목적 및 필요성

(가) 다양한 열차 주행조건에 따른 판형교의 거동을 동적 수치해석을 통해 모사하여 검토함으로써 열차하중 운행에 철도 판형교 급속교체용 상부구조의 동적안정성을 평가한다.

(2) 해석적 평가방법

(가) 해석대상 : 기존 12m형 판형교와 12m형 급속교체 판형교



(a) 기존 판형교 (b) 급속교체형 판형교

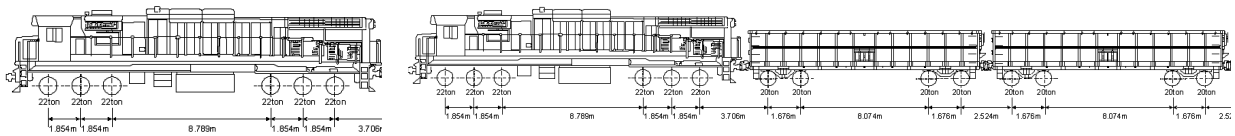
[그림 2.57] 판형교 모델링

(나) 분석목적 : 해석대상 교량 2가지 형태에 대한 동적특성 분석 및 속도별 동적응답(경간

중앙 수직변위, 경간중앙 수직가속도) 비교

(다) 해석방법 : Moving Force analysis, Mode Analysis (3D Shell 요소모델링)

(라) 대상차량 : KTX고속열차, 화물열차 등 실 운행하중



[그림 2.58] 대상차량 편성 예 - 디젤2량 견인 화물열차

(마) 해석속도 : 10-200km/hr (10km/hr 간격)

(바) 해석 결과

① 해석대상 교량의 설계하중 및 사하중에 의한 처짐 비교

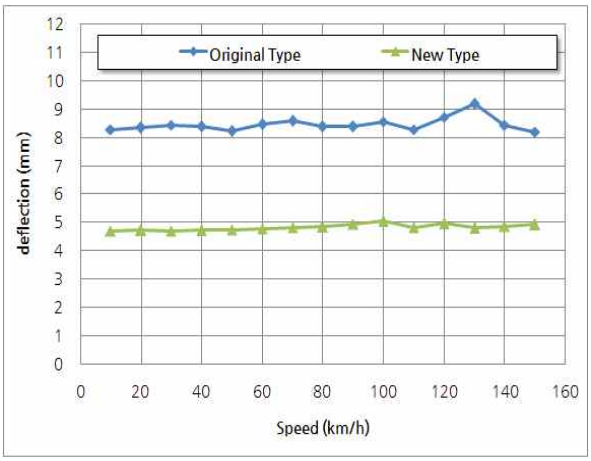
항목	Original	New	변화율(%)
설계하중 처짐(mm)	10.93	6.29	-42.45
사하중 처짐(mm)	0.9548	1.83	91.66

② 고유진동수 비교

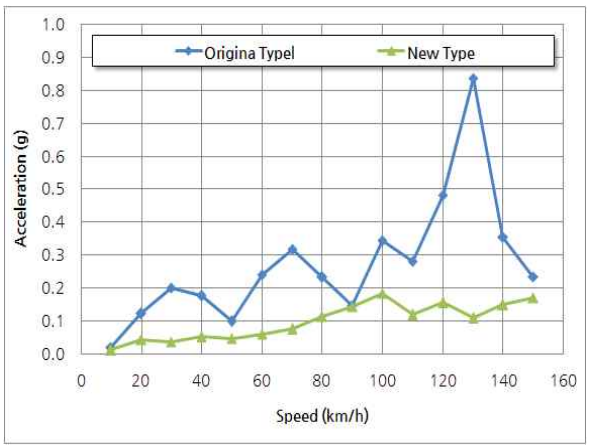
Mode	Original		New	
1	13.61	횡1	12.79	휨1
2	17.42	휨1	20.83	횡1
3	30.77	횡2	44.64	비틀림
4	32.68	비틀림	49.75	휨2
5	50.76	휨2	53.48	횡2

③ 속도대역별 동적응답(진동가속도, 변위 등) 분석 비교

속도(km/hr)	Original		New	
	처짐(mm)	가속도(G)	처짐(mm)	가속도(G)
10	8.27	0.02	4.71	0.01
20	8.33	0.12	4.72	0.04
30	8.43	0.20	4.71	0.04
40	8.37	0.18	4.72	0.05
50	8.21	0.10	4.73	0.05
60	8.45	0.24	4.77	0.06
70	8.57	0.32	4.83	0.08
80	8.38	0.23	4.84	0.12
90	8.38	0.15	4.95	0.15
100	8.56	0.34	5.04	0.18
110	8.28	0.28	4.83	0.12
120	8.71	0.48	4.96	0.16
130	9.18	0.84	4.80	0.11
140	8.42	0.36	4.87	0.15
150	8.19	0.23	4.92	0.17



(a) 경간중앙 수직처짐



(b) 경간중앙 수직진동가속도

[그림 2.59] 속도별 동적응답 검토

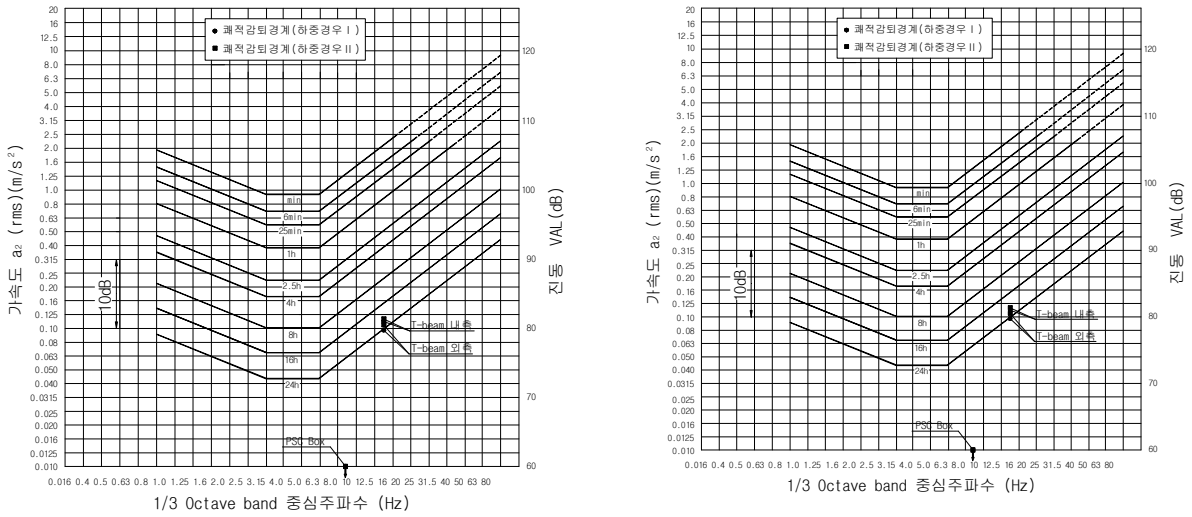
④소음 규정 비교 (ISO 평가 기준에 의거 VAL(Vibration Acceleration Level(dB)) 적용)

$$VAL = 20\log(\frac{a}{a_0}) \ [dB]$$

여기서, a_0 : 기준 진동가속도($10^{-5}m/s^2$)

a : 측정점의 진동가속도 실효값(rms : m/s^2)

구 분	하중경우	고유진동수 (Hz)	보정치 (dB)	진동가속도레벨 (VAL/dB)	진동레벨 (VL/dB)
기존판형교	하중경우(I)	15.3	-5.3	80.9	75.6
	하중 경우(II)			81.6	76.3
NEW 판형교	하중경우(I)	11.0	-1.0	57.7	56.7
	하중 경우(II)			58.0	57.0



[그림 2.60] ISO 평가 기준

(사) 분석 종합

① 주형의 강성증가와 콘크리트 도상으로 인한 질량 증가로 기존 판형교에 비해 휨고유진동수 대폭 저하된다.

② 개발된 급속교체형 판형교는 사하중이 2배 가까이 증가함에 따라 사하중 처짐이 증가하였으나 대폭적인 강성증가로 인해 설계활하중에 대한 처짐은 42% 저감된다.

③ 기존 및 신규 판형교 모두 고유진동수가 높은 판형교의 특성으로 공진현상이 발생되지 않는다.

※ 고속철도의 경우 3-4Hz의 고유진동수를 갖는 교량에서 주행속도에 따라 공진이 발생될 수 있다.

④ 기존 판형교의 경우 저질량 고강성의 판형교 특성으로 인해 발생되는 높은 진동가속도 발생된다. 그러나 급속교체형 판형교는 주형의 보강으로 강성이 증가하나 콘크리트 도상의 적용으로 인해 질량 또한 대폭적으로 증가함에 따라 해석속도 내에서 기존 판형교에 비해 안정적인 거동을 나타낸다.

2. 성능이 향상된 콘크리트 교량 상부구조 설계

가. 개요

본 연구는 기존 노후 된 판형교를 특수제작 된 철도차량을 이용하여 급속교체가 가능하도록 하는 연구이다. 이를 위해서 철도하중에 대한 안정성을 확보하고 제작이 용이하며 차량으로 적재가 가능한 철도교량 상부구조 형식을 개발할 필요가 있다. 따라서 차량을 이용하여 적재 및 이동이 가능하도록 교량의 폭, 높이와 총 중량 등의 제약조건을 만족하는 교량단면을 산정하고 그 단면의 안정성을 확보하기 위해 구조해석을 수행하였다.

구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2012 V1.0.0.1을 사용하였다. 교량의 수치모델은 주형 및 가로보는 3차원 보요소를 사용하였고 콘크리트 도상 및 궤도, 레일은 고정하중으로 산정하여 재하하였고 열차활하중은 LS-22표준활하중을 사용하였다.

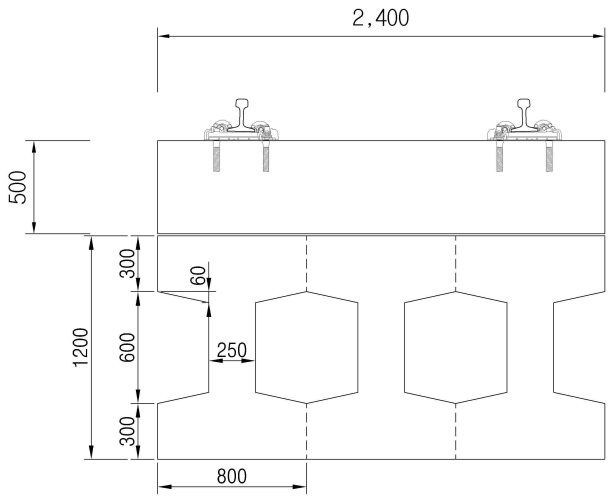
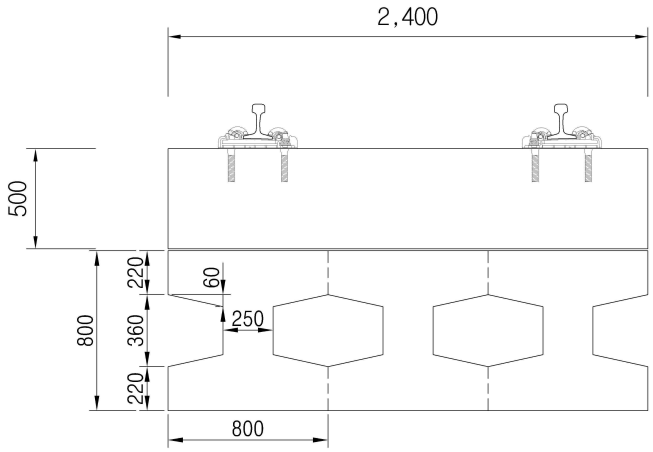
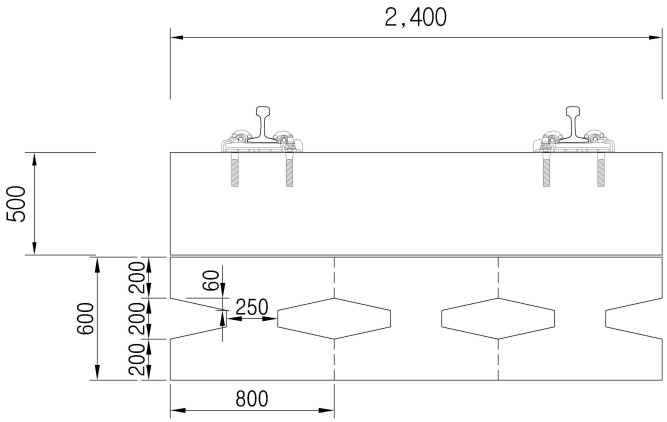
나. 대상교량 선정

본 연구에서는 기존 판형교를 교체하는 대표적인 지간장 3가지의 대상교량을 아래 표 2.65과 같이 선정하여 구조해석을 실시하였다. TYPE 1의 경우 교량연장은 13.4m로 연구대상교량 중 가장 긴 연장을 가지며 받침간 거리는 12.4m이다. TYPE 2의 경우 교량연장은 10.14m이며 받침간 거리는 9.14m이고, TYPE 3의 경우 교량연장은 7.0m 이며 받침간 거리는 6.0m이다.

[표 2.65] 대상교량 선정

구 분	교 량 연 장	받 침 간 거 리	비 고
TYPE 1	13.4m	12.4m	
TYPE 2	10.14m	9.14m	
TYPE 3	7.0m	6.0m	

[표 2.66] 대상교량 표준단면

구 분	3 주 형	비 고
TYPE 1		
TYPE 2		
TYPE 3		

다. 단면 산정

(1) 이동식 크레인 차량 탑재의 제약조건

(가) 판형교 급속교체를 위한 특수차량은 그 크기에 한계가 있으므로 제작된 교량을 적재 및 이동이 가능하도록 하기 위해서는 상부형식의 제약조건이 발생한다. 단면의 폭과 높이 및 총중량의 한계치는 표 2.67과 같이 폭은 2.7m이하여야 하고, 높이는 레일을 포함한 1.2m내외여야 한다. 또한 레일 및 기타 부가하중을 포함한 교량전체의 중량은 600kN이하여야 한다.

[표 2.67] 이동식 크레인 차량 탑재의 제약조건

구 분	폭	높이	총중량
급속교체 교량	2.7m 이하	1.2m 내외	600kN 이하

(2) 궤도형식 선정

(가) 궤도형식은 크게 자갈도상과 콘크리트 도상으로 구분되어지는데, 교량의 1 Span을 제작 및 운반하여 급속교체하는 본 연구의 특성상 자갈도상은 사실상 불가능 하므로 콘크리트 도상을 적용 한다.

(나) 궤도 형식은 일반적인 돌출형 궤도 형식과 매립식 궤도로 구분 할 수 있는데 매립식 궤도의 경우 유지관리가 힘들고, 본 연구의 특수차량을 이용한 급속교체 특성상 판형교 급속교체시 기존 돌출형 궤도와 용접작업이 불가능 하므로 돌출형 궤도를 적용한다.

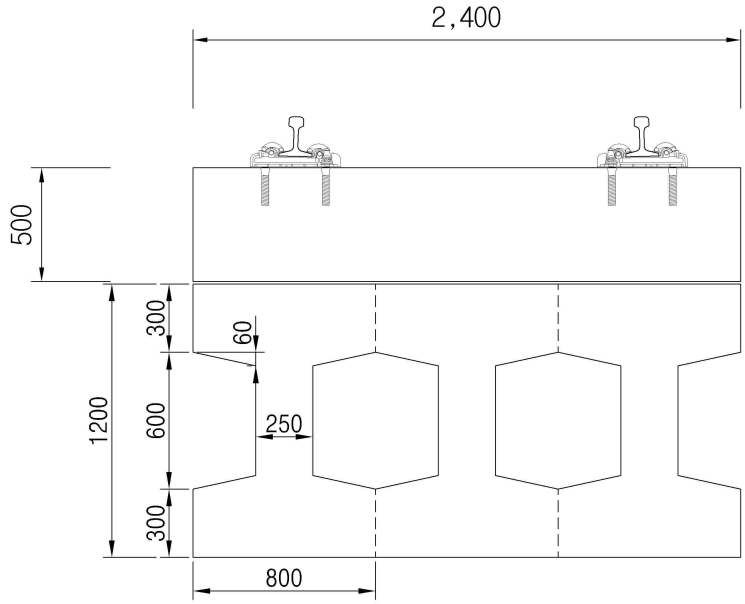
[표 2.68] 궤도 형식 비교

구 분	돌 출 형 궤 도	매 립 식 궤 도
단 면 도		
특 징	· 유지관리가 용이함 · 급속교체 시 기존 궤도와 용접 가능	· 유지관리가 어려움 · 급속교체 시 기존 궤도와 용접 불가능
적용구간	· 일반철도 구간	· 화물기지등 내부 도로교통 운행구간
적 용	◎	

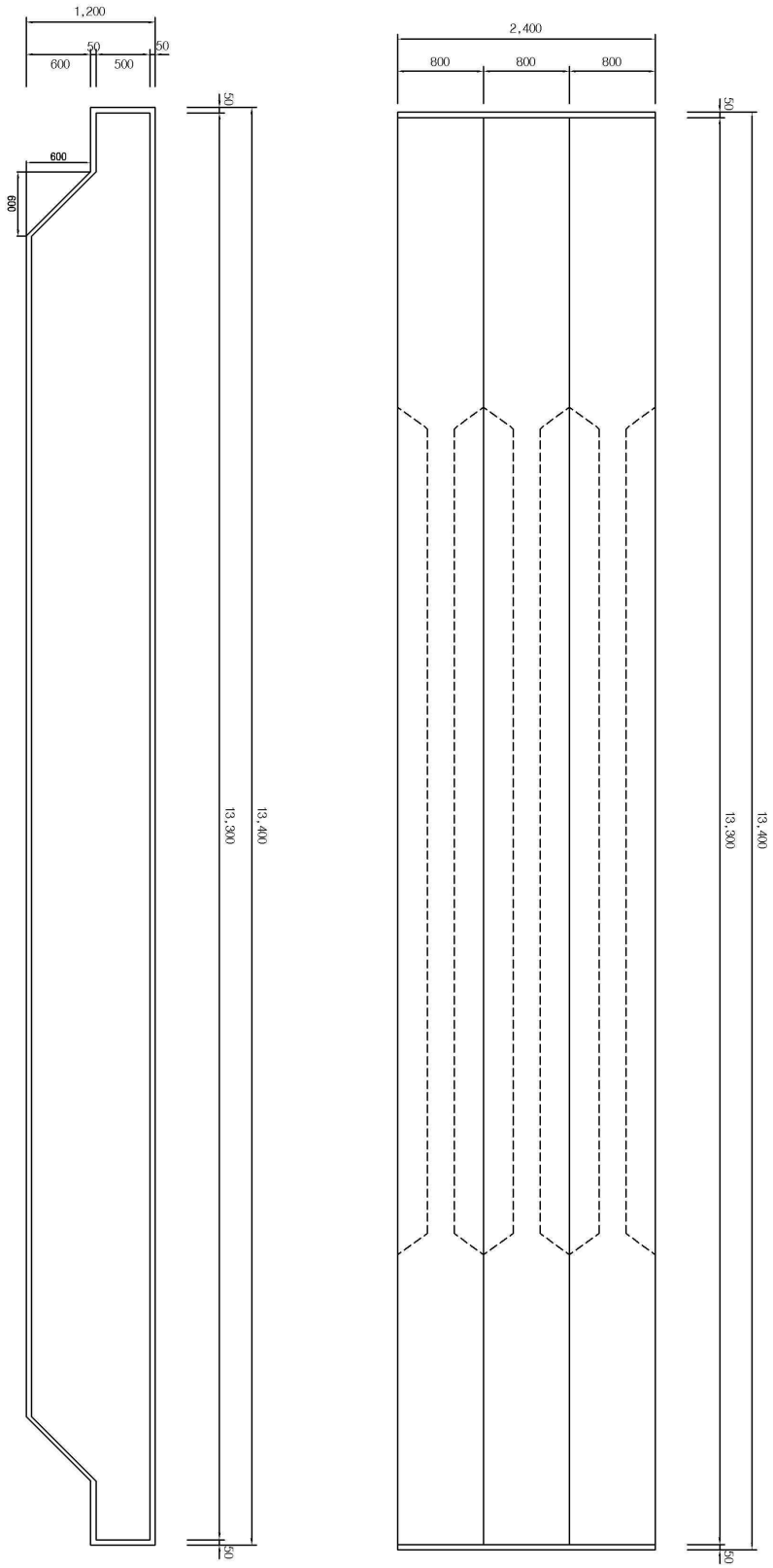
(3) TYPE 1(L=13.4m) 단면 산정

(가) 경간장 13.4m(TYPE 1)의 기존 판형교는 앞에서 언급한 표 2.67의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키기 위하여 일반적인 형태인 중공슬래브 형식을 적용하였다. 주형단면의 치수는 그림 2.61와 같이 적용하였다.

(나) 상부구조물의 총중량은 720 kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600kN이하)을 만족하지 못하므로 가설 시 카운터 웨이트를 추가하여 전도에 대한 안전성을 확보가 필요하다. (별도의 가설대책 필요)



[그림 2.61] TYPE 1(L=13.4m) 횡단면도



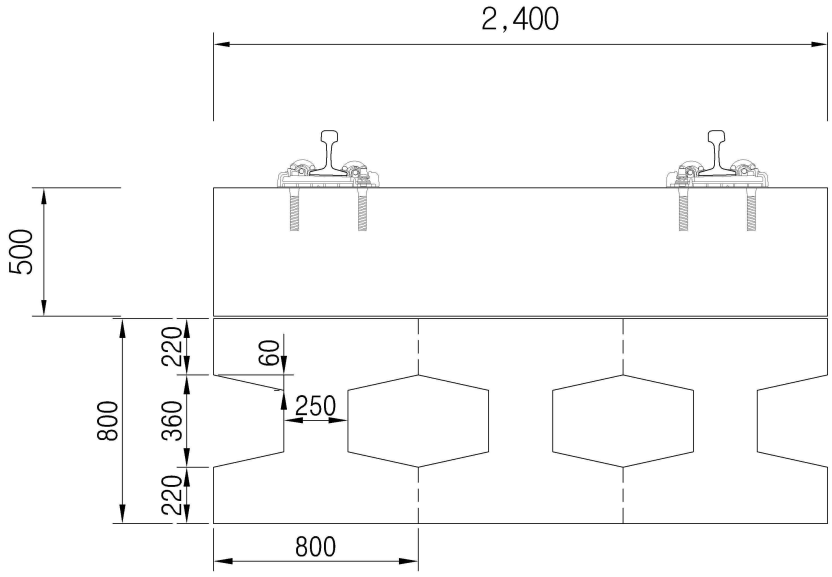
(가) 거더 종단면도 (나) 평면도

[그림 2.62] TYPE 1(L=13.4m) 평면도, 종단면도

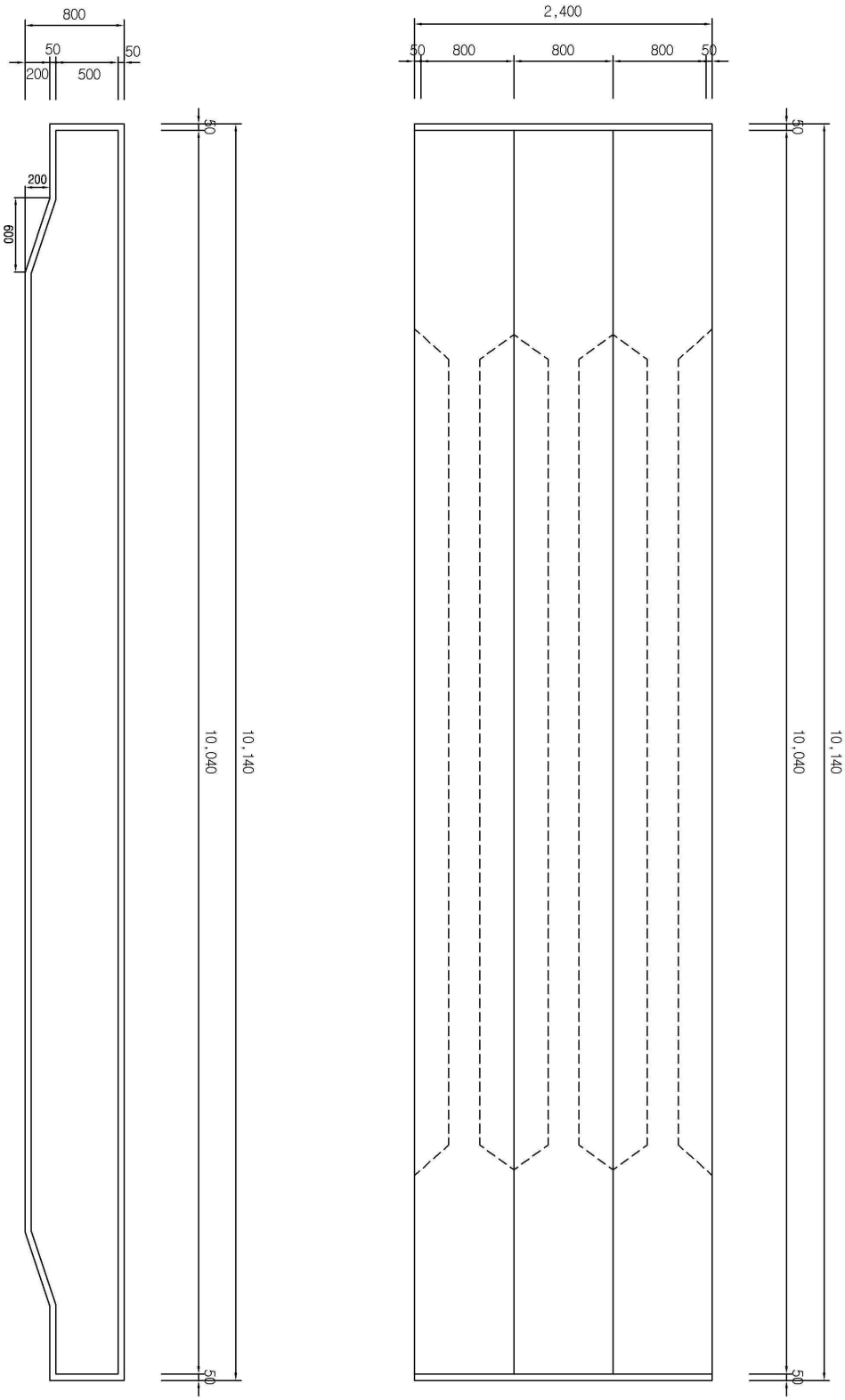
(4) TYPE 2(L=10.14m) 단면 산정

(가) 경간장 10.14m(TYPE 2)의 판형교 단면은 앞에서 언급한 표 2.67의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키기 위하여 일반적인 형태인 중공슬래브 형식을 적용하였다. 주형단면의 치수는 그림 2.63과 같이 적용하였다.

(나) 상부구조물의 총 중량은 379 kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600kN이하)을 만족한다.



[그림 2.63] TYPE 2(L=10.14m) 횡단면도



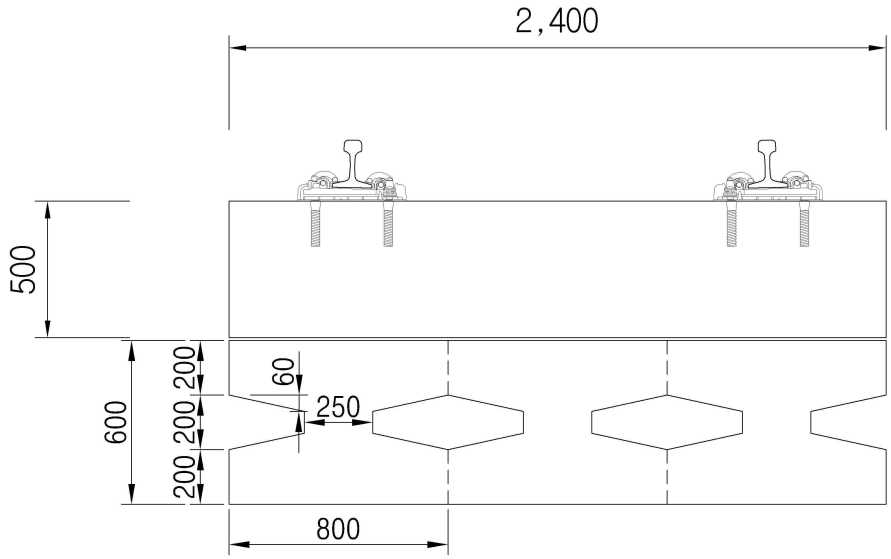
(가) 종단면도 (나) 평면도

[그림 2.64] TYPE 2(L=10.14m) 평면도, 종단면도

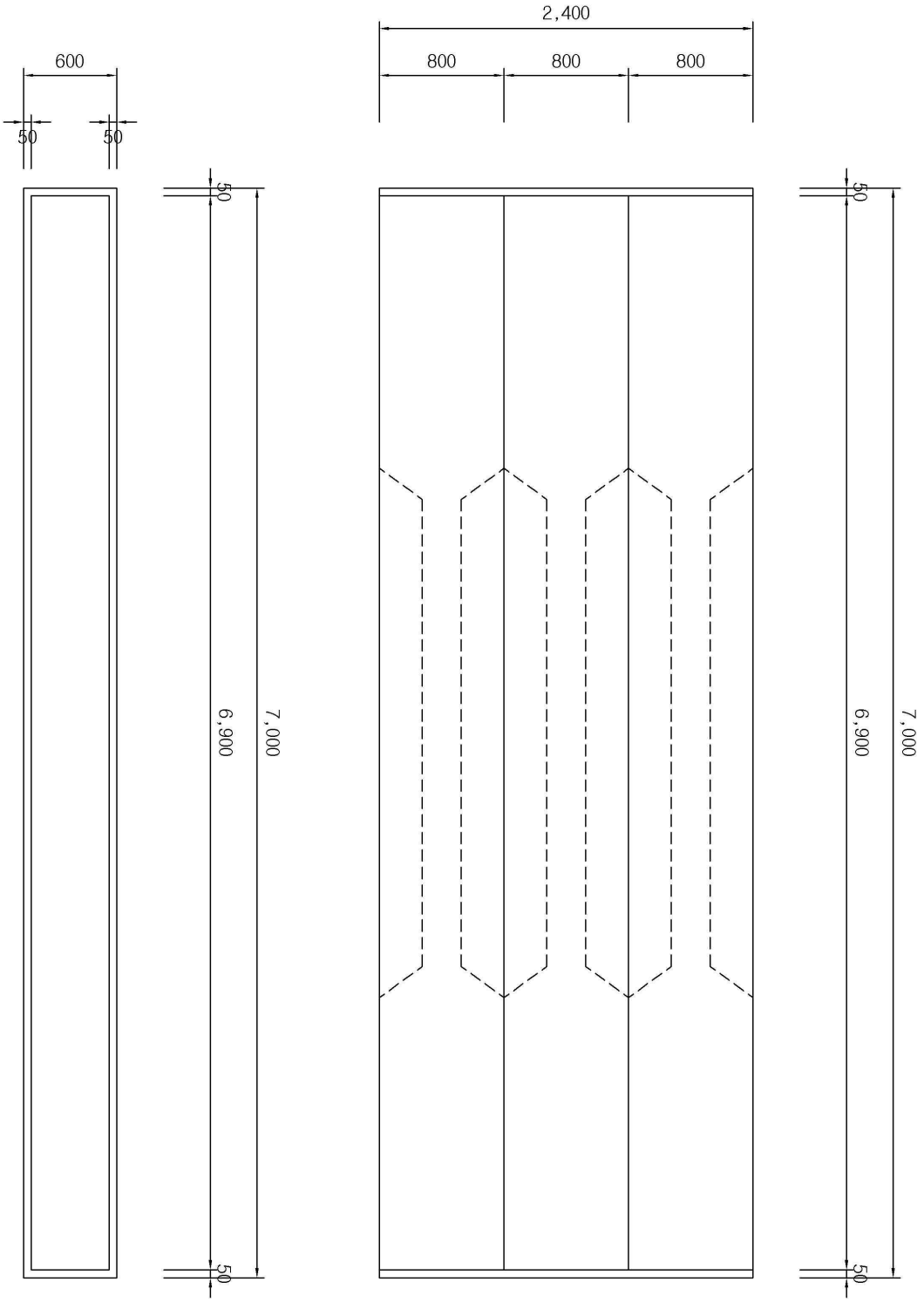
(5) TYPE 3(L=7.0m) 단면 산정

(가) 경간장 7.0m(TYPE 3)의 판형교 단면은 앞에서 언급한 표 2.67의 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건을 만족시키기 위하여 일반적인 형태인 중공슬래브 형식을 적용하였다. 주형단면의 치수는 그림 2.65와 같이 적용하였다.

(나) 상부구조물의 총중량은 230 kN으로 이동식 크레인 차량 탑재 제약조건(600kN이하)을 만족한다.



[그림 2.65] TYPE 3(L=7.0m) 횡단면도



(가) 종단면도 (나) 평면도

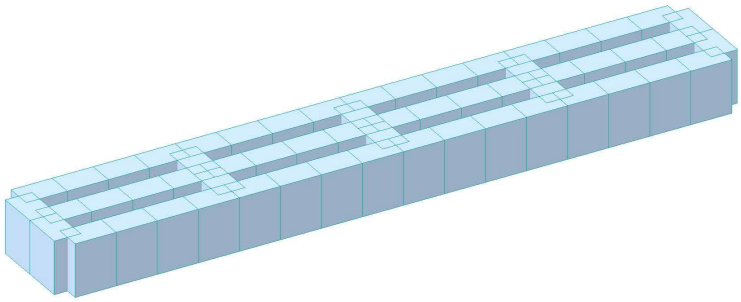
[그림 2.66] TYPE 3(L=7.0m) 평면도, 종단면도

라. 교량의 모델링

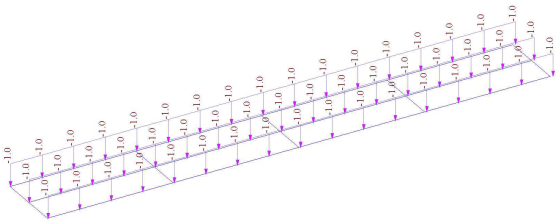
(1) 해석 모델

(가) 본 연구의 대상교량인 중공슬래브교에 대하여 철도하중에 의한 대상 구조물의 거동을 분석하기 위해서 실제 구조물과 가장 근접하게 3D모델링을 수행하였다. 구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2012 V1.0.0.1을 사용하였다.

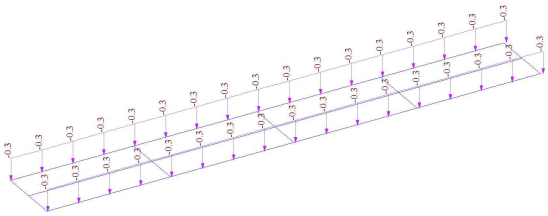
(나) 대상 교량의 모델링은 그림 2.67에서 보는 바와 같이 주형 및 가로보, 콘크리트 슬래브, 실제 하중을 재하하는 레일을 구분하여 격자구조 모델링을 수행하였다. 각 부재의 물성치는 표 2.69과 같다.



(가) 주형 및 가로보



(나) 콘크리트 도상



(다) 레 일

[그림 2.67] 판형교 철도교량 수치해석 모델

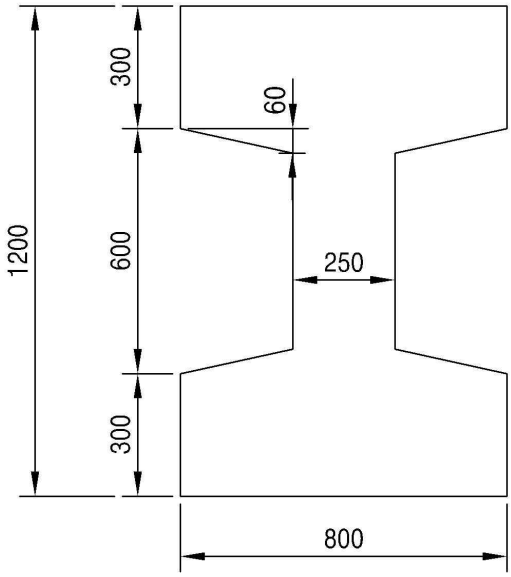
[표 2.69] 구조부재의 물성치

구 분	단위중량(kN/㎥)	탄성계수(E, MPa)	비 고
레 일	30	200,000	
콘크리트 슬래브(궤도)	24.5	28,576	f_{ck} = 30MPa
주 형	24.5	28,576	f_{ck} = 50MPa

(2) 단면 계수

(가) TYPE 1(L=13.4m)

각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.68 및 표 2.70과 같다. 단면계수는 구조계산서의 Midas 구조해석 INPUT값으로 입력한다.



(가) 외측·중앙 거더

[그림 2.68] 주형 및 가로보 치수

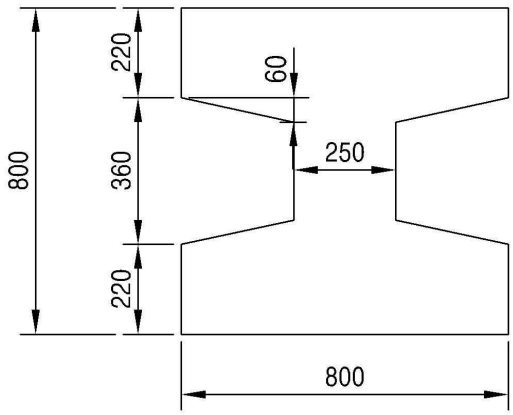
[표 2.70] 각 단면의 단면계수

(단위 : m)

구 분	Area	Asy	Asz	Ixx	Iyy	Izz
거 더	0.6713	0.4400	0.3000	0.0324	0.1090	0.0266

(나) TYPE 2(L=10.14m)

각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.69 및 표 2.71과 같다. 단면계수는 구조계산서의 Midas 구조해석 INPUT값으로 입력한다.



(가) 거 더

[그림 2.69] 주형 치수

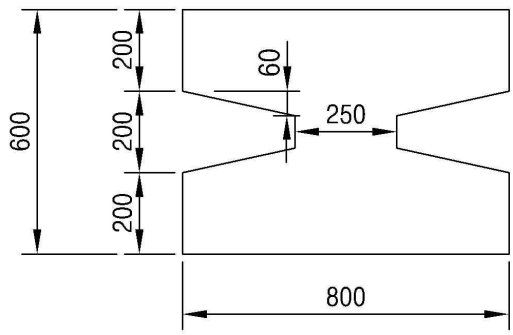
[표 2.71] 각 단면의 단면계수

(단위 : m)

구 분	Area	Asy	Asz	Ixx	Iyy	Izz
거 더	0.4833	0.3333	0.2000	0.0096	0.0332	0.0194

(다) TYPE 3(L=7.0m)

각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.70 및 표 2.72와 같다. 단면계수는 구조계산서의 Midas 구조해석 INPUT값으로 입력한다.



(가) 거 더

[그림 2.70] 주형 치수

[표 2.72] 각 단면의 단면계수

(단위 : m)

구 분	Area	Asy	Asz	Ixx	Iyy	Izz
거 더	0.4085	0.3067	0.1500	0.0050	0.0144	0.0175

마. 하중 산정

(1)해석 모델의 하중은 아래 표 2.73와 같이 산정하였다.

(가) 고정하중은 레일 자중을 고려하여 산정하였다.

(나) 활하중은 LS-22 표준활하중을 이동하중으로 재하하였다.

(다) 활하중에 의한 충격은 활하중 응력에 충격계수를 곱한 값으로 하였다.

(충격계수 I = 45-L^2/45 = 43.911~41.010%)

(라)1궤도의 중량은 실하중을 고려하여 정하되, 최소중량은 유도상인 경우 도상자갈을 포함하지 않고 3 kN/m로 작용하는 것으로 고려하였다.

(마) 차량횡하중은 L하중의 1동륜축중의 15%의 값으로 1.5m간격으로 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다.

[표 2.73] 하중 산정

구 분	하 중 종 류	하 중 산 정
고 정 하 중	1. Beam 자중	거더의 자중
	2. 슬래브 자중	콘크리트 자중
	3. 부가고정하중	레일 자중
활 하 중	4. 열차활하중	LS-22하중
	5. 활하중에 의한 충격	처짐검토 시 미고려

바. 구조해석 결과

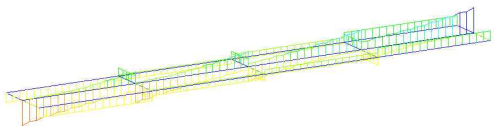
(1) 단면력 산정

(가) TYPE 1(L=13.4m)

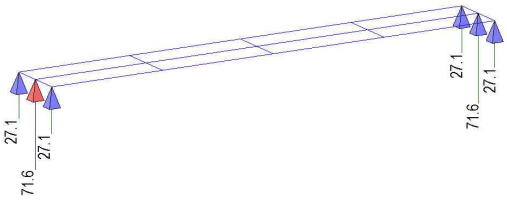
①구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 3.71 및 표 3.73과 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대 값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대 값이 발생한다.



(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 반력(R)

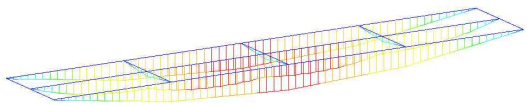
[그림 2.71] 구조해석

[표 2.74] 단면력 정리

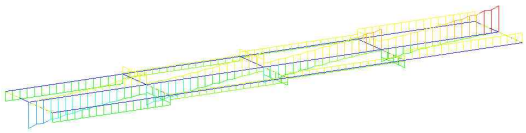
구 분		전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	450.2	1663.66
중앙 거더	Max	887.3	1554.56

(나) TYPE 2(L=10.14m)

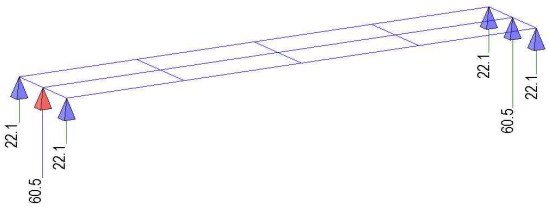
① 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.72 및 표 2.75와 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대값이 발생한다.



(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 반력(R)

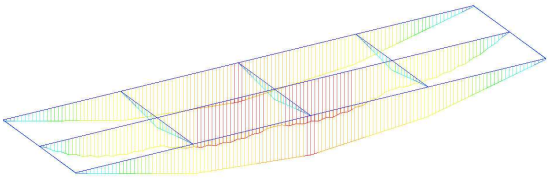
[그림 2.72] 구조해석

[표 2.75] 단면력 정리

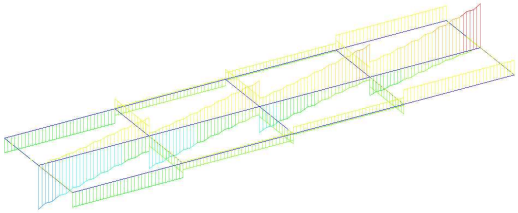
구 분		전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	332.7	929.38
중앙 거더	Max	707.7	870.08

(다) TYPE 3(L=7.0m)

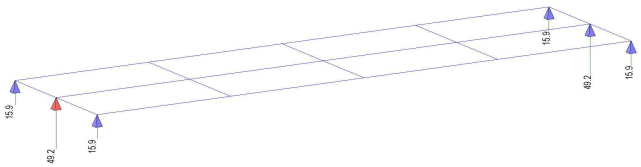
① 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.73 및 표 2.76과 같다. 본 연구의 대상 교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대 값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대 값이 발생한다.



(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 반력(R)

[그림 2.73] 구조해석

[표 2.76] 단면력 정리

구 분		전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	228.3	434.93
중앙 거더	Max	551.8	417.83

(2) 단면 검토

(가) 허용응력 산정

① 사용재료

㉮ 콘크리트(사용 하중 시)

- 설계기준강도 : Fck = 50 MPa

㈏ PS 강연선(KS D 7002 SWPC 7B, 저릴렉세이션 강재)

- 직 경 : Dpt = 15.2 mm
- 단면적 : Apt = 138.7 ㎟
- 극한강도 : Fput = 1900 MPa
- 항복강도 : Fpyt = 1600 MPa
- 탄성계수 : Ept = 200000 MPa

② 거더 콘크리트

㈎ 크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적 응력

- 허용압축응력 : 0.55 × fci = 22 MPa
- 허용인장응력 : 1.58 MPa ($0.25\times\sqrt{fci} > 1.4$ MPa)

㈏ 모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력

- 허용압축응력 : 0.4 × fck = 20 MPa
- 허용인장응력 : $0.5 \times \sqrt{fck} = 3.54$ MPa

㈐ 균열응력 : $0.63 \times \sqrt{fck} = 4.45$ MPa

㈑ 정착부의 지압응력

- 긴장재 정착 직후 : $fcr = 0.7 \times fci \times\sqrt{(Ab'/Ab - 0.2)} \leq 1.10 \times fci$
- 프리스트레스 손실 발생 후 : $fcr = 0.5 \times fck \times\sqrt{(Ab'/Ab)} \leq 0.90 \times fck$

③ PS 강연선

㈎ 긴장시 최대응력 : $0.9 \times fpyt = 1440$ MPa

㈏ 정착 후 정착부에서의 허용응력 : $0.7 \times fput = 1330$ MPa

㈐ 사용하중 상태에서의 허용응력 : $0.8 \times fpyt = 1280$ MPa

(3) 응력검토

(가) TYPE 1(L=13.4m)

[표 2.77] 외측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	1.787	-1.826	0.000	
2	fps	-1.723	11.678	-978.476	
계		0.064	9.852	-978.476	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.254	-1.235	-4.544	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	6.199	-6.107	-22.470	
6	fsh	0.061	-0.411	1.938	
7	fcr	0.150	-1.017	4.791	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.057	-0.389	1.831	
계		7.784	0.694	-996.930	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.78] 외측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	1049.719	1072.584	1073.646	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	0.00109	
fps	(MPa)	964.150	985.151	986.127	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.79] 내측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	1.787	-1.826	0.000	
2	fps	-1.723	11.678	-978.476	
계		0.064	9.582	-978.476	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.268	-1.249	-4.594	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	5.580	-5.497	-20.226	
6	fsh	0.061	-0.411	1.938	
7	fcr	0.150	-1.016	4.788	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.057	-0.389	1.831	
계		7.179	1.291	-994.740	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.80] 내측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	1049.719	1072.584	1073.646	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	0.00109	
fps	(MPa)	964.150	985.151	986.127	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

① 응력검토 요약

거더의 응력검토 결과는 표 2.81과 같다. 표에서 보는바와 같이 거더에 발생하는 상·하연응력은 가설 시와 완공 시 응력값 모두 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, PS강연선의 긴

장 시 응력검토 값 또한 허용응력 값보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.81] 거더 및 강연선 긴장 시 응력검토 결과 요약

구 분		거 더		PS 강재	판별
		상 연	하 연	강 선	
외측거더	거더	7.784	0.694	-996.930	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
내측거더	거더	7.179	1.291	-994.740	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
외측거더	fps	964.150	985.151	986.127	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
내측거더	fps	964.150	985.151	986.127	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	

(나) TYPE 2(L=10.14m)

[표 2.82] 외측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	1.523	-1.563	0.000	
2	fps	-1.475	15.191	-957.772	
계		0.048	13.628	-957.772	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.492	-1.465	-4.636	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	8.290	-8.142	-25.768	
6	fsh	0.052	-0.539	2.422	
7	fcr	0.172	-1.769	7.951	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.048	-0.496	2.227	
계		10.101	1.218	-975.577	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.83] 외측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	1023.533	1052.605	1052.185	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	0.00109	
fps	(MPa)	940.099	966.801	966.416	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.84] 내측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	1.523	-1.563	0.000	
2	fps	-1.475	15.191	-957.772	
계		0.048	13.628	-957.772	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.509	-1.482	-4.689	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	7.553	-7.417	-23.475	
6	fsh	0.052	-0.539	2.422	
7	fcr	0.171	-1.768	7.947	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.048	-0.496	2.228	
계		9.380	1.927	-973.340	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.85] 내측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	1023.533	1052.605	1052.185	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	0.00109	
fps	(MPa)	940.099	966.801	966.416	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

① 응력검토 요약

거더의 응력검토 결과는 표 2.86과 같다. 표에서 보는바와 같이 거더에 발생하는 상·하연응력은 가설 시와 완공 시 응력값 모두 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, PS강연선의 긴장 시 응력검토 값 또한 허용응력 값보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.86] 거더 및 강연선 긴장 시 응력검토 결과 요약

구 분		거 더		PS 강재	판별
		상 연	하 연	강 선	
외측거더	거더	10.101	1.218	-975.577	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
내측거더	거더	9.380	1.927	-973.340	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
외측거더	fps	940.099	966.801	966.416	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
내측거더	fps	940.099	966.801	966.416	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	

(다) TYPE 3(L=7.0m)

[표 2.87] 외측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	0.965	-0.984	0.000	
2	fps	-1.402	11.685	-921.822	
계		-0.427	10.701	-921.822	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.112	-1.097	-3.311	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	7.068	-6.972	0.000	
6	fsh	0.052	-0.437	1.913	
7	fcr	0.131	-1.095	4.791	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.050	-0.418	1.828	
계		7.976	0.682	-916.600	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.88] 외측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	987.035	1020.232	-	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	-	
fps	(MPa)	906.576	937.067	-	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	-	

[표 2.89] 내측 거더의 응력검토

구 분		거 더		PS 강재	비 고
		상 연	하 연	강 선	
1	fsw	0.966	-0.984	0.000	
2	fps	-1.402	11.685	-921.822	
계		-0.437	10.701	-929.822	
응력검토	기준	-1.581	22.00	±1330.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	1.124	-1.109	-3.348	
4	fal	0.000	0.000	0.000	
5	fll	6.696	-6.605	0.000	
6	fsh	0.052	-0.437	1.913	
7	fcr	0.131	-1.094	4.789	
8	frgb	0.000	0.000	0.000	
9	frgs	0.050	-0.418	1.828	
계		7.617	1.037	-916.640	
응력검토	기준	22.000	-3.536	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

[표 2.90] 내측 거더의 PS강연선 긴장 시 응력검토(사용하중 상태)

구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
강선수	(EA)	6	6	6	
PCT	(kN)	987.035	1020.232	-	
Ap	(m2)	0.00109	0.00109	-	
fps	(MPa)	906.576	937.067	-	
응력검토	기준	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
	판별	O.K	O.K	O.K	

① 응력검토 요약

거더의 응력검토 결과는 표 2.91과 같다. 표에서 보는바와 같이 거더에 발생하는 상·하연응력은 가설 시와 완공 시 응력값 모두 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, PS강연선의 긴장 시 응력검토 값 또한 허용응력 값보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.91] 거더 및 강연선 긴장 시 응력검토 결과 요약

구 분		거 더		PS 강재	판별
		상 연	하 연	강 선	
외측거더	거더	7.976	0.682	-916.600	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
내측거더	거더	7.617	1.037	-916.640	O.K
	응력검토	22.000	-3.536	±1280.00	
구 분		T 1	T 2	T 3	비 고
외측거더	fps	906.576	937.067	-	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	
내측거더	fps	906.576	937.067	-	O.K
	응력검토	±1280.00	±1280.00	±1280.00	

(4) 처짐 검토

(가) 교량의 연직처짐

① 열차하중에 의한 연직처짐 검토의 하중조합은 주행안전성 및 승차감평가에 대해 가각 표 2.92와 같이 적용한다.

[표 2.92] 연직처짐 검토를 위한 하중조합

주행안전성	표준열차하중 + 충격계수(복선 이상 재하)
승 차 감	1. 표준열차하중 + 충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적해석(단선재하) 승차감에 대한 연직변위는 1과 2중 불리한 값을 적용한다.

② 주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 아래 식의 값으로 제한해야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600}$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간

상판의 최대 처짐검토를 위한 재하궤도수는 표 2.93를 따른다.

[표 2.93] 상판의 최대 처짐검토를 위한 하중 재하궤도수

궤도수		
1	2	3이 상
1	1 또는 2 (가장 불리한 경우를 재하)	1 또는 2 또는 3 이상 (가장 불리한 경우를 재하)

③ 승객의 승차감 만족을 위한 실 운행열차하중 동적해석에 의한 최대 연직처짐은 표 2.94의 규정을 적용하여 제한한다. 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최대 값과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최대 값 중 불리한 값을 적용한다.

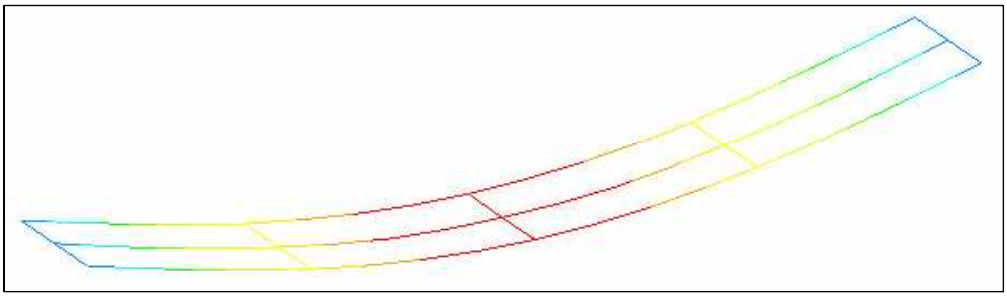
[표 2.94] 최대연직처짐 제한(승차감='매우양호')

설계속도 (V)(km/h)	거더 또는 부재의 경간(m)										
	0~20	25	30	35	40	45	50	55	60~75	80~95	100~120
270 < V ≤ 350	L /1500	L /1500	L /1600	L /1750	L /1900	L /2100	L /2200	L /2350	L /2500	L /2200	L /1900
200 < V ≤ 270	L /1300	L /1400	L /1500	L /1600	L /1700	L /1900	L /2000	L /2100	L /2000	L /1700	L /1400
V ≤ 200	L /1100	L /1200	L /1300	L /1500	L /1500	L /1400	L /1300	L /1200	L /1500	L /800	L /600

(나) TYPE 1(L=13.4m)

① 거더의 처짐 형상

TYPE 1(L=13.4m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.74와 같다. TYPE 1 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.



[그림 2.74] TYPE 1(L=13.4m) 거더의 처짐 형상

② 처짐 검토 결과

본 연구의 대상교량의 지간길이는 12.4m이므로 허용처짐량은 20.67mm(L/600)이다. 해석결과 발생처짐량은 5.74mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

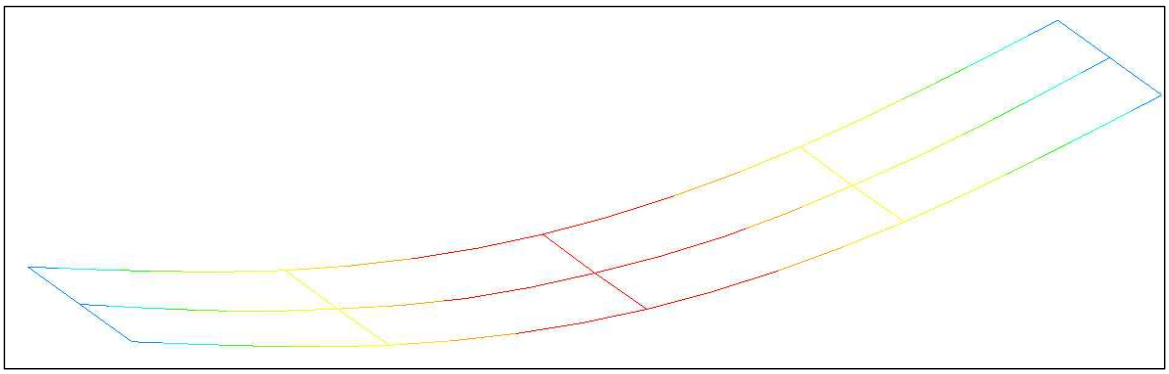
[표 2.95] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	12.4	20.67	5.74	O.K

(다) TYPE 2(L=10.14m)

① 거더의 처짐 형상

TYPE 2(L=10.14m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.75과 같다. TYPE 2 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.



[그림 2.75] TYPE 2(L=10.14m) 거더의 처짐 형상

② 처짐 검토 결과

본 연구의 대상교량의 지간길이는 9.14m이므로 허용처짐량은 15.23mm(L/600)이다. 해석결과 발생처짐량은 6.56mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

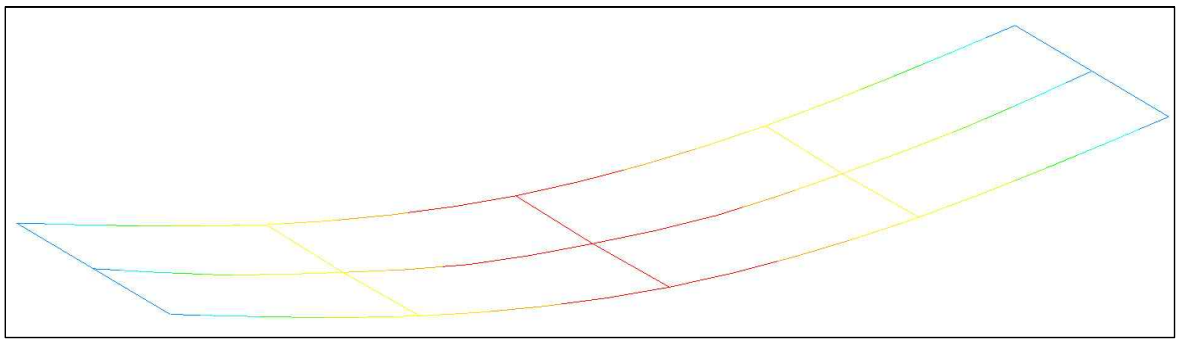
[표 2.96] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	9.14	15.23	6.56	O.K

(라) TYPE 3(L=7.0m)

① 거더의 처짐 형상

TYPE 3(L=7.0m) 교량의 처짐 형상은 그림 2.76과 같다. TYPE 3 교량은 단순교이므로 지간 중앙부에서 최대 처짐이 발생한다.



[그림 2.76] TYPE 3(L=7.0m) 거더의 처짐 형상

② 처짐 검토 결과

본 연구의 대상교량의 지간길이는 6.0m이므로 허용처짐량은 10.000mm(L/600)이다. 해석결과 발생처짐량은 3.53mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

[표 2.97] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	6.000	10.000	3.53	O.K

(5) 검토 결과

위에서 살펴본 바와 같이 본 연구의 특성상 발생하는 교량단면제원의 제약조건을 만족하는 단면을 선정하고 구조해석을 실시한 결과는 아래 표 2.98~2.99와 같다. 표에서 보듯이 부재의 응력 검토 결과 발생하는 응력이 모두 허용응력을 넘지 않는 것을 확인하였다. 또한, 처짐 검토 결과 주형의 허용처짐 값을 만족시키는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구대상의 중공슬래브교 단면은 철도설계기준에서 제시하는 허용응력, 허용처짐 값을 초과하지 않으며 차량운반 제한조건 내 단면의 폭과 높이, 총중량의 제약조건을 만족시키면서 구조적으로 안정성을 확보하는 것으로 판단된다.

[표 2.98] 응력검토 결과

구 분		거 더		PS 강재	판별
		상 연	하 연	강 선	
TYPE 1	외측거더	7.784	0.694	-996.930	O.K
	내측거더	7.179	1.291	-994.740	
TYPE 2	외측거더	10.101	1.218	-975.577	O.K
	내측	9.380	1.927	-973.340	
TYPE 3	외측거더	8.702	0.079	-943.644	O.K
	내측거더	8.342	0.435	-942.716	

[표 2.99] 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
TYPE 1	12.4	20.67	5.74	O.K
TYPE 2	9.14	15.23	6.56	O.K
TYPE 3	6.000	10.000	3.53	O.K

사. 설계된 상부구조 동적안정성 검토

(1) 주행열차하중 동적해석 검토절차 및 방법

철도교량은 도로교량과 달리 일정간격으로 반복되는 열차의 축하중으로 인한 교량의 동적 안정성에 대한 검토가 필요하다. 특히, 설계속도가 300km/h를 상회하는 고속철도 교량의 경우 설계속도 내에서 공진의 발생가능성이 필연적이므로 이에 대한 분석이 필수적이며, 일반철도에서도 최근 매우 유연한 구조의 신형식 교량이 다수 등장하여 이에 대한 검토가 필요하다. 기존에는 국내에 이에 대한 명확한 규정이 존재하지 않았으나, EUROCODE를 기반으

로 호남고속철도 설계지침(2007)에 최초로 규정되었으며, 철도시설공단에서 발주하여 한국철도기술연구원에서 수행한 “철도교량 동적안정성 및 동적설계기준에 관한 연구”에 주행안전성 및 승차감에 대한 기준 및 검토방법/절차가 명확히 수록되었으며, 최종적인 결과가 “철도설계기준 (노반편) (2011)”에 반영되었다. 또한 2013년 12월 현재 고시된 “철도설계기준 (노반편) (2013)“에서는 동적해석 절차 및 방법이 일부 개정되었다.

본 보고서에서는 대상 교량인 급속교체형 콘크리트 철도교량에 대하여 디젤 기관차로 견인되는 화물열차 20량, KTX 20량 편성 고속열차에 대한 동적거동 검토를 수행하였다. 철도설계기준 (노반편) (2011)과 특히 2.4절에 수록되어 있는 개정된 철도설계기준(노반편) (2013)의 교량 운행한계기준의 주행안전성 및 승차감 평가에 대한 해석 방법 및 절차를 준용하였다.

대상 열차에 대하여 본 해석에서는KTX에 대하여 300km/h, 화물열차 180km/h까지 20km/h 간격으로 해석을 수행하여 급속교체형 콘트리트 철도교량의 동적거동을 검토하였다.

주행열차하중 동적해석 시 설계자의 판단 및 적용방법에 따라 응답에 대한 결과 및 평가가 달라질 수 있다. 따라서, Eurocode 등에서는 비교적 상세히 적용절차 및 방법에 대한 설명을 수록하고 있으며, 국내에서도 최근 호남고속철도 설계지침에 다음과 같이 검토절차 및 방법이 제시된 바 있다.

a. 고속철도 교량의 주행열차하중에 대한 해석은 시간이력해석 혹은 모드중첩법에 의한 동적해석을 적용한다. 시간간격은 충분히 작아야 하며, 모드중첩법을 사용할 경우 첫번째 휨모드와 비틈모드 등이 반드시 포함되어야 하며 국부모드를 제외한 전체모드가 최소 5번째 모드까지 고려한다. Newmark-β 방법과 같은 직접적분법을 사용할 경우 ‘조건부 안정’ 조건을 만족하기 위한 시간간격 $\Delta t \le T_n/\pi$ (T_n은 구조물의 가장 작은 주기) 등의 조건을 지켜야 하며 유한요소 모델 절점 간에 충분히 작용하도록 작아야 한다.

또한, 동적해석은 교량 시점부터 출발하여 열차가 교량을 완전히 통과할 때까지 시간간격별로 수행되어야 한다. 즉, 교량의 경간이 40m이고 열차의 첫번째 축에서 마지막 축까지의 거리가 약 380m라면 첫번째 축의 총 주행거리는 마지막축이 교량을 완전히 통과할 때까지인 420m 이상이 되어야한다.

b. 동적해석은 최고운행가능속도의 1.2배까지 20km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도가 주행가능한 범위일 경우 해석에 반드시 포함하여야 한다. 임계속도 산정은 다음과 같다.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff}$$

여기서, ω_1은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff}는 열차의 지배적 타격간격으로 객차간 중심 사이의 거리이며 KTX와 G7의 경우 18.7m 이다.

c. 대상열차하중은 실제 운행열차를 고려하야여 하며, 고속철도의 경우 KTX 20량 편성 혹은 G7 열차에 대해 수행하며 하중크기 및 축간격은 그림 2.13과 같다. G7열차의 경우 축하중 및 축간격은 같으며 객차 구성 갯수만 차이가 있다.

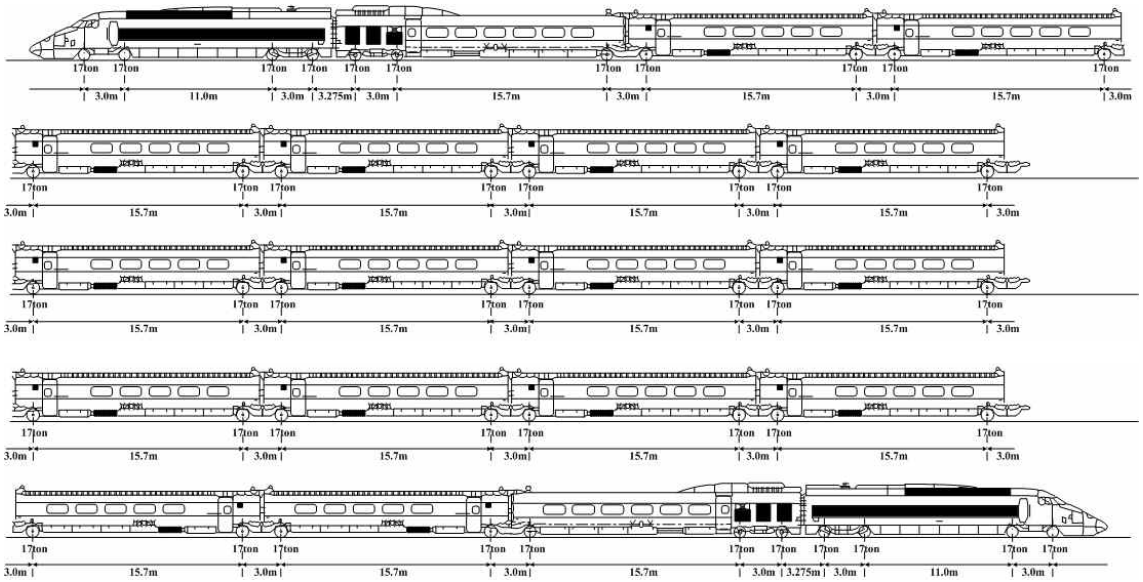


그림 2.13 KTX 하중선도

d. 열차하중의 모델링은 연행이동 집중하중으로 적용한다. 정밀해석이 필요한 경우 교량/열차 상호작용 고려가 가능한 다차원 열차 수치모델을 사용할 수 있으며 이 경우 모델링 및 해석 툴에 대한 충분한 신뢰성이 확보되어야 한다.

e. 교량의 모델링은 연속교의 경우 전체 구성을 모델링하며, 단순교가 병행 구성될 경우 단순교 1개에 대해서만 해석을 수행하며 지간이 상이한 단순교에 대해서는 모두 검토를 수행한다.

f. 교량의 모델링은 정적설계 시 사용한 격자모델 이상의 모델을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 박스거더 교량 등에 대하여 공간뼈대요소로 단순화할 경우 실제 하중 위치를 적용할 수 있도록 편심이 반드시 고려되어야 한다. 교량의 모델링에 사용되는 재료 및 단면특성치는 정적설계에서 적용한 값을 사용한다.

강성의 저평가는 임계속도를 낮추는 효과가 있는 반면 고평가는 임계속도를 높여 설계속도를 벗어나게 할 수도 있다. 설계강성의 75%를 고려해 동적성능평가를 하는 경우도 있으나, 본 규정에서는 정적설계시 반영한 단면 및 재료 특성값을 그대로 사용하도록 한다. ERRI D214의 연구결과에도 실제 구조물의 강성은 궤도구조의 강성기여 등에 의해 14-23% 증가한다는 연구결과가 있으며 많은 실험적 연구에 의해 입증된 바 있다. 또한 동적탄성계수(Dynamic Young's Modulus) 역시 정적탄성계수보다 높은 것이 일반적이므로 정적설계에서 사용된 단면 및 재료특성값은 동적해석 시 충분히 안전측으로 볼 수 있기 때문이다. 또한 균열발생에 의한 강성저하를 우려할 수 있으나, 이 때는 반대로 감쇠비가 상승하는 효과가 있다. 이와 같은 면을 종합하여 정적 설계의 단면 및 재료 특성값을 사용하도록 한다.

g. 동적해석 시 자중 및 궤도구조의 질량 등 2차사하중을 포함한 모든 부재의 질량이 고려되어야 한다. 강성과 반대로 질량의 저평가는 임계속도를 상승시킬 수 있다. 따라서, 임계속도가 충분히 고려될 수 있도록 질량이 모두 고려된 안전측을 사용한다. 그러나, 질량이 증가할수록 가속도 응답은 저감되는 면이 있으므로 가속도 응답이 제한치에 근접할 경우 질량효과를 낮춘 모델을 고려하여 재평가 하도록 한다.

h. 동적해석 시 실열차하중 재하는 단선, 복선교량에 관계없이 그림 2.14와 같이 궤도 중심에 따른 단선재하를 원칙으로 한다. 복선재하 및 가장 불리한 처짐유발은 충격계수를 고려한 HL하중에 대한 정적설계에서 충분히 고려되며, 공진에 대한 거동을 명확히 하기 위해 실운행열차하중에 대한 동적해석은 단선재하가 적합하다.

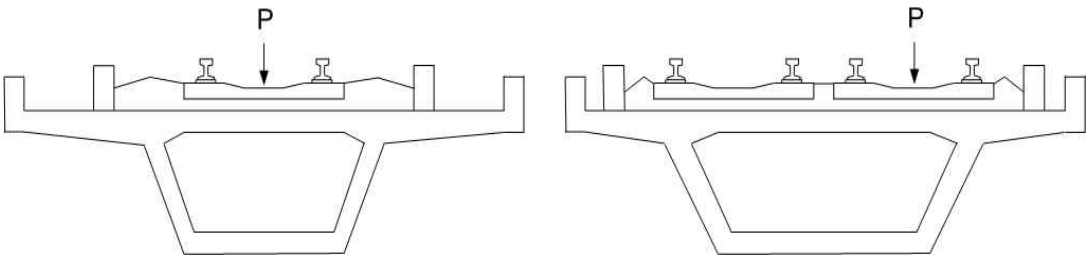


그림 2.14 하중재하 점

(2) 해석대상 교량 및 열차 제원

(가) 해석대상 교량 개요 및 경간별 단면

본 연구에서는 기존 판형교를 교체하는 대표적인 지간장 3가지의 대상교량을 아래 표 2.100 및 그림 2.77와 같이 선정하여 상용 프로그램인 SAP2000을 이용하여 해석을 실시하였다. TYPE 1의 경우 교량연장은 13.4m로 연구 대상 교량 중 가장 긴 연장을 가지며 받침간 거리는 12.4m이다. TYPE 2의 경우 교량연장은 10.14m 이며 받침간 거리는 9.14m이고, TYPE 3의 경우 교량연장은 7.0m 이며 받침간 거리는 6.0m 이다. 교량은 Frame요소로 모델링되었으며 사용된 구조 부재의 물성값은 앞 절의 표 2.69에 나타내었다. 또한 각 지간별 주형의 단면계수는 앞 절의 표2.70~2.72과 같다. 동해석은 10차 모드까지 고려하였으며 Frame 요소의 감쇠비는 Euro Code에서 정의한 강교량의 지간장별 감쇠비 하한값(13.4m = 1.53%, 10.14m=1.76%, 7.0m=1.98%)을 사용하였다.

[표 2.100] 대상교량 선정

구 분	교 량 연 장	받 침 간 거 리	비 고
TYPE 1	13.4m	12.4m	
TYPE 2	10.14m	9.14m	
TYPE 3	7.0m	6.0m	

(나) 해석대상 차량 제원

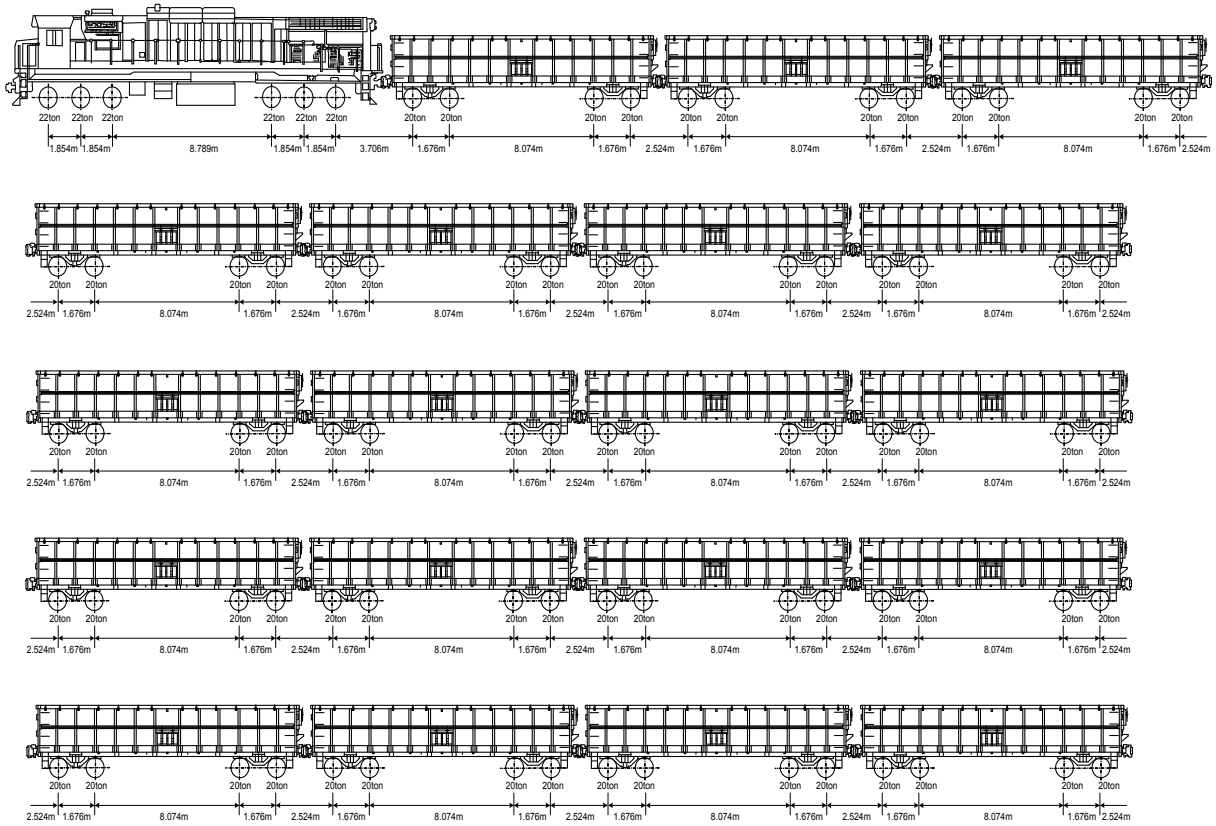
① 본 보고서에서는 일반철도 구간을 운행 중인 열차 중 화물열차 20량 편성, 경부고속철도를 운행 중인 KTX 20량 편성에 대하여 대상 교량에 대한 동적 시뮬레이션을 수행하였으며, 철도설계기준 노반편(2011, 2013)을 준용하여 이동집중하중에 의한 연행 모델을 구성하고 해석프로그램의 Time History Function에 입력하여 동적해석을 수행하였다.

② 선정차량의 하중을 시간경과에 따라 일정한 속도로 주행하면서 교량 상판의 레일 중심을 따라 작용하는 것으로 하였으며, 하중은 단선재하 하였다. 차량의 주행속도는 화물열차의 경우 180km/h까지, KTX의 경우 300km/h까지 20km/h 간격으로 주행열차 동적해석을 수행하였다.

③ 20량 편성 화물열차의 경우, 철도청(2002년 12월) 통계자료를 바탕으로 보유 동력차형별 제원을 살펴보면, 디젤기관차 482량에서 7100호대 기관차가 86량으로써 보유비율이 가장 높으며, 또한 자중도 22tonf으로 가장 무거운 차종이므로 7100호대 디젤동력 기관차에 유개화차 20량으로 편성하였다.

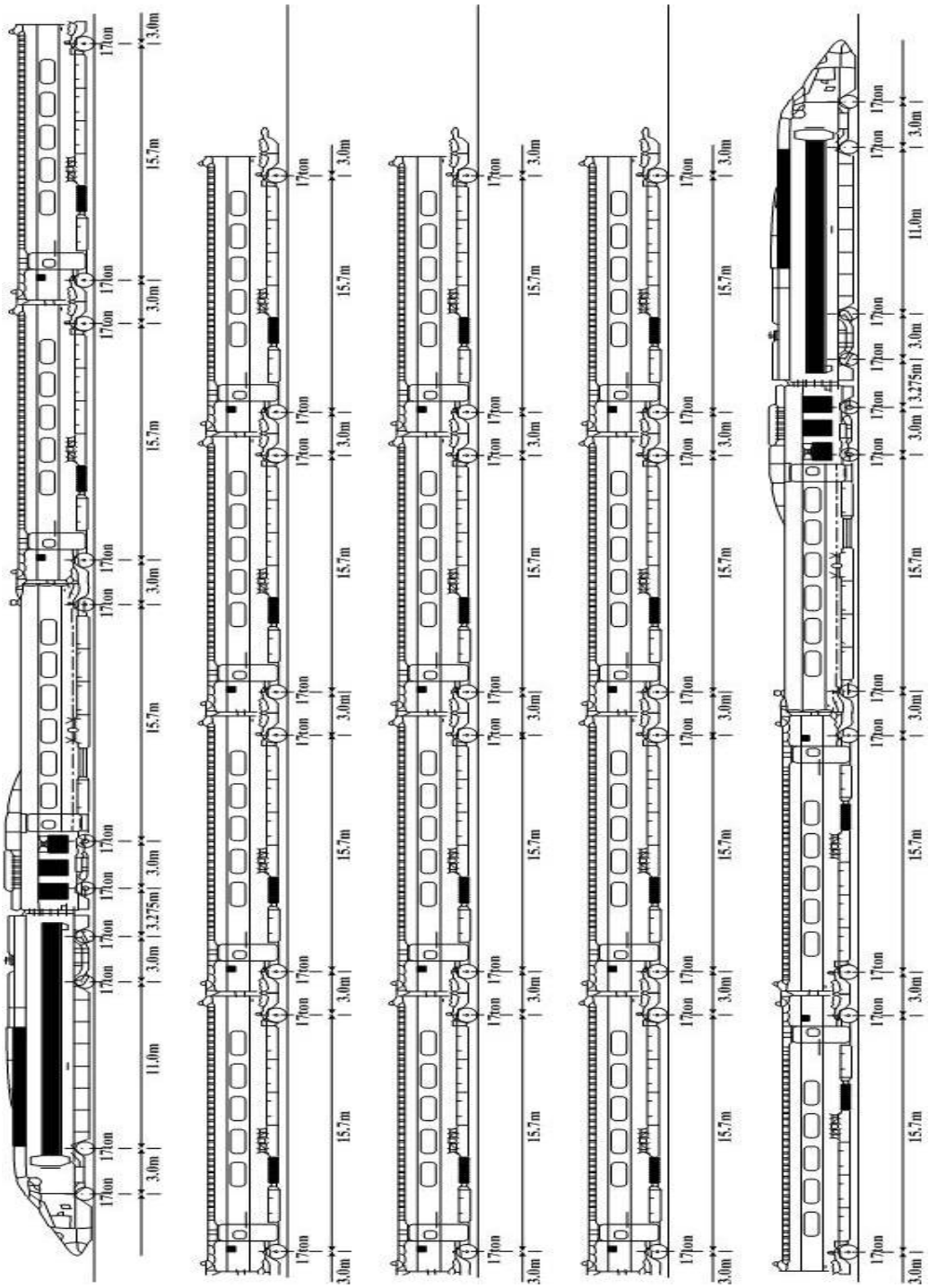
○ 기관차 : 7,100호대 디젤전기기관차(Diesel Electric Locomotive)
- 자중 : 132 ton
- 대차중심간거리 : 12,497mm
- 축중 : 22 ton
- 고정축거 : 3,708mm

○ 화차(Freight Car) : 유개차 19량 편성
- 총중량 : 80 톤
- 축중 : 20 톤
- 대차중심간거리 : 9,750mm
- 고정축거 : 1,676mm
- 차체길이 : 13,950mm



[그림 2.77] 화물(동력차+화차)열차 20량 편성 축중배치도

④ 그림 3.78은 동적해석에 사용된 KTX 20량 편성의 열차하중선도의 축중크기와 축배치를 나타낸다.



[그림 2.78] KTX(20량 편성)의 축중배치도

(3) 고유진동수 및 임계속도 분석

(가) UIC 776-1에서는 첫 번째 휨 고유진동수가 다음과 같은 허용범위를 벗어날 경우에는 종합적인 동적검토를 수행하도록 되어 있다.

첫 번째 휨 고유진동수 상한치 : n0 = 94.76×L-0.748

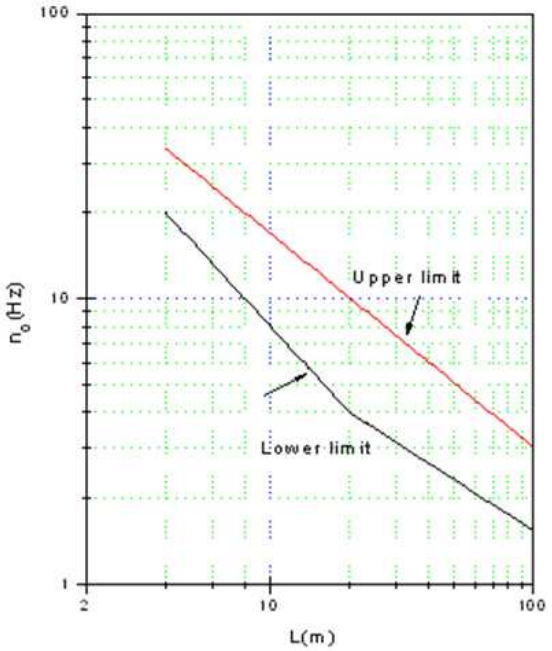
첫 번째 휨 고유진동수 하한치 : n0 = 80/L L = 4.0 ~ 20.0m

23.58×L-0.592 L = 20.0 ~ 100.0m

여기서 L은 경간길이이다.

이와 같은 내용은 국내에도 철도설계기준(철도교편)이 2004년에 개정되면서 동일하게 수록된 바 있으나, 호남고속철도 설계지침, 개정될 철도설계기준(2011)에서는 삭제되었다.

일본의 경우에는 과거 과도한 동적응답을 피하기 위해 강성을 규제하는 방법으로 $55L_b^{-0.8}$으로 고유진동수의 하한치를 규정한 경우가 있었으나, 최근 장경간/경량화 된 신형식 교량들이 지속적으로 개발되면서 이 기준의 하한치를 만족시키지 못하는 경우가 발생하는 것에 대하여 이와 같은 규정에 반드시 제한받지 않고 구조물 전체의 안전성 및 사용성 등을 다각도에서 검토하여 경제적, 구조적으로 효율적인 구조를 적용하고 있는 추세이다.



[그림 2.79] 고유진동수 상하한 제안값 (UIC 776-1)

고유진동수 하한규정에서 주의할 점은 하한규정은 설계되는 철도교량이 하한치를 반드시 만족하여야 한다는 규제사항이 아니고 이를 통해 동적거동 검토를 수행하여야 필요성에 대한 판단을 할 수 있도록 검토하는 항목이란 것이다. Eurocode에서도 고유진동수에 대한 우선적인 검토에서 하한규정을 만족하지 못한다고 해서 바로 재설계를 수행해야하는 것이 아니고 하한규정을 만족하지 못할 경우 동적거동에 대한 면밀한 분석을 하도록 유도하고 있다.

해석대상 교량의 고유진동수 검토 결과는 표 2.101과 같이 UIC 776-1 규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

[표 2.101] 해석대상 철도교량 경간별 1차 고유진동수 검토 결과

경간	상한규정 (Hz)	1차고유진동수 (Hz)	하한규정 (Hz)
6m	24.8	18.66	13.3
9m	18.3	11.75	8.9
12m	14.89	10.10	6.7

(나) 교량의 자유진동해석(free vibration analysis)을 수행하여 지배적인 첫 번째 휨 고유진동수를 구하면 특정 축 간격을 가진 열차하중에 대한 공진(resonance) 및 공진소멸(resonance suppression)을 예상할 수 있는 열차 속도를 구할 수 있다. 철도교량의 이동하중 해석 전 자유진동해석을 통해 공진이 발생되는 임계속도를 파악하는 것은 반드시 선행되어야 할 부분이다. 설계속도 내에서의 공진발생 파악 및 임계속도를 해석 범위 내에 포함시켜야 하기 때문이다.

해석 대상 철도교량에 대한 자유진동해석을 통해 고유진동수를 구하고, 지배적 유효타격거리인 운행열차의 객차 중심 간 거리와의 관계식을 통해 임계속도를 구할 수 있다. 표 3.101에 해당교량의 첫 번째 휨 고유진동수 및 공진이 발생되는 열차별 임계속도를 나타내었다.

$$V_{cr} = \omega_1 \times S_{eff}$$

유효타격거리는 기존의 연구결과에 따르면 공진 및 공진소멸과 직접적으로 관계되는 가장 지배적인 유효타격간격은 객차 중심간 거리이며, 이를 이용하여 임계속도를 구하면 다음과 같다.

[표 2.102] 해석대상 철도교량 경간/차종별 임계속도 검토 결과

경간	1차 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)	
		KTX	화물열차
6m	18.66	1256.0	936.9
9m	11.75	791.1	590.1
12m	10.10	680.0	507.3

표 2.102의 결과를 보면, 해석대상 철도교량 모두 일반철도에서 동적성능평가 필요여부 판단지표인 첫 번째 휨 고유진동수 3.0Hz 이상을 확보하고 있어 설계속도 200km/h 이하에서 동적해석의 필요성이 없음을 알 수 있다. 즉, 화물열차의 실제 운행속도를 최대 150km/h로 예상할 때 공진의 위험성은 없는 것으로 나타났다. 또한 KTX가 운행되는 고속철도 교량의 경우 다른 일반적인 형식의 중장지간 교량이 설계속도 350km/h 내에서 공진이 발생되는 경우가 빈번하나 본 해석대상의 경우 단지간의 교량의 특성상 높은 고유진동수를 확보하고 있어 공진이 발생되지 않는 것을 알 수 있다. 이와 같이 기존선, 고속선 모두 설계속도 내에서 공진발생이 없으나 속도변화에 따른 동적거동을 변화를 파악하고 높은 강성의 단지간에서 크게 발생될 수 있는 연직가속도 등을 검토하기 위하여 속도별 동적해석을 수행하여 연직처짐과 연직가속도 2가지 항목에 대해 추가적으로 검토하였다.

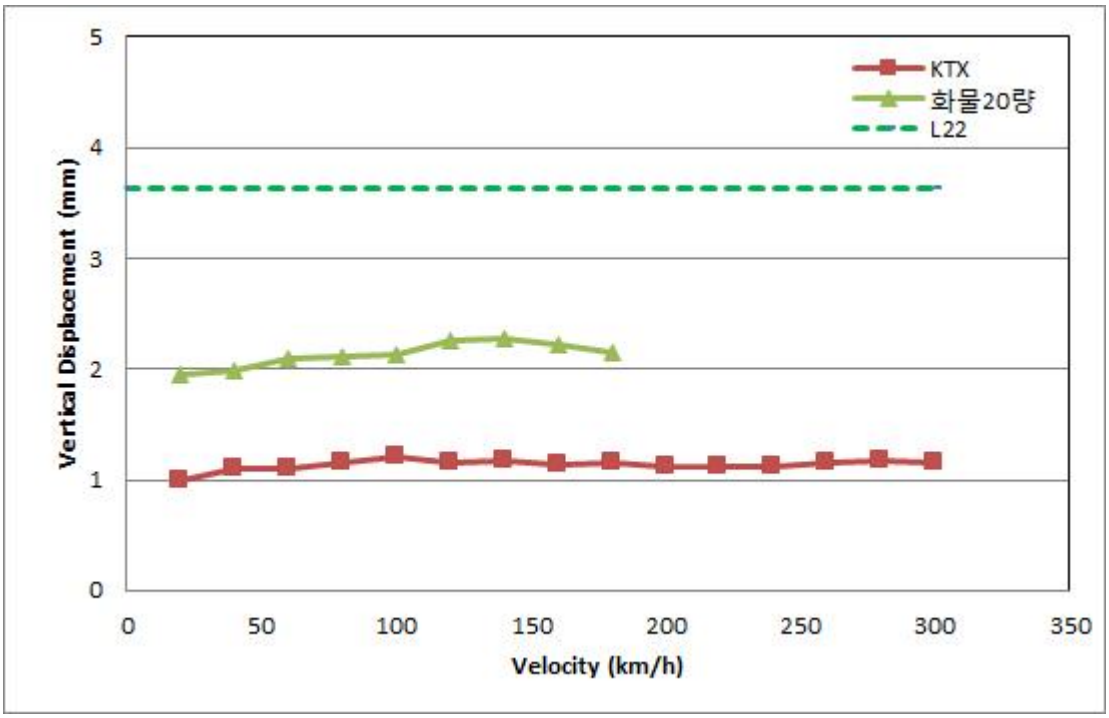
(4) 주행열차하중에 의한 동적응답 분석

(가) 연직처짐

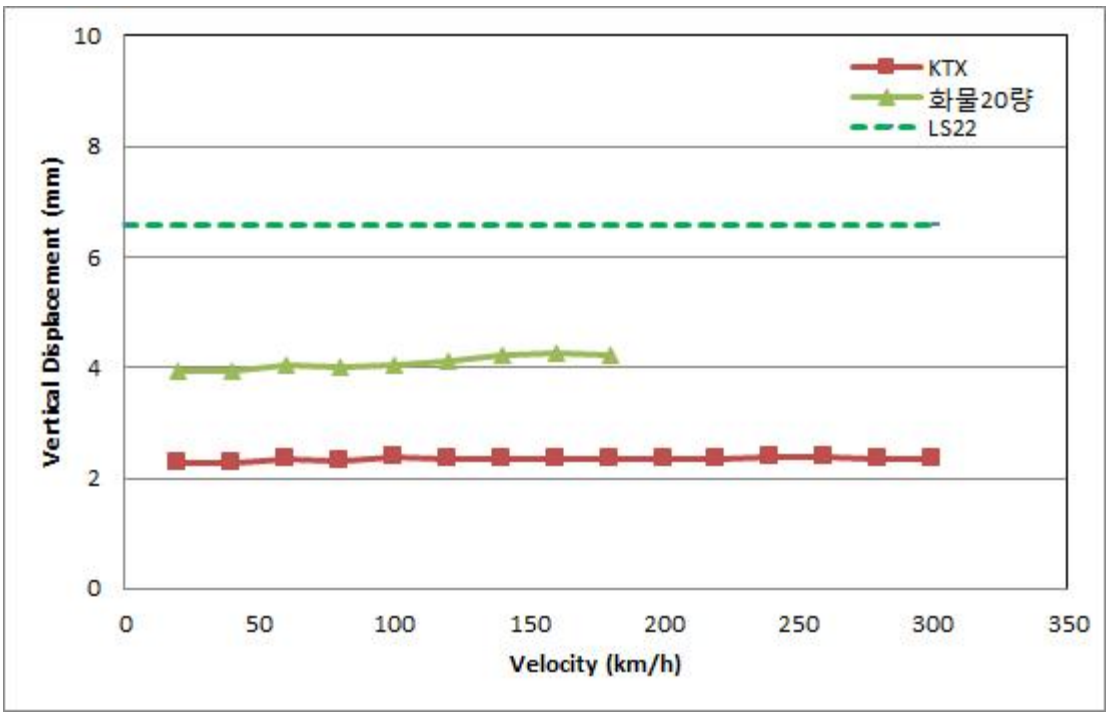
동적응답 검토에서 연직처짐 검토는 실하중 열차 활하중에 의해 발생되는 처짐만을 검토하며 이를 설계활하중에 의한 처짐을 참고하여 비교하였다. 그림 2.80~2.82은 급속교체형 콘크리트 교량의 경간과 차종에 대한 속도별 최대 연직처짐을 나타낸다.

또한 표준열차하중인 LS22를 재하했을 때의 처짐을 표기하여 각 실운행열차의 속도별 동적 연직처짐과 비교하였다.

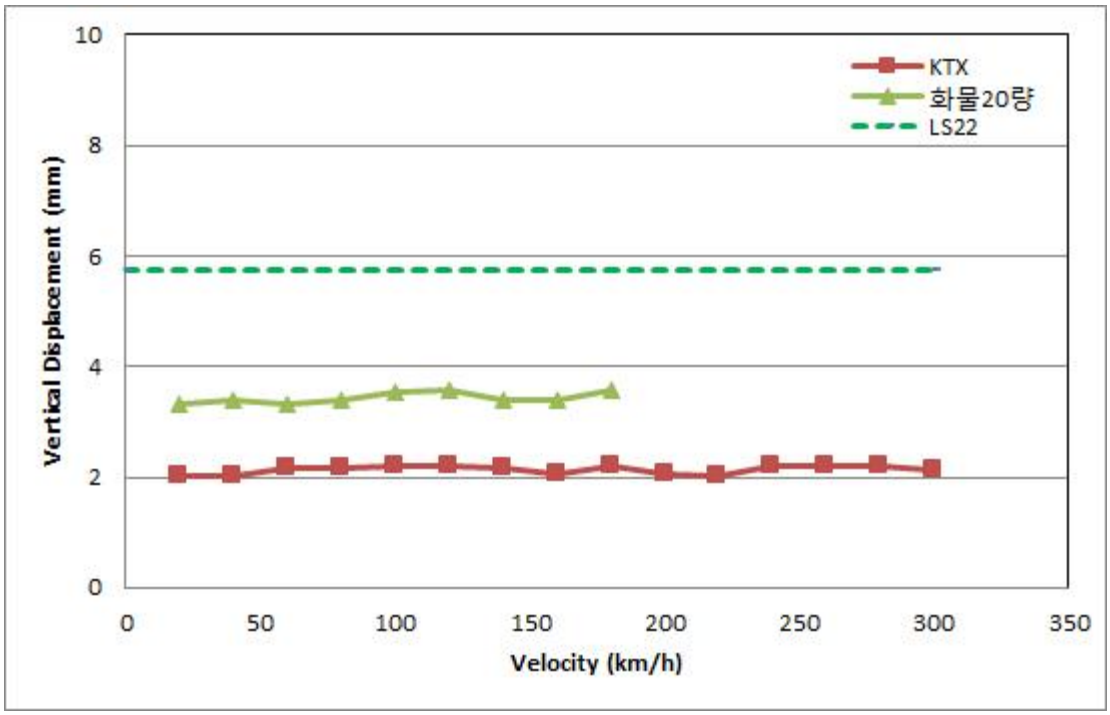
6m, 9m, 12m 교량의 연직처짐은 앞서 언급한 바와 같이 공진이 발생되지 않는 조건으로 속도변화에 따른 동적 처짐 변화는 제한적이며 안정적인 거동을 하는 것으로 평가된다. 실운행하중 최대처짐이 발생되는 화물열차를 기준으로 최대 동적 처짐과 LS22 설계활하중에 의해 발생되는 최대처짐을 비교한 결과, 6m 교량은 62.9%, 9m 교량은 77.8%, 12m 교량은 76.4% 수준의 최대 동적 처짐이 발생되는 것으로 나타났다.



[그림 2.80] 실 운행열차하중에 6m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직처짐
(LS22활하중 처짐 = 3.63mm)



[그림 2.81] 실 운행열차하중에 9m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직처짐
(LS22활하중 처짐 = 6.56mm)



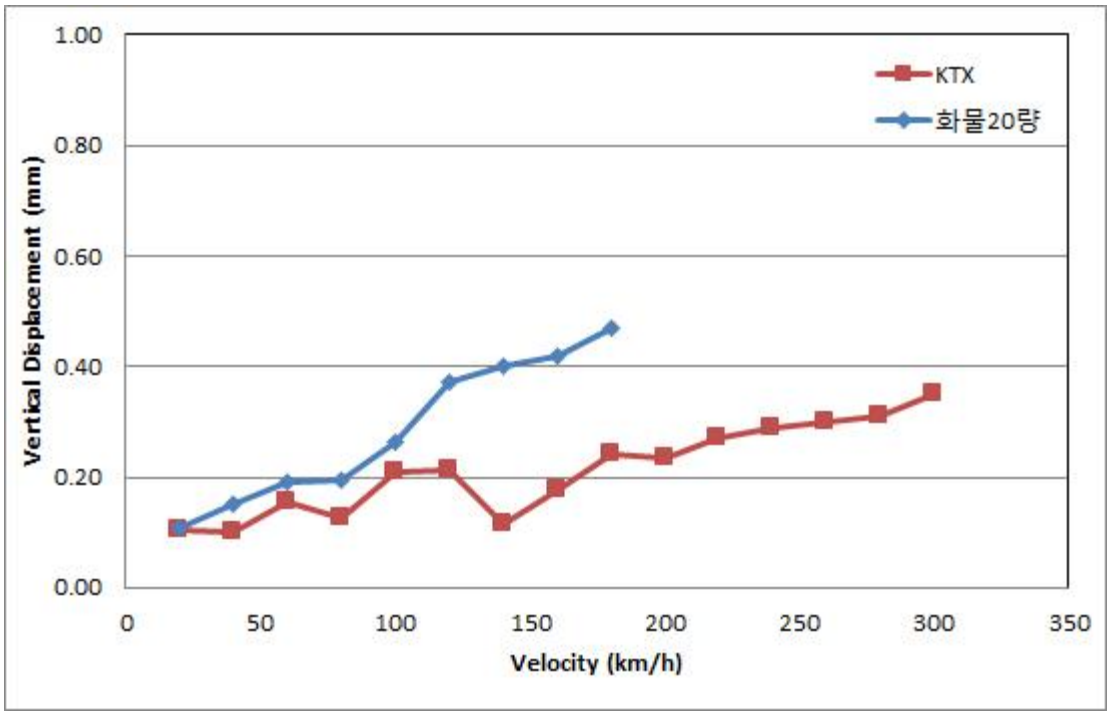
[그림 2.82] 실 운행열차하중에 12m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직처짐
(LS22활하중 처짐 = 5.74mm)

(나) 연직가속도

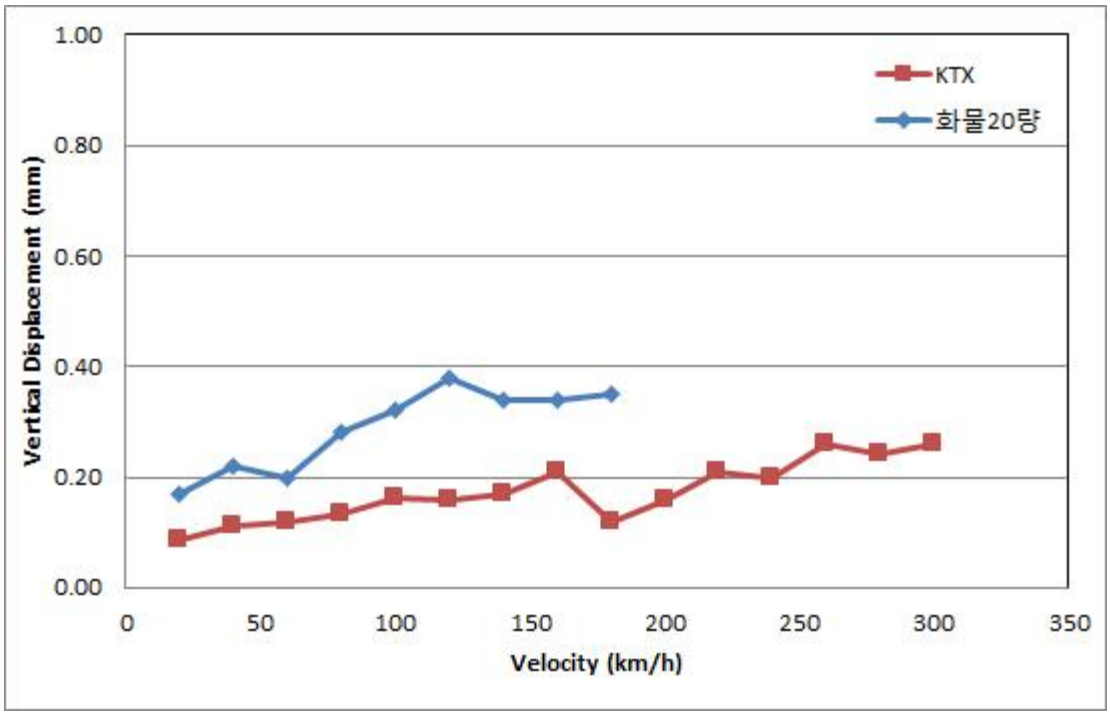
상판의 최대 연직가속도는 열차의 주행안전성, 궤도 및 교량의 안전성을 위해 제한되고 있는 항목이다. Eurocode와 호남고속철도 설계지침에서는 자갈궤도에 대하여 0.35g, 콘크리트궤도에 대해 0.50g로 제한하고 있다. 단, 최근 유럽에서는 이에 대한 규정이 구간 평균값이 아닌 순간 최대값으로의 제한, 실험결과에 대한 과도한 안전율(2.0) 적용 등의 측면에서 과도하다는 의견이 다수 제시되어 개정을 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있는 상황이다.

그림 2.83~2.85은 급속교체형 콘크리트 교량의 경간과 차종에 대한 속도별 최대연직가속도를 나타낸다.

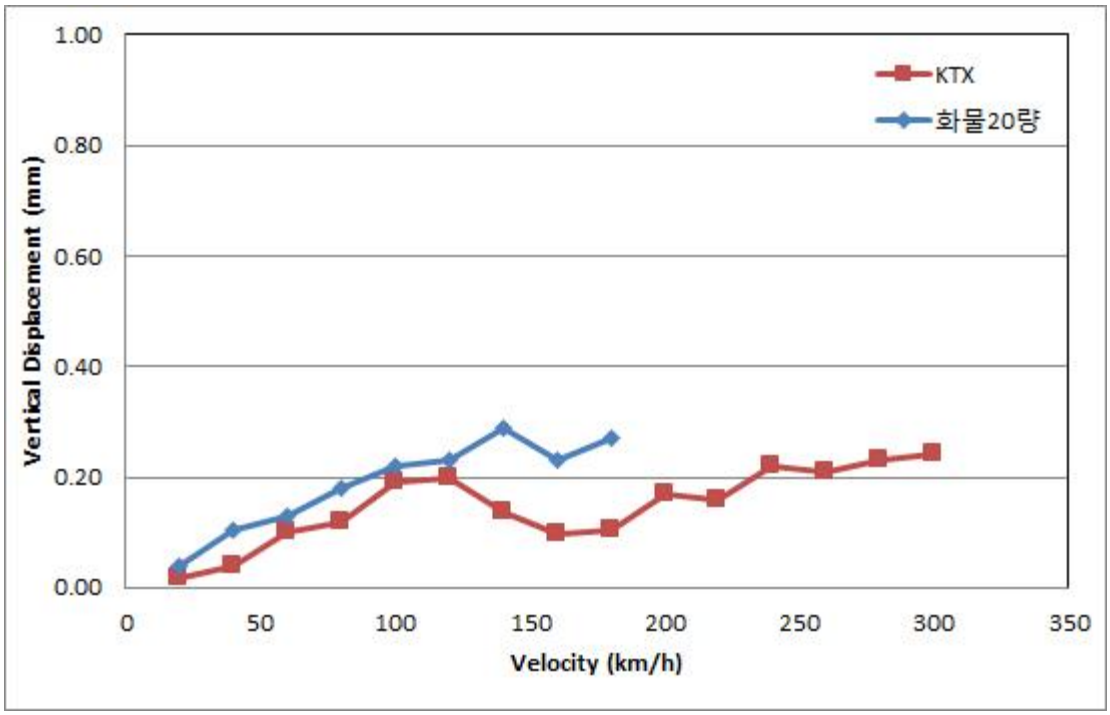
해석결과 6m, 9m, 12m 교량 모두 콘크리트 도상 0.5g 연직가속도 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 다만, 단경간 교량의 특성상 다소 높은 수준의 연직가속도가 발생되는 점과 6m 교량의 경우 화물 180km/h 주행 시 0.5g에 근접하는 결과를 나타내고 있어 향후 기존선 증속 운행 시 이에 대한 실험적인 검증이 충분히 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.



[그림 2.83] 실 운행열차하중에 6m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직가속도
(철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)



[그림 2.84] 실 운행열차하중에 9m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직가속도
(철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)



[그림 2.85] 실 운행열차하중에 12m 콘크리트 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)

제4절 철도판형교의 급속교체 상부구조 제작

1. 개요

가. 본 연구는 기존 노후 된 판형교를 특수제작 된 철도차량을 이용하여 급속교체가 가능하도록 하기 위한 연구로 기존의 노후 된 판형교를 교체하기 위해서는 성능과 안전이 요구되는 판형교가 필요하다. 이에 구조해석을 통하여 검증된 단면을 이용하여 성능평가를 위한 시험체를 제작하였다.

나. 구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2009 V3.0.0을 사용하였다. 교량의 수치모델은 주형 및 가로보와 레일은 3차원 보요소를 사용하였고 콘크리트 슬래브에 대해서는 쉘요소를 사용하였으며 열차활하중은 LS-22표준활하중을 재하하였다.

2. 궤도 형식 결정

가. 교량제원의 제약조건

(1) 판형교 급속교체를 위한 특수차량은 그 크기에 한계가 있으므로 제작된 교량을 적재 및 이동이 가능하도록 하기 위해서는 교량제원의 제약조건이 발생한다. 단면의 폭과 높이 및 총중량의 한계치는 표 2.103과 같이 폭은 2.7m이하여야 하고, 높이는 레일을 포함한 1.0m이하여야 한다. 또한 레일 및 기타 부가하중을 포함한 교량전체의 중량은 600kN이하여야 한다.

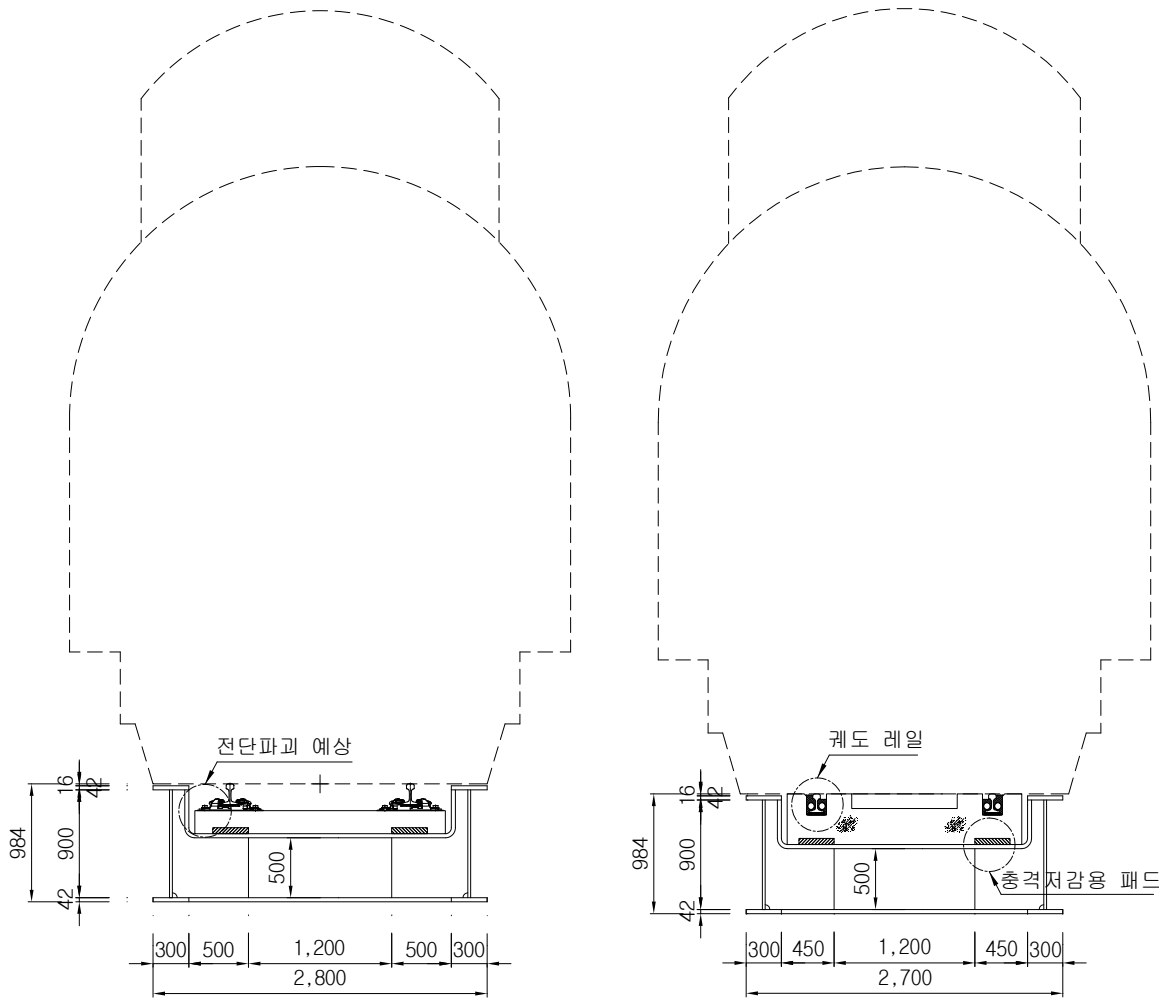
[표 2.103] 교량제원의 제약조건

구 분	폭	높이	총중량
급속교체 교량	2.7m 이하	1.2m 내외	600kN 이하

나. 궤도 형식 선정

(1) 궤도형식은 크게 자갈도상과 콘크리트 도상으로 구분되어지는데, 교량의 1 Span을 제작 및 운반하여 급속교체하는 본 연구의 특성상 자갈도상은 사실상 불가능 하므로 콘크리트 도상을 적용 한다. 또한, 궤도 형식은 일반적인 돌출형 궤도 형식과 매립식 궤도로 구분 할 수 있는데 각 궤도의 경우 아래 그림 2.86와 같은 제원을 가진다.

(2) 그림에서 보여지는 것과 같이 매립식 궤도는 표 2.103의 제약조건을 만족하지만 돌출형 궤도의 폭은 2.8m로 제약조건인 2.7m를 초과한다. 또한 돌출형 궤도 형식의 경우 콘크리트 슬래브(궤도) 단부쪽에 충분한 연단거리를 확보하지 못하여 전단파괴의 우려가 있으며 이를 해결하기 위해 폭을 더 증가시켜야 하며 이는 특수차량에 탑재가 불가능하게 된다. 따라서, 본 연구의 특수차량을 이용한 급속교체 특성을 반영하여 궤도형식은 매립식 궤도 형식을 적용한다.



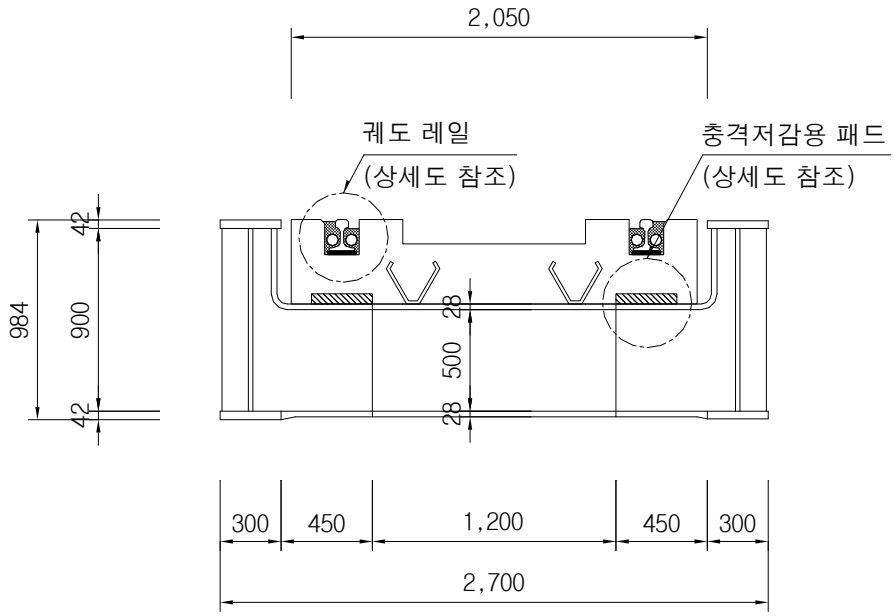
(가) 돌출형 궤도 (나) 매립형 궤도

[그림 2.86] 궤도형식 비교

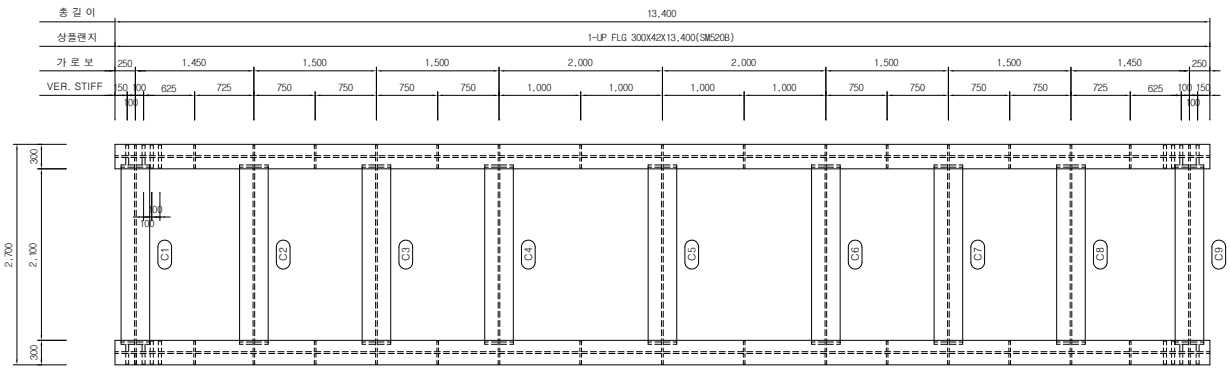
3. 단면 선정

가. 앞에서 언급한 표 2.103의 교량제원 제약조건을 만족시키는 단면을 그림 2.87와 같이 산정하였다. 교량의 형식은 하로 판형교이며, 주형의 복부판 높이는 900mm이며 가로보의 복부판 높이는 500mm로 산정하였고, 궤도 형식은 매립식 궤도형식을 적용하였다. 레일과 같은 선상의 콘크리트 슬래브(궤도)와 가로보의 접합면에 충격저감용 패드를 설치하여 열차 진동과 충격을 흡수할 수 있도록 하였으며, 가로보 상단부에 슬래브 앵커 철근을 2개소 배치하여 가로보와 콘크리트 슬래브 간의 부착력을 증가 시키도록 하였다. 그림 2.88과 같이 가로보의 간격은 지점부 1.5m, 중앙부 2.0m로 배치하였고, 주형 복부판의 수직보강재 간격은 지점부 0.75m, 중앙부 1.0m로 산정하였다.

나. 전체 교량 중량은 표 2.104과 같이 461.252kN으로 교량단면 제약조건인 600kN내로 계획하였고, 강재 중량산정 시 각종 보강재를 감안하여 30% 증가하여 산정하였다.



[그림 2.87] 판형교 단면도



[그림 2.88] 판형교 평면도

[표 2.104] 판형교 중량

구 분		A(㎡)	L(m)	단위중량 (kN/㎥)	수량	중량(kN)	비고
강재	주형	0.04500	13.400	78.50	2	132.539	30%할증
	가로보	0.02960	2.400	78.50	9	70.266	
콘크리트		0.66478	13.400	24.50	1	218.247	
레 일			13.400	1.50	2	40.200	
합 계						461.252	

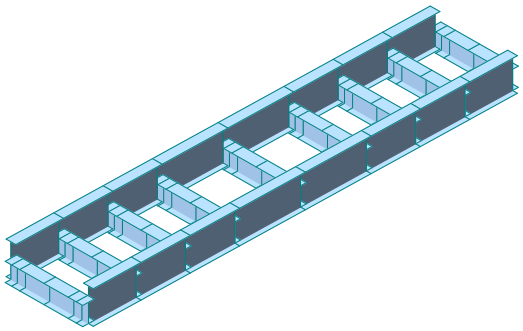
4. 교량의 모델링

가. 해석모델

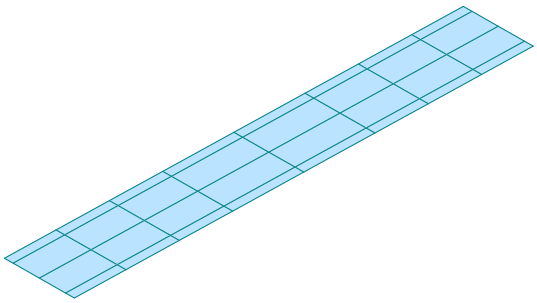
(1) 본 연구의 대상교량인 판형교중 지간 길이가 가장 긴 13.4m의 판형교에 대하여 철도하중에 의한 대상 구조물의 거동을 분석하기 위해서 실제 구조물과 가장 근접하게 3D모델링을

수행하였다. 구조해석에 사용한 프로그램은 범용 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2009 V3.0.0을 사용하였다.

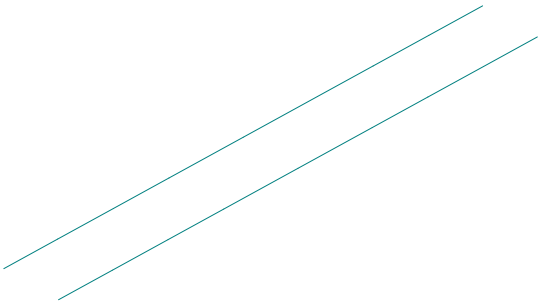
(2) 대상 교량의 모델링은 그림 2.89에서 보는 바와 같이 주형 및 가로보, 콘크리트 슬래브, 실제 하중을 재하하는 레일을 구분하여 모델링을 수행하였다. 각 부재의 물성치는 표 3.105와 같다.



(a) 주형 및 가로보



(b) 콘크리트 슬래브



(c) 레일

[그림 2.89] 하로판형교 철도교량 수치해석 모델

[표 2.105] 구조부재의 물성치

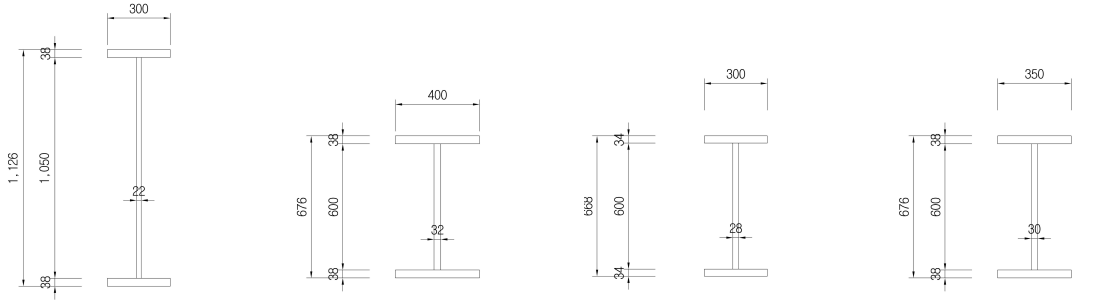
구 분	단위중량(kN/㎥)	탄성계수(E, MPa)	비 고
레 일	78.5	200,000	
콘크리트 슬래브(궤도)	24.5	28,576	f_{ck} = 30MPa
강 재	78.5	200,000	강종 : SM520B

나. 단면 계수

(1) 각 부재의 치수 및 단면계수는 그림 2.90 및 표 2.106와 같다. 주형의 경우 플랜지 폭은 300mm이고 두께는 42mm, 복부판의 높이는 900mm이고 두께는 42mm이다. 가로보의 경우 플랜지 폭은 350mm이고 두께는 28mm이며, 복부판의 높이는 500mm이고 두께는 20mm이

다.

(2) 구조해석 시 강재의 자중은 수직보강재 등의 보강재 자중을 고려하려 강재중의 30%를 할증하여 해석을 시행하였다.



(가) 외측 거더 (나) 중앙 거더 (다) 일반부 가로보 (라) 지점부 가로보

[그림 2.90] 주형 및 가로보 치수

[표 2.106] 각 단면의 단면계수

구 분		A(㎟)	Iyo(㎟)	y(㎜)	Ay2(㎟)	Iyc(㎟)
외측 거더	상부플랜지	11,400	1,371,800	544	3,373,670,400	3,375,042,200
	복 부 판	23,100	2,122,312,500	-	-	2,122,312,500
	하부플랜지	11,400	1,371,800	-544	3,373,670,400	3,375,042,200
	합 계	45,900	2,125,056,100	-	6,747,340,800	8,872,396,900
중앙 거더	상부플랜지	15,200	1,829,067	319	1,546,767,200	1,548,596,267
	복 부 판	19,200	576,000,000	-	-	576,000,000
	하부플랜지	15,200	1,829,067	-319	1,546,767,200	1,548,596,267
	합 계	49,600	579,658,133	-	3,093,534,400	3,673,192,533
일반부 가로보	상부플랜지	10,200	982,600	317	1,024,987,800	1,025,970,400
	복 부 판	16,800	504,000,000	-	-	504,000,000
	하부플랜지	10,200	982,600	-317	1,024,987,800	1,025,970,400
	합 계	37,200	505,965,200	-	2,049,975,600	2,555,940,800
지점부 가로보	상부플랜지	13,300	1,600,433	319	1,353,421,300	1,355,021,733
	복 부 판	18,000	540,000,000	0	0	540,000,000
	하부플랜지	13,300	1,600,433	-319	1,353,421,300	1,355,021,733
	합 계	44,600	543,200,867	0	2,706,842,600	3,250,043,467

다. 하중 산정

(1) 해석 모델의 하중은 아래 표 2.107과 같이 산정하였다.

(가)고정하중의 강재자중은 각종 보강재 중량을 고려하여 30% 할증하였다.

(나) 부가고정하중은 레일을 자중을 고려하였다.

(다) 활하중은 LS-22 표준활하중을 이동하중으로 재하하였다.

(라) 활하중에 의한 충격은 활하중 응력에 충격계수를 곱한 값으로 하였다.
(충격계수 I = 50-L^2/48 = 46.53%)

(마) 장대레일 종하중은 1궤도당 12kN/m로 레일면상에 작용하는 것으로 고려하였다.

(바) 풍하중은 열차하중이 있을 때와 없을 때로 구분하여 재하하였다.

(사) 시동하중은 동륜하중의 25%를 재하하였다.

(아) 제동하중은 LS하중의 15%를 재하하였다.

(자) 시동하중 또는 제동하중은 레일면상 높이 2.0m높이에서 교축방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.

(차) 차량횡하중은 L하중의 1동륜축중의 15%의 값으로 1.5m간격으로 연행집중이동하중으로 하고, 레일면의 높이에서 교축에 직각이고 수평으로 작용하는 것으로 한다.

(카) 온도하중은 온도변화의 범위를 ±35℃로 고려하였다.

[표 2.107] 하중 산정

구 분	하 중 종 류	하 중 산 정
고 정 하 중	1. 강재자중	보강재를 고려하여 30%할증
	2. 슬래브 자중	콘크리트 자중
	3. 부가고정하중	레일 자중
활 하 중	4. 열차활하중	LS-22하중
	5. 활하중에 의한 충격	처짐검토시 미고려
장대레일 종하중	6. 장대레일 종하중	레일상면에 작용
풍 하 중	7. 열차가 없을 때	
	8. 열차가 있을 때	
시제동하중	9. 시동하중	동륜하중의 25%
	10. 제동하중	LS하중의 15%
차량횡하중	11. 열차횡하중	1동륜 축중의 15%
온도하중	12. 강재 온도차	±35℃

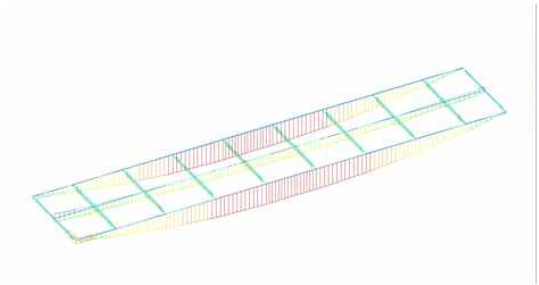
5. 구조해석 결과

가. 단면력 산정

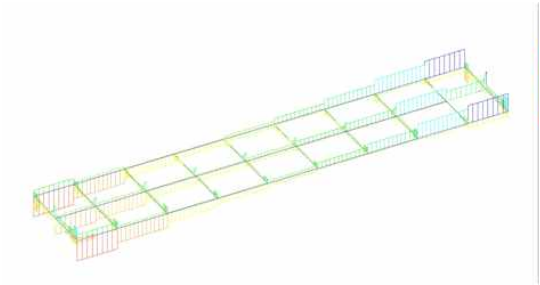
(1) 구조해석 결과 구조물에 발생하는 단면력은 그림 2.91 및 표 2.108과 같다. 본 연구의 대상교량은 단순지지되는 단순보의 형태이므로 휨모멘트는 중앙부에서 최대값을 나타냈고, 전단력은 지점부에서 최대값이 발생한다.

[표 2.108] 단면력 정리

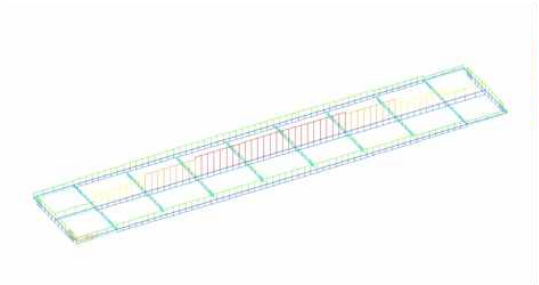
구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	864.990	83.280	1658.78
	Min	-301.67	-601.86	-101.10
중앙 거더	Max	2870.73	139.14	744.79
	Min	-272.52	-469.86	-420.57
일반부 가로보	Max	360.10	69.31	232.39
	Min	-268.94	0.17	-185.21
지점부 가로보	Max	747.95	123.48	142.37
	Min	-524.70	-82.31	-136.99



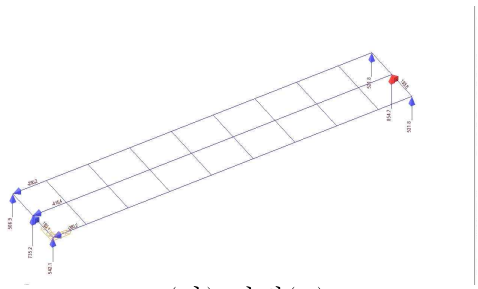
(가) 모멘트(My)



(나) 전단력(Fz)



(다) 축력(Fx)



(라) 반력(R)

[그림 2.91] 구조해석

나. 단면 검토

(1) 허용응력 산정

(가) 기본허용응력

구조용 강재 및 용접부에 대한 기본허용응력은 표 2.23에 제시한 값으로 한다. 본 연구대상인 하로판형교의 강재는 강종 SM520을 사용하였으며, 주형의 경우 상·하부플랜지의 두께가 40mm이하이므로 허용응력은 인장·압축응력이 215MPa, 전단응력이 120MPa이고, 가로보의 경우 판의 두께가 40mm이하이므로 기본 허용응력은 인장·압축응력이 215MPa, 전단응력이 120MPa이다.

[표 2.109] 기본허용응력(철도설계기준 P.9-24)

(단위 : MPa)

응력종류, 판두께 \ 강 종		SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM 490 Y SM 520 SMA 490	SM 570 SMA 570
허용축인장응력 허용휨인장응력	40이하	140	190	215	270
	40 초과 75 이하	130	175	200	260
	75 초과 100 이하			195	250
허용축압축응력 허용휨압축응력	40이하	140	190	215	270
	40 초과 75 이하	130	175	200	260
	75 초과 100 이하			195	250
허용전단응력	40이하	80	105	120	155
	40 초과 75 이하	75	100	115	145
	75 초과 100 이하			110	145
허용지압응력	40이하	210	285	320	405
	40 초과 75 이하	195	265	300	385
	75 초과 100 이하			295	380

(나) 강재의 좌굴 허용응력

허용좌굴응력은 표 2.110에 제시한 값으로 한다.

[표 2.110] 강재의 허용좌굴응력(철도설계기준 P.9-26)

(a) 축방향 압축응력(총단면적 기준)

(단위 : MPa)

강 종 / 판 두께		SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM 490 Y SM 520 SMA 490	SM 570 SMA 570
축방향 압축응력	40MM 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 9$ 140 $9<\frac{l}{r}\leq 130$ $140-0.80(\frac{l}{r}-9)$ $\frac{l}{r}>130$ $740{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 190 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $190-1.26(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $740{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 215 $7.5<\frac{l}{r}\leq 105$ $215-1.51(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>105$ $740{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 270 $10<\frac{l}{r}\leq 95$ $270-2.14(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $740{,}000/(\frac{l}{r})^2$
	40MM 초과 75MM 이하	$0<\frac{l}{r}\leq 10$ 130 $10<\frac{l}{r}\leq 135$ $130-0.72(\frac{l}{r}-10)$ $\frac{l}{r}>135$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 175 $8<\frac{l}{r}\leq 115$ $175-1.12(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>115$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7.5$ 200 $7.5<\frac{l}{r}\leq 110$ $200-1.36(\frac{l}{r}-7.5)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 260 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $260-2.04(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$
	75MM 초과 100MM 이하			$0<\frac{l}{r}\leq 8$ 195 $8<\frac{l}{r}\leq 110$ $195-1.32(\frac{l}{r}-8)$ $\frac{l}{r}>110$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$	$0<\frac{l}{r}\leq 7$ 250 $7<\frac{l}{r}\leq 95$ $250-1.92(\frac{l}{r}-7)$ $\frac{l}{r}>95$ $730{,}000/(\frac{l}{r})^2$

강 종 / 판 두께	SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490 SM 490 C-TMC	SM490 Y SM 520 SMA 490	SM 570 SMA 570
휨 압 축 응 력	(1) 강축에 대한 휨 축방향 압축응력의 세장비($\frac{l}{r}$) 대신에 다음식으로 표시한 등가 세장비 ($\frac{l}{r}$)$_e$를 사용한다. $\left(\frac{l}{r}\right)_e = F\frac{l}{b^*}$ 여기서, I형 단면의 경우 $F = \sqrt{12+2\beta/\alpha}$ 박스거더단면의 경우 $\beta<\beta o$: F = 0 $\beta o \le \beta<1$: $F = \frac{1.05(\beta-\beta_o)}{1-\beta_o}\sqrt{3\alpha+1}\sqrt{b/l}$ $1\le\beta<2$: $F = 0.74\sqrt{(3\alpha+\beta)(\beta+1)}\sqrt{b/l}$ $2\le\beta$: $F = 1.28\sqrt{3\alpha+\beta}\sqrt{b/l}$ $\beta_o = \frac{14+12a}{5+21a}$ U형단면의 경우 $F = 1.1\sqrt{12+2\beta/\alpha}$			
	(2) 약축에 대한 휨			
	140	190	215	270

(다)허용응력 산정

앞에서의 표 2.110에 의해 주형과 가로보의 허용응력을 계산하면 다음 표2.111와 같다. 최대 단면력은 하중조합1(주하중+주하중에 해당하는 특수하중+온도변화의 영향)의 조합으로 이루어진 하중조합에서 최대값이 발생하므로 허용응력증가계수는 1.15를 사용하였다.

[표 2.111] 허용응력산정

구 분			등가세장비 (l/r)e	허용응력 (MPa)	허용응력 증가계수	적용허용응력 (MPa)	비 고
TYPE 1	외측거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	20.033	196.1	1.15	225.5	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	중앙거더	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	14.293	204.7	1.15	235.4	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	일반부 가로보	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	
		허용압축응력	15.643	202.7	1.15	233.1	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	
	지점부	허용인장응력		215.0	1.15	247.3	

	가로보	허용압축응력	13.148	206.5	1.15	237.5	215-1.51(l/r-7.5)
		허용전단응력		120.0	1.15	138.0	

(2) 응력검토

(가) 거더의 응력검토

[표 2.112] 거더의 응력검토

구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)	허용응력 증가계수
외측 거더	Max	864.990	83.280	1658.78	1.15
	Min	-301.67	-601.86	-101.10	
중앙 거더	Max	2870.73	139.14	744.79	1.15
	Min	-272.52	-469.86	-420.57	

-외측 거더

① 휨응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 124.103MPa < f_{ta} = 247MPa

$f = \frac{P}{A} - \frac{My}{I}$ = -86.413MPa < f_{ca} = 225MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} - \frac{My}{I}$ = -0.157MPa < f_{ca} = 225MPa

$f = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -12.988MPa < f_{ca} = 225MPa .....O.K

② 전단응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f = \frac{S}{A_w}$ = 3.608MPa < v_a = 138MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f = \frac{S}{A_w}$ = -26.055MPa < v_a = 138MPa .....O.K

③ 합성응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.503 < 1.1

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.384 < 1.1 .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.189 < 1.1

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.197 < 1.1 .....O.K

- 중앙 거더

① 휨응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f=\frac{P}{A}+\frac{My}{I}$ = 126.411MPa < f_{ta} = 247MPa

$f=\frac{P}{A}-\frac{My}{I}$ = -10.656MPa < f_{ca} = 235MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f=\frac{P}{A}-\frac{My}{I}$ = 33.206MPa < f_{ta} = 247MPa

$f=\frac{P}{A}+\frac{My}{I}$ = -44.194MPa < f_{ca} = 235MPa .....O.K

② 전단응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f=\frac{S}{A_w}$ = 7.247MPa < v_a = 138MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f=\frac{S}{A_w}$ = -24.472MPa < v_a = 138MPa .....O.K

③ 합성응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.514 < 1.1

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.069 < 1.1 .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.222 < 1.1

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.258 < 1.1 .....O.K

(나)가로보의 응력검토

[표 2.113] 가로보의 응력검토

구 분		축력(kN)	전단력(kN)	모멘트(kN·m)	허용응력 증가계수
일 반 부 가 로 보	Max	360.10	69.31	232.39	1.15
	Min	-268.94	0.17	-185.21	
지 점 부 가 로 보	Max	747.95	123.48	142.37	1.15
	Min	-524.70	-82.31	-136.99	

-일반부 가로보

① 휨응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 40.048MPa < f_{ta} = 247.3MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} - \frac{My}{I}$ = -31.432MPa < f_{ca} = 233.1MPa .....O.K

②전단응력 검토

$f = \frac{S}{A_w}$ = 4.126MPa < v_a = 138.0MPa .....O.K

③ 합성응력 검토

$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2}$ = 0.165 < 1.1 .....O.K

-지점부 가로보

① 휨응력 검토

- Max일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 31.576MPa < f_{ta} = 247.3MPa .....O.K

- Min일 경우 응력검토

$f = \frac{P}{A} - \frac{My}{I}$ = -26.011MPa < f_{ca} = 237.4MPa .....O.K

② 전단응력 검토

$f = \frac{S}{A_w}$ = 6.860MPa < v_a = 138.0MPa .....O.K

③ 합성응력 검토

$$\sqrt{\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{v}{v_a}\right)^2} = 0.137 \quad < \quad 1.1 \quad \text{.....O.K}$$

(다) 응력검토 요약

주형 및 가로보의 응력검토 결과는 표 2.114와 같다. 표에서 보는바와 같이 주형과 가로보에 발생하는 응력은 허용응력보다 작은 값으로 나타났으며, 합성응력 검토 결과도 1.1보다 작은 값으로 안정성을 확보하는 것으로 나타났다.

[표 2.214] 거더 및 가로보의 응력검토 결과

구 분	허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
				Max	Min	Max	Min	Max	Min	
외 측 거 더	247.3	225.5	138.0	124.103	-86.413	3.605	-26.055	0.503	0.197	O.K
중 앙 거 더	247.3	235.4	138.0	126.411	-44.194	7.247	-24.472	0.514	0.258	O.K
일반부 가로보	247.3	233.1	138.0	40.048	-31.432	4.126	0.010	0.165	0.135	O.K
지점부 가로보	247.3	237.5	138.0	31.576	-26.011	6.860	-4.573	0.137	0.114	O.K

(3) 피로검토

(가) 일반사항

① 피로검토는 인장응력 또는 교번응력이 발생하는 부위에서 피로검토를 수행한다.

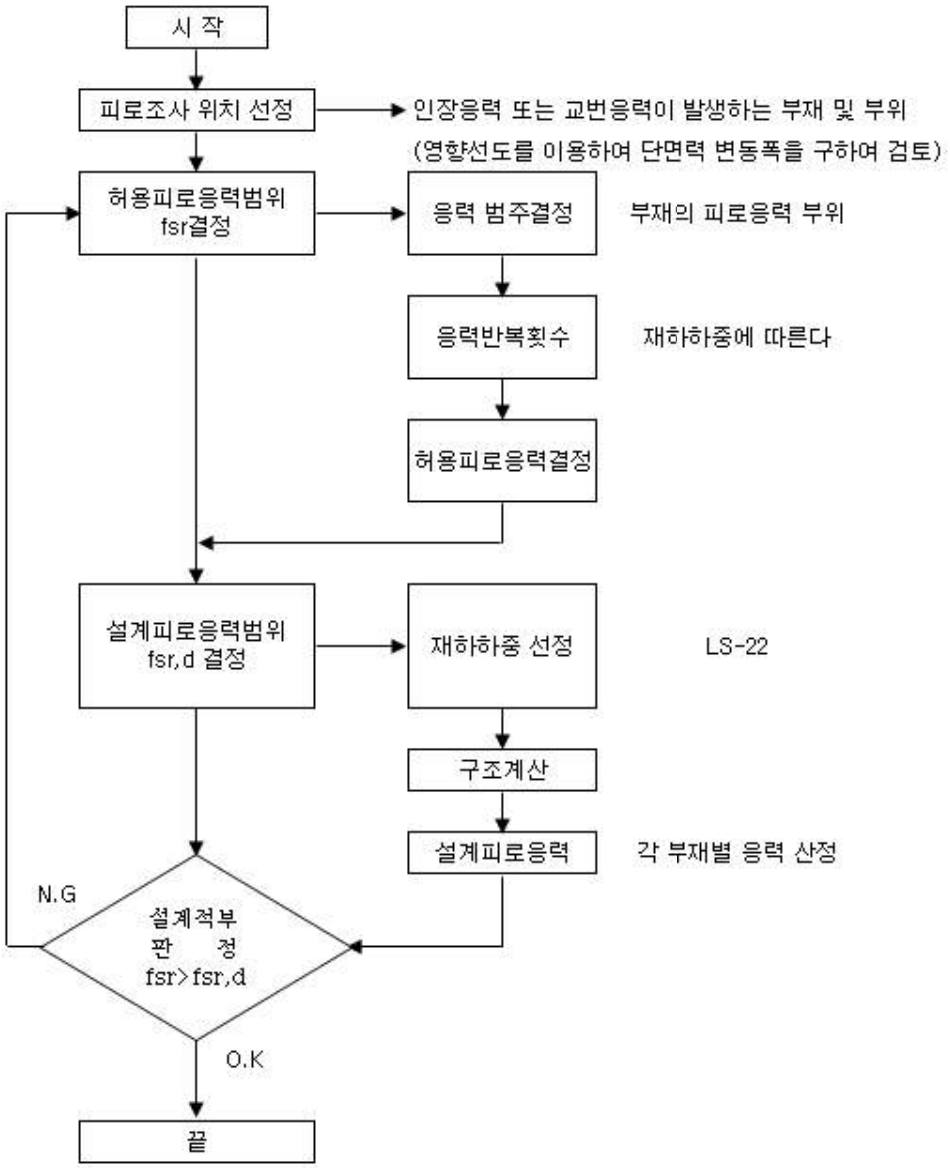
② 압축응력만이 발생하는 부위는 피로검토를 수행할 필요가 없다.

③ 주형과 같이 동종의 용접부가 연속되어 있는 경우, 또는 동일한 상세가 여러 곳에서 사용되는 응력범위가 최대로 발생하는 위치에서 피로검토를 수행한다.

④ 피로설계에 적용되는 충격하중은 다음의 비율로 조정한다.

(L ≤ 9.0m : 100%, L > 9.0m : 65%)

⑤ 피로설계를 위한 활하중은 단선재하 시로 검토한다.



[그림 2.92] 피로검토 순서도

(나) 거더의 피로검토

① 거더의 피로상세범주 : "B", 허용피로응력 : 112MPa

[표 2.115] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
외측 거더	Max	83.42	1035.76
	Min	0.00	-2.29
중앙 거더	Max	1289.70	450.17
	Min	0.00	-58.08

-외측 거더

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -63.907MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 67.542MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.145MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.145MPa

-중앙 거더

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -15.422MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 67.426MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 5.344MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -5.344MPa

② 피로검토 결과

[표 2.116] 거더의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	f_R	Max	Min	f_R		
외측 거더	-63.907	0.145	64.052	67.542	-0.145	67.687	112MPa	O.K
중앙 거더	-15.422	5.344	20.766	67.426	-5.344	72.770	112MPa	O.K

(다) 가로보의 피로검토

① 가로보의 피로상세범주 : “C”, 허용피로응력 : 70MPa

[표 2.117] 검토 단면력

구 분		축력(kN)	모멘트(kN·m)
일반부 가로보	Max	108.45	35.56
	Min	-0.15	-16.92
지점부 가로보	Max	2.66	12.05
	Min	-10.26	-0.90

-일반부 가로보

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -7.213MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 23.384MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.000MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 0.000MPa

-지점부 가로보

- Max일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -1.194MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = 1.313MPa

- Min일 경우 응력검토

$f_{su} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.136MPa, $f_{sl} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$ = -0.324MPa

② 응력검토 결과

[표 2.118] 가로보의 피로검토 결과

부 재	상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
	Max	Min	f_R	Max	Min	f_R		
일반부 가로보	-1.267	1.756	3.023	6.130	-1.763	7.893	70MPa	O.K
지점부 가로보	-1.194	-0.136	1.330	1.313	-0.324	1.636	70MPa	O.K

(4) 처짐 검토

(가) 주거더의 허용처짐값

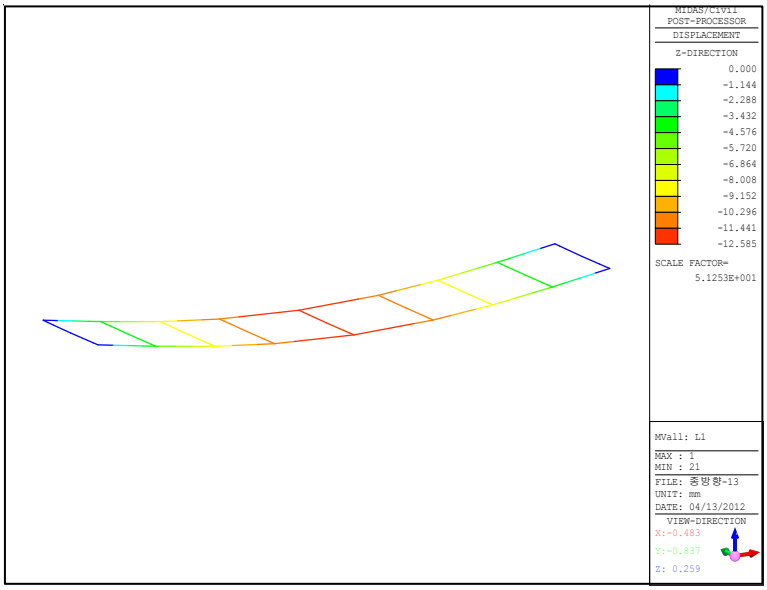
① 처짐 검토는 충격을 포함하지 않는 LS-22 단선 열차하중에 대하여 검토한다.

② 주거더의 처짐은 특별한 경우를 제외하고 가능한 표 2.119의 값을 넘지 않는 것으로 한다.

[표 2.119] 주거더의 허용처짐값

지간길이 L(m) / 열차속도 V(km/h)	0 < L < 50	L ≥ 50
V ≤ 120	L / 800	L / 700
120 < V ≤ 150	L / 1100	L / 900
150 < V ≤ 200	L / 1600	

(나) 주형의 처짐 형상



[그림 2.93] 주형의 처짐 형상

(다) 처짐 검토 결과

본 연구의 대상교량의 지간길이는 12.9m이므로 허용처짐량은 11.727mm(L/1100)이다. 해석결과 발생처짐량은 11.014mm이므로 허용처짐값의 범위를 넘지 않는 것으로 검토되었다.

[표 2.120] 주거더의 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	12.900	11.727	11.014	O.K

6. 검토 결과

위에서 살펴본 바와 같이 본 연구의 특성상 발생하는 교량단면제원의 제약조건을 만족하는 단면을 선정하고 구조해석을 실시한 결과는 아래 표 2.121~2.123과 같다. 표에서 보듯이 부재의 응력 검토 결과 발생하는 응력이 모두 허용응력을 넘어서지 않으며, 피로 검토 결과 허용피로응력의 범위를 넘지 않는 것을 확인하였다. 또한, 처짐 검토 결과 주형의 허용처짐값을 만족시키는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구대상의 판형교 단면은 철도설계기준에서 제시하는 허용응력, 허용피로응력, 허용처짐값을 초과하지 않으며 차량운반 제한조건 내 단면의 폭과 높이, 총중량의 제약조건을 만족시키면서 구조적으로 안정성을 확보하는 것으로 판단된다.

가. 응력 검토 결과

[표 2.121] 응력검토 결과

구 분	허용 인장 응력	허용 압축 응력	허용 전단 응력	작용휨응력		작용전단응력		합성응력		응력 검토 결과
				Max	Min	Max	Min	Max	Min	
외 측 거 더	247.3	225.5	138.0	124.103	-86.413	3.605	-26.055	0.503	0.197	O.K
중 앙 거 더	247.3	235.4	138.0	126.411	-44.194	7.247	-24.472	0.514	0.258	O.K
일반부 가로보	247.3	233.1	138.0	40.048	-31.432	4.126	0.010	0.165	0.135	O.K
지점부 가로보	247.3	237.5	138.0	31.576	-26.011	6.860	-4.573	0.137	0.114	O.K

나. 피로 검토 결과

[표 2.122] 피로검토 결과

부 재		상 부 플 랜 지			하 부 플 랜 지			허 용 피로응력	검 토
		Max	Min	fR	Max	Min	fR		
TYPE1	외 측 거 더	-63.907	0.145	64.052	67.542	-0.145	67.687	112MPa	O.K
	중 앙 거 더	-15.422	5.344	20.766	67.426	-5.344	72.770	112MPa	O.K
	일반부 가로보	-1.267	1.756	3.023	6.130	-1.763	7.893	70MPa	O.K
	지점부 가로보	-1.194	-0.136	1.330	1.313	-0.324	1.636	70MPa	O.K

다. 처짐 검토 결과

[표 2.123] 처짐 검토 결과

구 분	지간길이(m)	허용처짐량(mm)	발생처짐량(mm)	검토 결과
중 앙 부	12.900	11.727	11.014	O.K

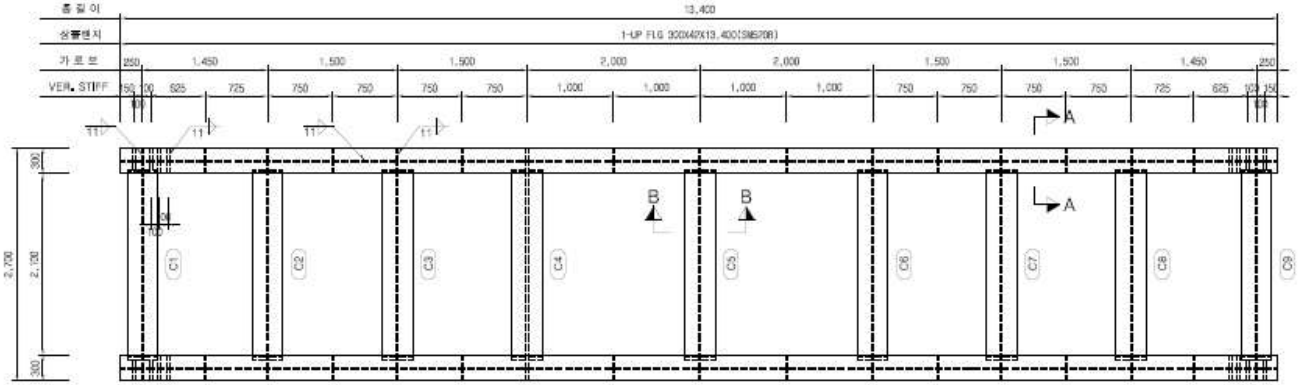
7. 상부구조 설계도면

판형교 일반도 (1)

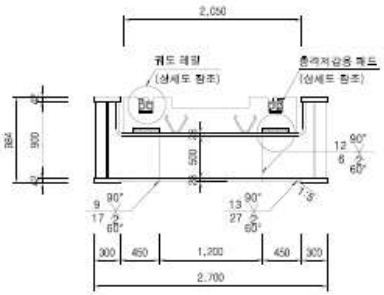
S=1:30

1. 적 용 설 계 법 : 허용응력설계법
2. 설 계 하 중 : LS-22
3. 강 재 : 주부재 SM520B

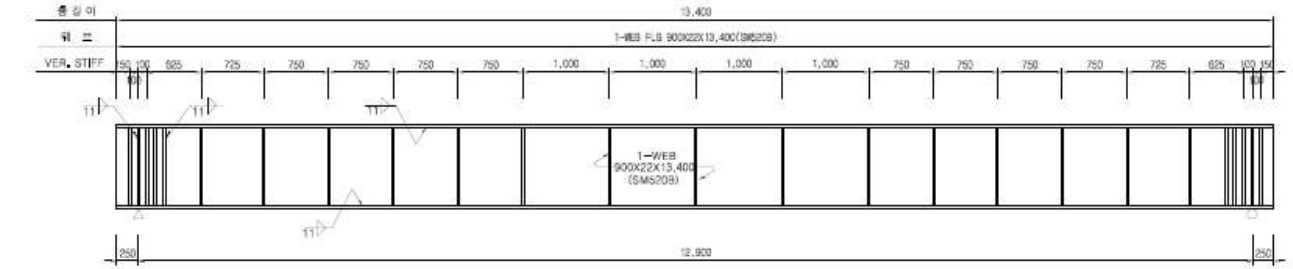
상 플 랜 지



횡 단 면 도

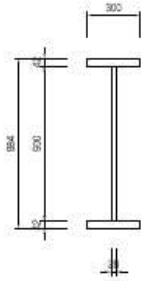


종 단 면(WEB)



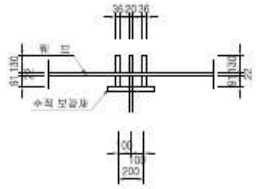
단 면 A-A

S=1:15

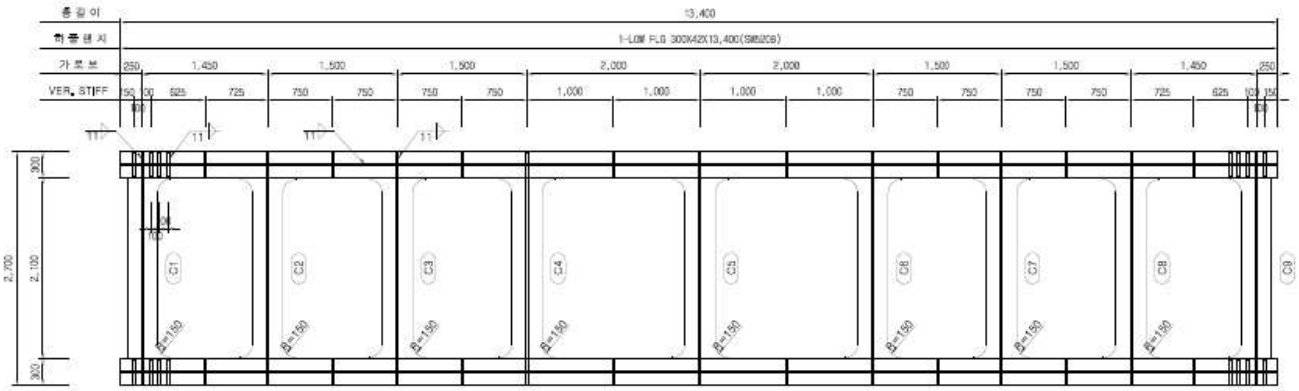


지점 보강재 상세

S=1:20

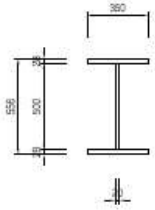


하 플 랜 지



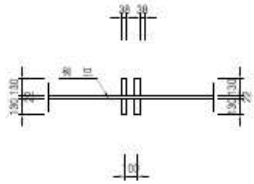
단 면 B-B

S=1:15



JACK UP 보강재 상세

S=1:20



작 성	검 토	승 인	담 당	검 토	승 인	일 자	축 척	도 면 번 호	일 련 번 호	Rev.

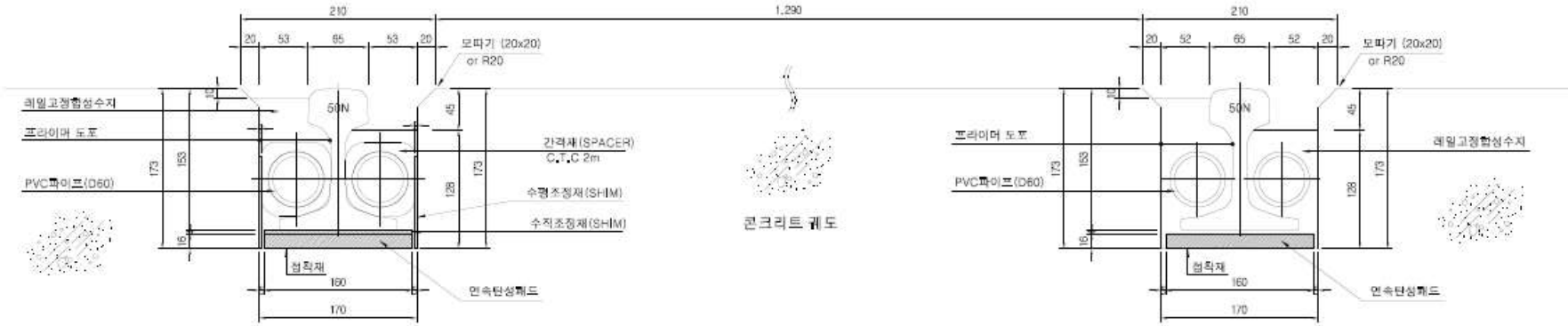
판형교 일반도 (2)

S=NONE

1. 적 용 설 계 법 : 허용응력설계법
2. 설 계 하 중 : LS-22
3. 강 재 : 주부재 SM520B

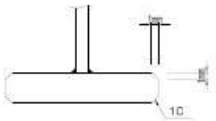
궤 도 상 세 도

S=NONE



모따기설치 상세

S=NONE



* 주) 주요부재의 도장도막의 수명연장을 위하여 플랜지 연단부등에 예리한 각부에 대하여 1mm 정도의 모따기 하는것을 원칙으로 합니다.

스켈럽 상세

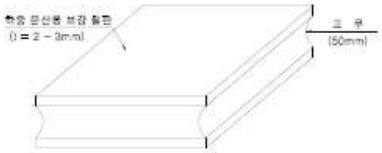
S=NONE



t (mm)	R (mm)
t ≤ 16	35
t > 16	40

충격저감용 패드 상세

S=NONE





부재별 상세집계

(단위 : ton, 천톤)

구 분	부재명	L너비(mm)	두께(mm)	길이(mm)	수 량	단위중량	총중량	재 질
주형	UPPER FLANGE	300	42	13,400	2	7.850	2.651	SM 520B
	WEB PLATE	900	22	13,400	2	7.850	4.166	SM 520B
	LOW FLANGE	300	42	13,400	2	7.850	2.651	SM 520B
	수직보강재	100	20	900	50	7.850	0.918	SM 520B
	지점보강재	100	36	900	8	7.850	0.255	SM 520B
	지점보강재	91	36	900	8	7.850	0.185	SM 520B
	Jack Up 보강재	100	54	900	16	7.850	0.558	SM 520B
가로보	UPPER FLANGE	350	28	2,885	9	7.850	1.997	SM 520B
	WEB PLATE	500	20	1,200	9	7.850	0.848	SM 520B
	Knee Brace (복부판결부)	589	20	900	18	7.850	1.498	SM 520B
	LOW FLANGE	350	28	2,102	9	7.850	1.454	SM 520B
	가로 플레이트	150	28	170	32	7.850	0.179	SM 520B
SUB TOTAL							17.370	SM 520B

두께별 집계표

(단위 : ton, 천톤)

종 류	규 격	단 위	L=13.4m	총 계(1경간)	비 고
강종	SM520B	TON	0.302	0.302	MET
	T=42mm	TON			
	T=40mm	TON			
	T=38mm	TON	0.558	0.558	
	T=36mm	TON	0.450	0.450	
	T=30mm	TON			
	T=28mm	TON	3.630	3.630	
	T=26mm	TON			
	T=24mm	TON			
	T=22mm		4.166	4.166	
	T=20mm	TON	3.264	3.264	
	T=18mm	TON			
	T=16mm	TON			
	T=14mm	TON			
	T=12mm	TON			
	T=10mm	TON			
총 계			17.370	17.370	

도장 수량 집계표

(단위 : ㎡, 천㎡)

구 분	단 위	L=13.4m	총 계(1경간)	비 고
A. 외부 도장(공장)	㎡	159.870	159.870	
B. 외부 도장(현장)	㎡			
C. 외부일반면 도장(공장)	㎡			
D. 연결판 도장(공장)	㎡			
E. 외부 볼트 및 연결판 도장(현장)	㎡			

작 성	검 토	승 인	담 당	검 토	승 인	입 자	축 척	도 면 번 호	입 면 번 호	Rev.

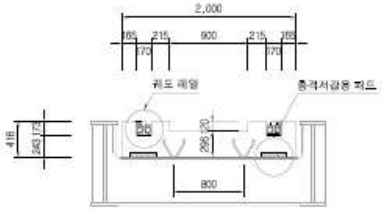
판형교 일반도 (3)

S=1:30

(콘크리트 궤도 일반도 및 배근도)

1. 적 용 설 계 법 : 허용응력설계법
2. 설 계 하 중 : LS-22
3. 강 재 : 주부재 SM520B

일 반 도



주 철 근 조 립 도

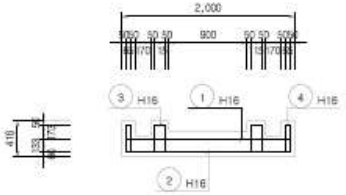
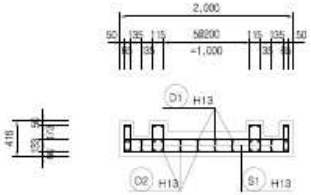
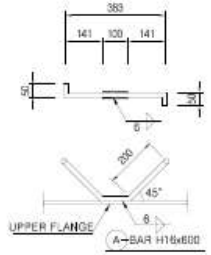


표 준 횡 단 면 도

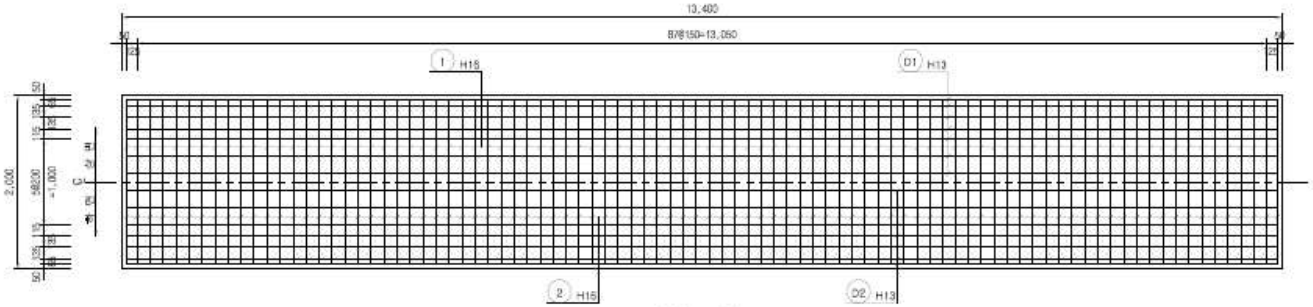


슬래브 앵카 철근

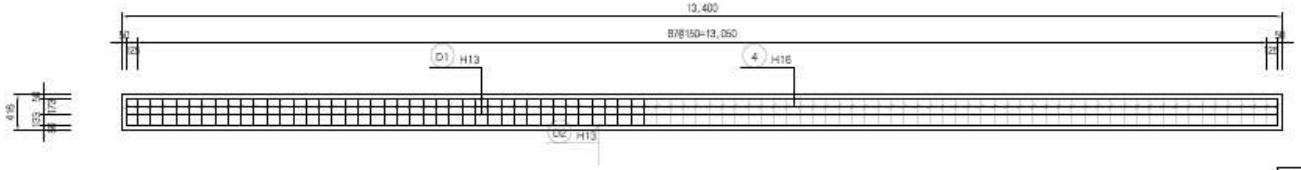
S=1:10



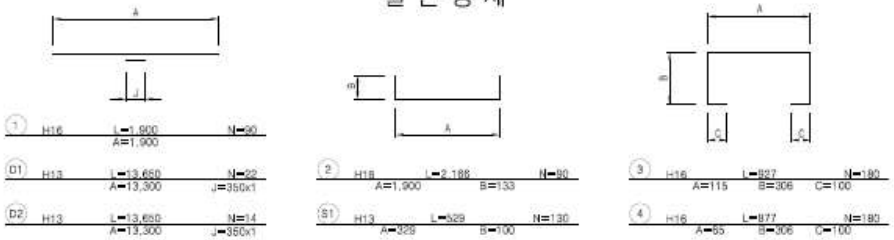
평 면



종 단



철 근 상 세



재 료 표

(전체분)

항 목		단 위	수 량	적 요
콘크리트		㎥	8.908	fck = 30MPa
거푸집	하 면	㎡	20.520	
	측 면	㎡	23.636	
	대 장	㎡	1.330	
종격저감용 패드		개소	18	350 x 350
궤도 레일		m	25.800	
철 근	계	t	0.559	

철 근 재 료 표

(전체분)

번호	직경	길 이	갯수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
1	H16	1	90	0.090			ADD 3%
2	"	2	90	0.180			
3	"	927	180	166.860			
4	"	877	180	157.860			
A	"	600	18	10.800			
소 계				335.790	1.560	0.524	0.540
D1	H13	13	22	0.286			
D2	"	13	14	0.182			
S1	"	529	130	68.770			
소 계				69.238	0.995	0.069	0.071
총 계						0.593	0.611

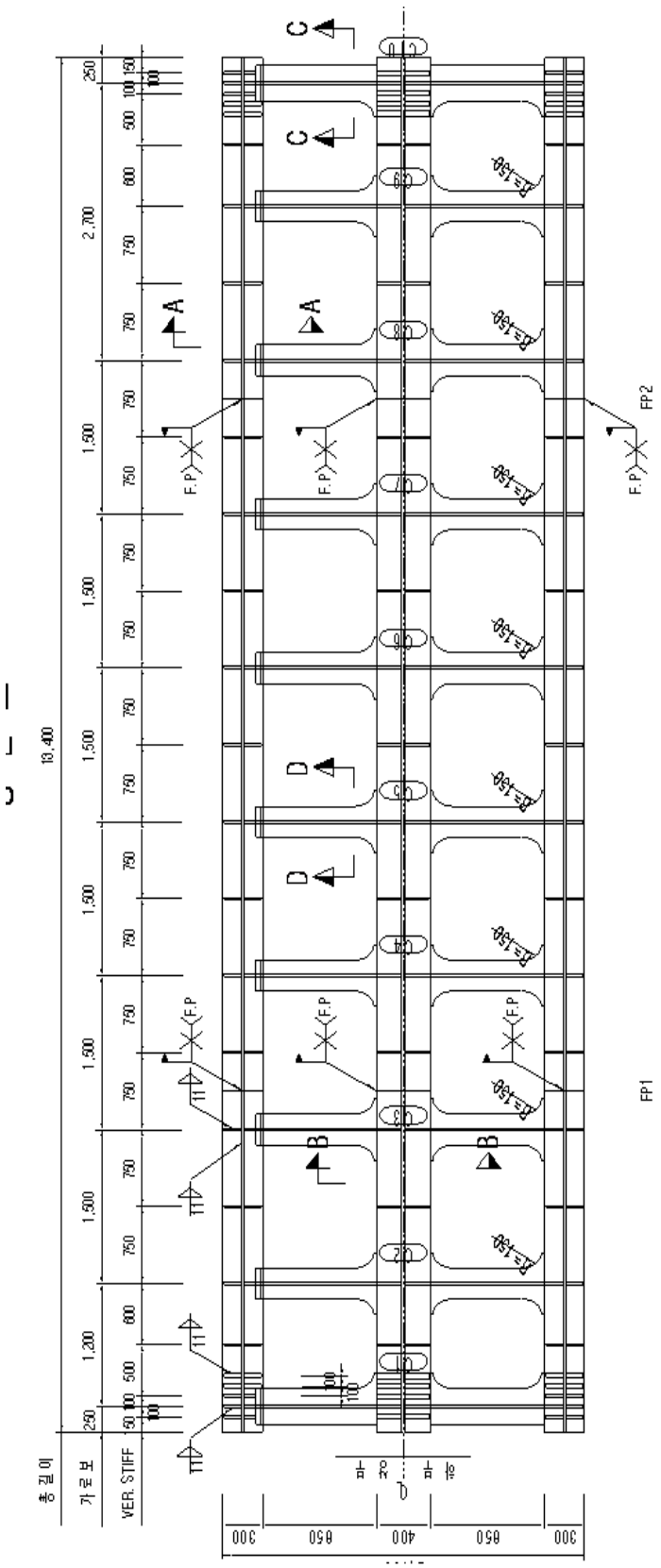
작 성	검 토	승 인	담 당	검 토	승 인	입 지	측 책	두 면 번 호	입 면 번 호	Rev.

8. 상부구조 제작

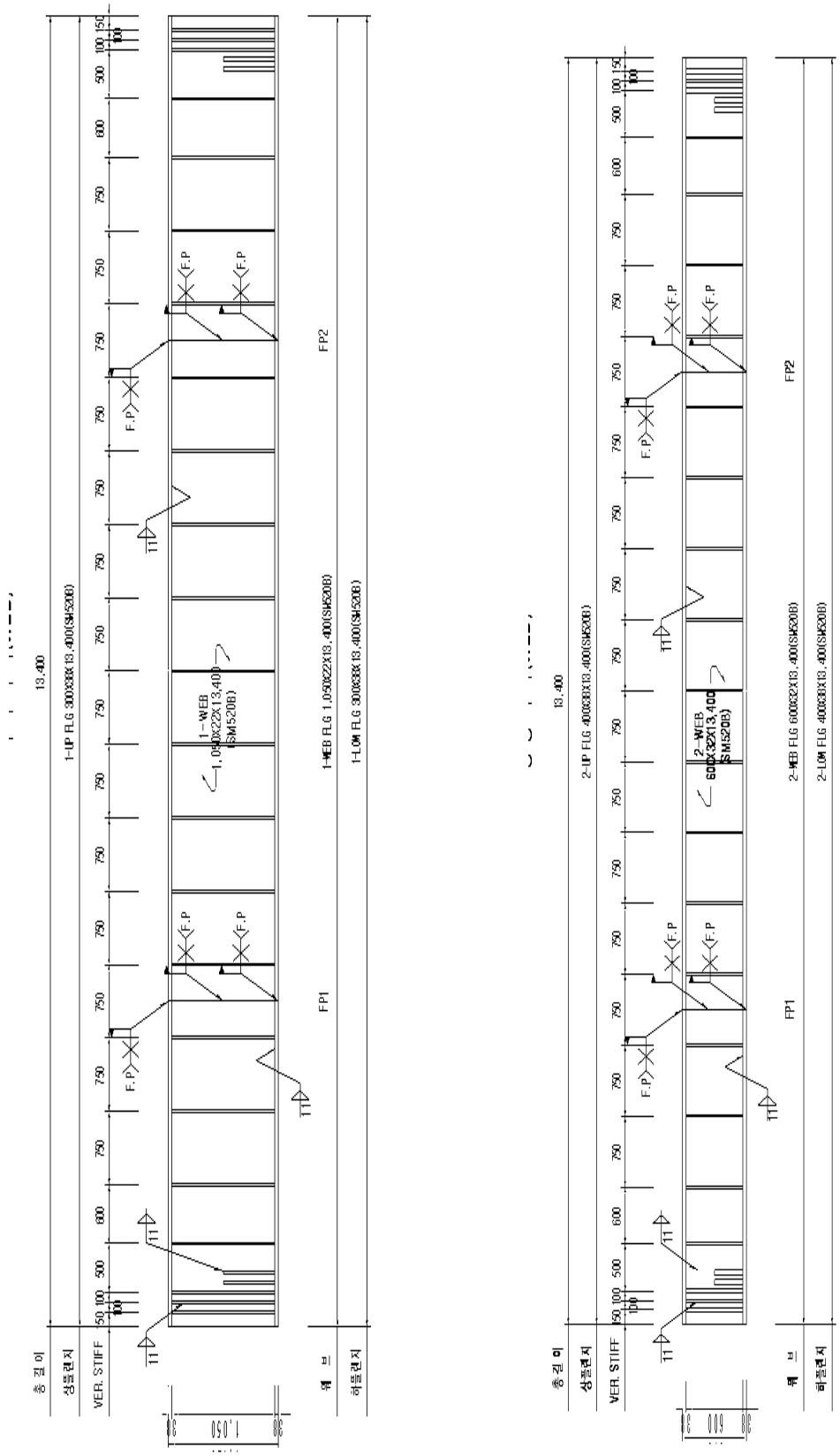
가. 본 실험에서 제작된 교량은 구조해석의 결과를 이용하여 TYPE 1인 13.4m의 연장을 가지는 것으로 시험체의 단면을 나타내면 다음 그림 2.94~2.96과 같으며, 사용된 강재는 SM520B이다. 판형교의 경우, 공장제작으로 강교표준시방서에 따라 강부재의 절단, 용접을 실시하여 주형을 제작하고 제작된 주형을 상호 연결하였다. 상부 슬래브 콘크리트는 프리캐스트로 설계강도($f_{ck} = 30MPa$)를 갖는 3분할로 제작하였다. 일체로 제작할 경우, 자중의 영향과 종방향으로 13.4m의 부재길이로 품질(양생 중 균열, 수축균열, 처짐 등)의 문제가 나타나므로 이를 고려하고자 하였으며, 슬래브 중앙부 하중가력 방식으로 중앙부에 이음부를 최소화하기 위해 3분할로 제작하였다. 이상 제작된 실험체와 상부 슬래브에 대한 제작과정을 다음 그림 2.97~2.102에 나타내었다. 또한, 콘크리트 배합은 슬럼프 120±15㎜이고, 공기량은 4.5±0.5%이며, 굵은골재 최대치수 25㎜로 부순자갈을 사용하였다. 표 2.124에 실험체 제작에 사용된 프리캐스트 콘크리트 배합을 나타내었다.

[표 2.124] Precast Concrete Mix Table

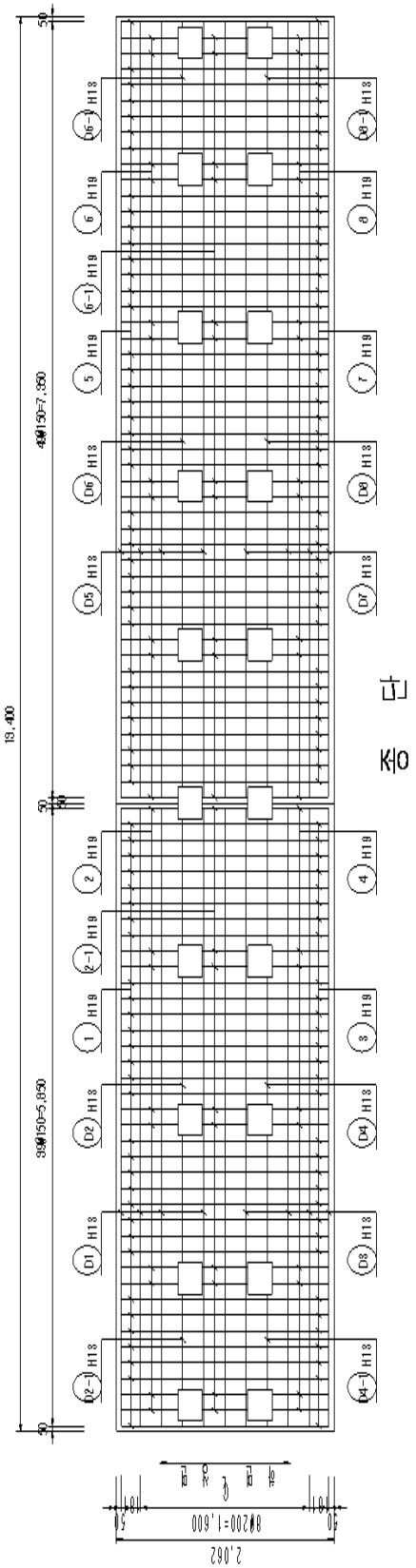
Type	G_{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/cm^3)				Ad (g/m^3)
						W	C	S	G	
OPC	25	120	4.5	38	38.4	160	421	664	1,063	2,900



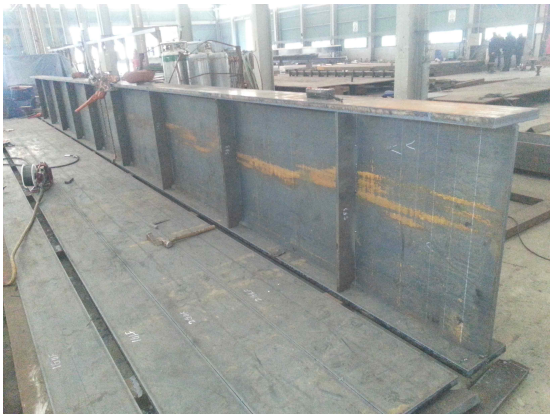
[그림 2.94] Plate Girder Bridge specimen (Floor plan)



[그림 2.95] Plate Girder specimen(Center and External girder)



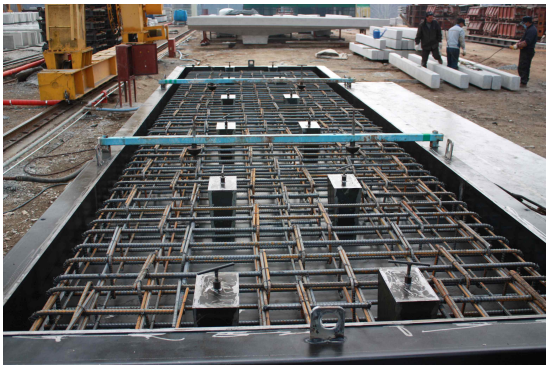
[그림 2.96] Specimen section(precast slab)



[그림 2.97] Plate External Girder



[그림 2.98] Plate Girder Bridge



[그림 2.99] Precast Slab mold and Reinforcement placing



[그림 2.100] Plate Girder Bridge



[그림 2.101] Finished specimen(1)



[그림 2.102] Finished specimen(2)

9. 급속교체 판형교 상부구조 성능검증 시험

가. 개요

(1) 복합적인 동적하중이 재하되는 철도교량의 동특성을 파악하기 위해서는 다양한 하중조건에 대한 동적거동 실험이 필수적이다. 그러나 현장의 실 교량을 대상으로 수행되는 실험은 하중재하의 조건과 다양한 인자들을 파악하기 위한 실험 환경이 제한적이므로 이에 대한 실내 시험을 통해 상세하게 분석하는 것이 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 제작된 급속교체 판형교(12m형) 실물 시험체에 대한 정·동적 실내시험을 수행하고 이에 따른 특성을 분석하였다.

(2) 성능검증 시험은 슬래브가 포함된 철도판형교 급속교체용 상부구조를 대상으로 동적안정성 분석 시험 및 정·동적 물성치 산출하기 위해 수행되었다. 시험 결과로부터 정적강도, 고유진동수, 감쇠율 등의 기초물성치를 분석하였으며 주파수별 가진 시험 및 공진시험을 통해 동적응답을 검토하였다.

나. 성능검증시험 방법

(1) 시험체 설치

(가) 성능검증 대상 시험체는 본 과제를 통해 개발된 급속교체용 상부구조로 12m 실물로 제작되었다. 시험은 단순보 지지 조건으로 고려되었고 이상적인 경계조건을 구현하기 위해 힌지, 롤러지그를 제작하여 시험체를 설치하였다. 시험체 설치 과정은 그림 2.103과 같으며 다음의 순서에 따라 진행되었다.

① 상부구조 시편에 대한 가진 시험을 위해 가력 Frame 및 지점 설치
② 시험체 이송
③ 크레인을 통해 완성 제작된 강주형 거치
④ 지점부 위치 확인 및 보정
⑤ 크레인을 통해 슬래브 거치 및 주형과 연결
⑥ Actuator 설치 및 유압관 연결
⑦ 센서설치



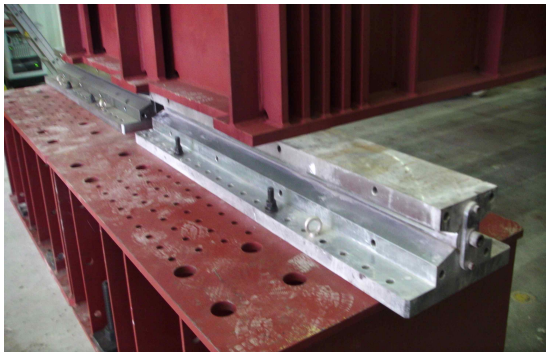
(1) 시험체 이송



(2) 시험체 크레인 연결/이송



(3) 시험체 지점 거치



(4) 지점부 위치 확인 및 보정



(5) 상부슬래브 설치/연결



(6) Actuator 연결

[그림 2.103] 시험체 설치

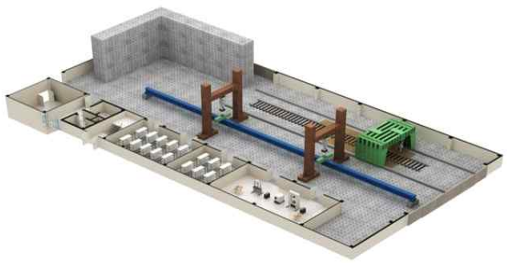
(2) 시험설비

(가) 실험은 한국철도기술연구원의 실대형 통합성능실험동에서 수행되었으며 시험동 사양은 표 2.125에 요약한 바와 같다. 그림 2.104과 그림 2.105는 각각 시험동 전경과 시스템 구성도이다.

① 시험시스템 개요

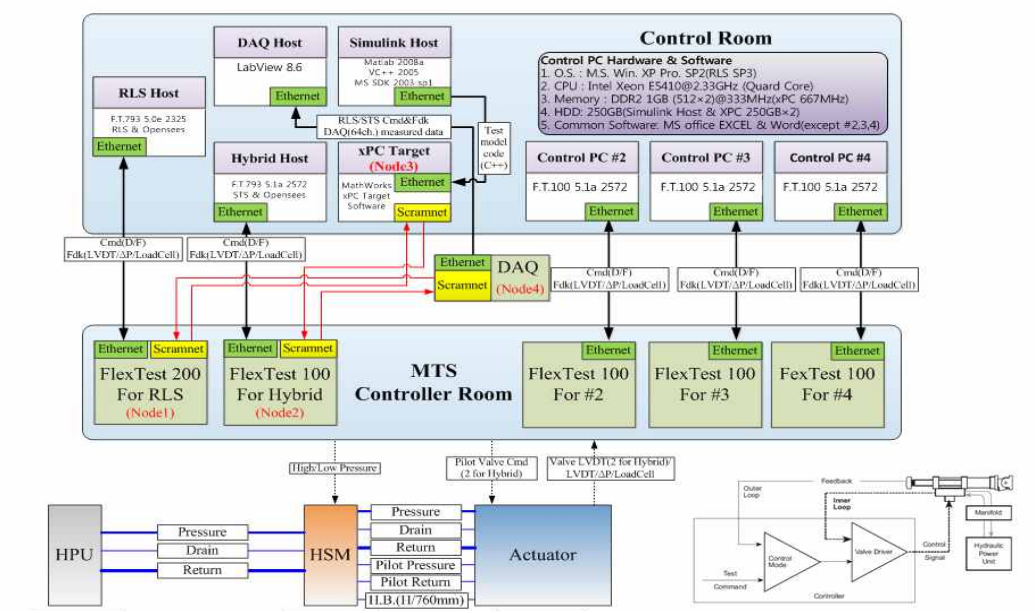
[표 2.125] 실대형 통합성능실험동 규모 및 Actuator의 사양

통합성능실험동				
규모		17.1m x 52.0m(L) x [9.0m(지상)+5.2m(지하)](H)		
반력벽		[10.0m+13.5m](L) x 8.0m(H) x 2.0m(T)		
반력상		14.2m(W) x 49.2m(L) x 1.2m(T) (토조 포함)		
토조		4.5m(W) x 21.9m(L) x 5.2m(H)		
Actuators				
시스템 용량 (kN)		Stroke (mm)	Hydraulic Performance	수량
Static	2,000	750 (±375)	Flow rate 56LPM	2
	5,000	750 (±375)	Flow rate 56LPM	1
Dynamic	250	750 (±375)	±80mm at 5Hz/250kN	4
	500	250 (±125)	±10mm at 5Hz/500kN	4
RLS	250	250 (±125)	±12mm at 5Hz/250kN	12
Hybrid	250	250 (±125)	±12mm at 5Hz/250kN	4





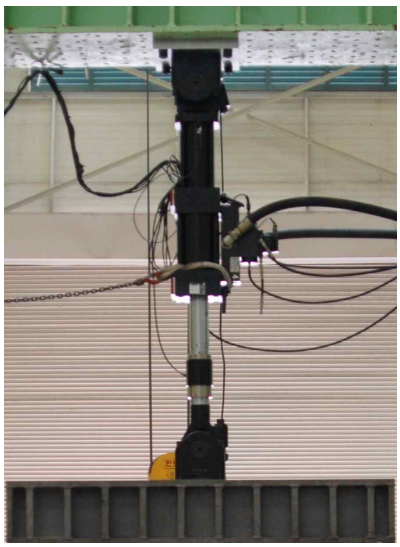
[그림 2.104] 실대형 통합성능시험동 전경



[그림 2.105] 실대형 통합성능시험동 시스템 구성도

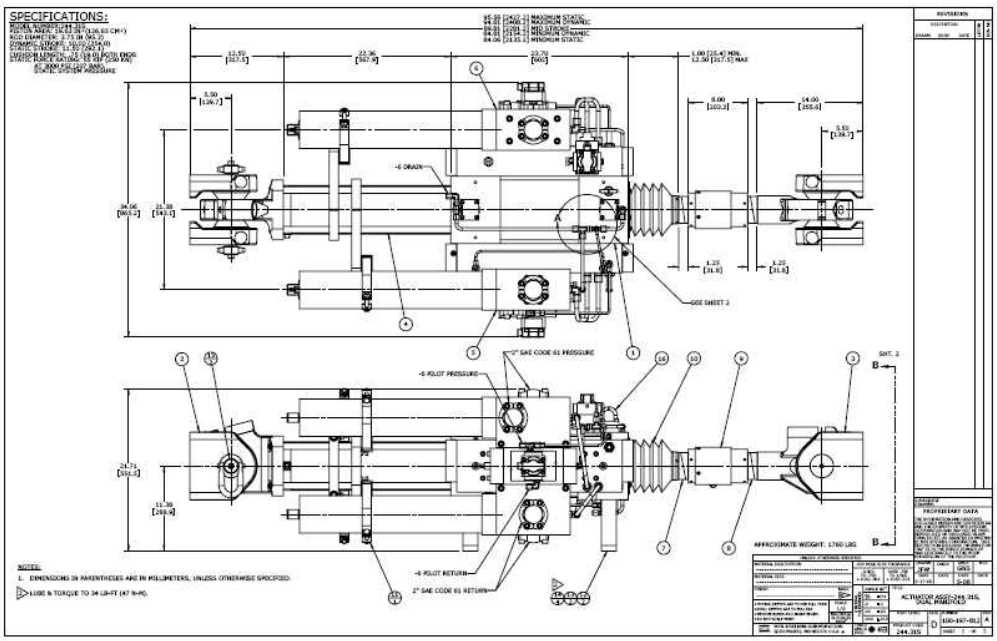
② 재하장치

㉮ 재하장치는 동적시험을 구현하기 위한 가장 중요한 장치로 본 실험에서는 25tonf 용량의 Hybrid 동적 Actuator를 사용하였다. Actuator의 주요제원은 그림 2.106과 같다. 별도로 구성된 재하 프레임을 통해 교량과 일체화 되어 가진되는 형식으로 동특성을 추정하기 위한 자유진동 신호를 얻기 위해 quick release 기능을 활용하였다. Actuator의 상세도는 그림 2.107과 같으며 동적성능곡선은 그림 2.108에 나타내었다.

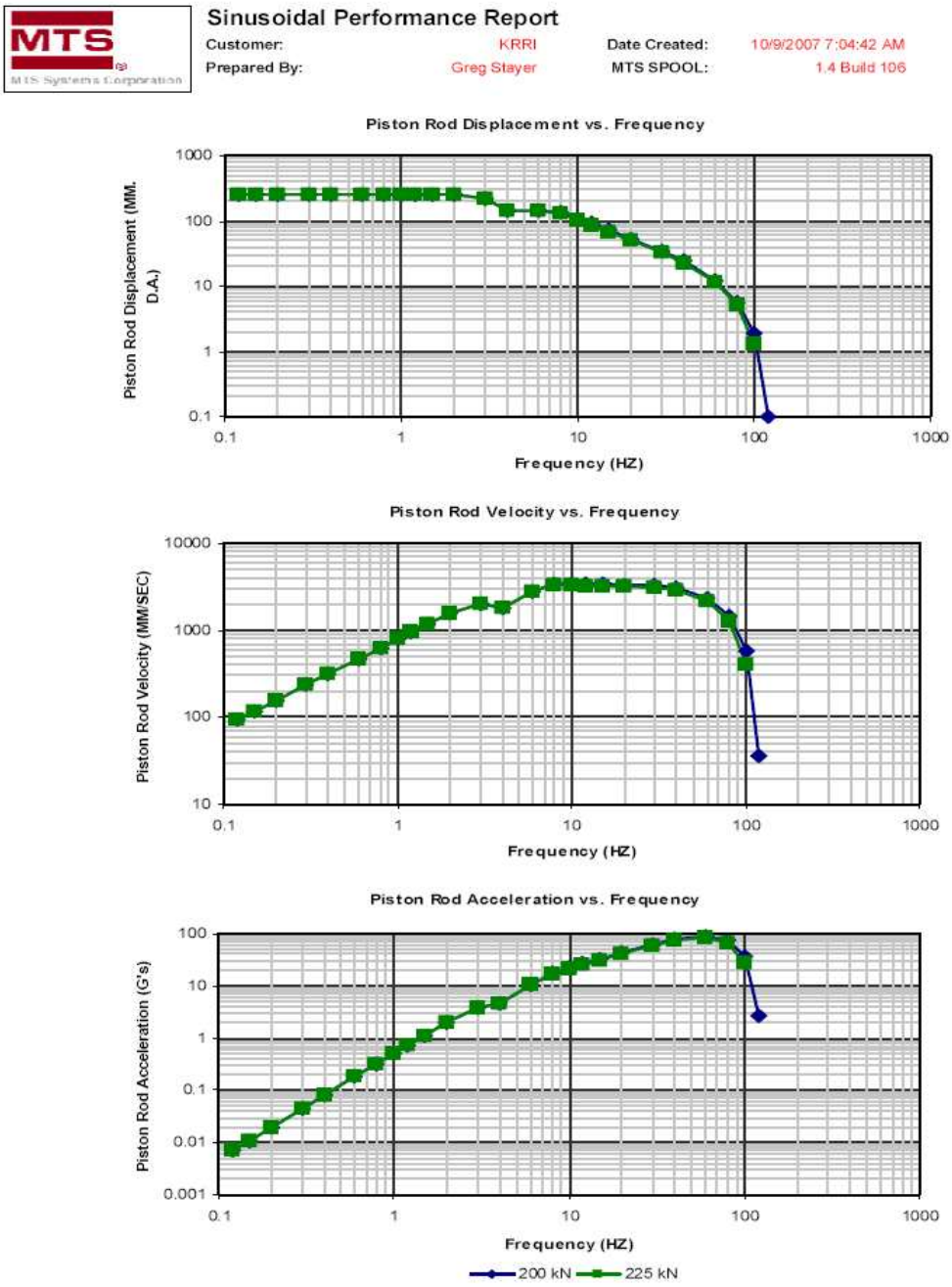


최대가력하중	25tonf
가진범위	0.1-25Hz
기타	Quick Release가능

[그림 2.106] 동적가진기 (Dynamic Actuator)



[그림 2.107] 동적가진기 상세도면



Pump	
Model:	505.18
Nominal Rating:	681.372 L/min
System Pressure:	20.68427 MPa

Servovalve	
Model:	256.25A05
Nominal Rating:	250 gpm
Quantity:	2.00

Actuator	
Model:	244.31str
Nominal Rating:	249.1048 kN
Stroke:	250 mm

The plots above represent a mathematical prediction of system performance. Possession of this information is not a guarantee that a system will perform as predicted. MTS will not be liable for any incidental or consequential damages or losses arising from use of this information. Interpretation of the data and its use are the sole responsibility of the user.

[그림 2.108] Actuator Performance Curve

(3) 시험항목 및 분석방법

(가) 시험은 다음과 같이 정·동적 물성치를 산출하고 주파수별 동적응답 특성을 검토하기 위한 정적강도시험, 동적물성치 시험, 가진시험으로 구분하여 수행하였으며 각각의 시험방법과 측정항목은 표 2.126과 같다.

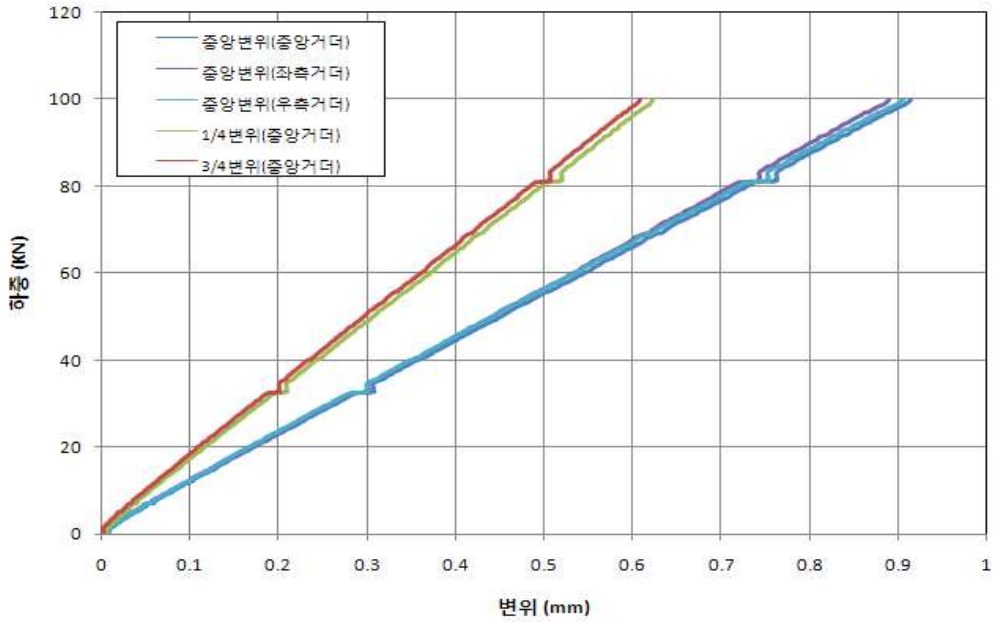
[표 2.126] 시험방법 및 측정항목

상세항목	시험방법	측정항목
정적강도시험	- 250kN Actuator를 사용하여 경간중앙 가력 - 예비가력 : 10kN/min속도로 50kN까지 가력 - 본시험 : 10kN/min속도로 100kN, 200kN까지 가력	- 중앙부 변위계 (거더별 각 1개-3EA) - 1/4, 3/4 변위계 (중앙거더 1EA) - 단부 양측 축방향 각 1EA
동적물성치시험	- 250kN Actuator를 사용하여 경간중앙 가진 - Quick Release Test ① 1mm 재하 후 Quick Release ② 2mm 재하 후 Quick Release - Impact Hammer Test ① 경간 중앙 상부 Hammer 타격 ② 경간 1/4 상부 Hammer 타격	- 중앙부 변위계 (거더별 각 1개-3EA) 가속도계 (거더별 각 1개-3EA) - 1/4, 3/4 변위계 (각 1EA) 가속도계 (각 1EA)
주파수별 가진시험	- 250kN Actuator를 사용하여 경간중앙 가진 - Sweep Test 30kN으로 1~15Hz Sweep Test (1Hz/min 속도로 연속적인 주파수 변화하며 시험) - 주파수별 가진시험 30kN으로 1~15Hz까지 1Hz 단위로 주파수별 20초간 가진	- 중앙부 변위계 (거더별 각 1개-3EA) 가속도계 (거더별 각 1개-3EA) - 1/4, 3/4 변위계 (각 1EA) 가속도계 (각 1EA)

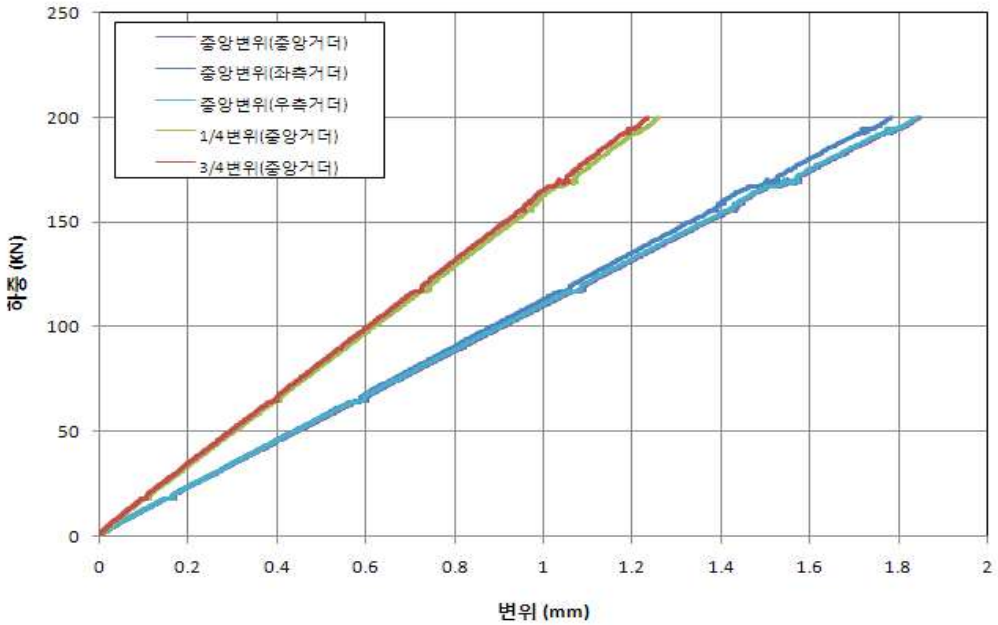
다. 실험 결과 분석

(1) 정적강도시험

(가) 정적강도시험은 탄성범위에서 하중-변위 관계를 분석하여 수치해석의 비교 검증 자료로 활용하기 위해 수행되었으며 시험결과는 그림 2.109 및 그림 2.110와 같다.



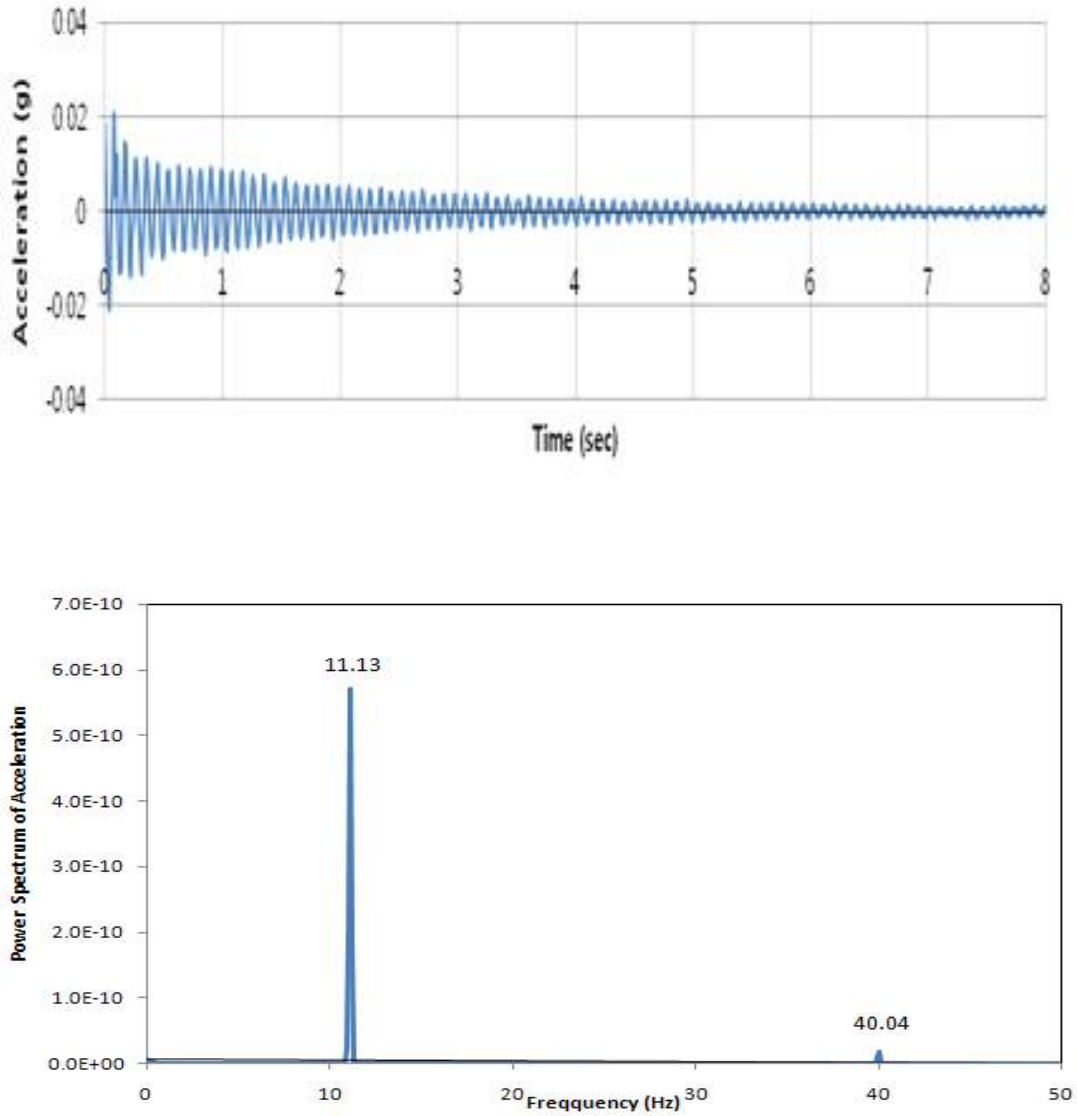
[그림 2.109] 100kN 정재하 시험결과



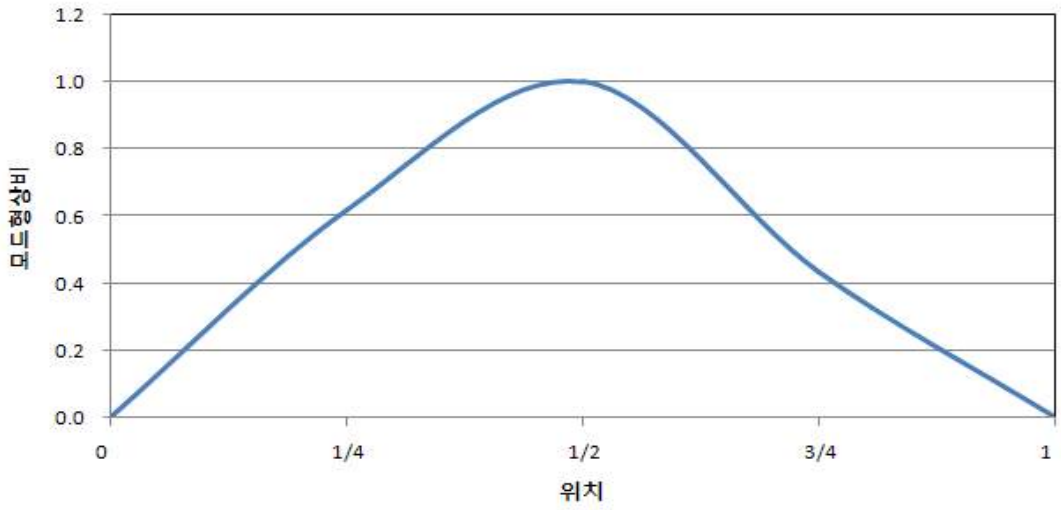
[그림 2.110] 200kN 정재하 시험결과

(2) 고유진동수

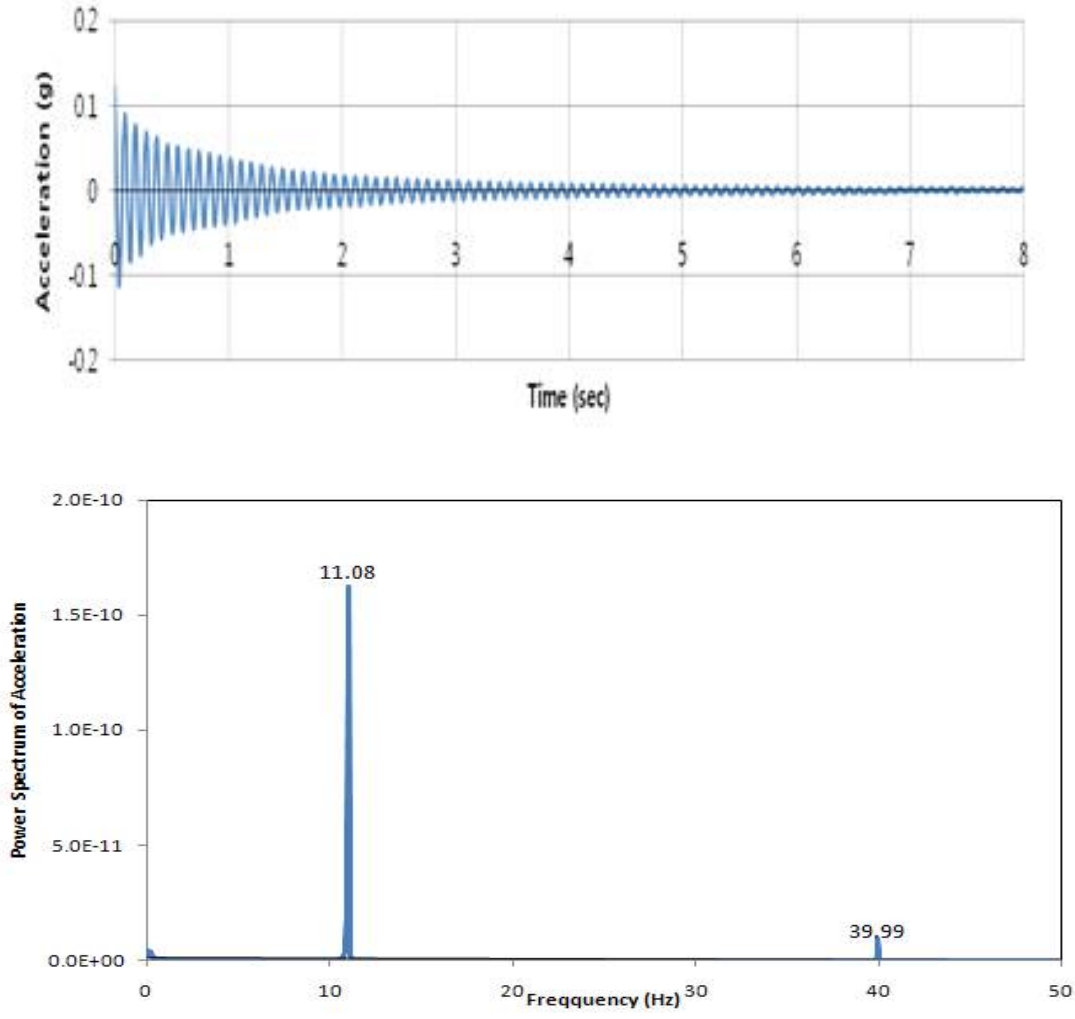
(가) Impact Hammer 시험, Quick Release 시험(1mm 선재하, 2mm 선재하의 2가지 경우)을 통해 확보된 자유진동신호로부터 고유진동수를 산출한 결과는 그림 2.111, 그림 2.113, 그림 2.115와 같다. 고유진동수 산출결과는 시험별 가진력의 차이에 따라 다소 차이를 보이나 10.94Hz~11.13Hz로 분석되었다. 또한 위치별(1/4, 1/2, 3/4 지점)로 설치한 센서의 FFT신호의 Amplitude로부터 분석된 PSC 박스거더의 1차 휨모드에 대한 모드형상은 그림 2.112, 그림 2.114, 그림 2.116과 같다.



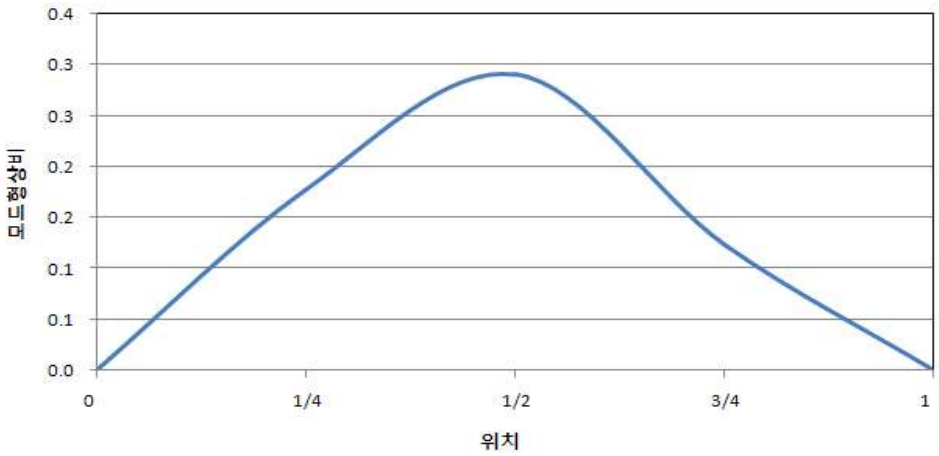
[그림 2.111] 고유진동수 시험결과(Impact Hammer)



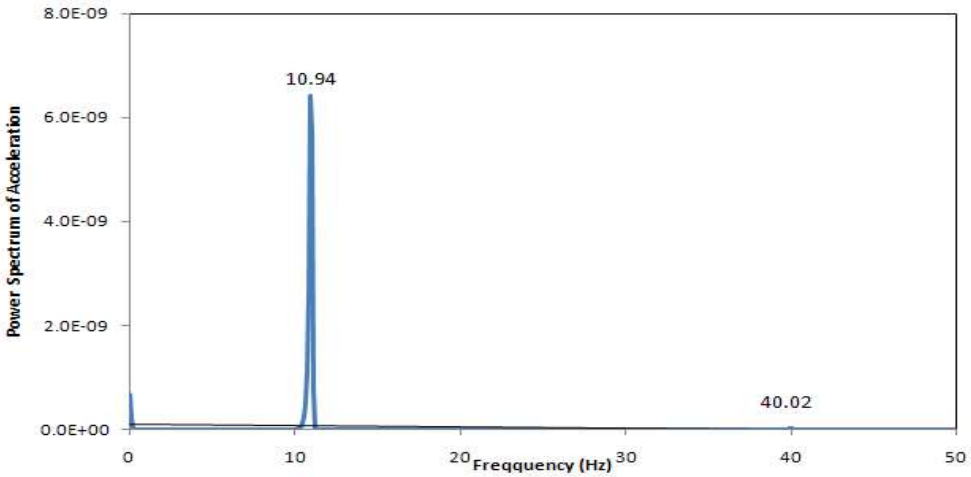
[그림 2.112] 1차 휨모드 형상 (Impact Hammer)



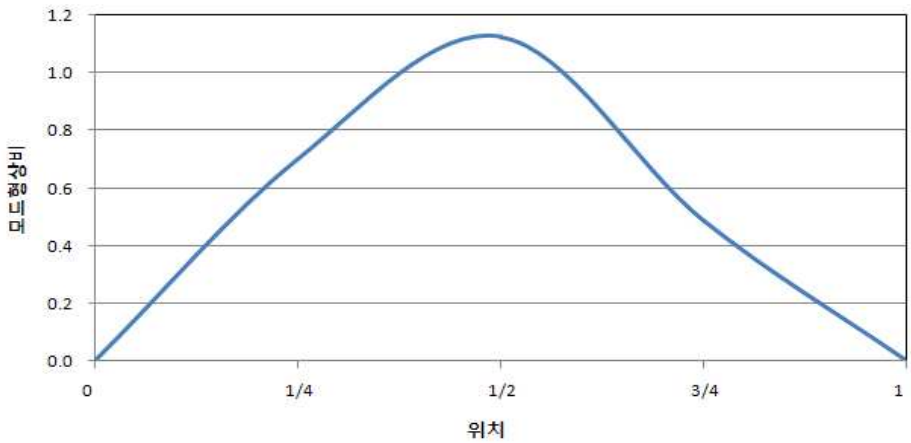
[그림 2.113] 고유진동수 시험결과 (Quick Release-1mm)



[그림 2.114] 1차 휨모드 형상 (Quick Release-1mm)



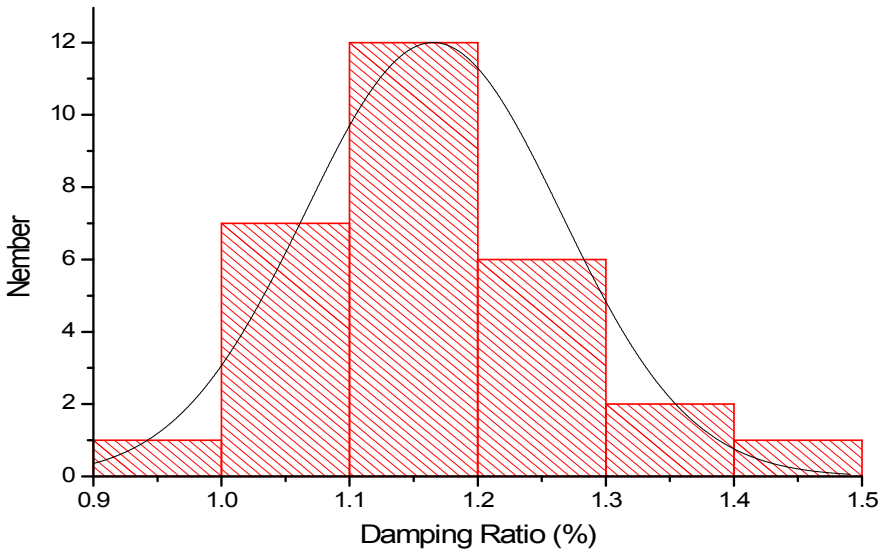
[그림 2.115] 고유진동수 시험결과 (Quick Release-2mm)



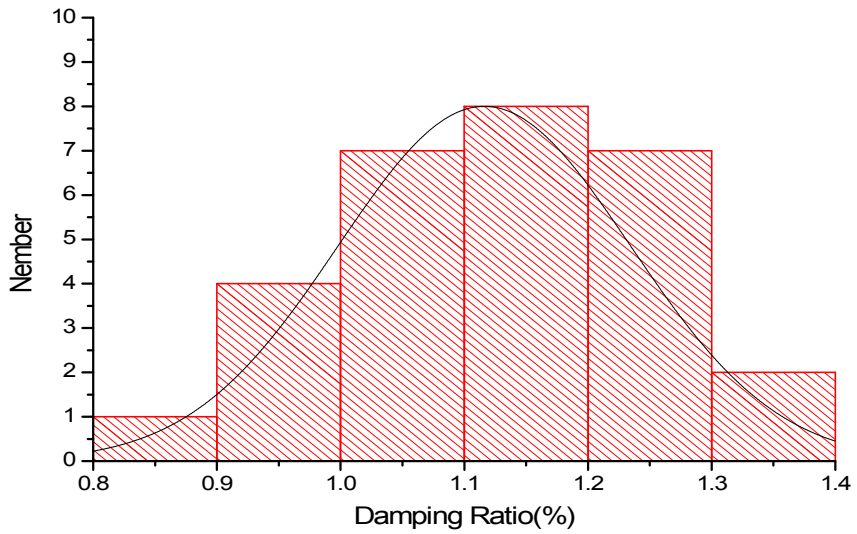
[그림 2.116] 1차 휨모드 형상 (Quick Release-2mm)

(3) 감쇠비

(가) 그림 2.117와, 그림 2.118은 Quick Release 시험을 통해 얻은 자유진동구간의 진동가속도 데이터를 분석하여 산출된 감쇠비 결과를 나타낸 것이다. 감쇠비는 분석방법에 따라 그 결과의 편차가 매우 클 수 있어 실험결과 데이터를 히스토그램 및 정규분포로 정규화하여 분석하였다. 시험방법에 따라 다소 분포를 보이나 1.0%~1.3%의 감쇠비분포를 나타내는 것으로 판단할 수 있다.



[그림 2.117] 감쇠계수 분석결과의 정규분포 (Quick Release-1mm)



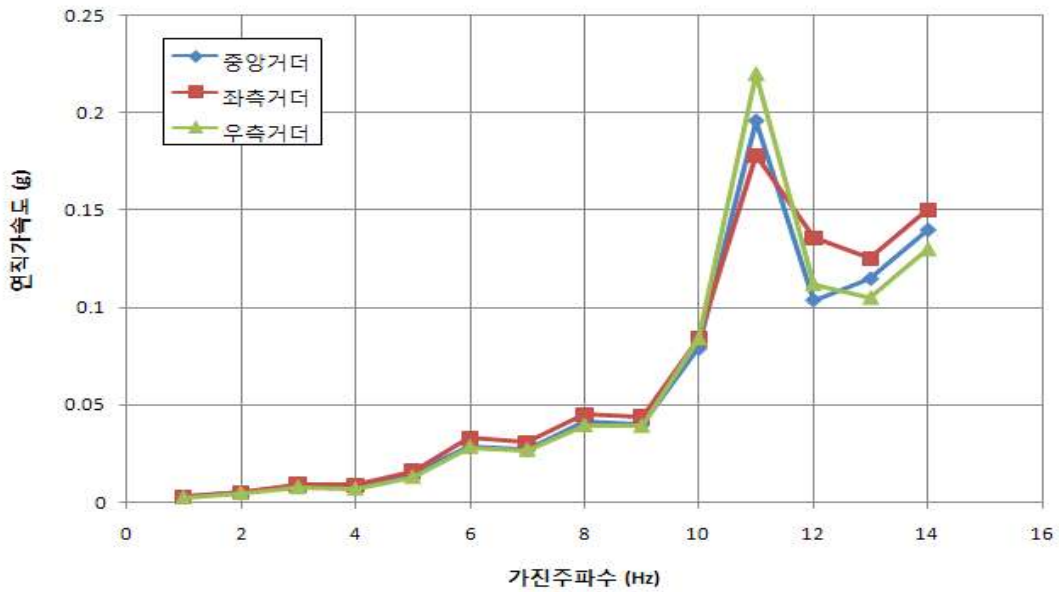
[그림 2.118] 감쇠계수 분석결과의 정규분포 (Quick Release-2mm)

(4) 주파수별 동적응답 분석

(가) 그림 2.119과 그림 2.120는 주파수변화 1~14Hz에 대한 시험체의 처짐, 가속도 응답 분석결과를 나타낸 것이다. 앞서 분석된 고유진동수 11Hz와 일치하는 주파수 영역에서 최대 응답이 발생됨에 따라 공진 현상을 확인하였다.



[그림 2.119] 주파수변화에 따른 경간중앙 동적처짐 분석결과



[그림 2.120] 주파수변화에 따른 경간중앙 연직가속도 분석결과

제5절 높낮이 조절 가능한 교량받침 개발

1. 개요

가. 일반교량의 경우, 시공 또는 사용 중 지점처짐과 부등침하 등으로 인하여 상부구조에 과도한 휨응력과 교좌장치에 추가적인 반력이 발생하여 상부구조의 구조적 손상과 함께 교좌장치의 파단이 발생할 수 있다. 철도교도 마찬가지로 지점처짐과 부등침하 등으로 문제점이 발생할 수 있으며, 철도의 특성상 기존레일(의 레벨)과 철도교량상의 레일이 동일한 높이로 시공되어야 하므로 인위적으로 지점을 높이거나 낮추어 구조물의 하중 전달 메커니즘을 조절하는 시스템이 필요하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 교좌장치에서 직접 상부 구조물의 높이를 조절하여 시공오차를 줄이고 장기 지점침하에 따른 미소한 높이 조절을 할 수 있는 방법들이 개발되고 있는 상황이다.

나. 일반적으로 상부구조의 높이를 조절할 수 있는 교좌장치를 “승강식 교좌장치(injectionable bearing)″ 또는 주로 상부구조의 높이를 보정하는데 사용된다고 하여 ”높이보정용 받침(adjustable bearing)“이라 한다. 높이조절 교량받침이란, 교량받침에 상부구조를 인양할 수 있는 장치를 부설하여 필요시에 간단한 장비를 이용하여 상부구조를 인상 또는 하강시킬 수 있는 교량받침을 말한다. 이러한 교량받침은 교량 건설공법에 따라 필요시 상부구조의 높이를 조절하는데 유용하게 사용될 수 있으며, 교량의 사용기간 중에 지점처짐과 부등침하 등의 문제점 발생에 따라 상부구조의 높이를 조절하여 사용할 수 있다. 또한 본 연구에서는 기존 철도판형교의 급속교체 시 기존 레일과 교체 후의 신상구조상의 레일 높이를 일치시켜 시공하는데 사용되며 차후 레일상의 높이차가 발생하였을 때 교량받침의 높이를 조절하여 문제점을 해결할 수 있다. 높이조절 교량받침은 교량의 시공과 유지관리에 많은 편의성을 제공할 수 있는 교량받침이다.

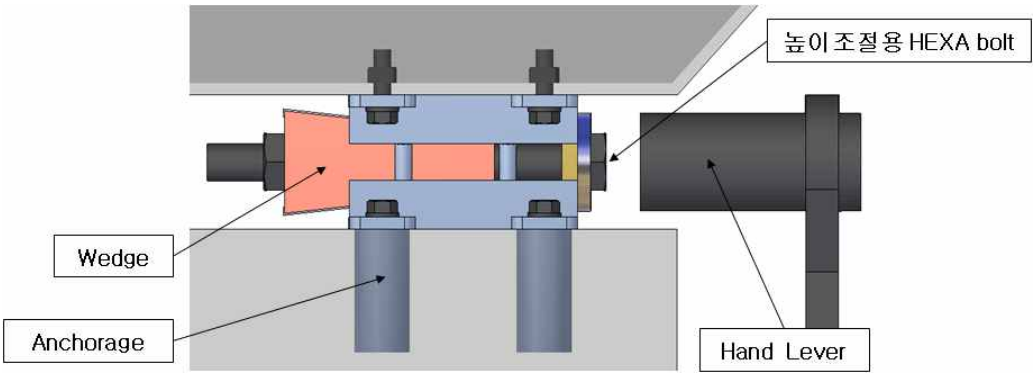
다. 본 연구에서 개발하는 “높낮이 조절 가능한 교량받침”은 기존 교량받침과 동일한 내구성을 지니며 상부구조의 높이를 조절하고, 교량받침에 작용되는 수직하중을 측정하는 기능을 보유한다. 기존의 높이 조절용 교량받침은 고압력 유압을 주입시켜 받침의 높이를 조절하는 구조로 유압의 안정성과 교량받침의 내구성 문제 등을 보완하기 기계적인 거동으로 높이를 조절하는 방식으로 개발된다. 또한 기계적인 거동으로 교량받침에 작용되는 수직하중의 크기를 수평으로 장착된 로드셀로부터 측정 가능하기 때문에 상시 모니터링과 유지관리를 효과적으로 수행할 수 있다.

2. 연구 내용

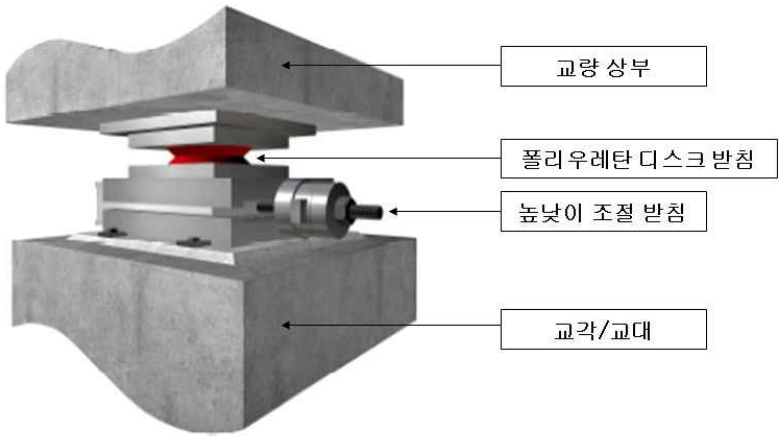
가. 연구 내용

(1) 본 연구에서 개발하고자 하는 “높낮이 조절 가능한 교량받침”의 개요도는 아래

그림과 같다. 그림에서와 같이 웻지 시스템(Wedge System)을 적용하여 높낮이를 조절할 수 있으며, 높낮이의 범위는 웻지의 각도에 의해 조절되며 교량받침의 높이 조절 범위는 20~50mm가 적당할 것으로 예상된다. 교량받침에 작용되는 수직하중은 웻지에 의해 수평성분으로 치환되어 웻지의 경사각 크기와 경사부분의 마찰판의 상호 마찰력 크기에 의하여 높낮이 조절시 적용할 하중의 크기를 산정할 수 있다. 교량받침에 작용하는 하중의 크기는 수직하중이 웻지에 의해 수평성분으로 치환되는 수평 저항력을 측면에 도넛형 로드셀을 설치하여 계측할 수 있으며 그 원리는 웻지 시스템의 기하학적인 형상과 재료특성으로부터 하중을 산정한다. 따라서 필요시 하중을 계측할 수 있으며 유무선 장비를 적용하면 상시 모니터링이 가능하다.



(a) 측면도

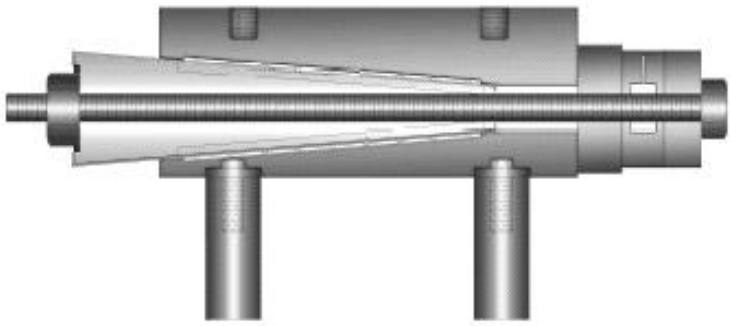


(b) 전체도

[그림 2.121] 높낮이 조절 가능한 교량받침

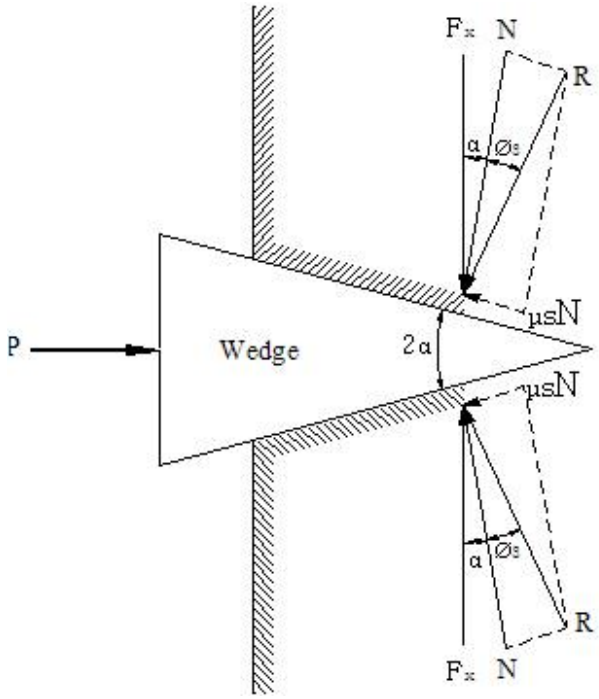
(2) 높이 조절방법 및 하중계측의 원리는 웻지 및 경사각의 크기에 따라 높이조절 범위를 조절하고 웻지를 관통하는 고강도 앵커바(anchor bar)를 풀링잭(pulling jack)를 이용하여 회전시켜 높이를 조절한다. 작용되는 수직하중이 작은 경우에는 고강도 앵커바의 머리부분(HEXA bolt)을 별도의 도구(Hand Lever)를 이용하여 인

위적으로 회전시킴으로써 소정의 높이를 조절할 수 있으며, 수직하중이 큰 경우에는 별도의 풀링잭을 이용하여 고강도 앵커바를 회전시켜 소정의 높이에 도달되면 너트를 조여 고정시켜 조절할 수 있다.



[그림 2.122] 웻지의 형상

교량받침에 작용하는 수직하중 F_x는 아래 그림을 보면 쐐기에 의해 치환된 수평력 성분 P와 마찰재의 마찰저항력에 의해 계산된다. 이때 수평력 성분 P는 도넛형 로드셀에 의해 계측되며, 마찰재의 마찰계수와 웻지의 경사각은 재료특성과 구조제원으로 정해지는 상수이므로 그림에 나타낸 수식에 의해 교량받침에 작용하는 수직하중 F_x를 산정할 수 있다.



[그림 2.123] 웻지 시스템의 작동원리

$$\frac{F_x}{P} = \frac{\cos\alpha - \mu_s \cdot \sin\alpha}{2(\sin\alpha + \mu_s \cdot \cos\alpha)}$$

(3) 개발내용 요약

(가) 일반적인 교량받침 기능 보유

- 수직 및 수평하중 전단, 신축이동 및 회전변위 수용, 수직하중 지지능력 보유

(나) 높이 조절 기능

- 구조물의 높이 조절 및 교량받침에 작용되는 하중의 균등분포 기능 보유

(다) 작용하중의 측정 기능

- 교량받침에 작용되는 수직하중의 크기를 계측할 수 있어 구조적 안정성 확보 및 효율적인 유지관리 수행

(라) 충분한 내구성 보유

- 유지관리 비용 최소화

나. 연구개발 목표

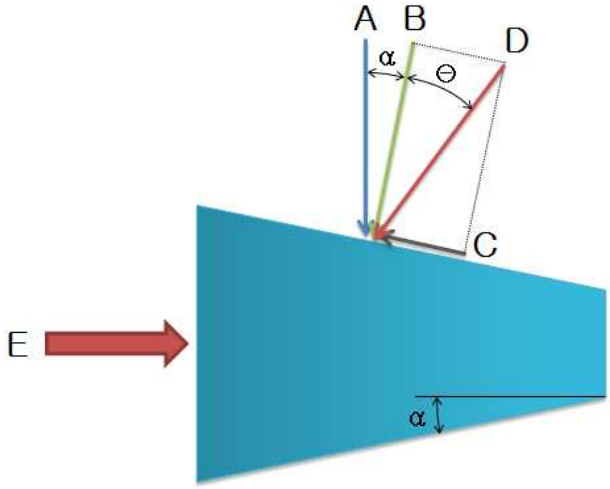
[표 2.127] 교량받침 개발목표

구분	내용
소재	Steel(plate, wedge, bolt 등) Stainless steel(마찰판) PTFE(마찰재)
사용용량	100ton
한계용량	150ton
높낮이 조절 범위	30mm
높낮이 조절 오차	±0.2mm
하중 계측 오차	±1kN(사용용량 범위내)
목표사용내구 연한	50년

다. 세부 개발내용 및 방법

(1) 설계 메커니즘

(가)개발하고자 하는 높낮이 조절 교량받침의 기본 원리는 웻지에 작용하는 하중의 분력으로 정리할 수 있는데, 웻지의 이동으로 상부가 인상할 때와 인상이 완료되어 웻지가 정지 상태에 있을 때의 두 가지 상태로 생각할 수 있다.



A : 연직력

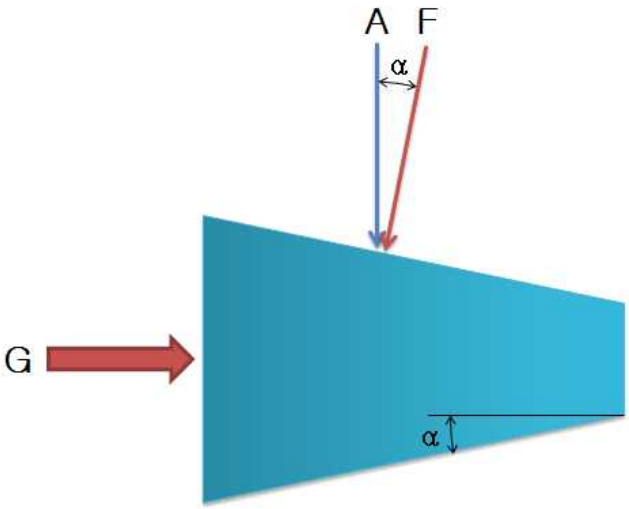
B : 연직하중과 웻지 경사에 의한 합력

C : 합력 B의 마찰력

D : B와 C의 합력

E : 웻지 인상시 필요한 하중

[그림 2.124] 웻지의 이동으로 상부를 인상할때의 하중 분산



A : 연직력

F : 연직하중과 웻지 경사에 의한 합력

G : 웻지 정지시 받는 하중

[그림 2125] 받침 정지시 하중 분산

웻지가 이동하여 상부를 인상할 경우, 웻지가 움직이는 상태에서는 웻지의 마찰면에 발생하는 마찰력과 그에 따른 합력이 수평 저항력에 영향을 미친다.

상부에서 가해지는 연직력(A)이 웻지에 작용하면 웻지의 경사각(α)에 의해 합력(B)이 발생되고 이는 웻지의 마찰면에 대한 마찰계수(μ)에 의해 마찰력(C)이 작용하게 된다.

$$B = \frac{A}{\cos\alpha}$$
$$C = B \times \mu$$

결과적으로 발생된 합력(B)와 마찰력(C)에 의해 합력(D)이 발생되고, 웻지의 상하부 경사에 의해 합력(D)의 수평분력의 2배가 웻지 인상 시 필요한 하중(E)이 된다.

$$D = \sqrt{B^2 + C^2}$$
$$\cos(90^\circ - \alpha - \theta) = \frac{E}{D} \times 2$$

여기에서 합력(B)와 합력(D) 사이의 각(θ)은 다음과 같다.

$$\cos\theta = \frac{B}{D}$$

웻지가 이동 후 정지할 경우, 웻지가 움직이지 않는 상태에서는 마찰력이 존재하지 않아 수평저항력은 연직력과 경사각에 대해서만 영향을 받는다.

이 때에는 상부에서 가해지는 연직력(A)이 웻지에 작용하면 웻지의 경사각(α)에 의해 합력(F)이 발생되고, 웻지의 상하부 경사에 의해 합력(F)의 수평 분력의 2배가 웻지가 정지된 상태에서 받는 하중(G)이 된다.

$$F = \frac{A}{\cos\alpha}$$
$$\cos(90^\circ - \alpha) = \frac{G}{F} \times 2$$

즉, 웻지의 거동 상태에 따른 측면하중 변화는 웻지 상하부 마찰면의 마찰계수의

차이라고 할 수 있다. P를 연직하중, S를 기울기, μ를 마찰계수라 하면 웻지 시스템의 거동을 다음의 식으로 표현할 수 있다.

- 웻지 이동시 : $P = P(S-2\mu)$
- 웻지 정지시 : $P = P \cdot S$

(2) FEM 해석

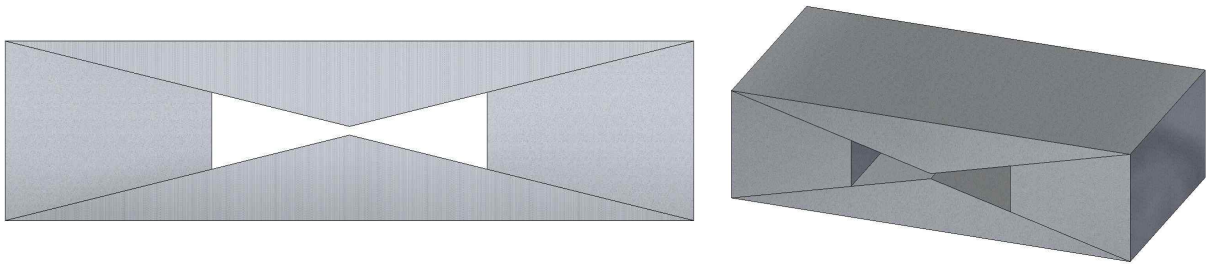
웻지 시스템의 거동에 따른 응력분포를 검토하며, 교량받침의 웻지의 이동시 지지능력의 안정성을 확인하기 위해 ANSYS 프로그램을 이용하여 FEM 해석을 진행하였다.

(가) 해석 개요

① 해석 대상

㉮ 해석 대상은 높낮이 조절이 가능한 받침인 Wedge device이다.

㉯ 아래 그림과 같은 Wedge device의 하판 바닥면을 고정시키고 상판에 하중을 가한다. 하중을 가한 상태에서 상판과 하판 사이에 있는 쐐기 형태의 중간판 양쪽에 변위를 가하여 안쪽으로 이동시킬 경우 Wedge device 전체의 거동과 모델에 발생하는 응력을 확인한다.



[그림 2.126] Wedge device 해석 모델

② 해석 목적

본 해석의 목적은 Wedge device의 높낮이 변형 시 거동과 응력 분포를 파악하는데 있다.

㉮ 해석 프로그램

해석은 상용해석프로그램인 ANSYS V13을 사용하여 수행되었다.

(나) 교량받침 모델링

① 모델링

㉮ 모델링은 Solid edge ST4를 통해서 수행하였으며 모델링 형상은 위의 그림 2.126과 같다.

㉯ 모델의 크기는 실제 시험체 크기와 같은 크기로 모델링 하였다. 가로, 세로 높이가 각각 500mm, 250mm, 105mm이며, 쐐기의 기울기는 0.2로 지정하였다.

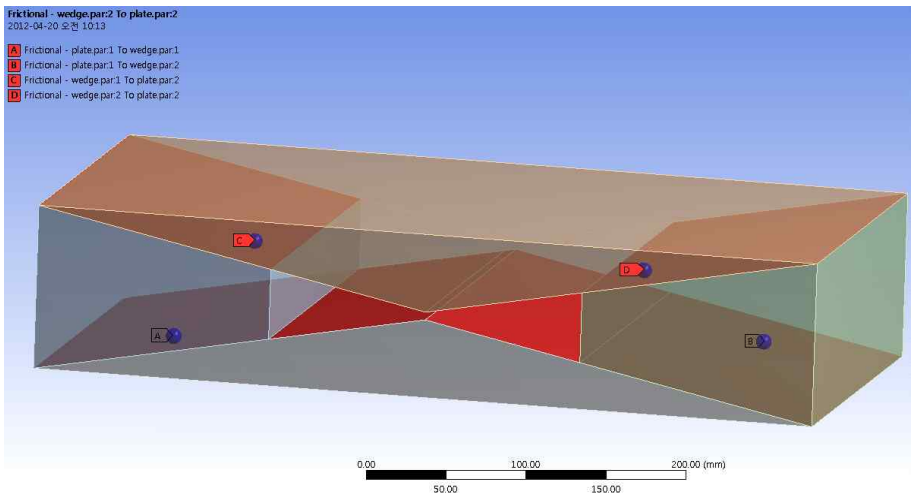
㉰ 재료 물성치

■ 재료는 일반 강재를 적용하였다.

■ Young's modulus는 200GPa, Poisson ratio는 0.3, Yield strength는 250MPa이고 Tensile Ultimate strength는 460MPa이다.

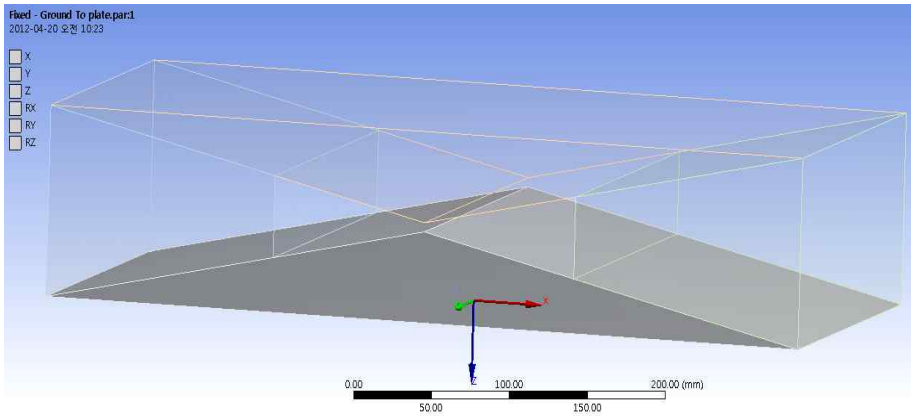
㉱ 지점 조건

■ 중간 쐐기와 상판 및 하판과의 접촉면은 Frictional로 지정하고, 마찰계수는 PTFE의 정지마찰계수가 대략 2%정도이므로 0.02로 지정하였다. 아래 그림은 마찰 조건이 적용된 상태를 보여준다.

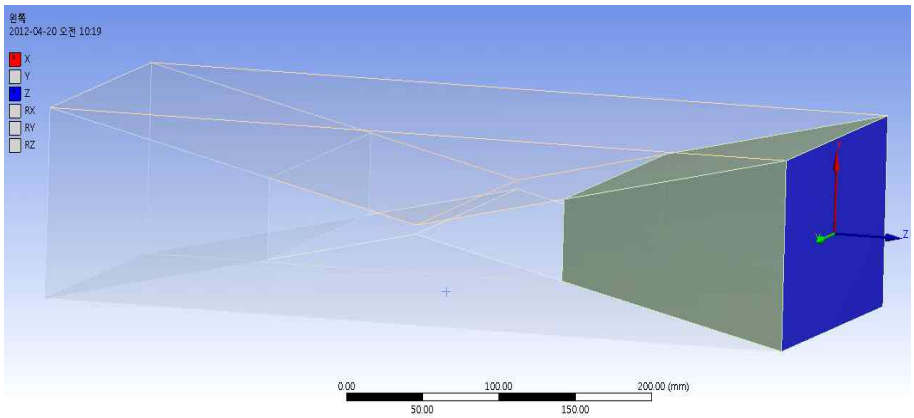


[그림 2.127] 모델간 마찰 접촉관계 입력

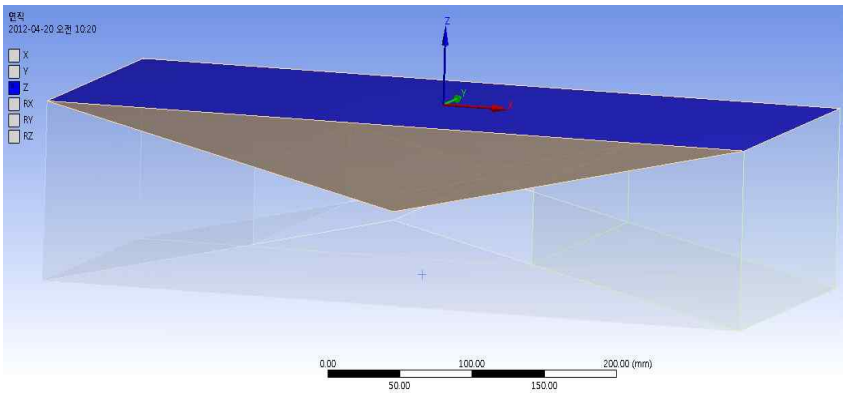
■ 지점 조건은 아래 그림과 같이 하판은 전체를 고정시키고 중간 쐐기는 연직방향(Z 방향) 변위와 길이방향(X 방향) 변위는 free로 지정하고, Y 방향과 rotation은 Fix 상태로 지정하였다. 상판의 경우에는 연직방향(Z 방향)의 변위를 free로 지정하고 나머지는 모두 Fix로 지정하였다.



[그림 2.128] 하부판의 지점 조건 입력



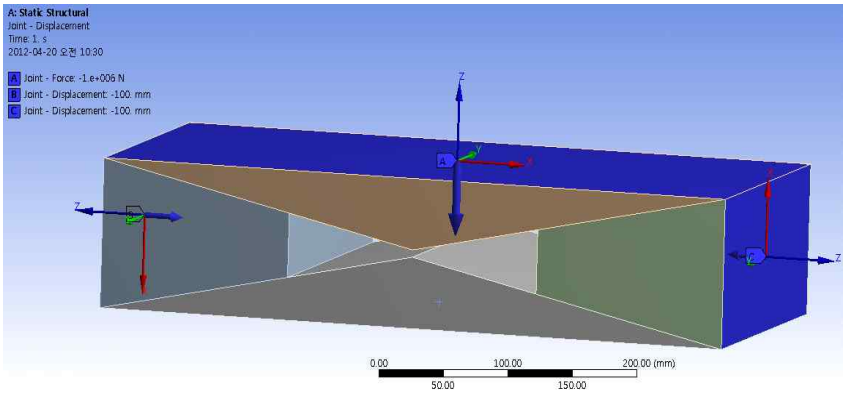
[그림 2.129] 웻지의 지점 조건 입력



[그림 2.130] 상부판의 지점 조건 입력

② 하중 조건

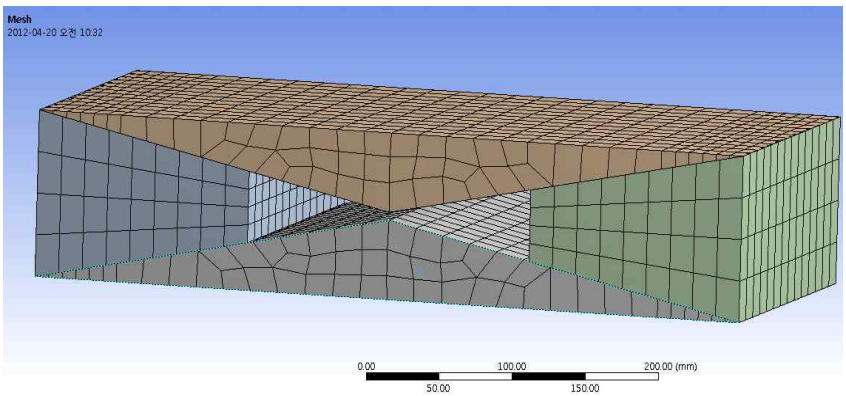
㉮ 하중 조건은 두 부분으로 나눠서 가해진다. 먼저 상판에 연직력을 1000000N을 가하고 하중을 유지한 상태에서 중간 쐐기의 양쪽 면을 가운데로 밀어 넣는다. 변위는 100mm씩 변위제어 방식으로 가해진다.



[그림 2.131] 하중 조건 입력

㉯ 요소망 형성

■ 요소망은 육면체 형태로 형성하였으며 요소망 생성 결과 Node수는 13766개, Element는 2360개가 형성되었다. 아래 그림은 요소망 생성 결과이다.



[그림 2.132] 요소망 생성

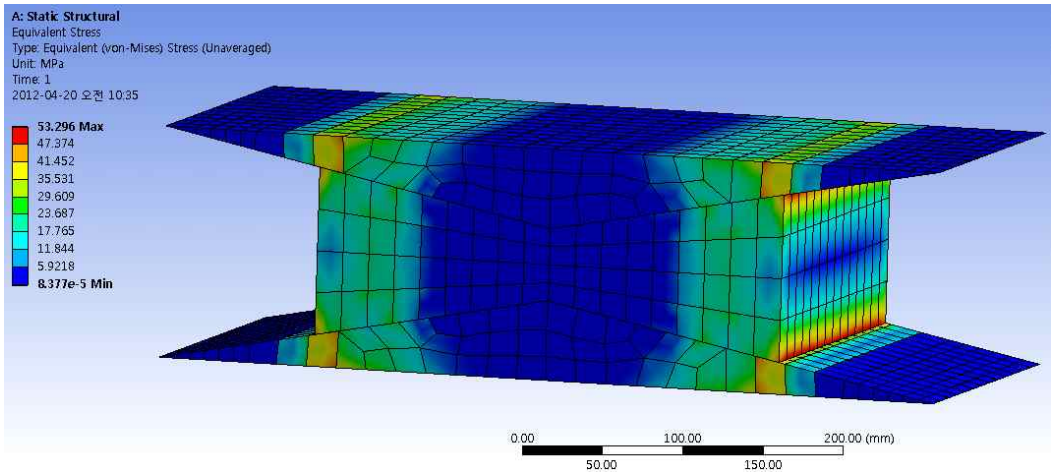
(다) 해석 결과

① 해석 수행

해석은 Mechanical module의 static structural을 통해 수행되었다.

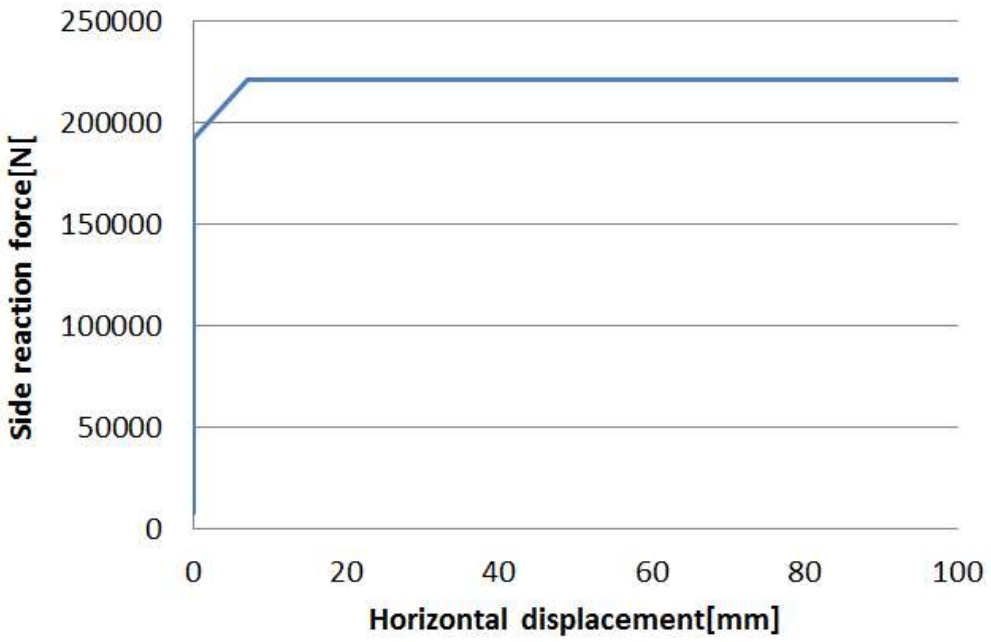
② 해석 결과

해석 결과 1,000 kN까지 하중이 가해질 경우 구조물에는 최고 53 MPa의 응력이 가해지며 응력 분포는 아래 그림 2.133과 같다.



[그림 2.133] 연직 하중(1,000kN) 작용시 응력 분포

③ 측면에서의 반력은 아래 그림과 같이 나타났다. 연직 하중이 1,000 kN까지 증가함에 따라 약 220 kN까지 증가하였으며, 쐐기가 안쪽으로 움직이는 동안에는 반력의 변화가 거의 없었다.



[그림 2.134] 측면 반력 변화 양상

(라) 결론

① Wedge device에 1000000N 까지 하중을 가하였다. 해석 결과 측면에서의 반력은 연직 하중에 기울기 0.2를 곱한 값인 200000N에 근접하게 해석되었다.

② 연직하중은 중간 쐐기 전체에 걸쳐 분포되었으며 최대값은 중간 쐐기의 끝부분에서 나타났다. 그 크기는 53 MPa 정도였다.

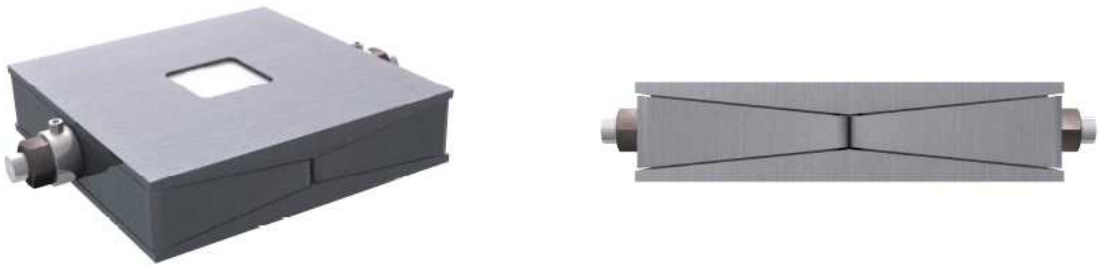
③ 기울기 0.2에 마찰계수 0.02를 지정하였을 경우 중간 쐐기의 움직임에 따른 높낮이 운동은 무리 없이 진행되었다.

(3) 교량받침 형상구현

(가) 2개의 웻지를 대칭 형태로 배치하여 경사면의 방향이 중앙으로 향하고 웻지 각각에 수직하중이 분산되어 상부구조의 안정적인 지지를 이룰 수 있다.

(나) 마찰판의 경우, 웻지가 움직이거나 정지할 때 오차를 줄이기 위하여 마찰계수가 작은 재료를 사용하는 것이 효과적이므로 현재 말찰재로 많이 사용되고 있는 PTFE를 사용하였다.

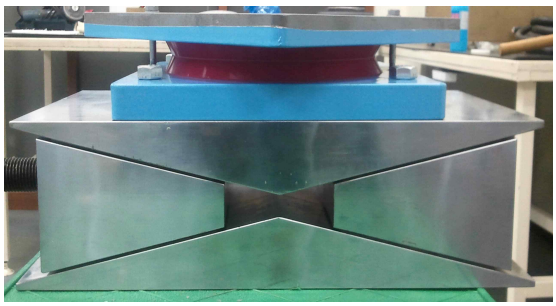
(다) 높낮이 조절 받침은 기계적인 구조로 거동함으로써 적용 하중 및 웻지의 개수. 웻지 경사각, 높낮이 조절 변위 등에 요구되는 조건에 따라 능등적인 대응이 가능하고 하중계측의 오차 변수는 웻지의 마찰계수만 작용함으로써 오차범위의 최소화가 가능하도록 하였다.



[그림 2.135] 2개의 웻지를 적용한 높낮이 조절 교량받침



[그림 2.136] 2개의 웻지를 적용한 높낮이 조절 교량받침의 구성



[그림 2.137] 제작된 높낮이 조절 받침(폴리우레탄 디스크 받침 적용)

라. 시제품 제작

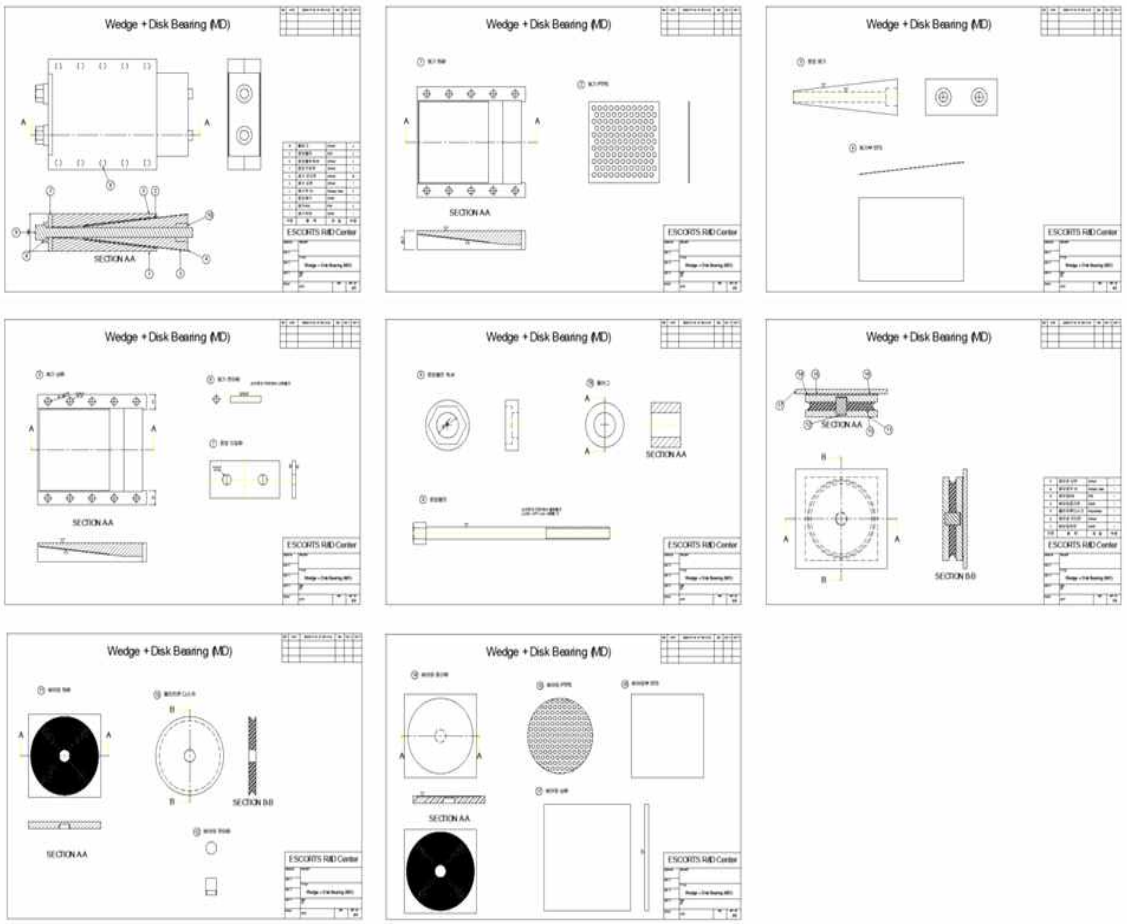
(1) 설계 최적화를 통한 시제품 제작

(가) 성능 시험 및 분석을 위한 시작품 제작을 위해 Type 1과 Type 2에 대해 아래 그림과 같이 제작 도면을 제작하였으며, 거동 구현 목적인 소형 sample을 제작한 후 이상 유무를 파악하여 성능실험용 sample을 제작하였다.

(2) Type 1

(가) 하나의 쐐기부품을 이용하여 쐐기 상판을 들어 올리는 구조인 Type 1은 쐐기 경사면을 따라 쐐기 상판의 하중이 전달되어 미끄러지는 것을 방지하기 위한 전단핀을 측면에 적용하였으며, 마찰판은 PTFE와 황동기반 복합 소결 베어링을 사용하였다.

(나) 기 작성된 구조 계산서를 이용하여 아래 그림과 같이 제작 도면을 작성하였다.



[그림 2.138] 높낮이 조절 받침(Type 1) 제작 도면



[그림 2.139] PTFE 마찰재를 적용한 높낮이 조절 받침(Type 1) sample

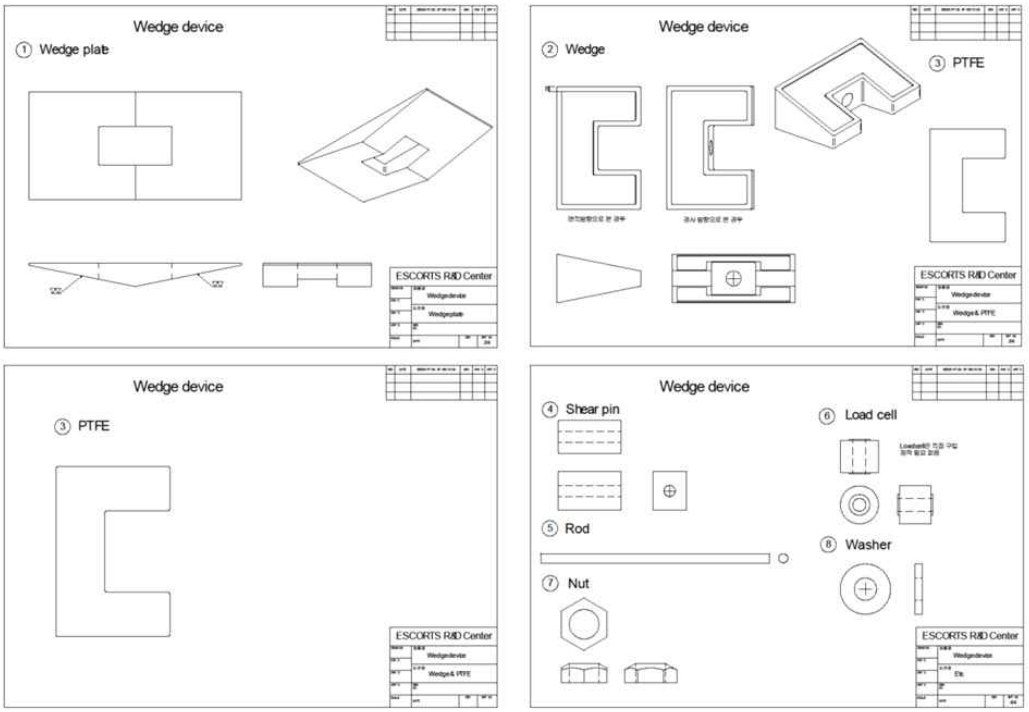


[그림 2.140] 황동기반 복합소결 마찰재를 적용한 높낮이 조절 받침(Type 1) sample

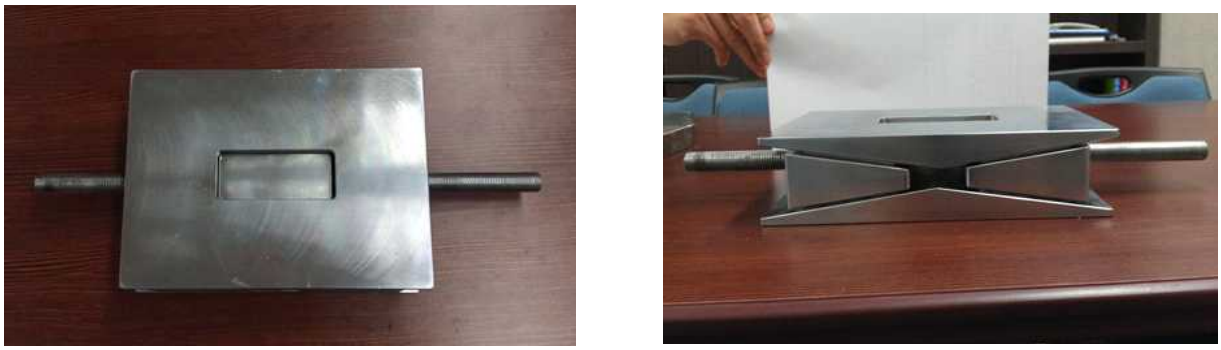
(3) Type 2

(가) 두개의 쐐기부품을 이용하여 안정적으로 쐐기 상판을 들어 올리는 구조인 Type 2는 상·하부 구조물의 미끄러짐을 방지하기 위한 전단핀을 중앙에 적용하였으며, 마찰판은 PTFE를 사용하였다.

(나) 기 작성된 구조 계산서를 이용하여 아래 그림과 같이 제작 도면을 작성하였다.



[그림 2.141] 높낮이 조절 및 하중계측 받침(Type 2) 제작 도면

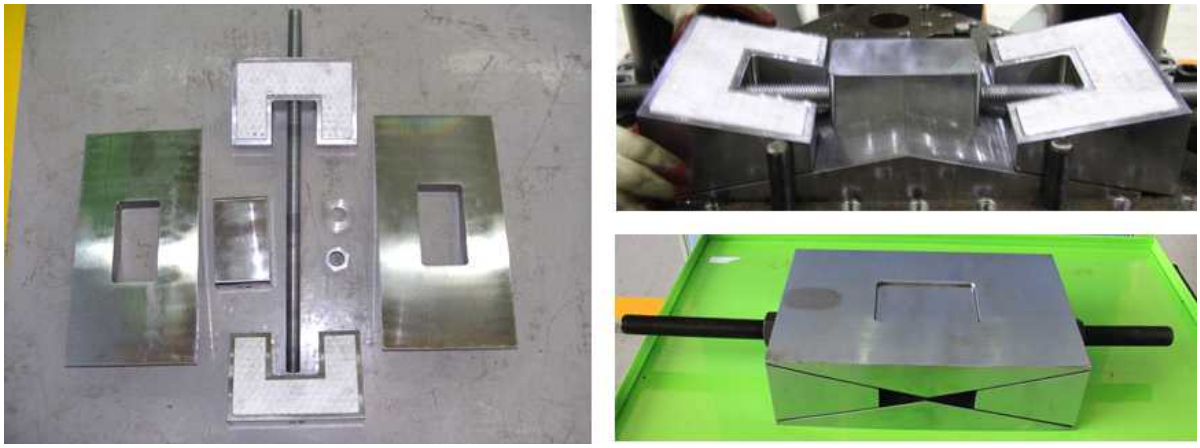


[그림 2.142] 제작된 높낮이 조절 및 하중계측 받침(Type 2) sample

(4) 성능시험용 시작품 제작

(가) 성능시험을 수행하기 위해 다음 그림과 같이 설계용량 90ton, 한계용량 150ton,

높낮이 조절 용량 30mm 수준의 파일럿 규모 sample을 설계·제작하였다.



[그림 2.143] 제작된 파일럿 규모의 높낮이 조절 및 하중계측 받침(Type 2) sample

마. 높낮이 조절 및 하중계측 기능 실험 및 분석

(1) 시험 인증을 통한 개발 목표 달성 입증

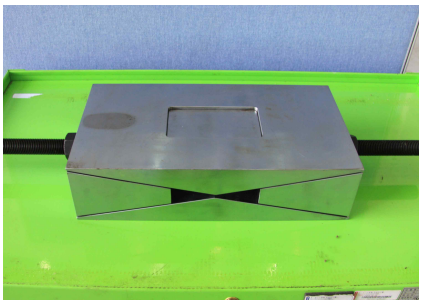
(가) 시험 장소 및 장비 제원

① 완성된 시작품에 대한 시험인증은 명지대학교 하이브리드실험센터에서 진행하였으며, 사용한 장비는 5,00 kN 용량의 Dynamic UTM을 사용하였으며, 컨트롤러는 MTS FlexTest Gt#1을 사용하였고 데이터 계측은 제어용 컨트롤러와 IMC CRONOS-PL을 사용하였다.

(나) 시험체 및 설치 방법

① 시험체

㉮ 시험용으로 다음과 같은 sample을 제작하여 성능시험을 수행하였다.

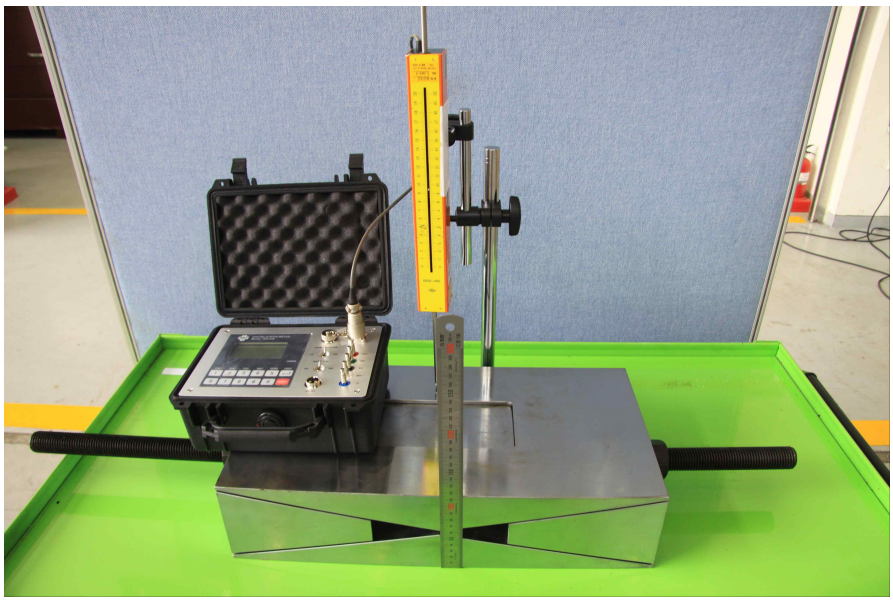


크 기	500 mm x 250 mm (상판 크기 기준)
빗면 기울기	0.2
무 게	105.5 kg (측면 로드셀 제외)
사용 용량	90 ton
한계 용량	150 ton
높낮이조절 용량	30 mm

[그림 2.144] 시험체 사진 및 제원

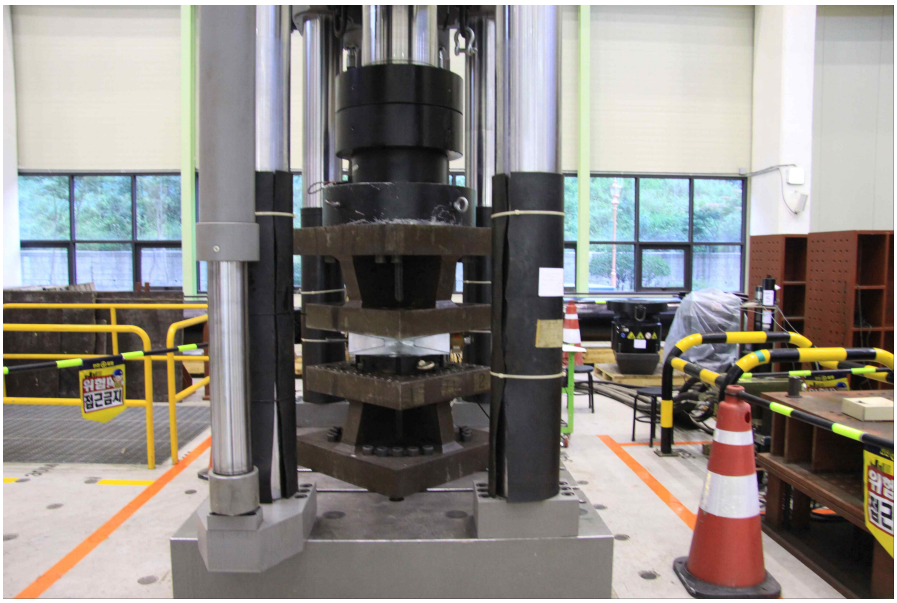
② 설치 방법

㉮ 시험체의 높이조절 성능을 평가하기 위하여 아래 그림과 같이 변위측정용 LVDT와 강철 자를 이용하여 조절 가능 높이를 측정하였다.



[그림 2.145] 높이조절 성능 평가를 위한 시험체 설치 전경

재하시험을 수행하기 위하여 아래 그림과 같이 UTM에 상하 압축제하판을 이용하여 설치하고 측면 로드셀을 추가로 장착하여 시험하였다.



[그림 2.146] 재하시험을 위한 시험체 설치 전경



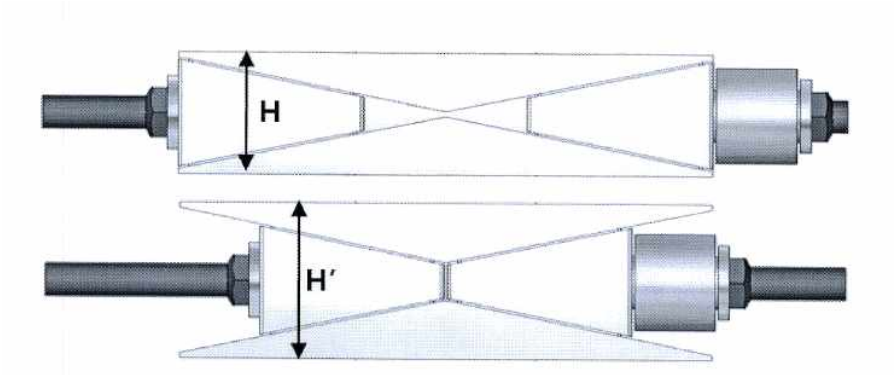
정격용량	20 ton
정격출력	1 mV/V ± 0.3 %
크 기	88mm, 30mm, 80mm(외경, 내경, 높이)
비직진성	1% 이하
무 게	1.6 kg

[그림 2.147] 측정용 로드셀 사진 및 제원

(다) 시험 방법

① 높이조절 성능 평가시험

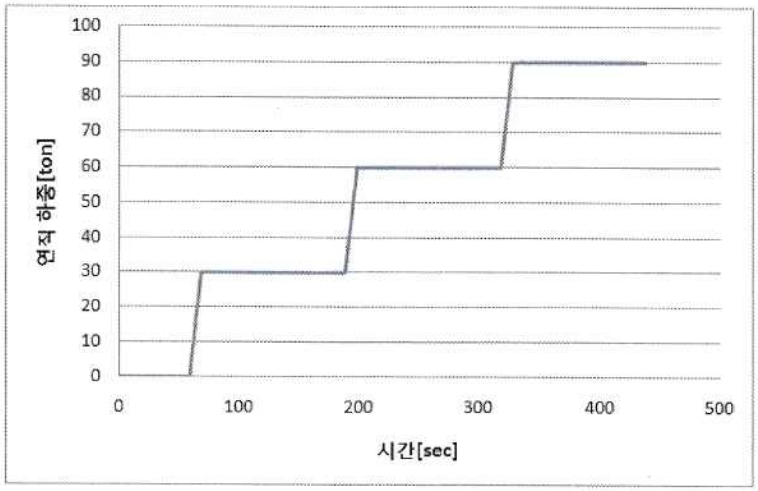
㉮ 아래 그림과 같이 기기의 최저 높이와 최대 높이의 차이를 측정하여 높이조절 기능을 검증하였다.



[그림 2.148] 높이조절 성능 평가 개요

② 사용하중 재하시험

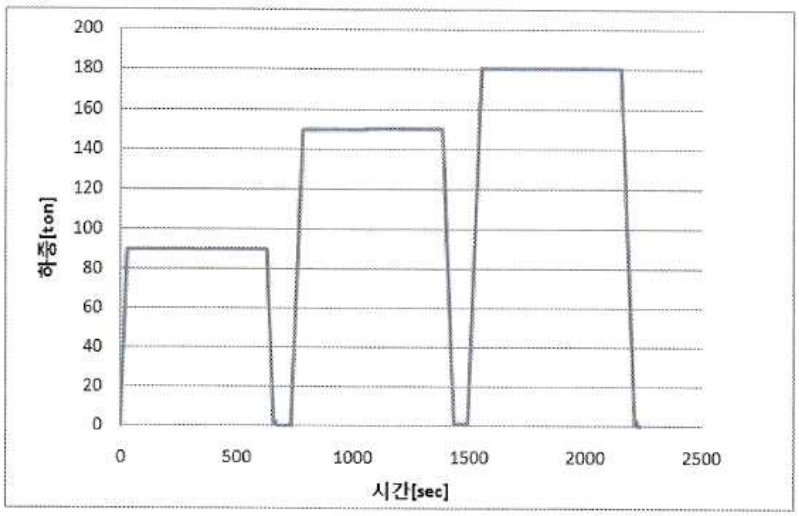
㉮ 본 시험에서는 하중제어 방식으로 재하하였으며, 제어속도는 30kN/sec로 시험을 수행하였다. 재하시험에서는 아래 그림과 같이 사용하중(900kN)까지 300kN 단위의 계단 형태로 연직하중을 증가시켰으며, 각 단계에서는 일정한 하중을 2분간 유지하였고 이 때 횡방향으로 발생하는 분력을 측정하였다.



[그림 2.149] 재하시험시 하중 적용 방법

③ 극한하중 재하시험

㉮ 본 시험에서도 사용하중 재하시험과 같이 하중제어 방식으로 시험하였으며 하중 증감시의 제어속도는 30 kN/sec로 시험을 수행하였다. 본 시험에서는 사용하중(900 kN) 및 극한하중(1,500kN)을 시험체에 적용하여 안전성을 파악하였고 시험체가 파괴될 때까지 하중을 증가시켜 파괴하중을 측정하였다. 따라서 시험은 사용하중 재하시험, 극한하중 재하시험, 파괴시험 순으로 아래 그림과 같이 진행되었다. 극한하중 재하시험에서는 횡방향으로 설치한 로드셀의 용량보다 큰 하중이 로드셀에 작용할 수 있기 때문에 횡방향 로드셀을 제거하고 시험하였으며 지속하중에 대한 시험체의 내구성을 검증하기 위하여 각 하중 단계별로 일정한 하중으로 각각 10분씩 유지하였다.



[그림 2.150] 사용하중 및 극한하중 재하시험 개요

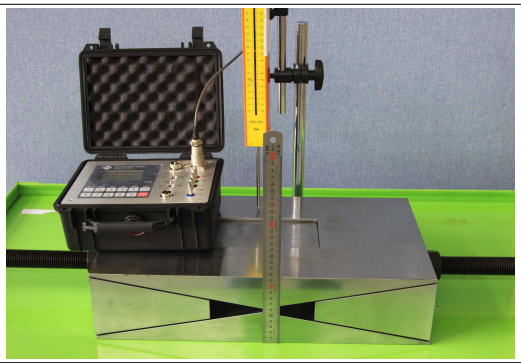
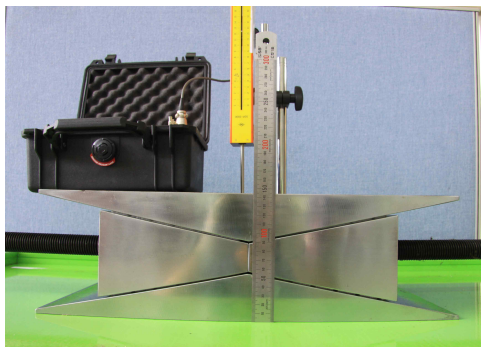
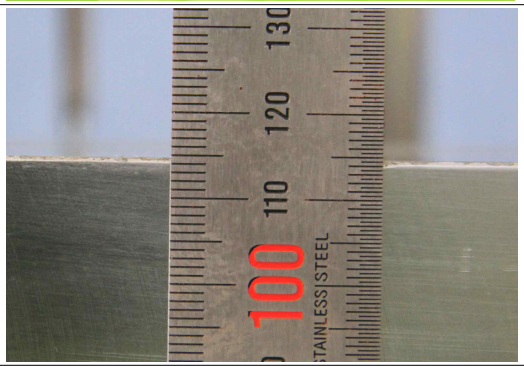
④ 시험 결과

㉮ 높이조절 성능 평가시험

■ 본 시험을 통해 발생한 높이조절 성능 평가시험 결과는 아래 표와 같으며, 관련 사진을 아래 그림에 나타내었다.

[표 2.128] 높이조절시험 측정값

구분	항목	강철 자	계측기	비고
1	최저 높이	115 mm	0 mm	
2	최고 높이	145 mm	30.42 mm	
3	높이 차	30 mm	30.42 mm	

구분	최저높이	최고높이
전경		
강철 자		
계측기		

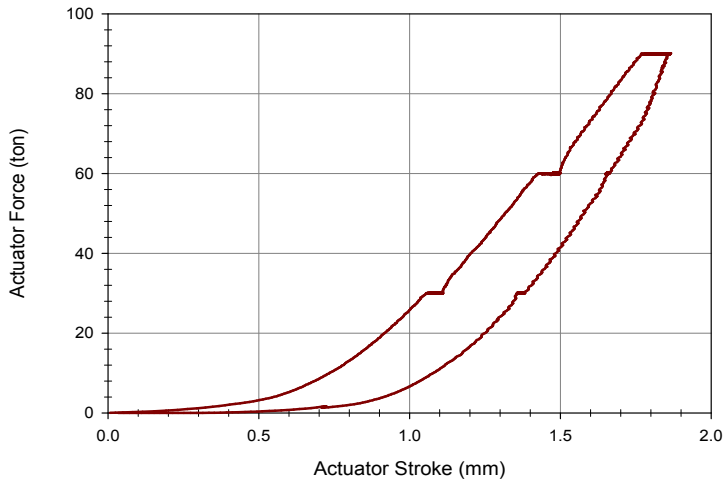
[그림 2.151] 높이조절성능 시험 계측

㈏ 사용하중 재하시험

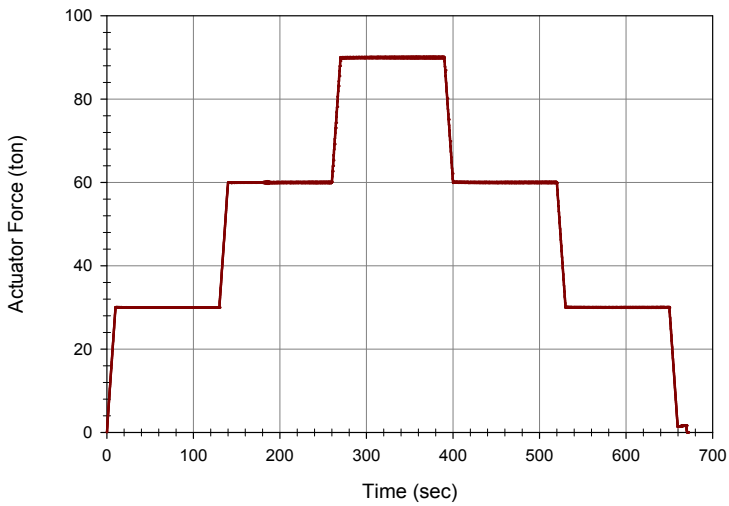
■ 본 시험에서 수행한 연직하중 대비 횡방향 하중 시험 결과를 아래 표에 나타내었으며, 관련된 시험 결과 그래프를 아래 그림에 나타내었다.

[표 2.129]사용하중 재하시험 결과

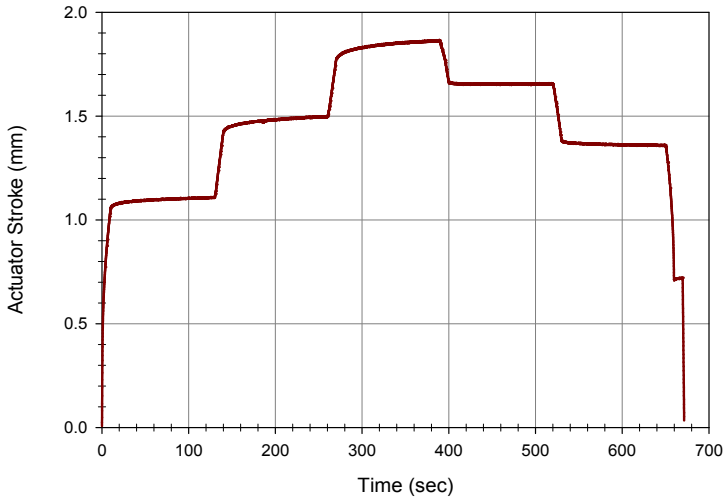
구분	연직하중	횡방향 분력	유지시간	비고
1	30.03 ton	5.58 ton	2 min	
2	60.03 ton	11.18 ton	2 min	
3	90.03 ton	17.16 ton	2 min	



[그림 2.152] 하중-변위 곡선 (유압가력기)



[그림 2.153] 하중-시간 곡선 (유압가력기)



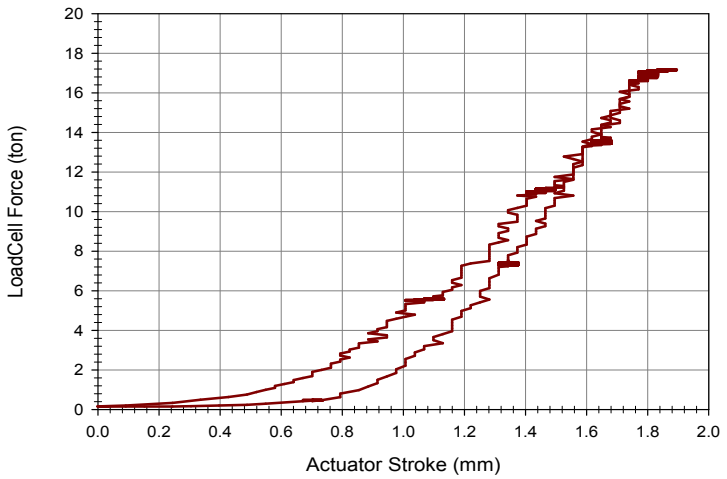
[그림 2.154] 변위-시간 곡선 (유압가력기)

㉰ 극한하중 재하시험

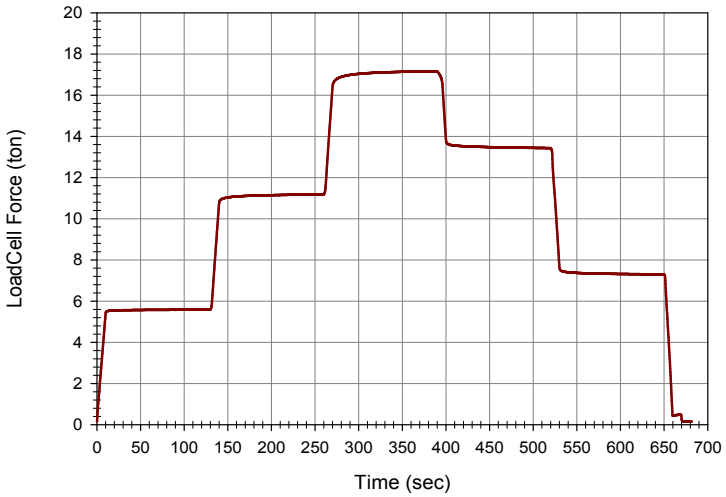
■ 본 시험에서 수행한 사용하중 및 극한하중 재하시험 결과를 아래 표에 나타내었으며, 관련 시험결과 그래프는 아래 그림과 같다.

[표 2.130] 사용하중 및 극한하중 재하시험 결과

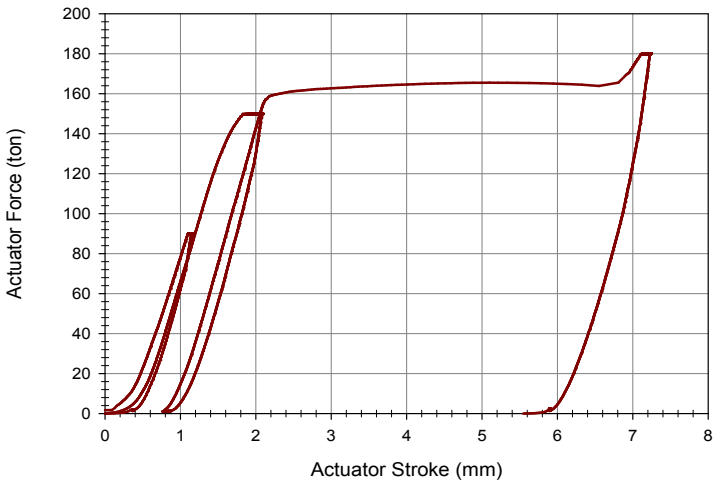
구분	항목	하중	유지시간	이상여부
1	사용하중	90 ton	10 min	없음
2	극한하중	150 ton	10 min	없음
3	파괴하중	약 165.5 ton	10 min (약 180 ton)	재하도중 볼트항복



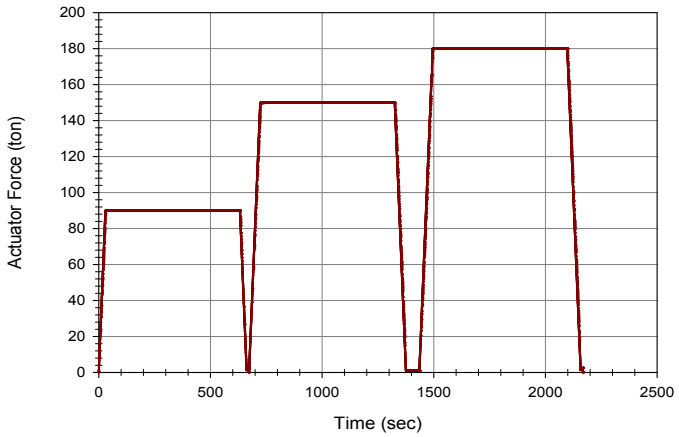
[그림 2.155] 하중-변위 곡선 (횡방향 로드셀)



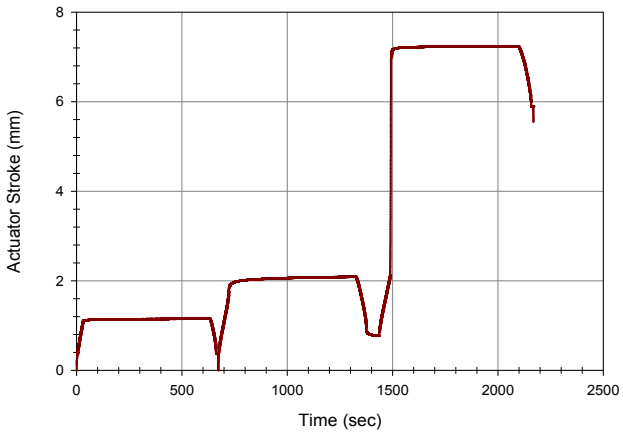
[그림 2.156] 하중-시간 곡선 (횡방향 로드셀)



[그림 2.157] 하중-변위 곡선 (유압가력기)



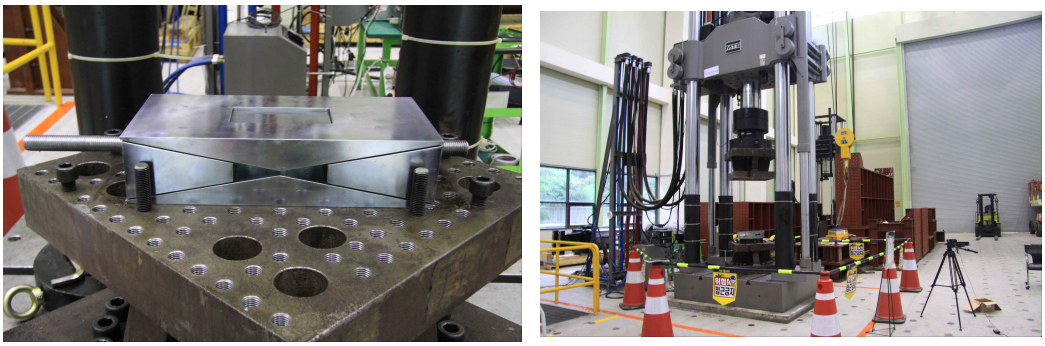
[그림 2.158] 하중-시간 곡선 (유압가력기)



[그림 2.159] 변위-시간 곡선 (유압가력기)

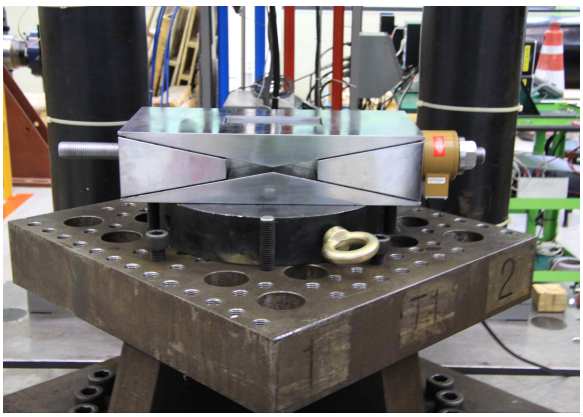
⑤ 시험 사진

㉮ 시험체 설치



[그림 2.160] 시험체 설치 모습

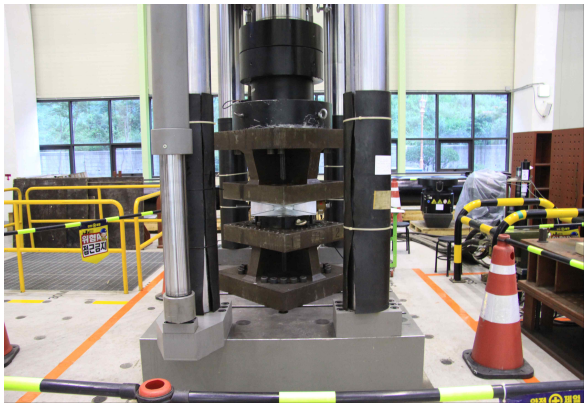
㉯ 센서 및 높이 측정장치



[그림 2.161] 횡방향 로드셀 설치 모습

[그림 3.162] 시험체 높이 측정

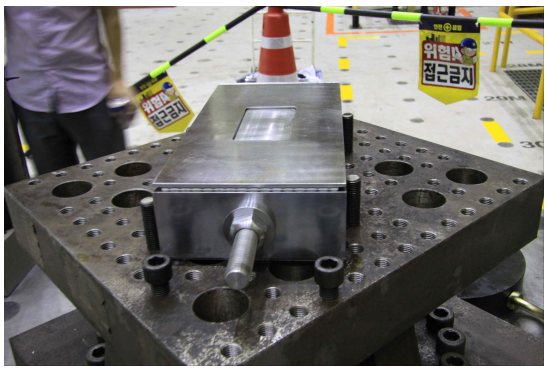
㈐ 재하시험 전경





[그림 2.163] 재하시험 전경

㈑ 파괴시험 후 시험체



[그림 2.164] 파괴시험 후 시험체

(2) 시험 data 분석 및 설계

(가) 시험 data 분석

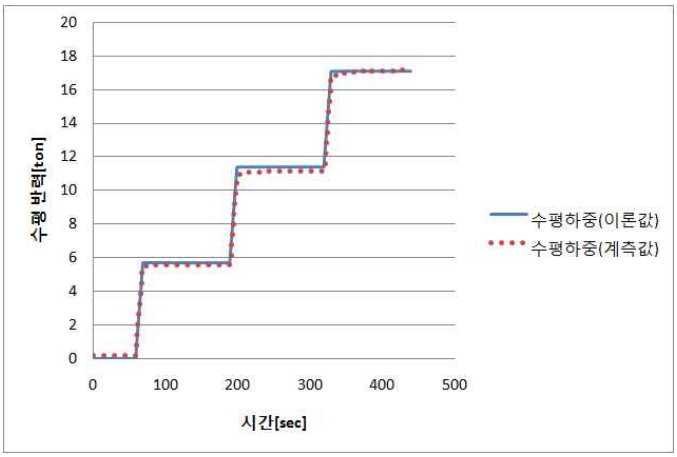
① 하중 측정시험 및 결과

㉮ 앞에서 언급한 바와 같이 연직하중에 따른 Wedge device의 수평방향 분력은 아래의 식으로 계산된다.

$$P' = P(S - 2\mu)$$

㉯ 여기에서 P는 연직하중, S는 기울기, μ는 마찰재의 마찰계수이다. 마찰계수는 압력, 미끌림 속도 등에 의해서 계속적으로 변화하며 정확한 계측이 쉽지 않아 예측 오차를 줄이기 위해서는 마찰계수가 작을수록 더 정확한 하중 측정이 가능하게 된다. 마찰계수를 최소화하는 방법으로 본 실험에서는 실리콘 그리스로 표면을 코팅 처리한 PTFE를 사용하였다. 이 경우에 응력에 따라 약간의 변화는 있을 수 있으나 마찰계수는 0.005~0.007 정도로 예상된다.

㈐ 실험 결과인 측면 로드셀을 통해 계측된 축방향 하중과 위의 식에 입력 연직하중을 대입하여 예측된 이론값을 아래의 그림에 나타내었으며, 식을 통한 이론값과 계측된 수평하중이 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2.165] 하중 측정시험 결과 (측면방향 반력)

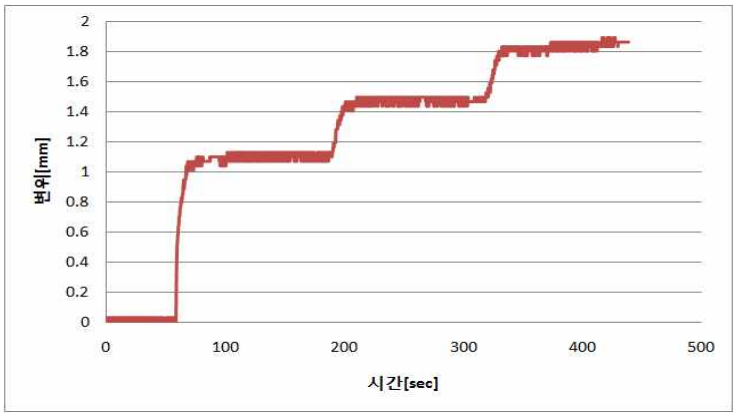
㈑ 이론 값과 계측 값을 비교 분석한 내용은 다음 표와 같다. 연직 하중을 증가시킨 후 약간의 지연시간동안 발생하는 크리프 변형이나 미세한 처짐 등의 영향을 계산에서 배제하기 위해 계산 시에 하중을 유지하는 2분 중 뒤쪽 1분간의 데이터만을 사용하였다. 마찰계수는 0.005로 계산하였다.

[표 2.131] 시험 결과 분석

입력 연직 하중	30 ton	60 ton	90 ton
수평하중(이론값)	5.7 ton	11.4 ton	17.1 ton
수평하중(계측값)	5.579 ton	11.16 ton	17.14 ton
연직하중(계산값)	29.36 ton	58.74 ton	90.21 ton
연직하중 측정 오차 (실제값과 계산값의 오차)	2.1%	2.1%	0.23%
측정 기간내의 오차	0.0085 ton	0.0586 ton	0.0488 ton

㈒ 표에서 알 수 있듯이 계측 값을 통하여 계산되는 연직하중과 실제 가해진 연직하중은 큰 오차 없이 일치하며, 본 장치를 이용한 연직 하중측정 기능이 유효성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 측정 기간 1분 동안 측정된 수평하중의 편차는 0.0488ton~0.0085ton으로 목표치인 1 kN보다 작게 측정되었다.

㈓ 기본적으로 본 장치는 연직방향의 변위를 허용하지 않는다. 그러나 PTFE의 압착, 강재의 탄성변형, 기타 공차 등의 원인에 의해서 약간의 연직 변위가 발생할 수 있으며 이는 시험과정에서 다음 그림과 같이 확인할 수 있다. 측정된 변위는 하중이 증가함에 따라 조금씩 증가하였으며 그 크기는 2mm 정도로 작은 편이었다.



[그림 2.166] 하중 측정 실험 결과 (연직변위 측정)

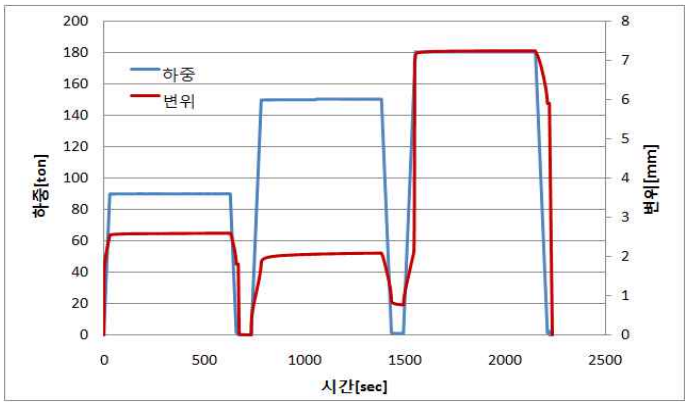
② 높이 조절 성능 평가 시험

㉮ 본 개발 장치는 기계장치로 너트가 나사산을 따라 회전하여 발생하는 수평 변위에 의해 쐐기가 이동하며 연직방향으로의 정밀한 변위를 주는 구조로 높이 조절시 오차가 0.42mm로 측정되어 초기 예상했던 목표치인 0.4mm에 근접한 것을 확인할 수 있었다.

③ 사용하중 및 극한하중 시험

㉮ 실험 data를 분석한 결과 연직 하중 및 그에 따른 연직 방향의 변위는 아래 그림과 같이 측정되었다.

㉯ 실험 시 발생되는 연직 변위는 사용하중(90ton)에서 2.5mm정도, 극한하중(150ton)에서 2mm 정도로 측정되었다. 이러한 연직 변위는 앞에서 설명한 PTFE의 압축이나 철의 탄성변형 및 크리프에 의한 것으로 생각된다.

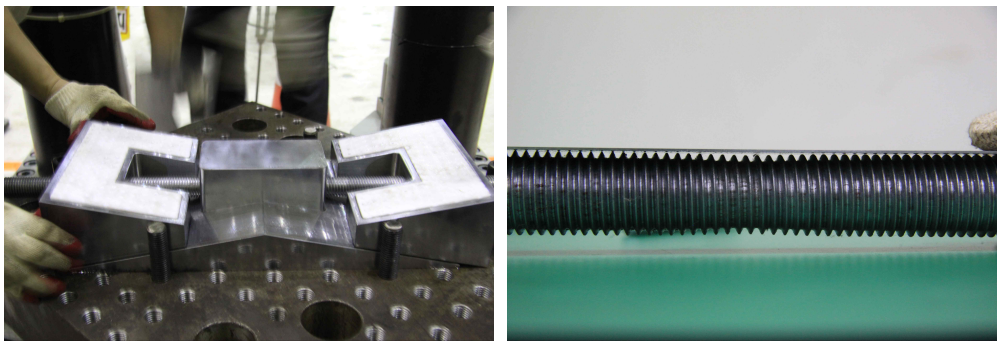


[그림 2.167] 사용하중 및 극한하중 시험시 발생된 연직방향 변위

㉰ 기기는 극한 하중 실험(150ton)까지는 안정성을 유지하고 있었으나, 하중을 계속 증가시켜 180ton 부근에 도달하자 급격하게 중간 지지 Rod가 소성변위를 일으키며 파괴되었다.

㉱ 그림에서 볼 수 있듯이 극한하중(150ton)이 가해지는 동안에는 변위가 2mm로 사용하중(90ton)에서와 별반 다르지 않은 값을 가지다가 180ton 부근까지 증가하면서 변위가 갑작스럽게 증가함을 알 수 있다. 이는 기기가 극한하중까지는 침하 발생 없이 하중을 지지하다가 파괴 하중 부근에서 Rod에 급격한 소성변형이 발생하였고 이에 따라 상판이 아래로 7mm 침하하면서 하판과 충돌했음을 의미한다. 그 뒤로 하중을 유지하는 동안 변위가 증가하지 않는 것은 위의 그림에서 볼 수 있듯이 상판과 하판이 닿아서 하중을 지지하고 있기 때문이다.

㉲ 아래 사진은 소성 변형된 Rod의 사진이다. 180ton을 Rod의 파괴하중이라 하면 Rod에 걸리는 응력은 M30의 유효 직경이 27.7mm이므로 556MPa로 계산된다. 장치의 재료인 SM490의 허용응력은 315MPa이고, 항복강도가 490~610MPa이므로 극한하중 시험 중에 가해진 응력이 재료의 소성 변형을 발생시켜 장치를 파괴시킨 것을 알 수 있다.



[그림 2.168] 파괴시험 후 볼트 항복 상태

㉳ 볼트의 파괴 양상을 보면 알 수 있듯이 본 기기에서 응력이 가장 많이 집중되는 부품은 중간 지지 Rod이므로 Rod의 지름을 크게 하거나 강도가 높은 재료를 사용하면 안전율을 높일 수 있을 것으로 생각된다. 또한 Rod의 파괴로 인해 위의 그림과 같이 상판과 하판이 맞닿게 되는 파괴가 발생했을 때 안정성을 높이기 위해서 상판과 하판이 닿게 되는 면을 평평하게 제작하는 것도 장치의 안전성을 향상시키는 방법이 될 수 있을 것이다.

제6절 개발 장비에 대한 사업원가분석

1. 개발장비에 대한 원가분석 개요

본 조사는 노후화된 기존 철도교의 급속교체 시공방법에 대한 원가조사이며, 실무업무에 참고자료로 활용토록 제시하는데 그 목적이 있다. 조사방법은 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 제9조(예정가격의 결정기준) 제1항 제2호 및 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙 제6조(원가계산에 의한 예정가격의 결정)의 규정에 의한 예정가격 작성기준(기획재정부 계약예규 제157호, 2014.1.10)을 준용하여 작성된 예정가격(Predetermined cost)으로서 추정원가(Estimated cost)계산방법으로 산출하였다. 또한, 원가분석을 위한 철도교량의 대상은 12m형으로 국한하여 검토하였다.

2. 원가분석 조건

노후화된 기존 철도교의 급속교체 시공방법에 대한 개발공법의 설계도면 및 전문업체 제반자료와 기존공법의 제반자료 등에 의거 2014년 4월을 기준으로 산정 되었으며, 다음과 같은 여건의 변동이 있을 때에는 공법별 공사금액도 재수정 되어야 할 것으로 생각되며, 기본적으로 건설표준품셈에 기초하여 작성되었다.

가. 제시된 신공법 설계도면, 전문업체 제반자료, 현장여건 및 시공방법의 변경

나. 제시된 기존공법 제반자료의 변경

다. 제시된 전문업체 견적가의 변동

라. 신공법 및 기존공법, 공사비 산정범위 및 현장규모의 변동

마. 적용된 공사종류(토목공사), 공사규모(50억원미만), 공사기간(6개월미만)의 변동

바. 적용된 조사시점일(2014년 4월)의 변동

사. 단위당 재료소요물량(일위대가표) 및 적용단가의 변동

아. 단위당 소요공수(일위대가표) 및 시중노임단가의 변동

자. 건설공사표준품셈의 건설기계 가격 및 시간당 손료의 변동

차. 재료비, 노무비 및 경비 적용비목 적용기준의 변동

카. 원가계산에 적용된 각종 부대사항의 변동

타. 기타 공공요금 및 원가에 영향을 주는 제반여건의 변동

3. 원가 비목별 계산기준

본 원가조사는 제시된 신공법 설계도면 및 전문업체 제반자료와 기존공법 제반자료 등을 참조하여, 기획재정부 계약예규 예정가격 작성기준(기획재정부계약예규 제157호, 2014.1.10)에 의거하여 작성하였다.

가. 재료비

재료비는 공사에 필요한 재료 또는 부분품의 소비가치를 말하는 것으로 산출된 재료의 소요량 및 재료원단위에 재료의 단가를 승하여 산출하였다.

(1) 직접재료비

직접재료비는 공사에 필요한 재료 또는 부분품의 소비가치를 말하는 것으로, 계산방법은 다음과 같다.

(가) 재료의 소요량

재료의 소요량은 제시된 설계도면 및 제반자료에 의거하여 개별 산출하였다.

(나) 재료원단위(일위대가표)

재료원단위(일위대가표)는 표준품셈에 의거하여 개별 산출하였다.

(다) 재료의 단가

재료의 단가는 부가가치세를 제외한 조사일 현재(2014년 4월)를 기준으로 물가지가격 및 시중유통거래가격 등을 조사하여 낮은 단가를 계상하여 적용 산출하였다.

(라) 직접재료비

직접재료비는 제시된 도면에 의거 산출된 재료의 소요량 및 재료원단위(일위대가표)에 재료의 단가를 승하여 산출하였다.

(2) 노무비

노무비는 공사현장에서 계약목적물을 완성하기 위하여 소비되는 노동의 소비에 의하여 발생하는 비용으로 직접노무비와 간접노무비로 구분하여 계상하였다.

(가) 직접노무비

직접노무비는 공사현장에서 계약목적물을 완성하기 위하여 직접 작업에 종사하는 종업원 및 노무자에 의하여 제공되는 노동력에 대한 대가를 말하며, 다음과 같은 방법에 의하여 산출 계상하였다.

① 공정별 소요량

공정별 소요량은 제시된 설계도면 및 제반자료 등에 의거하여 산출하였다.

② 노무공수 원단위(일위대가표)

노무공수 원단위는 표준품셈에 의거하여 투입공수를 산출 적용하였다.

③ 노임단가

노임단가는 통계법 제15조 규정에 의한 통계청승인기관(대한건설협회)에서 조사 공표한 2014년 공사부문 상반기 시중노임단가를 직종별로 적용하였다.

④ 직접노무비

직접노무비는 산출된 공정별 소요량 및 노무공수 원단위에 노임단가를 승하여 산출 적용하였다.

(나) 간접노무비

간접노무비는 직접 공사작업에 종사하지는 않으나, 작업현장에서 보조 작업에 종사하는 노무자, 종업원과 현장감독자 등의 기본급과 상여금 및 퇴직급여충당금의 합계액을 말하며, 다음과 같은 방법에 의하여 산출 적용하였다.

① 간접노무비율

간접노무비율은 설치원가 총 합계액을 기준으로 기획재정부 계약예규 예정가격 작성기준에 의거 공사종류(토목공사), 공사규모(50억원 미만), 공사기간(6개월 미만)을 고려한 평균비율 14%와 2014년 토목 원가계산 제비율 적용기준 10.9%를 비교하여 낮은 비율인 10.9%를 산출 적용하였다.

② 간접노무비

간접노무비는 산출된 간접노무비율 10.9%를 직접노무비에 승하여 산출 적용하였다.

(3) 경비

경비는 기계경비, 산재보험료, 고용보험료, 국민건강보험료, 국민연금보험료, 노인장기요양보험료, 퇴직공제부금비, 산업안전보건관리비, 환경보전비, 기타경비, 하도급지급보증수수료 등으로 산출 적용하였다.

(가) 기계경비

기계경비는 공사에 투입되는 장비에 대한 손료로서 증감된 공사량의 단가는 계약단가를 근거로 적용하였으며, 기계경비원단위(일위대가표)는 건설공사표준품셈을 기준으로 산출 적용하였다.

(나) 산재보험료, 고용보험료

산재보험료는 노동부 고시 제2013-56호(2014년 1월 1일 시행)에 의거 3.8%를 노무비에 승하여 산출 적용하였으며, 고용보험료는 국토해양부 고시(제2013-738호) 비율에 의거 노무비의 0.87%를 각각 승하여 산출 적용하였다.

(다) 국민건강보험료, 국민연금보험료, 노인장기요양보험료, 퇴직공제부금비, 환경보전비, 하도급지급보증수수료, 건설기계대여금지급보증서발급수수료 조달청 2014년 토목공사 원가계산 제비율 적용기준에 의거 국민건강보험료는 직접노무비의 1.7%, 국민연금보험료는 직접노무비의 2.49%, 노인장기요양보험료는 건강보험료의 6.55%, 퇴직공제부금비는 직접노무비의 2.3%, 환경보전비는 재료비, 직접노무비와 기계경비의 1.5%, 하도급지급보증수수료는 재료비, 직접노무비와 기계경비의 0.081%, 건설기계대여대금지급보증서발급금액은 재료비, 직접노무비와 기계경비의 0.41%를 각각 승하여 산출 적용하였다.

(라) 산업안전보건관리비

산업안전보건관리비는 공사원가 총 합계액을 기준으로 노동부 고시(제2013-47호) 비율에 의거 재료비와 직접노무비 합계액에 1.57%(+기초액4,411천원)를 승하여 산출 적용하였다.

(마) 기타경비

기타경비는 대한건설협회발간 완성공사원가통계에 의하여 설치원가 총 합계액을 기준으로 공사종류(토목), 공사규모(5억 이상~30억 미만), 공사기간(6개월 이하)을 고려한 평균비율의 적용항목은 기획재정부 계약예규에 의한 수도광열비 0.358%, 복리후생비 2.612%, 소모·사무용품비 1.894%, 여비·교통비·통신비 0.706%, 세금과공과 0.332%, 도서인쇄비 0.149%의 합계액 6.051%와 2014년 토목 원가계산 제비율 적용기준 6.2%를 비교하여 낮은 비율인 6.051%를 재료비와 노무비 합계액에 적용 산출하였다.

(4) 일반관리비

일반관리비는 기업의 유지를 위한 관리활동 부문에서 발생하는 제비용으로서 기획재정부 계약예규 예정가격 작성기준에 의거한 비율 6%를 산출 적용하였다.

(5) 이윤

이윤은 영업이익으로서, 기획재정부 계약예규 예정가격 작성기준 제21조에서 공사원가 중 노무비, 경비와 일반관리비 합계액에 이윤율 15%를 초과하여 계상할 수 없도록 규정하고 있으므로 한도율 15%를 산출 적용하였다.

(6) 부가가치세

부가가치세는 재료비, 노무비, 경비, 일반관리비, 이윤 등의 합계액에 10%를 승하여 적용 산출하였다.

(7)원가계산서

Ⅳ. 원가계산서

단위 : 원

비목	구분	금액	구성비(%)	비고
재료비	직접재료비	519,043,152		< 표 : 1 > 참조
	간접재료비			
	소계	519,043,152	69.0	
노무비	직접노무비	72,187,796		< 표 : 1 > 참조
	간접노무비	7,868,469		직접노무비 × 10.9%
	소계	80,056,265	10.6	
경비	기계경비	11,606,052		< 표 : 1 > 참조
	산재보험료	3,042,138		노무비×3.8%
	고용보험료	696,489		노무비×0.87%
	건강보험료	1,227,192		직접노무비×1.7%
	연금보험료	1,797,476		직접노무비×2.49%
	노인장기요양보험	80,381		건강보험료×6.55%
	산업안전보건관리비	13,693,325		(재료비 + 직접노무비)×1.57% + 기초액 4,411천원
	기타경비	36,251,505		(재료비 + 노무비) × 6.051%
	퇴직공제부금비	1,660,319		직접노무비 × 2.3%
	환경보전비	9,042,555		(재료비+직접노무비+경비) × 1.5%
	하도급대금보증수수료	488,297		(재료비+직접노무비+경비) × 0.081%
	건설기계대여대금지급보증서발급금액	2,471,631		(재료비+직접노무비+경비) × 0.41%
	소계	82,057,360	10.9	
순설치원가		681,156,777	90.5	재료비 + 노무비 + 경비
일반관리비 (6%)		40,869,406	5.5	순설치원가 × 6%
이윤 (15%)		30,447,454	4.0	(노무비 + 경비 + 일·관)×15%
총원가		752,473,637	100.0	순설치원가 + 일반관리비 + 이윤
부가가치세 (10%)		75,247,363		총원가 × 10%
총계		827,721,000		총원가 + 부가가치세

(8)내역집계표

< 표 : 1 >

내역집계표

[노후화된 기존 철도교의 급속교체 시공방법]

품 명	규 격	단위	수량	직접 재료비		직접 노무비		직접 경비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
01 노후화된 기존 철도교의 급속교체 시공방법		식	1	519,043,152	519,043,152	72,187,796	72,187,796	11,606,052	11,606,052	602,837,000	602,837,000	
0101 1. 상부공		식	1	47,454,103	47,454,103	58,015,275	58,015,275	11,532,021	11,532,021	117,001,402	117,001,402	
0102 2. 하부공		식	1	17,697,375	17,697,375	14,172,518	14,172,518	74,031	74,031	31,943,924	31,943,924	
010201 1) 교대보강공		식	1	17,317,231	17,317,231	9,692,945	9,692,945	43,725	43,725	27,053,907	27,053,907	
010202 2) 옹벽공		식	1	380,144	380,144	4,479,570	4,479,570	30,303	30,303	4,890,017	4,890,017	
0103 3. 교량용 완교이음대차		식	1	383,636,000	383,636,000					383,636,000	383,636,000	
0104 4. 자재대		식	1	90,255,674	90,255,674					90,255,674	90,255,674	
[합 계]					519,043,152		72,187,796		11,606,052		602,837,000	

주 1) 수량 : 계시된 계산자료 참조
2) 직접재료비 : < 표 : 2 > 내역산출표 참조
3) 직접노무비 : < 표 : 2 > 내역산출표 참조
4) 기계경비 : < 표 : 2 > 내역산출표 참조

4. 원가분석결과

기존에 일반적으로 사용되는 공법인 밀어내기 공법과 비교하여 원가분석을 검토한 결과, 다음 표 2.132와 같으며, 이에 대한 내역서 및 원가분석서는 부록에 첨부하였다.

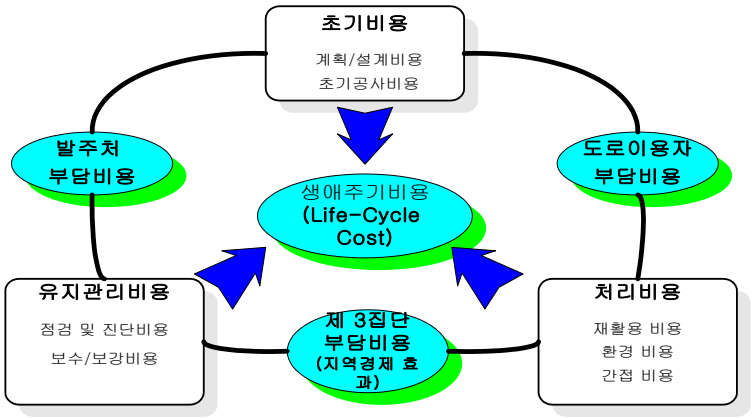
[표 2.132] 개발공법에 대한 원가분석결과

건 명	규 격	단위	금 액(원)	비 고
노후화된 기존 철도교의 급속 교체 시공방법	개발공법	식	827,721,000	Ⅳ. 원가계산서 참조
기존 철도교 교체 시공방법 (밀어내기공법)	기존공법	식	1,016,000,000	제시된 제반자료 참조
절 감 액	-		-188,279,000	기존공법대비 약 18.58% 절감

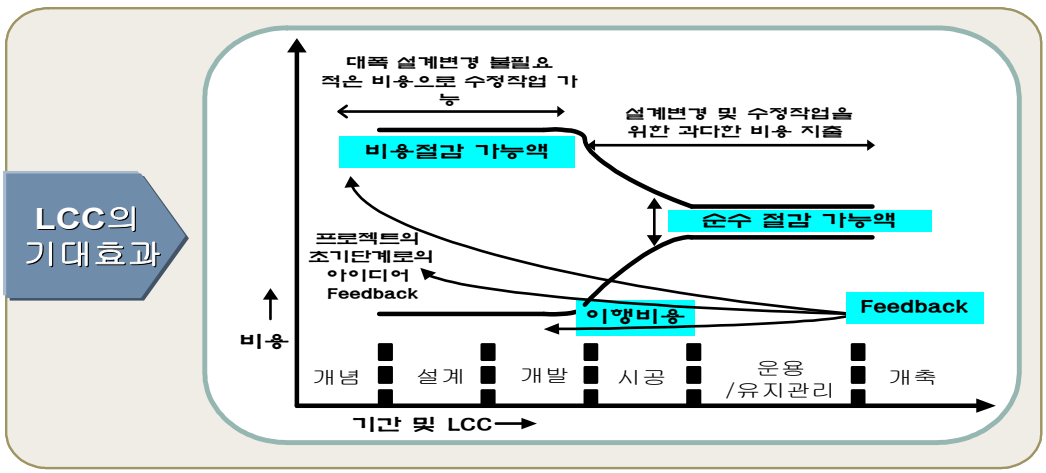
제7절 개발공법에 대한 VE 및 LCC 분석

1. VE 분석 개요

LCC란 총 생애주기비용(Life Cycle Cost;이하 LCC라 칭함.)이라는 것은 시설물의 기획 단계에서부터 폐기 처분 시까지의 모든 비용 즉, 계획·설계비, 건설비, 운용관리비, 폐기물 처분 비용을 합한 것으로 시설물의 생애에 필요한 모든 비용을 말하며, LCC 분석이란 총 생애주기비용(LCC)를 최소화할 수 있는 대안의 비교를 통한 의사결정기법을 의미한다. LCC 분석을 위한 항목으로는 일반적으로 다음 그림 2.168과 같이 나타낼 수 있으며, 분석을 실시함으로써 얻어지는 기대효과는 그림 2.169와 같이 설계 초기단계에서부터 얻어지는 비용절감으로 공법에 대한 가치가 향상될 수 있다.



[그림 2.168] LCC 분석항목



[그림 2.169] LCC 분석에 따른 기대효과

2. VE 및 LCC 분석에 의한 최적 교체공법 선정

가. 크레인 및 대차 시스템를 이용한 기존교량 교체공법

(1) 설계 VE 및 LCC 분석개요

• 최소한의 비용(생애주기비용)에 의한 최대한의 기능 향상으로 최적대안 도출

• 다양한 전문가의 조율에 의한 프로젝트의 기능분석을 통한 최적대안 도출

• 경제적 측면뿐만 아니라 사회, 환경 등 비경제적 요소를 종합적으로 평가하여 최적대안 선정

• 매트릭스 평가법 : Caltrans 『Value Analysis Report Guide』의 추천방법으로 사용자입장에서 고려한 선정기법(설계경력 10년이상 10명의 설문을 고려한 가중치 선정)

• 최적대안으로 선정된 안을 설계안으로 추천 (생애주기비용을 포함한 가치점수가 가장 높은 대안임)

(2) 테마제안

설계 VE 를 위해서는 FAST 다이어그램에 의한 기능정의, 기능분석, 아이디어 발상등의 활동을 하여야 하나 여기서는 공법 형식선정에 대한 검토이므로 형식 중 가능한 대안을 도출하고 각각의 LCC를 산정한 후 최종적으로 VE 평가 기법(가중 평가 매트릭스법)에 의한 검토에 의해 철도교 급속교체 공법의 경제성 분석

경제성	⇨ 작업조건을 고려한 가설공법 적용 ⇨ 기존 교체공법과의 기능/편의 비교 ⇨ 초기비용 및 유지관리비를 정량적으로 평가하여 적용함
시공성	⇨ 시공 장비 운용, 공간 활용에 유리한 공법 선정 ⇨ 공기단축 및 시공의 난이성 등 종합적인 시공성 검토 ⇨ 공사방법, 시공관리, 시공장비 운용, 공간 활용의 용이성 등 검토
친환경성	⇨ 교체 공정 중 환경오염 최소화, 공사 중 환경영향, 환경친화성 등 검토
유지관리성	⇨ 유지관리가 용이하고 보수비용을 고려함 ⇨ 시공 및 운용 중 시설물 및 구성요소 등의 미래지향적 계획의 제공방안 검토
안전성	⇨ 교체 공정 중 구조적인 안전성고려 ⇨ 환경적 영향에 의한 구조적 안전성
민원성	⇨ 소음, 진동, 대기오염 피해 등 환경 피해 최소화 방안 수립

(3) 대안의 구체화

- 경제성, 기능성, 시공성이 고려된 기존 철도교 교체 공법을 비교하여 대안 도출

구 분	기본안	비교안
	크레인 및 대차를 이용한 공법	가시설 설치 후 밀어내가 공법
경 제 성	• 공사비 유리	• 현장타설 및 가시설 설치에 따른 공사비 증가
시 공 성	• 교량설치를 교체 교량 레일상에서 직접 교체작업 실시로 시공성 유리 • 상부구조 공장제작으로 인한 급속교체 시공에 효과적	• 별도의 가시설이 설치된 후 크레인에 의한 교체작업 실시로 시공성 불리 • 상부구조 현장타설
친환경성	• 교량설치를 레일상으로 직접 교체작업 실시로 자연환경 훼손 최소화	• 일부 자연환경 훼손 가능성 대두 • 현장작업으로 터파기 및 기초시공으로 지반훼손, 토질 및 수질의 오염 가능성
유지관리성	• 교체 시공 시 자동화 운전장비로 유지관리성 극대화	• 여러 작업공정 소요로 유지관리성 불리
안전성	• 교량을 부담할 수 있는 차체 중량과 전도방지 장치로 안전성 극대화	• 가시설 후 크레인으로 인상 및 교체작업이 이루지므로 구조안전성 일부 결여
민원성	• 야간에 크레인 대차를 이용한 급속교체로 소음 및 진동 감소	• 가시설 설치 및 콘크리트 양생 시 크레인 소음 및 진동 발생
초기공사비 (12m 형)	827,721,000원	1,016,000,000원

(4) LCC 분석

(가) 각 교량별 LCC 산정을 위한 기본 데이터

• 다음 각 비교 대안별로 엑셀 프로그램을 사용하여 LCC 산정을 하였음.

• 각 대안별 입력 데이터는 다음과 같음.

① 원안

크레인 및 이송대차를 이용한 급속교체공법

LCC 산정을 위한 기본데이터 (단위:원)					
항목				금액	산출근거
관리주체비용	초기공사비	재료비(A)		519,043,152	내역서 참조
		노무비(B)		80,056,265	내역서 참조
		경비(C)		82,057,360	내역서 참조
		일반관리비(D)		40,869,406	(A+B+C)*0.05
		이윤(E)		30,447,454	(B+C+E)*0.12
		총원가(F)		752,473,637	(A+B+C+D+E)
		부가가치세(G)		75,247,363	F*0.1
		총공사비(H)		827,721,000	(F+G)
	유지관리비	교량	보수·보강	4,138,605	• 건설후 10년후부터 교량 초기비용의 0.5%를 매년 적용
		궤도	단선 궤도 유지보수	615,700	• 건설후 10년후부터 매년 47.2백만원/km를 적용
			단선 궤도보수	7,991,000	• 건설후 25년마다 6.1억원/km 적용
		관리	기타유지보수	5,959,591	• 초기 건설비용의 0.72%를 매년 적용
		점검 및 진단비용		15,320,000	• 건교부 고시 제 2001-273호 건설공사 안전점검 대가산정 기준 적용
해체/폐기비용		폐콘크리트		3,986,314	218.5ton * 18,244 ton/원
		강재		-17,500,000	50ton * 350원/kg

② 비교안

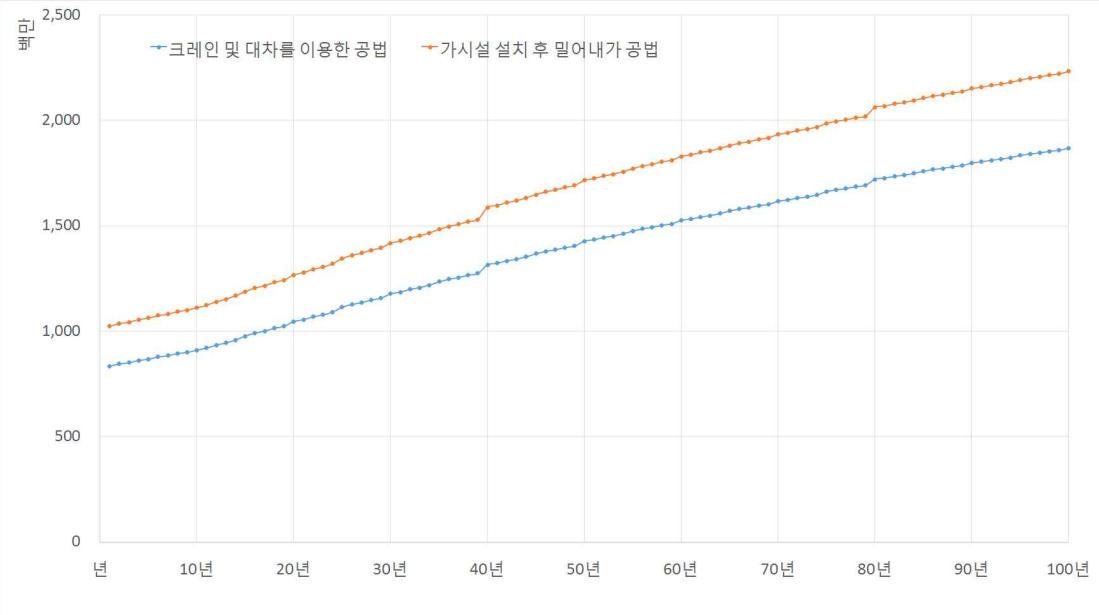
가시설 후 크레인에 의한 밀어내기 공법

LCC 산정을 위한 기본데이터 (단위:원)					
항목				금액	산출근거
관리주체비용	초기공사비	재료비(A)		300,984,161	내역서 참조
		노무비(B)		349,206,105	내역서 참조
		경비(C)		166,294,081	내역서 참조
		일반관리비(D)		40,824,217	(A+B+C)*0.05
		이윤(E)		66,327,800	(B+C+E)*0.12
		총원가(F)		923,636,364	(A+B+C+D+E)
		부가가치세(G)		92,363,636	F*0.1
		총공사비(H)		1,016,000,000	(F+G)
	유지관리비	교량	보수·보강	5,080,000	• 건설후 10년후부터 교량 초기비용의 0.5%를 매년 적용
		궤도	단선 궤도 유지보수	615,700	• 건설후 10년후부터 매년 47.2백만원/km를 적용
			단선 궤도보수	7,991,000	• 건설후 25년마다 6.1억원/km 적용
		관리	기타유지보수	7,315,200	• 초기 건설비용의 0.72%를 매년 적용
		점검 및 진단비용		15,320,000	• 건교부 고시 제 2001-273호 건설공사 안전점검 대가산정 기준 적용
해체/폐기비용		폐콘크리트		3,986,314	218.5ton * 18,244 ton/원
		강재		-17,500,000	50ton * 350원/kg

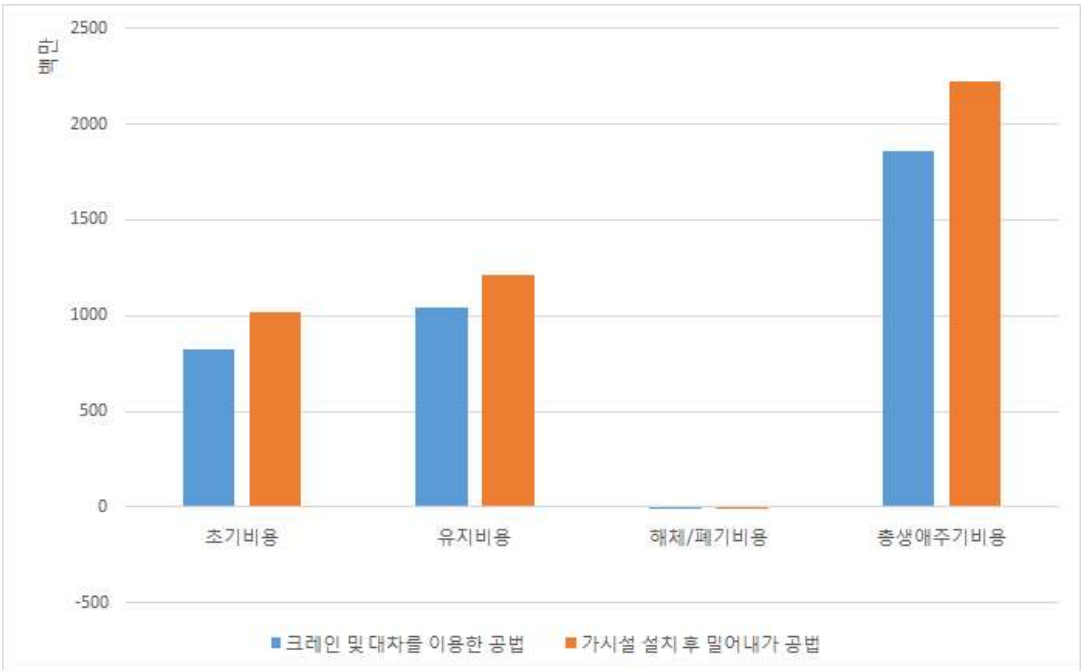
(나) 대안별 LCC 비교

비용요약		생애주기비용(천원)	
		원안	비교안
		크레인 및 이송대차를 이용한 급속교체공법	가시설 후 크레인에 의한 밀어내기 공법
관리주체비용	초기비용	827,721,	1,016,000
	유지관리비용	1,040,970	1,216,033
	해체/폐기비용	-10,685	-10,685
총 LCC		1,858,006	2,221,347
상대비용		100	119.6
상대절감율(%)		0	+19.6
상대절감액 (천원)		0	+363,341

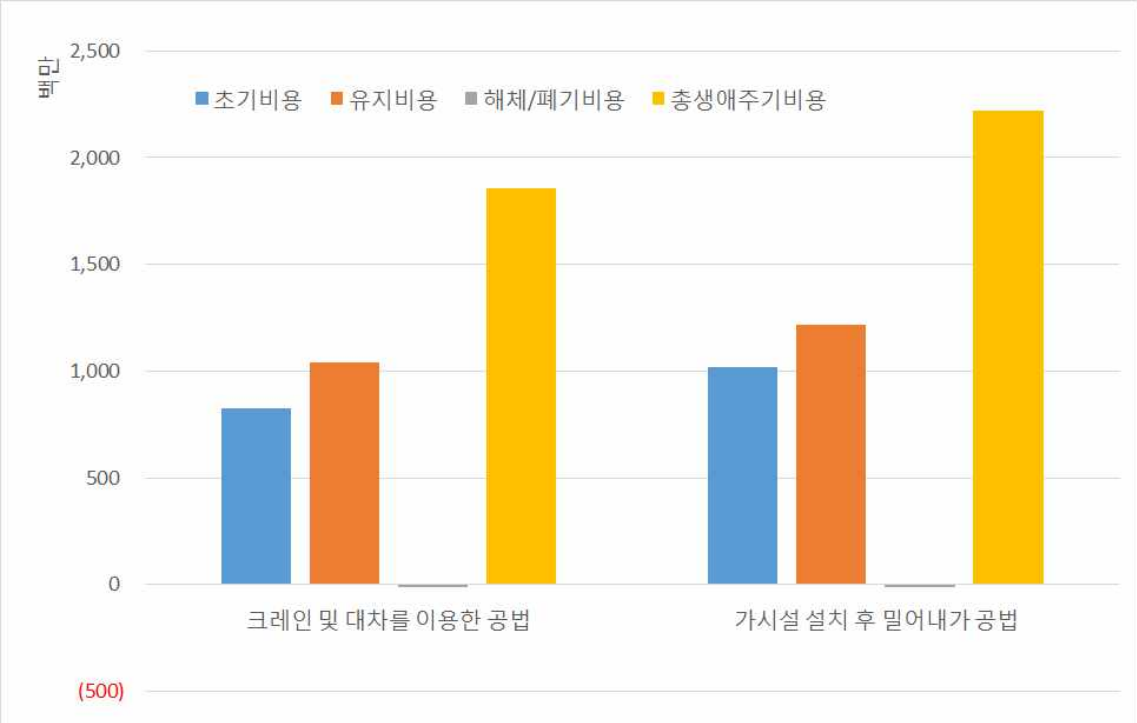
(다) 연도별 누적 생애주기비용



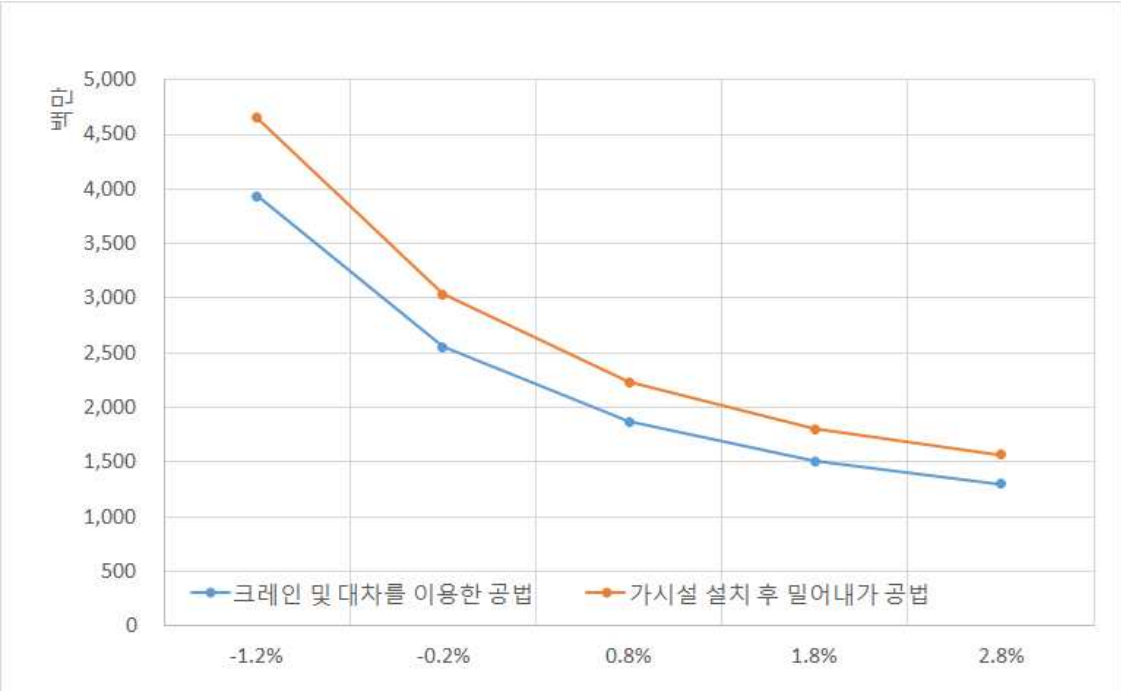
(라) 항목별 비용요약



(마) 대안별 비용요약



(바) 할인율 변화에 따른 민감도 분석

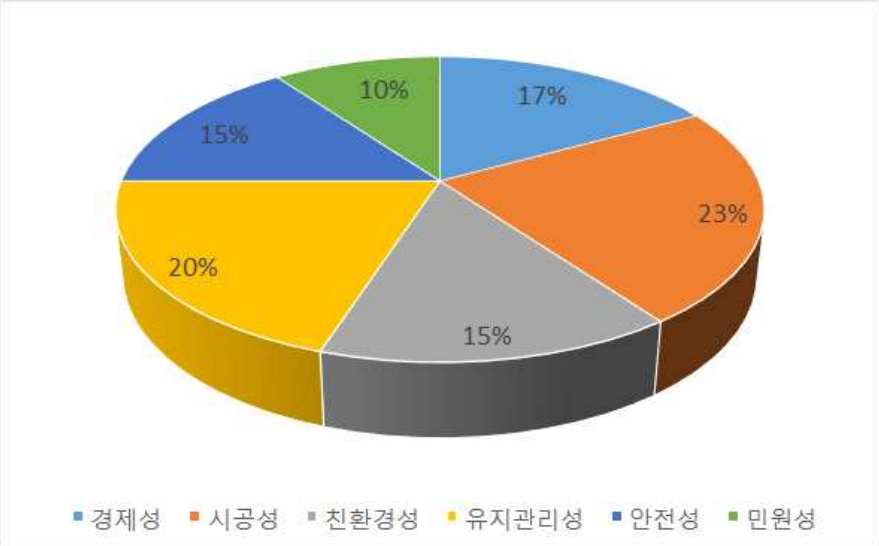


(사) 철도교의 VE 평가를 위한 가중치 선정

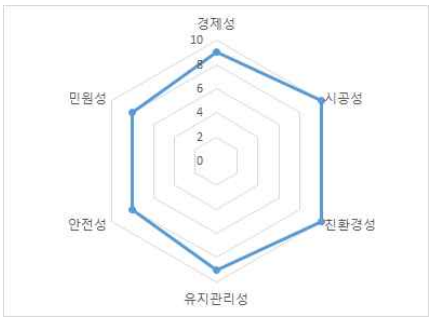
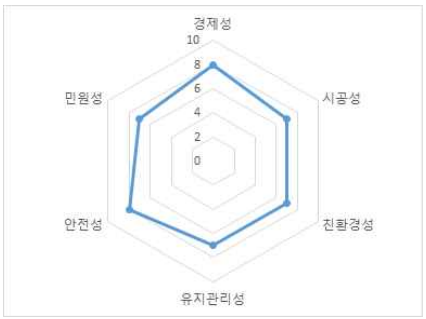
[표 2.133] 10년이상 10인의 철도교 전문가와 협의에 의한 가중치선정

전문가 / 평가항목	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	평 균	확정치
A. 경제성	15	17	16	19	18	18	20	15	15	15	16.8	17
B. 시공성	23	24	25	20	19	22	21	25	23	25	22.7	23
C. 친환경성	15	16	13	17	15	14	15	16	17	15	15.3	15
D. 유지관리성	21	23	19	22	23	22	20	18	19	17	20.4	20
E. 안전성	17	10	16	10	17	14	15	16	15	16	14.6	15
F. 민원성	9	10	11	12	8	10	9	10	11	12	10.2	10
합 계	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

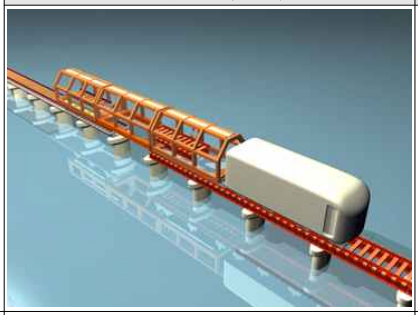
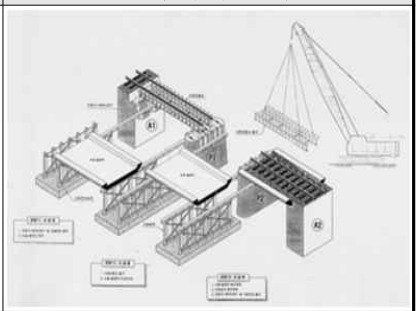
확정치



(아) 철도교 설계 VE 평가

구 분		원안 (크레인 및 이송대차를 이용한 급속교체공법)		비교안 (가시설 후 크레인에 의한 밀어내기 공법)	
평가항목	가중치	등급	점수	등급	점수
경제성	17	9	153	8	136
시공성	23	10	230	7	161
친환경성	15	10	150	7	105
유지관리성	20	9	180	7	140
안전성	15	8	120	8	120
민원성	10	8	80	7	70
Total		913		732	
STAR Diagram					
설계기능점수(F)		91.3		73.2	
LCC분석 결과 (할인율 0.8%)	초기공사비	827,721,		1,016,000	
	유지관리비	1,040,970		1,216,033	
	해체/폐기비	-10,685		-10,685	
	LCC	1,858,006		2,221,347	
	상대LCC (C)	1		1.196	
가 치 점 수 (V=F/C)		91.3		61.2	

(5) 철도교 VE/LCC 분석결과

<table>
<tr><th colspan="4">VE / LCC 결과</th></tr>
<tr><td colspan="2">VE 대상</td><td colspan="2">철도교 급속교체 공법 비교</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">제안내용</td><td>크레인 및 이송대차를 이용한 급속교체공법</td><td>가시설 후 크레인에 의한 밀어내기 공법</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">생애주기비용
절감효과
(천원)</td><td>LCC</td><td>1,858,006</td><td>2,221,347</td></tr>
<tr><td>절감효과</td><td>-363,341</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">가치개선
효 과</td><td>설계기능점수 (F)</td><td>91.3</td><td>73.2</td></tr>
<tr><td>상대생애주기비용 (C)</td><td>1.0</td><td>1.196</td></tr>
<tr><td>가치 점수 (V=F/C))</td><td>91.3</td><td>61.2</td></tr>
<tr><td>개 선 효 과</td><td>30.1</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">제안의 특징</td><td colspan="2">장 점</td></tr>
<tr><td colspan="2">➡ 기관차를 이용 장거리 운송 가능
➡ 상부구조를 공장에서 제작이 가능
➡ 공장과 현장 간에 상당한 거리가 있어도 시공이 가능
➡ 수직으로 교체•시공하므로 주변 환경에 의해서 작업이 영향을 받지 않음
➡ 모든 상부구조를 공장에서 제작하므로 품질이 우수하고, 현장작업이 혁신적으로 감소
➡ 철도레일을 이용하기 때문에 추가적인 이동레일을 설치할 필요가 없음
➡ 상부구조를 현장타설이 아닌 공장제작으로 급속교체시공에 효과적이며, 품질향상 및 시공비용 절감</td></tr>
<tr><td colspan="2">검 토 결 과</td><td colspan="2">가치혁신형 ⇨ V (가치점수) □□= F (설계기능점수) □□ / C (생애주기비용) □□
⇨ 크레인 및 이송대차를 이용한 급속교체공법이 가시설 후 크레인에 의한 밀어내기 공법이 성능은 성능 24.8% 증가, 비용 16.4% 절감, 가치 향상율 49.2% 증가하는 것으로 나타남</td></tr>
</table>

제3장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구목표의 달성도

1. 연구개발 수행 진도율

가. 1차 년도

구분 / 개발내용	연구개발기간 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	진도(%)
기술개발 동향 및 현황분석	계획	계획	계획	계획	계획	계획					100
	실적	실적	실적	실적	실적	실적					
상부구조 형식 개발											100
	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획		
	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적		
성능실험용 상부구조 제작											100
										실적	
이동식 크레인 설계 (판형교교체 전용 화차, 판형교 이송대)											100
	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	
	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	
교량받침 설계											100
	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획			
	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적			
성능실험용 교량받침 제작(1EA)											100
									계획	계획	
									실적	실적	
총 진도율											100
	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	
	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	실적	

····· 당초계획

——— 실　　적

나. 2차 년도

구분 / 개발내용	연구개발기간 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	진도(%)
급속교체 시공을 위한 상부구조 설계 및 제작													100
상부구조 성능실험													100
소음 진동 및 유지관리 성능 평가													100
이동식 크레인 제작													100
크레인 시공단계 안정성 검토													100
크레인 이동간 안정성 검토													100
교량받침 실험적 성능 검증													100
총 진도율													100

····· 당초계획

——— 실 적

다. 3차 년도

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
실험적 현장 시공성 평가	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····			100
	———	———	———	———	———	———			———	———			
상부구조 표준도	·····	·····	·····	·····	·····	·····							100
	———	———	———	———	———	———							
크레인 시험 운행	·····	·····	·····	·····									100
	———	———	———	———									
시공매뉴얼 작성							·····	·····	·····	·····			100
								———	———	———	———		
최종보고서 작성									·····	·····	·····	·····	100
									———	———	———	———	
총 진도율	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	·····	100
	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	

····· 당초계획

——— 실 적

2. 연구개발 목표의 달성도

가. 1차 년도

목 표	달성도(%)	내 용
▪ 기술개발 동향 및 현황분석	100	▪ 관련 특허, 현장적용 및 상용화 실적 조사 ▪ 교량상부, 교체공법 및 시공기술, 교량받침 기술개발 현황 및 적용사례 조사
▪ 상부구조 형식 개발	100	▪ 상부구조의 설계 및 구조해석 ▪ 급속교체 교량용 궤도구조 검토 ▪ 상부구조 현장 적용성 검토
▪ 성능실험용 상부구조 제작	100	▪ 성능실험용 상부구조 제작(1EA)
▪ 이동식 크레인 차량 설계	100	▪ 기존공법과 기술수준 및 한계점 분석 ▪ 이동식 크레인 설계
▪ 수직방향 급속교체용 교량받침 설계	100	▪ 교량받침의 설계 및 구조해석
▪ 성능실험용 교량받침 제작	100	▪ 성능실험용 교량받침 제작(1EA)

나. 2차 년도

목 표	달성도(%)	내 용
■ 상부구조 성능 실험	100	■ 상부구조 제작 ■ 정·동적 및 피로실험 ■ 소음진동 및 유지관리성 평가
■ 이동식 크레인 제작 및 안정성 평가	100	■ 이동식 크레인 제작 ■ 시공단계별 안정성 평가 ■ 이동간 안정성 평가
■ 교량받침 성능 평가	100	■ 실험적 성능 검증

다. 3차 년도

목 표	달성도(%)	내 용
■ 이동식 크레인 시험운행	100	▪ 이동식 크레인 제작 운행 TEST ▪ 시공단계별 안정성 검토 ▪ 이동간의 안정성 검토
■ 현장시공성 평가	100	▪ 급속교체용 상부구조 제작 ▪ 실험적 현장시공 실험 수행 및 평가 ▪ 밀어놓기 공법과 비교 분석
■ 상부구조 표준도 완성	100	▪ 경간별 표준도 완성 ▪ 콘크리트 상부구조 개발 및 설계
■ 실험적 현장시공 및 매뉴얼 작성	100	▪ 경간별 판형교 현황 조사 ▪ 시공 매뉴얼 작성 ▪ 최종보고서 작성

제2절 연구개발 기대효과

1. 기술적 파급효과

성능지표	개발수준		기술내용	파급효과
	기존	목표		
1경간 교체 시간	4시간 이상	3시간 이내	• 크레인 이용한 수직방향 교체 시공 • 궤도/주형 일체화 현장시공	• 급속교체 시공 경쟁력 향상 • 사회간접손실 최소화
1경간 현장공사기간	30일	5일 이내	• 공장제작으로 현장작업 최소화 • 교체작업이 궤도상에서 수행	• 자연손상 최소화 • 공기단축으로 경제적 이익 획득
상부구조 중량	130 ton (9m 판형교)	30% 이상 감소	• 궤도/주형 일체화 상부구조 개발 • 콘리트 슬래브 도상 적용 • 강-콘크리트 합성 최적 구조	• 철도 상부구조 기술 향상 • 궤도/교량 합성 기술 발전
교량받침 높이조절 기능	0 mm	10 mm 조정 가능	• 레일의 레벨 조정 기능	• 교량받침의 신개념 도입 및 기술 발전 • 타 구조물에 적용 가능
유지관리 성능	-	유지관리 주기100% 증가	• 콘크리트 슬래브 도상 적용 • 레일 및 궤도틀림 최소화	• 유지보수비 절감

2. 경제 • 사회적 파급효과

성능지표	목표수준		내용	파급효과
	기존	목표		
1경간 공사비	-	10% 감소	• 현장 가시설 공사 회피 • 자강도상 미설치	• 공사비 절감 • 기술의 경제력 확보 • 녹색건설 구현
철도소음 환경기준	-	주간:70 dB 야간:65 dB	• 소음발생 요인 제거 구조	• 친환경 구조형식 개발 • 환경규제 만족
철도운행속도 향상	90 km/h 한계	200 km/h 가능	• 수평방향 진동 제어 • 수직방향 처짐 감소	• 운행 및 물류 속도 향상 • 철도물류 향상에 기여
승차감 개선	수직가속도 0.5g 초과	수직가속도 0.5g 이하	• 수직방향 강성증가	• 승차감 개선 • 철도의 사회적 이미지 향상
전문 인력양성	부족	전문가 및 석사 배출	• 석사학위 논문 작성 • 연구논문 작성 및 발표	• 철도교 급속교체 전문가 양성 • 철도교 응급복구 기술 발전

제4장 연구개발결과의 활용계획

제1절 관련 후속연구개발의 전망

1. 본 과제목표는 12m이하 단경간에 대한 급속교체기술을 개발하는 것으로, 본 과제를 중점추진 후 12m이상 장경간에 관련기술을 적용 및 활용할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

2. 본 연구과제는 판형교의 문제점을 보완하여 철도교의 주행안정성을 향상시키고자 새로운 상부구조 형식을 개발하여 급속교체공법에 적용하려고 한다. 개발된 상부구조 형식의 장기적인 열차하중에 대한 사용성의 문제 검토 및 철도교의 성능향상은 지속적인 연구가 필요하다.

3. 본 연구과제는 기존 판형교 교체시공 후 기존레일과 교량상의 레일의 레벨차의 보정을 위하여 높낮이 조절이 가능한 교량받침 기술을 개발하는 것이다. 도로교와 다리 철도교량의 특성상 진동 및 열차하중 등 열차주행에 따른 장기적인 거동의 연구가 필요하다.

4. 본 연구과제의 급속교체시공은 중량물의 시공하는 공법으로 대형사고 발생 방지를 위해 안정성에 대한 검토가 필요하므로 사업화시 참여업체와 협의하여 아웃리거 및 LM장치 등의 추가적인 안전시설 장비를 적용 및 보완할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

5. 본 연구과제는 기존교체공법 대비 본 공법의 비용 절감 및 공기 단축 등에 대한 효과 입증을 위해 실제시험시공(2014년 7월 예정)을 통해 정량적 수치 비교를 추후 반영할 것이다.

제2절 연구성과 활용계획

1. 이동식 크레인 차량은 판형교의 수직방향 급속교체 시공에 활용될 수 있다.

2. 이동식 크레인 차량은 상하좌우로 움직이는 기능이 있어 궤도, 도상 및 교량받침 등의 보수에 효과적으로 활용이 가능하다.

3. 본 과제를 통해서 개발된 급속교체 시공기술은 급속교체 및 급속시공 기술을 신설 등에 활용이 가능하다.

4. 급속교체를 위해서 개발된 상부구조 형식은 짧은 경간의 신설교량에도 활용이 가능하다.
5. 급속교체를 위해서 개발된 높이조절 교량받침은 자기부상열차 궤도구조와 같이 정밀한 높이조절 기능이 요구되는 구조물에 활용이 가능하다.

6. 본 과제목표인 12m 이하 단경간에 대한 급속교체기술을 중점추진 후 장경간에 관련기술을 적용 및 활용될 수 있다.

제3절 연구결과의 활용방안

1. 활용방안

가. 연구성과의 활용 방안
(1) 정부의 철도선진화 사업에 따라서 기존선의 속도향상은 중요한 항목이며, 판형교의 성능개선은 전체적인 운행속도향상에 큰 영향을 주는 요소이다. 국내의 기존선 철도교 중 상당수가 판형교로 되어 있는 점을 고려하면 판형교 급속교체 시장은 점진적으로 성장할 것으로 예상되어 본 과제에서 개발할 기술은 활용도가 매우 클 것으로 예상된다.

(2) 이동식 크레인 차량은 판형교의 수직방향 급속교체 시공에 활용될 수 있다.

(3) 이동식 크레인 차량은 상하좌우로 움직이는 기능이 있어 궤도, 도상 및 교량받침 등의 보수에 효과적으로 활용이 가능하다.

(4) 본 과제를 통해서 개발된 급속교체 시공기술은 급속교체 및 급속시공 기술을 신설 등에 활용이 가능하다.

(5) 급속교체를 위해서 개발된 상부구조 형식은 짧은 경간의 신설교량에도 활용이 가능하다. 또한, 상부구조 형식은 형고가 낮아 형고제약이 심한 지역에 활용할 수 있다. 또한, 중량이 50~60ton의 경량이어서 하부구조의 보강이 필요없으며, 하부 구조물의 단면을 감소시켜야 하는 경우에 활용이 가능하다.

(6) 급속교체를 위해서 개발된 높이조절 교량받침은 자기부상열차 궤도구조와 같이 정밀한 높이조절 기능이 요구되는 구조물에 활용이 가능하다. 또한 신설교량건설에도 사용이 가능하며, 차후 교량상의 지점침하 및 지반에서 부등침하가 예상되는 교량에 적용 가능하다.

(7) 본 과제목표인 12m 이하 단경간에 대한 급속교체기술을 중점추진 후 장경간에 관련기술을 적용 및 활용될 수 있다.

나. 연구성과 기업 활용방안
(1) 연구성과를 활용화하기 위해서 상부구조 제작은 (주)인우건설에서 담당하고, 개발된 교량받침은 (주)에스코알티에스에서 제작하여 현장시공을 효과적으로 수행한다.

(2) 연구성과 실용화를 위해서 참여기업은 특허 및 기술을 공유하며, 정보교환 및 상호 기술보완을 통해서 효과적이고 안정적인 시공기술로 개선해 나간다.

(3) 개발된 이동식 크레인 차량은 한국철도공사에 기증하여 보관/관리/사용하게 하며, 이동식 크레인 차량을 이용한 시공 시에는 크레인 차량을 대여하여 사용한다.

(4) 본 과제 완료 후 3년 이내에 현재 판형교 급속교체 시장의 30% 점유율을 확보하도록 노력한다.

(5) 개발된 표준도 및 매뉴얼은 지속적인 노력을 통해서 개선하며, 과제 종료 후에도 특허 및 신기술 획득을 위한 연구개발을 지속적으로 수행한다.

(6) 개발된 연구성과의 실용화를 위해서 한국철도공사의 판형교 유도상화 사업에 적극 참여하며, 현재 독점시장체계를 개선하기 위해서 참여기업은 노력한다.

다. 기타
(1) 학회의 학술대회 논문발표 및 기술세미나 개최를 통해서 개발 기술의 홍보

(2) 현재 철도 운영 및 사용을 담당하고 있는 한국철도공사와 개발단계에서부터 자문을 통하여 협의 하여 교량형식 및 이동식 크레인 제작 등에서 기술적 협력을 이룰 수 있도록 협조체계를 유지

(3) 판형교의 유지보수는 한국철도공사 토목시설처의 관할로 과제의 시작부터 기술의 내용과 과제의 성공가능성 및 실용화 가능성에 대해서 설명

(4) 후속연구로서 판형교의 연속화를 추진하여 도심의 도로의 중앙에 위치하고 있는 판형교 교각을 제거하고 교량을 연속화 및 장대화 하여 도로교통의 통행성을 향상시키는 연구과제를 추진

참고문헌

1. 박찬희 외, (2009), “모듈러 교량기술 개발 및 실용화 연구기획”, 한국건설교통기술평가원

2. 철도안전연구소, (2007), “건설신기술 제437호 연장신청보고서”, 건설기술교통평가원

3. 협동연구기관, (2007), “기존선 속도향상에 대비한 판형교의 동적안정성 향상기술개발”, 한국철도기술연구원

4. 김성일 외, (2007), “고성능강 적용 철도교의 진동 및 소음 성능평가 연구”, 한국철도기술연구원

5. 오지택 외, (2004), “기존선 속도향상에 대비한 판형교의 동적안정성 향상기술개발”, 한국철도기술연구원

6. 황원섭 외, (2003), “열차속도에 따른 판형교의 동적응답 실험 및 분석”, 한국철도기술연구원

7. 최진유 외, (2002), “판형교의 보수보강 및 유도상화 기술개발”, 한국철도기술연구원

8. 철도안전연구소, (2005), “개량된 피씨 합성판형교 개발 및 상품화”, 중소기업청

9. 민경주 외, (2009), “환경소음 저감을 위한 판형교 성능개선 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp1853-1864

10. 황원섭 외, (2007), “무도상 철도판형교의 동적응답특성 및 보강방안”, 한국 강구조학회 논문집, 제 19권 3호, pp.281-290

11. 오세환 외, (2006), “철도차량하중에 의한 디스크받침의 정동적 거동특성”, 한국강구조학회 논문집, 제 18권 4호, pp.469-480

12. 박용걸 외, (2006), “방진궤도시스템 적용에 따른 강철도 무도상 판형교의 거동분석”, 한국철도학회 논문집, 제 9권 6호, pp.625-807

13. 조은상 외, (2006), “″철도차량의 증속 에 따른 판형교의 진동특성” 한국강구조

학회 논문집, 제 18권 6호 pp.769-781.

14. 최은수 외, (2005), “철도교용 고무패드 설치에 따른 판형교의 동적 거동 분석”, 한국강구조학회 논문집, 제 17권 3호, pp.295-306

15. 오세환 외, (2005), “철도교용 고무패드의 강성 추정기법”, 한국강구조학회 논문집, 제 17권 3호, pp.307-316

16. 김현민 외, (2003), “무도상 판형교의 횡거동 분석을 위한 주행하중 매개변수 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.591-595

17. 박영석 외, (1997), “노면조도와 단차를 고려한 2경간 연속 판형교의 충격계수에 관한 실험 및 해석적 연구”, 한국강구조학회 논문집, 제9권 3호 pp.309-321

18. 민지홍 외, (2011), “선로이송 가설공법을 적용한 철도판형교 유도상화(III)”, 한국철도학회, 2011년도 정기총회 및 추계학술대회, pp.1569-1576

19. 민경주 외, (2006), “Π-형 PC로 보강된 합성 판형교량의 성능개선 효과”, 한국철도학회, 2006년도 춘계학술대회, pp.30-35

20. 한국철도시설공단, (2005), “철도설계기준(철도교편)”, 한국철도시설공단

21. Yau, J. D., Wu, Y. S. and Yang, Y. B. (2001). “"Impact response of bridges with elastic bearings to moving loads"”, Journal of Sound and Vibration, 248(1), pp.9-30

22. Yang, Y. B., Liao, S. S., and Lin, B. H. (1995). “"Impact formulas for vehicles moving over simple and continuous beams"”, ASCE, ournal of Structural Engineering, 121(11), pp.1644-1650

23. Mander, J. B., Kim, D. K., Chen, S. S., and Premus, G. J. (1996). “"Response of Steel Bridge Bearings to the Reversed Cyclic Loading"”, Technical Report NCEER 96-0014, Buffalo, NY.

24. Coenraad Esveld, (2001), "Modern Railway Track, MRT-Productions, Netherlands

25. Oh, J. W., (2008), “"Dynamic Behavior and Resonance Reduction of Two-span Continuous Bridges for Korean Train Express,"” Journal of KSCE, Vol. 28, No. 1A, pp. 95~104.

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

국립중앙도서관 출판예정도서목록(CIP)

기존 철도판형교의 급속교체기술 개발 및 시공 최종보고서 / 주관연구기관: 홍익대학교 산학협력단 ; 공동연구기관: 한국철도기술연구원. -- [세종] : 국토교통부 ;[안양] : 국토교통과학기술진흥원, 2014
p. ; cm. -- (건설교통기술촉진연구사업 ; PRTD-C05 8771)

ISBN 979-11-953269-0-7 93530 : 비매품

철도 공학[鐵道工學]
기술 개발[技術開發]

535-KDC5
625-DDC21 CIP2014022396

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

비매품
93530
9 791195 326907
ISBN 979-11-953269-0-7