발 간 등 록 번 호
10-1613000-001864-01

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개
국토교통기술사업화 지원사업 최종보고서

R&D / 15TBIP-C092770-01

교량 바닥판 시공 간소화를 위한 경간장 50-70m급 프리스트레스트 강합성거더 합리화 기술 최종보고서

2017. 06. 01.

주관연구기관 / (주)삼현피에프

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

국토교통 R&D Report

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

'교량 바닥판 시공 간소화를 위한 경간장 50~70m급 프리스트레스트 강합성 거더 합리화 기술'(연구개발 기간 : 2015.04.27 ~ 2017.04.26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2017. 06. 01.

주관연구기관명 : (주)삼현피에프 (인)

주관연구기관책임자 : 김 충 언

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>15TBIP-
C092770-01</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td colspan="2">2016.04.27.
~2017.04.26</td><td>단계구분</td><td>2차년/2차년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5">국토교통기술사업화지원</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5">교량 바닥판 시공 간소화를 위한 경간장 50~70m급
프리스트레스트 강합성 거더 합리화 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 충 언</td><td>해당단계
참여
연구원수</td><td>총 : 16명
내부 : 16명
외부 : 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부 : 237,000천원
기업 : 200,000천원
정부외 : 천원
계 : 437,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 31명
내부 : 31명
외부 : 명</td><td>총연구
개발비</td><td>정부 : 475,000천원
기업 : 400,000천원
정부외 : 천원
계 : 875,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="3">(주)삼현피에프 기술연구소</td><td colspan="2">참여기업명 : (주)삼현피에프</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국 연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명 :</td><td colspan="2">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">○ 기존 프리스트레스트 강합성거더(이하 Precom)의 단면과 상세를 합리적으로 개선하여 공사비를 90% 수준으로 낮추면서 바닥판 시공성을 향상시키는 기술을 개발
○ 설계하중의 2배 이상의 구조안전성을 확보하고 사용성(주행안전성, 진동, 균열 등)에 대한 성능도 확보하면서 동시에 콘크리트교와의 차별화를 위해 복부색채를 적용하여 조화로운 경관디자인을 가진 교량을 양산

[연구내용]
- 복부단면 개선방법 도출
- 단순교 설계・시공 표준화
- 철도교 실물모형 실험체 구조성능 검증
- 연속교 설계・시공기술 개발
- 연속교 축소모형 실험체 구조성능 검증
- 장경간 연속교 진동사용성 평가
- 분절이음부 상세 평가

[주요성과]
- 실물실험체 제작을 통한 생산 기술력 확보
- 강합성거더 최장경간 70m 선진적 설계기술 확보
- 주행열차별 주행안전성 및 승차감 평가기준 만족
- Test-Bed 현장 3개소 시공
- 도로교 및 철도교 실용화 성공
- 강중 15%, 상부직공비 10% 절감
- ISO 쾌감감퇴경계곡선 노출시간 기준 만족
- 특허출원을 통한 지식재산권 확보
- 학술논문게재로 학술적 기여</td><td colspan="3">보고서 면수</td></tr>
</table>

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	낮은 형고비로 형하공간 확보에 유리한 강합성 거더는 20~50m 중소경간 교량시장에서 활발히 적용되고 있는 거더 공법 중 하나이다. 강합성 거더는 전통적으로 I형 강재빔 전체를 피복하는 방식으로 바닥판이 제작되는데 최근에는 이러한 시공방법과 관련하여 시공성 및 안전성 그리고 미관에 대한 개선을 요구하는 목소리가 높아가고 있다. 본 연구는 강합성 거더 중 국내에서 500개소 이상 시공 실적이 있는 프리스트레스트 강합성 거더(이하 Precom)를 대상으로 최근 추세에 맞추어 복부 단면을 개선하는 것을 주 내용으로 하며 최종적으로 사업화에 성공하는 데 목적을 둔다. 본 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다. ○ 1차년도 연구내용 - 복부단면 개선방법 도출 - 단순교 설계・시공 표준화 - 철도교 실물모형 실험체 구조성능 검증 - 경제성 및 시장성 분석 ○ 2차년도 연구내용 - 연속교 설계・시공기술 개발 - 연속교 축소모형 실험체 구조성능 검증 - 장경간 연속교 진동사용성 평가 - 분절이음부 상세 평가 - 사업화 성공을 위한 홍보 및 영업활동
연구개발성과	○ 기술적 성과 - 적용경간 증대를 통한 시장확대 : 도로교 50m→70m, 철도교 45m→50m - 바닥판 시공성 향상 : 공정 축소, 공기 2/3 단축 - 구조안전성 사용성 확보 : 설계하중 2배 이상, 처짐 및 진동성능 기준 만족 - 선진적 설계기술 확보 : 한계상태설계 구조계산서 - 가격경쟁력 제고 : m^2당 공사비 16%, 강재량 12% 절감 - 학술논문게재 1편, 지식재산권 출원 3건, 학술회의 발표 5회 ○ 경제적 성과 - 영업성과 : 설계반영 3건 - 매출발생 : Test Bed 현장 3개소
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용 계획 - 형하공간 확보가 필요한 40~70m 도로교・철도교 적용 - 20m 이상의 고소(高所)교량 런칭크레인 활용한 적용 - 교량하부에 기존 도로・철도 통행하는 안전이 요구되는 현장에 적용 - 미관을 고려한 교량 설치 요구 민원이 발생하는 현장 ○ 기대 효과 - 과제종료 시점부터 5년간 평균 10개소/년 현장개설 전망 - 국내 강합성거더 시장 총공사비 5% 감소 기대

핵심어 (5개 이내)	바닥판시공	프리스트레스트	강합성거더	교량	합리화

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	The steel embedded composite girder is widely used in short and middle span lengh, 20~50m bridge for large clearance due to low height Recently, there has been a growing demand for improvement in deck constructability, safety and aesthetics in steel embedded composite girder. The purpose of this study is to improve the web cross section in accordance with recent trends in prestressed composite girder (hereinafter referred to as "Precom") with more than 500 construction achievements in Korea. The details of this study are as follows. ○ 1st year research contents - Research for improvement of web section. - Standardization of Design and Construction of Simple Bridge. - Performance Verification of Railway Bridge with Real-Scale Specimen - Economic and Marketablity Analysis ○ 2nd year research contents - Research of Design and Construction of Continuous Bridge. - Performance Verification with Scale-Down Specimen - Evaluation of Dynamic Performance of Continuous Bridge - Evaluation of Details of In-Situ Connection Point - Activity for Successful Commercialization
Results	○ Technical Achievements - Longer Span : Roadway 50m→70m, Railway 45m→55m - Constructablity of Deck : Simplification, Reduction of Construction Period - Safety & Serviceability : more than 2.0, deflection/dynamic performance. - Advanced Design Technology : Limit State Design - Cost : 16% Cost Reduction, 12% Reduction of Steel Amount - 1 research paper, 3 patents, 5 conference papers ○ Economic Achievements - Design for 3 bridges - Construction 3 bridges
Expected Contribution	○ Plan to use - 40~70m Roadway and Railway Bridge for larger clearance - High-Altitude Bridge over 20m-Height Substructure with Launcher - Overpass Bridges Existing Roadway, Railway and Etc. for Safety - Bridge with Demand for Aesthetics ○ Benefit - Yearly Average 10 Bridges for 5 year after End of the R&D Project - Cost Reduction 5%

Keywords	Deck Construction	Prestressed	Composite Girder	Bridge	Rationalized

CONTENTS

Chapter 1 Executive Summary ····· 1

Section 1 Object of Research ····· 1

Section 2 Needs of Research ····· 2

Section 3 Scope of Research ····· 12

Chapter 2 Technology Development Trend of Domestic and Overseas ····· 13

Section 1 Current Technology Development Trend of Domestic and Overseas ····· 13

Section 2 Domestic and Foreign Research Achievements Domestic ····· 27

Chapter 3 Contents and Results of Research ····· 28

Section 1 Improvement Direction of the Technology ····· 28

Section 2 Development of Simple Prestressed Composite Bridge ····· 36

Section 3 Development of Details of in-Situ Connection ····· 78

Section 4 Development of Continuous Prestressed Composite Bridge ····· 101

Section 5 Results of Research ····· 140

Chapter 4 Contribution of Related Fields and Achievements ····· 143

Section 1 Evaluation of Achievements ····· 143

Section 2 Contribution for Related Fields ····· 145

Chapter 5 Employment Plan of Results ····· 146

Chapter 6 International Scientific and Technical Information Obtained during Research Period ··· 149

Chapter 7 Security rating of R&D achievement ····· 150

Chapter 8 Status of research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Integrated Information System ····· 151

Chapter 9 Implement lab safety measures based on R&D Projects ····· 152

Chapter 10 Representative Research Achievements ····· 153

Chapter 11 Other Matters ····· 154

Chapter 12 Reference ····· 155

목 차

제 1 장 연구개발 과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1

제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 2

제 3 절 연구개발의 범위 ····· 12

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 13

제 1 절 국내·외 기술개발 현황 ····· 13

제 2 절 연구결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치 ····· 27

제 3 장 연구수행 내용 및 성과 ····· 28

제 1 절 기술의 개선 방법 ····· 28

제 2 절 합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성 거더의 단순교 기술 개발 ····· 36

제 3 절 케이싱 분절부 상세 개발 ····· 78

제 4 절 합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성 거더의 연속교 기술 개발 ····· 101

제 5 절 연구개발 성과 ····· 140

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 143

제 1 절 목표 달성도 ····· 143

제 2 절 관련분야 기여도 ····· 145

제 5 장 연구개발 성과의 활용계획 ····· 146

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 149

제 7 장 연구개발 성과의 보안등급 ····· 150

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황 ····· 151

제 9 장 연구개발 과제수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 152

제 10 장 연구개발 과제의 대표적 연구 실적 ····· 153

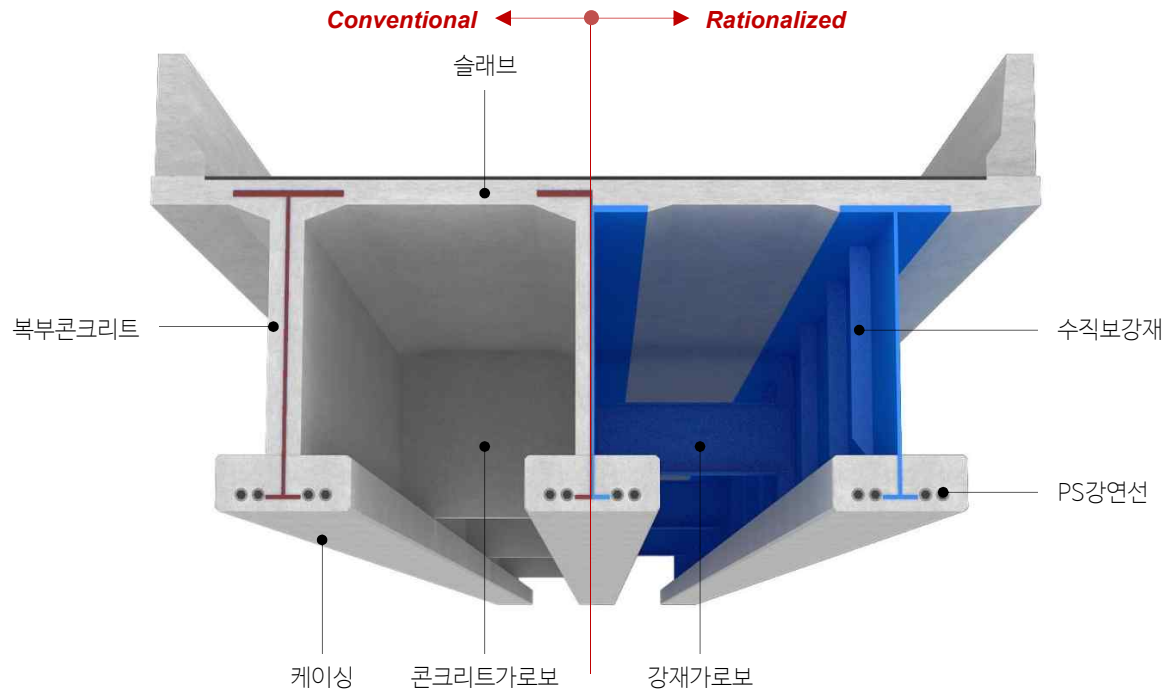
제 11 장 기타 사항 ····· 154

제 12 장 참고 문헌 ····· 155

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

○ 국내에 500여개 소 이상 시공실적을 보유하고 있는 프리스트레스트 강합성 거더(Precom, Prestressed Composite Girder) 공법의 단면과 상세를 합리적(Rationalized)으로 개선·개량하여 상부 바닥판 시공을 간소화하고 향후 바닥판 교체가 용이하도록 하며 최대경간장을 15% 이상 증대시키는 것을 목적으로 함.



(a) 합리화 프리스트레스트 강합성 거더 개요도



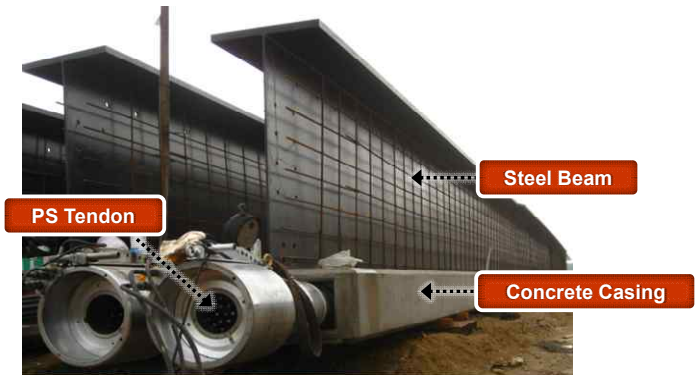
(b) 기존 교량 (c) 개선 교량

그림 1.1 Rationalized Prestressed Composite Girder

제 2 절 연구개발의 필요성

○ 강합성 거더란 I형 강재빔과 강재빔 하부를 감싸는 콘크리트(이하 케이싱)가 합성된 거더를 말하며 대표적인 강합성 거더는 1985년 국내에 최초로 도입된 프리플렉스 거더가 있음. 프리플렉스 거더는 형고비가 낮아 형하공간 제약이 있는 경우 유리하다는 이유로 각광을 받으며 30년 이상 적용

○ 프리플렉스 거더는 2000년대 초반 즈음 프리스트레스 손실, 고가의 가격 등의 문제가 제기된 이후 인장에 취약한 콘크리트에 포스트텐션(post tension) 또는 포스트텐션과 프리플렉션(preflexion)을 조합하여 미리 응력을 도입하는 등 다양한 방식으로 개량한 강합성 거더 공법들이 대거 개발됨. 현재 국내 약 8개 이상 공법이 활발히 상용 중



① 단순지지 된 I형 강재 거더에 케이싱 거푸집을 매달아 콘크리트 자중을 강재가 부담토록 하여 인장에 취약한 콘크리트가 단순지지 상태에서도 무응력을 유지

② 1일 증기양생 후 바로 긴장대로 운반이 가능하기 때문에 공정 효율이 우수

③ 적치된 상태에서도 손실될 응력이 없어 장기 적치가 가능

④ I형 강재와 케이싱 콘크리트 두 재료의 허용응력을 90% 이상 사용하여 단면 효율을 극대화



그림 1.2 Precom의 구성과 주요특징 및 국내 강합성 거더 공법

○ Precom을 위시한 모든 강합성 거더의 제작 방식은 공법에 따라 다르지만, 가설 이후 바닥판 제작 공정은 모두 동일함.

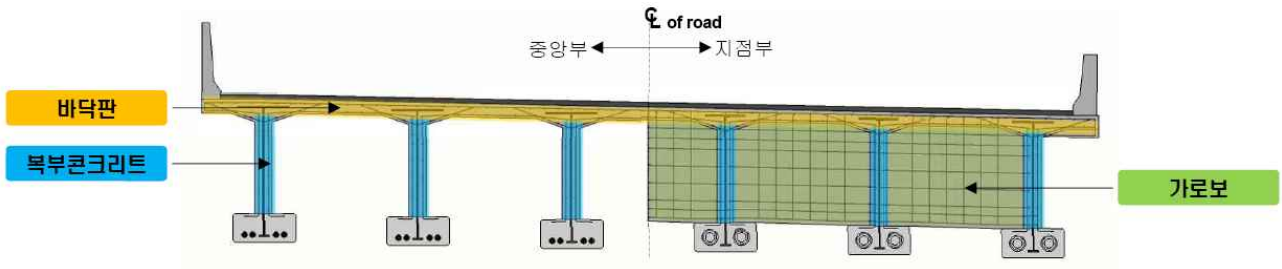


그림 1.3 강합성 거더 상부 명칭 및 제작 단면



① 낙하물방지공 설치



② 복부/가로보 철근 배근



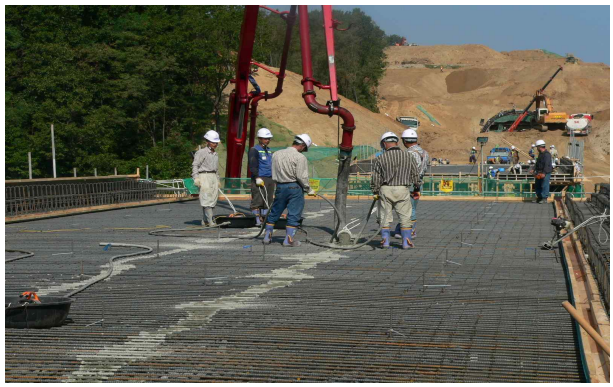
③ 복부/가로보 수직거푸집 제작



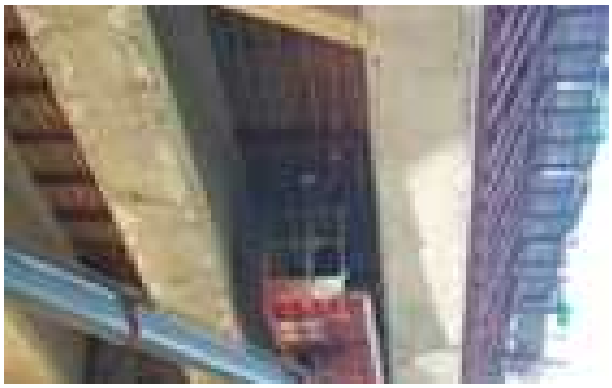
④ 바닥판 수평거푸집 제작



⑤ 바닥판 철근 배근



⑥ 콘크리트 타설



⑦ 거푸집/낙하물방지공 해체



⑧ 교량 완성

그림 1.4 강합성 거더 상부공 제작순서

○ 상기 절차로 시공된 교량은 최종 단계에서 강재빔을 콘크리트가 피복하는 형태를 가짐. 그런데 최근 건설 환경의 패러다임 변화에 따라 강합성 거더 교량에 대해 다음과 같은 문제가 지적되고 있음.

- 일정 수준 이상으로 형고가 높아질 경우 바닥판 시공 난이도가 증가. 이러한 문제는 매우 낮은 형고에서도 동일하게 나타남.
- 현재의 거푸집 고공 작업은 작업자 추락 및 낙하물로 인한 2차 사고의 우려가 매우 큼.
- PSC 빔과 같은 콘크리트교와 차별성이 두드러지지 않아 공공시설물 디자인을 중시하는 근래 추세를 따르지 못함.

○ 위의 지적에 따라 복부 콘크리트를 걷어내고 바닥판에 매립되었던 상부플랜지가 바닥판을 지지하는 구조가 되도록 단면을 수정하는 방법이 논의. 본 사업화 과제는 강합성 거더 중 500여 개소 이상 시공 실적을 보유하고 있는 Precom 거더의 합리화 기술(이하 경량 Precom 거더) 사업화 과제로서 다음과 같은 개발 필요성이 있음.

1. 기술의 우수성

가. 구조효율성 증대

○ 현행 구조 계산에 따르면 복부 콘크리트 단면은 강성을 무시하고 하중으로만 고려하기 때문에 경간장이 길어질수록 형고가 높아져 부담하중이 증가. 이는 결국 거더 장경간화의 제약이 됨. 합성전 고정하중 중 복부 콘크리트 하중의 비율은 경간장 50m인 경우 30%를 초과하고 60m에서는 전체의 40%를 차지하기 때문에 장경간화를 위해서는 복부 콘크리트를 생략하는 것이 유리.

○ 복부 콘크리트가 없는 단면으로 교폭 12.6m, 경간장 50m의 1등교(DB-24)로 개략 검토했을 때 동일 형고에서 강재량은 17% 감소. 총공사비(간접비 포함)로는 경간당 약 1억 원의 경제적 효과(10% 절감)가 있는 것으로 검토됨. 경간장이 길고 경간수가 늘수록 더 크게 나타나는 경향임. 경량 Precom 거더는 최대 70m까지 확장 가능하고 효율적 단면 개선으로 10~15% 이상 공사비 절감효과가 기대.

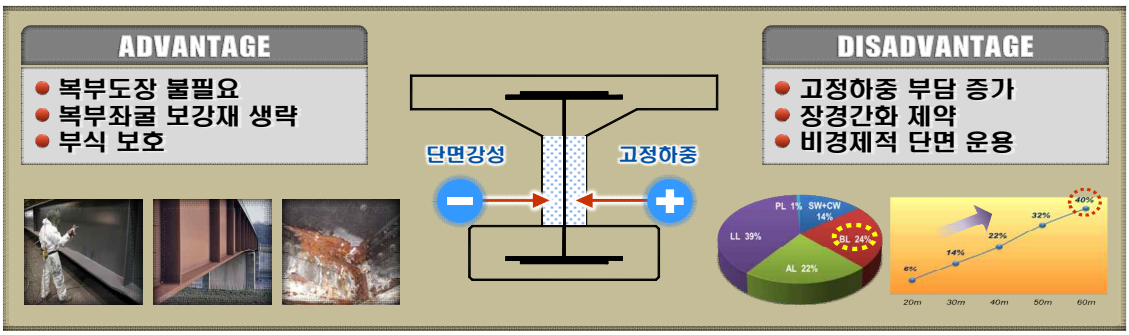


그림 1.5 복부 콘크리트의 장단점

나. 시공 난이도 개선

○ 최근 가열되고 있는 제품화 거더 시장의 저형고 경쟁으로 상부공 제작시 작업자들의 작업 공간 협소가 문제되고 있고 작업자 안전을 위한 개선이 시급. 경량 Precom 거더는 표 1.1과 같이 기존 기술 대비 제작 일수를 최대 30% 가량 단축할 수 있고, 프리캐스트 패널이나 데크플레이트와 같은 영구거푸집 활용도 가능해지기 때문에 이를 적용한다면 제작 일수가 7.5일에서 6일로, 약 추가 1.5일 단축



(a) 저형고 작업공간



(b) 바닥판 거푸집 작업공간

그림 1.6 강합성거더 교량 상부제작 사진

표 1.1 주요공정별 예상 제작일수

구 분	주요 공정	제작 일수											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
기존 기술 12일	거더 가설												
	추락 방지공												
	복부가로보 배근												
	거푸집 조립												
	바닥판 배근												
	콘크리트 타설												
사업화 기술 7.5일	거더 가설												
	추락 방지공												
	가로보 설치												
	거푸집 조립												
	바닥판 배근												
	콘크리트 타설												



그림 1.7 프리캐스트 패널 시공 조감도

다. 유지보수비용 절감

○ 저형고인 경우 협소한 작업 공간이 문제가 될 수 있지만 반대로 형고가 높은 경우에는 시공성이 떨어지고 복부 콘크리트의 양호한 품질을 기대하기 어려움.

○ 충분한 다짐을 위해선 바이브레이터가 일정 깊이 삽입되어야 하지만 그림 1.8과 같이 바닥판 철근이 배근되고 난 뒤에는 철근의 간섭과 넓은 상부 플랜지 때문에 다짐 작업이 매우 어려운 여건이 됨. 높은 형고에서 밀실한 다짐이 더욱 어려워 다짐 불량에 의해 재료 분리 야기



그림 1.8 복부 콘크리트 타설 주입구와 복부 재료분리

○ 복부 콘크리트의 또 다른 품질 문제는 건조수축으로 인한 복부의 수축균열 문제임. 수축균열은 그림 1.9의 좌측 사진과 같이 최종적으로 망상 균열 형태를 보이는 경우도 있음. 수축균열이 발생하는 이유는 타설된 복부 콘크리트의 건조수축 변형이 먼저 타설된 케이싱 콘크리트에 의해 구속되어 발생되기

때문. 프리플렉스에서 이러한 비구조적 균열이 수차례 관찰됨에 따라 그림 1.9와 같이 타설 전 와이어메쉬를 복부에 배치하는 방안이 강구되었으나 바닥판 시공성 저하의 또 하나의 요인이 됨. 복부 콘크리트를 생략한 경량 Precom 거더가 사업화 된다면 소모적인 보수비용 투입을 제거할 수 있음.

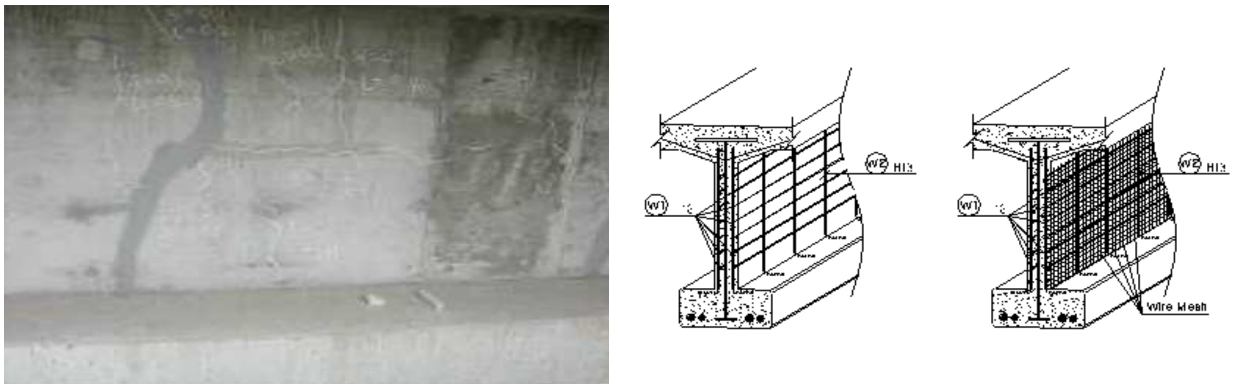


그림 1.9 복부 수축균열 및 와이어매쉬 시공 상세

라. 노후화된 바닥판 교체

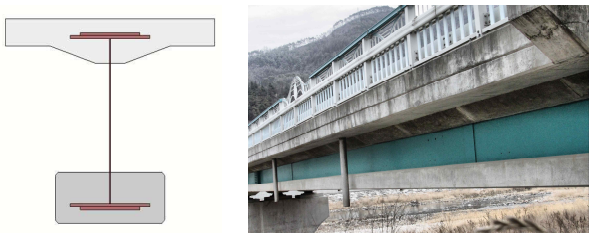
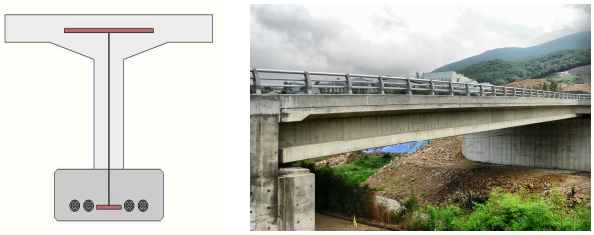
○ 일반적인 교량 수명은 50년이지만 국내 교량 바닥판의 평균수명은 13년 정도로 알려져 있고 이는 교량 공용수명에 비해 매우 짧음. 국내의 경우 특히 중(重)차량 통행이 빈번하여 활하중에 의한 바닥판 피로 손상이 매우 심각한 실정이기 때문에 이미 바닥판 교체 시장이 활성화 된 선진국처럼 국내도 향후 10년 이내 바닥판 교체가 활발해 질 것으로 전망됨.

○ 강합성 거더는 상부 플랜지가 바닥판 콘크리트 속에 매립되어 있기 때문에 바닥판과 거더를 분리하여 철거하기 곤란함. 환경이 바닥판 입장에서 불리해져 가고 있는 상황에서 바닥판의 건전성을 확신하기 어려움. 경량 Precom 거더는 바닥판을 강재 상부 플랜지 상면에 배치하고 전단연결재로 합성되는 기술이기 때문에 바닥판 교체가 용이하여 장기적으로 활발한 적용 예상.



그림 1.10 국내 바닥판 교체 시공

2. 기술의 독창성

<table>
<tr><td colspan="2">1세대 프리플렉스(1988 ~)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>강재빔에 프리플렉션 재하 후 강재 탄성복원력에 의해 케이싱 콘크리트에 프리스트레스를 도입</td><td>1세대 초기단면에서 복부 콘크리트만 생략한 구조이며 일본 Prebeam과 동일한 사양</td></tr>
<tr><td>• 낮은 형고비로 형하공간 확보 유리
• 강재빔 복부판에 보강재 생략
• 콘크리트 피복으로 강재부식 방지
• 프리플렉션 및 릴리즈 단계시 초기손실 과다
• 낮은 균열안전도(partial prestressing)
• 프리플렉션을 위해 많은 강재량 필요
• 대규모 설비를 운반・설치(플랜트,T/O 등)
• 제작대 점유일수 장기화 → 느린 공정속도
• 바닥판 시공 난이도 최상
• 복부 콘크리트 비구조적 균열 보수
• 노후 바닥판 교체 불가
• 콘크리트교와 차별 없는 외관</td><td>• 낮은 형고비로 형하공간 확보 유리
• 바닥판 시공 다소 양호
• 복부 콘크리트 보수 해당 없음.
• 고정하중 반력 감소로 하부 공사비 절감
• 다양한 색채 연출로 미관 우수
• 낮은 강재빔 복부높이로 보강재 최소화
• 프리플렉션 및 릴리즈 단계시 초기손실 과다
• 낮은 균열안전도(partial prestressing)
• 프리플렉션을 위해 많은 강재량 필요
• 대규모 설비를 운반・설치(플랜트,T/O 등)
• 제작대 점유일수 장기화 → 느린 공정속도
• 노후 바닥판 교체 불가
• 강재빔 도장 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">2세대 프리컴(2005 ~)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>강재빔이 케이싱 자중을 부담하여 콘크리트를 무응력으로 제작되고 텐던 배치 합리화로 단부 과압축 배제</td><td>2세대 초기단면에서 복부 콘크리트를 생략하고 바닥판을 상부플랜지 위로 배치한 구조</td></tr>
<tr><td>• 낮은 형고비로 형하공간 확보 유리
• 강재빔 복부판에 보강재 생략
• 콘크리트 피복으로 강재부식 방지
• 장기적치에도 프리스트레스 무손실
• 높은 균열안전도(full prestressing)
• 본당 강재량이 1세대의 60% 수준
• 1세대의 절반 규모의 설비로 운반・설치
• 1일 증기양생 후 적치 → 빠른 공정속도
• 바닥판 시공 난이도 최상
• 복부 콘크리트 비구조적 균열 보수
• 노후 바닥판 교체 불가
• 콘크리트교와 차별 없는 외관</td><td>• 낮은 형고비로 형하공간 확보 유리
• 장기적치에도 프리스트레스 무손실
• 높은 균열안전도(full prestressing)
• 본당 강재량이 2세대의 85% 수준
• 1세대의 절반 규모의 설비로 운반・설치
• 1일 증기양생 후 적치 → 빠른 공정속도
• 바닥판 시공 양호
• 복부 콘크리트 보수 해당 없음.
• 노후 바닥판 교체 가능
• 다양한 색채 연출로 미관 우수
• 영구거푸집 설치시 공기 단축
• 고정하중 반력 감소로 하부 공사비 절감
• 강재빔 복부판에 보강재 설치
• 강재빔 도장 필요</td></tr>
</table>

○ 경량 Precom 거더는 강합성 거더 2세대의 대표 공법인 Precom 거더의 합리적인 개선과 실용화를 목표로 함. Precom 거더 이전 강합성 거더 1.5세대에서는 기존의 1세대가 안고 있던 기술적 문제들은 개선되지 않은 채 단지 복부 콘크리트만을 생략한 구조였지만, 2.5세대로 정의한 본 기술은 1세대의 문제점을 독창적으로 개선한 2세대의 장점은 보전하면서 1.5세대와 2세대의 문제점들을 동시에 개선하는 기술임.

3. 기술의 활용성

가. 경간장 50~70m 도로교・철도교 시장 적용

○ 경량 Precom 거더는 경간장 50~70m급 사양을 목표로 개발될 계획이고 도로교・철도교를 대상으로 적용시키고자 함. 50~70m 경간 시장에는 표 1.2와 같이 강박스 거더 형식이 편중되어 있지만, 강박스 거더 보다 저렴한 공사비를 강점으로 내세워 적극적으로 마케팅 할 방안임. 시장에서 경쟁하게 될 교량 제품들에 대한 경쟁력 확보 방안을 표 1.3에 정리함.

표 1.2 경간장 50~70m 시장 주력 교량 형식

경간장	50m-60m	60m-70m	합 계
PSC I형 거더	31	15	46
PSC박스 거더	117	33	150
강박스 거더	1,055	299	1,354
프리플렉스 거더	19	1	20
플레이트 거더	45	7	52
RC라멘,아치,슬래브 등	65	17	82

표 1.3 시장경쟁력 확보 방안

구 분	현 황	경쟁력 확보안
강박스거더	중량이 가볍고 비틀림 강성이 우수한 장점이 있지만 폐합을 형성하기 위해 다량의 강재량와 보강재 투입.	m^2당 공사비 10% 절감
PSC박스거더	특수가설장비 설치위한 부지가 확보되어야 하고 단면이 투박하여 경관을 저해.	시인성 고려한 색채 적용
PCT거더	높은 형고에서는 트러스 개방감 좋으나 낮은 형고에서는 오히려 반감되고 가설중량이 큼.	가설중량 30% 감소
SBarch거더	용접부가 과다하고 바닥판 타설 후 강재 내부 콘크리트의 결함 발견이 어렵고 보수 불가	개단면으로 유지관리 유리
SegBeam	콘크리트 사용으로 재료비가 저렴하고 시공성은 좋으나 가설중량이 무거워 크레인 가설시 현장 제약받음.	가설중량 40% 감소

나. 고소(高所)교량 현장 적용

○ 준공된 도로교 중 20m 미만의 교각 높이를 가진 교량 수는 전체의 80%를 차지할 정도로 많지만 2004년 이후 고속도로 교량을 중심으로 교각의 높이가 현저히 높아져 가는 추세이고, 최고 높이 98m에 이르는 교량도 나타나기 시작함.

○ 고소(高所) 교량에서는 특수 가설공법을 이용하는 PSC박스 거더 공법이 주로 적용되고 있고, 작업자 안전과 같은 이유로 경제적인 제품형 거더의 적용은 어려운 여건이었음. 제품형 거더 적용을 확대하기 위해 최근에 그림 1.11의 런칭크레인과 같은 가설 공법이 도입되어 적용이 늘어나고 있지만 거더 가설 이후 고소에서의 상부 슬래브 작업의 위험성과 어려움은 해결되지 못하고 있음.

○ 경량 Precom 거더는 기존 공법과 달리 복부가 생략된 구조라 바닥판을 일반적인 거더 형식 교량과 동일한 방법으로 시공할 수 있어 고소 교량에서는 프리캐스트 패널이나 데크플레이트와 같은 영구거푸집 적용이 가능함. 그러므로 안전한 작업 여건이 마련될 수 있고 이를 강점으로 내세워 고소 교량 현장 도입에 집중할 계획임.



그림 1.11 한탄강 군탄교(Precom) 런칭크레인 가설 현장

다. 입체교차 현장 적용

○ 2007년 철도시설공단 입체교차 설명 자료에 따르면 입체교차에서 가도교와 과선교가 전체의 64%를 차지하고 이와 같은 오버패스(overpass) 교량 시공시에는 작업자 추락이나 낙하물로 인한 사고 우려로 안전 사고에 각별한 주의를 기울여야 함. 특히 바닥판 제작시 사고 발생 확률이 높기 때문에 공사비 증가에도 불구하고 발주처에서 데크패널과 같은 영구거푸집을 설치를 요구하는 현장이 증가함.

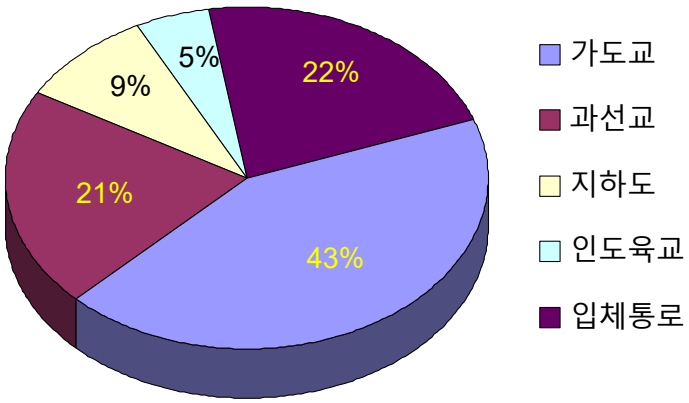


그림 1.12 입체교차현황,2007(철도시설공단)

○ 고소 교량이나 입체 교차 시설과 같은 곳에 경량 Precom 거더를 이용하는 경우 기존 공법으로 설계된 현장에 무리 없이 대체할 수 있기 때문에 시공성과 안전성, 그리고 경제성이 향상된 본 기술의 적용이 상대적으로 어렵지 않아 활용성이 뛰어날 것으로 전망됨.

제 3 절 연구개발의 범위

핵심기술명	기술 범위	정량적 정의
합리화 프리스트레스트 강합성거더 설계기술	• 합리화 프리스트레스트 강합성거더 상세 개발 • 철도교 허용응력설계법에 의한 구조계산서 개발 • 도로교 한계상태설계법에 의한 구조계산서 개발 • 경간별 표준단면 및 설계내역 도출 • 합리화 프리스트레스트 강합성거더 설계지침(안) 개발	• 철도교 40~50m 적용 • 도로교 50~70m 적용
합리화 프리스트레스트 강합성거더 시공기술	• 합리화 프리스트레스트 강합성거더 제작도 표준화 • 시공흐름도 정립 및 시공흐름에 따른 공사비 비교 • 프리캐스트패널 적용 방안 수립 • 시공단계별 좌굴안전성 평가 • 단순·연속교 제작 및 시공성 평가 • 케이싱 분절부 연결상세 개발 • 합리화 프리스트레스트 강합성거더 시공지침(안) 개발	• 공기단축 2/3
합리화 프리스트레스트 강합성거더 구조성능평가	• 철도교 50m 실물모형 구조성능검증 • 연속교 2@25m 축소모형 구조성능검증 • 케이싱 분절부 상세에 따른 성능 평가	• 균열안전성 1.2배 이상 확보 • 탄성처짐량 L/600 이하 • 부모멘트부 휨저항강도 2배
합리화 프리스트레스트 강합성거더 사용성능평가	• 철도교 주행안전성 및 승차감 평가 : 연직처짐, 연직가속도, 면틀림 • 연속교 진동사용성 평가 : ISO쾌감감퇴경계곡선노출시간	• ISO쾌감감퇴 경계곡선 노출시간 10분
합리화 프리스트레스트 강합성거더 사업화	• 홍보모형제작 • 원가계산서 작성 • 경제성 분석 • 대외홍보·기술설명세션 참가 • 설계반영 • 지식재산권 출원	• 직접공사비 15% 절감 • 강중 10% 절감

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 기술개발 현황

1. 국내 주요 관련 업체

No.	업체명	공법명	공법사진	공법개요
1	삼 현 피에프	Precom		단순지지 거치된 강재빔에 거푸집을 매달아 자중에 의한 응력을 강재가 부담하고 긴장전 콘크리트를 무응력상태로 제작한 후 가설직전 강선 긴장으로 프리스트레스를 도입하는 강합성 거더
2	삼 표 이앤씨	A-Preflex		강재빔에 프리플렉션 하중을 재하 후 릴리즈하여 강재의 복원력으로 케이싱 콘크리트에 압축응력을 도입하는 일종의 프리텐션 공법
3	길 교 이앤씨	PSI Preflex		사용하중의 형태와 유사한 모멘트가 발생하도록 프리플렉션을 재하(5점재하)시킨 후 순차적 하중제거로 시간경과에 따른 압축응력손실을 순차적 압축응력도입으로 보상하는 프리플렉스 공법
4	에스앤 씨산업	e-Support Preflex		초기에 크리프 및 건조수축 손실되는 케이싱 압축응력을 제어하기 위해 릴리즈를 단계적으로 2회에 걸쳐 실시하는 프리플렉스 공법
5	에스앤 씨산업	DPS 합성형교		공장에서 분할제작후 현장연결하는 공법이며 최대정모멘트구간은 프리플렉션 및 릴리즈를 통해 1차 프리스트레스를 도입하고 현장조립후 PS강선에 의해 2차 프리스트레스를 도입하는 공법
6	노빌테크	MSP		미리 압축력이 도입된 프리캐스트 콘크리트 패널에 강형으로 제작된 강재빔을 거치, 합성시킨 후 2차에 걸쳐 프리스트레스를 도입하는 강합성 거더 공법
7	중산건설	UP-DOWN Preflex		프리플렉스 원리를 이용하여 거더를 제작하고 거치 후 가지점을 설치하여 상승시킨 후 슬래브 콘크리트 타설 및 양생되면 가지점을 제거하여 슬래브 콘크리트에 압축력을 도입하는 공법
8	동양RPF 산업	RPF Beam		강재빔에 프리플렉션 재하후 릴리즈하여 강재의 복원력으로 케이싱 콘크리트에 압축응력을 도입하고 비부착 강선으로 추가 압축 스트레스를 도입하는 프리플렉스 거더

2. 국내 연구개발 수준

○ 프리플렉스 강합성 거더는 1950년대 벨기에에서 개발되어 그 후 영국의 Bolton & Paul사에서 연구 및 기술 제휴를 통해 개발해서 사용하고 있고, 일본에서도 자체 개발에 성공하여 Prebeam 이라 부르며 널리 사용되고 있음. 국내에서는 1980년대 중반 삼표산업(주)에서 비교적 늦게 국내에 기술을 도입하여 철도교 및 도로교에 널리 적용되었음.

○ 전 세계적으로 볼 때 유럽 일부 국가와 일본, 한국이 적용이 가장 활발한데 그 중 한국은 후발 주자임에도 불구하고 현재 강합성 거더 제품(특허기술)을 가장 많이 보유하고 있음. 약 20년 이상 특허 공법으로서 시장을 독점해 오던 프리플렉스 거더가 2000년대 초반 무렵 케이싱에 도입된 프리스트레스의 손실로 심각한 균열 문제가 나타나기 시작했고 개량형 PSC 빔(특허기술)과의 가격 경쟁에서 도태되기 시작하자 이를 개선하기 위해 다양한 방식으로 프리스트레스를 도입한 공법들이 대량 개발됨.

○ 그 과정에서 무수한 공법들이 제품화 및 상용화 되었고, 장기거동에 대한 연구, 연속화에 대한 연구, 건축빔으로서의 적용성 연구, 신기술 등 국내 연구 개발 수준은 선진국과 대비하여 매우 우월함.

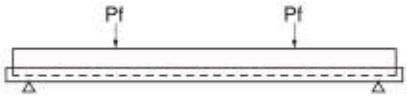
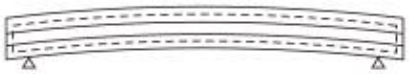
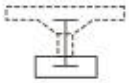
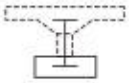
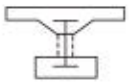
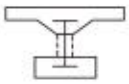
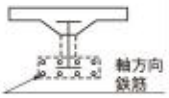
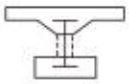
인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소부족	동등	우월	보다우월
연구시설 및 설비		○			
산업기술인력					○
산학연공동연구기반					○
표준화기반				○	
국제기술협력기반			○		

3. 해외 관련 기술 현황

가. 국외 강합성 거더 공법

(1) 일본, 프레빔(Prebeam)

○ 일본에서는 Prebeam으로 알려진 프리플렉스 빔이 전통적으로 강합성 거더 시장을 독점. 일본의 Prebeam은 1968년 최초 완공 후부터 2016년 3월까지 도로교 1,012개소, 철도교 29개소, 건축빔 100개소의 시공 실적을 보유하고 있음. 이 중 복부 콘크리트가 생략된 Prebeam 강판 웹 사양은 84건, 1-shoe 연속교는 246개소 시공 실적을 보유하고 있음. 단순교 중 최장 경간은 54m이고, 이 때 형고는 2.3m이며 연속교에서는 30.72+62.3+48.52m 경간 구성에서 62.3m 실적이 있고 이 때 최대 형고는 1.91m임.

	載 荷 状 態	応力抵抗断面	たわみ抵抗断面	摘 要
(a)				所定のソリを与えたI形断面の鋼桁を用意する
(b)				Pfなる荷重を載荷し設計モーメントを包含するような曲げモーメントを与える
(c)				(b)の状態のまま下フランジコンクリートを打設する
(d)				荷重Pfを解放すると下フランジコンクリートに圧縮力が導入され、プレビームが完成する
(e)				プレビームを架設し、腹部、横桁、スラブコンクリートを打設する
(f)				プレビームとスラブコンクリートが合成され、後死荷重が作用する
(g)				活荷重が載荷する



① 강형제작



② 프리플렉션 & 릴리즈



③ Prebeam 운반



④ Prebeam 가설

그림 2.1 Prebeam 시공단계별 하중 및 저항단면

○ Prebeam은 오늘날에도 국내에서 1990년대 말까지 제작하던 방식과 동일한 방법으로 제작하고 있지만 시공 측면에서는 종단선형 방법, 확폭 교량의 시종점부 처리 방법, 교량 철거 및 신규 설치 방법, 영구거푸집 설치 방법, 강재 웹 사양 제작 방법, 연속화 방법 등 다양한 보완 방법을 시도해 왔음.

○ 이 중 강재 웹 사양 제작과 영구거푸집 설치 방법이 바닥판 시공성 개선을 위한 것임. 강재 웹 사양은 기존에 복부 콘크리트를 두던 것을 제거하여 바닥판 시공성을 높이고 인양·운반 중량과 상부 고정하중으로 인한 반력을 줄임으로서 하부 공사비를 감소시키기 위한 목적으로 적용되기 시작하였음. 노출된 강재 복부의 방수방식 방법은 내후성강 사용 방법과 금속용사 적용, 도장 처리 방법, 이상 3가지 방

법으로 처리하며, 해안 지역이 많은 일본의 특성상 복부판과 케이싱이 만나는 경계의 염해물 침투 방지를 위해 내구성이 있는 실링제를 도포한다는 특징이 있음. 최외측 거더에 한해 복부 바깥만 콘크리트로 피복하는 방법이 눈여겨 볼만 함. 그러나 상부 플랜지는 여전히 바닥판 콘크리트 속에 매립되어 있어 복부 콘크리트만을 제거했다는 것 외 일반적인 프리플렉스 거더와 차별점이 없음. Prebeam 강재 웹 사양은 나중에 국내 복부 노출형 프리플렉스 거더의 모델이 됨.

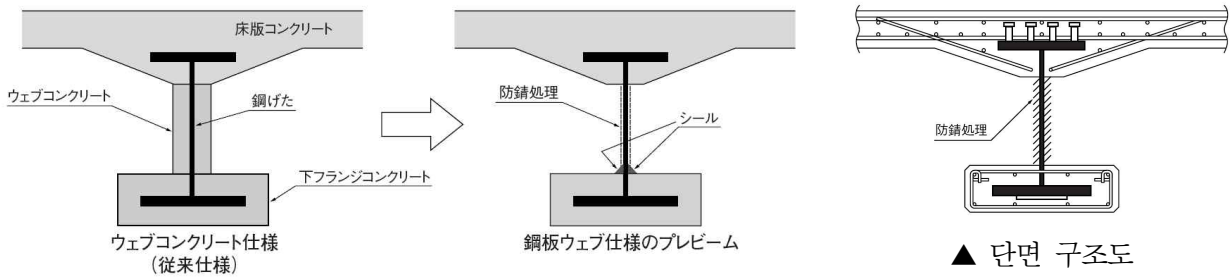
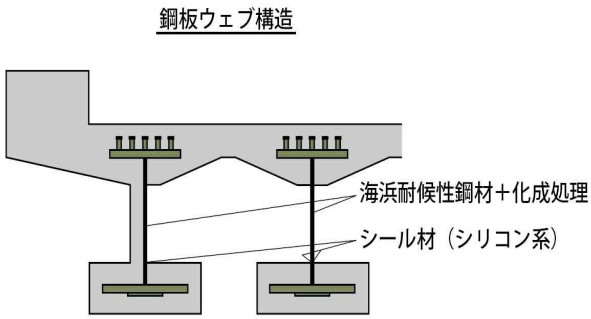


그림 2.2 Prebeam 강판 웹 사양(鋼板ウェブ仕様) 단면



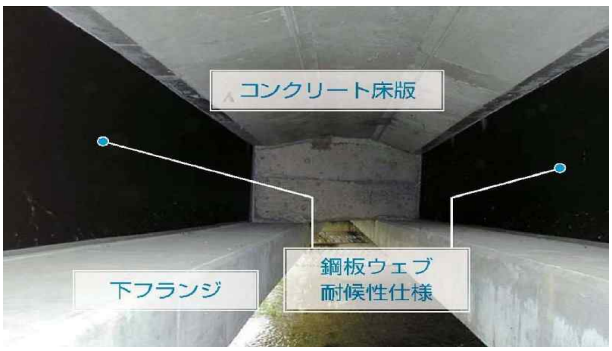
▲ 下岡橋 (L=43m, H=1.30~1.45m)



▲ VE를 통한 개선 단면



▲ 최외측 거더 복부콘크리트 시공



▲ 내측 거더 강재 복부 노출

그림 2.3 Prebeam 강판 웹 사양 시공 사례

○ 아치폼(Arch form) 공법은 영구거푸집의 일종임. 공장에서 프리캐스트로 곡선 형상으로 제작되며 바닥판의 설계시 콘크리트 유효단면으로 고려 가능함. 아치폼의 특징은 다음과 같음. 목재 거푸집에 비해 공정의 단축이 가능하고, 염화물 침투 억제와 중성화 방지에 좋아 콘크리트의 내구성 향상할 수 있음. 또한 섬유 보강 콘크리트이기 때문에 변색에 강하고, 거더 간격이 좁은 경우 재사용이 곤란한 합판 거푸집 시공 보다 경제적이고 시공성이 좋으며 시공 발판 설치시 형하공간 제약을 받는 경우에 효과적임.

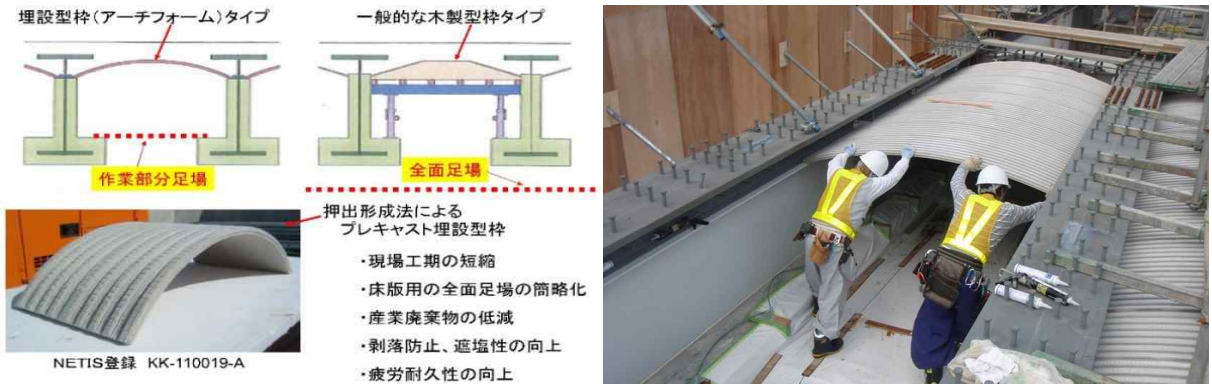


그림 2.4 Arch Form 형상과 시공예

(2) 유럽, 프리플렉스 빔(Preflex Beam)

○ 1949년 벨기에에서 최초로 고안된 프리플렉스 빔은 오늘날에도 많은 유럽국가에서 시공되고 있지만 형하공간의 제약이 엄격한 경우에 한해서 설치됨. 일본의 Prebeam과 마찬가지로 전통적인 프리플렉션 & 릴리즈 방식을 고수하고 있고 일본과 같이 시공성 개선을 위한 시도는 찾아볼 수 없음. 보편적인 제작과 시공이며 형고비는 도로교의 경우 최대 1/45이 적용. 연속화 기술에 있어서는 교각 위에서 상부 플랜지 위에 커버플레이트를 두고 연결한 후 콘크리트 다이아프램으로 덮는 방식임. 콘크리트를 걷어 내어 복부를 개방하는 형태는 찾아 볼 수 없고 국내와 마찬가지로 설계시 복부 콘크리트의 강성은 무시.

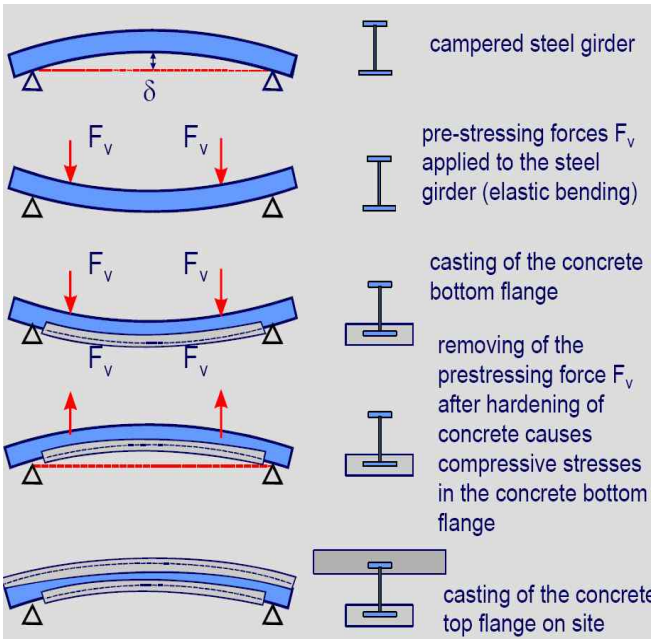




그림 2.5 Hermann-Lieberum Bridge in Leipzig, Germany(H=1.3m, L=33m)

(3) 벨기에, 플렉스트레스 빔(Flexstress Beam)

○ 프리스트레스트 플렉스트레스 빔은 Ronveaux Company에서 고안한 기술로 프리텐션이 가능한 콘크리트의 장점과 솟음을 미리 줄 수 있는 강재빔의 장점을 합하여 구조효율을 높인 공법. 플렉스트레스 빔의 강재는 고강도인 A572 Grade을 사용하며 프리플렉션(항복강도의 85%) - 릴리즈 - 프리텐션 - 포스트텐션의 순서로 제작. 1986년 네델란드 로테르담의 마스강(Maas River)에 최초 적용사례 이후 실적은 확인되지 않음. 프리플렉스 거더 보다 복잡한 프리스트레싱 공정 때문에 적용성이 떨어짐.

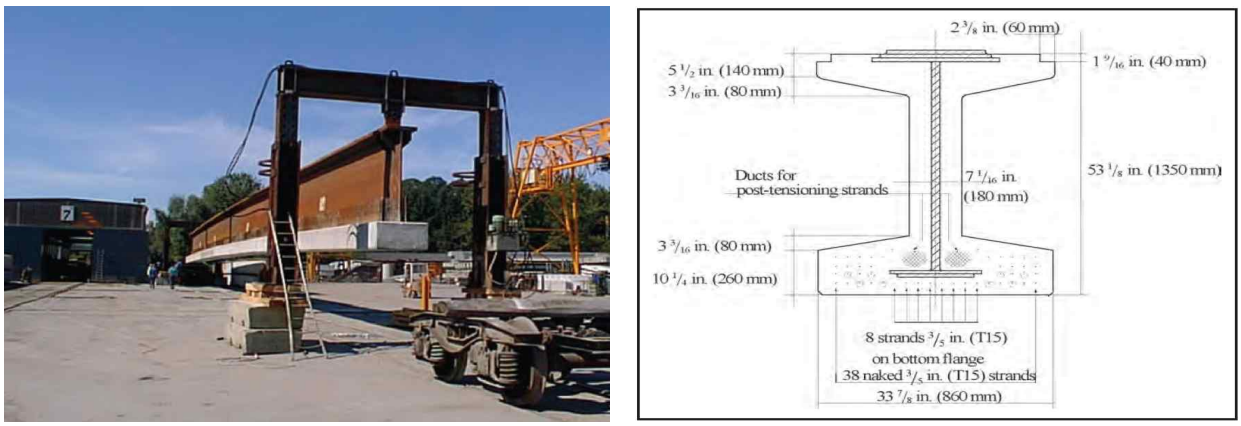


그림 2.6 Flexstress(Precambered) beam at precasting yard and cross section

(4) 미국, PCSC 거더(Prestressed Concrete-Steel Composite Girder)

○ 전통적으로 프리캐스트 신기술을 많이 연구하는 Nebraska-Lincoln 대학교에서 2012년도에 개발한 PCSC 거더는 강재빔으로 형강을 사용하고, 형강과 별개로 제작되는 케이싱 콘크리트에 모노텐던을 삽입하여 합성후 프리텐션을 도입하는 순서로 제작됨. PCSC 거더는 케이싱 콘크리트로 하부플랜지를 피복하지 않고, 굵은 직경(17.8mm)의 강선과 초고성능 콘크리트가 사용됨. 연구개발에서 검토된 단면은 최대 47m로 형고는 1.53m 임. 콘크리트 거더나 일반 플레이트거더, 개구제형거더(Tub Girder)를 대체로 선호하는 미국에서 연구 개발된 강합성 거더라는 것이 의미 있음.

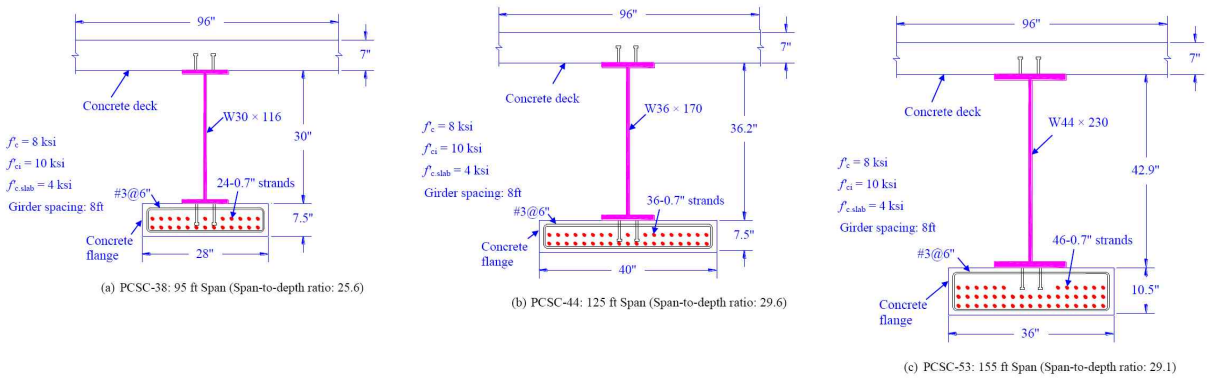


그림 2.7 PCSC 거더 단면도

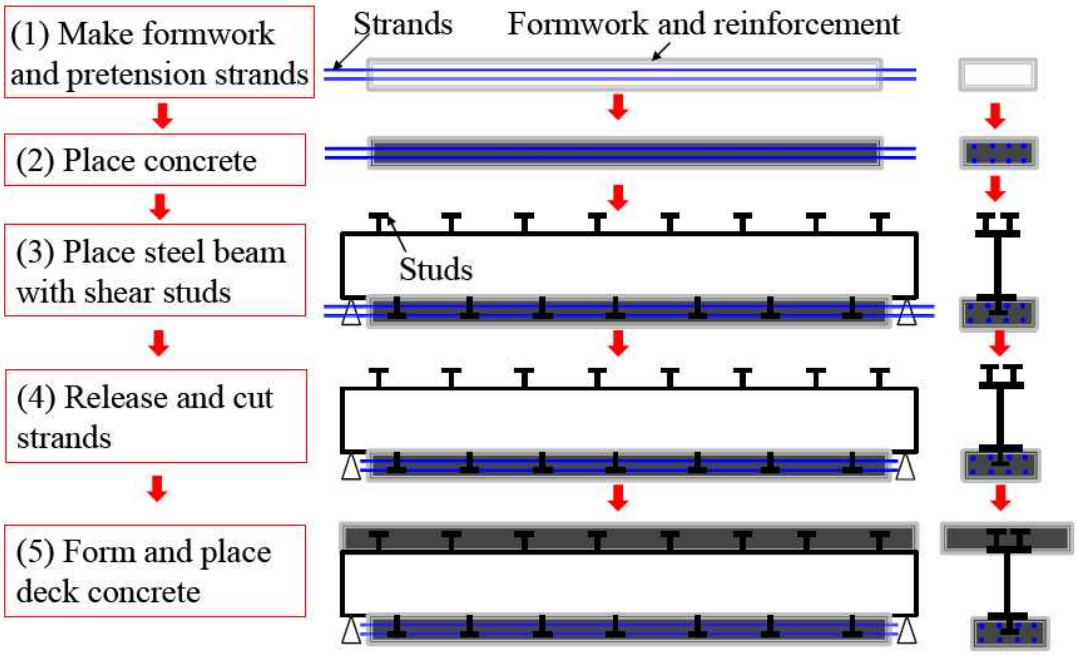
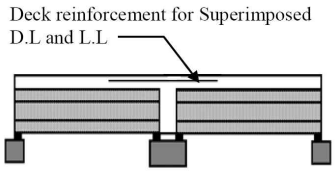
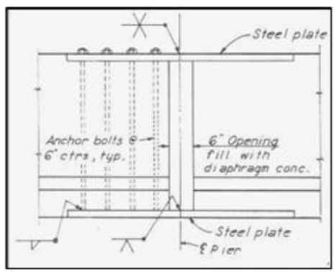
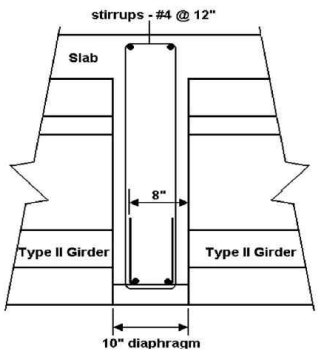
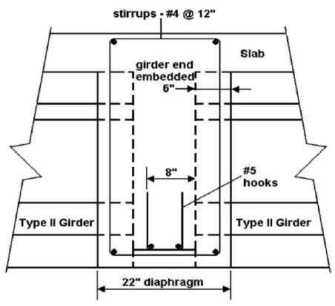


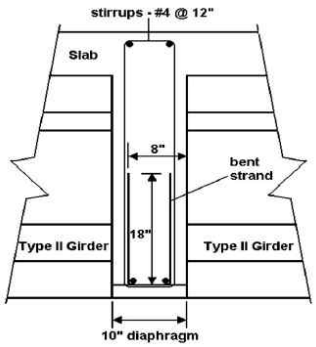
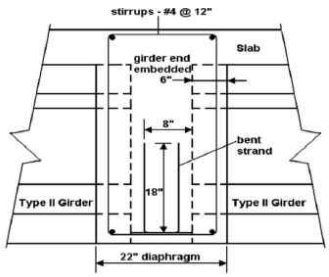
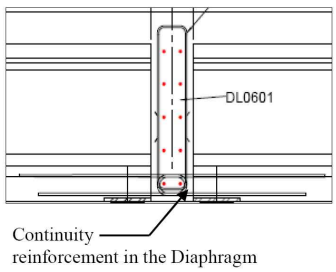
그림 2.8 PCSC 거더 제작순서

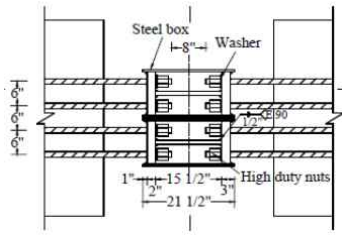
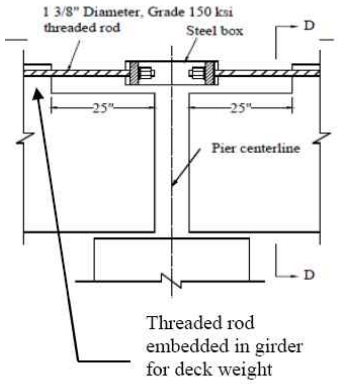
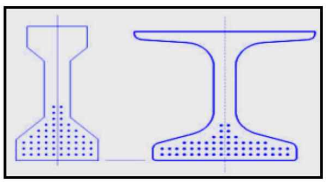
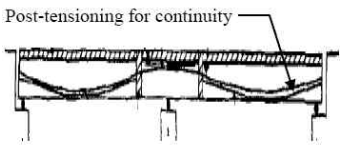
나. 국외 분절제작 및 연속화 기술 현황

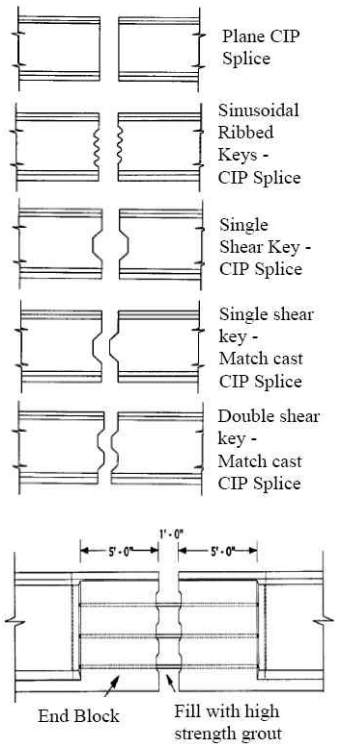
○ 분절제작 및 연속화 기술에 관련해서는 미연방도로국(FHWA)에서 발간한 “Continuous Prestressed Concrete Girder Bridges Vol 1 : Literature Review and Preliminary Designs” 의 내용을 발췌함.

(1) 교각 연결법(On-Pier Splicing Details)

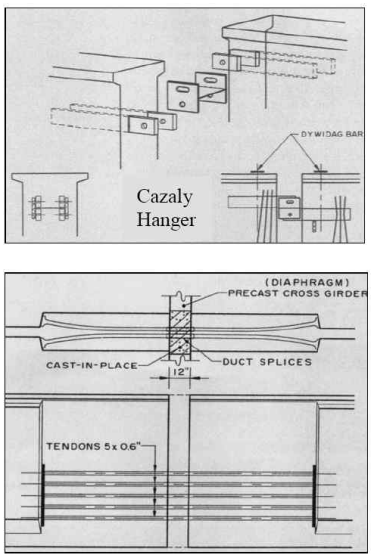
연결형식	개요도	장 점	단 점
슬래브철근 (1960)	 ※최대경간장=43m	• 시공성 좋고 상대적으로 경제적 • 극한강도의 2.5배로 설계모멘트(충격포함) 보다 극한강도가 2배면 적절	• 최대경간장이 제한적 • 단순지지 상태에서 자중이 큼 • 크리프에 의해 다이아프램 하면에 정(+)의 저항모멘트 균열
볼팅강판 (1962)	 ※최대경간장=43m	• 간편한 연결 • 프리스트레싱 작업 불필요	• 자중단계의 경우 구조계가 단순보에서 캔틸레버로 변경되므로 거더 상연에 철근량 증가 • 시공성 나쁨. *작업공간 좁아 거더 밑면의 강판 용접과 다이아프램 타설이 곤란*
굽힘철근 (2005)	 〈굽힘철근연결법〉  〈다이아프램 덮개형 굽힘철근연결법〉 ※철근을 90도로 굽혀 고리형태로 만들고 다이아프램까지 연장	• 정모멘트로 인해 다이아프램의 균열이 제어 • 거더와 다이아프램 계면에 균열 발생해도 구조적으로 안전한 것으로 여기나 연속성은 상실 • 하부플랜지에 인접한 다이아프램의 스트럽 설치로 연성 향상. *스터럽이 있으면 굽힘철근을 연장 안하므로 작업공간이 확보* • 스터럽의 대안으로 거더 복부를 관통하는 다이아프램 수평철근을 둘 수 있으며 이 연결은 스터럽을 배근하는 것 보다 강성이 크고 피로 저항성이 더 큼.	• 구조적 이점에 비해 공사비가 고가 • 거더 매립 위치의 다이아프램에서 콘크리트 박리가 관찰 • 정철근 많이 필요 • 많은 양의 철근을 현장에서 굽히기 힘듦 • 복부철근을 이용하는 연결상세의 경우 파단시 거더에 균열

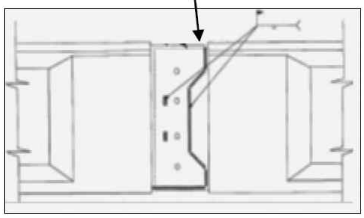
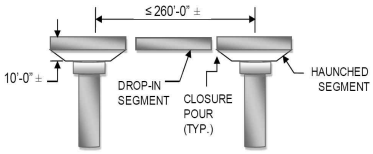
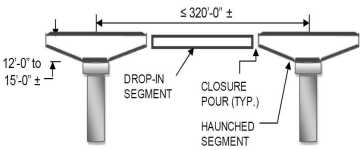
연결형식	개요도	장 점	단 점
굽힘강선 (2005)	 〈굽힘강선연결법〉  〈다이아프램 덮개형 굽힘강선연결법〉 ※정해진 길이만큼 강선을 연장한 후 거더 마구리면에서 90도 고리모양으로 굽힘	• 거더를 다이아프램에 묻는 방식이 유리. *연결부 응력이 감소* • 강선이 유연해서 쉽게 배치 • 거더와 지점부가로보 계면에 균열 발생해도 구조적으로 안전한 것으로 여기지만 연속성 상실 • 굽힘철근방식에 비해 상대적으로 다이아프램 작업공간은 확보	• 인장강선 길이와 수량을 결정할 수 있는 설계법이 없음. • 다이아프램 타설시 진동다짐으로 강선위치가 이동될 수 있음. • 사용하중 및 반복하중 재하시 다이아프램 균열폭이 매우 크게 발생 • 거더 단부가 다이아프램에 매립될 때 다이아프램에서 콘크리트 박리가 관찰됨. • 굽힘강선 연장길이가 길거나 짧으면 연속성 감소
굽힘철근 하부보강 (2005)	 ※거더 하단 마구리면에서 갈고리철근을 연장해서 다이아프램과 연결 ※바닥판 철근으로 부모멘트 연속	• 고정하중, 활하중에 대해 단경간 거더로 설계되나 온도, 크리프·건조수축에 대해서는 설계에 반영 안 됨. • 연속화 위한 다이아프램은 거더 단부에서 타설. 다이아프램에 거더 매립하지 않음. • 반복하중 재하시에도 철근은 강도유지 • 온도구속모멘트에 대한 다이아프램 설계 • 효과적으로 사용하중을 전달하는 연결. 굽힘철근은 최대 계수하중으로 설계 • 사용하중과 반복하중 재하시 균열개구의 문제에 있어서는 굽힘철근연결이 효과적. *거더와 다이아프램 계면 균열은 철근수량을 늘이면 제어*	• 거더와 다이이프램 계면에서 균열 발생할 수 있고, 계면 선단에는 시공 초기 실링 도포 • 계면에서 콘크리트 파괴계수보다 낮은 인장응력에서 초기균열 발생 • 시공전 90일 동안 거더적치 권장 • 초기공사비가 매우 크게 증가

연결형식	개요도	장 점	단 점
강봉 프리스트레스 (2003, 2004, 2007)	 *Plan View*  *Elevation* ※최대경간장=61m ※거더 단부에 강봉 매립 ※교각상에서 커플링작업 ※다이아프램 타설 ※바닥판 연속철근 배근	• NU I형 거더는 상·하플랜지가 넓어 정모멘트부와 부모멘트부 둘다 양호 • 데크적용시 작업발판 대용 • 부모멘트 일부를 거더가 분배. *미리 압축력이 도입된 다이아프램으로 거더 상연의 인장을 상쇄시키고 2차 정모멘트가 발생해 인장을 경감* • 헌치형 거더는 5m당 1m 꼴로 형고 증가 • 프리캐스트 표준거더의 적용한계 이상의 경간 가능  Standard I-Girder NU-I Girder	• 중간다이아프램 적용으로 상부 자중이 증가 • 표준단면 벗어나면 상부공사비 초기비용이 증가 • 중량이 무거워 현장까지 운반 곤란
포스트텐션	 (Lounis et al. 1997) ※최대경간장=49m	• 장경간이라 무거운 프리캐스트 거더의 운반·가설문제 극복 • 장경간에서 플레이트거더나 박스거더의 대안으로 프리캐스트 I형 거더 적용 • 거더 단부에서 정착구역이 생략되기 때문에 철근작업 간소 • 균열과 같은 바닥판의 사용성과 내구성을 더 좋게 함. • 공사비는 비싸나 설계상세로는 적합하고 효과적	• 고가인 포스트텐션 장비비에 대해 하부구조물 수 단축, 거더간격 확장으로 비용을 상쇄 • 다이아프램에 텐던정착부 필요

연결형식	개요도	장 점	단 점
다이아프램 철근/포스트 텐션	 Stitched Splice ※최대경간장=49m	• 합성후고정하중, 활하중에 대해 포스트텐션으로 압축력 도입 • 거더 단부블록을 다이아프램으로 둘 수 있어 집중하중을 효과적으로 분산 • 곡선교 연결에 유리 • 전단키 상세는 응력집중 완화시키고 전단응력 분배에 효과적 • 이음부 사이가 넓은 경우 포스트텐션과 전형적인 철근 연결 둘의 장점을 가짐. *짧은 텐던이나 강봉으로 이음부를 관통되어 포스트텐션이 도입*	• 사용하중에서 이음부 상면에 균열 발생 • 일반적으로 전단키들은 보기 좋지 않고 구조적으로도 응력집중이 문제소지 내재 • 덕트를 연결하려면 시공이 정밀해야하고 큰 마찰손실이 발생. *포스트텐션 효과가 저감* • 시공중 가설벤트 필요

(2) 경간 연결법(In-Span Splicing Details)

연결형식	개요도	장 점	단 점
단순완전긴장 연속부분긴장 (1992)	 ※최대경간장=76.25m	• 분절거더 단부사이에 짧은 강선에 응력을 도입하여 연결 • 강선은 사용응력과 극한한계상태에서도 완벽하게 버티는 것으로 밝혀짐. • 경간장 39.65~76.25m 범위에서 플레이트거더와 비교될 정도로 경제적	• 교량전체를 관통하는 연속텐던 부재. *완전한 하중 평형은 이루지 못함.* • 부분긴장으로 연결시공시 특별한 주의필요 • 분절거더 단부에 블록이 있어야 강선을 정착

연결형식	개요도	장 점	단 점
구조용강판 (1995)	Embedded steel plate  ※ 최대경간장=48.8m	• 빔 가설후 연결 • 용접볼트 사용 • 중량이 가볍고 연결이 간편	• 강판 유지관리비용이 큼. 강판 부식시 연결성능에 심각한 영향 • 거치시 인접 빔을 주의 • 용접상세 관리 철저히 해야 함.
단순완전긴장 연속완전긴장 (2001)	 ※최대경간장=79.3m ※Florida Bulb T단면, 형고=1.98m ※거더간격=3.507m ※마감타설부폭=0.457m ※복부두께=229mm ※분절헌치부 높이=3.05m ※분절헌치부 길이=33.55m  ※최대경간장=97.6m ※Florida Bulb T단면, 형고=1.98m ※거더간격=2.897m ※마감타설부폭=0.521m ※복부두께=229mm ※분절헌치부 높이=3.66m ※분절헌치부 길이=35.075m ※거더와 마감타설레미콘 강도=58.6MPa ※바닥판=44.8MPa ※강선지름 15.2mm ASTM A416, Grade 270 저릴랙세이션	• 1차 긴장 : 거더 연속 • 2차 긴장 : 사용성과 처짐제어를 위해 바닥판 나머지 압축력 도입 • 빔간격 넓히고 거더수 줄여 긴장작업 비용을 상쇄 • 표준 프리캐스트거더 적용경간을 넘어서는 경간 • 중간다이아프램 불필요 • 장경간에도 교각규모 축소 • 강선 16가닥을 매립할 수 있도록 229mm 두께의 두꺼운 복부 적용 • 전단키 필요 • 정착을 위한 블록을 만들어 텐던을 매입 • 시공중 주변 영향 최소화	• 상부공사비가 경간길이에 따라 증가 • 헌치높이가 높아질수록 중간교각방향으로 끌어당기는 부모멘트가 커짐. • 길고 슬림한 벌브 T형이기 때문에 인양 및 가설중 휘거나 뒤틀어짐. • 분절헌치길이는 프리스트레스 크기에 따라 달라지는 제약이 있고 프리스트레스는 상부플랜지가 긴장전 캔틸레버 휨에 저항할 수 있는 만큼의 힘을 도입해야 함. • 분절헌지 거더가 무거워 운반이 어려움.

4. 국내 · 외 관련 기술 특허동향

○ 주요검색 키워드를 “거더(girder), 교량(bridge), 합성(composite), 프리스트레스트(prestressed), 분절(segment), 연속화(continuity)“로 선정하여 특허정보검색시스템(www.kipris.or.kr)을 활용하고, 한국특허정보원에서 수행한 선행기술조사서를 참고로 특허동향을 분석함. 여기서 합성의 의미는 매우 포괄적이라 할 수 있어 사업화 기술과 관련된 이른바 ‘강합성’ 거더와 따로 분류하지 않음.

구 분	주요 키워드		조합용 키워드		검색국가
	한글	영어	한글	영어	
적용키워드	합 성 프리스트레스트 분 절 연속화	composite prestressed segment continuity	거 더 교 량	girder bridge	대한민국 유 럽 미 국 일 본 중 국

○ 전체적인 기술동향을 파악하기 위해, 개별 키워드별로 전체 출원특허수를 분석한 결과 “연속화(continuity)“와 관련한 특허출원 건수가 3,943,737건으로 가장 많았으며 ” 교량(bridge)“분야의 특허가 953,395건 검색되었음. 국가별로는 미국에서 출원한 특허가 7,488,455건으로 가장 많았으며, 국내에서 출원되는 특허의 수는 미국의 3%, 중국의 53% 수준으로 나타남.

구 분	대한민국	미 국	유 럽	일 본	중 국	계
composite	127,024	1,933,165	639,200	665,882	271,748	3,637,019
prestressed	2,535	20,651	5,156	1,964	6,256	36,562
segment	23,610	977,577	202,883	284,239	19,758	1,508,067
continuity	26,175	3,943,737	806,056	620,102	73,416	5,469,486
girder	3,189	7,518	2,626	5,250	2,560	21,143
bridge	31,536	565,807	115,705	212,234	28,113	953,395
계	214,069	7,448,455	1,771,626	1,789,671	401,851	11,625,672

○ 개별 특허만으로는 개수가 많아 분석이 힘들 뿐만 아니라 본 기술과 직접적인 연관성을 찾기 쉽지 않으므로, 키워드별로 조합하여 검색을 실시한 결과, 거더 교량 분야의 특허는 미국이 2,225건으로 가장 많았고, 일본과 국내 출원 특허 건수는 유사한 결과를 나타냄. 합성 분야는 교량이나 거더로 축소할 경우 출원 건수가 1,166건으로 줄어드는 것을 확인할 수 있으며, 분절보다 연속화 관련 특허가 약 2~3배 더 많음.

조합키워드		대한민국	미 국	유 럽	일 본	중 국	계
키워드 1	키워드 2						
bridge	girder	1,058	2,225	538	1,481	887	6,189
	composite	2,310	207,208	43,967	11,648	997	266,130
	prestressed	514	2,733	491	157	2,385	6,280
	segment	980	133,602	20,181	12,994	298	168,055
	continuity	870	381,591	62,971	16,824	569	462,825
girder	composite	381	1,793	451	326	86	3,037
	prestressed	554	437	136	125	287	1,539
	segment	109	1,263	242	279	65	1,958
	continuity	164	4,550	1,010	319	138	6,181
girder bridge	composite	148	708	128	146	36	1,166
	prestressed	273	249	69	67	198	856
	segment	49	451	67	59	39	665
	continuity	104	1,501	270	105	79	2,059

○ 핵심키워드를 composite으로 설정하고, 그 범위를 교량 > 거더 > 프리스트레스트 > 분절 or 연속화로 축소시켜가면서 특징을 분석한 결과 거더교로 국한하는 경우에는 특허출원 건수가 적고, 구체적으로 분절 또는 연속화로 국한하면, 특허출원 건수는 각각 665건, 2,059건임.

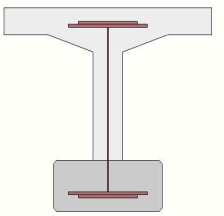
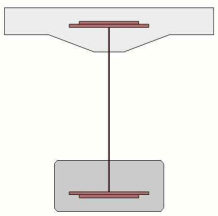
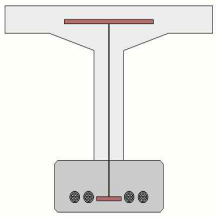
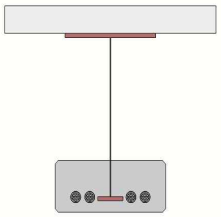
키워드	대한민국	미 국	유 럽	일 본	중 국	계
composite	127,024	1,933,165	639,200	665,882	271,748	3,637,019
composite bridge	2,314	207,208	43,967	11,648	997	266,134
composite bridge girder	148	708	128	146	36	1,166
composite bridge girder segment	15	187	20	10	2	234
composite bridge girder continuity	28	559	75	21	7	690

○ 본 과제 관련한 대다수의 키워드를 모두 포함하는 특허는 국내에서 분절이 15개, 연속화가 28개가 검색되었으나, 소멸되거나 거절된 것을 제외하면 분절이 11개, 연속화가 19개로 축소되었음. 그러나 프리스트레스트 콘크리트 거더 또는 합성형 라멘이 대부분이었고 직접적인 연관이 있는 것은 없음.

제 2 절 연구결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

○ 유럽 일부 국가와 일본에서는 현재까지 전통적인 방식의 프리플렉스 공법을 고수하고 있지만 국내에서는 프리플렉스 거더의 문제점을 개선한 여러 공법들이 존재함. 그런 점에서 **국내 강합성 거더 기술은 세계 선두라 할 수 있지만 대부분의 개선·개량 공법들도 바닥판 시공성 측면에서 나아진 바 없이 오랫동안 사용해 오던 방식으로 시공하고 있고 이에 수반되는 문제들을 그대로 안고 있음.** 바닥판 시공시 시공안전성과 작업성과 관련한 문제, 콘크리트교에 준하는 외관 등은 오늘날 추세를 따르지 못함.

○ 경량 Precom 거더는 가열되고 있는 중소경간 교량 시장에서 위의 문제들을 해결함과 동시에 경간장의 증대를 통해 경쟁력까지 향상시킨 2.5세대 강합성 거더 공법임. Precom 거더는 국내 500여 개소 이상의 시공실적을 보유하고 있어 여러 강합성 거더 제품들 중 선두그룹에 속하는데, 경량 Precom 거더 사업이 가속화 된다면 가장 앞선 공법으로서 향후 해당 산업 전반에 파급을 줄 것임.

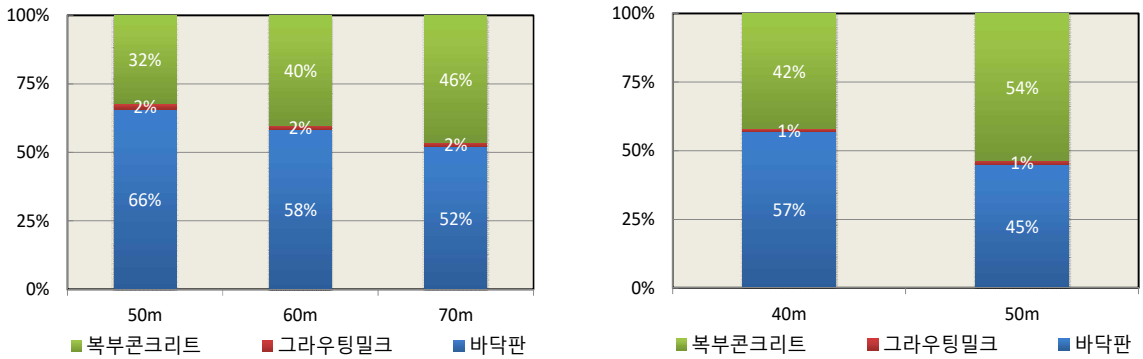
구 분	1세대 프리플렉스(1988 ~)		2세대 프리컴(2005 ~)	
단면도				
사용국가				
세 대	1세대	1.5세대	2세대	2.5세대
최대경간	50m	50m	60m	70m
안전성	부분균열등급	부분균열등급	비균열등급	비균열등급
강재량	165%	150%	100%	85%
공사비	120%	110%	100%	90%
시공성	복잡	간단	복잡	매우간단
바닥판교체	불가	불가	불가	가능
영구거푸집	불가	불가	불가	가능
유지관리비	복부균열	주기적도장	복부균열	주기적도장
경관조화	불량	양호	불량	매우양호

제 3 장 연구수행 내용 및 성과

제 1 절 기술의 개선 방법

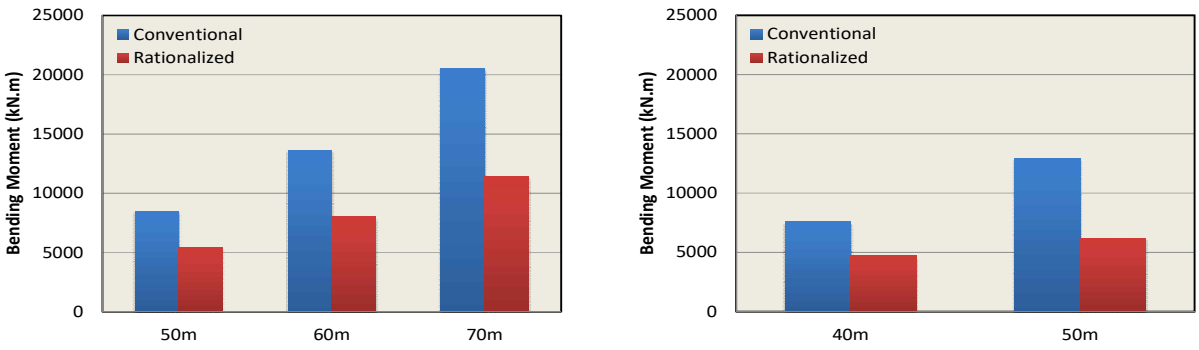
1. 복부단면 개선 효과

○ 복부 콘크리트를 타설하는 주된 이유는 부식 환경으로부터 강재를 보호할 수 있고 좌굴 방지를 위한 보강재를 설치하지 않아도 되며 노출되는 강재가 없어서 도장이 불필요하기 때문. 그러나 설계단계에서 복부 콘크리트를 강재빔의 피복으로 간주하여 단면강성으로 보지 않고 하중으로만 고려. 이는 보수적인 설계가 가능하게 되지만, 형고가 높아지는 경우 거더가 부담하는 고정하중이 늘어나기 때문에 일정 경간을 초과하면 단면 효율이 낮아져 비경제적인 설계가 되는 원인.



(a) 도로교 (b) 철도교

그림 3.1 합성후고정하중(BL) 항목 비율



(a) 도로교 (b) 철도교

그림 3.2 합성후고정하중 설계휨모멘트

○ 그림 3.1에서 경간의 증가에 따라 복부 콘크리트 하중 부담이 커지는 이유는 형고 증가가 원인. 도로교에서는 경간장 70m에서 바닥판 52%, 복부 콘크리트 최대 46%로 바닥판 하중 크기에 근접하며, 철

도교에서는 최대 54%로 바닥판 하중 보다 더 큰 비중을 차지. 고정하중의 증가는 단면을 결정짓는 휨 모멘트 크기와 직결됨. 그림 3.2 (b)에서 철도교 50m는 복부 콘크리트를 생략했을 때 보다 복부 콘크리트를 두는 때 모멘트 차이가 2배 이상까지 나타남. 복부 콘크리트 유무에 따른 경향을 살펴볼 때 일정 경간(형고) 부터는 복부 콘크리트가 있는 것 보다 없는 것이 더 경제적인 설계 가능.

2. 주부재 강중 비교

○ 경량 Precom 거더 공사비 중 많은 부분을 차지하는 강중의 정량적 검토를 위해 철도교 35~50m까지 최적 단면을 산정하고 부부재 30% 할증을 가정하여 강재량을 비교하였고 결과는 다음과 같음.

- 경간장 40m부터 12~20% 강재량이 절감되는 경향.
- 낮은 형고보다 높은 형고에서 강재량이 상대적으로 작음.
- 일정 형고 이상에서는 보강량이 과다해져 강재량에서는 오히려 불리.

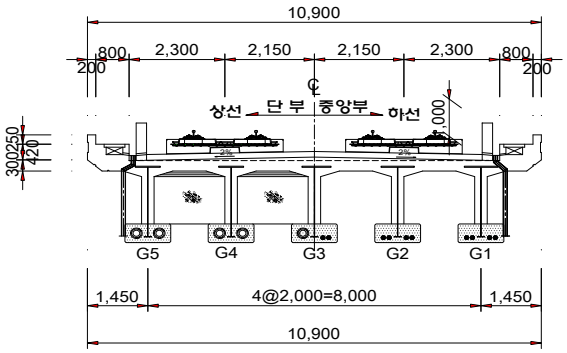


그림 3.3 대상교량

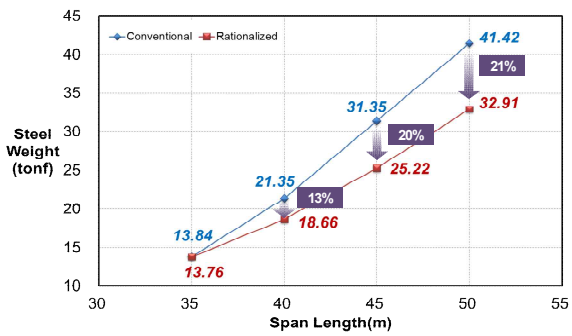


그림 3.4 경간별 강중비교

표 3.1 최적단면 도출결과

Items \ Span		40m		45m		50m	
		conventional	rationalized	conventional	rationalized	conventional	rationalized
Steel	Top(mm)	800×31	700×27	900×32	800×30	900×40	900×34
	Bottom(mm)	250×16	350×12	300×20	350×12	300×24	350×12
	Web(mm)	2253×18	2131×12	2648×21	2528×12	2936×22	2824×12
	Type	SM520	SM520	SM520	SM520	SM520	SM520
Casing	Size(mm)	1200×500	1200×450	1300×550	1200×550	1300×550	1300×550
	f_{ck}(MPa)	45	45	45	45	55	45
PS strands	Number(ea)	19	15	22	19	22	19
	Type	SWPC 7B	SWPC 7C	SWPC 7B	SWPC 7C	SWPC 7D	SWPC 7B
Displacement(mm)		18mm	20mm	18mm	20mm	20mm	23mm
Height(m)		2.6		3.0		3.3	

3. 내구성능 확보 방안

가. 초기도장 및 유지보수를 고려한 도장재료 선정

○ 경량 Precom 거더의 내구성능을 확보하기 위해서는 적절한 도장재료 선정이 중요함. 도장재료는 초기도장비 뿐 아니라 유지보수비까지 고려하여 선정해야 함. 최근 국내 강교에서 도막 수명이 짧아 재도장 또는 보수도장하는 사례가 증가하고 있기 때문인데다 도장에 의한 문제점들도 신규도장 보다 현장 보수도장에서 더 많이 발생하기 때문임.

○ 현재까지 국내 사용되는 강교 도장계는 5종류로 한정적. 가격이 가장 저렴한 우레탄 마감 일반도장계(무기징크 하도, 에폭시 중도, 우레탄 상도)만이 일률적으로 사용되고 있으며 이 외의 도장계가 사용되지 않는 이유는 재료 단가가 비싸고 내구성이 검증되지 않았기 때문. 아래 표는 2016년 한국강구조학회 논문집에 게재된 논문 "도장재 종류에 따른 강교 도장의 공용수명 예측" 의 도장재료 및 방법별 LCC 분석 결과로 경량 Precom 거더 도장 적용시 참고 내용임.

No.	Coating system		First cost (₩/m²)	Maintenance cost (₩/m²)	LCC (₩/m²)	Rank	Ratio
	Primer	Topcoat					
1	IOZ	CR	64,903	139,591	204,494	11	1.64
2	IOZ	U	66,647	98,797	165,444	4	1.32
3	TSC	U	136,100	50,606	186,706	8	1.49
4	IOZ	CU	74,581	109,528	184,109	6	1.47
5	TSC	CU	144,033	53,902	197,935	10	1.58
6	**IOZ**	**S**	**68,361**	**91,563**	**159,924**	**3**	**1.28**
7	TSC	S	137,813	47,706	185,519	7	1.49
8	IOZ	F	77,698	93,723	171,421	5	1.37
9	TSC	F	147,150	49,485	196,635	9	1.57
10	**Partial TSC**	**Partial F**	**73,935**	**50,988**	**124,923**	**1**	**1.00**
11	**Partial TSC**	**Partial S**	**75,803**	**49,867**	**125,670**	**2**	**1.01**

※ Notation

구 분	약 자	영 문	정 의
하 도	IOZ	Inorganic Zinc	무기징크 하도
	TSC	Thermal sprayed coating	금속용사 하도
	Partial TSC	Partial thermal sprayed coating	부식취약부에만 금속용사 하도
상 도	CR	Chlorinated rubber	염화고무계 상도
	U	Urethane	우레탄 상도
	CU	Ceramic urethane	세라믹우레탄 상도
	S	Siloxane	실록산 상도
	F	Fluorocarbon	불소수지 상도
	Partial F	Partial fluorocarbon	자외선취약부에만 불소수지 상도
	Partial S	Patial siloxane	자외선취약부에만 실록산 상도

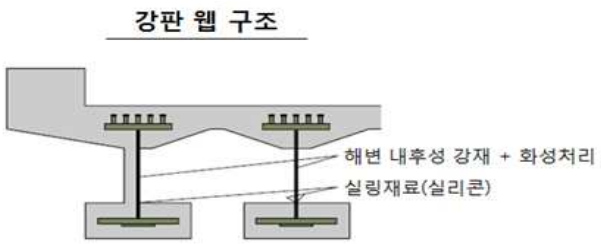
○ 이 연구의 데이터는 현장 조사된 열화도 평가 결과를 기반으로 촉진내후성시험 결과와 국외 연구결과를 반영한 열화도 항목별 조정계수를 적용하는 방식으로 도장계별 수명을 예측한 것임. LCC 분석에서는 일반적인 부식환경을 가정하고, 유지보수시 금속용사 하도는 제거하지 않고 중도와 상도만을 재도장하는 것을 가정한 결과임. 결과는 다음과 같이 정리됨.

- 거더 전체에 적용하는 하도는 금속용사(TSC only) 보다 무기징크(IOZ only)가 유리
- LCC비용이 가장 작은 No.10은 거더 대부분 무기징크를, 부식취약부에만 금속용사(Partial TSC) 하도하고 자외선 취약부에만 불소수지(Partial F) 상도 적용한 경우
- No.11은 부식취약부에만 금속용사(Partial TSC) 하도하고 자외선 취약부에만 실록산(Partial S) 상도 적용한 경우
- 초기비용이 가장 저렴한 염화고무계(CR)은 LCC 측면에서 가장 불리
- 일반적으로 사용되는 무기징크 하도를 금속용사로 대체시 수명이 최대 2배 이상 증가
- 상도를 불소수지와 같은 고내후성 재료로 대체시 수명이 염화고무계 대비 10년, 우레탄계 대비 3~4년 증가

☞ 부분적인 하도와 상도가 국내 도장 작업환경 상 가능하다면 No.10과 No.11을 적용
☞ 부분적인 도장이 곤란한 경우 무기징크 하도와 실록산 상도의 도장계 적용

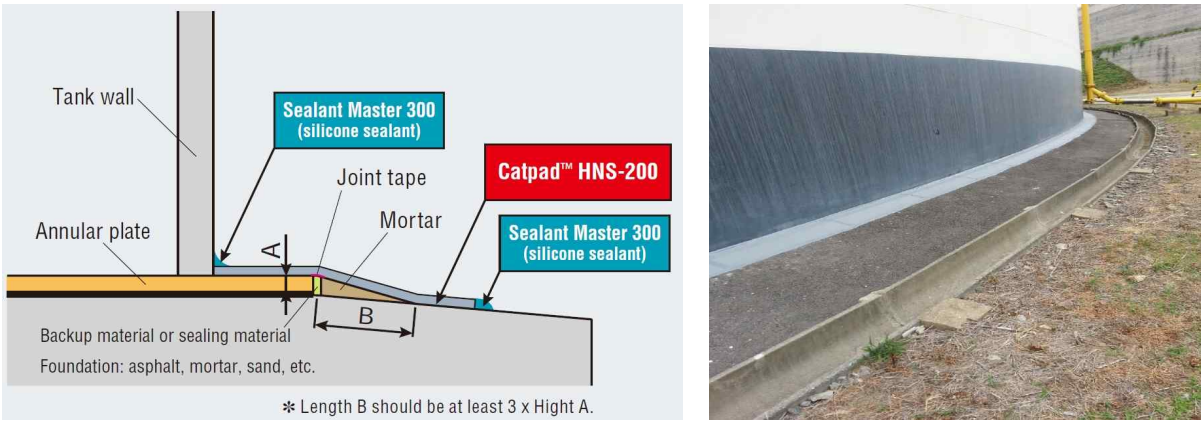
나. 실링재 내후성 시험

○ 경량 Precom 거더는 내구성을 위해 노출된 강재 복부판에 도장을 실시하여 부식방지 노력 하는 외, 추가적으로 케이싱 콘크리트와 강재 복부판이 수직으로 접하는 부위에 실링처리를 하는 것이 장기적 유지관리 관점에서 좋음. 일본 Prebeam의 사례에서도, 케이싱 내부로 수분이 침투하는 것을 방지하기 위해 경계면에 내구성이 좋은 실리콘계 실링재로 밀봉처리를 하거나 해안가의 경우 최외측 거더 바깥쪽만 복부콘크리트로 피복하는 등의 내구성 유지 방안을 적용하고 있음.



○ 토목이나 건축구조물에 사용하는 실링재는 일반 제품을 사용할 수 없음. 반드시 내구성 및 내후성이 보장된 것이라야 함. 시중에 판매 중인 구조물에 특화된 2개 제품 특징을 아래 표와 같이 정리. S사의 실리콘 자착식 접착시트가 경량 Precom 적용에 가장 부합하는 성능을 보유하는 것으로 결정하고 제품 수령후 시험을 수행함.

구 분	일반제품	구조물 특화제품	
		S사	D사
분 류	실런트	실리콘 자착식 접착시트 + 내후성 실런트	내후성 실런트
특 징	●프라이머 필요 ●내구성 없음 ●약한 콘크리트 접착력 ●시공기간(프라이머, 부설, 양생) 장기	●악천후에도 내구성이 우수 ●장기간 방수에 효과적 ●강재·콘크리트 접착력 우수 ●비부식성 ●가공성 우수 ●내열·내한성 우수(-40~180℃) ●공사기간 1/3 단축	●프라이머 불필요 ●±50% 수축·팽창 수용 ●내열·내한성 우수(-50~150℃) ●내오염성 ●공사기간 단기
시공사례	●커튼월 판넬 조인트 ●창호주위 조인트	●플랜트 탱크 빗물유입방지 ●교량부식방지 ●지하구조물 신축이음부 방수 ●염해성 플랜트 배관 보수	●커튼월 판넬 조인트 ●석재 포함 다공성 조인트 ●창호주위 조인트
비 고		◎	



▲ S사 제품 시공도(물탱크)와 시공 사례

(1) 시험 개요

○ 실리콘 자착식 접착시트는 KS 및 ASTM 산업규격을 모두 충족하나 접착시트를 넓게 부착해야 하므로 접착시트 노출된 외관에 대해 반감 우려 있음. 제품구성 중 접착시트를 배제하고, 내후성 실런트 재료로도 성능을 충족할 수 있는지에 대한 검증이 필요하여 시험 수행

- 시편 개수 : 강판 일체 2EA, 강판 분리 연결 2EA 등 총 4EA 제작
- 시편 제작 : 2015년 12월 30일
- 적치 기간 : 2015년 12월 30일 ~ 2016년 7월 28일 (약 7개월)
- 적치 방법 : 외기 노출 (일광·우수에 직접 노출되는 장소)
- 시험 장소 : 삼현피에프 본사 옥상



시편 1		시편 2	
A	B	A	B
			
실링재 없음.	실링재 없음.	고무패드 부착 및 시트 접착	실런트 실링재 밀봉
시편 3		시편 4	
A	B	A	B
			
일부 구간만 고무패드 부착 및 시트 접착 후 주위에 실리콘 밀봉 강판 이음부는 실링재 처리하지 않음.	실링재 없음.	실리콘 실란트에 의한 실링재 밀봉. 강판 이음부 실링재로 밀봉 처리	실링재 없음.

(2) 시험 결과

○ 표면상태 점검

- 점검 일자 : 2016년 7월 28일
- 점검 방법 : 실링재 제거 후 육안 관찰

시편 1		시편 2	
A	B	A	B
			
시편 3		시편 4	
A	B	A	B
			

○ 수분침투 여부 점검

- 점검 일자 : 2016년 8월 1일
- 점검 방법 : 콘크리트 파쇄 후 육안 관찰

시편 1		시편 2	
A : 부식	B	A	B
			
시편 3		시편 4	
A	B	A	B
			

(3) 결 론

○ 접착시트 적용한 시편 모두 강재가 건전한 상태 유지하였지만 내후성 실런트만으로도 부식이 관찰되지 않아 내후성 실런트만으로도 내구성 확보 및 방수에 충분한 기능을 수행

○ 상대적으로 고가인 S사 자착식 접착시트를 제외한 내후성 실런트 적용(점선박스)하여 경제성 확보



① 청소



② 면정리



③ 실리콘스폰지 부착



④ 접착시트 재단



⑤ 접착시트 부착



⑥ 접착시트 밀착



⑦ 실런트실리콘 마감

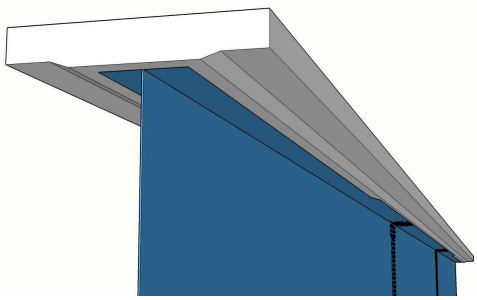
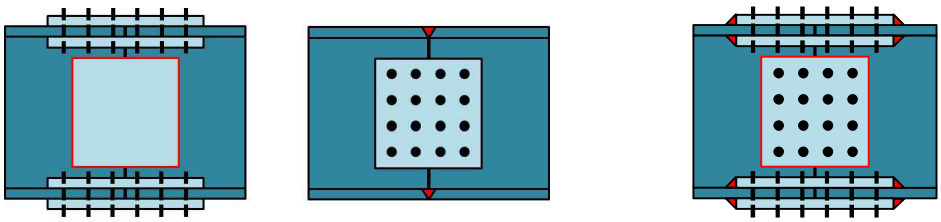


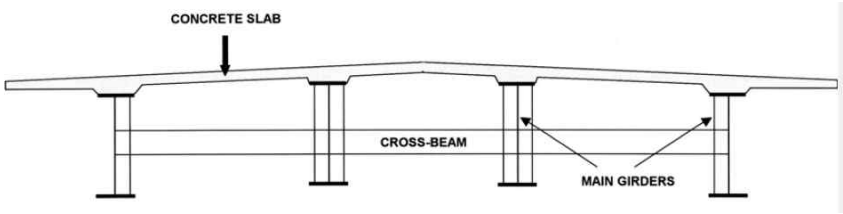
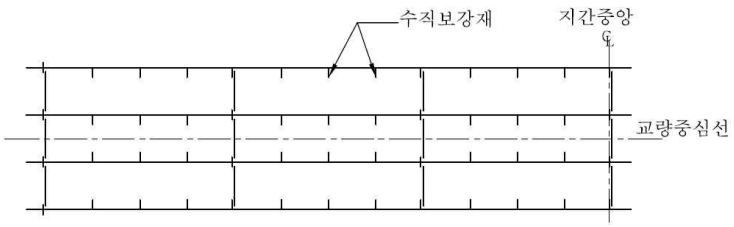
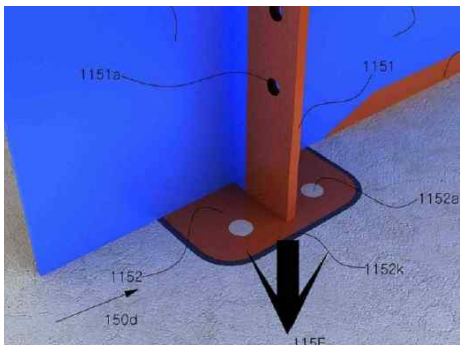
⑧ 시공완료

제 2 절 합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성 거더의 단순교 기술 개발

1. 설계 표준화

가. 설계기술 변경사항

설계항목	표 준 화
바닥판의 헌치	• 프리캐스트 패널을 설치하는 경우를 제외하고 원활한 응력흐름을 위해 바닥판 헌치를 두도록 함. 바닥판 헌치를 두는 경우 다음 사항을 고려함. ① 현장볼트연결인 경우 스플라이스 및 볼트높이를 고려하여 헌치 높이 결정 ② 상부플랜지가 변단면인 경우 헌치는 상부플랜지를 덮도록 계획(아래 그림 참고) ③ 바닥판 헌치는 가급적 경사 1:3 보다 완만하게 둠.  ▲ 상부플랜지의 폭이 변하는 경우 바닥판 헌치
이음부 연결	• 공장에서 현장으로 반입된 강재빔의 이음부 연결은 용접이음과 볼트이음 둘 다 가능한 것으로 하고, 아래 그림과 같은 고장력볼트와 용접의 혼용이음도 적용할 수 있음. 단 제작비가 많이 소요되므로 신중히 결정하고 다음의 주의사항을 지킴. ① 고장력볼트와 용접을 혼용시 고장력볼트를 먼저 체결하고 용접을 실시 ② 상·하플랜지는 현장에서 뒷댐재를 사용하여 베벨형그루브용접 및 하향용접 • 단, 다음 그림과 같이 응력방향과 직각을 이루는 필렛용접과 고장력볼트 마찰이음은 병용하지 않음.  ▲ 고장력볼트와 용접 혼용 예(○) ▲ 고장력볼트와 용접 병용 예(×)
하부플랜지 피복	• 현장용접이음인 경우 하부플랜지 피복두께를 100㎜로 하고, 현장볼트이음인 경우 케이싱 두께의 1/2 이내로 함. • 현장볼트이음인 경우 볼트를 최소 1열 이상 배치하기 위해서는 하부플랜지의 폭을 현장용접이음 보다 넓게 하는데 이 경우 덕트와의 간섭, 굵은골재 최소치수 확보의 문제가 있음. 따라서 설계시 강성의 감소의 영향과 제작을 종합하여 피복을 결정하도록 함.

설계항목	표 준 화
가로보 배치 및 연결	• 합리화 측면에서 수직브레이싱 대신 중간 가로보는 I형 가로보를 기본으로 함. • 가로보 간격은 바닥판 타설시 시공성, 점검로의 지간, 횡비틀림 좌굴 안전성 등을 종합하여 결정함. 국내외 조사에 의하면 최대 간격은 가설시 작업성 및 안전성을 배려하여 10m 이내가 좋고 연속교일 때에는 중간지점부 부근에서 5m 정도로 함. • 프리스트레스를 도입하는 바닥판일 때 상단 배치하는 경우 가로보 위치에서 큰 응력이 발생할 우려가 있고 하단에 배치하면 비틀림 저항에 기여하나 피로 측면에서 불리하기 때문에 가로보의 부착은 중단 배치를 기본으로 함. • 횡단면상 가로보와 주형간 연결은 주형의 중심축으로 연결을 기본으로 하고 아래 그림과 같이 횡단면상 수평 연결도 가능함.  ▲ 가로보의 횡단배치(Steel-Concrete Composite Girder Bridge : Sustainable Design Guide) • 가로보의 연결은 주형의 비틀림강성이 충분히 확보되는 경우 전단접합을 허용함. 단 가로보 복부의 절취는 직각으로 두면 피로에 취약하므로 반드시 R을 두도록 함.
보강재 형상 및 배치	• 수직보강재는 복부판 양측에 두거나 편측에 두어도 좋으나 제작성을 위해 편측에 두는 것이 좋음. • 단부와 중간부의 간격을 조정하여 모두 같은 두께로 하는 것이 바람직하고 최외측거더의 미관상 교량 중심선 쪽으로 두는 것으로 함.  ▲ 수직보강재의 배치 평면도(도로설계편람) • 지점 위의 수직보강재나 가로보와 연결되는 수직보강재는 하중집중점 보강재로서 수직보강재는 아래 그림과 같이 케이싱 상면과 수평인 보강판을 두고, 수평보강판에는 케이싱 콘크리트의 상면과 수평보강판 사이 갭(Gap) 여부를 확인토록 천공을 함.  ▲ 하중집중점 보강재 상세

나. 설계 지침

개발본부-17-02

경량 Precom 거더
설계지침(안)

2017

(주)삼현피에프

목 차

제 1 장 총 칙 ····· 1
1.1 적용 범위 ····· 1
1.2 용어의 정의 ····· 1
1.3 참고기준 ····· 3

제 2 장 바 닥 판 ····· 4
2.1 바닥판의 형식 ····· 4
2.2 바닥판 헌치 ····· 4
2.3 부모멘트 구간의 바닥판 ····· 6

제 3 장 강 거 더 ····· 8
3.1 강거더의 제작 ····· 8
3.2 강거더의 분절 ····· 9
3.3 단부의 처리 ····· 10

제 4 장 케 이 싱 ····· 11
4.1 하부플랜지의 피복두께 ····· 11
4.2 종방향 철근 곡경 ····· 11
4.3 케이싱 분절이음부 상세 ····· 12

제 5 장 현장 이음 ····· 15
5.1 용접, 고장력볼트의 병용 ····· 15
5.2 용접 이음 ····· 16
5.3 볼트이음 ····· 17

제 6 장 가 로 보 ····· 21
6.1 중간 가로보의 배치 ····· 21
6.2 수평브레이싱 ····· 24

제 7 장 보 강 재 ····· 25
7.1 수직 보강재 ····· 25
7.2 수평 보강재 ····· 26

7.3 하중집중점 보강재 ····· 28

제 8 장 스 터 드 ····· 29
8.1 스터드의 가로 배치 ····· 29
8.2 스터드의 세로 배치 ····· 30
8.3 이음판 위의 스터드 ····· 30
8.4 하부플랜지의 전단연결재 ····· 31
8.5 각강 전단연결재의 허용전단력 ····· 32

제 1 장 총 칙

1.1 적용 범위

(1) 이 설계지침은 도로법에서 규정하는 도로상에 건설하는 경간장 70m 이하, 철도선로 상에 건설하는 현황에서는 경간장 55m 이하의 교량에 적용하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 경간장이 55m 또는 70m를 넘는 경우에도 가설지점의 상황에 따라 합성거더 단면을 적절히 보강해야 하는 사항을 제외하고는 이 설계기준을 준용할 수 있다.
(2) 이 설계지침의 규정은 교량의 안전성을 확보하기 위해 필요한 최소한의 요구조건을 제시한 것이다. 다만, 특별한 조사연구에 의하여 설계할 때 또는 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자의 승인을 얻어 관련 설계지침의 적용을 대체할 수 있다.
(3) 이 설계기준에 규정되어 있지 않은 사항에 대해서는 국토교통부 제정 관련 설계기준과 설계지침 등에 따른다.

해설

경량 프리캠(Precom) 거더의 적용지간은 설계, 제작, 시공기술을 고려하여 도로교 70m, 철도교 55m 이하의 교량에 적용하는 것을 원칙으로 하며, 이 지간을 초과하는 경우에는 제작성을 고려하여 면밀히 해석을 수행하면 적용 가능하다.

1.2 용어의 정의

이 설계지침에서 쓰이는 용어의 의미는 다음과 같다.

(1) I형 강재거더(또는 강거더) - I형 모양으로 공장제작(Built-up)된 강재
(2) 케이싱 - 강거더의 하부플랜지를 감싸도록 타설되는 콘크리트
(3) PS강재 - 콘크리트에 프리스트레스를 주는데 사용되는 강선, 강연선, 강봉 또는 이들의 다발
(4) 정착구(Anchorage) - PS강재의 포스트텐션 힘을 전달하는데 사용되는 조립장치
(5) 하중집중점 보강재(Bearing Stiffener) - 거더의 지점 및 가로보, 세로보, 수직브레이싱 등의 연결부와 같은 하중집중점에 설치하는 수직보강재로서 반력, 집중하중을 전달하는

2. 도로교 및 철도교 단면 설계 정식화 및 적용 검토

가. 허용응력설계법에 의한 철도교 단면 설계

(1) 철도교 표준단면 설계조건

- 설계속도 : 270< V≤350km/h
- 설계하중 : KRL-2012
- 단선/복선 : 복선
- 도상종류 : 자갈도상

(2) 철도교 단면설계 결과

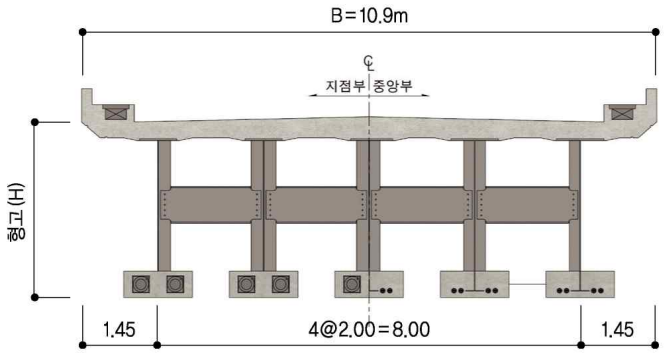


그림 3.5 철도교(B=10.9m) 복선 표준횡단면도

경간장	형 고	강재빔(중앙부기준), (mm)			케이싱 (m)	텐 던 (ea)	긴장력 (kN)
		상부플랜지	복부판	하부플랜지			
40m	2.6m	800×25	1,983×12	350×12	1.10×0.50	19	2,900
45m	3.0m	800×30	2,378×12	350×12	1.30×0.50	22	3,500
50m	3.3m	900×34	2,674×12	350×12	1.30×0.50	19	3,450
55m	3.5m	900×47	2,860×13	350×13	1.30×0.55	22	3,950

나. 한계상태설계법에 의한 도로교 단면 설계

(1) 도로교 표준단면 설계 조건

- 교량등급 : 1등급
- 설계하중 : KL-510
- 구조물사용수명 : 100년
- 한계상태별 하중조합 및 계수

구 분		DC	DW	LL(IM)	PL	PS	CR/SH	WS	TU	TG
극한한계	Ⅰ	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00		0.5/1.2	0.50
사용한계	Ⅰ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0/1.2	0.50
	Ⅲ	1.00	1.00	0.80	0.80	1.00	1.00		1.0/1.2	0.50
	Ⅴ	1.00	1.00			1.00	1.00		0.50	

(2) 도로교 단면설계 결과

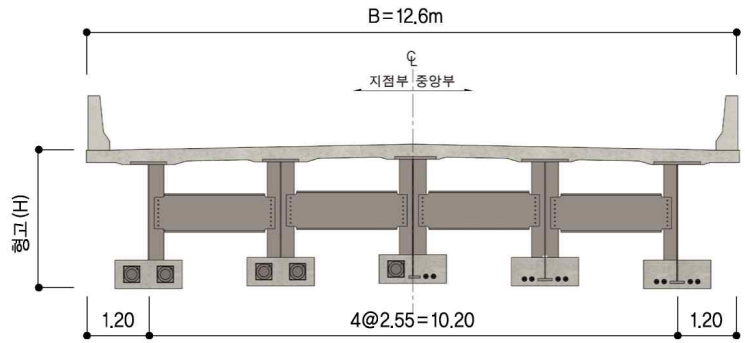


그림 3.6 도로교(B=12.6m) 3차로 표준횡단면도

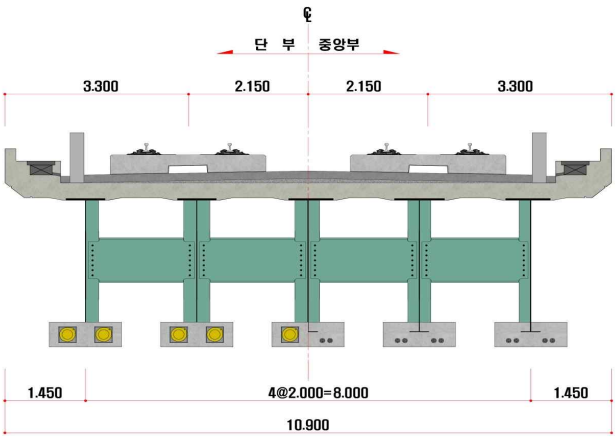
경간장	형 고	강재빔(중앙부기준), (mm)			케이싱 (m)	텐 던 (ea)	긴장력 (kN)
		상부플랜지	복부판	하부플랜지			
40m	1.6m	800×42	1,080×11	250×38	1.10×0.42	15	2,330
45m	1.8m	900×36	1,391×12	250×33	1.00×0.45	15	2,350
50m	2.0m	900×43	1,577×12	250×40	1.10×0.45	19	2,750
55m	2.3m	900×43	1,882×13	250×35	1.10×0.45	19	2,900
60m	2.6m	900×45	2,180×15	250×35	1.10×0.50	19	3,150
65m	2.7m	800×48	2,171×15	280×38	1.10×0.50	19	2,950
70m	2.8m	900×42	2,374×16	280×38	1.10×0.50	19	3,450

다. 철도교 주행안전성 및 승차감 검토

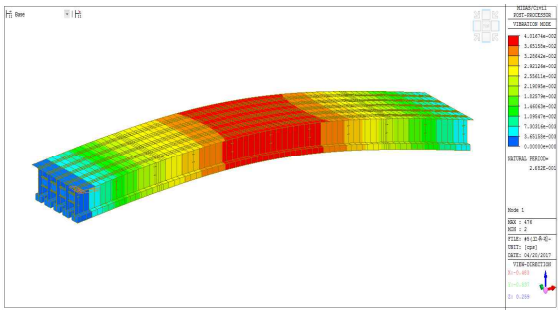
(1) 평가 개요

○ 철도교는 도로교와 달리 일정한 축 간격을 가진 차량이 고속으로 주행하고 열차의 축중을 반복적으로 경험하는 구조물이기 때문에 공진 가능성이 크며 충격계수만 고려한 구조검토로는 이용자의 승차감 등을 평가하기 어려움. 통상 철도교의 안정성 및 사용성을 높이기 위해 철도설계기준에서는 고유진동수, 연직처짐, 상판 연직가속도, 면틀림을 검토하여 주행안전성 및 승차감 평가.

- 프로그램 : Midas Civil
- 모델링요소 : 거더=Frame, 바닥판=Plate
- 해석방법 : Lanczos 알고리즘을 이용한 자유진동 해석
- 감쇠비 : 철도설계기준 제시값인 1% 적용



▲ 해석대상모델



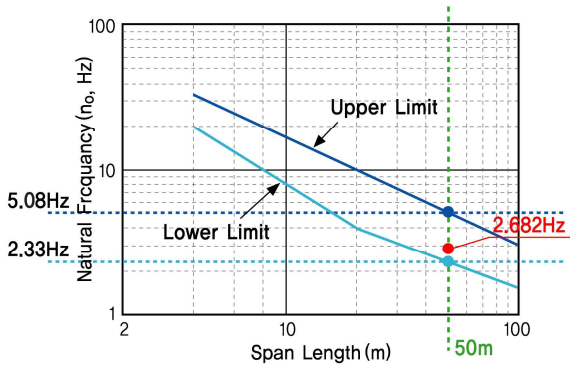
해석방법	시간이력해석
하중재하	단선재하
감 쇠 비	1.0%

그림 3.7 주행안전성 및 승차감 검토

(2) 해석 결과

- 1차 휨모드에서의 고유진동수 2.682Hz
- 연직처짐은 모든 열차에서 기준치 안으로 나타났고 그 중 가장 크게 발생한 화물열차 연직처짐이 최대 12.8mm였으며 운행속도의 최대 연직처짐 기준값인 L/1300=38.46mm를 충분히 만족
- 주행안전성을 확보하기 위한 연직가속도와 면틀림의 경우에도 모든 열차의 속도별 최대응답은 각각 0.162g, 0.075mm/m로 기준을 만족
- 기존 프리스트레스트 강합성 거더에 비해 질량이 작아 고유진동수가 18% 크게 나타났지만 각 항목들의 전반적 경향은 큰 차이가 없음.

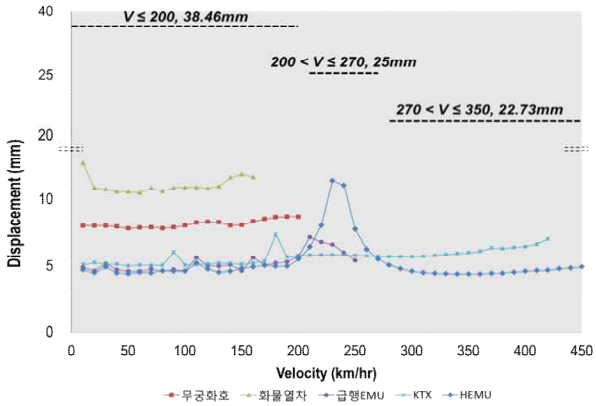
1st 휨고유진동수



구 분		제한규정	범위(Hz)
상한값		$94.76 \times L^{-0.748}$	5.08
하한값	L=4~20m	80/L	N/A
	L=20~100m	$23.58 \times L^{-0.592}$	2.33

☞ 허용범위 만족

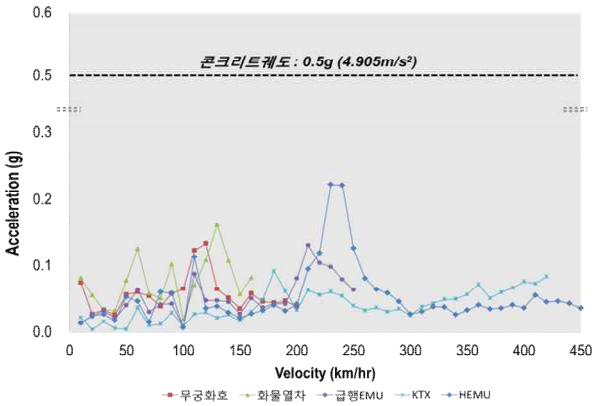
최대연직처짐



설계속도(km/hr)	제한규정	최대연직처짐(mm)
270<V≤350	L/2,200	22.73
200<V≤270	L/2,000	25.00
V≤200	L/1,300	38.46

☞ 공진속도 대역 통과시 모든 열차 기준 만족

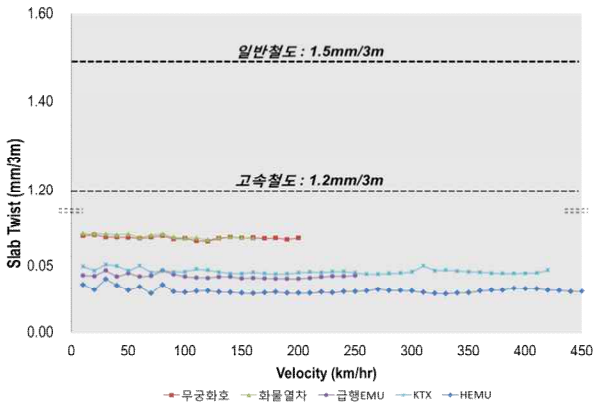
교량 연직가속도



구 분	제한규정	최대연직가속도
자갈궤도	0.35g	N/A
콘크리트궤도	0.50g	○

☞ 열차주행 안전성, 궤도·교량 안전성 만족

상판 면틀림



설계속도(km/hr)		면틀림	3m기준 면틀림 변화량
표준열차 하중재하	V≤200	1.0mm/m	3.0mm/3m
	200<V	0.5mm/m	1.5mm/3m
실운행열차 동적해석		0.4mm/m	1.2mm/3m

☞ 주행안전성 및 궤도틀림 방지 규정 만족

표 3.2 주행안전성 및 승차감 평가 해석 결과

구 분	연직처짐(mm)		연직가속도(g)		면틀림(mm/m)		평 가
	최대응답	허용대비	최대응답	허용대비	최대응답	허용대비	
무궁화호	8.736	22.7%	0.134	26.8%	0.074	4.9%	O.K.
화물열차	12.787	33.3%	0.162	32.4%	0.075	5.0%	O.K.
급행EMU	7.202	28.8%	0.132	26.3%	0.047	3.1%	O.K.
KTX	7.373	19.2%	0.092	18.4%	0.051	4.3%	O.K.
HEMU	11.439	45.8%	0.223	44.6%	0.040	3.3%	O.K.
평 가	O.K.		O.K.		O.K.		

라. 제작단계별 횡비틀림 좌굴 안정성 평가

(1) 평가 개요

○ 구조해석방법

- 프로그램 : ABAQUS 6.14-1
- 적용요소 : ① 강재 : 3D Shell(=S4R) ② 케이싱 : 3D Solid(=C3D8R)
- 해석방법 : 탄성좌굴해석(Eigenvalue Analysis)

○ 단계별 주요검토 항목

STEP	검토 단계	주요 검토 항목
1	강재빔 거치 및 케이싱 타설	비지지길이 변화 및 지지대 설치 위치에 따른 좌굴 검토
2	탈형후 인양	인양 체결 위치 변화에 따른 좌굴 검토
3	프리스트레스 도입	프리스트레스 도입에 따른 좌굴 검토

○ 검토대상교량

- 거더전장 : 70m
- 거더형고 : 2.554m(바닥판 제외)
- 수직보강재간격 : 2.25~4.50m
- 강재강종 : HSB500
- 강선종류 : SWPC 7B 저릴랙세이션
- 케이싱 강도 : 45MPa

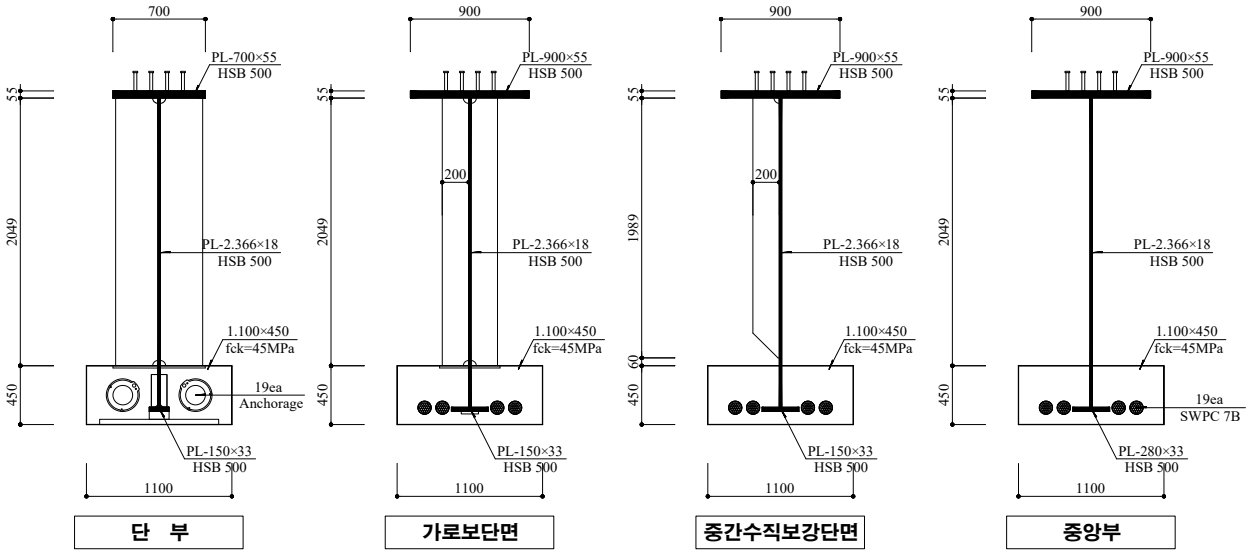


그림 3.8 좌굴안전성 평가 대상교량 횡단면도

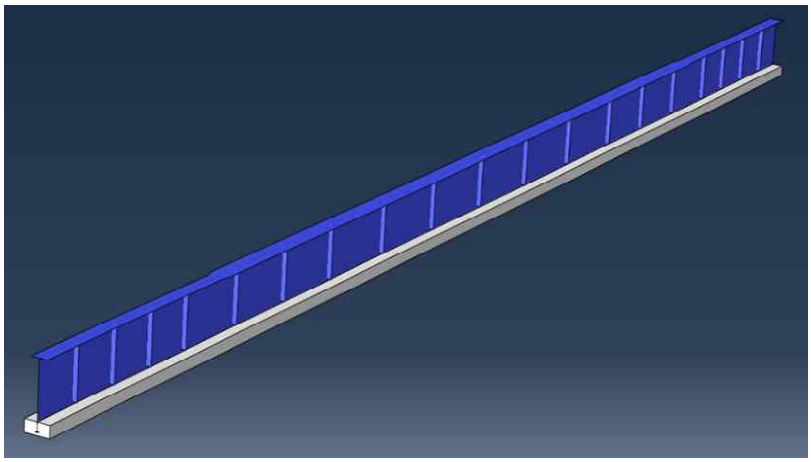


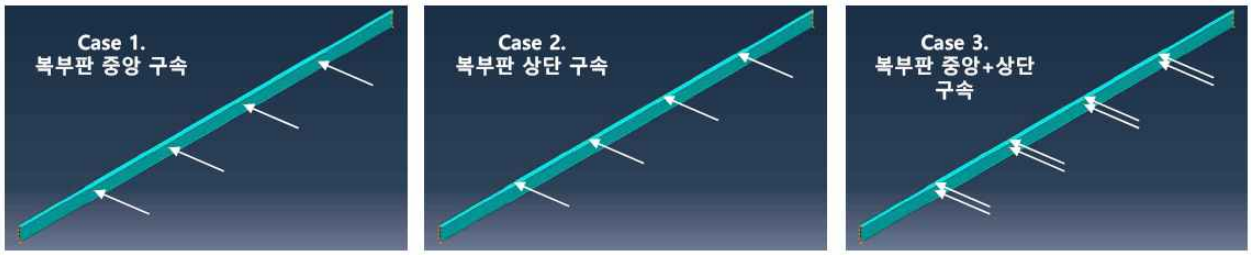
그림 3.9 전체 모델링 형상

○ 하중 및 경계조건

STEP	하 중	경계조건
1	w = 21.88 kN/m	횡방향구속 : 복부판 양단 연직방향구속 : 하부플랜지 양단 종방향구속 : 중앙부 상부플랜지
2	w = 18.88 kN/m	횡방향구속 : 복부판 양단 연직방향구속 : 케이싱 양단 종방향구속 : 중앙부 상부플랜지
3	w = 18.88 kN/m P = 3,000 kN/ea	횡방향구속 : 복부판 양단 연직방향구속 : 케이싱 양단 종방향구속 : 중앙부 상부플랜지

(2) 평가 결과

○ STEP 1 : 강재빔 거치 및 케이싱 타설 단계



▲ CASE 별 횡지지대 위치

• 선형해석을 통한 부재응력 검토

구 분	응력(MPa)		편차(%)
	해석값	설계값	
상부플랜지	120.93	125.23	3.44
하부플랜지	-292.27	-281.29	3.91

- 상 · 하연 응력 설계값 대비 4% 이내 편차

• 탄성좌굴강도 검토

안전율	좌굴모드	비 고
0.242	LTB (횡비틀림좌굴)	N.G.

- 좌굴모드 : 횡비틀림좌굴
(Lateral Torsional Buckling)

→ 탄성좌굴강도 검토 결과 외력 대비 24.2% 수준으로 횡지지 보강 필요

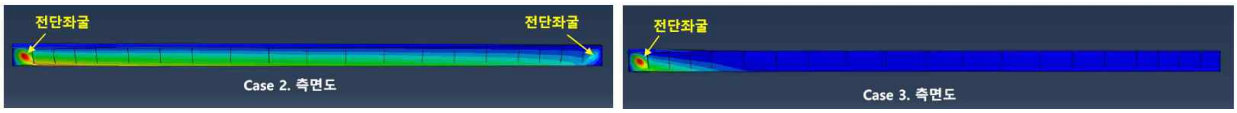
• 횡지지대 설치후 탄성좌굴강도 검토

지지위치	안전율 (Eigenvalue)	좌굴모드	비 고
CASE 0	0.242	LTB	N.G.
CASE 1	0.341	LTB	N.G,
CASE 2	2.693	전단좌굴	O.K.
CASE 3	2.894	전단좌굴	O.K.

* 횡지지대 설치간격(=비지지길이) : 14m
* CASE 0 : 횡지지대 없음.
* CASE 1 : 복부판 중앙 설치
* CASE 2 : 복부판 상단 설치
* CASE 3 : 복부판 중앙 + 상단 설치

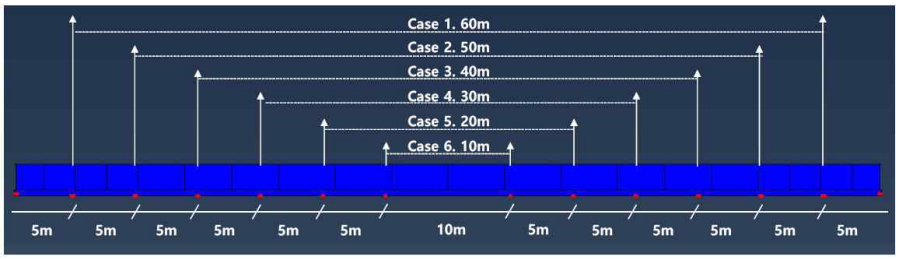
- CASE 1 : LTB 좌굴방지 NG
- CASE 2 : LTB 좌굴방지, 양단부전단좌굴
- CASE 3 : CASE 2 대비 좌굴강도 7.5% 상승
측단부전단좌굴

→ 비지지길이 14m(지지대 4개) 배치시 안전율 2.7 수준으로 LTB 방지 가능하며, 반드시 복부판 상단을 포함할 것.



▲ 주요좌굴모드

○ STEP 2 : 탈형후 인양단계



▲ 크레인 인양위치

• 선형해석을 통한 부재응력 검토

구 분	응력(MPa)		편차(%)
	해석값	설계값	
상부플랜지	110.53	110.56	0.03

- 상연 응력 설계값 대비 1% 이내 편차

• 탄성좌굴강도 검토

안전율	좌굴모드	비 고
1.387	LTB (횡비틀림좌굴)	O.K.

- 좌굴모드 : 횡비틀림좌굴
(Lateral Torsional Buckling)

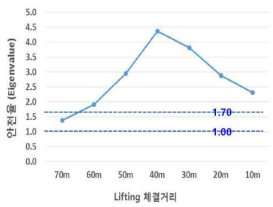
→ 탄성좌굴강도 외력 대비 138.7% 수준으로 OK

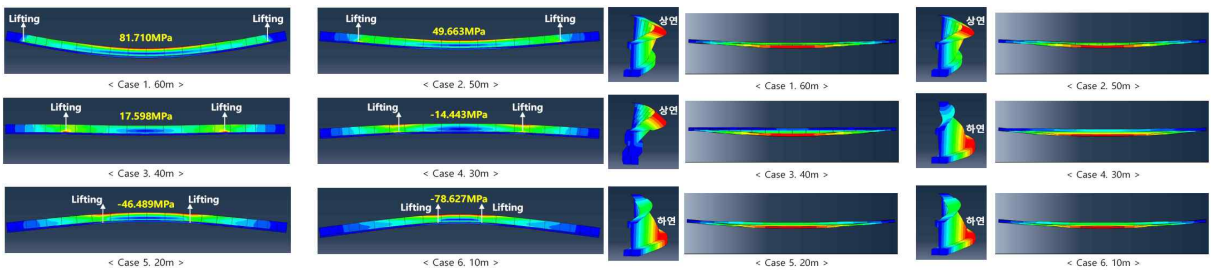
• 인양걸이 위치에 따른 좌굴 검토

지지위치	안전율 (Eigenvalue)	좌굴모드	비 고
70m	1.387	LTB	O.K.
60m	1.907	LTB	O.K.
50m	2.959	LTB	O.K.
40m	4.372	LTB	O.K.
30m	3.812	LTB	O.K.
20m	2.885	LTB	O.K.
10m	2.319	LTB	O.K.

- 크레인 체결위치를 거더 중앙으로 들여올수록 좌굴강도가 증가
- 5m 만 들여와도 안전율 170% 이상 확보
- 40m까지 좌굴강도 증가, 이후 다시 감소

→ 모든 체결위치에서 OK이나 끝단에서 안쪽으로 이동할수록 안전율은 증가. 단, 끝단에서 15m까지로 제한





▲ 응력분포 및 변형

▲ 탄성좌굴모드

○ STEP 3 : 프리스트레스 도입단계

• 선형해석을 통한 부재응력 검토

구 분	응력(MPa)		편차(%)
	해석값	설계값	
상부플랜지	83.24	87.11	4.43

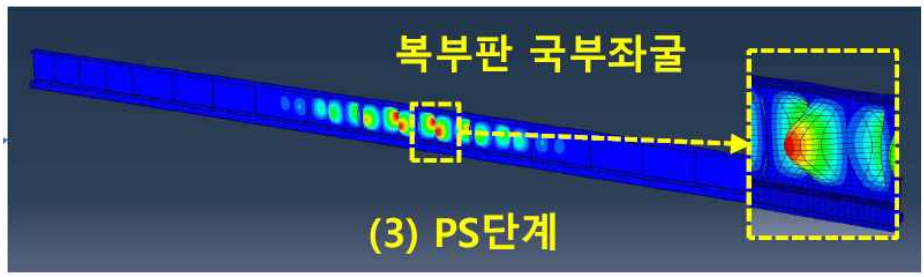
- 상연 응력 설계값 대비 5% 이내 편차

• 탄성좌굴강도 검토

안전율	좌굴모드	비 고
1.311	복부판좌굴	O.K.

- 좌굴모드 : 복부판 국부좌굴(Local Buckling)

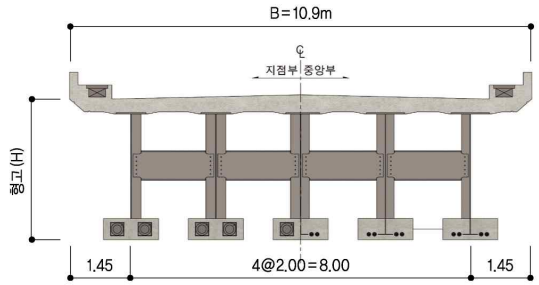
→ 탄성좌굴강도 외력 대비 131.1% 수준으로 OK



▲ 탄성좌굴모드 : 복부판 국부좌굴

마. 표준단면 설계내역 산정

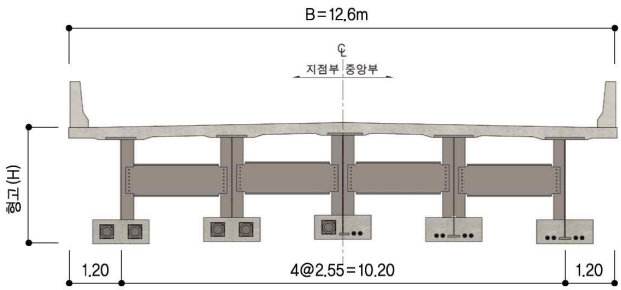
(1) 철도교 표준단면 설계내역 산출결과



구 분		40m	45m	50m	55m	60m	65m	70m
형 고(m)		2.60	3.00	3.30	3.50	-	-	-
본당단가(천원)		78,500	92,500	113,000	164,000	-	-	-
공사비 (천원/m^2)	거 더	900	943	1,037	1,370	-	-	-
	바닥판	250	250	250	250	-	-	-
	합 계	1,150	1,193	1,287	1,620	-	-	-

※ 바닥판 공사비는 경간장에 따라 ±10% 차이 가능

(2) 도로교 표준단면 설계내역 산출결과



구 분		40m	45m	50m	55m	60m	65m	70m
형 고(m)		1.50	1.80	2.00	2.30	2.50	2.65	2.80
본당단가(천원)		76,500	88,500	103,500	119,000	137,500	160,000	182,500
공사비 (천원/m^2)	거 더	760	780	820	860	910	977	1,035
	바닥판	180	180	180	180	180	180	180
	합 계	940	960	1,000	1,040	1,090	1,157	1,215

※ 바닥판 공사비는 경간장에 따라 ±10% 차이 가능

3. 철도교 50m 실물모형 실험체의 구조성능 검증

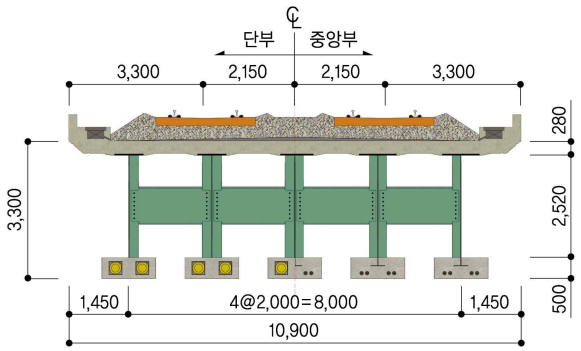
○ 실험 목적은 다음과 같음.

- 실물모형 실험체 제작을 통해 제작성을 평가하고 정확한 투입물량과 제작비를 산정
- 실물에 대한 구조 안전성 검증 및 동특성값 추출로 직접적인 성능 평가
- 현 이론식(설계기준)의 검증

가. 실험체 설계

○ 철도교 복선 50m 교량을 대상으로 현행 철도설계기준의 제반 규정에 따라 조건을 만족하도록 설계하였고, 설계 조건은 아래와 같음. 그림 3.10의 교량 횡단면도 중 응력수준이 가장 높은 가운데 거더를 대상으로 함.

- 열차하중 : LS-22, HS-25
- 도상종류 : 자갈도상
- 설계방법 : 허용응력설계

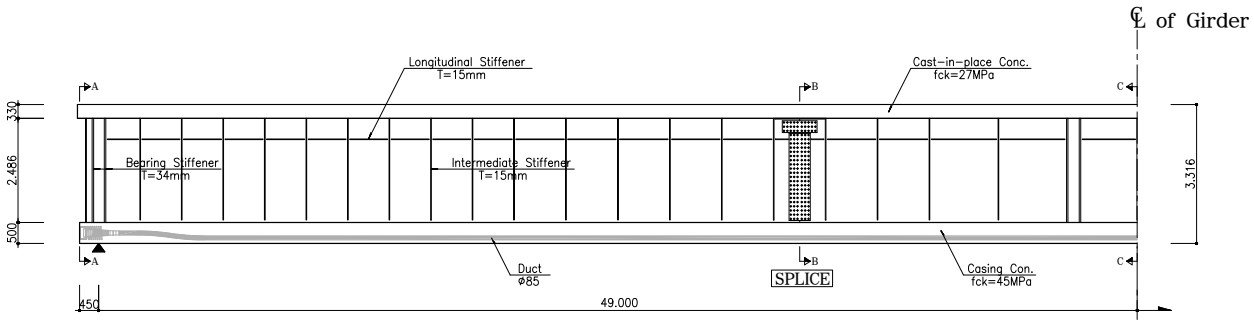


구 분		설계강도	비 고
콘크리트	바닥판	f_{ck} = 27MPa	
	케이싱	f_{ck} = 45MPa	
강 재 SM520		f_y = 355MPa	
PS강선 SWPC 7D		f_{py} = 2,040MPa	15ea×4

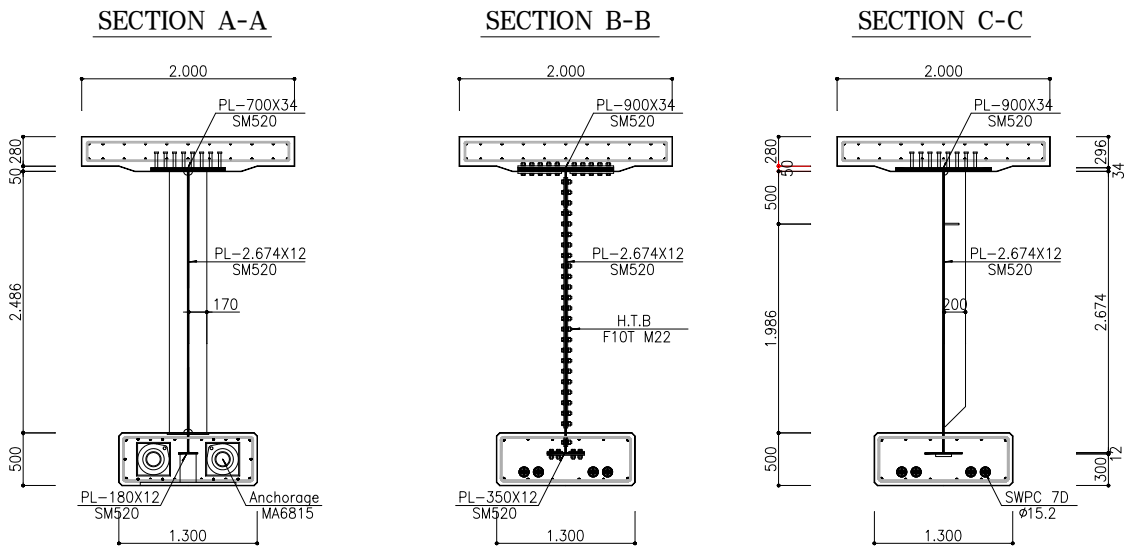
그림 3.10 실험대상 교량 제원 및 재료물성

○ 경량 Precom 철도교 실험체 설계시 특징은 다음과 같음.

- 미관을 위해 보강재는 복부판 양면 중 일면에 부착
- 지간중앙 단면이 순수 휨 저항 하도록 4점 재하
- 하중재하 위치에 하중집중점 보강재 설계하여 부착
- 상부에서 0.5D 위치에 수평보강재 1단 설치. 여기서 D는 상부플랜지와 케이싱 사이 거리
- 수직보강재 간격은 중앙부에서 1.625m, 단부 부근에서 0.98m
- 고강도 강연선 SWPC 7D 시범 적용. ※ 일반적인 강연선(SWPC 7B)으로 설계 가능
- 이음부 볼트연결

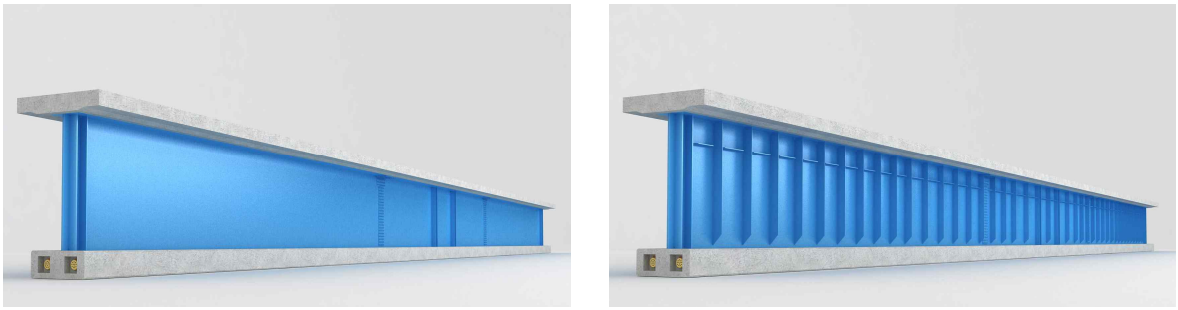


(a) 종단면도



(b) 횡단면도

그림 3.11 실험체 형상 및 제원



(a) 외 측 (b) 내 측

그림 3.12 실험체 3D 모델링

나. 실험체 제작

(1) 실험체 제작공정

○ 2015년 8월 초 명지대 하이브리드구조실험센터 제작장에서 제작 시작하여 완성까지 약 25일 소요



1. 강재빔 제작 | 2. 볼트이음 | 3. 케이싱 배근 및 쉬스 배치
4. 거푸집 조립 | 5. 케이싱 콘크리트 타설 | 6. 프리스트레스 도입
7. 바닥판 거푸집 제작 | 8. 바닥판 철근 배근 | 9. 바닥판 콘크리트 타설

그림 3.13 철도교 50m 실물모형 실험체 제작공정

(2) 실험체 재료물성

구 분	항복강도	인장강도	구 분			공시체강도
강 재 (SM520)	428MPa	576MPa	콘크리트	케이싱	케이싱 인장일	45MPa
강연선 (SWPC 7D)	2,224MPa	2,372MPa			바닥판 타설일	50MPa
철 근 (SD400)	400MPa	-			실험일	58MPa
				바닥판	실험일	41MPa

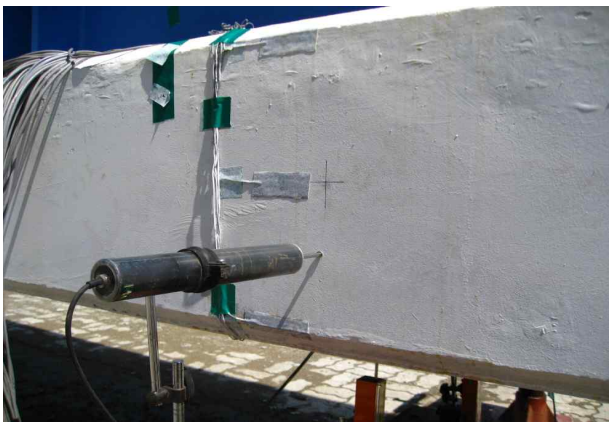
(3) 프리스트레스 도입 단계 계측

- 솟음과 변형률 실측값과 설계값 비교 및 긴장후 횡방향 소성변형 발생 여부 확인 목적
- 유압잭(KTA-450) 1기로 좌우 번갈아 가며 긴장력 도입
- 신장량 측정값은 예상 신장량 오차범위 내 확인

구 분	선긴장단		후긴장단	
초기긴장력 (kN)	3,572		3,450	
항복강도 대비 도입율 (%)	84.2		81.3	
Jack 실제 유압 (bar)	550		530	
예상 총신장량 (mm)	390 (371~410)		377 (358~396)	
신장량 측정값 (mm)	좌	우	좌	우
	380	391	370	375
설계 솟음량 (mm)	85			

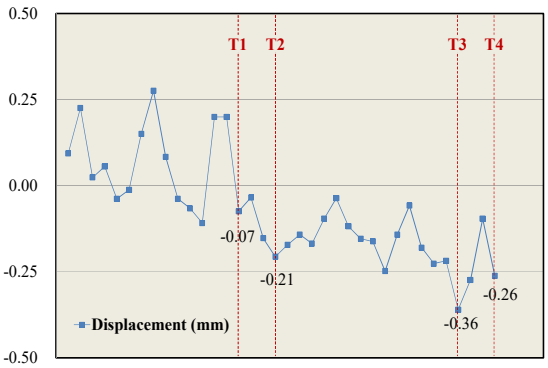


(a) 프리스트레스 도입

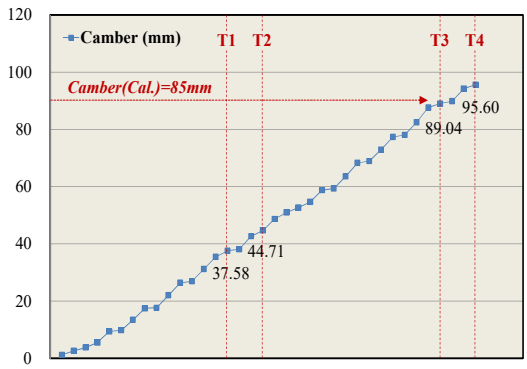


(b) 횡변위 측정

그림 3.14 프리스트레스 도입 및 계측



(a) 횡변위 측정결과



(b) 캠버 측정결과

그림 3.15 긴장단계 변위량 측정 결과

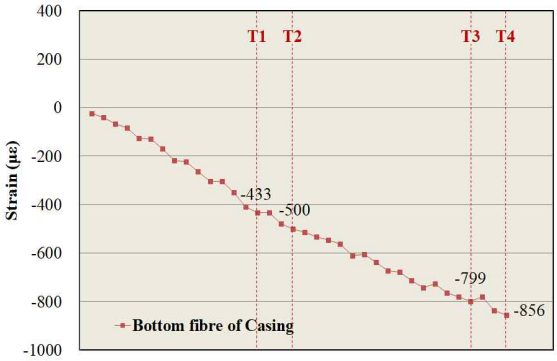


그림 3.16 긴장단계 강재빔 상·하연변형률

표 3.3 긴장단계 응력비교

구 분	케이싱하연
설계값	-22.15MPa
측정값	-22.96MPa
편 차	3.7%

* 콘크리트의 탄성계수 E_c=30,233MPa

※ $E_c = 8,500\sqrt[3]{f_c}$

- 모든 텐던 긴장 후 측정된 횡변위량은 0.26mm로 거더 총길이 대비 1/188로 직선으로 보아도 무방
- 최종 캠버 96mm는 계산값(=85mm) 보다 13% 더 솟음.
- 오차 범위 내로 신장량이 측정되었음에도 불구하고 캠버 오차가 다소 큰데 이것은 텐던의 위치, 콘크리트 재령에 따른 강도, 온도 등의 제작오차를 감안한다면 양호한 수준이며 케이싱 하연의 응력은 구조계산값과 3.7% 편차만 나타나 프리스트레스가 적절히 잘 관리되었음.

다. 하중재하 및 측정방법

(1) 하중재하방법

○ 인적가진, 임팩트해머, 가진기를 이용하여 동특성값(고유진동수, 감쇠비) 추출

- 실험순서 : 인적가진 → 임팩트해머 → 가진기(sweeping test 포함)
- 가속도계 및 변위계 : 1/4, 1/2, 3/4 지점 슬래브 상부 중앙에 설치

○ 지간중앙부 단면이 순수 휨을 받을 수 있도록 4점 재하(가력부 사이 거리는 3m)로 하고 중앙부 단면의 수직 변위, 변형률을 읽고 케이싱 초기균열발생 후 균열폭 측정

- 가력장비 : 5,000kN급 액츄에이터 2기
- 재하속도 : 케이싱 균열전 0.025mm/s → 케이싱 균열후 0.050mm/s
- 지지방법 : 실험동 제공 힌지 1개, 롤러 1개
- 변 위 계 : 와이어변위계 및 LVDT
- 변 형 률 : 강재・철근 → 스틸게이지, 바닥판・케이싱 → 콘크리트게이지
- 균 열 폭 : 크랙게이지 케이싱 하연 및 측면 부착

(2) 계측센서 위치

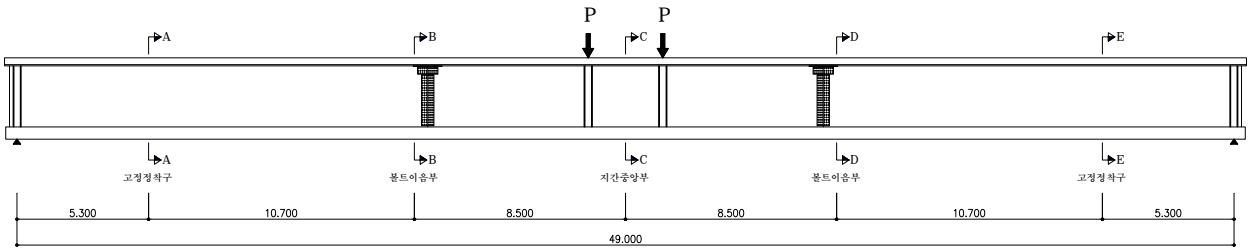
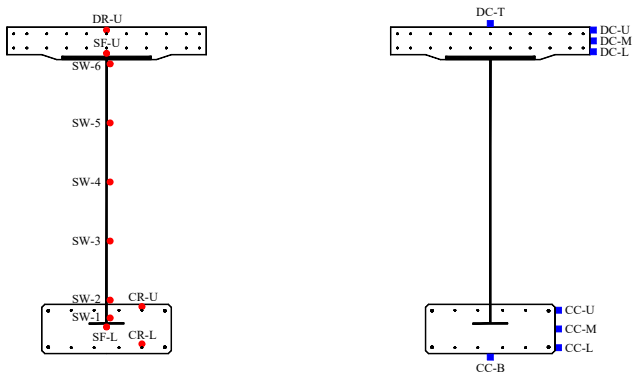
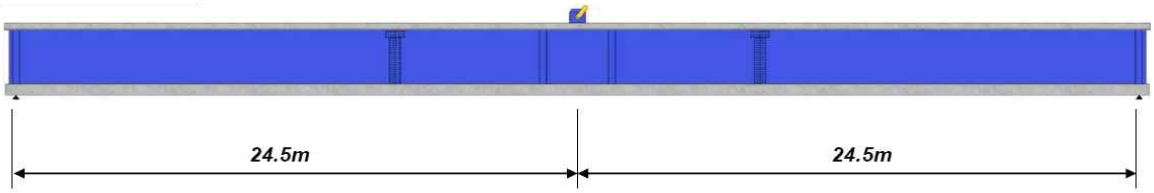


그림 3.17 측정위치



(a) 스틸게이지 (b) 콘크리트게이지

그림 3.18 변형률게이지 부착위치



(a) 세팅도



(b) 인적가진

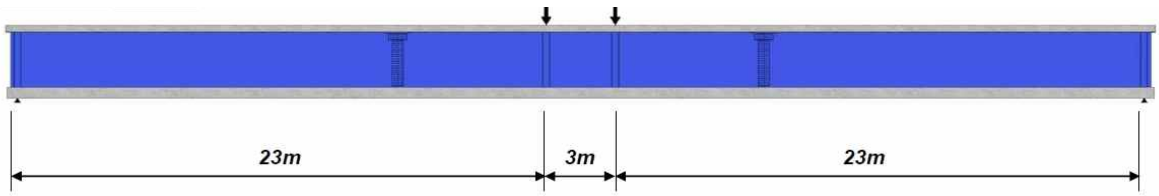


(c) 임팩트해머



(d) 가진기

그림 3.19 동특성추출시험



(a) 세팅도



(b) 변형률게이지



(c) 변위계



(d) 크랙게이지

그림 3.20 정적재하실험

라. 동특성값 추출

○ 구조해석을 통해 고유진동수를 예측하고 실험을 통해 얻은 값과 비교하여 유사정도를 검토하였고 측정된 데이터로 Curve fitting을 통해 감쇠비를 추정

- 범용 구조해석 프로그램 Midas Civil을 활용한 연직방향 1차 모드 고유진동수 3.047Hz 산출
- 인적가진, 임팩트해머, 가진기에 의한 고유진동수 모두 3.027Hz 추출
- 고유진동수 추출값과 해석값의 오차는 0.66% 수준으로 유사. 해석으로 비교적 잘 예측
- Curve fitting을 통한 감쇠비 1.13% 산출로 설계기준 제시값 1% 적용(안전측)
- 일반적인 강교량(0.5%)과 콘크리트교량(2.0%)의 중간 수준의 감쇠성능

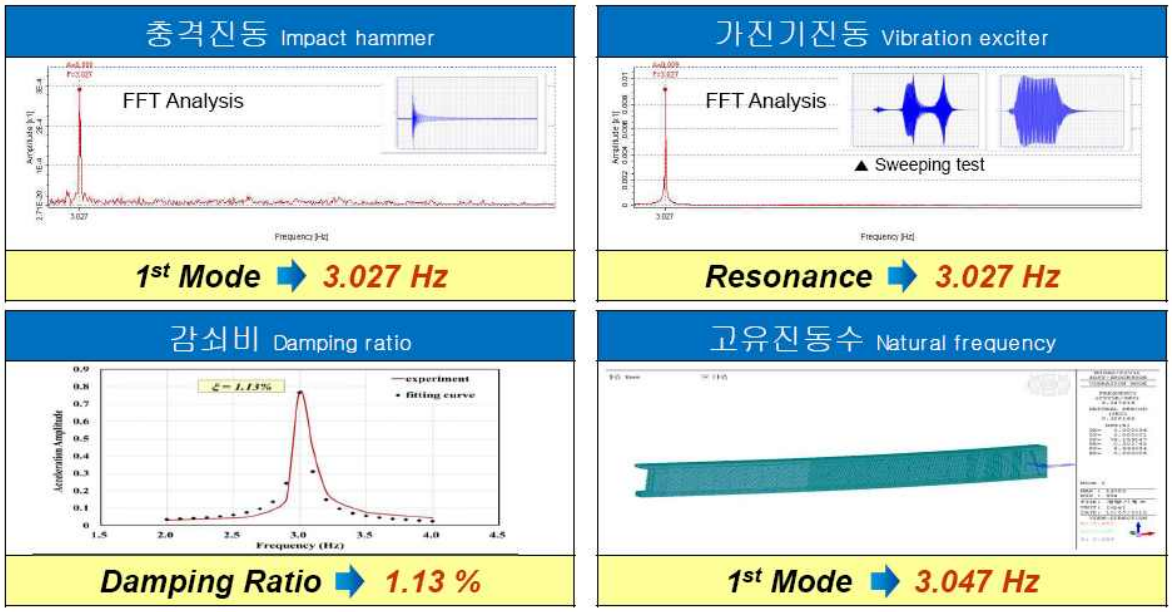


그림 3.21 동특성 추출값 정리

마. 정적성능 검증

○ 실물교량 휨실험의 경우 실험 대상의 높은 휨강도에 비해 실험동 내에서 파괴거동까지 가력이 곤란하한 여건이었기 때문에 계산된 최대하중의 약 80%까지 가력하다가 실험동 반력바닥 안전을 위해 종료.

○ 최대하중 4,990kN까지 강재 압축플랜지의 좌굴이나 복부판 좌굴은 나타나지 않아 적절한 보강이 이루어졌음을 확인할 수 있었고 좌우 액츄에이터 하중이 균형있게 재하.

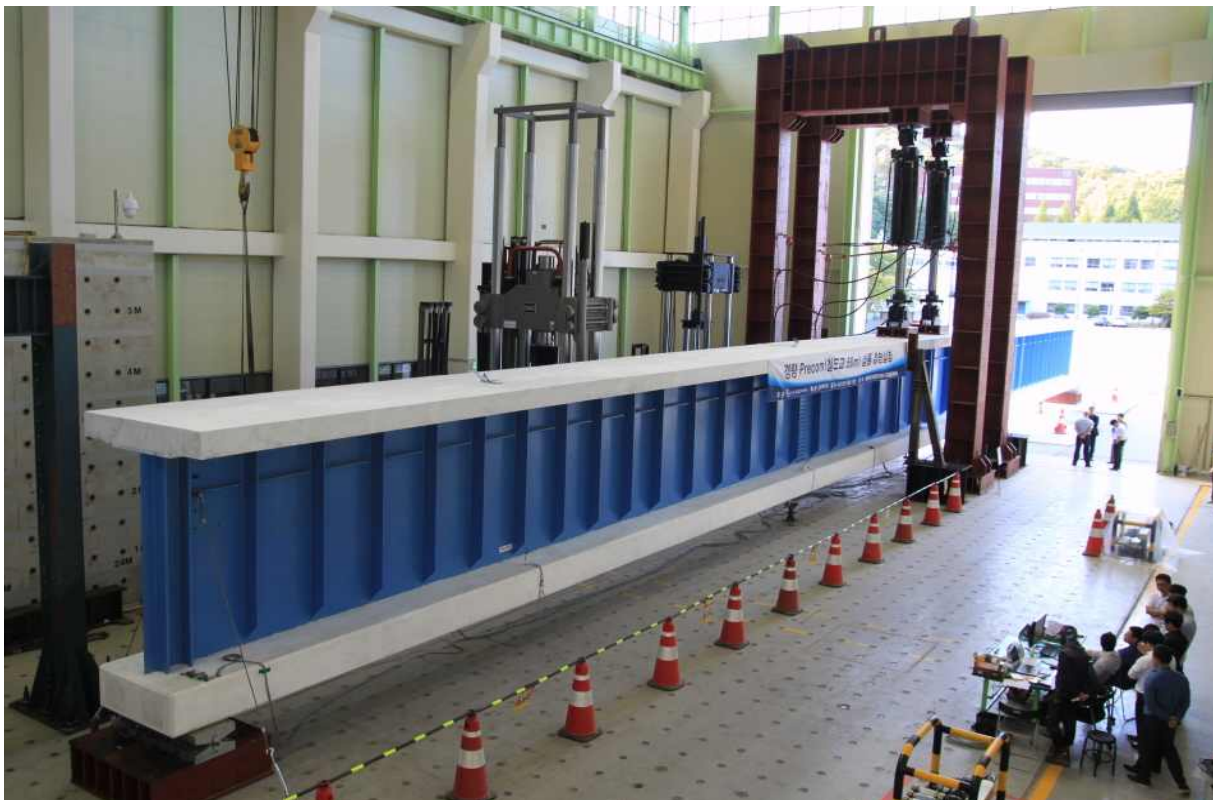


그림 3.22 정적재하 실험 사진

(1) 하중-처짐 관계

- 철도교 복선 50m 설계하중인 2,000kN까지 탄성거동 확인
- 설계하중 재하시 처짐 71mm으로 허용처짐기준 82mm(=L/600) 만족
- 지간중앙부 케이싱 하연에서 육안관찰된 초기균열은 2,600kN이고 강성저하는 2,895kN에서 확인
- 균열하중 이론식에 의한 값과 실험값 0.2% 오차로 현 설계법 적용이 가능하고 충분
- 설계하중의 1.3배 이상 균열 안전성 확보
- 케이싱 균열 후 강성(기울기) 47% 감소하였고 최종 가력시까지 선형 거동
- 실험 종료까지 단면의 항복 나타나지 않음.
- 최대하중까지 국부적인 이상 거동 없음.

표 3.4 실험결과 정리

구 분	계 산	실 험	실험/계산	비 고
설계하중	2,000kN	2,000kN	-	탄성구간내 위치
균열하중	2,900kN	2,600kN	0.90	설계하중의 1.3배
최대하중	6,480kN	4,990kN	-	중단

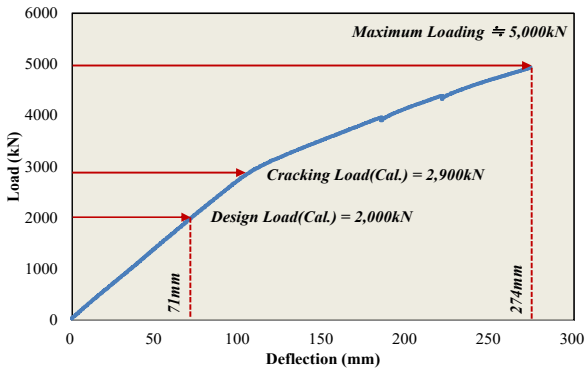


그림 3.23 하중 - 처짐 관계 곡선

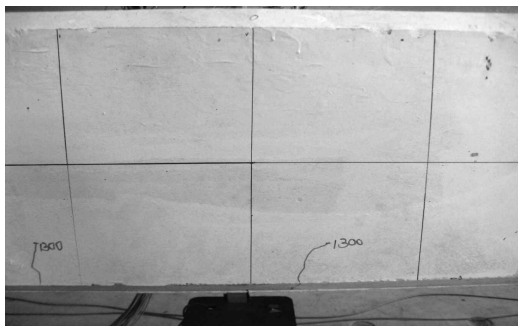
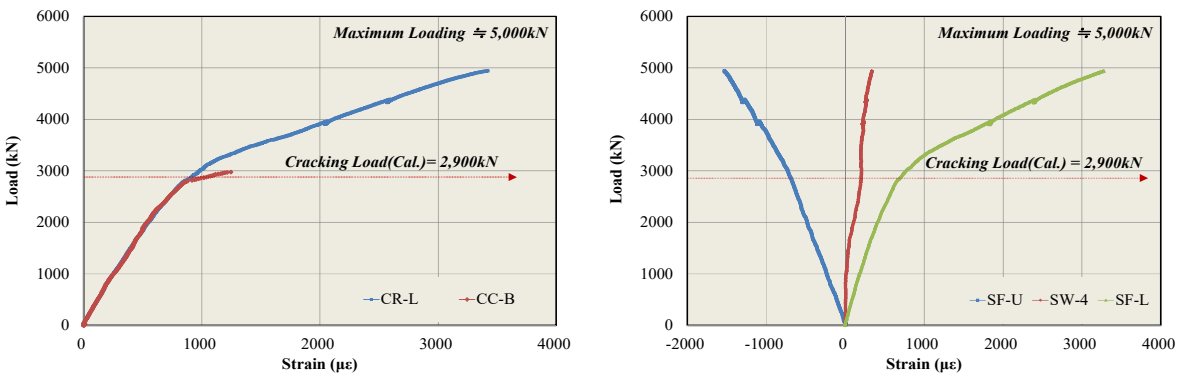


그림 3.24 중앙부 초기균열

(2) 하중-변형률 관계

- 케이싱 균열이 발생 후 케이싱 내 인장철근 변형률이 급격히 증가
- 케이싱 인장철근(f_y=400MPa)은 3,900kN 가력시 항복에 도달
- 최대하중 재하까지 압축플랜지의 국부좌굴 나타나지 않음.
- 인장플랜지(f_{sy}=428MPa)는 4,130kN에서 항복변형률 도달
- 바닥판 내 압축철근 항복은 4,830kN에서 확인
- 중앙단면에서의 재료 항복은 케이싱 인장철근, 강재빔 하부플랜지, 바닥판 압축철근 순서
- 바닥판 콘크리트 상연은 최대변형률(ε_c=0.003)의 60% 수준에서 종료
- PS강선에 의한 프리스트레스 영향으로 최대하중까지 단면상태 건전



(a) 케이싱 콘크리트 하연 및 인장철근 (b) 강 재 빔

그림 3.25 하중 - 변형률 관계 곡선

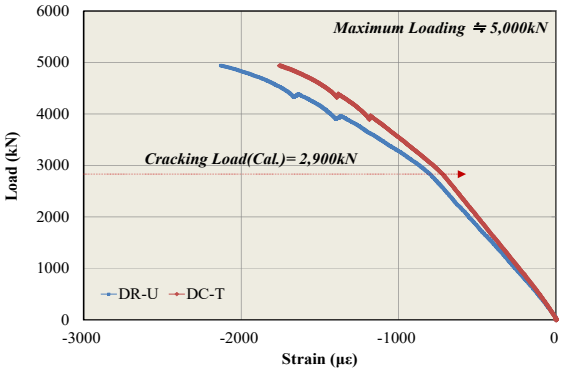


그림 3.26 하중-압축철근변형률

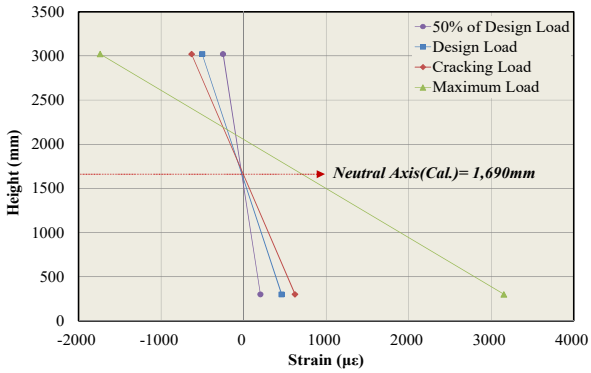


그림 3.27 하중재하단계별 중립축의 이동

(3) 균열폭 관계

- 균열은 경간 중앙에서 최초 2,600kN 가력시 육안으로 확인되었음.
- 초기균열 이후 중앙에서 좌우로 고르게 휨균열이 분포하였고, 균열간격은 평균 307mm
- 초기균열 후 하중을 0으로 두고 중앙단면 케이싱 하연에 균열게이지를 설치하여 균열폭을 측정
- 균열 이후 재가력이므로 소성에 의한 강성저하가 예상. 균열폭은 1,000kN 이후 나타나기 시작
- 설계기준에서는 PS강재에 대해 허용균열폭 0.2mm를 규정함. 0.2mm에 해당하는 균열폭은 이론식에 의한 균열하중(2,900kN)의 8.3% 높은 3,140kN에서 확인
- 0.2mm 균열시 균열게이지 부착위치에서의 인장철근 응력은 214MPa로 항복강도 f_y의 0.54배이므로 균열과 관련한 사용성에 문제가 없음.

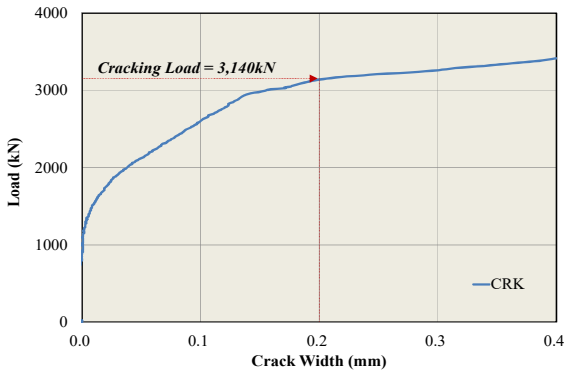


그림 3.28 하중-균열폭 관계 곡선

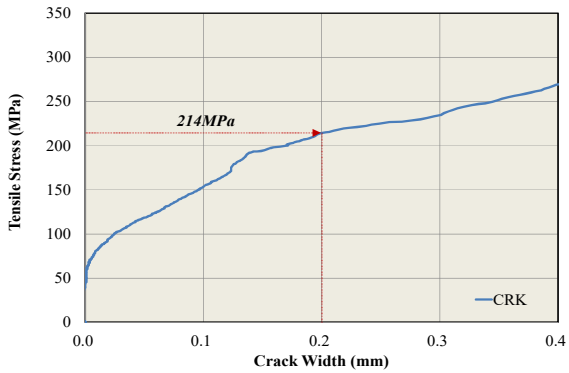


그림 3.29 철근응력-균열폭 관계 곡선

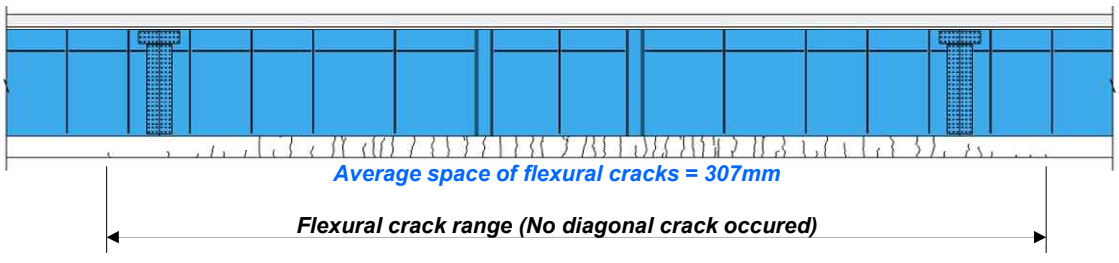


그림 3.30 케이싱 콘크리트 균열폭 분포 및 간격

4. 실교량의 제작성 평가

가. 제작 표준화

(1) Construction Flow Chart 정립

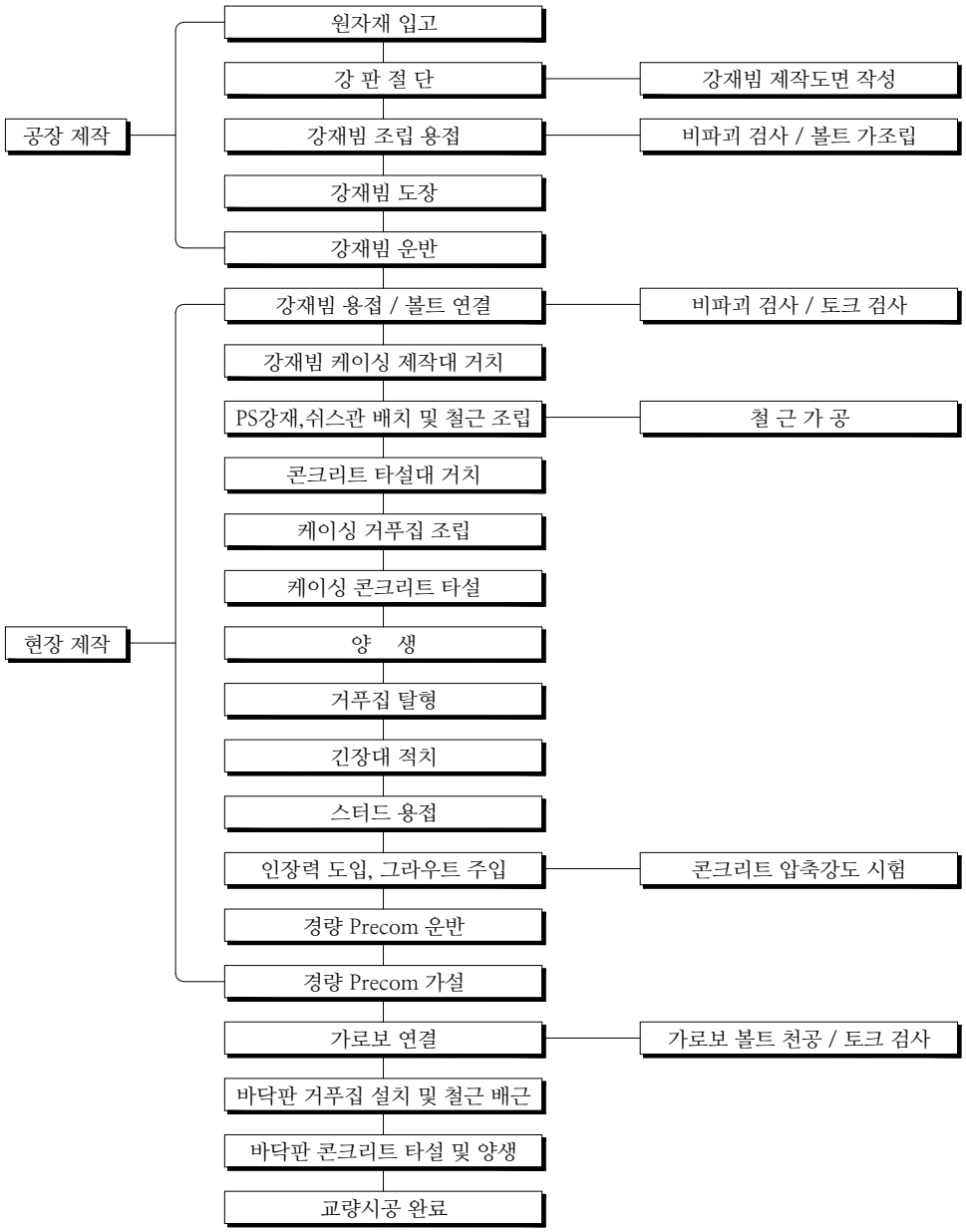
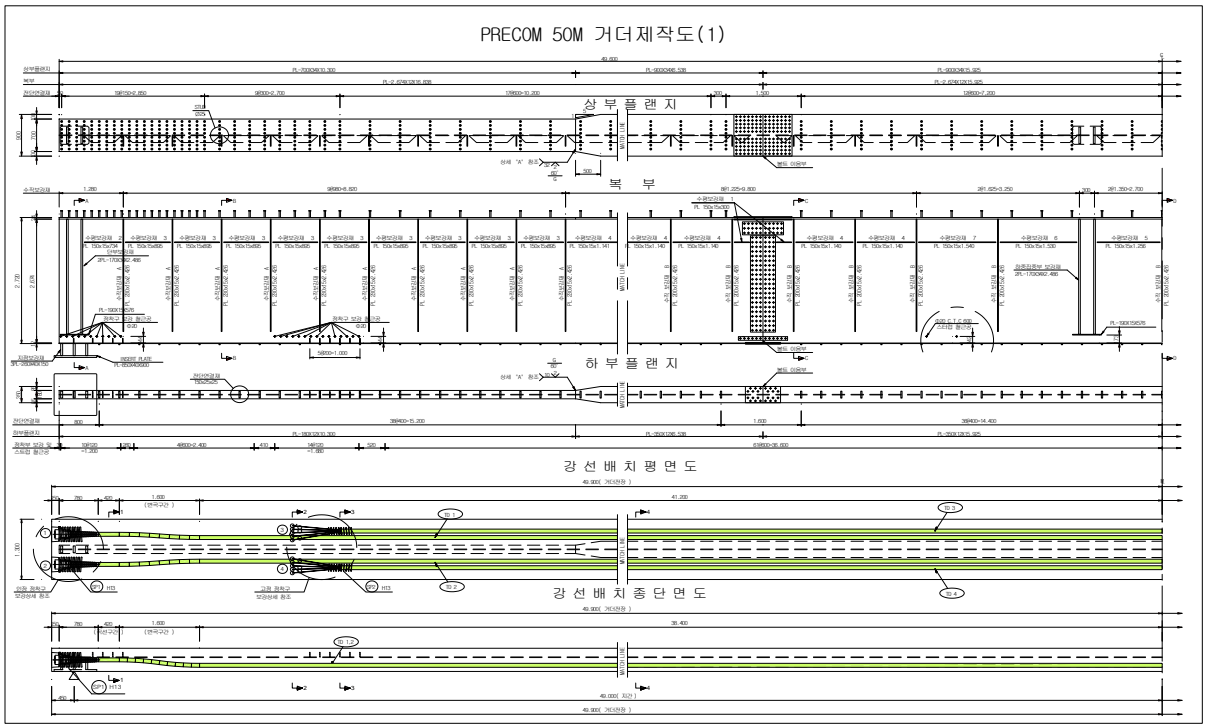
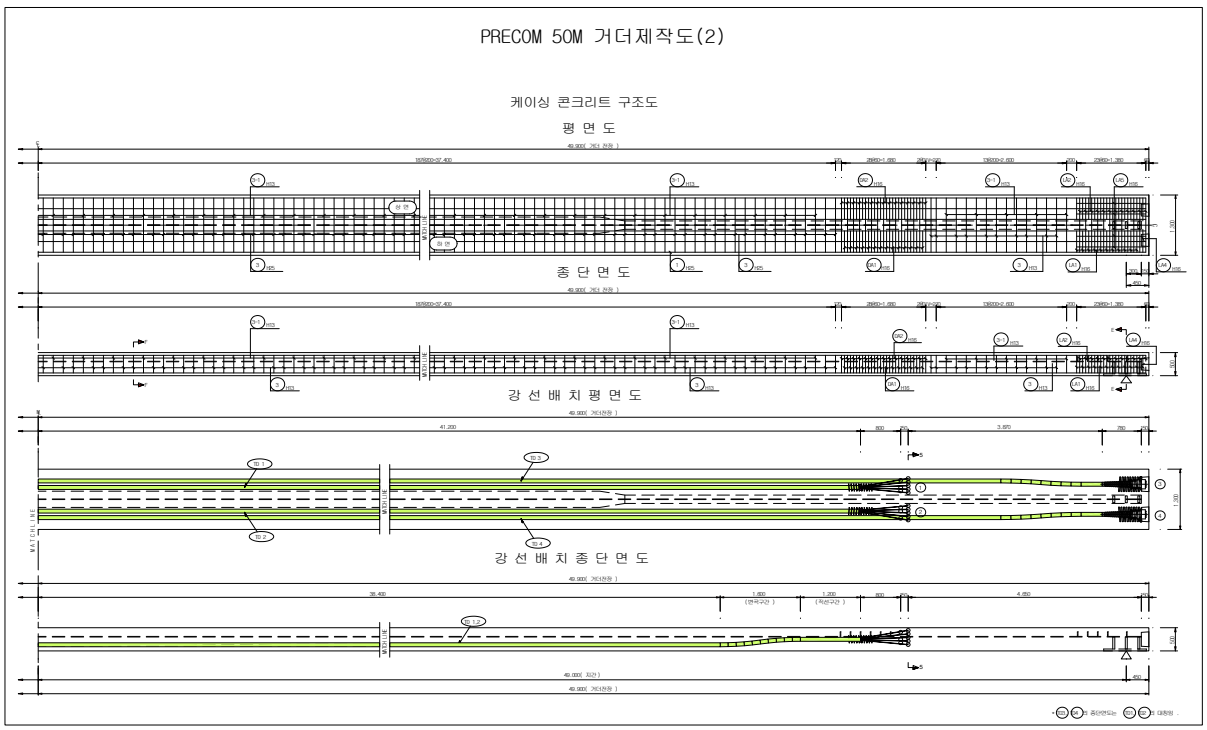


그림 3.31 시공흐름도

(2) 제작 표준도 정식화

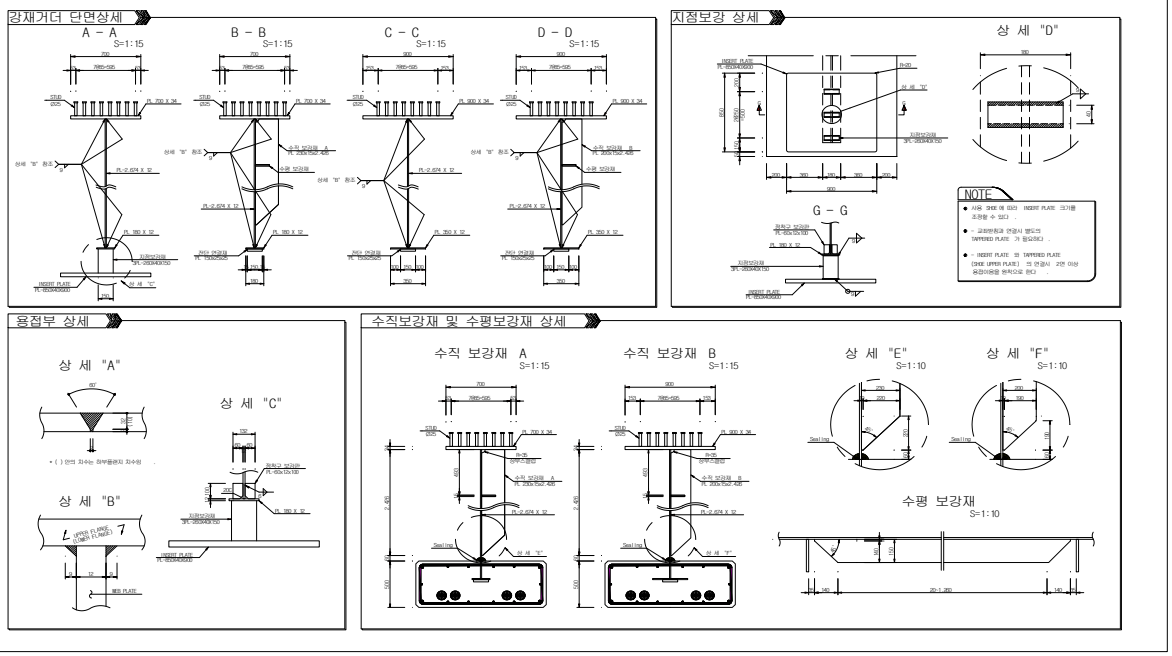


㈜삼현피에프



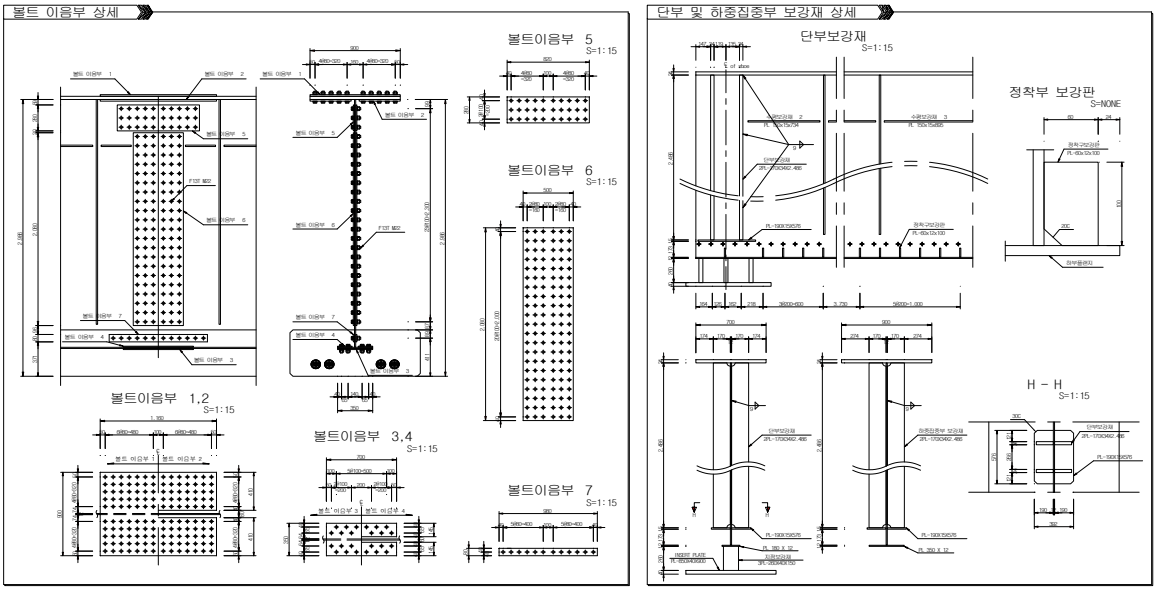
㈜삼현피에프

PRECOM 50M 거더제작도(3)



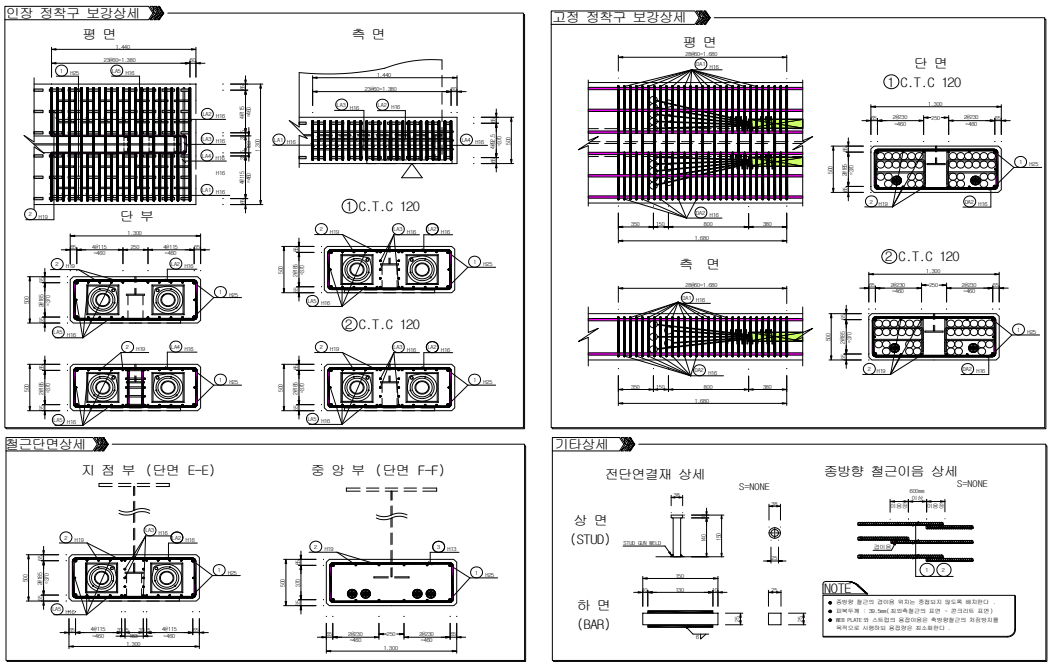
(주)삼현피에프

PRECOM 50M 거더제작도 (4)



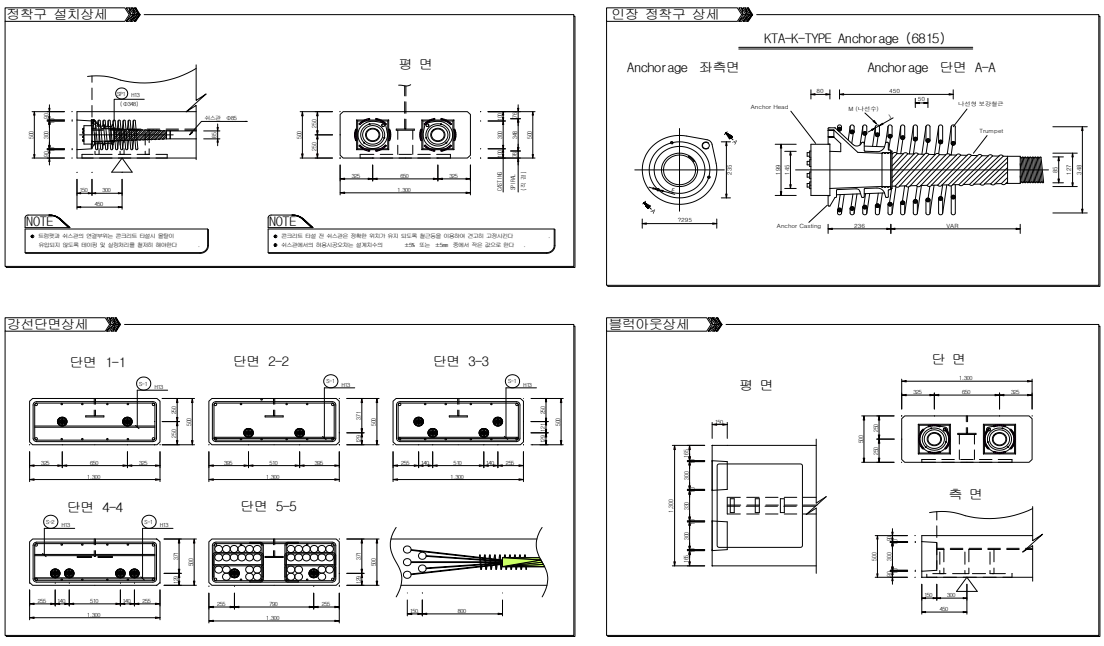
(주)삼현피에프

PRECOM 50M 거더제작도(5)



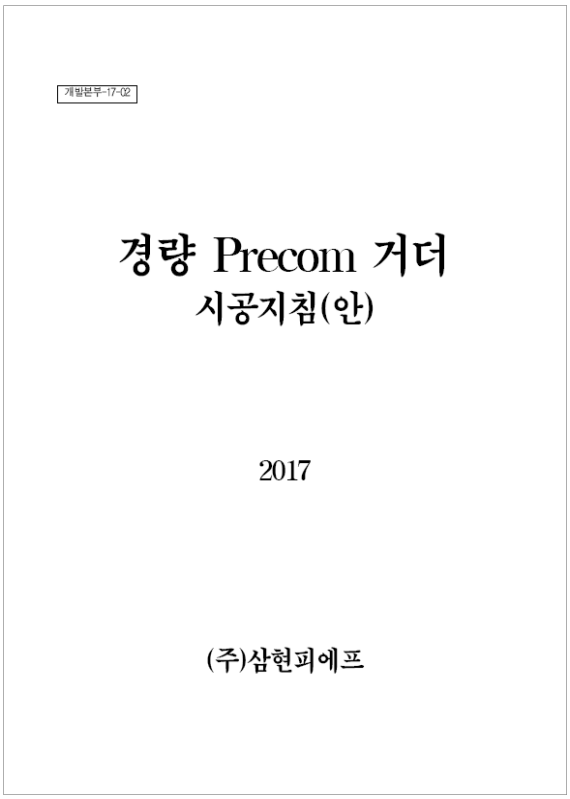
㈜삼현피에프

PRECOM 50M 거더제작도(6)



㈜삼현피에프

나. 제작 및 시공지침

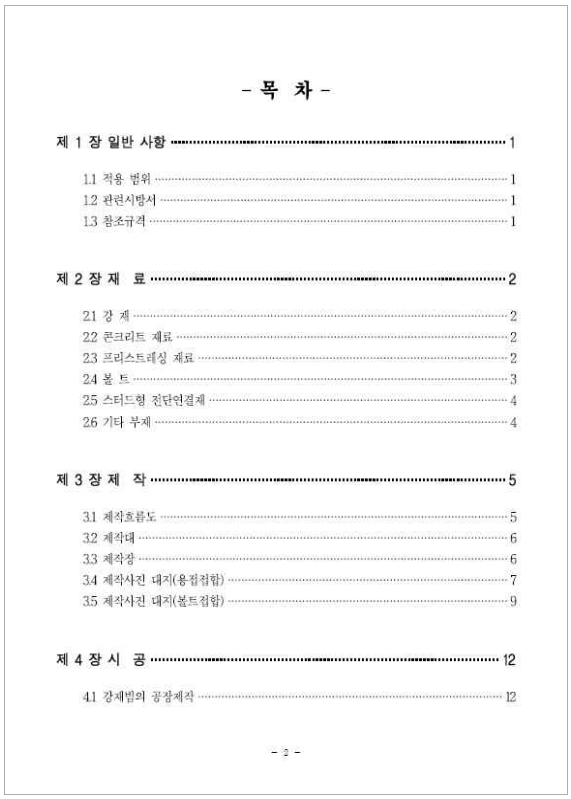


계림본부-17-02

경량 Precom 거더
시공지침(안)

2017

(주)삼현피에프



- 목 차 -

제 1 장 일반 사항 1

1.1 적용 범위 1
1.2 관련시방서 1
1.3 참조규격 1

제 2 장 재 료 2

2.1 강 재 2
2.2 콘크리트 재료 2
2.3 프리스트레싱 재료 2
2.4 볼 트 3
2.5 스터드형 전단연결재 4
2.6 기타 부재 4

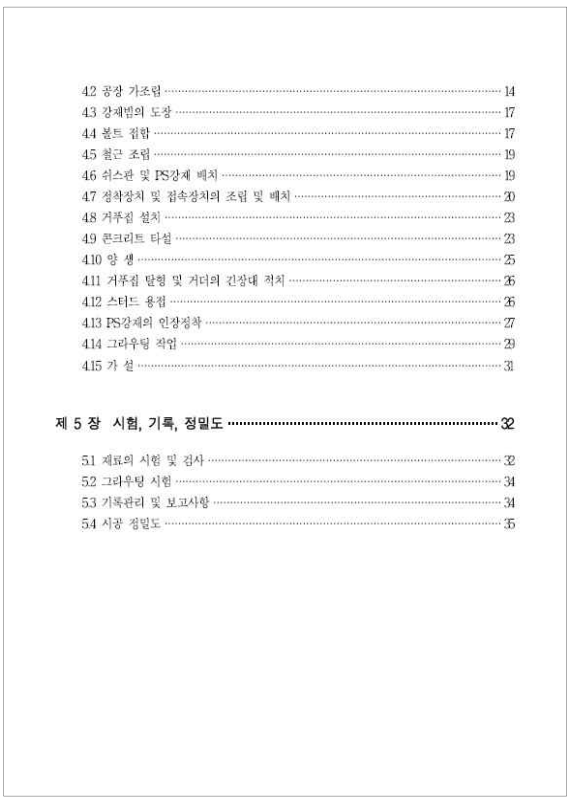
제 3 장 제 작 5

3.1 제작흐름도 5
3.2 제작대 6
3.3 제작장 6
3.4 제작사진 대지(용접접합) 7
3.5 제작사진 대지(볼트접합) 9

제 4 장 시 공 12

4.1 강재빔의 공장제작 12

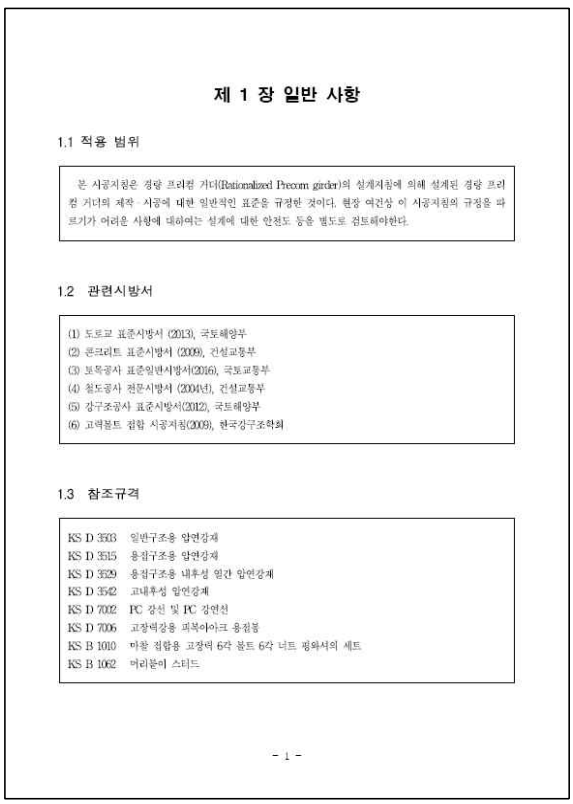
- 2 -



4.2 공장 가조립 14
4.3 강재빔의 도장 17
4.4 볼트 접합 17
4.5 철근 조립 19
4.6 쉬스관 및 PS강재 배치 19
4.7 정착장치 및 접속장치의 조립 및 배치 20
4.8 거푸집 설치 23
4.9 콘크리트 타설 23
4.10 양 생 25
4.11 거푸집 탈형 및 거더의 긴장대 적치 26
4.12 스터드 용접 26
4.13 PS강재의 인장정착 27
4.14 그라우팅 작업 29
4.15 가 설 31

제 5 장 시험, 기록, 정밀도 32

5.1 재료의 시험 및 검사 32
5.2 그라우팅 시험 34
5.3 기록관리 및 보고사항 34
5.4 시공 정밀도 35



제 1 장 일반 사항

1.1 적용 범위

본 시공지침은 경량 프리캐스트 거더(Rationalized Precom girder)의 설계지침에 의해 설계된 경량 프리캐스트 거더의 제작, 시공에 대한 일반적인 표준을 규정한 것이다. 현장 여건상 이 시공지침의 규정을 따르기가 어려운 사항에 대하여는 설계에 대한 안전도 등을 별도로 검토해야한다.

1.2 관련시방서

(1) 도로교 표준시방서 (2013), 국토해양부
(2) 콘크리트 표준시방서 (2009), 건설교통부
(3) 토목공사 표준일반시방서(2016), 국토교통부
(4) 철도공사 전문시방서 (2004년), 건설교통부
(5) 강구조공사 표준시방서(2012), 국토해양부
(6) 고력볼트 접합 시공지침(2009), 한국강구조학회

1.3 참조규격

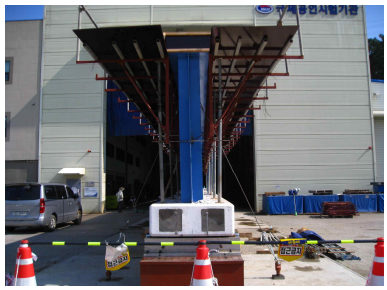
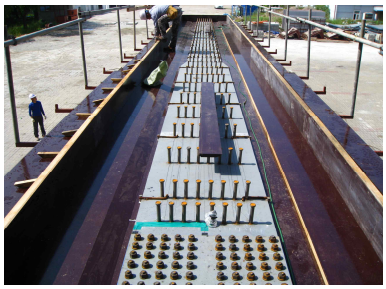
KS D 3503 일반구조용 압연강재
KS D 3515 용접구조용 압연강재
KS D 3529 용접구조용 내후성 열간 압연강재
KS D 3542 고내후성 압연강재
KS D 7002 PC 강선 및 PC 강연선
KS D 7006 고장력강용 피복아아크 용접봉
KS B 1010 마찰 접합용 고장력 6각 볼트 6각 너트 평와셔의 세트
KS B 1062 머리붙이 스터드

- 1 -

다. 거더 제작 개선안

No.	사진대지	문제점 및 개선안
1		• 플랜지-복부판과의 직각도 • 보강재 용접에 따른 복부판 열변형 ☞ 강재빔 제작성을 고려한 복부판 두께 적용
2		• 가조립 전 볼트 천공 • 볼트구멍 표준시방서에 명시되지 않은 크기 적용 ☞ 스플라이스 볼트천공 후 가조립하면서 강재빔에 천공위치 표기
3		• 인서트 플레이트로 인한 운반시 자립 곤란 ☞ 인서트 플레이트 현장에서 볼트 연결
4		• 스티프너 결합 홀 부재 ☞ 지점부 보강재에 결합 홀을 마련하여 그대로 매달기
5		• 일률적인 도장 경계 미비 • 스터럽 태그용접에 의한 도장 손상 ☞ 도장에 대한 관리 철저
6		• 타설시 몰탈 얼룩 ☞ 타설 중 도장 보호 위한 비닐 등 구비
7		• 지점부 보강재 수평보강판 케이싱 상면과 불일치 ☞ 제작 도면에 대한 숙지 요구

라. 바닥판 공정일수의 산술적 추정

8월 28일 (1일)	8월 31일 ~ 9월 1일 (2일)	9월 2일 (1일)
		
① 크레인 인양, 지점가설	② 까치발 설치	③ 합판거푸집 하면조립
9월 3일 (1일)	9월 4일 ~ 9월 5일 (2일)	9월 6일 (1일)
		
④ 합판거푸집 측면조립	⑤ 철근 배근	⑥ 콘크리트 타설

○ 시험체는 폭 10.9m인 복선철도교로 설계된 것으로 빔중심간격 2m임을 감안할 때 시험체의 바닥판 제작일수를 아래와 같이 산술적으로 추정(동일 조건의 일반 Precom 실험체 바닥판 제작일수와 비교)

공 정	수 량		제작일수	
	기존공법	사업화기술	기존공법(추정)	사업화기술
빔가설/지점거치	5본	5본	1일	1일
복부철근배근	2.9톤	-	1.3일	-
거푸집 조립	344m^2	85m^2	8일	4일
바닥판철근배근	4.0톤	4.4톤	1.8일	2일
콘크리트타설	74m^3	31m^3	1일	1일
합 계			**13.1일**	**8일**

○ 현실적인 반영을 위해 기존 공법 거푸집 조립 일수에 2를 나누었다. 그 이유는 복부거푸집의 경우 동바리를 설치하여 중력을 지지하는 수평거푸집이 아니기 때문에 작업일수가 줄이는 것이 가능하고, 콘크리트 타설의 경우 실제로 1일 내에 타설이 가능한 양이기 때문에 값을 조정

○ 교량 전체 작업 분까지 산술적으로 추정할 수 없으나 추세는 유사할 것으로 평가

5. 공사비 분석

가. 철도교 50m 교량 설계 공사비 비교 및 분석

(1) 구조물 물량 비교 및 분석

구 분		기존 공법	사업화 기술	비 고
강재량	대 형	40.211 tonf	29.614 tonf	
	소 형	1.152 tonf	6.808 tonf	
	Σ	41.363 tonf	36.422 tonf	12% ▼
콘크리트	바닥판	74.451 m^3	30.875 m^3	
	케이싱	35.679 m^3	32.435 m^3	
	Σ	110.13 m^3	63.31 m^3	43% ▼
철 근	바닥판	6.913 tonf	4.272 tonf	
	케이싱	3.768 tonf	3.503 tonf	
	Σ	10.681 tonf	7.775 tonf	27% ▼
PS강연선		4.355 tonf	3.761 tonf	14% ▼

- 총강재량 중 수직·수평보강재나 스플라이스와 같은 소형부재의 비율이 20% 차지
- 소형부재 증가량 보다 대형부재 절감량이 더 큼. ☞ 고정하중 감소 효과의 결과
- 보강재가 상대적으로 작게 배치되는 도로교에서 강재량이 더 절감될 것으로 평가
- 철근량이나 콘크리트량은 바닥판에서 매우 크게 절약
- 경간장 증가에 따라 형고도 증가하므로 바닥판 물량 감소 추세도 동일할 것임.

(2) 상부 직접공사비 비교 및 분석

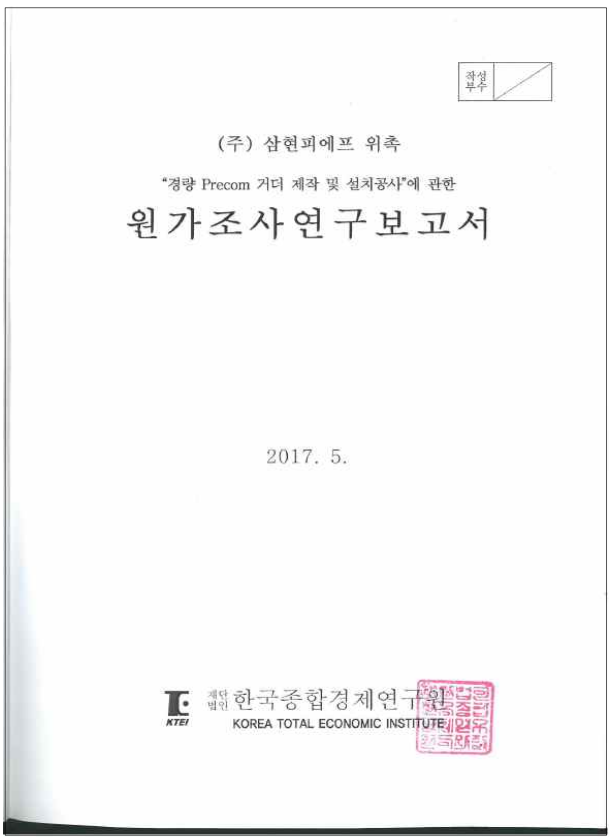
구 분		기존 공법	사업화 기술	비 고
거 더 (원/본)	자재비	63,281,000	47,425,000	
	제작비	63,878,000	65,666,000	
	가설비	2,778,000	2,573,000	
	Σ	129,937,000	115,664,000	
단위면적당 공사비(원/m^2)	① 거 더	1,192,083	1,061,138	11% ▼
	② 슬래브	350,000	240,000	31% ▼
① + ②		1,542,083	1,301,138	16% ▼

- 다수의 보강재로 용접량이 증가하고 기존 공법에 없는 도장비 항목이 추가되면서 제작비가 높게 산출되나 자재비에서 큰 폭으로 감소
- 슬래브 제작공정이 간소화 되어 제작 투입 비용 절감

☞ 거더는 자재비가, 상부 슬래브는 자재비+제작비가 가격 경쟁력을 높이는 핵심요소

나. 도로교 70m 교량 공사비 비교

○ 교폭 12.6m, 교량길이 70m인 경량 Precom 도로교 설계 1식에 대한 예정원가산정 용역을 실시하여 공사비를 알아보고자 함. 용역은 재단법인 한국종합경제연구원에서 수행, 2017년 5월 기준 공사비임.



작성부수

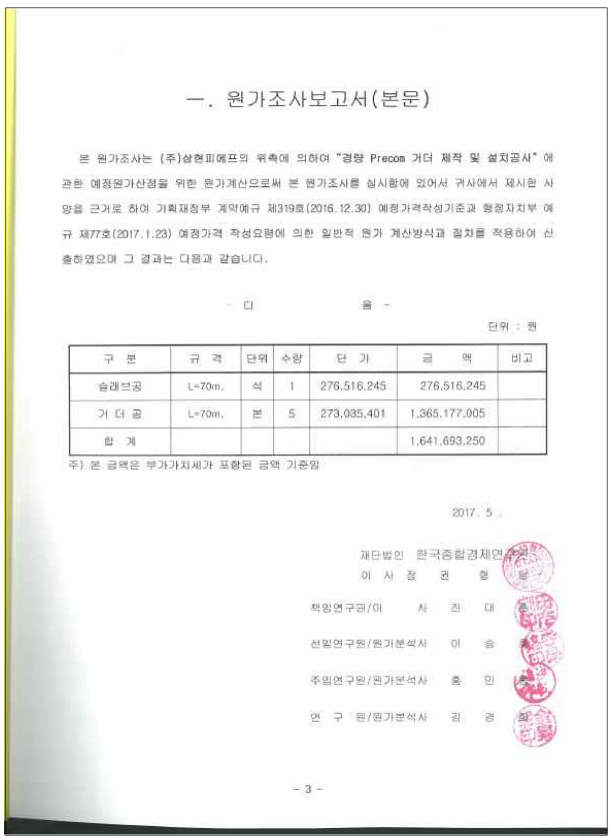
(주) 삼현피에프 위촉

"경량 Precom 거더 제작 및 설치공사"에 관한

원가조사연구보고서

2017. 5.

재단법인 한국종합경제연구원
KOREA TOTAL ECONOMIC INSTITUTE



一. 원가조사보고서(본문)

본 원가조사는 (주)삼현피에프의 위촉에 의하여 "경량 Precom 거더 제작 및 설치공사" 에 관한 예정원가산정을 위한 원가계산으로써 본 원가조사를 실시함에 있어서 귀사에서 제시한 사양을 근거로 하여 기획재정부 계약예규 제319호(2016.12.30) 예정가격작성기준과 행정자치부 예규 제77호(2017.1.23) 예정가격 작성요령에 의한 일반적 원가 계산방식과 절차를 적용하여 산출하였으며 그 결과는 다음과 같습니다.

- 다 음 -

단위 : 원

구 분	규 격	단위	수량	단 가	금 액	비고
슬래브공	L=70m,	식	1	276,516,245	276,516,245	
거 더 공	L=70m,	본	5	273,035,401	1,365,177,005	
합 계					1,641,693,250	

주) 본 금액은 부가가치세가 포함된 금액 기준임

2017. 5.

재단법인 한국종합경제연구원
이 사 장 관 철 [illegible]

책임연구원/이 사 진 대 [illegible]
선임연구원/원가분석사 이 송 [illegible]
주임연구원/원가분석사 홍 민 [illegible]
연 구 원/원가분석사 김 경 [illegible]

- 3 -

○ 경량 Precom 도로교 70m 거더 제작 및 설치공사에 관한 예정원가산정을 위한 원가계산을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻음.

구 분	규 격	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
슬래브공	B=12.6m, L=70m	식	1	276,516,245	276,516,245	
거 더 공	L=70m	본	5	273,035,401	1,365,177,005	
합 계					1,641,693,250	

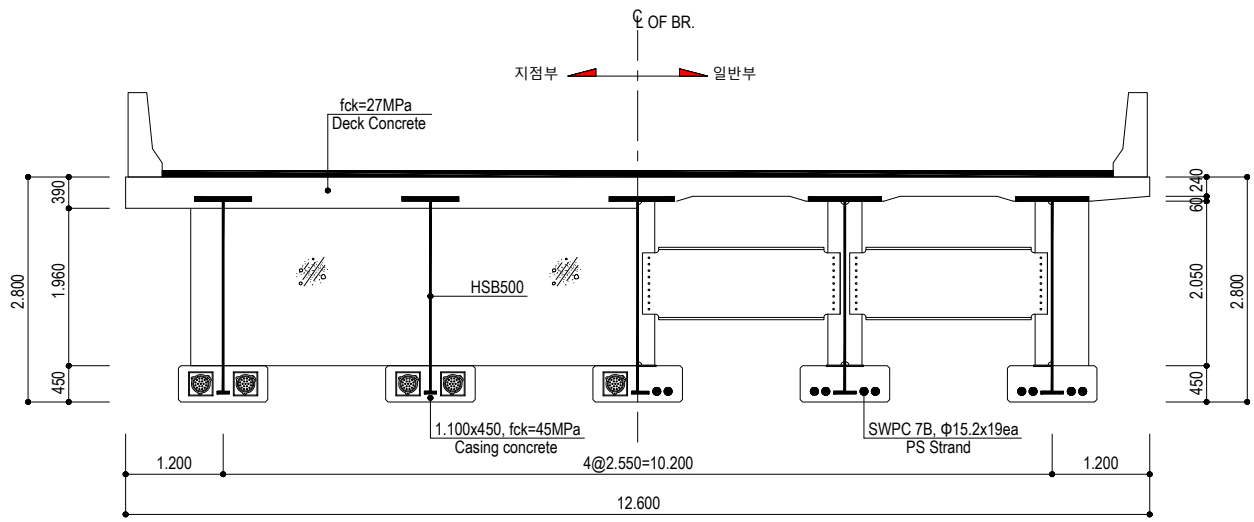
※ 상기 금액은 부가가치세가 포함된 금액 기준

○ 부가세와 간접비를 제외하고 직접공사비만 추출하면 다음과 같이 산정됨.

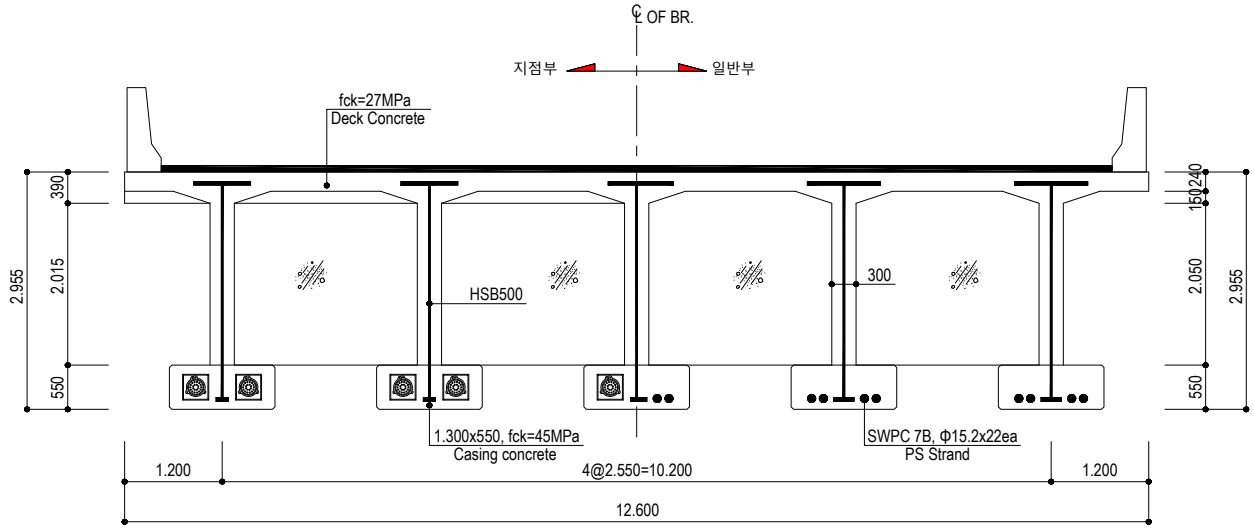
- 거더 본당 178,040,000원
- 거더 면적당 1,010천원
- 슬래브공 면적당 190천원

구 분	규 격	단 위	수 량	재료비	노무비	경 비	합 계
슬래브공	B=12.6m, L=70m	식	1	66,009,989	103,784,234	460,014	170,254,237
거 더 공	L=70m	본	5	387,797,010	361,220,670	141,180,360	890,198,040
합 계							1,060,452,277

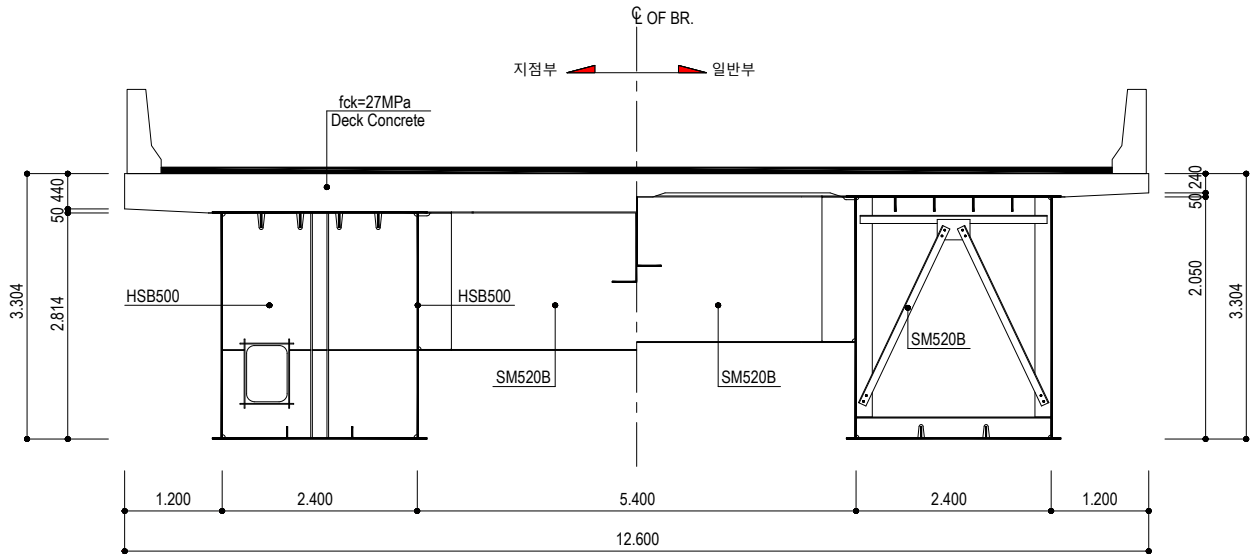
○ 동일 조건으로 강박스 거더와 일반 Precom 거더 설계를 실시하여 공사비를 비교. 강박스 거더는 해당 경간에서 가장 많이 시공된 공법이기 때문에, 일반 Precom 거더는 경제성 효과를 직접적으로 비교하기 위해 비교 모델로 선정함. 교량 횡단면도는 아래 그림과 같음.



▲ 경량 Precom 거더



▲ 일반 Precom 거더

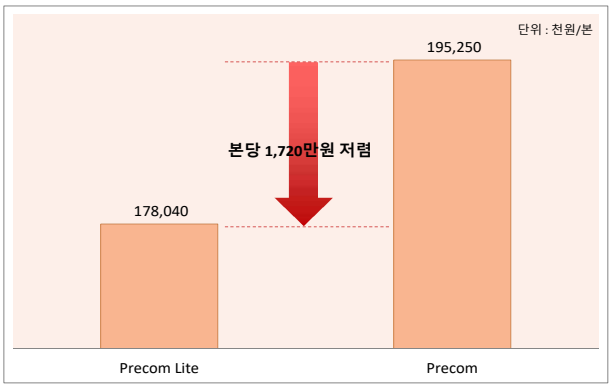


▲ 강박스 거더

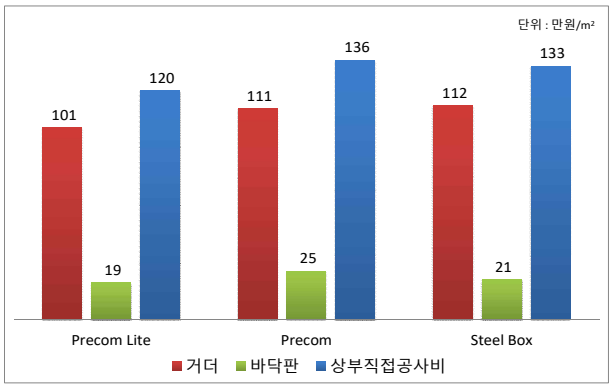
구 분		경량 Precom 거더		일반 Precom 거더		강박스 거더	
		바닥판	거 더	바닥판	거 더	바닥판	거 더
		1식	5본	1식	5본	1식	2본
직접공사비	재료비	66,009,989	387,797,010	96,033,540	488,000,390	78,716,016	375,109,290
	노무비	103,784,234	361,220,670	126,468,499	328,919,470	104,519,421	389,381,922
	경 비	460,014	141,180,360	1,785,000	159,346,085	1,487,499	225,501,152
	Σ	170,254,237	890,198,040	224,287,039	976,265,945	184,722,936	989,992,364
면적당 공사비(원/m^2)		193,000	1,009,000	254,000	1,107,000	209,000	1,122,000
상부 직접공사비(원/m^2)		1,202,000		1,357,000		1,331,000	
거더 본당 공사비(원)		178,040,000		195,250,000		495,000,000	

○ 일반 Precom 거더는 70m가 넘으면 복부와 가로보 콘크리트 하중이 단면강성에 비해 매우 커져 형고와 강재 단면이 증대하고, 프리스트레스 도입력도 커져 케이싱 콘크리트 단면도 증가

- 일반 Precom 거더 수량 증가로 경량 Precom 보다 본당 1,700만원 상승.
- 일반 Precom 면적당 바닥판 공사비는 경량 Precom 61만원/m^2, 강박스 거더 45만원/m^2 더 소요
  ☞ 70m에서 일반 Precom 거더 가격 경쟁력 약하므로 경량 Precom 거더 대체 필요
- 경량 Precom 거더는 강박스 거더 보다 약 10% 공사비 절감. 바닥판 제작비도 조금 작은 수준
  ☞ 70m 교량시장에서 가장 많이 시공되는 강박스 거더 보다 경제적
  ☞ 바닥판 시공성도 동등한 수준이므로 경량 Precom 거더가 70m 경간에 가장 적합한 형식



▲ 거더 본당 공사비



▲ m^2당 공사비

다. 실교량 시공순서에 따른 경제성 비교

○ 고속도로상 9본이 설치되는 도로교 실교량(B=22.9m, L=56m)의 시공순서에 따른 공사비를 비교하여 표로 정리하였음. 단계별로는 제작 및 시공비 내역을 산출하고, 최종 집계시 자재비 포함.

구 분	시 공	일반 Precom	경량 Precom	비 고
단계 1 (공장제작)		■ 강재빔 제작 •중량=41.2ton/본 Σ 제작비=36,005만원	■ 강재빔 제작 •중량=36.4ton/본 Σ 제작비=31,810만원	
단계 2 (현장운반)		■ 현장 반입 •중량=41.2ton/본 Σ 운반비=3,864만원	■ 현장반입 •중량=36.4ton/본 Σ 운반비=3,840만원	

구 분	시 공	일반 Precom	경량 Precom	비 고
단계 3 (용접)		■ 현장 용접 •개소=4 개소 Σ 용접비=단계1 포함	■ 현장 용접 •개소=4 개소 Σ 용접비=단계1 포함	
단계 4 (제작대 거치)		■ 제작대 거치 Σ 거치비=2,968만원	■ 제작대 거치 Σ 거치비=2,968만원	
단계 5 (철근 및 정착구 설치)		■ 케이싱 철근조립 ■ 정착구 설치 Σ 설치비=1,416만원	■ 케이싱 철근조립 ■ 정착구 설치 Σ 설치비=1,416만원	
단계 6 (콘크리트 타설대 이동)		■ 타설대 이동 Σ 이동비=2,848만원	■ 타설대 이동 Σ 이동비=2,848만원	
단계 7 (거푸집 조립)		■ 거푸집 조립 Σ 거푸집=4,480만원	■ 거푸집 조립 Σ 거푸집=4,480만원	
단계 8 (콘크리트 타설)		■ 콘크리트 타설 Σ 타설비=736만원	■ 콘크리트 타설 Σ 타설비=736만원	
단계 9 (증기양생)		■ 콘크리트 양생 Σ 양생비=640만원	■ 콘크리트 양생 Σ 양생비=640만원	

구 분	시 공	일반 Precom	경량 Precom	비 고
단계 10 (거푸집 탈형, 긴장대 이동)		■ 거푸집 탈형 ■ 긴장대 이동 Σ 시공비=1,976만원	■ 거푸집 탈형 ■ 긴장대 이동 Σ 시공비=1,976만원	
단계 11 (긴장대 적치)		■ 긴장대 적치 Σ 시공비=단계10포함	■ 긴장대 적치 Σ 시공비=단계10포함	
단계 12 (긴장)		■ 긴장력 도입 Σ 긴장비=224만원	■ 긴장력 도입 Σ 긴장비=224만원	
단계 13 (그라우팅 마감)		■ 그라우팅 마감 Σ 시공비=480만원	■ 그라우팅 마감 Σ 시공비=480만원	
단계 14 (도장)		해당없음.	■ 강재 도장(세라믹) Σ 시공비=5,268만원	
단계 15 (가설)		■ 거더 가설 •중량=102ton/본 Σ 가설비=2,056만원	■ 거더 가설 •중량=99ton/본 Σ 가설비=2,020만원	
단계 16 (복부철근 조립)		■ 복부철근 조립(복잡) Σ 시공비=618만원	■ LB Deck 시공 Σ 시공비=7,090만원	고소작업위험 장비추락위험

구 분	시 공	일반 Precom	경량 Precom	비 고
단계 17 (복부 거푸집 설치)		■ 거푸집 설치(1회) Σ 시공비=5,708만원	해당없음.	고소작업위험 장비추락위험
단계 18 (가로보 철근 조립)		■ 가로보철근 배근(복잡) Σ 시공비=403만원	해당없음.	고소작업위험 장비추락위험
단계 19 (가보로 거푸집 설치)		■ 거푸집 설치(1회) Σ 시공비=1,440만원	해당없음.	고소작업위험 장비추락위험
단계 20 (동바리 설치)		■ 동바리 설치 Σ 시공비=5,284만원	해당없음.	
단계 21 (상부 거푸집 설치)		■ 슬래브거푸집설치(3회) Σ 시공비=2,006만원	■ 슬래브거푸집설치(3회) Σ 시공비=397만원	
단계 22 (상부 슬래브 철근 조립)		■ 슬래브철근 조립(보통) Σ 시공비=1,507만원	■ 슬래브철근 조립(보통) Σ 시공비=2,161만원	
단계 23 (상부 슬래브 타설)		■ 슬래브 타설 Σ 시공비=559만원	■ 슬래브 타설 Σ 시공비=240만원	

구 분	일반 Precom	경량 Precom	비 고
상부순공사비	129,191만원 (108만원/m^2)	116,751만원 (98만원/m^2)	자재비 포함된 합계
상부총공사비	193,786만원 (163만원/m^2)	175,127만원 (147만원/m^2)	

○ 경량 Precom이 부부재 제작비와 도장비(세라믹)의 추가로 거더제작 단계에서는 경제성이 크게 나타나지 않았으나 최종 단계에서는 총자재비 5,700만원(11%)과 슬래브 시공비 7,600만원(44%)가 절감됨. 결과적으로 상부순공사비 m^2당 10만원 더 경제적이고, 프리캐스트 패널(LB Deck) 적용으로 1/3 공기단축 효과를 감안하는 경우, 실질적인 경제적 효과는 더 클 것이라 판단.

☞ 고가의 세라믹 도장 적용에도 상부공사비 9.3% 절감. 일반 도장 적용시 10% 이상 가능하며 내후성강 적용시 공사비 보다 더 절감 가능

○ 해당 교량은 컨테이너 대형트럭 통행량이 많은 고속도로를 횡단하도록 가설 계획됨. 따라서 부대시설 및 거푸집·동바리 설치시 작업자와 통행차량의 안전성이 저해될 소지가 크고, 낙하물 추락에 의한 2차 사고 우려가 커서, 기존 Precom 거더를 프리캐스트 패널 적용이 가능한 경량 Precom 거더로 대체. 공법 적용성을 검토하는 단계에서 사고에 따르는 사회적 비용까지 고려하여 경량 Precom 거더를 적용.

6. 공법 비교

가. 공법별 적용경간

○ 가장 경쟁이 심한 경간은 45~55m 구간임. 최근 재료와 제작 부문의 기술 발달로 계열간 적용 경간장의 구분이 과거와 다르게 명확하지 않음. PSC빔 계열은 개량형 공법이라도 50m 이상 넘지 못하는 것이 일반적인 사례였으나 고강도 콘크리트, 고강도 강연선 및 정착장치 개발에 힘입어 60m까지 가능하게 되었음. 또한 공장 프리캐스트 제작을 통해 품질이 매우 향상되었고 분절제작이 가능할 정도로 시공기술도 정교해졌음. 그러나 무거운 가설 중량 한계는 극복하지 못하고 여전히 가설 현황 제약을 크게 받아 70m까지 일반화되기는 현재까지 무리라 판단됨.

○ 프리스트레스트 강합성 거더 계열의 경우 경간장 40~50m 시장에서 PSC빔 계열에 비해 적용성이 좋아 많은 실적을 확보하고 있었으나 PSC빔 계열의 50m 시공이 보편화 되면서 가격경쟁력이 떨어지는 현상이 나타남. PSC빔 계열에 비해서는 여전히 형고비에서 강점이 있기 때문에 경간장을 60m까지 확장하여 시장 경쟁력을 확보하고 있음.

○ 강박스거더나 소수주거더와 같은 합성거더 계열에서는 2010년 즈음 개량형 공법이 개발되어 적용

경간이 120m까지 가능한 교량도 나타남. 그러나 연속교에서 크게 강점이 있기 때문에 단순교로서는 프리스트레스트 강합성 거더 계열이 여전히 선호되고 있음.

경간장		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
PSC빔 계열	EX			●	●	●	●	●	●	●									
	IPC3.0		●	●	●	●	●	●	●										
	Bicon	●	●	●	●	●	●	●											
	Segbeam			●	●	●	●	●	●	●									
	PSC e-beam		●	●	●	●	●	●	●	●									
	DR	●	●	●	●	●	●	●	●										
	WPC			●	●	●	●	●	●										
	Nodular				●	●	●	●	●	●									
프리스트레스트 강합성 거더 계열	Preflex	●	●	●	●	●	●	●											
	Precom	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
	Precom Lite							●	●	●	●	●							
	MSP	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
	RPF	●	●	●	●	●	●	●	●										
	Up-down Preflex	●	●	●	●	●	●	●											
합성 거더 계열	Steel Box						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
	Plate Girder					●	●	●	●	●									
	HD Box					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
	PUS					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	DCB							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	~120
	PCT							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	SBarch							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	~120
Σ		7	9	12	13	16	17	21	18	14	7	7	6	6	6	6	4	4	
Rank		9	8	7	6	4	3	1	2	5	9	9	10	10	10	10	11	11	

나. 공법 비교표

○ 경간장 60m에 대해 PSC빔 계열에서는 Segbeam, 합성거더 계열에서는 SBarch거더로 공법을 비교.

○ 콘크리트를 주재료로 사용하는 Segbeam이 가장 저렴. 형고가 높고 가설중량이 무거워 60m가 가능하다해도 현장적용성은 경량 Precom 거더나 SBarch 거더 보다 떨어질 수 있음.

○ 강교의 특성이 많은 SBarch 거더는 강박스 거더와 마찬가지로 50~70m 같은 중소경간 보다는 장경간 또는 곡선교 적용시 경쟁력이 있고 최근 ILM 공법의 적용에 따라 고소교량에서 강점이 있을 것이라 판단됨. 60m 교량 시장에서 나머지 두 계열 거더 보다 고가인 것으로 나타났고, 고공에서의 아치 콘크리트 타설·양생 공정은 위험공정이기 때문에 시공성 및 안전성 측면에서는 경량 Precom 거더가 우수

○ 미관에 있어서 Segbeam은 투박하고, SBarch 거더는 구조적 특징인 I형 거더와 아치의 혼합이 도심지에서 시각적으로 빽빽하고 복잡해 보이는 단점이 있음.

구 분		경량 Precom 거더	Segbeam	SBarch 거더
공법사진				
공법개요		케이싱 콘크리트의 무응력 상태를 유지할 수 있는 제작 방법을 가지고, 텐던배치를 효율적으로 한 Precom거더의 복부 콘크리트를 제거하여 시공성을 증진 시킨 개선 공법	공장에서 접합블록을 가지는 분절제작 I형 세그멘트를 현장운반후 신속한 조립·가설이 가능한 PSC거더	교축방향으로 아치형상을 따라 콘크리트를 채운 개구박스단면과 개구박스단면 아래에 ㄴ형단면을 결합하여 처짐과 비틀림에 유리하도록 만든 합성 거더
주요제작 공정		 ①공장제작  ②케이싱제작  ③타설/증기양생  ④긴장력도입	 ①공장제작  ②현장운반  ③세그결합  ④긴장력도입	 ①공장제작  ②세그결합  ③거더가설  ④아치타설
형고(바닥판포함) ※L=60m기준		2.50m	2.74m	2.64m
거더공사비		91만원/m^2	87만원/m^2	98만원/m^2
적용경간장 ※도로교기준		50~70m	30~60m	50~120m
공법특징	시공성	• 신속하고 효율적인 공정 : 60m기준 2.5일/본 • 복부단면 개선으로 바닥판 시공 간단 • PSC빔에 비해 가설중량이 작아 현장 가설 계획이 용이 • 간편한 강가로보 연결 시공 • 고(高)교각시 런칭크레인 활용 가능	• 현장에서 세그멘트 결합과 긴장력 도입으로 간단히 제작 완료 • 가설중량 커서 현장 가설여건에 제약 • 고(高)교각시 런칭크레인 활용 가능	• 가설중량 작아 현장 가설계획이 용이 • 아치 콘크리트를 고공에서 타설·양생함에 따라 시공성 및 안전성 저하 • 아치 콘크리트 양생 후 바닥판 타설해야 하므로 공기 2배 • 고(高)교각시 ILM 공법 활용 가능
	경제성	• 거더공사비는 PSC빔 계열 보다 4만원/m^2 더 비싸고, 합성거더 계열 보다는 7만원/m^2 저렴 • 경간장 50m 이상에서 일반적인 프리스트레스트 강합성거더 계열 중 가장 저렴하며 내후성강 적용시 공사비 절감 효과 더 크게 나타남	• 콘크리트 재료로 공사비 가장 저렴 • 대량 생산은 경제성이 좋으나 소량 생산은 경제성 저하 • 운반비가 높게 발생	• 프리스트레스트 강합성 거더 계열 보다 보다 면적당 7.7% 더 고가 • 고가의 강재 사용과 복잡한 단면에 따른 용접량이 많아 공사비 고가 • 중소경간 단순교 보다 장경간 연속교에서 경제적
	기능성	• 연속교시 거더 연속구조 가능 • 가장 낮은 형고 구현 • 도심이 낮아 전도에 안전 • 프리캐스트 전두께 바닥판 설치 가능	• 적시성 우수 • 제작장 확보 어려운 도심지에 최적 • 높은 형고로 전도 불안정 • 슬래브 연속으로 거더 불연속 • 프리캐스트 전두께 바닥판 설치 불가	• 개단면 거더에 비해 비틀림강성이 우수하여 곡선교 가능 • 연속교시 거더 연속구조 가능 • 형고 높고 도심이 높아 전도 불안정 • 프리캐스트 전두께 바닥판 설치 가능
	구 조 안전성	• 비균열등급 설계 • 장기적치에도 응력 무손실 • 고정정착구 활용한 텐던배치로 큰 긴장력에도 단부 과압축 • 5회 이상의 구조성능 평가를 통해 충분한 구조적 안전성 검증 : 이론과의 일치, 예측 가능한 거동	• 고강도콘크리트(f_{ck}=70MPa) 적용으로 큰 긴장력 도입에도 정착부 안전 • 비균열등급 설계 • 실험으로 검증된 접합상세 • 프리캐스트 제품으로 재료품질 양호	• 구조 거동이 복잡 • 강재와 바닥판·아치 콘크리트의 이중 합성단면에 따른 장기거동 영향을 정확한 고려 어려움
	유 지 관 리	• 정기적 보수도장 필요 • 받침수 소량 : 교각 1개 당 1개소	• 비부착텐던이 없어 유지관리 불리 • 중간지점 상 포장 반사균열 우려 • 받침수 다수 : 교각 1개 당 2개소	• 정기적 보수도장 필요 • 아치 콘크리트 결함 확인 불가 • 받침수 소량 : 교각 1개 당 1개소
	미 관	• 경관에 어울리는 색채 적용 • 투박하지 않고 단순하고 슬림한 외관	• 경관을 고려한 색채 적용 곤란 • 투박한 외관	• 경관에 어울리는 색채 적용 • 아치 혼합으로 복잡한 외관

제 3 절 케이싱 분절부 상세 개발

1. 분절제작 개요

○ 분절제작 방식이란 공장에서 미리 제작된 단위부재를 현장으로 운반하여 현장에서 일체화하는 제작 방식을 말하며 아래와 같은 특징이 있음.

장 점	단 점
• 신속한 현장 투입으로 적시성 향상 • 본수가 많은 경우 제작공정의 회전율 증대 • 고정비(현장공기단축, 인력최소) 절감 • 재료 품질 향상 • 거푸집 비용 절감(거푸집 조절) • 현장 제작장 소규모	• 연결부 성능이 거더 자체 내력을 결정 • 부재 오차 큰 경우 오히려 제작성 저하 • 운반비 증가

○ 장경간 단순교의 경우 그림 3.32의 좌측과 같이 최대 정모멘트 위치를 피해서 분절부를 설치하며 3분절, 5분절, 7분절과 같이 홀수로 세그멘트를 공장 제작하고 현장에서 일체화 시킬 때 적용될 수 있고, 우측처럼 1-shoe 연속교에서 정모멘트거더와 부모멘트거더를 연결하는 위치, 통상 모멘트 변곡점에서 경간 내측으로 조금 들어가는 위치에 설치할 수 있음.

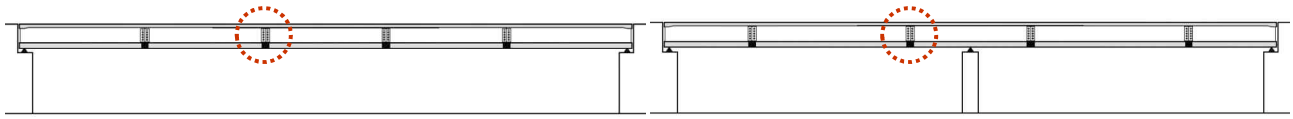
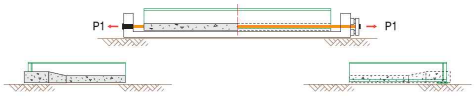
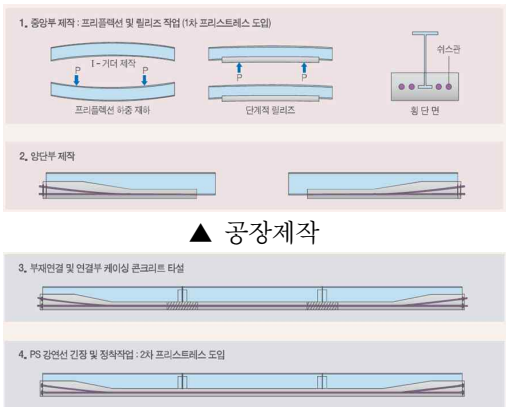


그림 3.32 경간 종류에 따른 분절부 위치

○ 본 연구는 케이싱 분절부의 적절한 이음철근 상세를 마련하고 실험 평가하는 것이 목적이며 휨연결 철근로 국외에서 활발히 적용되고 있는 루프철근 방식을 채용한 상세를 평가하고 함.

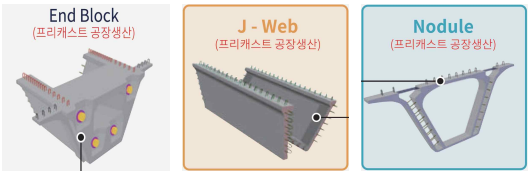
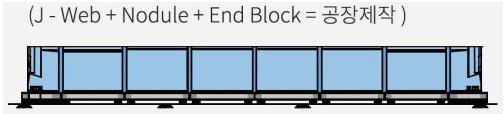
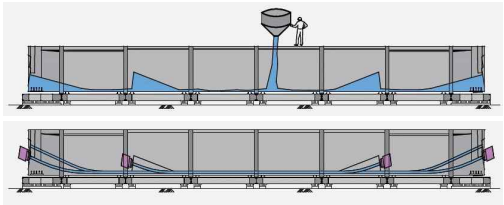
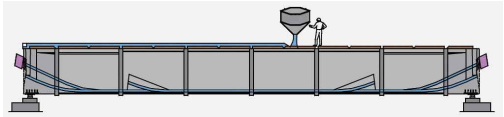
2. 분절제작 기술 조사

(1) 강합성 거더 분절제작 공법

공법명		제작방법
Segcom	 ▲ 공장제작  ▲ 현장제작	① 공장제작 • 가운데 모멘트 구간(=L/2) 1본 합성후 프리텐션 도입 • 양쪽 구간(L/4) 2본 강합성 제작 ② 현장제작 • 강재빔 볼트연결, 케이싱 분절부 현타 • 케이싱 내 덕트로 PS강선 삽입 • 분절부 레미콘 양생후 포스트텐션 도입 ③ 슬래브 철근 연속
DPS Girder	 ▲ 공장제작 ▲ 현장제작	① 공장제작 • 가운데 모멘트 구간 1본 프리플렉션 및 릴리즈 • 양쪽 구간 2본 강합성 제작 ② 현장제작 • 케이싱 내 덕트로 PS강선 삽입 • 포스트텐션 도입 ③ 슬래브 철근 연속  

(2) PSC 거더 분절제작 공법

공법명		제작방법
Segbeam	  ▲ 공장제작   ▲ 현장제작	① 공장제작 • 고강도 접합블록 제작 • 분절거더 제작, 운반 ② 현장제작 • 이음부 접합 시공 • PS강선 삽입 및 긴장력 도입 ③ 슬래브 철근 연속

공법명		제작방법
Nodular Girder	 ▲ 공장제작   ▲ 현장제작  ▲ 가설후제작	① 공장제작 • End Block, J-Web, Nodule 모듈제작 • 현장 운반 ② 현장제작 • 모듈 조립, 이음부 시공, 하부타설 • 1차 긴장(지상) • 프리캐스트패널 설치 • 2차 긴장(고공) 

3. 케이싱 분절부의 실험적 연구

○ 경량 Precom 일체형은 비균열 등급인 완전프리스트레싱(full prestressing) 설계이기 때문에 케이싱 내 종방향 철근은 긴장 전 발생할 수 있는 수축균열을 억제하기 위한 철근과 전단과 사인장에 저항시키기 위한 스터럽이 배치. 분절제작의 경우 케이싱에 신구콘크리트 접합면 존재로 계면에 균열이 집중이 예상. 비균열 등급 설계가 적절한지에 대한 평가가 필요

- 비균열등급 설계 가능 여부
- 균열발생 후 루프철근의 강성 및 강도 영향
- 매립강판면과 타설접합면에 따른 균열폭 제어

가. 실험 변수

○ 케이싱 분절부 철근연결 방법과 접합면 제작 방식을 변수로 함.

- PR-N : 분절부가 없는 실험체로서 분절 실험체의 비교를 위해 제작
- PR-T : 이음철근 역할을 확인하기 위해 제작
- PR-L & PR-DL : 휨 또는 축력을 전달하는 연결부로 흔히 적용되는 루프철근 상세로서 휨강성과 강도의 기여 수준을 평가할 목적으로 제작

- 매립강판면 : 강판을 거푸집으로 활용하면서 분절부 타설시 매립시키는 방법으로, 제작이 간편
- 타설접합면 : 마구리면에서 연장된 루프철근 때문에 거푸집 제작이 까다롭고, 탈형 및 요철형성 등 후속작업이 수반되어 번거롭지만, 설계기준에 있는 상세

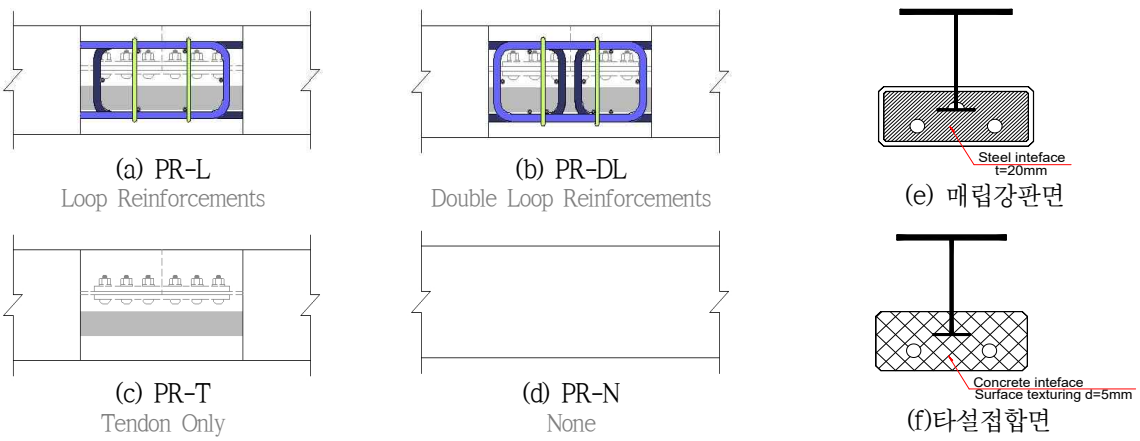


그림 3.33 실험체명과 접합면

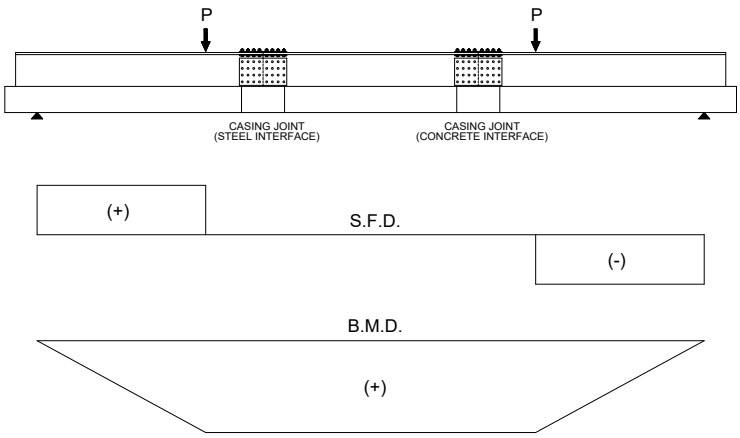


그림 3.34 실험체의 단면력도

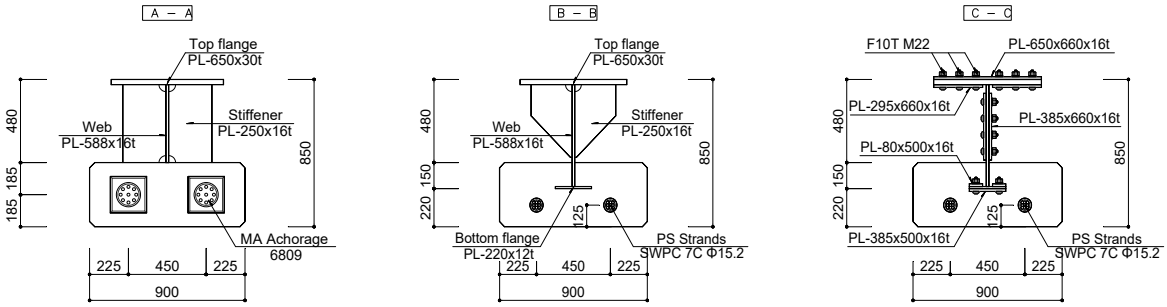
나. 실험체 설계

- 설계지간=9.3m
- 실험체높이=850mm (바닥판 없음)
- 분절길이=3.45+3.0+3.45m : 3분절
- 하중재하점 16T 보강재로 좌굴방지
- 루프이음철근=D19 : 도로교설계기준(한계상태설계)에 따라 최소내면반지름, 겹이음길이 적용
- 초기긴장력 P_i=1,870kN

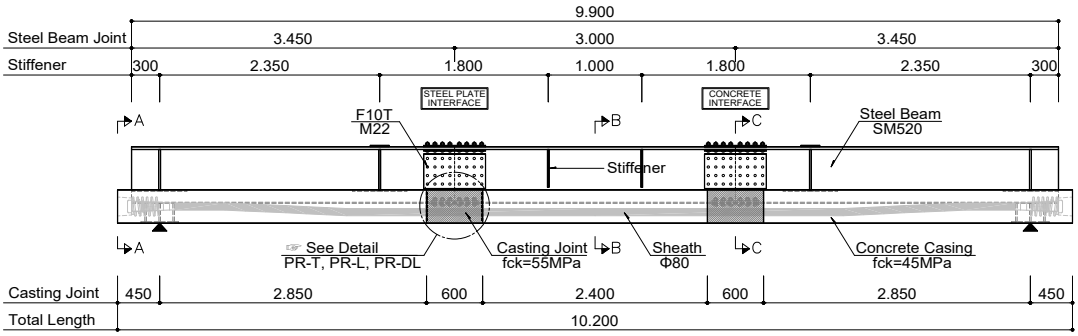
표 3.5 재료 물리상수

구 분		규 격	재료상수		
콘크리트	일반부	25-45-500	설계기준강도, f_{ck}	=	45 MPa
			탄성계수, E_c	=	31,250 MPa
			파괴계수, f_{ru}	=	4.23 MPa
	분절부*	25-55-500	설계기준강도, f_{ck}^*	=	55 MPa
			탄성계수, E_c^*	=	33,184 MPa
			파괴계수, f_{ru}^*	=	4.67 MPa
강 재 (30T,16T,12T)		SM520	인장강도, f_{su}	=	520 MPa
			항복강도, f_{sy}	=	355 MPa
			탄성계수, E_s	=	205,000 MPa
PS강연선 (ϕ15.2)		SWPC 7C	극한강도, f_{pu}	=	2,160 MPa
			항복강도, f_{py}	=	1,840 MPa
			탄성계수, E_p	=	200,000 MPa

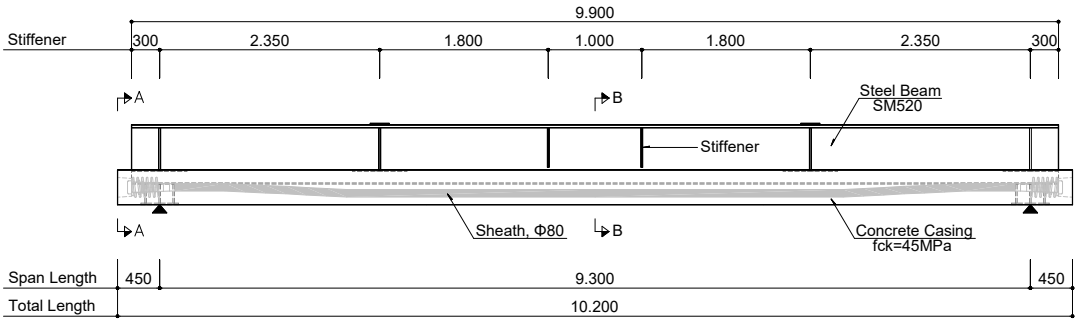
* 분절부 레미콘은 긴장 전 건조수축으로 인한 영향을 최소화하기 위해 보통콘크리트가 아닌 무수축콘크리트를 사용하고, 강도는 일반부의 20% 이상으로 함.



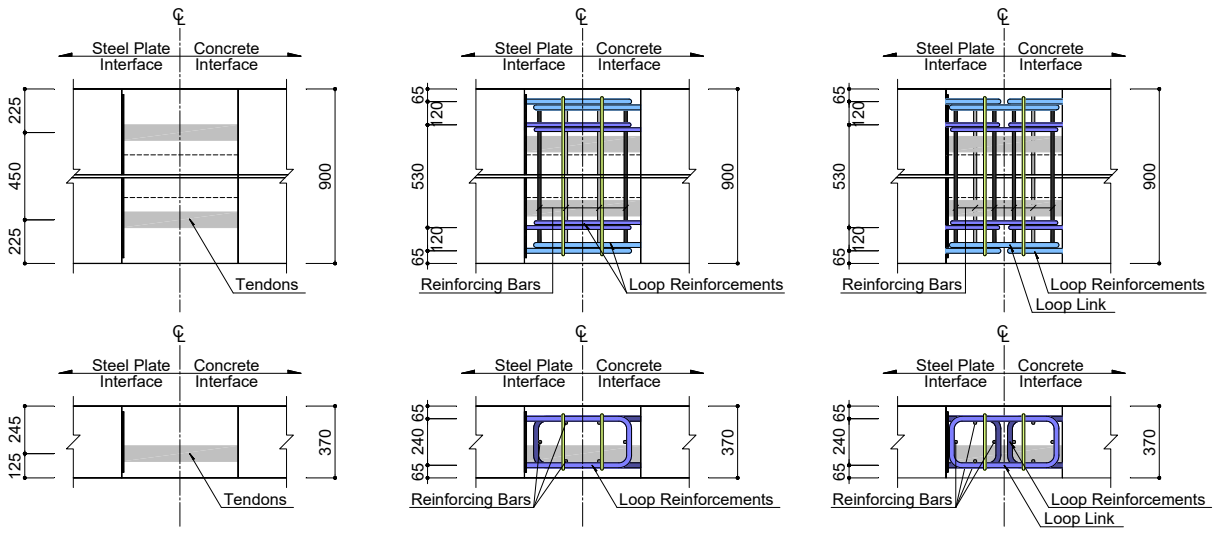
(a) 단 부 (b) 중앙부 (c) 이음부



(d) 종단면도 : PR-T, PR-L, PR-DL



(e) 종단면도 : PR-N

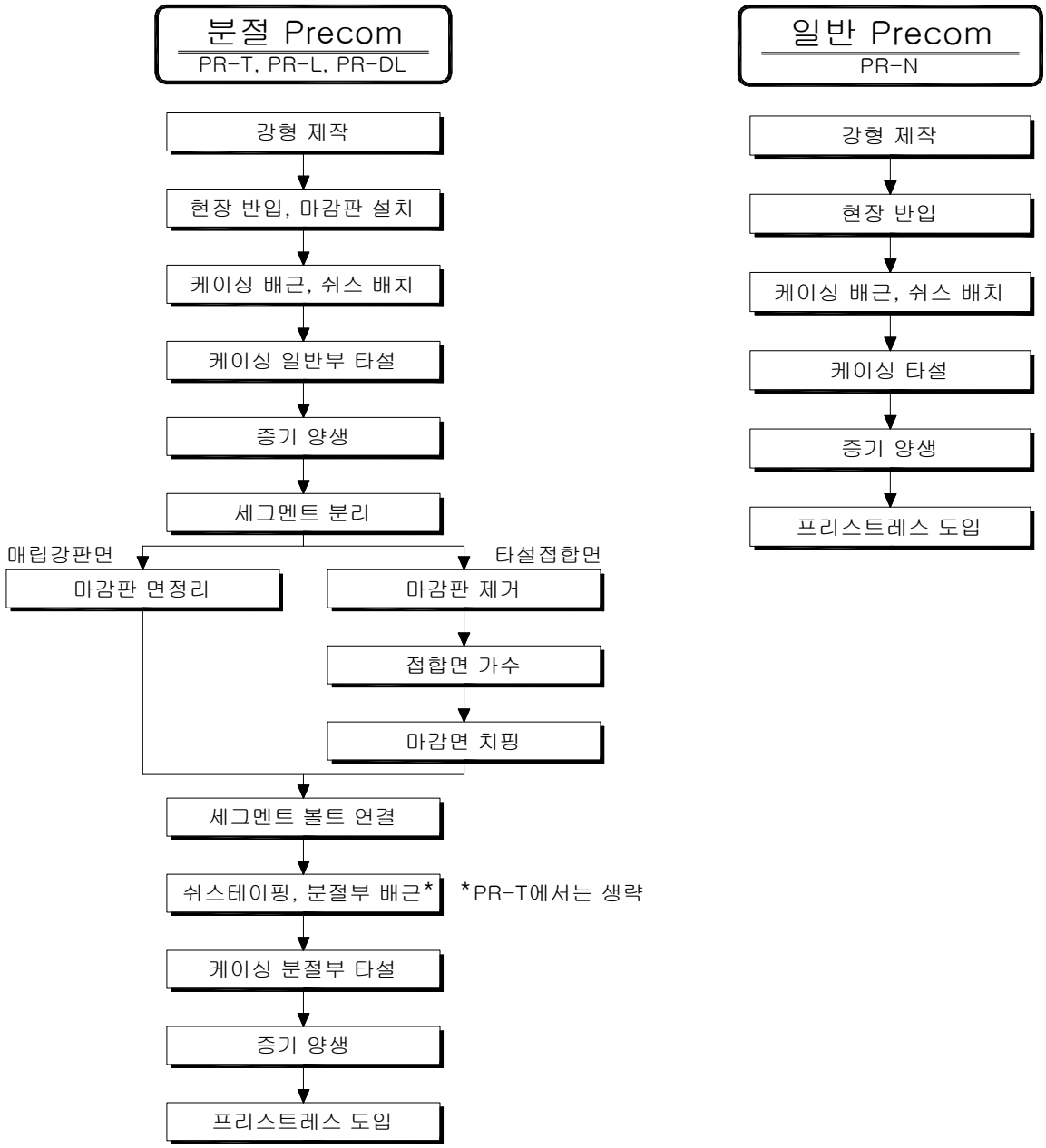


(f) 상세도 : PR-T (g) 상세도 : PR-L (h) 상세도 : PR-DL

그림 3.35 분절부 실험체 제작도

다. 실험체 제작

(1) 실험체 제작흐름도



(2) PR-T 제작공정

		
1. 강형제작	2. 강형 현장반입	3. 케이싱 배근, 쉬스 배치
		
4. 케이싱 일반부 타설	5. 증기양생	6. 분리, 마감면 거푸집 제거
		
7. 마감부 가수(加水)	8. 마감표면 요철작업	9. 볼트 연결
		
10. 쉬스관 테이핑	11. 분절부 거푸집 설치	12. 레미콘 타설
		
13. 분절부 증기양생	14. 거푸집 탈형	15. 프리스트레싱

(3) PR-L & PR-DL 제작공정

		
1. 강형제작	2. 강형 현장반입	3. 케이싱 배근, 쉬스 배치
		
4. 케이싱 일반부 타설	5. 증기양생	6. 분리, 마감면 거푸집 제거
		
7. 마감부 가수(加水)	8. 마감표면 요철작업	9. 볼트 연결
		
10. 쉬스관 테이핑	11. 루프철근 배근	12. 분절부 레미콘 타설
		
13. 분절부 레미콘 증기양생	14. 분절부 거푸집 탈형	15. 프리스트레싱

(4) PR-N 제작공정

		
1. 강형제작	2. 케이싱 배근, 쉬스 배치	3. 케이싱 타설
		
4. 증기양생	5. 거푸집 탈형	6. 프리스트레싱

○ 분절 Precom 공정에서 주안점은 분리된 거더를 볼트 연결할 때의 철근이나 쉬스 간섭 여부와 볼트 연결 후 선형 유지 여부, 루프이음철근과 루프보강철근 배근시 작업성, 마감면 방식에 따른 작업성, 긴장력의 원활한 도입 등임. 기존 콘크리트와 접하는 신규 콘크리트를 타설하기 전에는 건조한 상태의 부착면을 습하게 해주면 부착력이 높아질 수 있기 때문에 분절면에 가수(加水) 하는 작업을 포함시켰고, 그림 3.36 (b)와 같이 계면에 5mm 이상의 요철을 두어 계면 마찰력을 증대시킴.



(a) 매립강판면



(b) 타설접합면

그림 3.36 분절부 마감처리 방식

라. 재료 성질

(1) 콘크리트

○ 2개의 콘크리트 구조체 사이에 타설되는 레미콘에 보통콘크리트를 사용하면 양생 과정에서 수축이 일어나 신구접합면에 경계가 생길 우려가 있음. 긴장력이 도입되는 구조물에서는 긴장 후 계면이 닫히기는 하지만 긴장 도입 전까지 외부 부식물질 침투에 대해서는 무방비가 되어 품질에 문제가 생길 수 있음. 따라서 분절부 콘크리트는 통상적으로 수축을 최소화할 수 있도록 팽창성의 재료를 사용하고, 기존 콘크리트 강도 보다 약 20% 높은 강도 사용



그림 3.37 무수축 그라우트 주입



그림 3.38 공시체 강도시험

- 28일강도는 설계기준강도 보다 일반부는 6.4%, 분절부는 9.8% 상향
- 분절부 강도는 일반부 강도의 26%로서 배합과 타설이 적절
- 긴장력 도입시 케이싱 콘크리트는 일반부와 분절부 둘 다 28일 강도 이상 발현

표 3.6 시방배합표 (kg/m^3)

구 분	시멘트	물	잔골재	굵은골재	혼화제	물결합재비	잔골재율
일반부	530	160	800	1034	7.42		
분절부	560	160	800	1034	6.72	28.6%	44.5%

표 3.7 공시체 강도시험 결과

구 분	설계기준강도	3일강도	28일강도	인장일강도
일반부	45MPa	-	47.9MPa	53.6MPa
분절부	55MPa	34.5MPa	60.4MPa	61.0MPa

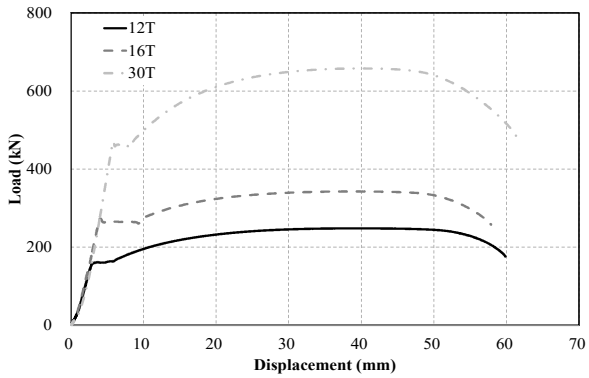
(2) 강 재(KS D 3503)


(a) 시편 12T


(b) 시편 16T


(c) 시편 30T

그림 3.39 강재시편 시험



구 분		12T	16T	30T	평 균
항복강도	시험값	340	410	380	377
	설계값	-			355
인장강도	시험값	525	540	550	538
	설계값	-			520

그림 3.40 강재시편시험 결과

(3) 철근 및 강연선

구 분	공칭단면적 (mm^2)	재료강도 (MPa)		탄성계수 (MPa)	연신율 (%)
		인 장	항 복		
SWPC 7C	140.58	2,182	2,047	216,000	6.9
SD500	D13 : 126.7 D19 : 286.5 D25 : 506.7	635 636 664	542 532 536	200,000	18 16 18

마. 프리스트레스 도입

- 분절부 레미콘 타설 후 27일 째 거더 인장을 실시
- 거더 인장 전 레미콘 강도는 일반부 53.6MPa, 분절부 61MPa
- 쉬스 곡률이 거의 없어 예상신장량 산정시 곡률 및 파상마찰 손실은 무시
- 텐던이 관통되어 있고 거더 길이가 짧아서 긴장단 반대측 정착구에서의 쐐기이동량 6mm 감안
- 오차 ±5%를 고려하여 92~102mm의 범위 내에 들어오도록 50bar 단위로 도입
- 긴장 전 PR-T 부재 분절부에서 육안으로 균열 확인 ☞ 그림 3.41 (b)

표 3.8 긴장작업 데이터

정착구	긴장단
초기 긴장력 (kN)	2,020
항복강도 대비 도입율 (%)	87
Jack 소요 유압 (bar)	397
Jack 실제 유압 (bar)	401
① 계산 총신장량 (mm)	91
② 쐐기 이동량 (mm)	6
①+② 예상 총신장량 (mm)	97(92~102)





(a) PR-L, PR-DL 분절부



(b) PR-T 분절부

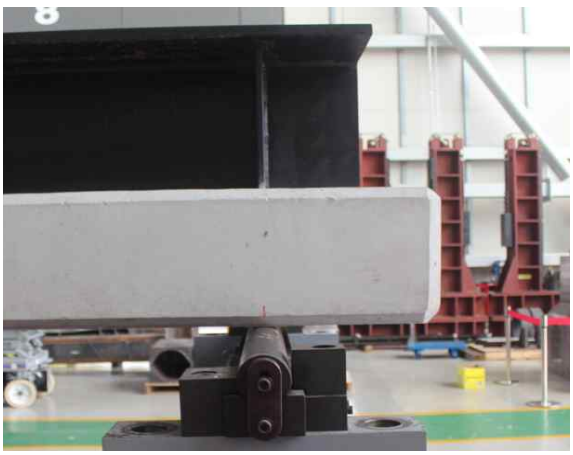
그림 3.41 긴장전 분절부 육안관찰

바. 하중 및 측정내용

(1) 지점조건 및 하중재하



(a) 지점간격 및 하중재하위치



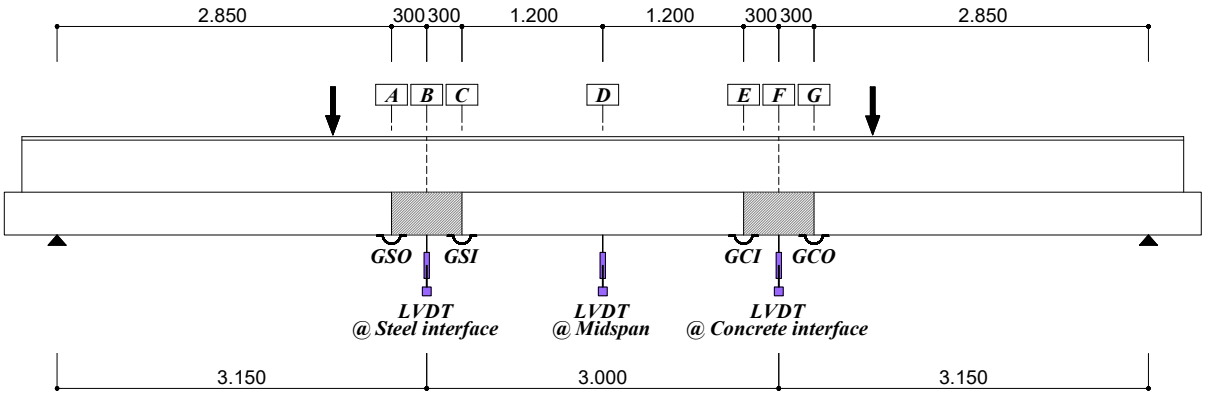
(b) 롤러받침



(c) 가력점

그림 3.42 실험동 세팅

(2) 센서 부착



재료별 / 높이별		강 재, S Steel	철 근, R Reinforcement	콘크리트, C Concrete
상	U Upper	SU	RU	CU
중	M Middle	SM	RM	CM
하	L Lower	SL	RL	CL
바닥	B Bottom	-	-	CB

(3) 하중재하 단계

STEP	재하속도(mm/s)	하중, P (kN)	비 고
0	0.01	0kN	분절부 계면 균열게이지 부착
1		1,400kN	사용하중(1,385kN)
2		1,600kN	균열하중(1,580kN), 균열체크
3	0.05	2,000kN	균열체크
4		2,500kN	균열체크
5		3,000kN	균열체크
6		3,200kN	극한하중(3,280kN)

사. 실험결과 분석

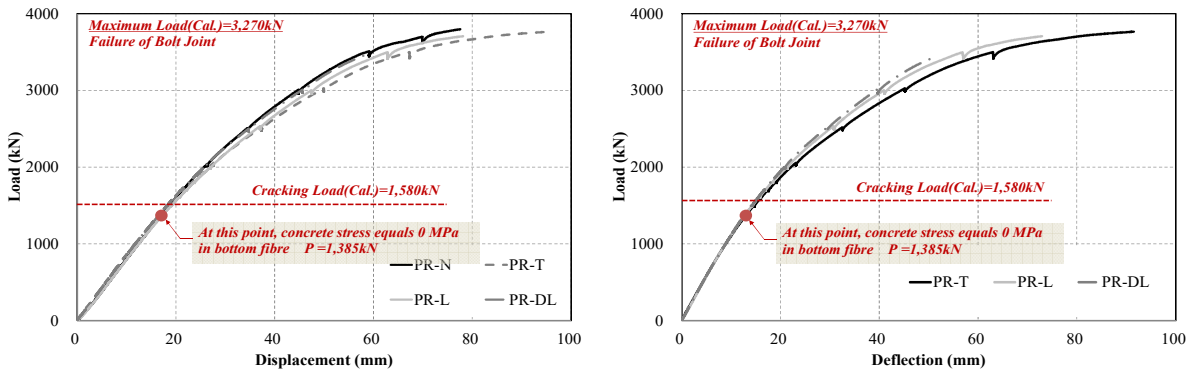
(1) 하중-처짐 관계

○ 실험체 종류별 전반적인 평가는 다음과 같음. PR-N 처짐 데이터 누락으로 하중-변위 관계는 하중-UTM 변위로 비교(그림 3.43 (a)).

- 케이싱에서 인장응력이 발생하지 않는 하중(이하 사용하중)인 1,385kN은 모두 선형 구간 내 위치
- 선형 구간은 초기 균열하중까지 이어지다가 균열하중 이후 비선형으로 거동
- 초기균열 하중은 1,500kN이고 설계에 의한 균열하중은 1,580kN로 계산되어 오차는 약 5%.
- 균열하중은 잘 예측되고 있고, 현 이론식을 그대로 따르는데 무리 없음.
- 모든 부재들이 볼트작용력 3,270kN 초과시 급작스럽게 실험이 종료
- 실험값은 설계값의 약 1.05~1.15배 수준. PR-DL을 제외하고 항복에 준하는 상태에서 실험이 종료
- 초기 거동은 콘크리트 재료 불확실성을 감안할 때 모두 휨강성 차이가 없다 해도 무방한 수준
- 매립강판 부착이 단면 강성에는 영향을 주지 않아 타설접합면과 거동 차이 없음.
- 분절부 존재와 이음철근 유무에 관계없이 탄성이론에 의해 계산될 수 있으므로 기존과 동일하게 비균열 등급으로 설계할 수 있을 것으로 판단.

○ 실험체 종류별 세부적인 평가는 다음과 같음.

- 이음철근 없는 PR-T의 변형 능력이 가장 좋았지만 강성은 상대적으로 낮게 평가
- PR-DL은 종료시까지 PR-N과 거의 유사한 거동. 변형 능력은 분절 실험체 중 가장 낮음.
- PR-T가 변형 능력은 우수하고 강도 측면에서도 PR-L과 비슷한 수준까지 저항
- 강도에서는 이음철근의 기여보다는 텐던의 기여가 지배적이기 때문에 당연한 결과라 할 수 있지만 강성 측면에서는 이음철근의 강성 기여도가 있음.



(a) 하중—UTM변위 (b) 하중—처짐(분절부)

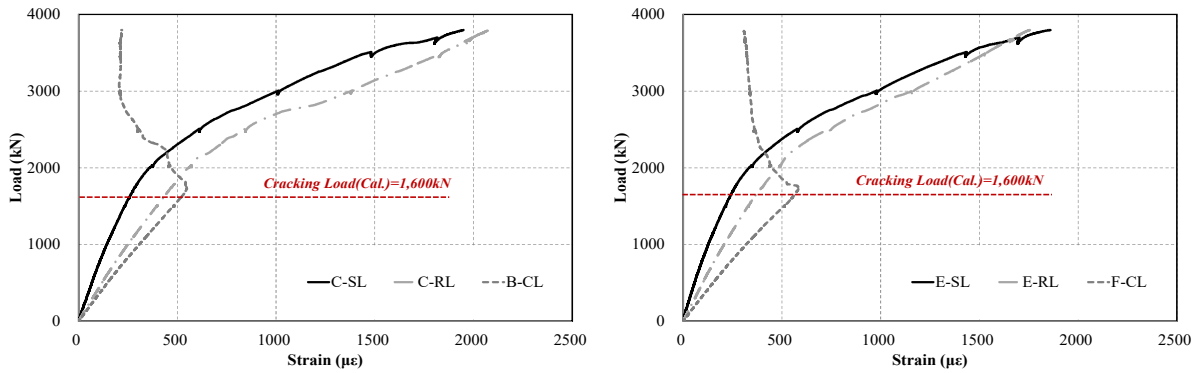
그림 3.43 하중-처짐 관계 곡선

표 3.9 실험결과 정리(분절부)

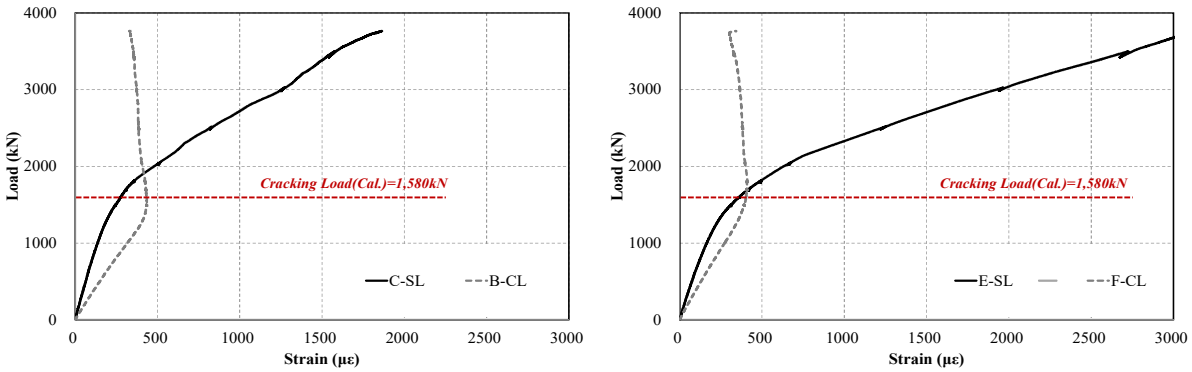
구 분	설계값(kN)	실험값(kN)			
		PR-L	PR-DL	PR-T	PR-N
사용하중	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
균열하중	1,580	1,500	1,500	1,500	1,500
최대하중	3,270	3,705	3,450	3,760	3,795

(2) 하중-변형률 관계

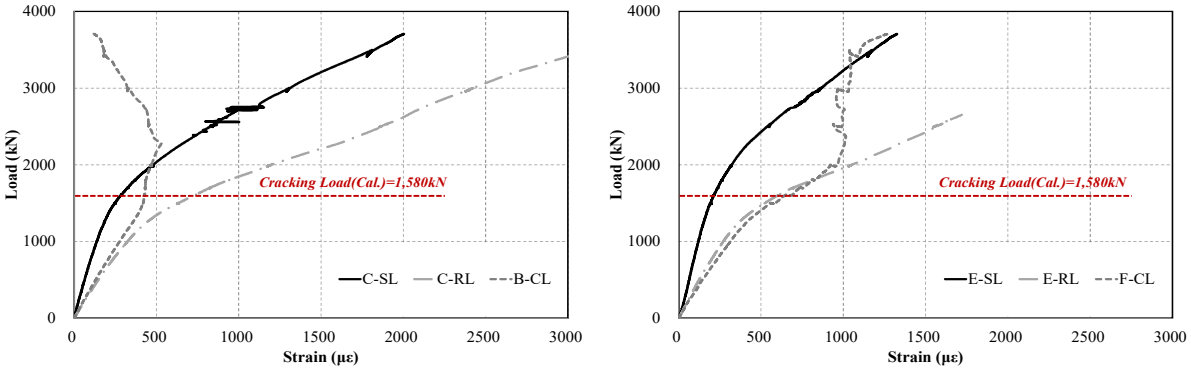
- 그림 3.44 (a) PR-N에서 균열발생 이후 콘크리트 변형률이 감소하는 것은 콘크리트가 부담하는 응력이 작아지면서 철근, 강재빔, PS강재가 외부하중에 대한 저항이 증가했기 때문
- 그림 3.44 (b) PR-T는 균열면에 철근이 없기 때문에 균열 후 외부 힘에 대한 저항은 PR-N 보다 일찍 강재빔이 저항하고, 타설접합면이 매립강판면 강재빔 보다 일찍 항복시점에 도달
- 그림 3.44 (c) PR-L는 타설접합면보다 매립강판면에서 먼저 콘크리트 변형률이 압축측으로 이동하면서 철근이 먼저 항복하고 강재빔이 항복. 타설접합면 철근과 강재는 항복도달전 실험 종료
- 그림 3.44 (d) PR-DL은 매립강판면과 타설접합면 둘 다 변형률이 거의 동일했고 철근과 강재는 실험 종료까지 항복점에 도달하지 못함.



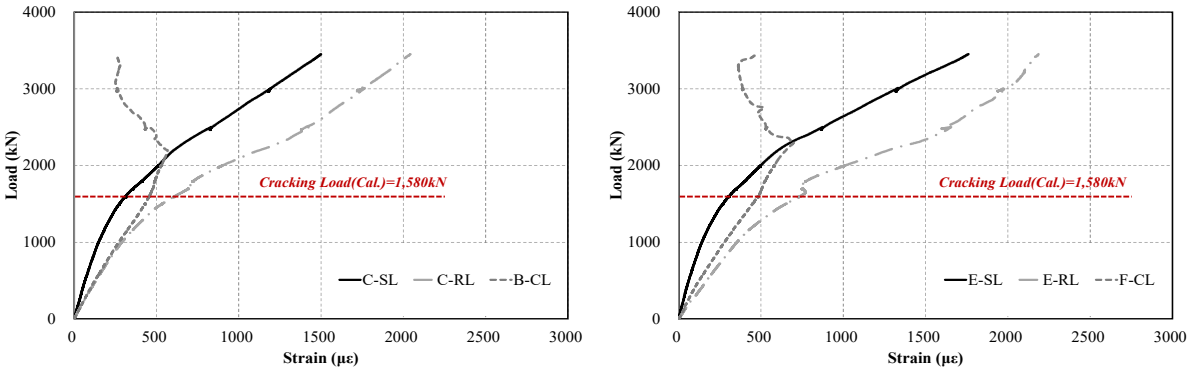
(a) PR-N (좌:매립강판면, 우:타설접합면)



(b) PR-T (좌:매립강판면, 우:타설접합면)



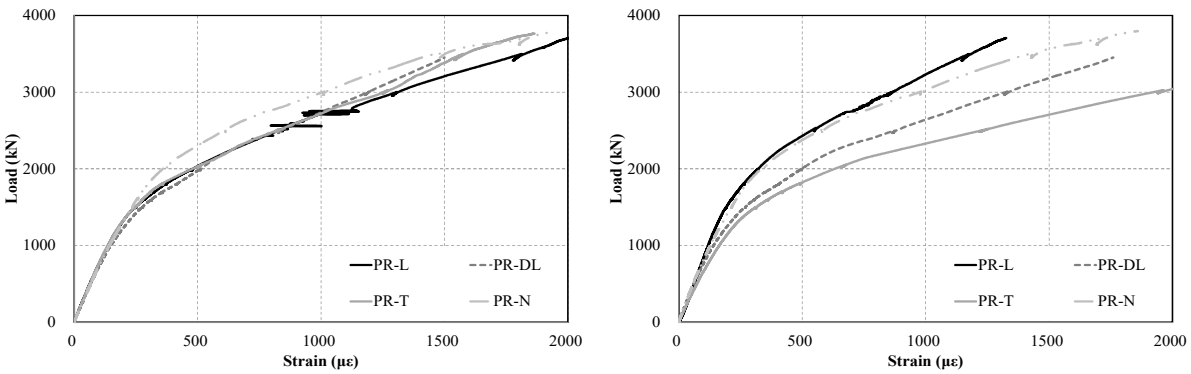
(c) PR-L (좌:매립강판면, 우:타설접합면)



(d) PR-DL (좌:매립강판면, 우:타설접합면)

그림 3.44 분절단면 하중-변형률 관계 곡선

- 그림 3.45는 분절부의 강재 하중-변형률 관계 곡선임. PR-T의 타설접합면 강재 항복변형률은 다른 분절실험체 보다 빨리 도달. 균열이 일찍 발생한 이유도 있지만 균열 발생 후 급격하게 휨응력이 전달될 수 있다는 것이므로 바람직하지 않음.
- PR-DL 부재는 양쪽이 거의 동일한 거동을 보이고 있고, PR-L 부재는 타설접합면이 외력에 대한 변형능력이 PR-N 수준



(a) 매립강판면 (b) 타설접합면

그림 3.45 분절부 강재 하중-변형률 관계 곡선

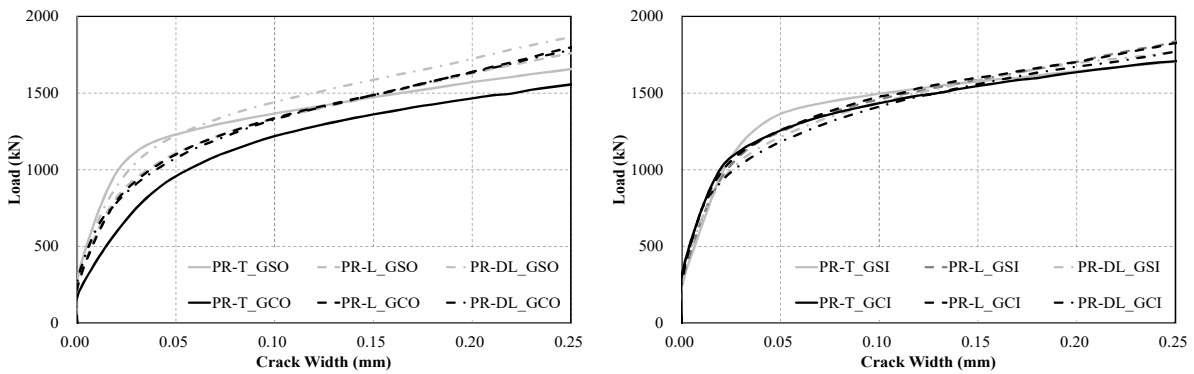
(3) 0.2mm 균열하중

○ 0.2mm 균열하중이 필요한 이유와 평가기준을 다음과 같이 정리

- 강도 평가를 통해 균열유발 하중이 재하되지 않는 한 탄성적 거동 확인
- 휨균열 발생 이후 루프철근의 강성 기여 확인
- PR-T의 경우 균열 이후 변형능력은 좋으나 강재의 변형이 급격
- PR-L과 PR-DL은 신구콘크리트 접합면에서 균열이 진전하여도 철근이 외력 저항
- 반면 PR-T는 신구콘크리트의 부착에만 의존하기 때문에 균열은 순간적 발생.
- 따라서 균열하중 크기 보다 0.2mm 균열하중이 더 중요함.
- 도로교설계기준 한계상태설계법에 따르면 PSC구조에서 균열폭은 0.2mm로 제한
- 균열폭 제어 방법 : ① 균열폭과 철근응력은 비례한다는 상관관계를 이용하여 철근의 응력으로 제어하는 방법 ② 직경이 작은 철근 여러 개를 배근하는 철근 배근을 통한 방법 ③ 균등한 간격으로 배근하여 연성파괴를 유도하는 방법 ④ 구조적 균열 외의 균열을 제어하는 방법
- 여기서는 설계에 의한 균열하중과 균열게이지를 통해 얻은 0.2mm 균열하중을 이용하여 적절히 제어되었는지를 평가함. 또한 이 때 철근 응력 수준이 항복이하에 있는지 평가

표 3.10 균열하중 비교

구 분	초기 균열하중		0.2mm 균열하중(계측)				비 고
	설 계	육 안	매립강판		타설접합		
			외측	내측	외측	내측	
PR-L	1,580	1,500	1,627	1,703	1,638	1,703	OK
PR-DL			1,724	1,695	1,635	1,672	OK
PR-T			1,571	1,642	1,465	1,636	NG

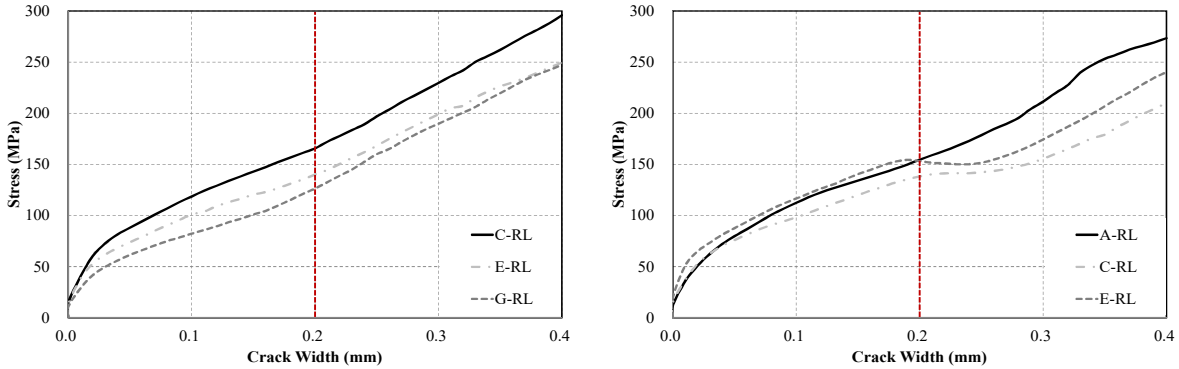


(a) 분절부 외측 (b) 분절부 내측

그림 3.46 하중-균열폭 관계 곡선

표 3.11 0.2mm 균열폭에서 철근응력 비교

구 분	계측값		철근항복	비 고
	매립강판	타설접합		
PR-L	165.6	140.2	500	OK
PR-DL	138.2	153.2		OK



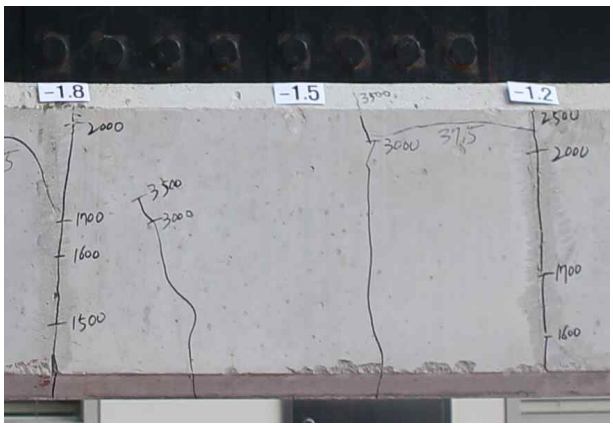
(a) PR-L (b) PR-DL

그림 3.47 균열폭-철근응력 관계 곡선

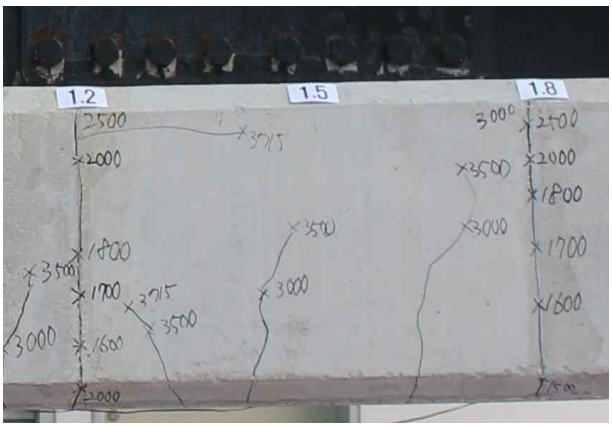
- 표 3.10은 0.2mm 균열폭 발생시 각 단면에서의 균열하중과 설계 및 육안관찰 균열하중을 비교한 것으로, PR-L과 PR-DL은 적절한 균열폭 제어가 되고 있으나 PR-T는 균열폭 제어가 안 된다는 것을 확인. 케이싱 압축력 도입 전 발생하는 균열을 위해서도 최소한의 이음철근은 있어야 함.
- 그림 3.47은 균열폭과 균열폭 계측 위치에서 수직으로 동일한 선상에 있는 인장철근 응력관계
- 표 3.11은 0.2mm 균열폭 발생시 측정한 철근응력과 철근 항복강도와의 비교를 통해 적절히 제어되고 있는지 검토한 것. 실험체 모두 충분한 안전율을 가지고 있음. Precom과 같은 강합성 거더에서는 철근이 강성 측면에서 기여가 분명하지만 외력에 대해 강재빔과 PS강재 단면이 저항하기 때문에 철근의 하중분담 비율은 상대적으로 작음을 확인.

(4) 균열 분포

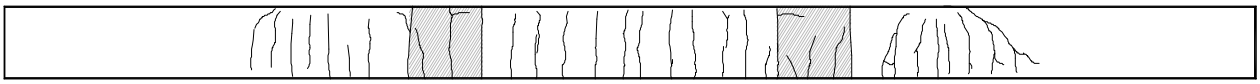
- 분절부 콘크리트 내 균열이 나타나는 것은 철근의 휨 전달이 양호하게 이루어지고 있는 것이고 최대 균열간격은 각각 270mm, 280mm



(a) 매립강판부

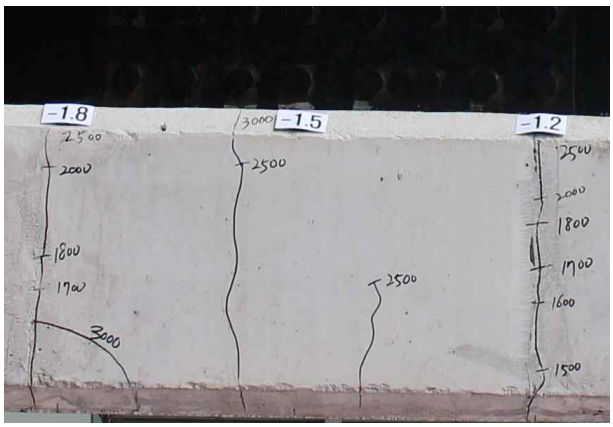


(b) 타설접합부

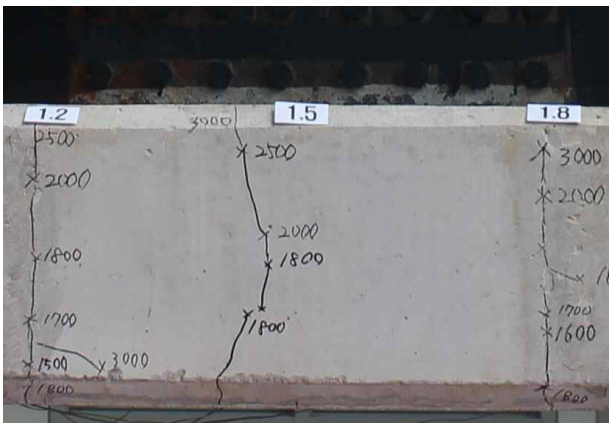


(c) 케이싱 균열도

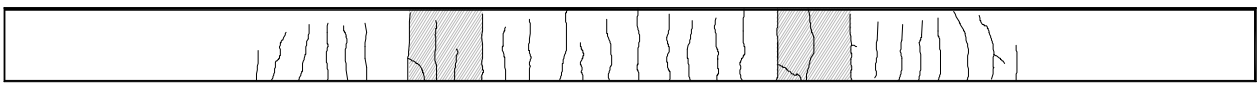
그림 3.48 케이싱 콘크리트 균열 분포(PR-L)



(a) 매립강판부

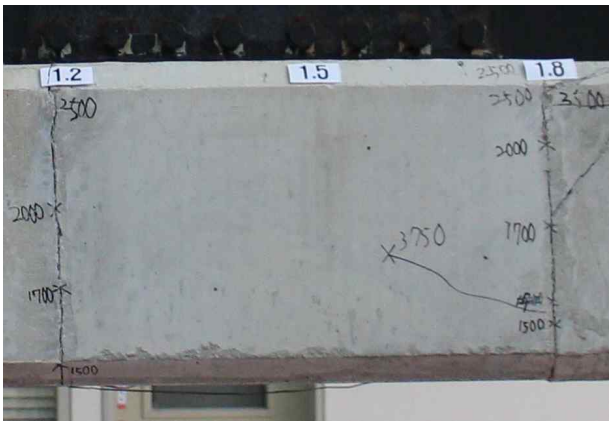


(b) 타설접합부

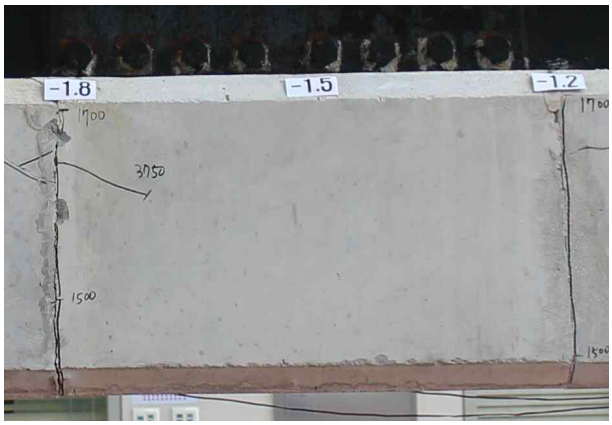


(c) 케이싱 균열도

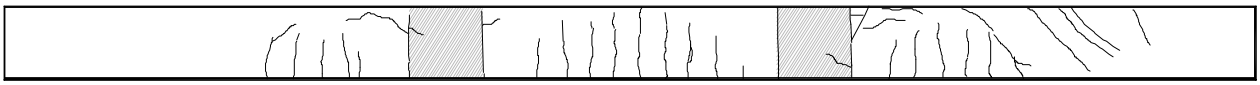
그림 3.49 케이싱 콘크리트 균열 분포(PR-DL)



(a) 매립강판부



(b) 타설접합부



(c) 케이싱 균열도

그림 3.50 케이싱 콘크리트 균열 분포(PR-T)

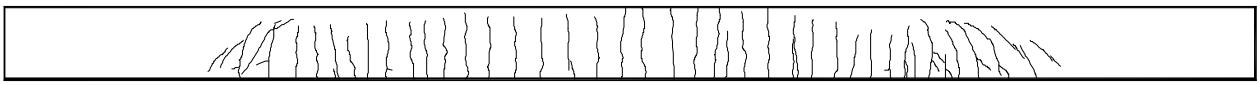


그림 3.51 케이싱 콘크리트 균열 분포(PR-N)

아. 케이싱 분절부 상세 종합 평가

(1) 비균열 등급 설계

- 분절부의 존재와 이음철근 유무에 관계없이 사용하중은 선형구간 내에 위치
- 균열발생 전 휨강성의 차이는 없고 이음철근이 일정 수준 강성에 기여
- 분절부 균열하중은 오차 5% 수준으로 실제와 잘 일치하며 현 이론식을 따르는데 무리 없음.
- 외력에 대해 PS강재와 강재빔이 저항하므로 기존의 비균열 등급의 설계 가능

(2) 신구콘크리트 접합면 처리

- 매립강판면과 타설접합면의 강성차는 없음.
- 실험체 모두 신구콘크리트 접합면 균열발생 후 강재와 철근 변형률의 급작스런 증가 없음.
- 매립강판면이 작업성이 좋고, 균열폭 제어에 있어서도 타설접합면과 큰 차이 없음.

(3) 이음철근의 생략

- 분절부에 PS강재만 배치한 경우 시공성이 좋아지고 하중에 대한 변형능력 양호
- 프리스트레스 도입 전 육안으로 관찰되는 균열 존재. 제작 중 품질관리 불리
- 균열의 진전이 빨라서 강재가 일찍 항복 변형률에 도달
- 외력 작용시 균열폭 제어에 불리하기 때문에 최소한의 이음철근 확보 필수

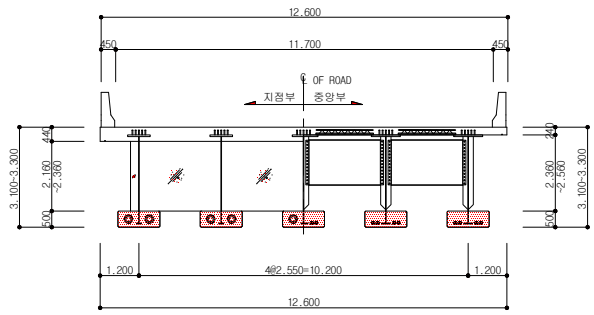
(4) 이음철근 상세의 결정

- 분절부에 이음철근을 두면 강성 및 강도에 도움 되고, 균열폭 제어에도 유리
- 더블루프철근은 제작중 오차에 대해 대응하기 좋음. 그러나 분절부 내 공간이 여의치 않은 경우 적용이 어렵고 루프연결철근 형상의 특성상 양측 루프철근과의 밀착이 곤란
- 더블루프철근 상세보다 루프철근을 겹이음하는 상세가 변형능력이 더 나음.

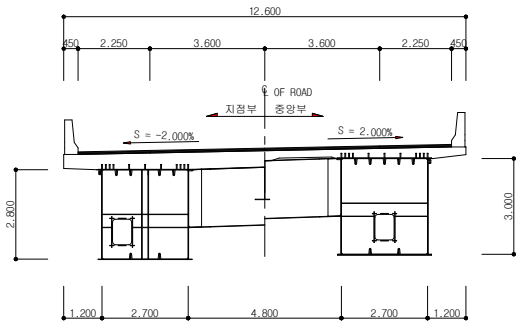
제 4 절 합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성 거더의 연속교 기술 개발

1. 선행검토 결과

○ 경량 Precom 거더와 강박스거더 총연장 140m(2@70m) 연속교에 대한 개략적인 구조검토를 수행하고 공사비를 산정함. 강종은 둘 다 HSB500이고, 허용응력을 만족하도록 설계했으며 운반중량을 고려하여 형고를 결정. 경량 Precom 거더의 경우 종래의 방식인 슬래브 연속화로 설계하였고, 형고는 3.0m, 강연선 종류는 SWPC 7B, 케이싱 콘크리트 설계강도는 45MPa, 정착구는 22ea임.



(a) 경량 Precom 거더



(b) 강박스거더

구 분		①경량 Precom 거더	②강박스거더	① / ②
총강중 (톤)		695	630	10% ▲
최대가설중량 (톤)		172	157	10% ▲
설계공사비 (만원/m^2)	거 더	140	125	12% ▲
	바닥판	24	21	14% ▲
	소 계	164	146	12% ▲

그림 3.52 비교 교량과 개략 검토 결과

○ 본 검토는 상,하부 플랜지 단면의 최적화가 이루어지지 않은 상태로 단경간으로 도출된 단면에 단순히 수량을 2배한 것이기 때문에 엄밀한 설계가 아니지만 복부 단면을 개선하여 고정하중을 줄인다하더라도 연속교에서 현재의 2-shoe 방식으로는 강박스 거더에 비해 강재중량, 가설중량, 설계공사비에서 장점이 나타나지 않음을 개략적으로 보여줌.

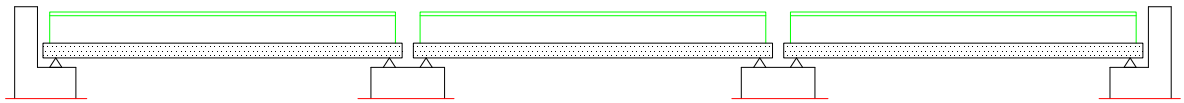
2. 슬래브 연속화의 문제점과 연속화 방향

가. 슬래브 연속화의 문제점

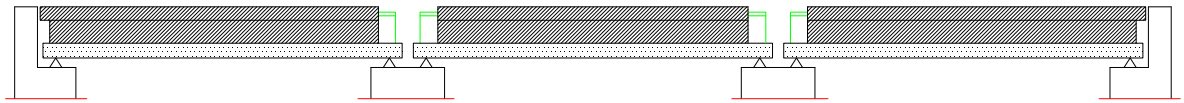
○ 교량에 신축이음부가 많으면 유지보수 비용이 증가하고, 승차감이 떨어지기 때문에 단순교를 여러 경간 두는 것 보다 연속교를 선호. 구조적 측면에서도 연속구조는 여용성(redundancy)이나 상대적으로 큰 강성 때문에 유리하지만 설계와 해석이 복잡함.

○ 슬래브 연속화 설계는 단경간에 대해서 설계하고 내측지점부의 철근콘크리트 설계만 별도로 구조계산 수행. 현행 연속화 공법은 교량 자체를 연속교로 만드는 공법이 아니며 엄밀하게는 거더를 포함한 전체 구조는 단순교 설계와 다름없음. 자중을 포함, 모든 고정하중과 활하중에 대해 저항하도록 설계하기 때문에 형고와 교량받침수도 줄이지 못하지만 교각 상에 신축이음이 없고, 제 2장에서도 설명되었듯 시공성 좋고 공사비가 저렴하다는 이유로 1960년대 고안된 이후 50년이 지난 오늘날까지 활발히 적용

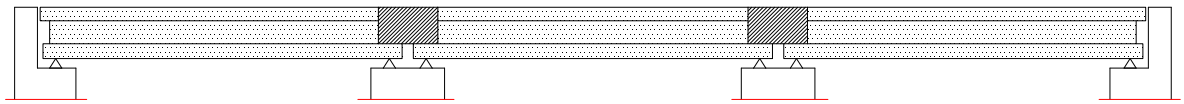
① 거더제작 및 가설



② 지간중앙부(바닥판, 복부, 가로보) 타설



③ 연속부(바닥판, 가로보) 타설





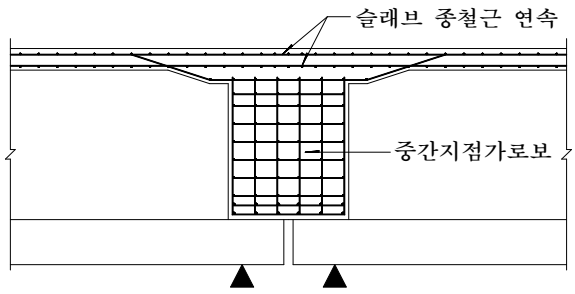


그림 3.53 슬래브 연속 공법

○ 슬래브 연속화 방법은 본래 PSC빔을 대상으로 고안된 것인데 강합성 거더에서도 받아들여 PSC빔과 강합성 거더 연속교에서 표준(Standard)이라 할 수 있음. 그러나 해외 사례에서 적용 범위를 L=50m 정

도로 두는 것처럼 중경간 교량에 맞는 공법이지만 최근 국내 거더는 경간의 한계 없이 대부분의 경우 슬래브 연속화를 적용.

○ 슬래브 연속화의 실질적인 제약은 **설계규정을 만족하면서 콘크리트 단면 내에서 배근이 가능한 범위임**(통상 슬래브 연속이라고 하지만 부모멘트에 저항하는 단면은 내측지점부에 두는 다이아프램 단면까지 포함). 장경간·저형고를 경쟁력으로 내세우는 제품성 거더는 장경간으로 인한 외력의 증대와 저형고로 인한 저항단면의 축소라는 조건을 해결하는 것이 중요

장 점	단 점
• 연속지점부의 신축이음장치를 생략할 수 있어서 차량의 주행성을 확보 • 거더연결을 위한 가벤트를 설치할 필요가 없고 가설장비의 운용이 용이하다. • 교량 노후 시 연결부의 기능을 상실하여도 낙교방지의 위험이 없고 보수공사가 용이하다. • 교좌장치의 용량은 감소하고 개수는 증가한다. • 받침반력의 크기와 바닥판의 피로를 감소시키기 위해 탄성받침을 적용해야 한다. • 바닥판 타설 시 시공순서에 유의해야 한다. • 시공이 쉽고 경제적이며 많은 시공사례로 안전성이 검증	• 크리프·건조추숙에 의한 2차 응력 검토는 단순교 대상의 야쓰미법 적용 • 2차 고정하중이나 활하중에 의한 모멘트 분배효과를 얻기 힘듦. • H25 같이 직경이 큰 철근 사용이 생기기도 해서 균열 같은 사용성 문제 발생 • 장경간시 정모멘트부가 비경제적인 단면이 되어 재료효율 측면에서 불리

나. 경량 Precom 교량 연속화 방안

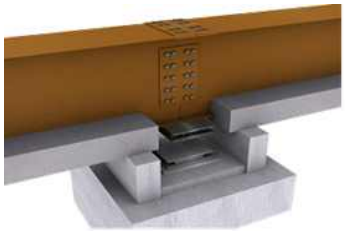
○ 강합성 거더 슬래브 연속화의 대안으로 1990년대 말 프리플렉스 빔으로 다른 형태의 교각연결법이 연구된 바 있으나 실용화 되지 못함. 2000년대 후반에는 그림 3.54의 교각연결법이 국내 포항산업과학연구원(RIST)에서 연구된 사례가 있으나 사업화는 이루지 못함.



(a) 실험체 제작 (b) 파괴실험

그림 3.54 교각연결법(포항산업과학연구원)

○ 기존 Precom 최대경간 보다 더 긴 경간을 목표로 개발 중인 경량 Precom 거더의 연속화 방법은 앞서 검토와 같이 슬래브 연속화는 강박스거더 보다 경제성이 떨어짐. 따라서 교각연결법 또는 경간연결법의 도입이 검토되어야 함.

구 분	슬래브연속법	교각연결법	경간연결법
개요도			
장점	• 다수의 실적으로 검증된 방법 • 시공성 및 경제성 우수 • 가설벤트 불필요 • 정식화 된 구조계산·검토절차 • 교각부 신축이음 불필요 • 곡선교 적용가능 교량 노후 시 연결부의 기능을 상실하여도 낙교방지의 위험이 없고 보수공사가 용이	• 시공성 양호 • 가설벤트 불필요 • 교량받침 1개 필요 • 교각부 신축이음 불필요	• 국내·외 시공사례 존재 • 변곡점 연결로 안전성 확보 • 변단면으로 구조효율 제고 • 정모멘트부 단면 감소 • 경제성 우수 • 미관 증대 • 형하공간 확장 • 교량받침 1개 필요 • 코핑폭 축소 가능 • 교각부 신축이음 불필요
단점	• 구조적으로 연속교 아님. • 거더 단면 감소 불가 • 코핑폭 단순교와 동일 • 교량받침 2개 필요	• 자중을 단순교가 지지 • 응력이 가장 큰 위치에서 연결 • 교량받침과 연결 난해 • 케이싱 분절부 후타설 필요	• 가설벤트 필요 • 중간지점부 형고 증가 • 부모멘트부 별도제작 필요 • 볼트연결 많음 • 2차응력에 대한 구조검토 요구 • 고공 케이싱 분절부 제작
강중	단순교의 100%	단순교의 90%	단순교의 80%

(1) 교각연결법 검토

○ 교각연결법은 단·중경간 교량에서 단순교 보다 연속교 공사비가 저렴하긴 하지만 경간장이 길어질수록 내측지점부 단면의 중립축 이하에 발생하는 압축응력이 과다하게 발생하여 형고 높아짐.

구 분		단순교	연속교	단순교(연속교와 동일형고)
20m	형고(m)	0.9	1.0	1.0
	강재량(톤)	3.14 (100%)	2.50 (79%)	3.16 (101%)
	공사비(천원)	19,315 (100%)	17,500 (90%)	18,720 (97%)
30m	형고(m)	1.2	1.3	1.3
	강재량(톤)	7.28 (100%)	7.16 (98%)	7.78 (107%)
	공사비(천원)	33,585 (100%)	31,055 (92%)	32,575 (97%)
40m	형고(m)	1.5	1.7	1.7
	강재량(톤)	17.02 (100%)	14.06 (83%)	16.75 (98%)
	공사비(천원)	62,425 (100%)	52,094 (83%)	56,605 (91%)

(2) 경간연결법 검토

○ 경간연결법은 경간을 구성하는 거더와 연속지점부의 거더를 별도로 제작. 연속지점부에 위치하는 합성거더는 케이싱에 압축응력이 발생하게 되므로 프리스트레스를 도입하지 않은 단순 합성거더로 제작하여 연결. 경간연결법에 대한 개략 구조계산에 따르면 연속지점부의 바닥판을 유효단면으로 사용할 수 없기 때문에 연속부의 형고는 증가되나 정모멘트부 거더는 상대적으로 응력 여유가 있는 것으로 검토

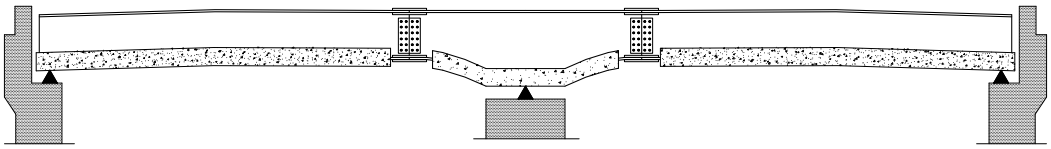


그림 3.55 경간연결공법

○ 국외의 사례에서도 경간연결법은 70m 이상 경간에서 주로 적용되는 공법임. 또한 국내에서도 PSC빔을 분절제작한 뒤 경간내 분절부를 연결하여 연속화에 성공한 사례가 있음. 경량 Precom 거더가 장경간 50~70m라는 뚜렷한 시장을 목표로 하기 때문에 시공의 고도화에도 불구하고 구조적 명확성 및 경제성으로 판단할 때 경간연결법이 교각연결법 보다 우수한 것으로 판단.

3. 연속교 시공기술 개발

가. 경간연결법 가설방법

○ 정모멘트구간과 부모멘트구간을 나누어 거더를 제작한 뒤 공중에서 이 두 세그멘트를 미리 세워놓은 가설벤트 상에 임시거치한 다음 현장타설 또는 프리스트레스로 연결 및 일체화한다는 것이 가장 기본적인 생각임. 경간 분할 비율에 따라 달라지긴 하지만 연속교의 경우 부모멘트부가 정모멘트부 보다 모멘트가 큰 것이 일반적이라 부모멘트구간의 거더가 정모멘트구간의 거더 보다 형고를 더 높게 해서 2차포물선 또는 선형으로 변단면구간을 둠.

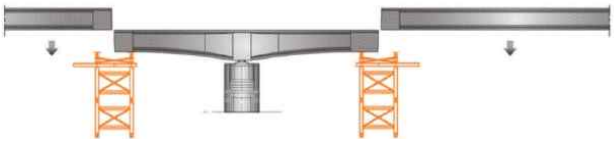
○ 현재 국내에서는 PSC빔을 분절제작하여 가설벤트상에서 경간연결 시공하는 기술이 활발히 적용 중이다. 시공 방법을 살펴보면 다음과 같음.



(a) 제작장에서 분절거더 제작



(b) 가설벤트 및 주두부 가설



(c) 측경간 및 중앙경간 가설



(d) 연결부 현장타설



(e) 연속강선 긴장

그림 3.56 분절 PSC거더 경간연결 시공순서

○ 분절 PSC거더로 경간연결 시공하는 방법은 경간 50~90m까지 적용이 가능하기 때문에 해당 경간에서 독보적이었다 할 수 있는 강박스거더에 비해 가격경쟁력이 우수하다 할 수 있으나 가설벤트의 설치와 무거운 콘크리트거더를 고교각 상에 올려놓기 위한 대형크레인 운용이 실행내역 측면에서 불리할 수 있음.




그림 3.57 분절 PSC거더의 경간연결 시공사진

○ 프리플렉스거더의 연속교는 거더의 가설중량이 PSC거더 보다 상대적으로 가볍고 주부재인 강재빔의 볼트이음을 활용할 수 있기 때문에 다소 유연하게 가설방법이 결정 됨. 그림 3.58은 가설벤트 없는 연속교 가설 방법의 일례. 제1경간 정모멘트거더와 제1지점 부모멘트거더를 지상에서 볼트 체결해서 자중에 대해 견딜 수 있도록 한 다음 지점에 가설하는 방법이 있음.




그림 3.58 프리플렉스 연속교의 경간연결시공

나. 시공기술 검토

○ 경량 Precom 거더는 프리플렉스 거더와 다르게 케이싱 내 매립된 하부플랜지의 폭이 150~200mm 정도로 매우 작음. 이는 텐던을 배치하기 유리하지만 볼트연결을 위해서는 최소 350mm(볼트 최소 연단거리 40mm)로 변경해야 하는 것으로 검토 됨.

○ 분절이음부는 제 4절의 시험 결과에 따라 시공성을 위해 마감판을 두는 것을 기본으로 하고 볼트 체결에 장애가 되는 케이싱 종방향 철근은 마감판 바깥까지 겹이음 연장길이를 두지 않아도 되지만 최소한 케이싱 단면상 가장 가장자리의 4개 철근은 반드시 겹이음을 위한 연장길이를 두도록 함. 종방향 철근이 분절부 내 생략된 위치에는 그림 3.59와 같이 스터드를 수평으로 배치.

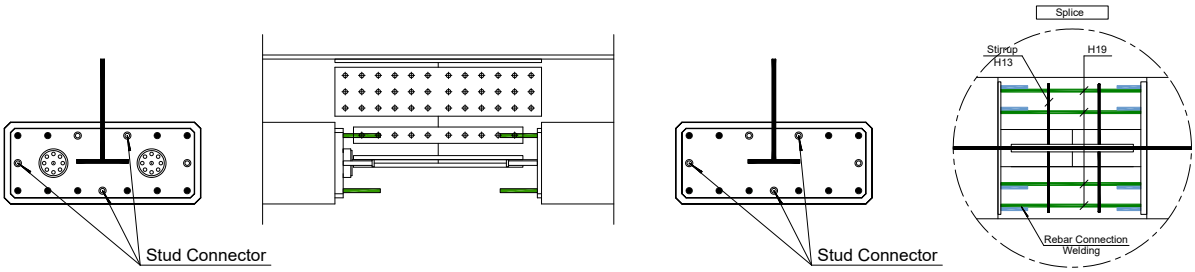


그림 3.59 분절이음단면 마감판 단면도 및 철근이음 상세

○ 정모멘트거더 측 정착부에서 연장된 하부플랜지는 긴장 후 필렛용접하여 부착함. 프리스트레스 작업 시 인장기가 앵커리지헤드에 맞닿을 수 있게 하기 위한 것임.

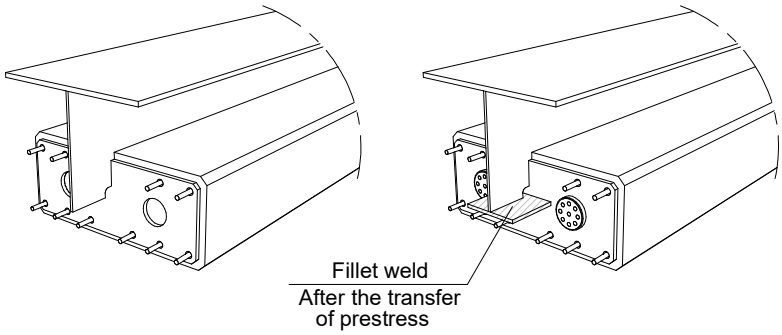
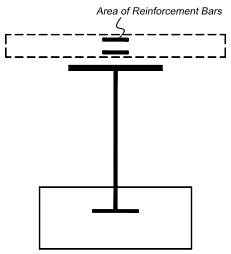


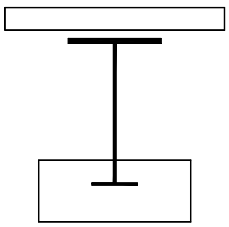
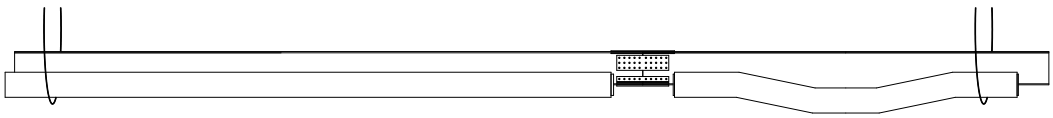
그림 3.60 하부플랜지의 부착



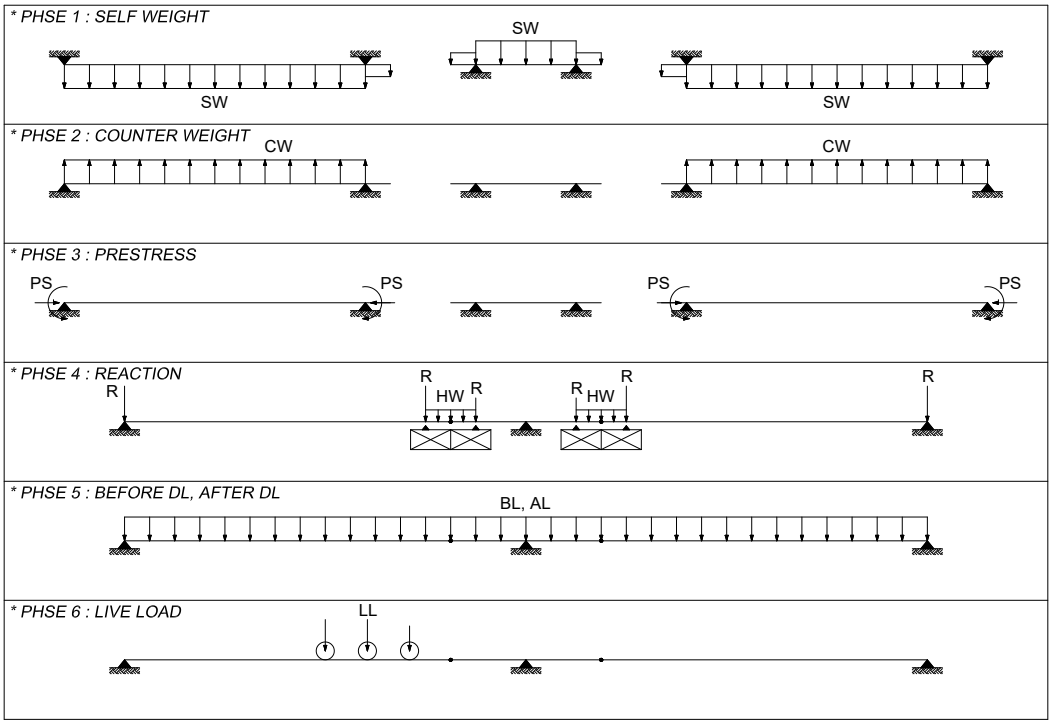
그림 3.61 케이싱 분절작업 사진

4. 연속교 설계기술 개발

<table>
<tr><th>설계항목</th><th>설계기술 내용</th></tr>
<tr><td>부모멘트부
설계</td><td>① 바닥판의 합성작용
• 거더 단면응력을 산출시 부모멘트부 바닥판 콘크리트 단면을 무시하고 바닥판 내 교축방향 철근은 단면의 일부로 봄. 프리스트레스하는 바닥판의 경우 바닥판 단면 유효
• 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우는 콘크리트 단면 유효
 

▲ 거더 응력 계산단면
 
▲ 탄성변형 및 부정정력 계산단면
② 부모멘트 구간의 최소 바닥판 철근
• 철근단면적은 바닥판 총단면적의 1.5% 이상
• 철근 최소항복강도는 400 MPa 이상
• D19 이하의 철근 사용
• 바닥판 전폭에 걸쳐 등간격 및 2단으로 배근
• 필요시 2/3를 상단에 배치
• 철근 간격은 300mm를 넘지 않도록 배근</td></tr>
<tr><td>분절이음부</td><td>① 분절이음부의 폭
• 연속교 변곡점 위치의 분절이음부 폭은 철근 겹이음장 최소 300mm를 고려하여 1.0m 이상으로 하는 것이 좋고 최대폭은 볼트설계에 따라 결정할 수 있음.
② 분절이음부 위치의 선정
• 분절이음 위치는 정모멘트부거더의 정착강판 측이 정의 모멘트 영역 내에 있도록 함. 정착단부는 압축력이 크게 집중되어 있기 때문에 부모멘트 구간측에 속하게 되면 압축응력 초과가 될 수 있음.
③ 분절이음부 볼트설계
• 변곡점에 가까이 분절이음부를 두는 경우 볼트의 작용력은 모멘트 보다 전단이 지배하기 때문에 이를 고려하여 설계함. 다만 지상에서 정모멘트거더와 연결된 상태로 가설하는 방법을 채택하는 경우에는 자중에 대한 검토 단계를 반드시 수반함.
  </td></tr>
</table>

설계항목	설계기술 내용
시공단계별 하중재하	• 단계 4에서 R은 연속보 상태로 모델링한 다음 단계 1에서의 반력을 반력이 발생한 위치, 즉 제작단계 지지점에 하중으로 재하



5. 2경간 연속교 축소모형 실험체의 구조성능 검증

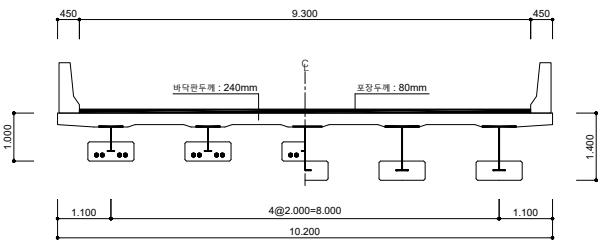
○ 2경간 연속교 구조성능실험의 목적

- 정적성능검증 :
  - 정·부모멘트부 휨강도 평가
  - 부모멘트부 바닥판의 균열 거동
  - 케이싱 분절부 위치 및 상세의 적정성 평가
- 동적성능검증 : 고유진동수, 감쇠비 추출 → 진동사용성 평가

가. 실험체 설계

○ 실험체 규모는 명지대 하이브리드구조실험센터 실험동 여건에 맞추어 다음과 같이 결정

- 교량길이 : 2@25m=50m
- 교량폭원 : 10.2m
- 거 더 수 : 5본
- 거더형고 : 1.0~1.4m



※ 부모멘트 / 정모멘트 형고비 = 1 : 1.4
※ 분절부와 바닥판 콘크리트 강도 동일 → 시범적용

구 분		설계강도	비 고
바닥판 콘크리트		f_{ck} = 27MPa	
케이싱	정모멘트부	f_{ck} = 40MPa	
	부모멘트부	f_{ck} = 40MPa	
	분절부	f_{ck} = 27MPa	시범적용
강 재 SM520		f_y = 355MPa	
PS강선 SWPC 7D		f_{py} = 1,600MPa	9ea×4

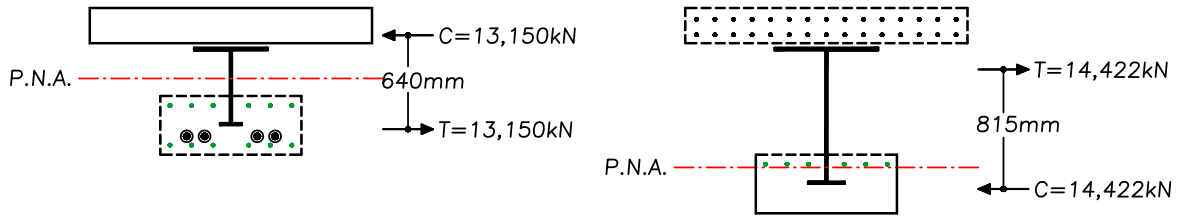
그림 3.62 실험대상 교량 제원 및 재료물성

○ 연속교 실험체 설계 특이사항

- 실험체 바닥판 폭은 유효폭 산정식을 통해 최대정모멘트 단면 기준으로 결정
- 사용한계상태 설계에서 가장 지배적인 요소는 부모멘트부 케이싱 압축응력로서 형고를 결정 지음.
- 부모멘트부 바닥판을 균열단면으로 보고 설계하고, 정모멘트부 대비 부모멘트부 강성비는 0.97
- 부모멘트 영역 교축방향 철근비=1.9%

  ref. 도로교설계기준(한계상태설계)에서는 부모멘트 구간의 최소 바닥판 철근량은 바닥판 총단면적의 1% 이상으로 철근 최소항복강도는 400MPa, H19 이하 철근을 사용하도록 함.

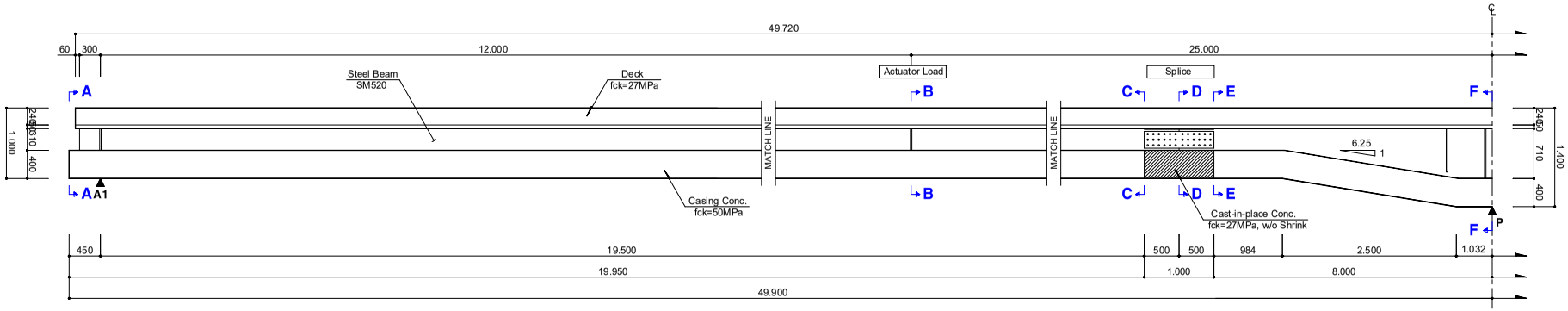
- 분절이음부는 볼트접합이므로 원활한 볼트배치를 위해 하부플랜지의 폭을 증가시키고 피복을 케이싱 두께의 1/2로 함.
- 경량 Precom 거더 내측 정착부 위치가 모멘트도 상 변곡점에 위치
- 고강도레미콘 현장 수급 문제를 고려하여 분절부 콘크리트 강도 27MPa로 다운그레이드 시범적용
- 하중집중부인 내측지점과 하중재하지점에 20t 보강재 설치
- 소성모멘트는 정모멘트단면 8,416kN.m, 부모멘트단면 11,754kN.m으로 산출



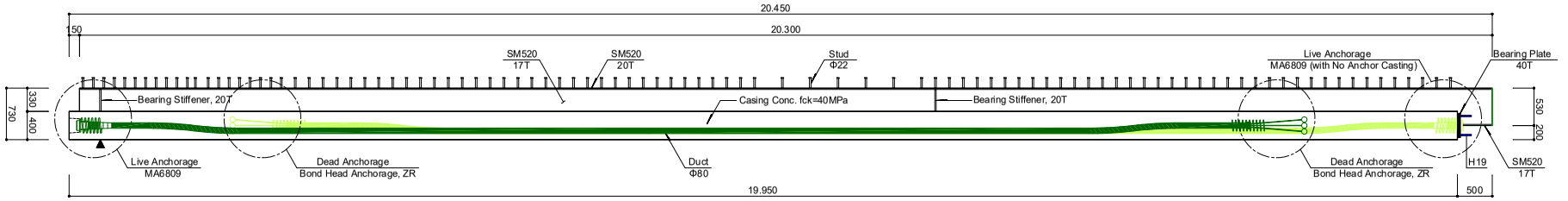
(a) 정모멘트 단면 (b) 부모멘트 단면

그림 3.63 소성중립축 위치와 소성모멘트

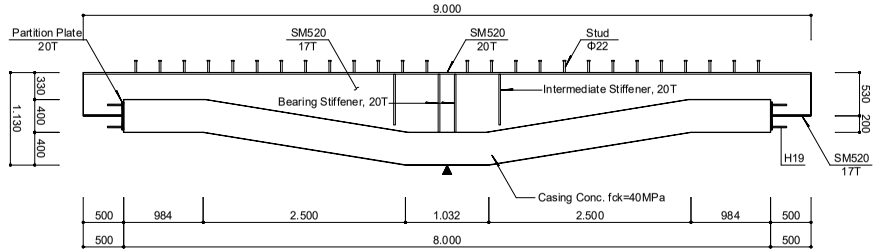
연속교 실험체 종단면도



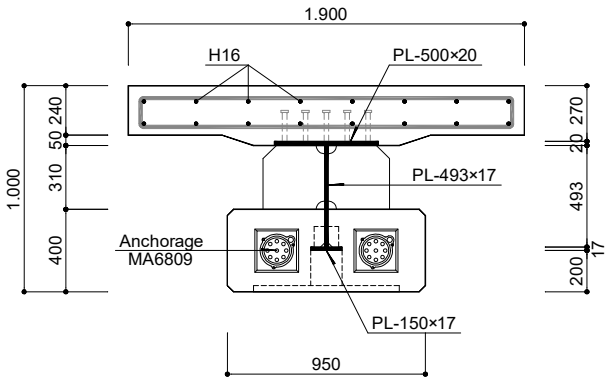
정모멘트부 거더제작도



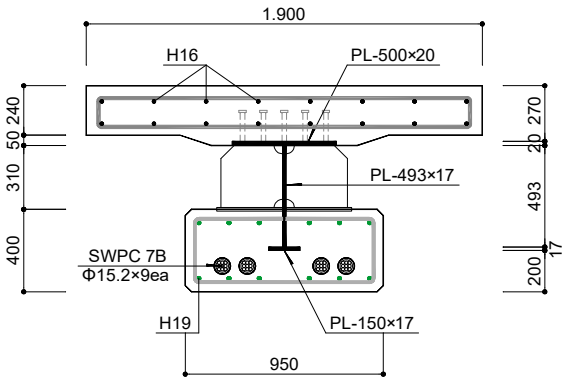
부모멘트부 거더제작도



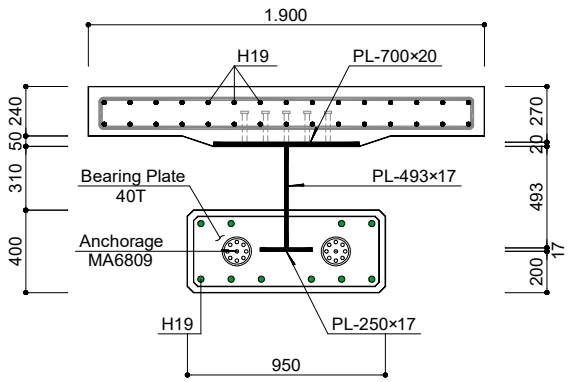
SECTION A-A



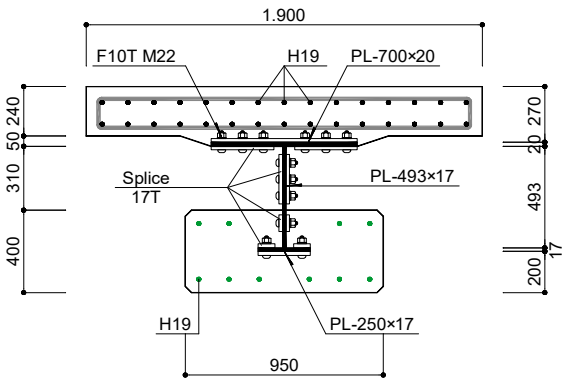
SECTION B-B



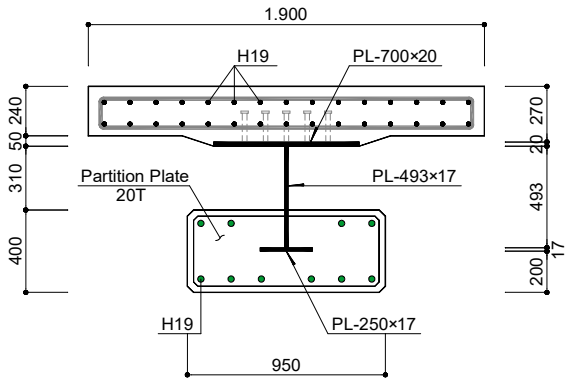
SECTION C-C



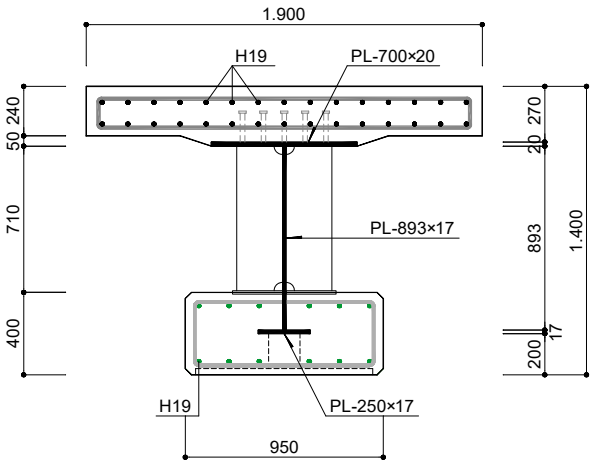
SECTION D-D



SECTION E-E



SECTION F-F



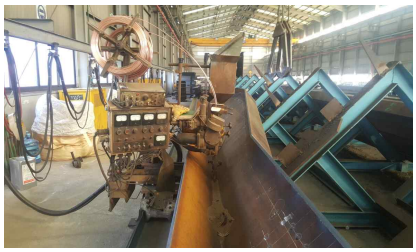
나. 실험체 제작

○ 정모멘트부는 포항공장에서, 부모멘트부는 여주공장에서 각각 나누어 제작한 후 명지대 하이브리드 구조실험센터 내에서 연결. 케이싱 분절부와 바닥판 제작은 정·부모멘트부 거더 연결 뒤 시작하고 바닥판 완성 직후 가지점을 제거하여 2경간 형성

(1) 실험체 재료물성

<table>
<tr><th>구 분</th><th>항복강도</th><th>인장강도</th><th colspan="4">구 분</th><th>공시체강도</th></tr>
<tr><td rowspan="2">강 재
(SM520)</td><td rowspan="2">355MPa</td><td rowspan="2">580MPa</td><td rowspan="5">콘크리트</td><td rowspan="4">케이싱</td><td rowspan="2">정모멘트부</td><td>케이싱 인장일</td><td>35MPa</td></tr>
<tr><td>실험일</td><td>38MPa</td></tr>
<tr><td rowspan="2">강연선
(SWPC 7B)</td><td rowspan="2">2,224MPa</td><td rowspan="2">2,372MPa</td><td>부모멘트부</td><td>실험일</td><td>48MPa</td></tr>
<tr><td>분절부</td><td>실험일</td><td>29MPa</td></tr>
<tr><td rowspan="2">철 근
(SD400)</td><td rowspan="2">454MPa</td><td rowspan="2">580MPa</td><td colspan="2">바닥판</td><td>실험일</td><td>22MPa</td></tr>
</table>

(2) 강재빔 공장제작 - 포항공장

		
1. 강판 절단	2. 볼트 천공	3. 플랜지-복부 용접
		
4. 보강재 용접	5. 변단면 가공	6. 파티션 강판

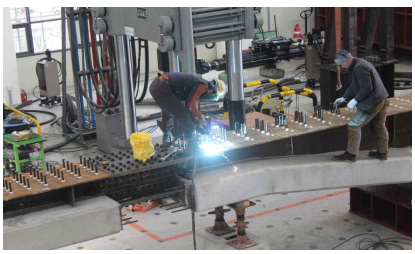
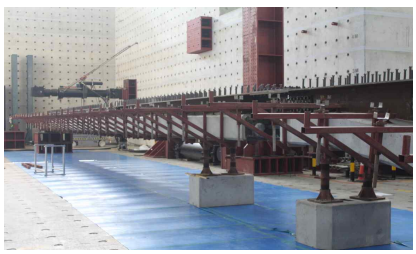
(3) 정모멘트부 거더 제작 - 포항 공장

		
1. 케이싱 제작대 거치	2. 케이싱 철근 배근·쉬스 설치	3. 케이싱 콘크리트 타설대 이동
		
4. 케이싱 거푸집 조립	5. 케이싱 콘크리트 타설	6. 증기 양생
		
7. 거푸집 탈형	8. 프리스트레스 도입·그라우트 마감	9. 정모멘트부 거더 운반

(4) 부모멘트부 거더 제작 - 여주 공장

		
1. 케이싱 철근 배근	2. 케이싱 거푸집 제작	3. 강재빔 이동
		
4. 케이싱 콘크리트 타설・증기양생	5. 거푸집 탈형	6. 부모멘트부 거더 운반

(5) 정・부모멘트부 연결 및 바닥판 제작 - 명지대 실험동

		
1. 정・부모멘트부 거더 실험동 입고	2. 가지점 지지	3. 분절부 볼트 연결
		
4. 스터드 용접	5. 까치발 설치	6. 바닥판 거푸집 제작
		
7. 바닥판・분절부 철근 배근	8. 바닥판・분절부 콘크리트 타설	9. 바닥판 거푸집 탈형

다. 하중재하 및 측정방법

(1) 동특성 추출방법 및 센서 계획

○ 가진하중 및 가속도계・변위계 위치

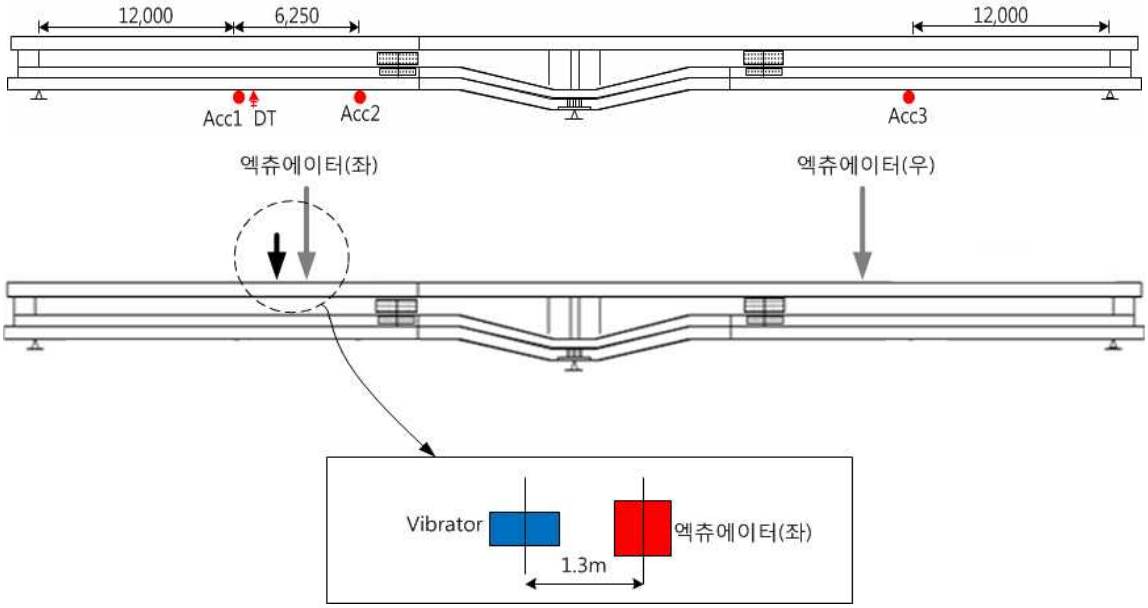


그림 3.64 가진하중 위치

○ 인적가진, 임팩트해머, 가진기를 이용하여 동특성값(고유진동수, 감쇠비) 추출



(a) 인적가진



(b) 임팩트해머

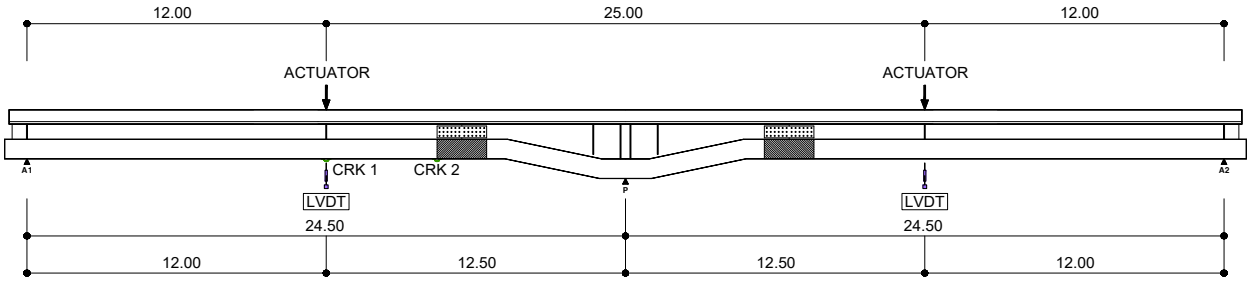


(c) 가진기

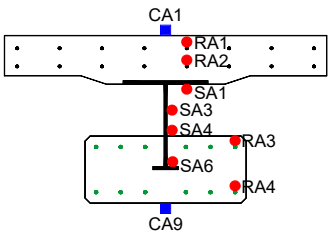
그림 3.65 동적재하시험 시험항목

(2) 가력 위치와 계측 계획

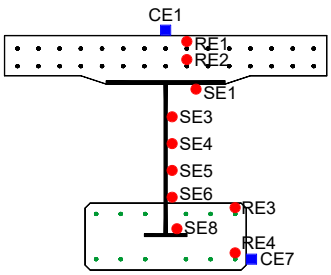
○ 하중재하 및 계측 위치



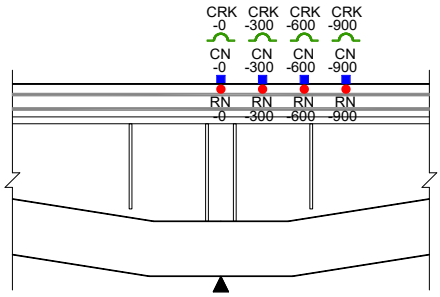
(a) 하중재하 및 LVDT 위치



(b) 하중재하부 게이지



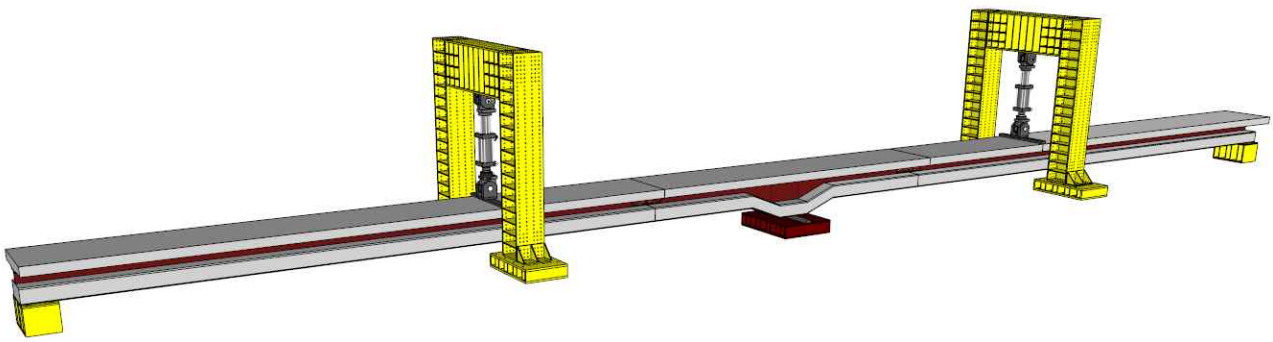
(c) 내측지점부 게이지



(d) 부모멘트구간 인장연단 계측

그림 3.66 하중재하 및 계측 위치

- 가력장비 : 5,000kN급 액츄에이터 2기
- 재하속도 : 바닥판 균열전 0.025mm/s → 바닥판 균열후 0.050mm/s
- 지지방법 : 힌지 1개, 가동단 Shoe 2개
- 변 위 계 : 와이어변위계 및 LVDT
- 변 형 률 : ① 강재·철근 → 스틸게이지 ② 바닥판·케이싱 → 콘크리트게이지
- 균 열 폭 : 크랙게이지 케이싱 분절부 및 부모멘트 구간 내 바닥판 상연 부착



라. 동적재하시험

○ 구조해석을 통해 고유진동수를 예측하고 실험을 통해 얻은 값과 비교하여 유사정도를 검토하였고 측정된 데이터로 Curve fitting을 통해 감쇠비를 추정

- 범용 구조해석 프로그램 Midas Civil을 활용한 연직방향 1차 모드 고유진동수 3.286Hz 산출
- 고유진동수 추출값과 해석값의 오차는 0.4~1.0% 범위로 비교적 잘 예측
- 감쇠비 1.674~1.716% 범위
- 일반적인 강교량(0.5%)과 콘크리트교량(2.0%)의 중간 수준의 감쇠성능

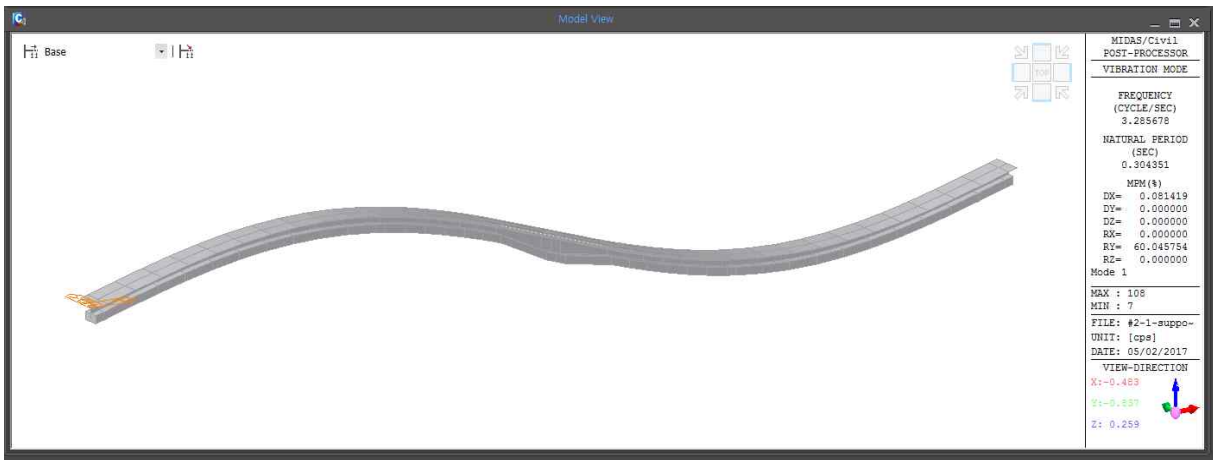


그림 3.67 실험체 고유진동수(1st Mode=3.286Hz)

표 3.12 FFT 분석결과

구 분	인적가진	임팩트해머	가진기
고유진동수 추출값 (Hz)	3.320	3.320	3.300

표 3.13 감쇠비 결과정리(5회 평균)

구 분	ACC 1	ACC 2	ACC 3	DT
감쇠비 추출값 (%)	1.682	1.674	1.685	1.716

마. 정적재하시험

○ 안전과 관련하여 실험동 측 중단 요구로 정모멘트부 인장 단면 항복까지만 재하하고, 연성은 평가하지 못함. 실험 종료시 하중은 1,510kN(액츄에이터 1대). 하중재하 단면 바닥판의 압축파괴(crushing)는 나타나지 않았고 강재빔 정·부모멘트 단면 둘 다 압축플랜지나 복부판의 좌굴은 발생하지 않음.

○ 실험체 지점 중 가동단에서 가력중 제어장치에 Contact 되면서 지점조건이 변경되었고 양 경간의 거동이 다르게 나타남. 보수적인 평가를 위해 처짐이 더 큰 쪽(LVDT-R)에 대해 하중-처짐을 평가

(1) 하중-처짐 관계

표 3.14 실험결과 정리

구 분	정모멘트부			부모멘트부		
	계 산	실 험	비 고	계 산	실 험	비 고
설계하중	460kN	-		435kN	-	
균열하중	615kN	600kN	설계하중의 1.3배	310kN	300kN	설계하중의 70%
최대하중	2,200kN	1,510kN	설계하중의 3.3배	2,560kN	1,510kN	균열하중의 5배

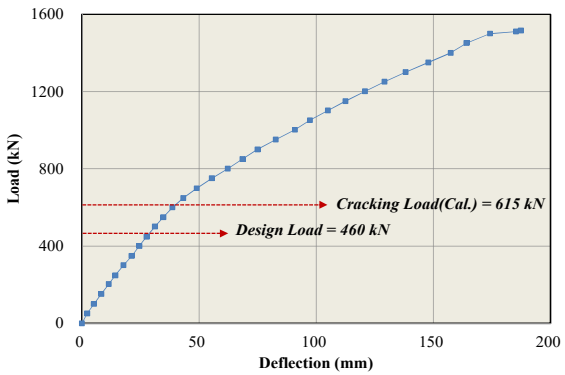


그림 3.68 하중 - 처짐 관계 곡선

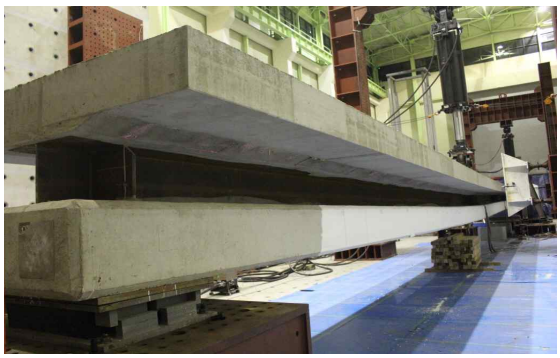


그림 3.69 실험종료시 처짐형상

○ 초기균열 하중과 이론식에 의한 균열하중은 다음과 같음. 그래프 상으로 초기균열단계와 균열안정화단계가 거의 유사한데 육안으로 확인되기 이 전 초기균열이 발생했었을 것이라 판단됨. 여기서는 균열안정화단계의 균열하중을 초기균열이라고 하겠음.

- 정모멘트부 : 초기균열은 하중재하 위치 케이싱 하면에서 600kN 재하시 발생, 계산값과 2.4% 차이
- 부모멘트부 : 초기균열은 내측지점부 바닥판 상면에서 300kN 재하시 발생, 계산값과 3.2% 차이

○ 정모멘트부 케이싱 하연 균열 발생 후 강성이 약 57% 저하하고 1,500kN에서 하부플랜지와 케이싱 인장철근 항복에 도달
○ 단면 설계방법에 따른 균열 안전성

- 정모멘트부 : 설계하중의 1.3배 균열 안전률 확보
  → 정모멘트부(케이싱)는 균열을 허용하지 않는 비균열등급의 프리스트레스트 콘크리트 설계
- 부모멘트부 : 설계하중 435kN의 70%의 하중에서 균열
  → 부모멘트부 바닥판은 균열단면 설계로서 균열을 허용하되 균열폭을 제어

☞ 설계와 실제 거동의 일치, 1.3배의 균열안전성 확보

○ 가력 중단으로 부모멘트부에서의 소성힌지 발생에 의한 모멘트 재분배 효과 확인 못함.

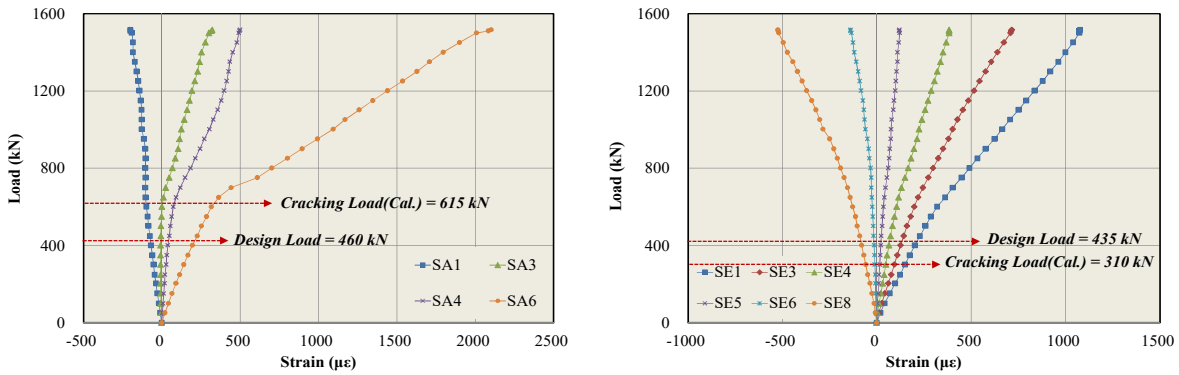
(2) 하중-변형률 관계

○ 부모멘트부 바닥판 균열로 인한 단면손실에도 실험체 전체 강성에 영향을 주지 않으며 정모멘트부 인장플랜지, 인장철근이 재료항복에 도달할 때까지 부모멘트부는 탄성적 거동

☞ 부모멘트부 균열 단면 설계가 안전측임. 비균열 단면으로 휨강성 평가하는 것이 실제 거동을 좀 더 정확히 모사할 것이라 판단

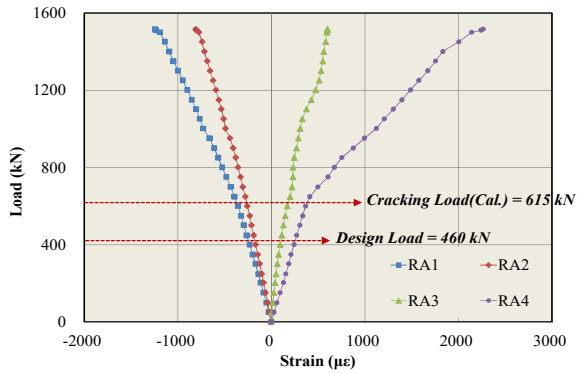
○ 정모멘트부 케이싱 균열 이후 인장플랜지와 인장철근 변형이 증가하고 1,450kN에서 철근이 항복한 후 인장플랜지가 1,500kN에서 항복 도달

☞ 케이싱 인장철근 항복시점이 강재빔 인장플랜지의 항복거동과 밀접한 관계를 가지고 있음.

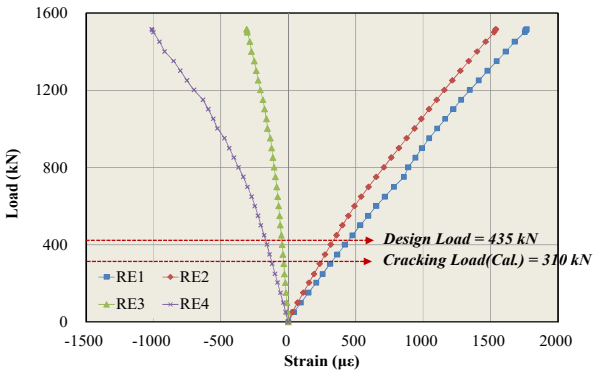


(a) 정모멘트부 (b) 부모멘트부

그림 3.70 강재 변형률



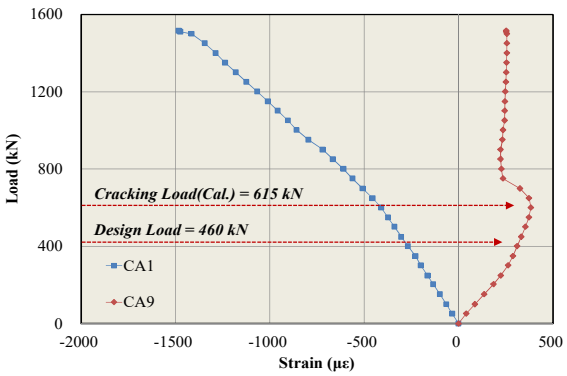
(a) 정모멘트부



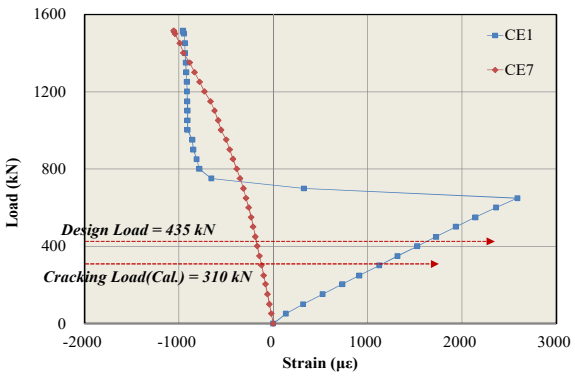
(b) 부모멘트부

그림 3.71 철근 변형률

○ 하중재하부 바닥판 압축변형률(=3,000$\mu\varepsilon$)의 50% 수준에서 종료하였고 최종 단계까지 바닥판의 압축파괴는 발생하지 않았음. 인장연단의 경우 콘크리트 게이지 부착 위치의 인접 부위에 균열 발생으로 충분한 데이터 얻지 못함.



(a) 정모멘트부



(b) 부모멘트부

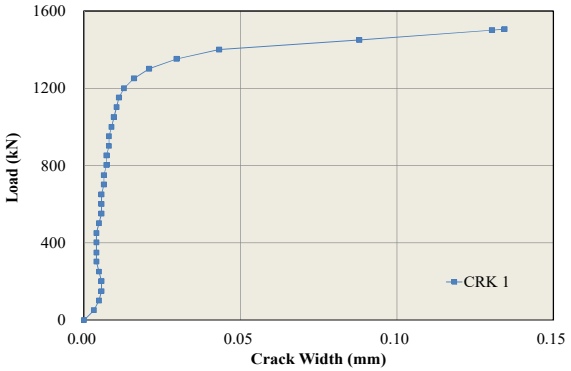
그림 3.72 콘크리트 변형률

(3) 균열 거동

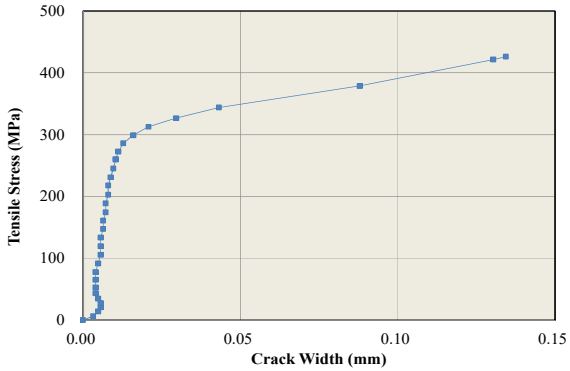
○ 하중재하부 케이싱 인장연단의 초기균열은 600kN이며 이 때 균열폭은 0.006mm, 인장철근응력은 120MPa이며 인장철근이 항복응력 400MPa 도달시 균열폭은 0.11mm로 관찰됨.

○ 내측지점부 바닥판 상연의 0.2mm 균열하중은 853kN으로 나타남. 이 때 철근응력은 180MPa. 하중 초기 단계부터 균열폭이 나타난 이유는 균열폭을 측정하기 위해 균열게이지를 설치하는 시점이 균열 발생을 육안으로 확인한 후 그 위치에 설치하기 때문으로 바닥판의 경우 케이싱 인장연단 균열까지 확인 후 균열게이지를 부착했기 때문에 이미 균열이 안정화 된 이후일 것임.

○ 바닥판 중앙 상연에서 300mm 간격 위치에 균열게이지 및 변형률 측정함. 철근응력은 거의 동일

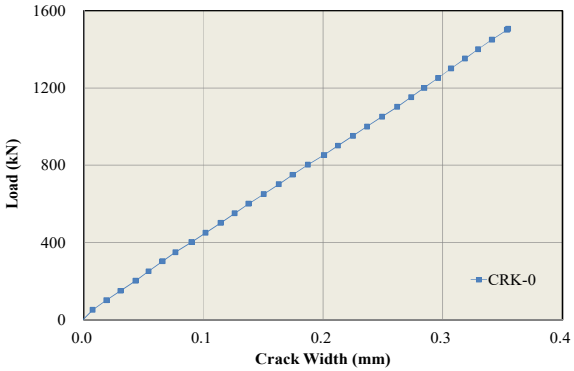


(a) 하중-균열폭

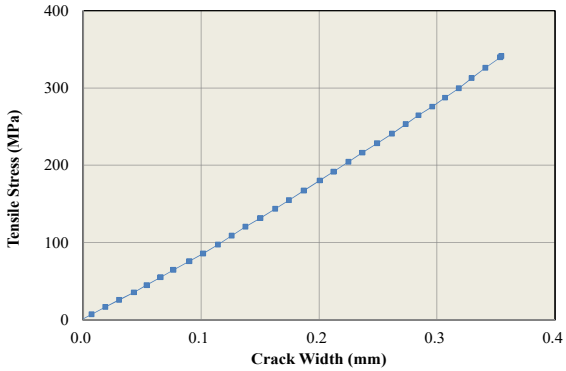


(b) 응력-균열폭

그림 3.73 하중재하부

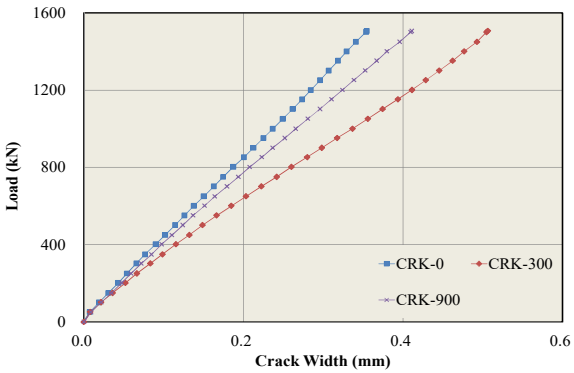


(a) 하중-균열폭

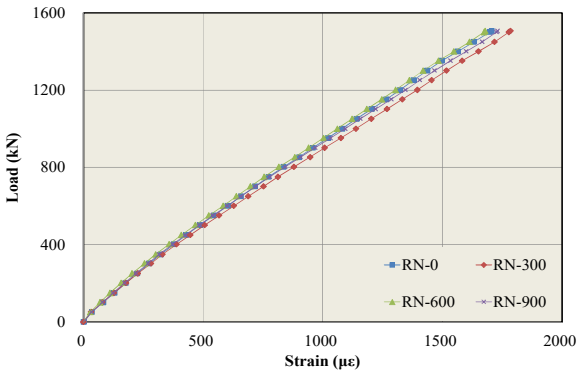


(b) 응력-균열폭

그림 3.74 내측지점부



(a) 하중-균열폭

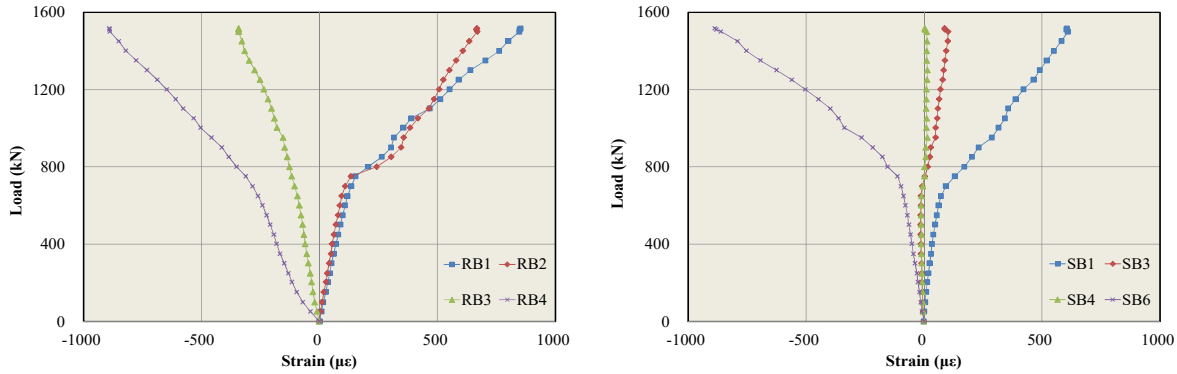


(b) 하중-변형률

그림 3.75 내측지점부 바닥판 상연

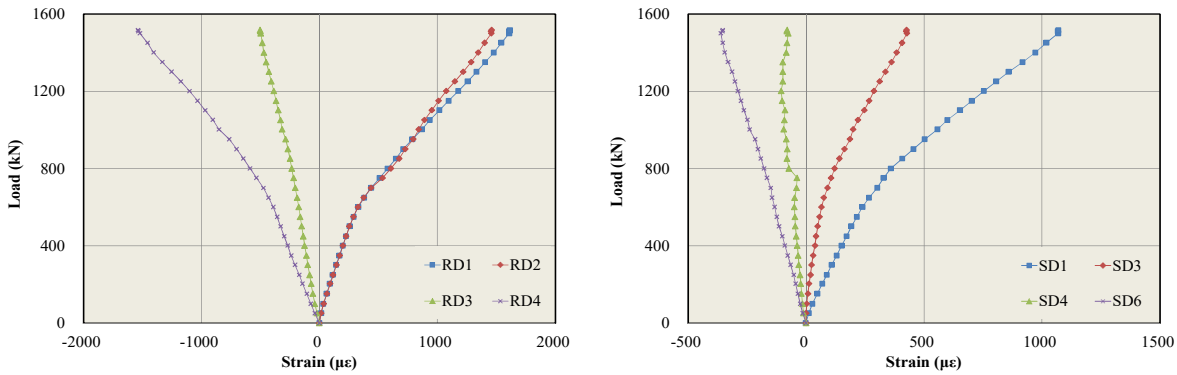
(4) 분절이음부 거동

○ 분절부 양 계면의 계측 단면 모두 부모멘트 구간에 속해 있고 케이싱 전 단면이 압축 상태임. 그럼에도 정모멘트거더측 정착부 압축 관련 이상 징후 없음. 향후 분절 위치 결정에 대한 재검토가 필요



(a) 철근변형률 (b) 강재변형률

그림 3.76 단면 B (분절부:정모멘트거더측)

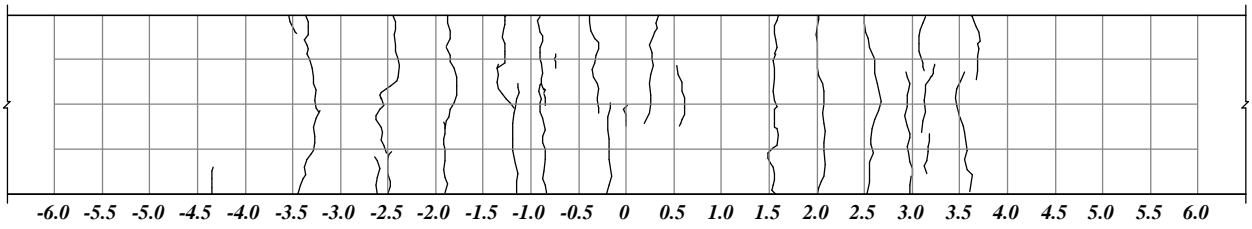


(a) 철근변형률 (b) 강재변형률

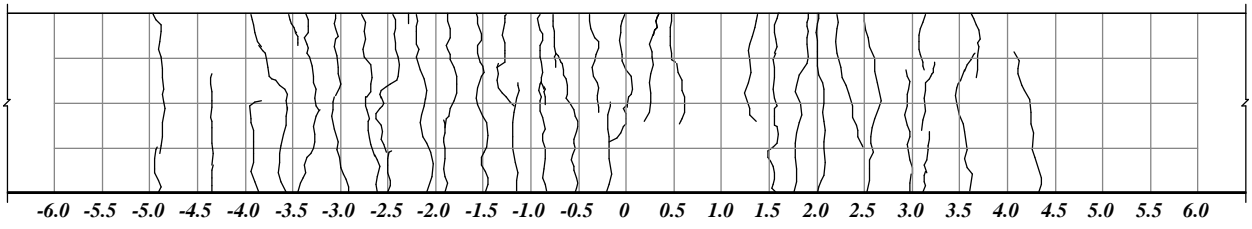
그림 3.77 단면 D (분절부:부모멘트거더측)

(5) 균열 양상

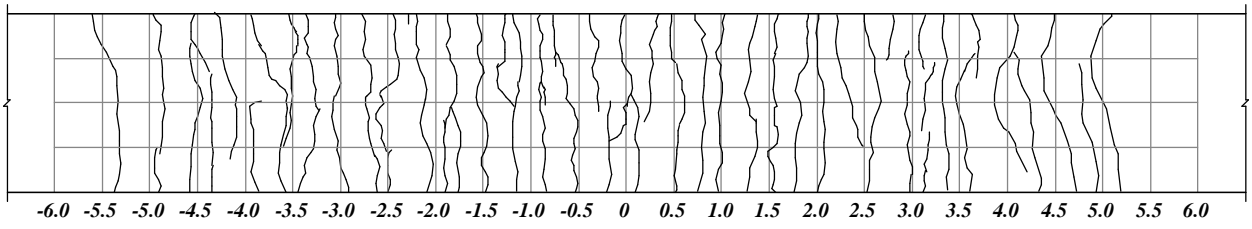
- 바닥판 상면 균열 분포 범위는 선형탄성모멘트 상의 부모멘트 구간인 10.6m 보다 1.4m 넓은 12m
- 균열간격은 최소 162mm부터 최대 440mm
- 케이싱 분절부의 신구콘크리트 계면에서 균열은 나타나지 않음.



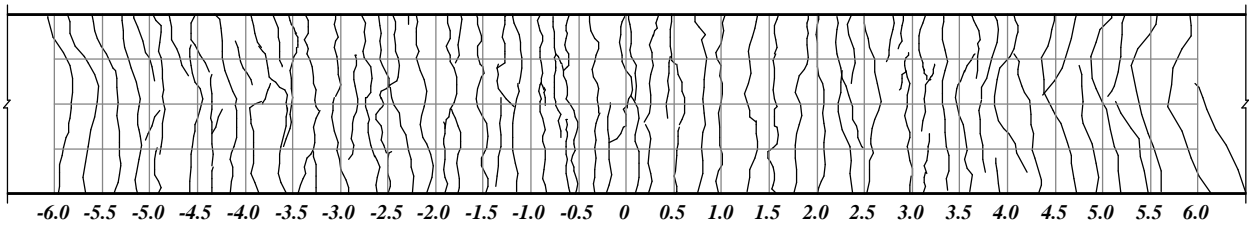
(a) 300kN



(b) 600kN



(c) 1,000kN



(d) 1,510kN

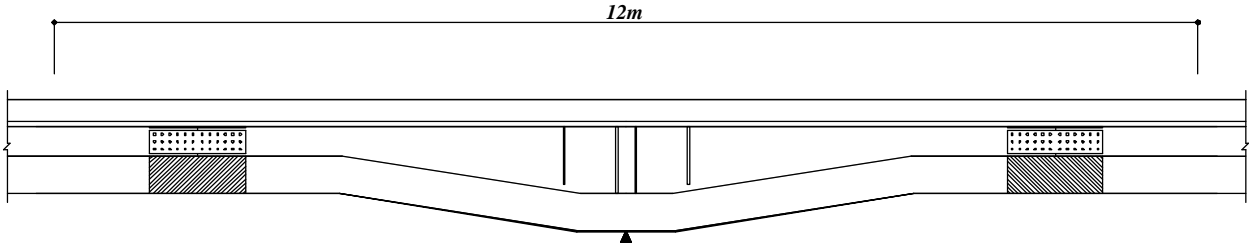
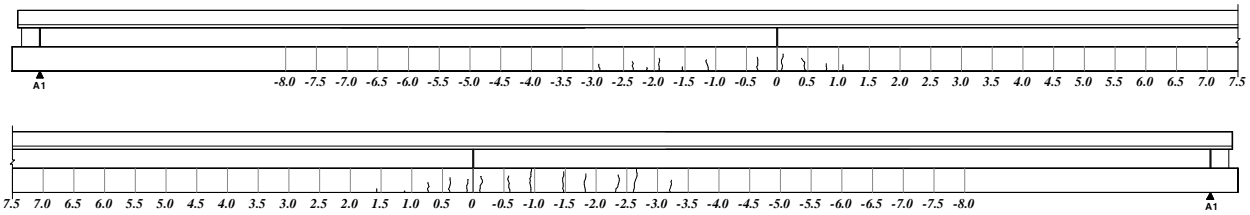
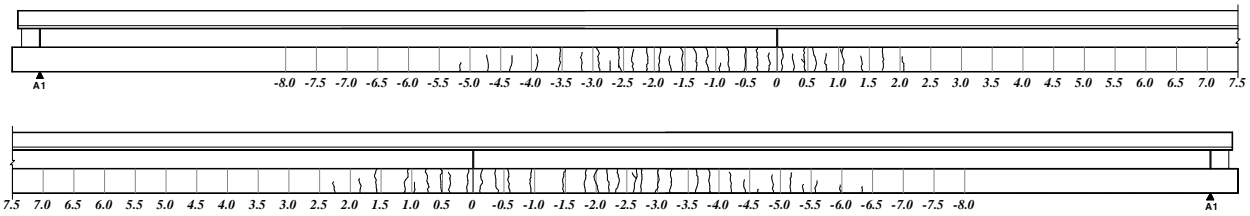


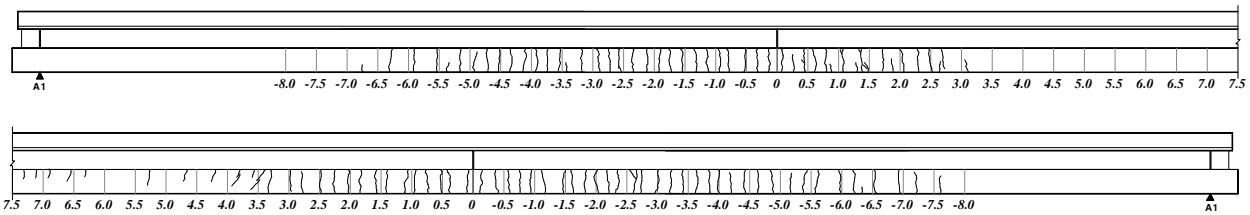
그림 3.78 부모멘트부 바닥판 상연 균열분포도



(a) 600kN



(b) 1,000kN



(c) 1,510kN

그림 3.79 정모멘트부 케이싱 균열분포도

바. 2경간 연속교 실험체 해석

(1) 해석방법

- 해석프로그램 ABAQUS/CAE 6.14-2
- 시공단계별 구조계 및 고정하중 고려 해석
- 강재 및 콘크리트 재료 비선형 고려
- 콘크리트 압축실험 강도 고려

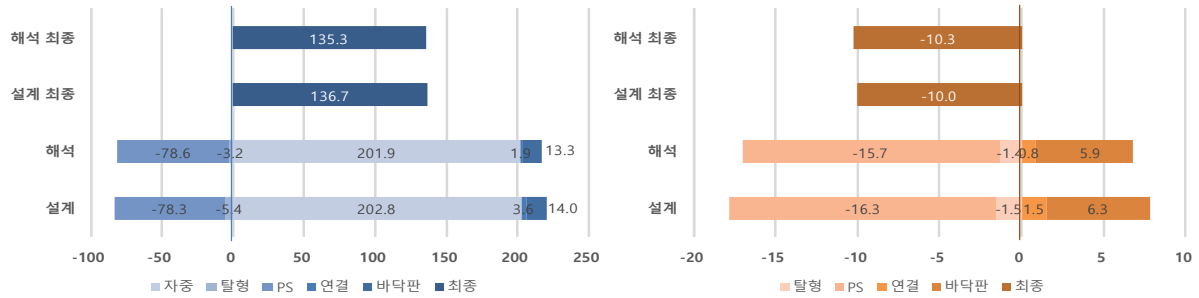
(2) 재료모델

- 사용 요소는 솔리드 요소로 C3D8R
- 재료모형 Elastic and Concrete Damaged Plasticity

(3) 시공단계별 교축방향 응력

- 구조계산 응력과 해석값의 오차 1~4%로 3D Solid 모델링 해석시 동일 정보로 사용가능 확인

STEP			1	2	3	4	5	Σ
			SW	CW	PS	RL	BL	
교축방향 응력(MPa) (+ 인장 / - 압축)	하부플랜지	해 석	201.9	-3.2	-78.6	1.9	13.3	135.3
		설 계	202.8	-5.4	-78.3	3.6	14.0	136.7
		최종단계 오차 (%)						1.0
	케이싱 하연	해 석	-	-1.4	-15.7	0.8	5.9	-10.4
		설 계	-	-1.5	-16.3	1.5	6.3	-10.0
		최종단계 오차 (%)						-4.0



(a) 하부플랜지 응력 (b) 케이싱 하연

그림 3.80 응력 변화 비교

6. 연속교의 진동사용성 평가

가. 진동사용성 평가 배경 및 필요성

○ 최근 급속한 경제발전과 생활수준의 향상에 따라 물류량이 증가하고 지역간 이동이 빈번해짐에 따라서 도로상을 통행하는 차량이 급속히 증가하고 있으며 차량의 중량화 및 고속화 현상이 가속되고 있어 특수한 형식의 교량이나 장지간 교량에서 과도한 진동문제가 사용성과 안전성을 저하

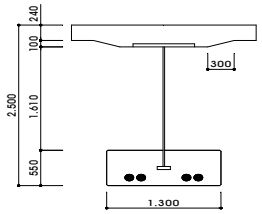
○ 주행차량에 의한 진동현상은 교량 구조체는 물론 교량 위를 통행하는 차량이나 사람에게 여러 가지 형태로 영향을 줌. 최근 선진국에서는 인명 안전에 대한 성능목표 위주로 설계된 구조물 보다는 경관성, 환경적합성 등 다양한 성능목표를 만족시키는 설계가 각광받으면서, 사용자의 편의성 또한 중요한 설계요소로 자리매김 하고 있음. 국내의 경우 교량의 동적인 거동을 평가하기 보다는 사용하중과 충격에 의한 허용처짐만 제시해 주고 있어, 보다 구체적인 사용성 기준이 필요한 실정.

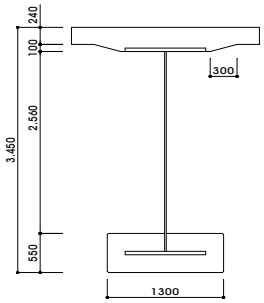
○ 지금까지 연구에 따르면 진동사용성 평가에 사용될 수 있는 지표로는 Reiher-Meister 진동등감각곡선(Reiher and Meister, 1931), Dieckmann(1985)의 k-value, ISO 2631(ISO, 1997)의 진동사용성 평가 지표 등이 있고 이 지표들은 각각의 사용성 등급 매겨 사람이 느끼는 진동의 정도를 정량적으로 평가. 여기서는 합리화 프리스트레스트 강합성 거더 연속교 설계안을 활용하여 상기 평가기준들 중 ISO 2631의 진동사용성 평가지표를 통해 동적사용성 검토를 실시.

나. 동적해석을 위한 모형화 및 해석방법

(1) 대상교량 조건과 제원

- 교량길이 : 140.0m(=2@70.0m)
- 교량폭원 : 12.6m
- 주 형 수 : 5본
- 차 로 수 : 3차로





(단위 : mm)

구분	단부	중앙부	중간지점부
Tu	292	292	292
Fu	700×48	900×48	900×48
Web	18×1,862	18×1,862	18×2,812
Fl	150×48	300×48	900×48
Tl	250	250	250

(2) 해석 모델링

- 거　더 : Frame
- 슬래브 : Plate
- 요소연결 : Rigid Link
- 하중산정 : 자중은 프로그램내 자동계산, 합성후고정하중은 계산 통해 등분포 하중 적용
- 활하중모델 : DB-24(=432kN)
- 감쇠비 : 1% 적용

※ 교량 해석에 이용한 감쇠비는 우리나라의 경부고속도로상의 교량들에 대하여 동적시험결과를 바탕으로 확인된 감쇠비인 0.62~3.7%의 범위를 고려해 1.0%의 감쇠비를 적용

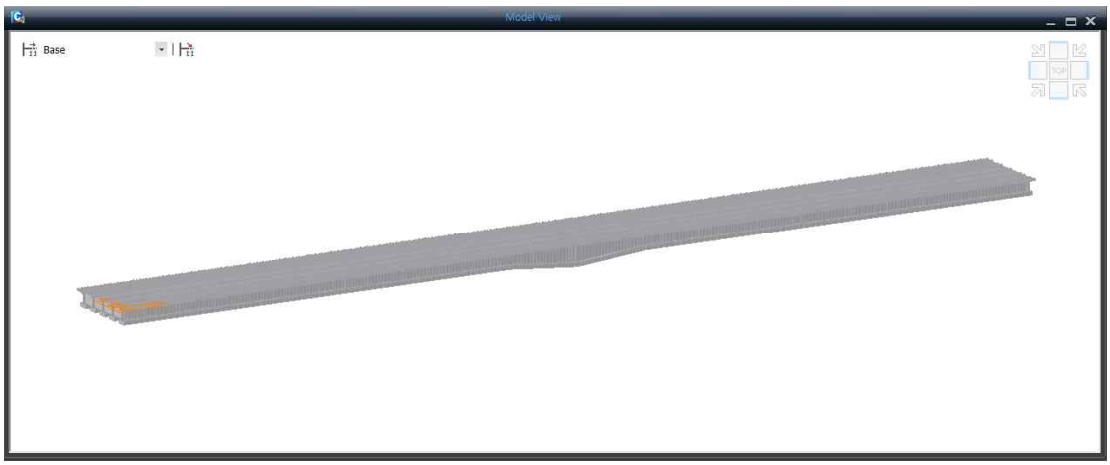


그림 3.81 대상교량 모델링

(3) 교축방향 하중재하 차선 및 차로폭 선정

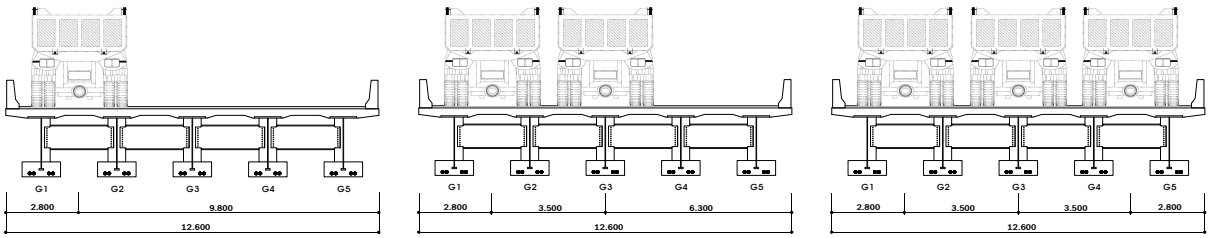
- 도로교설계기준에 따른 차선 위치 결정
- 최소 차로폭 : 3.5m

표 3.15 차로의 최소폭(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙)

도로의 구분			차로의 최소 폭(m)		
			지방지역	도시지역	소형차도로
고속도로			3.50	3.50	3.25
일반도로	설계속도 (km/h)	80 이상	3.50	3.25	3.25
		70 이상	3.25	3.25	3.00
		60 이상	3.25	3.00	3.00
		60 미만	3.00	3.00	3.00

(4) 주행 패턴

- 1차로 단독주행~3차로 동시차량 주행의 패턴으로 가정
- 단독주행부터 차간거리 20m를 적용한 차량 2대가 연행주행하는 패턴까지 검토
- 주행패턴별 정의는 다음과 같음.
  ① CASE 1 : 1차로 단독
  ② CASE 2 : 2차로 동시
  ③ CASE 3 : 3차로 동시



(a) CASE 1 (b) CASE 2 (c) CASE 3

그림 3.82 교축직각방향 재하위치

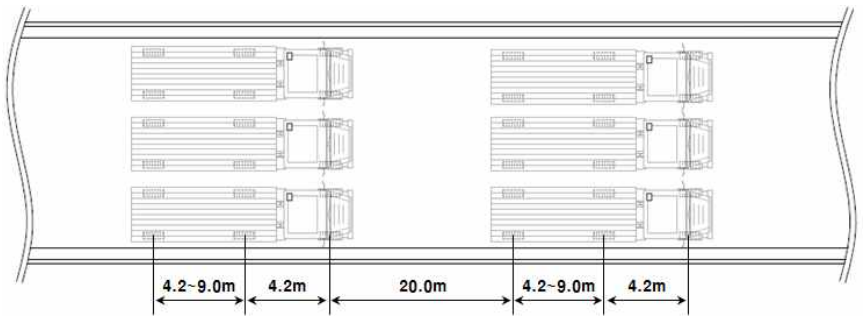


그림 3.83 교축방향 재하위치(CASE 3 예시)

(5) 차량 재하속도

- 일반도로 및 고속도로의 적용을 가정
- 재하속도 : 60km/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h

다. 진동사용성 평가방법

○ 구조물에서 발생되는 진동은 구조물의 변형에 직접적인 영향을 끼치지 않더라도 구조물을 이용하는 이용자들에 불쾌감을 형성하거나 불안함을 가질 수 있게 만듦. 그런 이유로 많은 연구자들이 진동에 의한 인간감각특성에 대해 연구해왔음. 많은 연구에도 진동에 대한 국제적으로 통일된 평가기준이 없기 때문에 진동의 평가가 나라에 따라 다름.

○ 진동평가법의 국제적인 통일기준의 요구로 ISO에서는 진동의 평가기준 및 허용폭로시간에 대하여 ISO 2631로 규격화하였음. 여기서는 ISO에서 제시한 진동평가 기준 중 차량에 대한 기준과 빌딩에 대한 기준에서 진동수 대한 기준 이상의 가속도의 사용성 한계를 검토하여 허용폭로시간이상 노출에 의한 영향을 평가

(1) 진동이 인체에 미치는 영향 평가지침

- 진동이 인체에 미치는 악영향을 결정하는 물리적 인자
  ① 진동강도(intensity)
  ② 주파수(frequency)
  ③ 방향(direction)
  ④ 지속시간(duration) 또는 폭로시간(exposure time)

- 진동평가시 평가조건(criteria)
  ① 작업능률유지(피로·능률감퇴경계)
  ② 건강이나 안전유지(폭로한계)와 쾌적성 유지(쾌적감퇴한계)

☞ 평가기준 : ISO 규격의 수직방향의 피로・능률감퇴경계

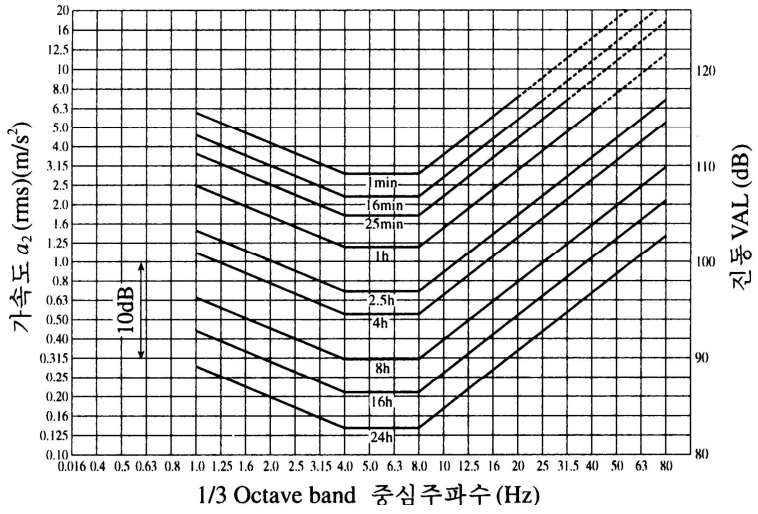


그림 3.84 수직방향의 피로·능률감퇴경계(ISO)

(2) 시간영역의 진동사용성 기준 (ISO 2631)

기준	산출식	한계치	비고
BS 6841 (1987) ISO 2631 (1997)	$a_{\mathrm{r.m.s,w}} = \sqrt[2]{\frac{1}{T}\int a_w^2(t)dt}$	0.8	• 일시적 신호, 빈도가 낮은 충격 부적합 • FWF 사용(Wb) • Crest factor < 9인 경우 적합
DIN V ENV 12299 (2001)	$a_{95} = 95^{th} percentile\, of\, a_{r.m.s,w}$	4	• 작은 진동에 적합
ERRI D190 (1995)	$LI_h = 107.77\sqrt[3]{\int_0^T \lvert a_w(t)\rvert^3 dt}$	45	• 10% uncomfortable
Root mean quad (RMQ)	$a_{\mathrm{r.m.q,w}} = \sqrt[4]{\frac{1}{T}\int a_w^4(t)dt}$		• Crest factor > 9인 경우에 적합
Vivration dose value	$VDV = \sqrt[4]{\int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t)dt}$		• BS와 ISO에 적용

라. 주행차량에 의한 동적거동 분석

(1) 평가지점의 선정

○ 차량의 단독주행과 연행주행에 대한 진동사용성 평가를 위해 대상교량의 경간 중앙부의 진동특성을 이용. 동적검토에 이용한 대상교량의 경우 거더에서 발생하는 동적특성이 각 경간 횡방향을 기준으로 대칭을 이루고 있으므로 진동사용성 평가결과는 그림 3.85 위치에 한하여 정리



그림 3.85 진동사용성 평가 지점

(2) 차량의 재하방법에 따른 진동사용성 평가

○ 주행차량의 동적거동분석을 실시하여 얻은 가속도를 이용하여 대상모델의 진동사용성 평가를 실시

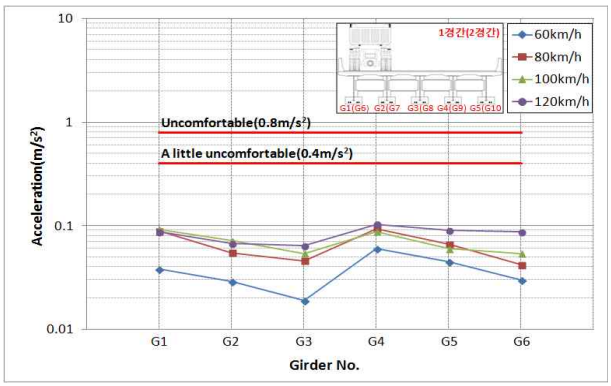
- 교량 사용성 한계는 BS 6841과 ISO 2631에서 제시하고 있는 RMS값 0.8m/s^{2}로 정의
- 약간 불편한 정도 → 0.4m/s^2
- Crest factor < 9 이므로 아래 표 3.16의 RMQ보다 RMS 결과를 이용

표 3.16 진동사용성 한계 (ISO 2631)

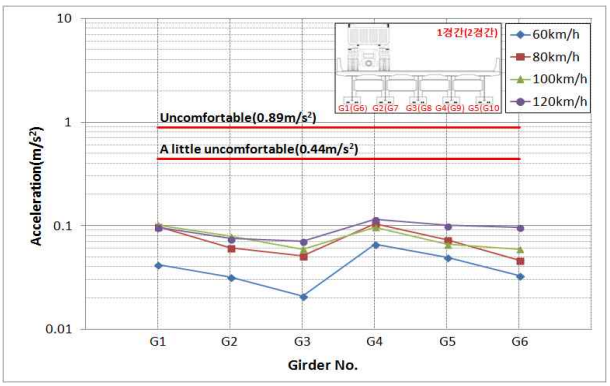
대표값 / 안락한정도	RMS (m/s^2)	RMQ (m/s^2)
Comfort limit	0.8	0.89
A little uncomfortable	0.4	0.44

(3) CASE 1 결과 : 1차로 주행

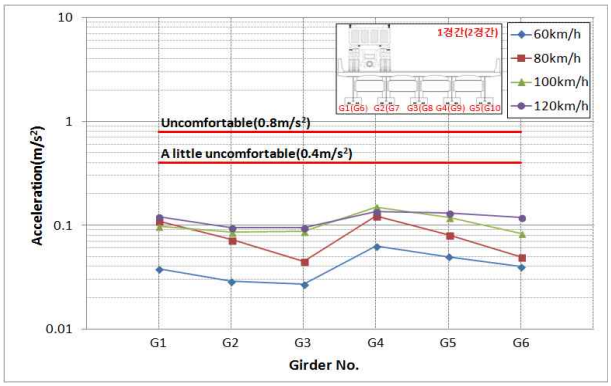
☞ 허용기준치 이내에 만족



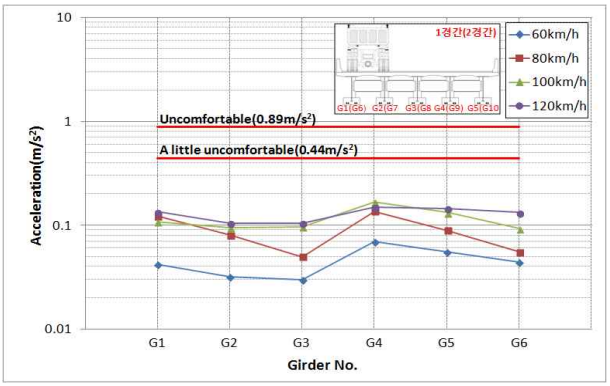
(a) WRMS : 1대 단독 주행



(b) WRQS : 1대 단독 주행



(c) WRMS : 2대 연행 주행

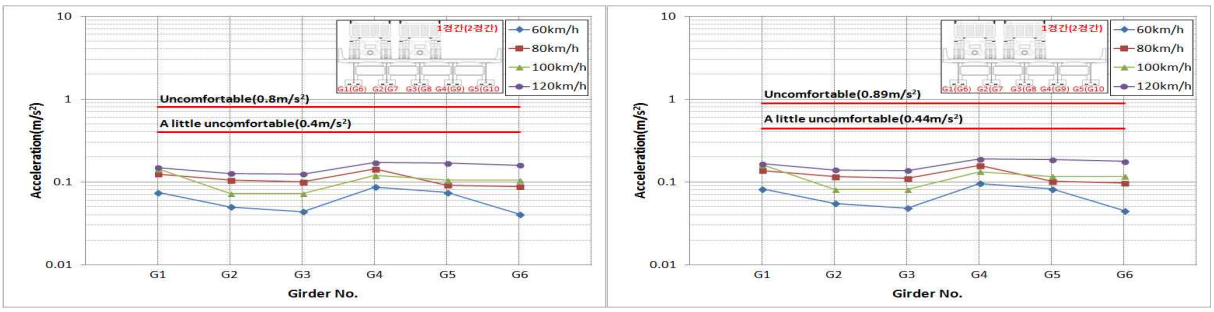


(d) WRQS : 2대 연행 주행

그림 3.86 CASE 1 결과 그래프

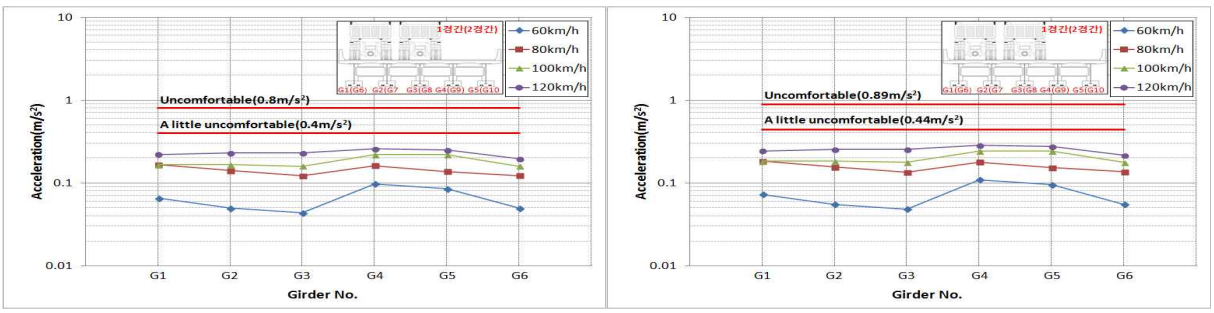
(4) CASE 2 결과 : 2차로 주행

☞ 허용기준치 이내에 만족



(a) WRMS : 1대 단독 주행

(b) WRQS : 1대 단독 주행



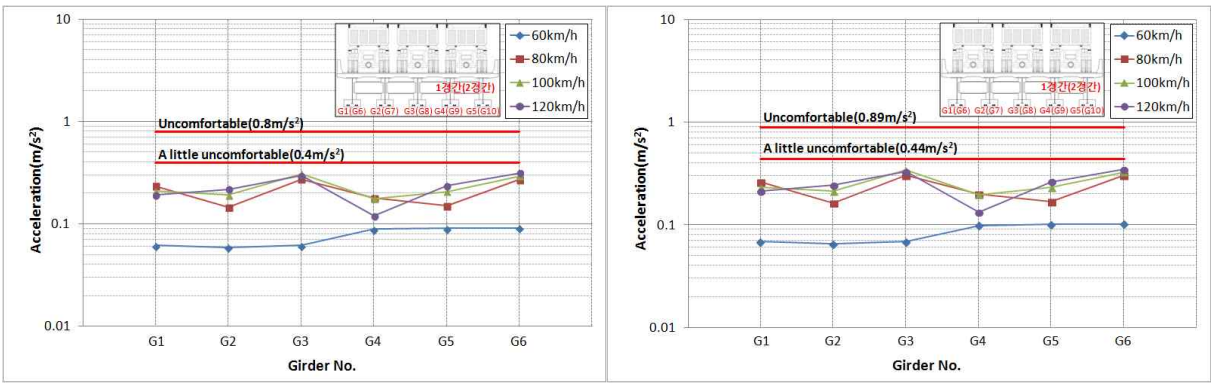
(c) WRMS : 2대 연행 주행

(d) WRQS : 2대 연행 주행

그림 3.87 CASE 2 결과 그래프

(5) CASE 3 결과 : 3차로 주행

☞ 허용기준치 이내에 만족



(a) WRMS : 1대 단독 주행

(b) WRQS : 1대 단독 주행

(c) WRMS : 2대 연행 주행

(d) WRQS : 2대 연행 주행

그림 3.88 CASE 3 결과 그래프

마. ISO 쾌감감퇴경계곡선 평가

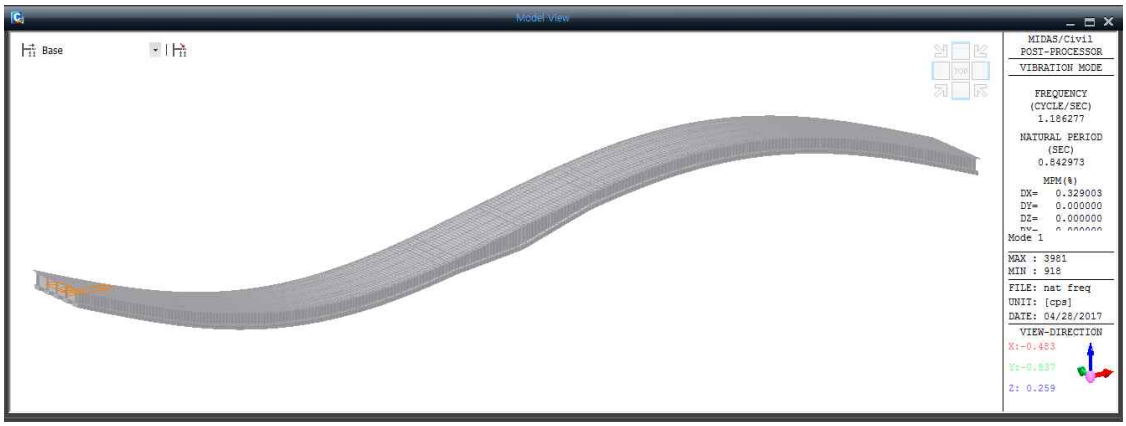


그림 3.89 1st 휨고유진동수 산정(1.186Hz)

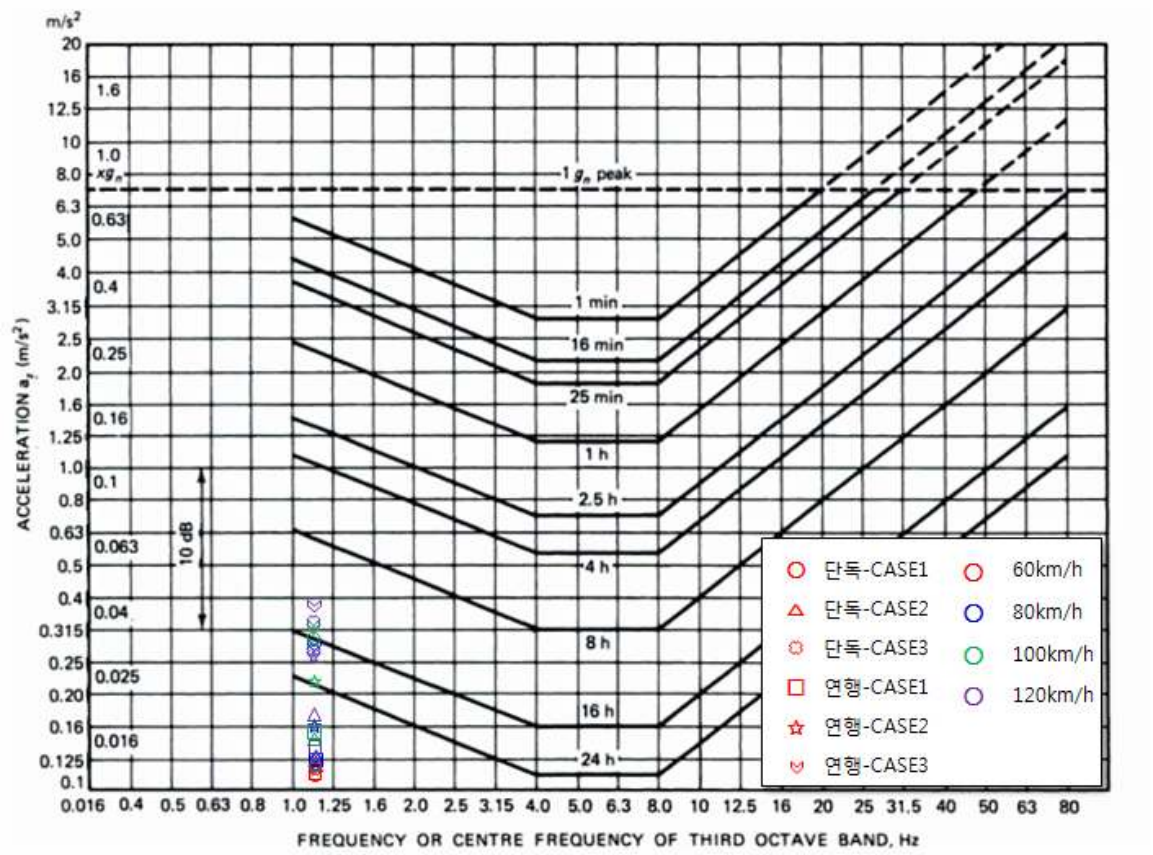


그림 3.90 경량 Precom 연속교 ISO 쾌감감퇴경계분석

☞ ISO 쾌감감퇴경계곡선 노출시간 16분에 대한 가속도 약 4m/s² 기준에 충분히 만족

바. 진동사용성 평가 결론

○ 경량 Precom 연속교의 진동사용성을 평가하기 위하여 대상교량과 주행차량의 모형화를 통한 모의분석 수행. 주행차량의 동적거동분석에서 얻은 결과를 이용하여 교량 사용성한계를 검토

○ 평가기준은 BS 6841과 ISO 2631에서 제시하는 교량 사용성한계로 진동사용성 평가

- RMS : Uncomfortable=0.80m/s^2 // A little uncomfortable=0.40m/s^2
- RMQ : Uncomfortable=0.89m/s^2 // A little uncomfortable=0.44m/s^2

○ 대상교량의 진동사용성 한계 평가 결과 모든 조건에 대해서 A little uncomfortable(0.4m/s^2) 이하로 허용기준치 이내에 만족

○ ISO 쾌감감퇴경계 곡선 평가 결과 경량 Precom 연속교의 고유진동수는 1.186Hz이고, 차량재하 조건별 발생되는 가속도 값은 ISO 16분의 한계치인 약 4.0m/s^{2}의 가속도 이하에서 발생

☞ 경량 Precom 연속교는 ISO 쾌감감퇴경계 곡선평가 결과 진동에 대해 양호

제 5 절 연구개발 성과

1. 기술적 성과

가. 정성적 성과

구 분		성 과 내 용	성 과
적용경간 증대를 통한 시장 확대	기술수준	• 경간장 증가에 따라 복부콘크리트 하중 비율 합성후고정하중의 40% 까지 증가 • 장경간화시 단면효율 떨어지는 비경제적 설계 • 교량길이 60m 이상 설계 실적 저조 → 경제성 감소 • 높은 형고를 감수하고 저렴한 개량형 PSC빔을 적용하거나 고가의 강박스거더 등이 적용	도로교 최대경간장 L=70m
	기술개발 성과	• 복부콘크리트를 생략하고 강재복부 상세 등을 개선 및 표준화하여 경간장 70m 시장 진입 기틀 마련 • 낮은 형고로 형하공간 확보가 필요한 70m 교량시장 검토 • 철도교는 최대 55m까지 검토 완료	
바닥판 시공성 향상	기술수준	• 수직부(복부·가로보)와 수평부(바닥판) 제작시 작업 공간 협소문제 발생 → 시공성 저하 • 상부 바닥판부의 복잡한 시공이 공사비 상승 요인 중 하나 • 형고가 작업자 보다 높거나 낮은 경우 둘 다 작업 난황 • 교량 하부 차량통행시 낙하물 등으로 2차사고 우려 • 바닥판 제작시 프리캐스트 제품 도입 불가	바닥판 시공성 제고 및 공기단축
	기술개발 성과	• 복부 제작이 생략되므로 일반적인 바닥판 시공만으로 완성 • 교량하부 차량통행시 프리캐스트 바닥판 또는 프리캐스트 패널 등 제품 적용 가능 → 공기단축 • 시공중 작업자 안전성 증대	
구조안전성 및 사용성	기술수준	• 진동사용성은 철도교에서 중요하게 다뤄지고 도로교에 대해서는 평가기준 검토 미비 • 연속교에 있어서 Full 모델 실물시험 사례 전무 • 장경간시 2-shoe방식(슬래브 연속) 경제성 저하	균열하중 1.2배 이상/ 탄성처짐량 L/600이하/ ISO괘감감퇴 경계곡선노출 시간 10분
	기술개발 성과	• 철도교 50m 실물모형 실험을 통한 균열안전성 1.2배 이상 확보로 직접적인 성능 검증 → 즉각적인 실물시공 투입 가능 • 연속교 Full 모델 실물시험으로 現 설계법의 적절성 평가 • 1-shoe 방식 연속화 실물시험체 안전성 및 사용성 검증	
선진적 설계기술 확보	기술수준	• 허용응력설계법에 기반한 설계 • 신뢰도 기반 설계기준인 한계상태설계법 적용 의무화 되었음에도 설계 이해도 부족 및 미비한 기준 출간으로 혼란	도로교 한계상태설계 구조계산서
	기술개발 성과	• 강합성거더의 한계상태설계 표준설계 완성 • 설계 지침(안) 완성	
경제성 향상으로 가격경쟁력 제고	기술수준	• 철도교 50m 기준 단위면적당 공사비 154만원 • 강재중량 41톤	단위공사비 16%/ 단위강중 12% 절감
	기술개발 성과	• 철도교 50m 기준 단위면적당 공사비 130만원, 16% 절감 • 강재중량 36톤으로 12% 감소	

나. 정량적 성과

(1) 논문게재

No.	논문명	학술지명	주저자	권호	국 명	발행기관
1	프리스트레스트 강합성거더의 분절접합부 구조거동에 관한 실험적 연구	한국재난정보학회논문집	이주원, 하태열 양인욱, 한종욱	제12권, 4호, pp.422~431	한 국	한국재난정보학회

(2) 지식재산권

No.	명 칭	출원일	출원번호	출원인	국 명	기여율
1	복합 형식의 연속화 교량의 상부구조체 및 그 시공방법	2016.04.26	2016-0049101	김충언 양인욱 하태열	한 국	1/2
2	프리스트레스트 강합성거더의 제작방법 및 이에 의해 제작된 강합성거더를 이용한 연속교량의 시공방법	2017.04.20	10-2017-0050970	김충언 양인욱 하태열	한 국	2/2
3	교량 상부 구조의 가로보 연결 구조체 및 그 시공방법	2017.04.20	10-2017-0050974	김충언 양인욱 하태열	한 국	3/2

(3) 국내 학술회의 발표

No.	발표명	회의명칭	발표자	발표일시	장 소
1	슬래브 시공을 간소화한 프리스트레스트 강합성거더의 철도교 적용성 연구	한국철도학회 2015년 춘계학술대회 분야별세션5 궤도토목분과 교량연구회	김충언	2015.05.22. (09:30 ~18:30)	목포신안비치호텔 비발디 1
2	합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성거더	한국교량및구조공학회 2015년도 기술컨퍼런스	김충언	2015.11.13. (09:30 ~10:00)	한국철도기술연구원 오명홀
3	합리적으로 개선된 프리스트레스트 강합성거더교의 구조성능검증	한국철도학회 2016년 춘계학술대회 분과세션2 궤도토목분야 기술세미나	김충언	2016.05.20. (13:30 ~15:40)	경주현대호텔 크리스탈
4	강재 복부 노출형 강합성 거더의 휨성능 실험	대한토목학회 2016년 정기학술대회	하태열	2016.10.21. (11:00 ~12:00)	제주국제컨벤션센터 5층
5	프리스트레스트 강합성 거더 케이싱 연결상세 평가	한국교량및구조공학회 2016년도 기술컨퍼런스	김충언	2016.11.10. (12:50 ~13:15)	목포대학교 도림캠퍼스 대외협력관 대강당

2. 경제적 성과

가. 영업 성과

구분	과업명	교량명	발주처	교량제원	데크적용	비고
1	남포~장재 지방도 확포장공사	장재교	전라남도 건설방재과	L=4@50.0=200.0m, B=14.5m	-	설계완료
2	광주~강진 고속도로 건설공사	등정교	한국도로공사	L=45+50+45=140m, B=24.3m	○	설계완료
3	광주~강진 고속도로 건설공사	풍산교	한국도로공사	L=2@50.0=100.0m, B=24.3m	○	설계완료

나. 매출 발생

구분	과업명	교량명	발주처	교량제원	데크적용	비고
1	고속국도 제15호선 서해안고속도로	홍원육교	한국도로공사	L=1@56.2=56.2m, B=23.0m	○ (LB Deck)	제작완료
2	소사-원시 복선전철 4-1공구	보도육교	한국철도시설공단	L=1@23.0=23.0m, B=5.0m	○ (Full Deck)	제작완료
3	옥산~오창 고속도로 민간투자사업	성산교	대전지방 국토관리청	L=1@60.0=60.0m, B=24.3m	-	제작완료

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 1차년도 목표 달성도

가. 정성적 목표치 및 목표달성도

성과목표	기 준	연구전 국내수준	목표치	목 표 달성치	달성도	비 고
적용경간 증대를 통한 시장확대	최대경간장	L=60m	L=70m	L=70m	100%	
경제성 향상으로 가격경쟁력 제고	단위공사비	100%	85%	84%	100%	
	단위강재량	100%	90%	88%	100%	
기술완성도 제고	전문가의견반영	-	1건	4건	100%	
구조안전성 확보	균열안전성	-	설계하중의 1.2배	설계하중의 1.3배	100%	
처짐기준 만족으로 사용성 확보	L/600이하	-	82mm	71mm	100%	
상부공 제작일수 단축을 통한 시공성 향상	상부제작일수	12일	8일	8일	100%	

나. 정량적 목표치 및 목표달성도

성과목표	목표치	목표달성치	달성도	비 고
특허출원	1건	1건	100%	
논문게재	-	-	-	
시제품제작	1건	1건	100%	

2. 2차년도 목표 달성도

가. 정성적 목표치 및 목표달성도

성과목표	기 준	연구전 국내수준	목표치	목 표 달성치	달성도	비 고
구조안전성 ・사용성검증	최대하중	-	설계하중의 3배	설계하중의 3.3배	100%	
	ISO쾌감감퇴경계곡선노출시간	-	10분	16분	100%	
	부모멘트부 휨저항강도	-	균열하중의 2배	균열하중의 5배	100%	
선진적(신뢰도기반) 설계기술 확보	한계상태설계법 구조계산예제	선진국대비 50%	1건	1건	100%	
	설계・시공지침	-	1건	1건	100%	
영업・홍보활동을 통한 설계반영	대외홍보활동	-	2회	3회	100%	
	설계변경	-	1건	2건	100%	
건설신기술 인증	건설신기술신청	-	1건	0건	0%	

나. 정량적 목표치 및 목표달성도

성과목표	목표치	목표달성치	달성도	비 고
특허출원	1건	2건	100%	초과달성
논문게재	1건	1건	100%	
시제품제작	1건	2건	100%	초과달성

제 2 절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

○ 기존 강합성 거더는 가설 이후 바닥판 시공이 일반적인 강거더 또는 PSC빔 보다 복잡하고 위험요소가 많아서 발주처·시공사의 개선 요구가 있음. 경량 Precom 거더는 프리캐스트 또는 데크 패널 등을 활용할 수 있기 때문에 시공 중 안전사고 발생 확률을 줄일 수 있고, 상부제작 공정을 2/3 수준으로 단축시킬 수 있어 급속시공이 요구되는 근래 추세를 잘 따를 수 있음. 경량 Precom 거더의 개발로 강합성 거더의 구조적 장점은 그대로 취하면서 시공이 간소화하는데 기술적으로 기여

○ 교량 바닥판은 교량을 형성하는 부재 중 가장 혹독한 환경에 노출되어 있어 수명이 다른 부재에 비해 상대적으로 짧은 것으로 알려져 있음. 점차 늘어가고 있는 노후바닥판 교체시장을 고려할 때 기존 강합성 거더는 상부플랜지가 바닥판에 매립된 채 합성단면으로 외력에 저항하도록 설계되어 있어, 바닥판만 부분적으로 교체하기란 사실상 불가능. 경량 Precom 거더는 바닥판만 분리 제거·교체 가능하여 장기적으로 SOC 시설물 폐기 후 신설에 따른 사회적 비용을 크게 감소시킴.

2. 사회·경제적 측면

○ 50~70m 경간 교량 적용시장은 연간 10,422억 원 수준. 경량 Precom 거더 도입으로 기존 대비 공사비를 15%이상 감소시켜 전체시장의 50%를 대치할 경우 약 8,859억 원/년의 건설비용 절감 가능하고, 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시킬 뿐 아니라 형하 공간 확보가 유리해 홍수 등의 자연재해에 의한 피해를 최소화함.

3. 문화적 측면

○ 경량 Precom 거더는 노출된 강재 복부에 여러 가지 색채 연출이 가능하므로 기존 강합성 거더에 비해 미적으로 우수함. 기존 강합성 거더교는 외관상 콘크리트교와 차별성이 두드러지지 않아 현장 적용시 많은 민원이 접수될 수 있고, 민원으로 교량이 변경되는 사례가 종종 생겨나는 실정. 국토의 70%가 자연환경으로 이루어진 국내에서 경관을 헤치지 않기 위해 공공시설물 디자인이 점점 더 중요시 되고 있는 상황. 경량 Precom 거더는 이 경향을 잘 반영할 수 있는 강합성 거더 공법임.

제 5 장 연구개발 성과의 활용계획

○ 연구개발 성과인 경량 Precom 거더는 도로교 50~70m, 철도교 40~50m에 경제적인 프리스트레스트 강합성 거더임. 바닥판 시공이 간소하고 프리캐스트 바닥판이나 패널을 적용할 수 있어, 시공 중 교량 하부에 차량통행이 있는 현장과 교량이 높은 곳에 설치되어 안전에 유의해야 하는 현장에 활용성이 매우 좋음. 강재 복부는 도장으로 색을 칠할 수 있어 경관이 중요한 곳에 활용하면 좋음.

○ 경량 Precom 거더 사업화 과제 수행 중에 3건의 시공실적을 올렸음. 아래 표는 실적에 대한 설명이며 성과 활용의 좋은 예시임.

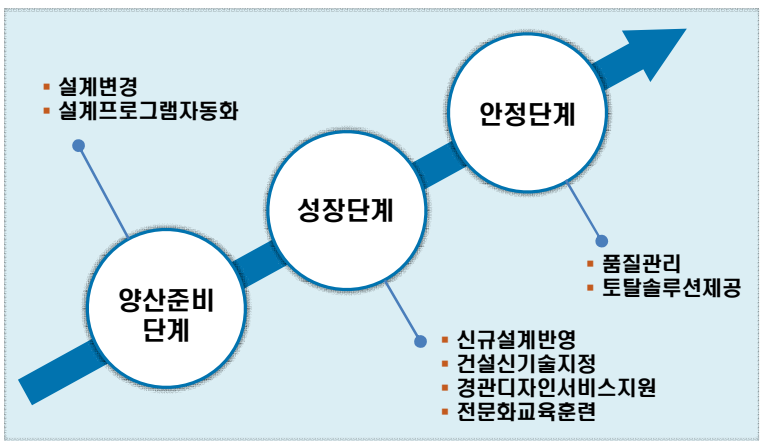
교량명	홍원육교 L=56m, H=2.4m	보도육교 L=23m, H=1.0m	성산교 L=60m, H=2.5m
현장사진			
설계변경		○	○
현장조건	- 서해안고속도로 상을 횡단. - 낮은 교량 계획고 - 컨테이너 화물 대형차량의 잦은 통행. - 작업자 추락 및 낙하물로 인한 2차사고 우려	- 강관보도육교로 당초 계획. - 교량 아래에 지하철 4호선과 화물열차가 자주 통행. - 작업시간은 3시간/일 허락 (새벽 1시~4시).	- 하부에 왕복 2차선 도로. - 도로폭 확장공사 대기 - 지상에서 높은 위치에 교량설치 계획. - 원설계는 PSC거더
문제점	- 형고비 엄격히 적용	- 급속시공 요구.	- 대형크레인 가설 곤란
적 용 타당성	- 안전한 시공을 위해 프리캐스트 패널 시공이 가능한 경량 Precom 반영	- 1일 1회 가설 및 프리캐스트 바닥판 설치 가능	- 합성 거더보다 경제적이고 콘크리트교보다 가벼움. - 데크 패널 적용 가능

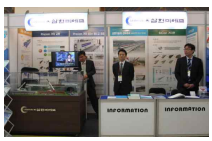
■ 외부환경과 요구성능 분석

○ 건설 환경 패러다임이 변화하면서 안전성과 경제성이 우선시되던 과거와 달리 최근에는 교량에 요구되는 성능도 크게 바뀌고 있음. 경량 Precom의 경우도 오랫동안 제작해 오던 바닥판 시공 방식을 최근 발주처나 시공사의 요구에 따라 개선한 것이라 할 수 있음. 아래는 근래 이슈가 되고 있거나 향후 중요시 될 외부환경을 나열하고 이에 상응하는 요구수준을 정리한 것임. 요구수준은 이미 본 사업화 과제를 통해 달성한 것이거나 해결법을 찾은 것으로서 영업·홍보 활동시 경량 Precom의 강점으로 활용할 계획임.

외부환경	요구수준
• 국토교통부의 도로·철도 노선 확충 • 도심지 및 입체고가 시공 증가	• 도로교 50~70m, 철도교 40~50m에서 경제성 확보 • 프리캐스트 바닥판 수용되어 급속시공 가능
• 기존 설계법 2017.12.31부로 유예기간 종료	• 한계상태설계 기술력 확보 • 설계 자동화프로그램 개발
• 발주처·시공사 바닥판 시공 간소화 요구	• 간소하고 안전한 바닥판 시공으로 개선
• 공공시설물 디자인 중시하는 사회 분위기 → 제1차 경관정책기본계획 발표(국토교통부)	• 단순하고 슬림한 외관 • 경관과 어울리는 색채 적용
• 고소(高所)교량 증가	• 런칭크레인 가설장비/시공기술 보유 • 상대적으로 가벼운 가설중량
• 노후인프라시설 및 유지관리 중요도 증가 → 서울시 노후시설물 관련 조례 발표(2016.06)	• 바닥판 노후시 교체 가능 • 1-shoe 연속교 시공 도입으로 받침수 감소
• PSC거더의 시장영역 확대	• 타공법 보다 경쟁력 있는 70m 경간 적용
• 보수적인 발주처 및 업계 성향	• 핵심공법은 기존 제품과 동일 • 실물교량 구조성능검증 완료
• 구조물에 혹독한 기후로 변화	• LCC 고려한 내후성 도장 재료 적용 • 내구성능 우수한 실런트로 취약부 실링

■ 단계별 성과활용 추진 계획













단 계	세부 목표	활용 내용
양산준비기간	설계 변경	• Test Bed 시공실적 누적을 최대 목표로 설정 • 기존 설계 반영된 Precom 거더 중 다음 조건에 해당하는 경우 설계 변경 시도 ① 교량하부에 기존 철도·도로 통행하는 현장 ② 미관을 고려한 교량 설치요구 민원이 발생하는 곳 ③ 고교각 현장으로서 런칭크레인 가설이 계획된 곳 ④ 다경간 현장이며 교각수 감소가 필요한 현장
	설계프로그램 자동화	• 신속한 설계 서비스 대응 • 기존 설계프로그램을 한계상태설계 설계프로그램으로 업데이트 ① 구조계산 자동화 ② 도면 자동화 ③ 수량·내역 연동 프로그램 개발
고속성장기	신규설계 반영	• 발주처 기술설명회 참가 • 전시회 홍보(모형 활용) • 설계·시공사 영업활동 개시
	건설신기술 지정	• 건설신기술 지정으로 관급 공사 경쟁력 제고 • 다음 조건을 충족하는 경우 건설신기술 신청 ① 시공완료 5건 달성 ② 현장재하시험 1회 이상 수행 ③ 설계표준화가 100% 완성단계 도달 ④ 특허등록 인정
	서비스 지원	• 경관디자인 서비스 지원 • 3D 가상시공 시뮬레이션을 통한 공기지연요소 제거
	고용 및 훈련	• 2인/년 이상 전공자 채용 ① 전문대졸 이상 CAD전문인력 채용 ② 공학사졸 이상 엔지니어인력 채용 • 내부 기술소양 업데이트 프로그램 활용 주기적 훈련
안정기	품질관리	• 품질관리 전문기술자를 별도로 두어 교량 품질 제고 ① 시공현장 품질관리 및 이행사항 점검 ② 완공현장 지속적 상태점검 및 후속조치
	토탈솔루션 제공	• 노후바닥판 교체 및 교량철거·신규설치 컨설팅 • 신규교량 설치단계 부터 해체철거단계까지 종합적 기술지원

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

No	발행 국가	발행 연도	저자/발행처	명 칭
1	미 국	2002	AASHTO	AASHTO LRFD Bridge Design Specifications
2	미 국	2010	AASHTO	AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications
3	미 국	2000	ACI Committee 318	Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318M-14) and Commentrary(ACI 318RM-14)
4	미 국	2011	PCI	Bridge Design Manual
5	영 국	2005	British Standards Institution.	Eurocode 4 : Design of Composite Steel and Concrete Structures
6	영 국	2011	Prabhakara Bhatt	Prestressed Concrete Design to Eurocodes
7	영 국	2014	Ioannis Vayas Aristidis Iliopoulos	Design of Steel-Concrete Composite Bridges to Eurocodes
8	미 국	2012	Jim J. Zhao Demetrios E. Tonias	Bridge Engineering
9	미 국	1990	M.S. Troitsky	Prestressed Steel Bridges Theory and Design
10	영 국	2007	C.R. Hendy D.A. Smith	Designer’s Guide to EN 1992-2

제 7 장 연구개발 성과의 보안등급

보안등급분류	보 안	일 반
		○
결정사유	본 기술은 폭넓은 활용의 실용화를 목표로 개발하는 과제로서 연구 성과에 대한 특별한 보안이 필요치는 않음.	

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황

○ 해당 없음.

제 9 장 연구개발 과제수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 기술적 위험요소

○ 해당 없음.

2. 안전관리 대책

○ 연구내용 및 결과물 안전 확보 이행

- 정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시
- 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리 및 보안을 위한 안전교육 실시

제 10 장 연구개발 과제의 대표적 연구 실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속기관	역할	논문게재지/특허등록국가	영향력지수	논문게재일/특허등록일	사사여부(단독사사 또는 중복사사)	특기사항(SCI여부/인용횟수등)
1	특허	복합 형식의 연속화 교량의 상부구조체 및 그 시공방법	(주)삼현피에프		대한민국		2016.04.26		
2	특허	프리스트레스트 강합성거더의 제작방법 및 이에 의해 제작된 강합성거더를 이용한 연속교량의 시공방법	(주)삼현피에프		대한민국		2017.04.20		
3	특허	교량 상부 구조의 가로보 연결 구조체 및 그 시공방법	(주)삼현피에프		대한민국		2017.04.20		
4	논문	프리스트레스트 강합성거더의 분절접합부 구조거동에 관한 실험적 연구	(주)삼현피에프	이주원	한국재난정보학회논문집		2016.12.11		

제 11 장 기타 사항

○ 내용 없음.

제 12 장 참고 문헌

(1) 건설교통부 (2004), 철도공사 전문시방서.
(2) 건설교통부 (2006), 강도로교 상세부설계지침.
(3) 건설교통부 (2009), 콘크리트 표준시방서.
(4) 국토교통부 (2015), 철도설계기준
(5) 국토교통부 (2016), 토목공사 표준일반시방서.
(6) 국토해양부 (2008), 도로설계편람.
(7) 국토해양부 (2010), 도로교설계기준.
(8) 국토해양부 (2012), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙
(9) 국토해양부 (2012), 강구조공사 표준시방서.
(10) 국토해양부 (2012), 콘크리트구조기준.
(11) 국토해양부 (2013), 도로교표준시방서.
(12) 김동욱, 심창수 (2015), “루프이음 반두께 프리캐스트 바닥판을 갖는 콘크리트 바닥판의 균열폭 제어”, 대한토목학회 논문집, Vol.35, No.1, pp.19～29.
(13) 한국강구조학회 (2009), 고력볼트 접합 설계지침.
(14) 한국강구조학회 (2009), 고력볼트 접합 시공지침.
(15) 한국강구조학회 (2012), 건축강구조 표준접합상세지침.
(16) 한국교량및구조공학회 (2015), 도로교설계기준(한계상태설계법) 해설.
(17) 한국도로공사 (2016), 한계상태설계법을 적용한 도로교 설계사례 및 해설서.
(18) 한국도로공사 (2016), 고속도로 공공디자인 매뉴얼.
(19) 함준수, 황원섭, 양성돈, 정지승 (2012), “Plate Girder 볼트이음부 강도에 관한 해석적 연구”, 한국강구조학회 논문집, 제24권, 재4호, pp.469～478.
(20) 대한토목학회 (2006), 프리컴 거더 설계 및 시공지침(안).
(21) 류형근, 박기남, 심창수, 장승필 (2002), “프리캐스트 바닥판 강합성 박스거더 연속교의 부모멘트부 거동”, 대한토목학회 논문집, Vol.22, No.4A, pp.805～814.
(22) 류형근, 장승필, 심창수 (2003), “프리캐스트 바닥판 강합성 박스거더 연속교의 극한강도 평가”, 대한토목학회 논문집, Vol.23, No.2A, pp.355～362.
(23) 삼표산업(주) (1999), 프리플렉스 보의 연속화 방안 연구 및 개발.
(24) 심창수, 김현호, 윤광중 (2005), “연속합성보의 균열폭 제어와 휨거동 평가”, 한국강구조학회 논문집, 제17권 제2호, pp.195～206.
(25) 오광진, 이준구, 신주열, 장범수 (2012), “일반국도상 교량 바닥판의 상태 현황분석 연구”, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제16권, 제6호, pp.93～101.
(26) 윤석구, 배두병, 함상희, 류형근, 최충헌 (2005), “종방향 철근량 변화에 따른 합성거더 부모멘트부의 균열거동”, 한국강구조학회 2005년도 학술발표대회 논문집.
(27) 이필구, 김충언, 하태열, 윤태양 (2006), “1-shoe 방식의 강합성거더 연속화 기술개발”, 2006년도 대한토목학회정기학술대회 특별세션 전문학회.

(28) 이찬영, 장태순 (2016), “도장계 종류에 따른 강교 도장의 공용수명 예측”, 한국강구조학회 논문집, 제28권 제5호, pp.325～335.
(29) 장승필 심창수 (2005), 합성구조론, 구미서관.
(30) 포항산업과학연구원 (2003), 프리플렉스 거더의 설계 및 제작 기준 정립.
(31) 포항산업과학연구원 (2009), 소수주거더교 설계・제작사례, 구미서관.
(32) AASHTO (2002), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.
(33) AASHTO (2010), AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications(3rd).
(34) ACI Committee 318 (2000), Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318M-14) and Commentrary(ACI 318RM-14).
(35) British Standards Institution (2005), Eurocode 4 : Design of Composite Steel and Concrete Structures, British Standards Institution.
(36) C.R. Hendy, D.A. Smith (2007), Designer’s Guide to EN 1992-2, Thomas telford.
(37) Ioannis Vayas, Aristidis Iliopoulos (2014), Design of Steel-Concrete Composite Bridges to Eurocodes, CRC Press.
(38) Jim J. Zhao, Demetrios E. Tonias (2012), Bridge Engineering, McGraw Hill.
(39) Junichiro Yoshida, Toshiyuki Ogawa, Hisatsugu Tajima (2001), Non Web Concrete Pre-Beam Composite Girder for Road Bridge, 川田技報 Vol.20, pp.84~85
(40) Mary Beth D. Hueste, John B. Mander, Anagha S. Parker (2012), Continuous Prestressed Concrete Girder Bridges Vol 1 : Literature Review and Preliminary Designs, FHWA
(41) M.S. Troitsky (1990), Prestressed Steel Bridges Theory and Design, Van Nostrand Reinhold Company.
(42) Precast/Prestressed Concrete Institution (2011), Bridge Design Manual(3rd).
(43) Prabhakara Bhatt (2011), Prestressed Concrete Design to Eurocodes, Spon Press.
(44) Setra (2000), Steel-Concrete Composite Bridge : Sustainable Design Guide
(45) Stephanie Staquet, Guy Rigot, Henri Detandt (2004), Innovative Composite Precast Prestressed Precambered U-Shaped Concrete Deck for Belgium’s High Speed Railway Trains, November-December, 2004, PCI Journal, pp.94~113
(46) 松井繁之, 栗田章光, 渡辺 滉, 武由芳久 (1989), プレビーム連続合成桁の設計と施工, 第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.