GOVP1201010927

건설기술혁신사업 제3차년도 최종보고서

R&D/06건설핵심-C10

Land Transport and Maritime R&D Report

PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC교량 구조개발

2010.03

주관연구기관/ (주)삼현피에프
협동연구기관/ 포스코건설
유신코퍼레이션

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

"PS강선 및 강봉의 일체긴장 시스템을 이용한 PSC교량구조 개발"에 관한 연구를 종결하고 그 성과로 본 보고서를 제출합니다.

2010 . 3 .

주관연구기관명 : (주)삼현피에프
주관연구책임자 : 신동기
연 구 원 : 김충언/엄광진/김보현
〃 : 지구삼/이재광/정광재
〃 : 양인욱/이인/장형근
〃 : 함상희/하태열/
협동연구기관명 : 포스코건설
협동연구책임자 : 안동근
연 구 원 : 김철환/이용준/안상구
〃 : 박경수/전진택
협동연구기관명 : 유신코퍼레이션
협동연구책임자 : 권호철
연 구 원 : 정원주/곽성태/이민재
〃 : 곽태영/임동인/천성범
〃 : 이상언

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>06건설핵심
C10</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2008.6.17~
2009.12.16</td><td>단 계
구 분</td><td>최종단계/
3차년도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">자유공모과제(현장지원)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC교량구조개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">신동기</td><td>해당단계
참여
연구원수</td><td>총 : 40명
내부 : 40명
외부 : 명</td><td>해당
단계
연구비</td><td>정부: 548,000천원
기업: 574,000천원
계:1,122,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 43명
내부 : 42명
외부 : 1명</td><td>총
연구비</td><td>정부: 873,000천원
기업:1,034,500천원
계:1,907,500천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">삼현피에프 기술연구소
포스코건설 R&D센터
유신코퍼레이션 구조본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">삼현피에프,
포스코건설,
유신코퍼레이션,
한국해외기술공사,
극동엔지니어링</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 :포항산업과학연구원 연구책임자 : 이필구
연구기관명 :한국철도기술연구원 연구책임자 : 김성일</td></tr>
</table>

요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)	보고서면수	274

1. 연구목적: 효율적인 PSC교량공법 개발

2. 목표도달수단:

1) 모멘트 프리스트레스를 도입할 수 있는 일체긴장 시스템을 개발하고,

2) 이를 교량구조에 활용하여 가장 효율적인 PSC교량구조 개발

3. 주요연구과정 및 연구결과

3.1 선행기술조사

1) 국내에서 적용되고 있는 PSC교량구조의 분석

2) 압축/인장 프리스트레스를 모두 활용하는 해외 기술인 일본의 바이프레 공법분석

→ 문헌자료 및 현장조사를 통한 조사

3.2 일체긴장 연결구 개발

1) 일체긴장 연결구 상세개발

2) 결정된 일체긴장 연결구의 해석적 검증

3) 일체긴장 연결구 실험을 통한 검증

3.3 일체긴장 연결구를 적용한 보실험체 실험

1) 일체긴장보 3개와 일반 PSC보 1개 제작 실험

2) 일체긴장 시스템의 모멘트 프리스트레스 도입성능 확인

3.4 일체긴장 시스템을 적용한 PSC교량구조 개발

1) 다양한 분석을 통하여 최적안 도출 --> 다단계 긴장이 불필요한 저형고 PSC교량

2) 단면 표준화 및 경제성 분석실시

3.5 일체긴장 PSC교량구조용 거더실험

1) 철도교20m/도로교20m의 실험체 제작

2) 제작성능 검증과 시공상세 개선

3) 실험체의 정적 및 동적성능 검증

3.6 일체긴장 PSC교량의 동적성능 검증

1) 30m 철도교량시험제 제작 및 실험

2) 철도교 적용을 위한 경간별 동적성능의 해석적 검증

3.7 일체긴장 PSC교량의 현장시험시공

1) 실교량 현장시험시공

2) 시공중 계측을 이용한 성능검증

3) 장기거동 계측실시

4) 현장재하시험을 통한 검증(내하력 포함)

4. 기타 연구활동

4.1 설계프로그램 개발

1) 구조계산 자동화 프로그램 개발

2) 구조해석 및 엑셀계산서 출력 가능

4.2 다양한 연구홍보

1) 건설경제신문 및 토목신문에 광고게재

2) 대한토목학회, 철도학회, 건설경제신문 주관 발표회(테마페어) 등 홍보부스 운영(모형체 제작)

3) 각종 학술발표회 논문발표

4) 공개재하시험

5) 기술세미나 개최(설계회사, 발주기관, 건설경제신문 주관 발표회 등)

색 인 어 (각 5개 이상)	한글	교량/프리스트레스트 콘크리트/ 연결구/PS강봉/일체긴장/모멘트 프리스트레스
	영어	Bridge/PSC/Connector/PS Thread bar/Unified Tensioning/Moment Prestress

요 약 문

Ⅰ. 제 목

PS강선 및 강봉의 일체긴장 시스템을 이용한 PSC교량 구조 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

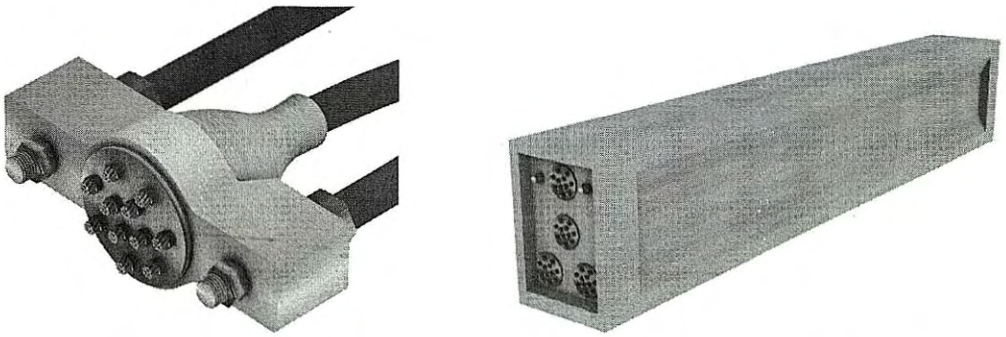
1. 연구개발 필요성

가. 연구개발 개요

20~50m의 단경간 규모의 교량에서 가장 저렴한 구조형식인 PSC거더교에 PS강선과 강봉의 일체긴장기법을 개발·적용하여 공사비의 증가 없이 기존 PSC거더의 형고를 35%이상 저감시킬 수 있는 교량의 시공기술을 개발하는 핵심기술 개발 사업임.



그림 1. PSC거더교



(a) 일체긴장 연결구 (b) 일체긴장 PSC보

그림 2. 일체긴장 PSC거더교 개념도

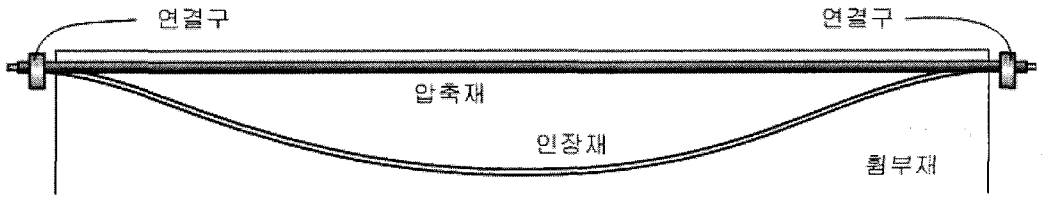


그림 3. 일체긴장시스템(긴장재의 배치)

과제명	핵심기술명	기술 범위	정량적 정의
PS강선 및 강봉의 일체긴장 시스템을 이용한 PSC교량 구조 개발	일체긴장용 연결구 제품화 기술	PS강선과 강봉을 한 번에 긴장하기 위해 강봉을 고정한 뒤 인장잭에 의해 PS강선을 인장할 수 있는 표준화된 연결구를 개발하는 기술	○3, 5, 7, 9EA 강연선용 연결구 제품화 ○정착장치비 20% 절감 :정착구&정착보강→ 연결구
	일체긴장용 강봉 설계/시공기술	강봉의 이음부, 긴장시 마찰손실, 좌굴장 산정 등 강봉에 압축응력 도입 관련 설계/시공법을 개발하는 기술	○연결구별 사용 강봉의 표준화 : 2EA, 4EA ○강봉 설치 단가:정착장치비의 20%이하
	일체긴장 PSC거더교 상용화 기술	PSC거더교에 일체긴장시스템을 적용하여 PSC교량 제품을 표준화하고 이를 상용화하는 기술	○형고 저감(동일경간: 30m) : 2.0 → 1.2m ○장경간화(동일형고: 1.75m) : 25 → 45m
	일체긴장 PSC 소수주거더교 상용화 기술	일체긴장 PSC거더교에 다단계 긴장 및 프리캐스트바닥판을 병용하여 거더 개수를 절반 이상 절감하는 PSC교량 제품을 표준화하고 이를 상용화하는 기술	○공사비 절감 : 100 → 80만원/m^2 ○형고저감(동일경간:30m) : 2.0 → 1.8m

나. 기술적 중요성

◦ **PSC거더교는** 가장 저렴한 거더 교량 형식이나 장경간화 할 경우 형고가 높아져 콘크리트 치기 및 다짐 불량, 횡좌굴, 전도 등의 **시공성 저하로 35m 이하 경간에 국한 적용**

◦ PSC거더교의 **저형고 및 장경간 구현을 위해** 강재의 휨변형에 의해 콘크리트에 압축응력을 도입하는 강합성거더(Preflex) 및 거더 제작 시 지상에서 1차 긴장하고 바닥판 콘크리트 타설 후 2차 긴장하는 **다단계 프리스트레싱 거더(IPC) 상용화**

◦ **다단계 긴장공법의 경우** 인장부의 응력보다는 연속적으로 도입되는 압축응력에 의해 **압축부(거더 상연)가 주요 설계인자**로 형고저감 제한

◦ 강선 긴장 후 **강봉을 통해 압축부(거더 상연)에 인장응력을 도입**(이중프리스트레싱)하게 되면 압축영역의 응력 조절로 다단계 긴장공법보다 10%이상 형고저감이 가능함

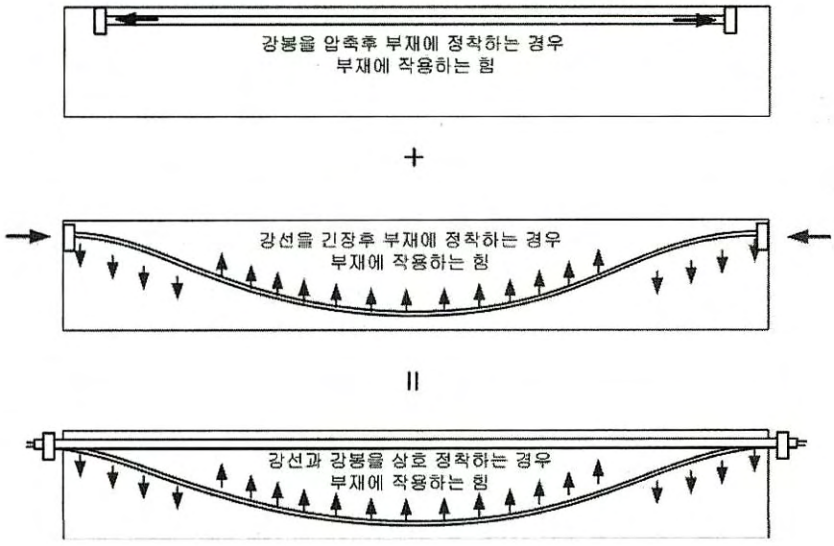
◦ **PS강선 및 강봉 긴장 시스템**에서 부재에는 축력이 발생하지 않으며, 중립축의 위치와는 무관하고 압축재와 인장재의 편심거리에 비례하는 **순수 휨모멘트가 발생**하여 거더의 경우 **작용하중에 합리적으로 저항**

◦ 압축영역의 응력조절로 압축을 받는 상부플랜지는 작게, 인장을 받는 하부플랜지는 크게 단면조절 가능하여 **중립축이 낮아**짐 → 고정하중 및 사용하중에 대한 **단면효율 및 가설 중 안정성 제고**

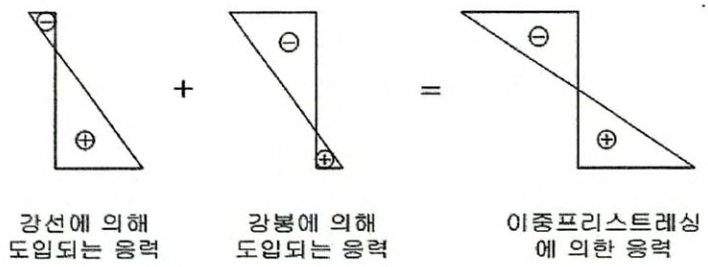
◦ **PS강선 및 강봉 긴장 시스템**은 Bi-Pre공법(**일본: 오리엔탈건설**)으로 최저형고 거더교량으로 적용되고 있으나 **PS강선과 강봉의 응력도입이 개별공정으로** 이루어지므로 기존 PSC거더 대비 **공정이 복잡해지며** 강봉 설치비용뿐만 아니라 개별정착에 따른 정착구 **비용 추가발생**

◦ **PS강선 및 강봉 일체긴장 시스템**은 PS강선 긴장시 압축력은 강봉이 부담하므로 부재에는 외력과 반대되는 순수 휨모멘트만을 도입하며 기존 PSC거더에 추가 공정 없이 **PS강선의 긴장과 동시에 강봉에 압축력 도입효과 구현**

◦ 콘크리트에 인장재를 정착하는 **정착구가 필요하지 않으나**, 인장재의 인장력과 같은 크기의 압축력을 받을 수 있는 **압축재(강봉)가 추가**되고, 긴장장치의 반력을 받아 압축재에 전달해 줄 **연결구가 필요**



(a) 휨부재에 작용하는 힘



(b)부재 중앙에 발생하는 응력(압축:+)

그림 4. PS강선 및 강봉 긴장시스템에 의한 작용력

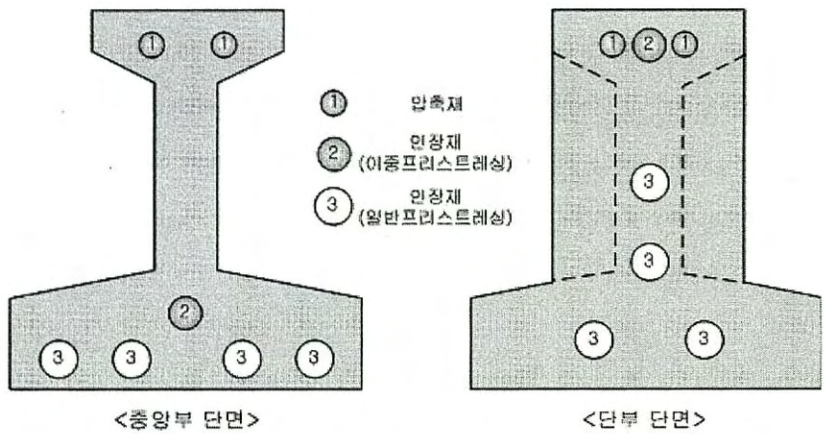


그림 5. PS강선 및 강봉 긴장시스템 적용 PSC거더 적용단면 예

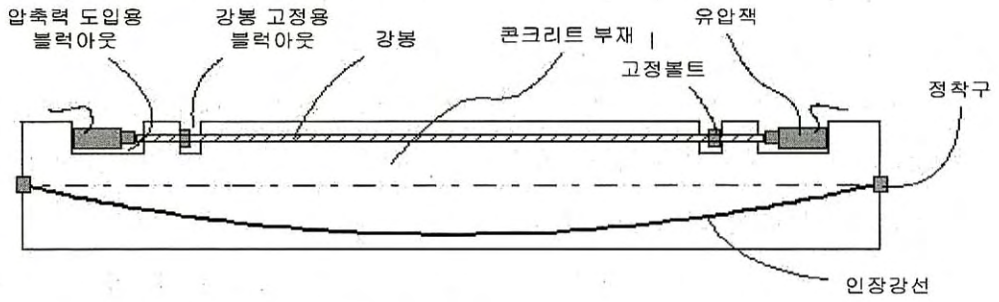


그림 6. 기존 PS강선 및 강봉 긴장시스템(일본: 오리엔탈건설)

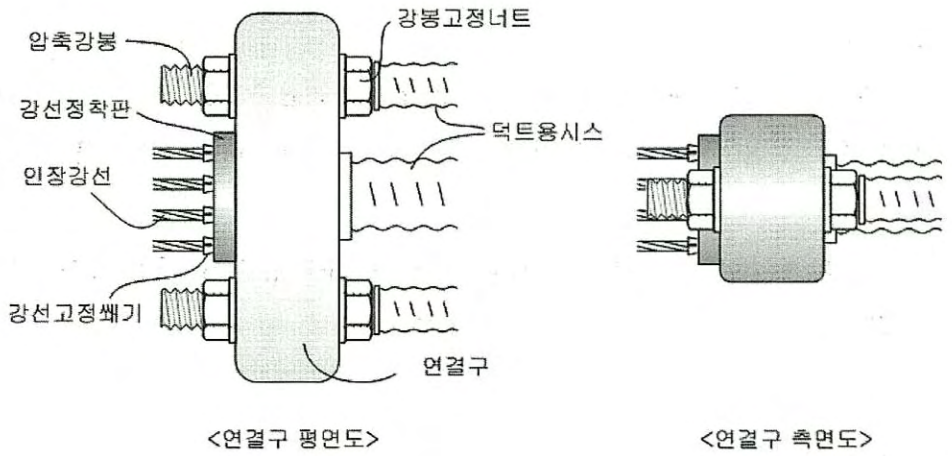


그림 7. PS강선 및 강봉 일체긴장 연결구 상세도

다. 경제·산업적 중요성

◦ **일체긴장 PSC교량**은 기존 PSC교량 대비 30% 이상의 형고저감에 따른 **거더자중 절감**으로 **재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며** 정착장치 및 정착부 철근보강이 필요 없어 **현장작업량이 크게 감소**되어 이에 수반된 공사비절감 효과를 추가로 얻을 수 있음

◦ **일체긴장 PSC 소수주거더교**는 **기존 PSC거더 개수를 30%이상 감소**시켜 건설비 20% 절감이 가능하여 기존 PSC거더 시장(약 4,000억원/년)의 50%를 대체할 경우 **약 400억원/년의 건설비 절감** 가능

◦ PS강재 및 강봉 일체긴장 시스템은 PSC거더교뿐만 아니라 바닥판 없이 하중이 재하되어 상부플랜지에 압축응력이 과다하게 작용할 수 있는 **PC슬래**

브교, RC라멘교, PC BOX교, 하로교, 장경간 가교 등에 범용으로 적용할 수 있어 다양한 구조물 형태에 대해서 활용도가 높음

- 일체긴장 PSC거더교는 타 거더형식에 비해 형고가 매우 낮으며, 이에 따라 접속도로의 **선형계획에 유리**하게 작용하며 기타 **하부건축한계에 제약을 받는 현장에 효율적으로 사용**가능함
- 핵심기술인 일체긴장 PSC거더 교량은 **구조적 성능뿐만 아니라 경관 및 쾌적성** 등 다양한 요소를 고려하여 개발됨
- 사회적 요구가 주변환경과 관련 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 **경관기능을 향상**시키는 것은 시대의 보편적 요청
- 경관적인 요소를 대폭 보강하여 **최소형고 구현을 통해** 주변의 **자연환경 및 인공시설물 등 과의 조화와** 그 지역의 **Landmark 역할을 수행**할 수 있도록 함
- 주기적인 도장이 필요한 강교량과는 달리 **유지관리가 용이하여 환경오염의 최소화**라는 친환경적인 요소도 포함

2. 연구개발 목표

목표 구분	최 종 목 표	세 부 목 표
기술개발	PS강선 및 강봉 일체긴장시스템을 이용한 PSC거더 교량 실용화	○일체긴장용 연결구 제품화
		○일체긴장시스템 최적설계 및 시공기술개발
		○일체긴장 PSC거더교 제품화
		○일체긴장 PSC 소수주거더교 제품화

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 1차년도 : 일체긴장시스템 실용화

가. 일체긴장시스템 제품화

○ 일체긴장용 연결구 상세 도출 및 성능 검증

-연결구 유한요소해석 및 변수연구

-압축/인장 고정부 휨 성능평가

-일체긴장시스템 적용 PSC보 제작성 평가

○ 일체긴장시스템 사양 표준화

-강선 및 강봉 표준단면 산정

-경제성 분석 및 단가 산정

나. 일체긴장시스템 설계 및 시공 가이드라인 개발

○ 일체긴장 관련 설계식 도출

-일체연결시스템 슬립량 계산식

-강봉의 좌굴검토식

-장기거동 손실 계산방법

○ 일체긴장 관련 시공방안 도출

-강봉 이음시공 및 연결구 마감 방안 도출

-강봉용 쉬스관 설치 및 도입력 계측계획 수립

○ 일체긴장시스템 설계 및 시공 가이드라인 작성

2. 2차년도 : 일체긴장 PSC거더교 실용화

가. 일체긴장 PSC거더교 제품화

○ 일체긴장 PSC거더교 구조성능평가

-20m 거더 시험체 제작성 평가

-극한강도 및 동특성 평가

○ 일체긴장 PSC거더교 표준화

-지간별 표준단면 산정

-경제성분석 및 일위대가 산정

나. 일체긴장 PSC거더교 설계 및 시공지침 개발

○ 변수연구용 간이 구조계산서 작성

○ 시공단계별 구조검토

○ 일체긴장 PSC거더교 설계 및 시공지침 작성

3. 3차년도 : 일체긴장 PSC 소수주거거교 실용화

가. 일체긴장 PSC거더 철도교 제품화

○ 일체긴장 PSC소수주거더교 구조성능평가

-30m 2거더 철도교량 시험체 제작성 평가

-탄성거동 및 동특성 평가 : 공개시험

○ 일체긴장 PSC거더 철도교 표준화

-지간별 표준단면 산정

-경제성 분석 및 일위대가 산정

나. 일체긴장 PSC거더 현장적용

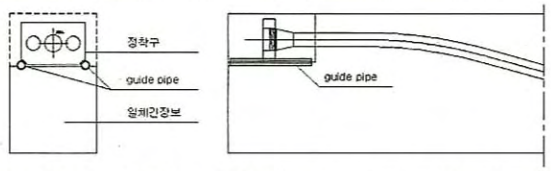
○ 일체긴장 PSC거더교 시험시공 및 현장재하시험 평가

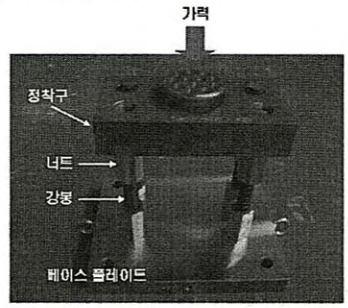
○ 일체긴장 PSC거더교 설계 및 시공적용

○ 건설신기술 신청

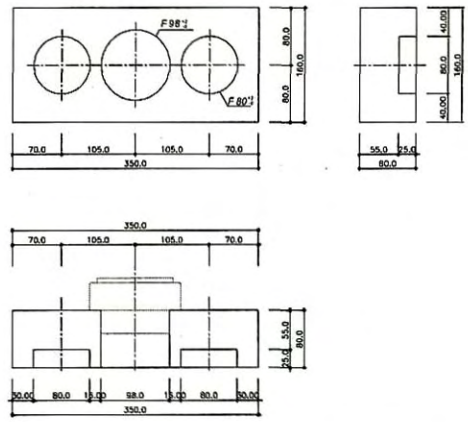
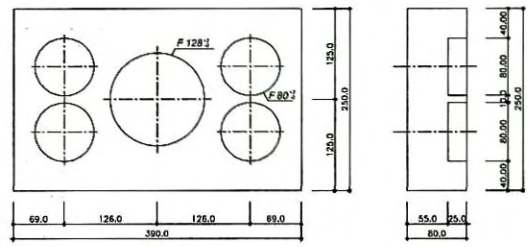
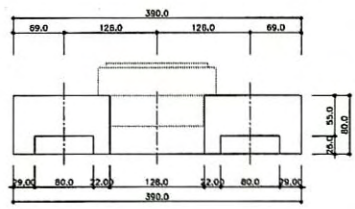
Ⅳ. 연구개발 결과

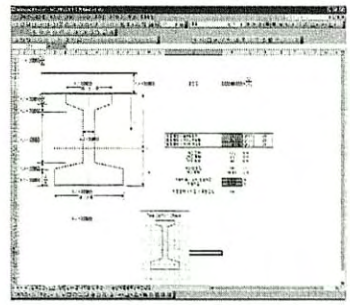
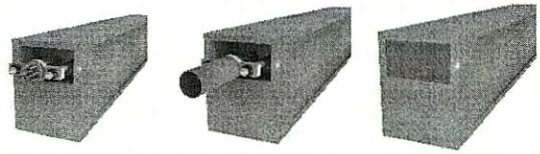
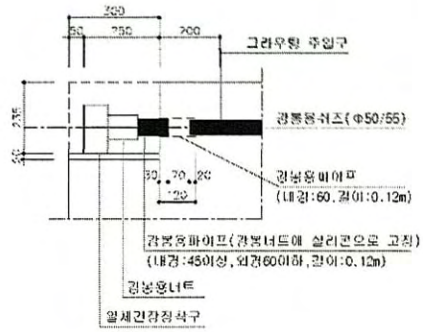
1. 1차년도 : 일체긴장시스템 실용화

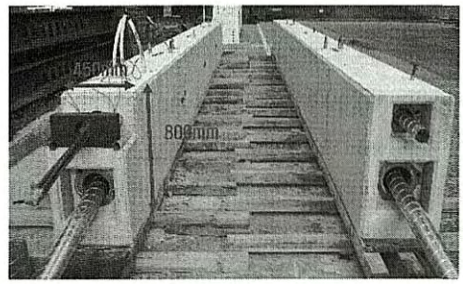
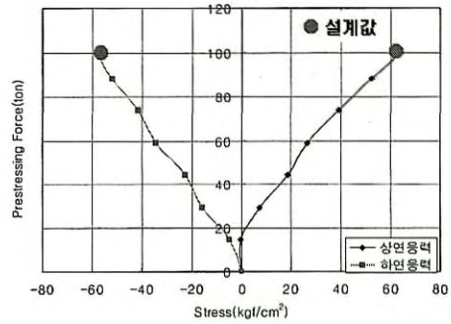
<table>
<tr><th>연 차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1차
년도</td><td>ㅇ프리스트레싱 공법 기술조사
-국내외 기술자료 조사</td><td>ㅇ 거더의 일반 프리스트레싱 및 다단계 긴장 기술조사 : 상연 또는 하연의 응력 제한
ㅇ Bi-Pre공법(일본) 기술조사
: 강봉 추가공정에 따른 공정 및 비용 증가</td></tr>
<tr><td>ㅇ일체긴장용 연결구 상세도출
-일체긴장시스템의 요체
-정착부 상세 개발 및 검토</td><td>ㅇ 특허출원 1건 : 일체긴장용 연결구
 

ㅇ 2hole 7EA 강연선 및 4hole 12EA 강연선 제원 및 상세 도출
ㅇ 유한요소해석 및 PTI기준 구조성능 검토
<table>
<tr><th></th><th>Type-1
(7 강연선
2hole)</th><th>Type-2
(12 강연선
4hole)</th></tr>
<tr><td>Load (kN)</td><td>1274.910</td><td>2157.540</td></tr>
<tr><td>허용처짐 (mm)</td><td>0.217</td><td>0.287</td></tr>
<tr><td>중앙부 처짐 (mm)</td><td>0.134 (ok)</td><td>0.176 (ok)</td></tr>
<tr><td>허용응력(MPa)</td><td>176</td><td>176</td></tr>
<tr><td>최대응력(MPa)</td><td>173 (ok)</td><td>169 (ok)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>ㅇ일체긴장용 연결구 성능검증
-제작성 평가
-제작비용 산정
-실험을 통한 성능 검증
-개선사항 도출</td><td>ㅇ시작품 제작 1건 : 연결구 시험체 6EA
- 2hole 7EA 강연선 시험체 3EA
- 4hole 12EA 강연선 시험체 3EA
 

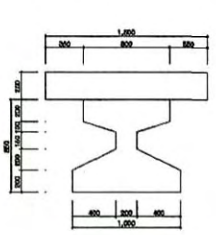
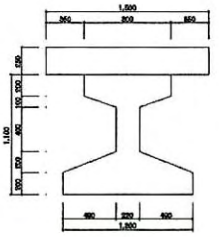
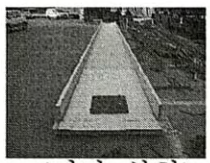
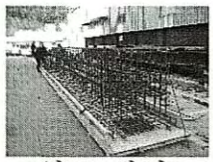
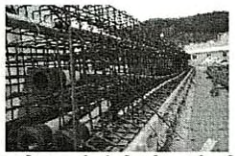
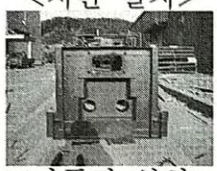
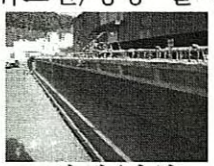
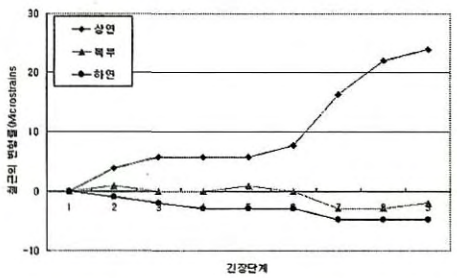
ㅇ 구조성능시험 결과
- 각 Type별 최대하중 이하에서 탄성거동
- 최대 휨응력 ≤ 허용응력
ㅇ 시작품 제작 1건
- 일체긴장 보 시험체 4EA 제작</td></tr>
</table>

연 차	연구 내용	연구 결과
1차 년도	ㅇ일체긴장용 사양표준화 -해석적 검증 -실험적 검증 -개선사항 반영 -실교량 시스템에 적용 표준사양 결정	○ 2hole 7EA 강연선 연결구  - 80T*160*350 : 130톤 이하용 - D40 고강도(1000MPa) 강봉 사용 ○ 4hole 12EA 강연선 연결구   - 80T*250*390 : 220톤 이하용
	ㅇ일체긴장 관련 설계식 도출 -구조시스템에 따른 필요 설계식 -설계기준 등 문헌 검토	○ 쉬스관과 압축강봉의 마찰 : 인장 PC강재 마찰손실식 준용 ○ 정착단의 이동량 : 마찰 고려 산정 ○ 콘크리트 크리프 및 건조수축 영향 : 강봉과 강선의 상호영향 고려 ○ 강봉좌굴 검토(양단힌지조건)

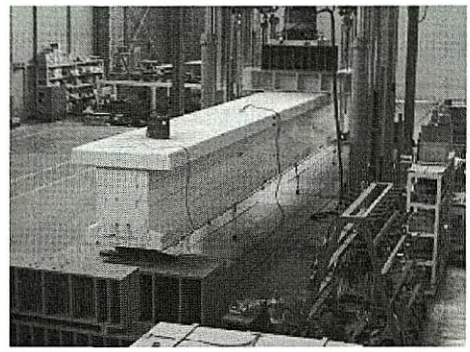
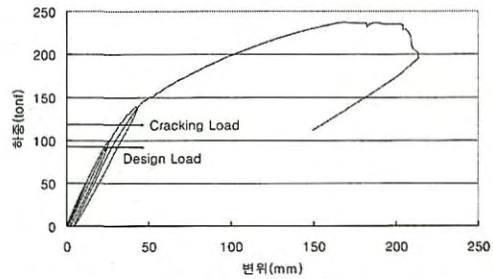
연 차	연구 내용	연구 결과
1차 년도	ㅇ일체긴장시스템 설계가이드라인 작성 -설계시 필요한 사항정리 -구조검토용 쉬트 작성	○ 사용재료 정의 ○ 설계 일반사항 : 세목 정리 ○ Excel형태의 구조계산서 작성 
	ㅇ일체긴장 관련 시공방안도출 -시공순서 도출 -제작상세 도출 -시공성 고려	○ 특허출원 1건 : 압축강봉용 쉬스관  ○ 시공순서 정립  (a)콘크리트설치(b)강봉삽입(c)연결구설치  (d)강연선삽입(e)강연선긴장 (f)단부마감 ○ 정착 단부 마감방안 도출 
	ㅇ일체긴장시스템 시공가이드라인 작성	○ 주요공정별 지침 기술 ○ 철근 및 쉬스관 배치 상세 도출

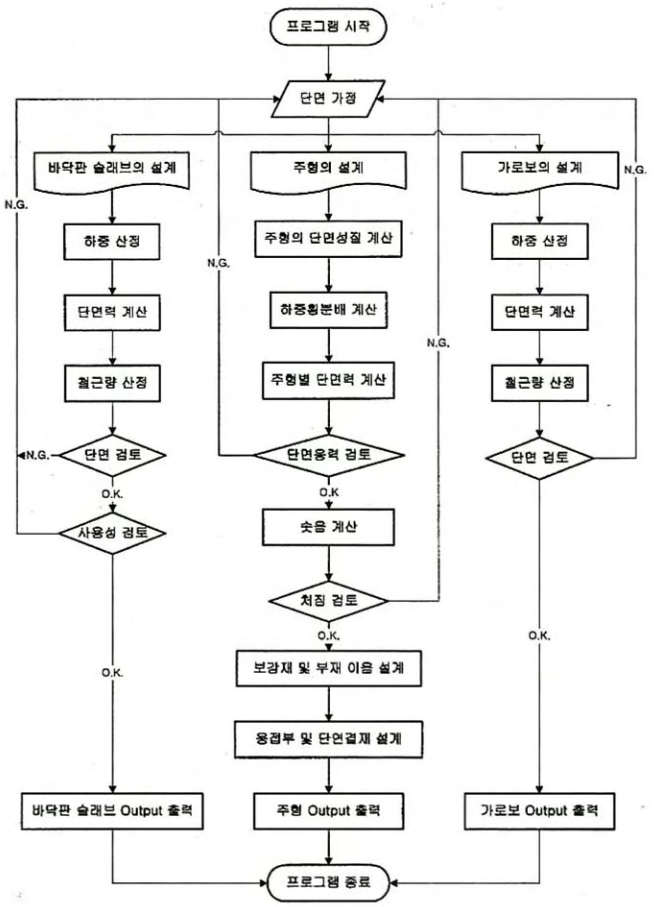
연 차	연구 내용	연구 결과
1차 년도	ㅇ일체긴장용 연결구 성능검증 -제작성 평가 -제작비용 산정 -실험을 통한 성능 검증 -개선사항 도출	○ 시작품 제작 1건 - 일체긴장 보 시험체 3EA 및 일반 PSC 보 시험체 1EA 제작  ○ 일체긴장 보 제작성 평가 결과 - 일체긴장 시스템을 통한 거더 상/하연의 모멘트 도입효과 확인 : 강봉에 의한 거더의 압축응력 제어  일체긴장시스템 긴장시 응력(G2) ○ 일체긴장 보 구조성능평가 - 긴장력의 차이(35톤)에도 일반 PSC거더와 동등한 구조성능 확보 : 파괴하중 107톤 

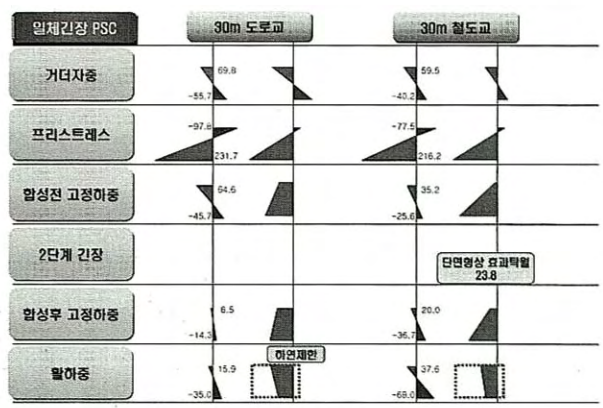
2. 2차년도 : 일체긴장 PSC거더교 실용화

<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td>2차
년도</td><td>ㅇ일체긴장 PSC거더교 제작성 평가
- 제작상세 평가
- 일체긴장에 의한 응력도입효과 검증</td><td>ㅇ시작품 제작 2건: 도로교 및 철도교 20m 각 1EA
 
 
<도로교 시험체 단면> <철도교 시험체 단면>
ㅇ 제작성 평가 결과
 
 
 
<저판 설치> <철근 설치> <쉬스관/강봉 설치>
 
 
 
<거푸집 설치><콘크리트 타설> <양생/탈형>
 
 
 
<정착구 연결> <긴장/마감> <완성>
- Bi moment 도입 효과 확인
 

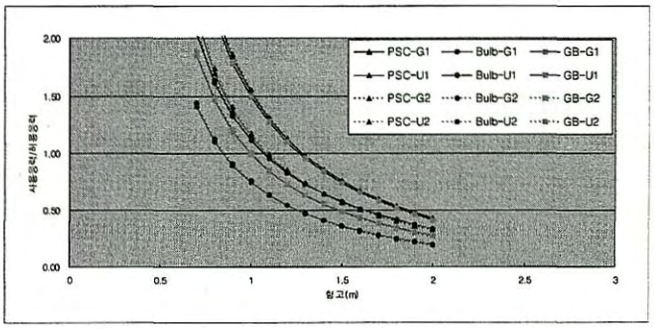
<일체긴장에 의한 응력도입></td></tr>
</table>

연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	ㅇ일체긴장PSC거더교 구조성능평가 -실교량 정적거동 평가 -실교량 동특성 평가	○ 구조성능시험 : 1000톤 UTM (논문 3건 발표)  <구조성능실험 전경> ○ 정적시험결과: 충분한 안전율 확보 - 사용하중: 90톤 (탄성거동) - 균열하중: 110톤(사용하중의 1.2배) - 극한하중: 230톤(사용하중의 2.7배)  ○ 동적시험결과: 동특성 추출(향후 구조해석 연계) - 고유진동수: 6.632Hz - 감쇠비 : 1.4% 

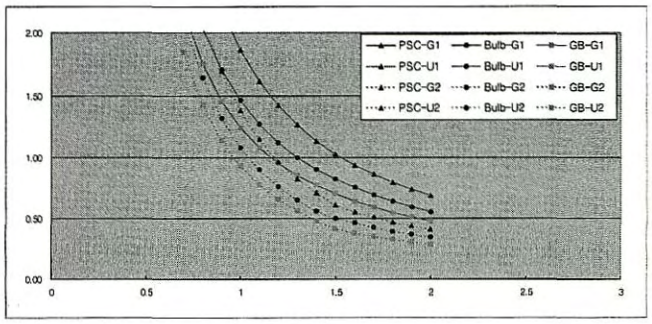
<table>
<tr><th>연 차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">2차
년도</td><td>ㅇ자동화 설계프로그램 개발
-구조계산서 산출</td><td>○ C# 코딩
 

<프로그램 알고리즘></td></tr>
<tr><td>ㅇ일체긴장 PSC거더
-구조검토
-시공상세개선
-지간별 표준단면 산정
-경제성 분석 및 일위대가 작성</td><td>○ 지간 및 단면 형상별 변수연구를 통한 최적단면 도출
 
</td></tr>
</table>

연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더 -구조검토 -시공상세개선 -지간별 표준단면 산정 -경제성 분석 및 일위대가 작성	○ 지간별 형고에 따른 응력수준 측정

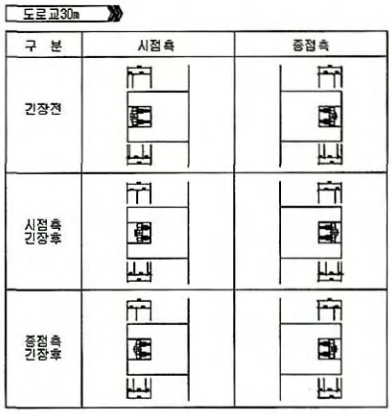


<형고별 거더상연 응력: 도로교30m>



<형고별 거더하연 응력: 도로교30m>

○ 거더단부 블록아웃 길이 산정

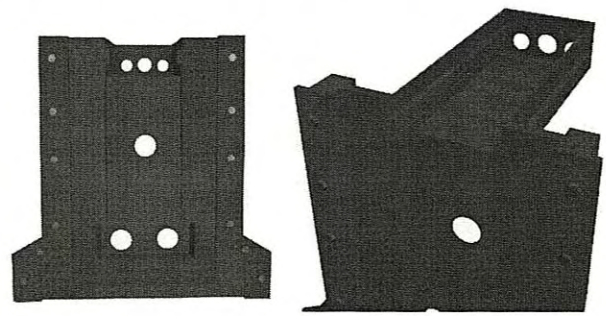


경간장(m)	웨지 플레이트	연결구	너트 길이	강봉 수축량	단부 이동량	블럭 아웃 크기	적용 블럭 아웃	여유량
20	60	90	100	48	20	318	400	82
25	60	90	100	60	25	335	400	65
30	60	90	100	72	30	352	450	98
35	60	90	100	84	35	369	450	81
40	60	90	100	95	40	385	500	115
45	60	90	100	107	45	402	500	98

연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더 -구조검토 -시공상세개선 -지간별 표준단면 산정 -경제성 분석 및 일위대가 작성	○ 강봉의 단부노출에 따른 좌굴검토

지간 (m)	블록 아웃 길이	좌굴 길이 (L)	E	I	캔틸레버인 경우		단부회전을 방지한 경우	
					좌굴장	좌굴력 (tonf)	좌굴장	좌굴력 (tonf)
20	400	600	2E+11	1.25664E-07	1.2	17.2	0.4	140.6
25	400	600	2E+11	1.25664E-07	1.2	17.2	0.4	140.6
30	450	675	2E+11	1.25664E-07	1.4	13.6	0.5	111.1
35	450	675	2E+11	1.25664E-07	1.4	13.6	0.5	111.1
40	500	750	2E+11	1.25664E-07	1.5	11.0	0.5	90.0
45	500	750	2E+11	1.25664E-07	1.5	11.0	0.5	90.0
50	600	900	2E+11	1.25664E-07	1.8	7.7	0.6	62.5
55	600	900	2E+11	1.25664E-07	1.8	7.7	0.6	62.5
60	650	975	2E+11	1.25664E-07	2.0	6.5	0.7	53.3

○ 단부 좌굴방지를 위한 상세확정



<단부 거푸집 형상(각파이프 삽입)>



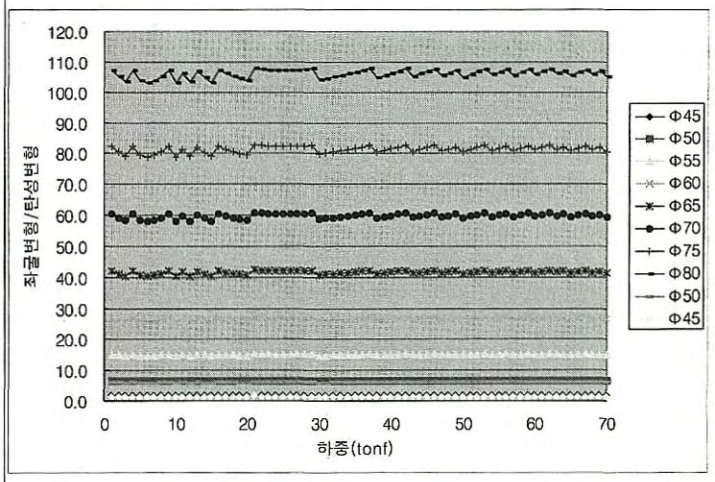
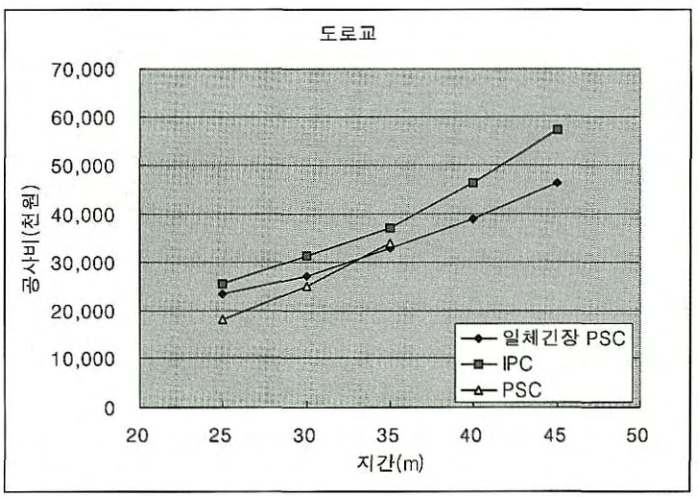
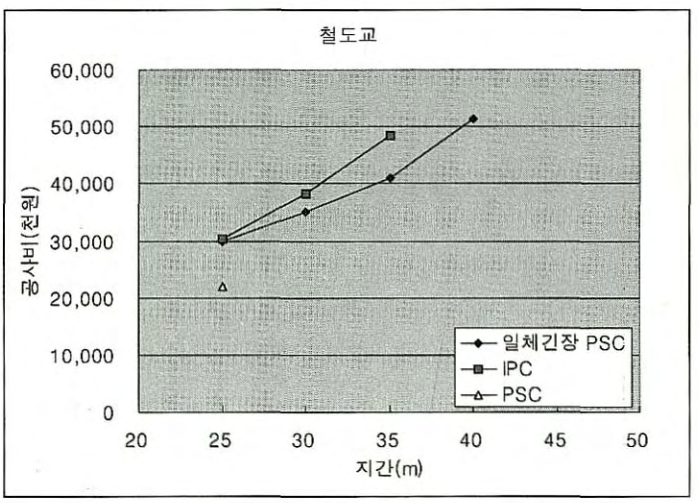
<일체긴장 연결구 형상>

○ 장기거동검토를 위한 AEMM 정식화

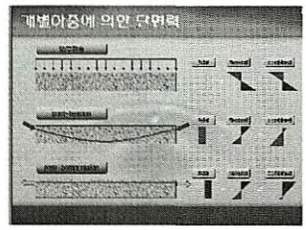
$$\epsilon_{i1}=\frac{B(t_1)M_{i1}+I(t_1)N_{i1}}{E_{c1}(t_1)[A(t_1)I(t_1)-B(t_1)^2]}\kappa_{i1}=\frac{A(t_1)M_{i1}+B(t_1)N_{i1}}{E_{c1}(t_1)[A(t_1)I(t_1)-B(t_1)^2]}$$

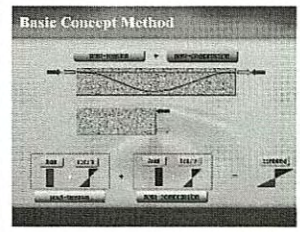
$$-N_{r2}=-\overline{E_{r1}}(t_3,t_2)\begin{bmatrix}\{\phi_{r1}(t_3,t_1)-\phi_{r1}(t_2,t_1)\}\{A_{r1}\epsilon_{i1}-B_{r1}\kappa_{i1}\}\\+\chi(t_2,t_1)\{\phi_{r1}(t_3,t_1)-\phi_{r1}(t_2,t_1)\}\{A_{r1}\epsilon_{r11}-B_{r1}\kappa_{r11}\}\\+\phi_{r1}(t_3,t_2)\{A_{r1}\epsilon_{i2}-B_{r1}\kappa_{i2}\}+\epsilon_{sh1}(t_3-t_2)A_{r1}\end{bmatrix}-\overline{E_{r2}}(t_3,t_2)[\epsilon_{sh2}(t_2\sim t_3)A_{r}$$

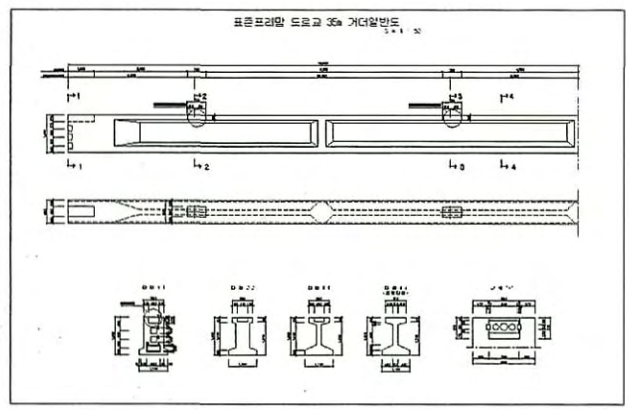
$$-M_{r2}=-\overline{E_{r1}}(t_3,t_2)\begin{bmatrix}\{\phi_{r1}(t_3,t_1)-\phi_{r1}(t_2,t_1)\}\{B_{r1}\epsilon_{i1}-I_{r1}\kappa_{i1}\}\\+\chi(t_2,t_1)\{\phi_{r1}(t_3,t_1)-\phi_{r1}(t_2,t_1)\}\{B_{r1}\epsilon_{r11}-I_{r1}\kappa_{r11}\}\\+\phi_{r1}(t_3,t_2)\{B_{r1}\epsilon_{i2}-I_{r1}\kappa_{i2}\}+\epsilon_{sh1}(t_3-t_2)B_{r1}\end{bmatrix}-\overline{E_{r2}}(t_3,t_2)[\epsilon_{sh2}(t_2\sim t_3)B_{r2}$$

연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	○ 일체긴장 PSC거더 -구조검토 -시공상세개선 -지간별 표준단면 산정 -경제성 분석 및 일위대가 작성	○ 쉬즈직경에 따른 강봉의 좌굴검토  ○ 도로교 20~45m, 철도교 20~35m  <표준단면 및 경제성 분석: 도로교>  <표준단면 및 경제성 분석: 철도교>

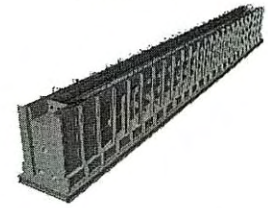
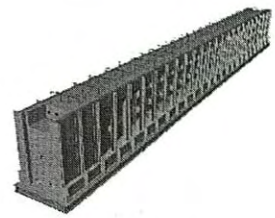
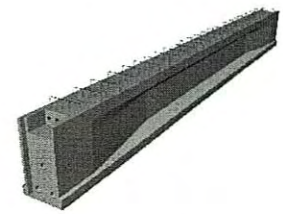
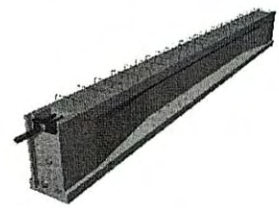
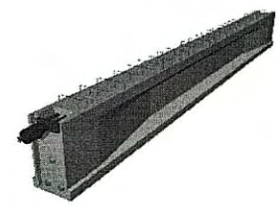
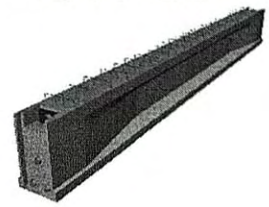
<table>
<tr><th>연 차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">2차
년도</td><td>ㅇ일체긴장 PSC거더

-구조검토
-시공상세개선
-지간별 표준단면 산정
-경제성 분석 및 일위대가 작성</td><td>○ 국내전문가로부터의 자문
- 실험체설계 전 자문(성균관대 신현목교수 외1명)
- 실험전 자문(성균관대 신현목교수, 코비코리아 이만섭대표 외 7명)
- 실험후 자문(성균관대 신현목 교수 외 2명)
- 자문 내용을 토대로 한 시험체 설계, 실험, 실험 후 검증 수행
- 수행 예
· 단부좌굴⇒ 상세변경 후 실험검증
· 쉬즈직경⇒ 구조검토
· 장기거동⇒ 경험식 사용하되 AEMM으로 검증</td></tr>
<tr><td>ㅇ일체긴장 PSC거더교 실시설계 반영</td><td>○ 공법설명을 위한 동영상 제작
○ 공법설명회용 자료 작성
 

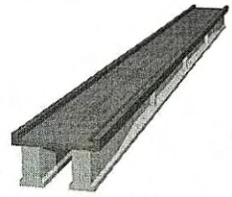
○ 가산 드래곤 골프장 진입도로: 35m 5거더
 

<실시설계도면></td></tr>
<tr><td>ㅇ일체긴장 PSC거더교 설계지침 작성</td><td>○ 일체긴장 연결구의 긴장관리 기준
○ AEMM을 이용한 장기거동 손실 산정
○ 강봉의 좌굴에 따른 응력변화 산정</td></tr>
</table>

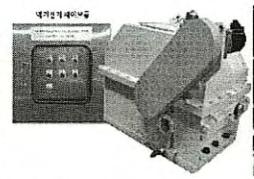
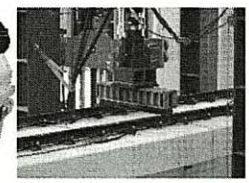
연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더교 시공지침 작성	○ 주요공정별 지침 기술 ○ 적정 강봉/쉬스관 직경 도출 : 유격 10mm 유지  <저판 설치>  <철근 설치>  <쉬스관/강봉 설치>  <거푸집 설치>  <콘크리트 타설>  <양생/탈형>  <정착구 연결>  <긴장>  <마감>  <완성>

3. 3차년도 : 일체긴장 PSC거더 철도교 실용화

<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td>3차
년도</td><td>ㅇ일체긴장 PSC 철도 2거더의 구조성능 평가
-30m 2거더 철도교 제작상세 평가
-동특성평가</td><td>
○ 시작품 제작 1건: 30m 2거더 철도교 1EA
○ 동특성평가
- 궤도 부설 전/후 거동 분석
: 고유진동수 변화(5.58→5.76Hz : +3.3%)
감쇠비 변화(1.02→1.01%)



<공개시험 전경> <궤도부설 전/후 전경>
- 실험방법에 따른 거동 분석



a. Impact Hammer b. Vibration Exciter c. Dynamic Actuator
<동적 실험방법에 따른 결과 비교>
- 25, 30, 35m 철도교 동적 응답분석
<table>
<tr><th rowspan="2">항 목</th><th rowspan="2">경간</th><th rowspan="2">첫 번째 휨 고유진동수</th><th colspan="4">임계속도</th></tr>
<tr><th>새마을호</th><th>무궁화호</th><th>화물열차</th><th>KTX</th></tr>
<tr><td>고유진동수 및 임계속도</td><td>25m</td><td>5.24Hz</td><td>443.3km/h</td><td>443.3km/h</td><td>263.2km/h</td><td>352.8km/h</td></tr>
<tr><td></td><td>30m</td><td>4.42Hz</td><td>373.9km/h</td><td>373.9km/h</td><td>222.0km/h</td><td>297.6km/h</td></tr>
<tr><td></td><td>35m</td><td>3.96Hz</td><td>335.0km/h</td><td>335.0km/h</td><td>198.9km/h</td><td>266.6km/h</td></tr>
<tr><th>항 목</th><th>경간</th><th>Eurocode, 호남고속철도 설계지침</th><th>새마을호</th><th>무궁화호</th><th>화물열차</th><th>KTX</th></tr>
<tr><td rowspan="3">상판 연직가속도</td><td>25m</td><td rowspan="3">자갈 : 0.35g
콘크리트:0.50g</td><td>0.186g</td><td>0.082g</td><td>0.070g</td><td>0.604g</td></tr>
<tr><td>30m</td><td>0.083g</td><td>0.048g</td><td>0.087g</td><td>0.112g</td></tr>
<tr><td>35m</td><td>0.069g</td><td>0.041g</td><td>0.079g</td><td>0.328g</td></tr>
<tr><td rowspan="3">상판의 면틀림</td><td>25m</td><td rowspan="3">일반철도: 1.5mm/3m
고속철도: 1.2mm/3m</td><td>0.077</td><td>0.084</td><td>0.098</td><td>0.087</td></tr>
<tr><td>30m</td><td>0.085</td><td>0.111</td><td>0.107</td><td>0.106</td></tr>
<tr><td>35m</td><td>0.054</td><td>0.064</td><td>0.070</td><td>0.058</td></tr>
<tr><td>경간 중앙부 연직처짐</td><td>25m</td><td>16.67mm</td><td>2.459mm</td><td>2.087mm</td><td>2.665mm</td><td>6.596mm</td></tr>
<tr><td></td><td>30m</td><td>18.75mm</td><td>1.979mm</td><td>2.447mm</td><td>3.980mm</td><td>3.010mm</td></tr>
<tr><td></td><td>35m</td><td>20.00mm</td><td>2.738mm</td><td>2.686mm</td><td>4.086mm</td><td>6.522mm</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

연 차	연구 내용	연구 결과
3차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더 철도교 표준화 -지간별 표준단면 산정 -경제성분석 및 일위 대가 산정 -홍보브로셔 제작	○ 지간별 철도교 표준단면 산정 및 경제성 분석 : 25~35m → 형고 30%저감, 35m 장견간화 구현

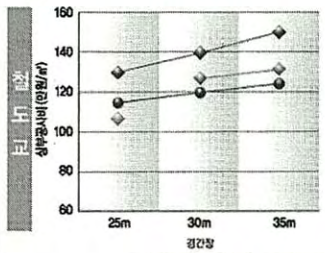
철도교

형고 : 슬래브 제외

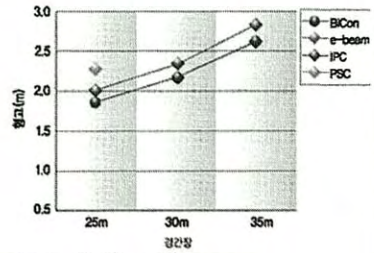
2008 상반기 기준 (단위: 천원)

길 이 (반력)	구 분	BiCon 표준형고	e-beam 표준형고	I.P.C 표준형고	P.S.C 표준형고
25m (1,900kN)	형고	1.8m		2.0m	2.3m
	빔단가	27,000		32,000	23,000
	㎡당 빔공사비	495		587	422
	㎡당 slab공사비	300		300	300
	㎡당 상부직공비	795		887	722
	㎡당 간접비(45%)	358		399	325
	㎡당 상부총공사비	1,153		1,286	1,047
30m (2,200kN)	형고	2.2m	2.2m	2.4m	
	빔단가	34,000	39,000	44,000	
	㎡당 빔공사비	520	596	673	
	㎡당 slab공사비	300	300	300	
	㎡당 상부직공비	820	896	973	
	㎡당 간접비(45%)	369	404	438	
	㎡당 상부총공사비	1,189	1,300	1,411	
35m (2,600kN)	형고	2.6m	2.6m	2.8m	
	빔단가	42,000	49,000	56,000	
	㎡당 빔공사비	550	642	734	
	㎡당 slab공사비	300	300	300	
	㎡당 상부직공비	850	942	1,034	
	㎡당 간접비(45%)	383	424	465	
	㎡당 상부총공사비	1,233	1,366	1,499	
기준	- 설계하중 : LS-22 - 교량제원 : 복선 5주형		철근자재비 : 78만원/ton 레미콘자재비(40MPa) : 10만원/㎥		

<경간별 공사비 비교>

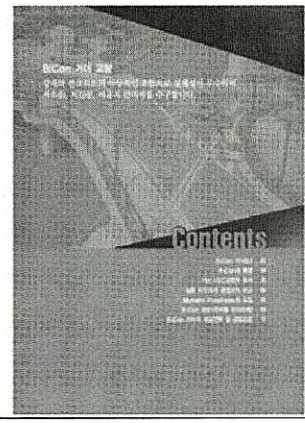


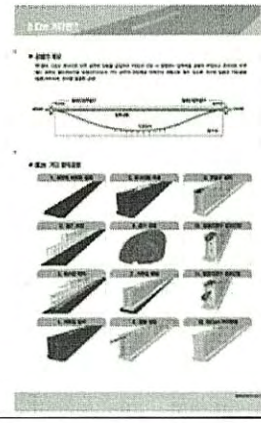
<경간별 형고 비교>

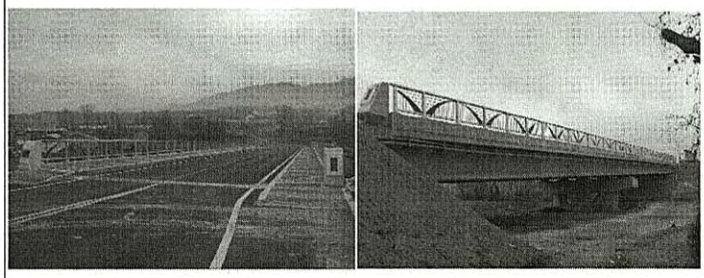
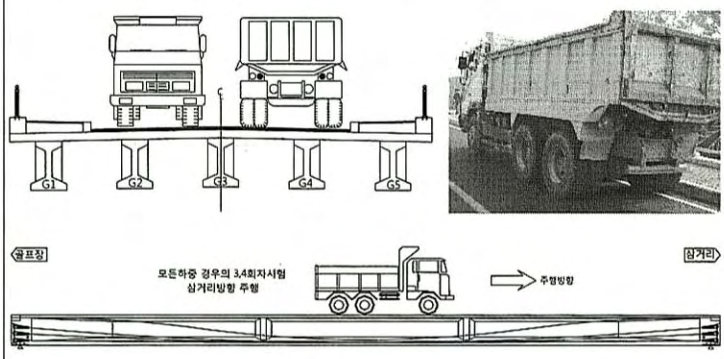
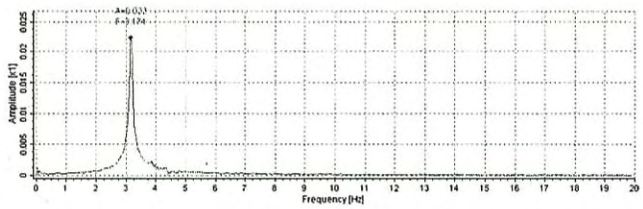
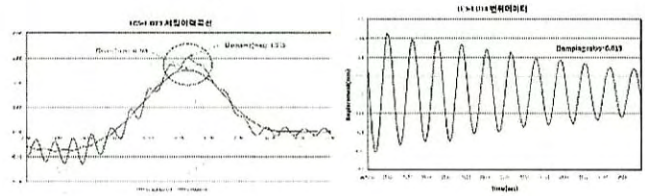


<표준단면 및 경제성 분석: 철도교>

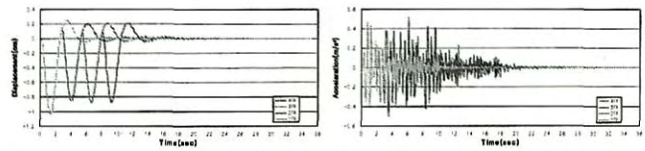
○ 홍보 브로셔 제작



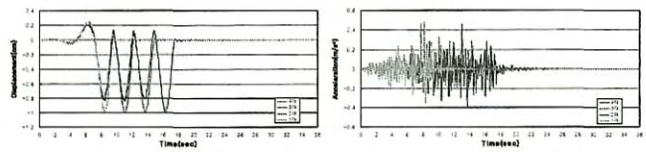


연 차	연구 내용	연구 결과
3차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더 시험시공 ㅇ일체긴장 PSC거더 현장재하시험 -내하력평가 -동특성 평가	○ 시험시공 현장: 경기도 포천시 가산면 우금리 소재 → 2@35m 우금1교  <우금1교> ○ DB-24 하중 현장재하 시험 실시  ○ 고유진동수 측정 : 3.174Hz  ○ 최대충격계수 산출 : 0.203 ○ 감쇠비 산출 : 1.27%  ○ 내하력 산정 : 내하율 4.21배

연 차	연구 내용	연구 결과
3차 년도	ㅇ이동하중 해석 -Comfort Analysis -동적확대계수평가	○ 최대 수직가속도 검토 (amax ≦ 0.1g -차량승차감 요구조건 ; ENV1991-3)



<1경간의 처짐 및 가속도 응답>

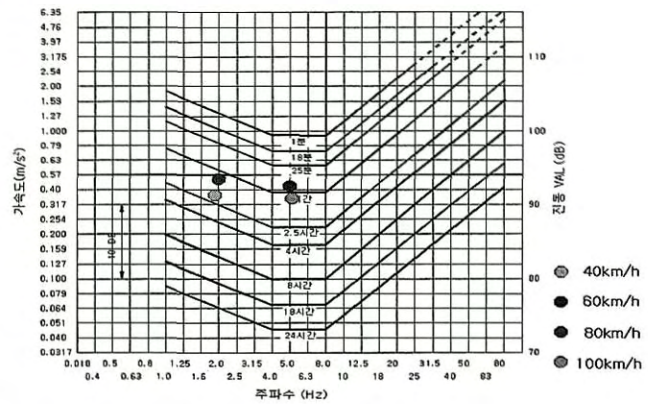


<4경간의 처짐 및 가속도 응답>

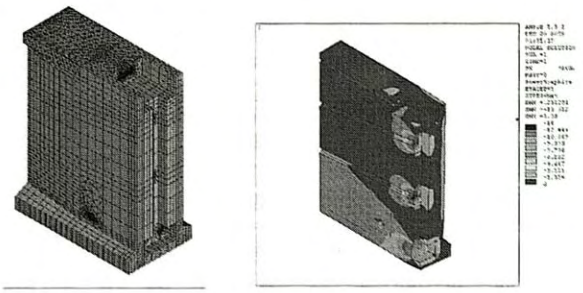
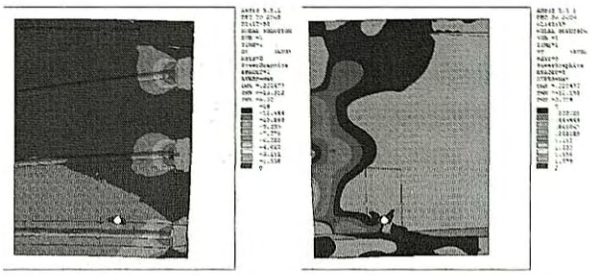
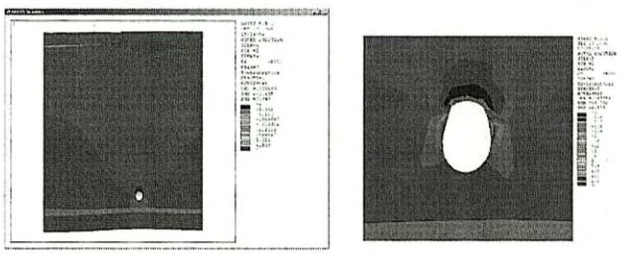
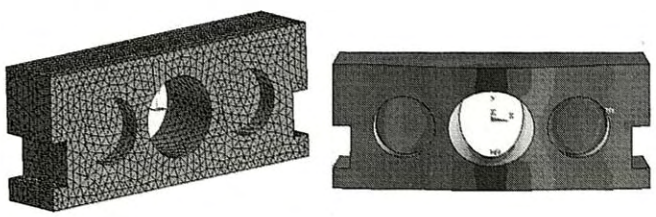
주행속도에 따른 동적 안정성 평가

구분	동적처짐 (cm)	가속도 (m/s2)	허용처짐기준 (63.12mm)	승차감 만족도기준(0.1g)
40km/h	1.06	0.37	37.67	만족
60km/h	1.05	0.52	37.57	만족
80km/h	1.03	0.51	37.37	만족
100km/h	1.05	0.35	37.57	만족

○교량의 진동이 인체에 미치는 영향
(Comfort Analysis) 분석(ISO2631)



차량속도 (km/h)	DMF			
	1경간	2경간	3경간	4경간
정적변위	-	-	-	-
40	1.03	1.02	1.03	1.03
60	1.02	1.00	1.02	1.01
80	1.00	1.03	1.00	1.01
100	1.03	1.02	1.03	1.02

연 차	연구 내용	연구 결과
3차 년도	ㅇ 상세해석 (Contact Element) -긴장시 정착부 -인양시 단부 -강봉접촉부	○ 긴장시 정착부(ANSYS사용)   - 발생응력: -13.3MPa ~ +8.32MPa - 총할렬력: 73.4kN ○ 인양시 단부  → 철근배근 상세 결정 ○ 강봉연결부 해석 

연 차	연구 내용	연구 결과
3차 년도	ㅇ일체긴장 PSC거더의 현장적용을 위한 홍보 -구조세미나 개최 -홍보부스 설치 -신문광고 게재	○ 구조세미나 발표 1) 토목학회 구조분과: 2009년 8월 14일 2) 제22회 철도기술발표회(11월18일) ○ 홍보부스 설치 1) 학회기간동안 홍보부스 설치 - 2008년 10월 토목학회 Civil Expo - 2008년 11월 철도학회 추계학술발표회 - 2009년 5월 철도학회 춘계 학술대회 - 2009년 10월 토목학회 추계학술발표회 - 2009년 11월 철도학회 추계학술발표회  2) 건설경제신문 테마파크 부스(2009년 4월 17일) ○ 신문광고게재 1) 건설경제신문 게재(2009년 4월 ~ 10월) - 월평균 4회 2) 토목신문 Civil Expo 특집안 광고 게재

V. 연구개발결과의 활용 계획

◦ 본 개발기술은 기존 PSC거더 교량의 문제점을 해소할 수 있는 대안으로 공정이 단순할 뿐만 아니라 공사비 증가 없이 교량 형고를 35%이상 낮출 수 있음

◦ 표준도와 자동화 구조계산 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반기술자도 쉽게 활용할 수 있음

◦ 연구개발성과는 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 자연스럽게 활용될 수 있을 것으로 예상하며 향 후 건설신기술 획득으로 보급을 확대할 예정임

◦ 정기적인 기술 세미나, Web Site를 이용한 연구결과 홍보, 연구 성과물 특히 각종 Guide류의 배포 등 각종 기술홍보 활동을 통해 연구 참여업체 이외의 관련업체와도 공유할 계획

◦ PS강선 및 강봉 일체긴장시스템은 당해 연구성과물인 PSC거더교량 이외에 RC라멘 및 슬라브교, PSC하로교, 장경간 가교 등 적용형식을 확대하는 실용화 연구를 수행할 예정임

SUMMARY

(영문요약문)

This project is related with prestressed concrete girder. In general prestress concrete girder, there are both axial force component and eccentric force component. The axial force causes axial prestress in concrete, and the eccentric force causes moment prestress. Conventional method of prestress has difficulty in counter-balanced with stresses due to external loading in structures, because the stress due to conventional method of prestress has axial and eccentric(moment) component, but the stress due to external loading has only moment component.

The goal of this project is to propose the method of new prestressing system which induce counter-balanced prestress with stress due to external loading.

This project has three terms.

In the first term of them, the unified prestressing system was actualized. The substance of the project is verifications of fastening plates and beams with the unified prestressing system and formulations of behavior of unified system.

In the second term of them, PSC girder using the unified prestressing system was actualized. They may use this method in actual field with research results in the second term - the design and fabrication methods were established and its performance was verified through experiments of two 20m girders.

In the third term of them, the design and fabrication methods were more dedicated and developed. Study about the minimization of girder number was conducted and the investigation about the dynamic behavior of those structure was performed, too. After application to real bridge, the rating test in actual loading truck was executed.

목 차

제 출 문 ····· i
보고서 요약서 ····· ii
요 약 문 ····· v
목 차 ····· xxxiii

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 연구개발 개요 ····· 1
제 2 절 연구개발의 중요성 ····· 3
1. 기술적 측면 ····· 3
2. 경제·산업적 측면 ····· 6

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 7
제 1 절 국내 기술 및 산업 동향 ····· 7
1. 국내 시장 현황 및 예측 ····· 7
2. 국내 주요 관련업체 ····· 9
3. 국내전문가 및 연구기관 현황 ····· 10
4. 국내연구 인프라 수준 ····· 10
5. 국내 기술개발 수준 ····· 11
제 2 절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 11
1. 주요국가의 시장규모 ····· 11
2. 세계시장을 선도하는 주요 업체 ····· 12
3. 해외 시장예측 및 발전전망 ····· 12
4. 해외 업체· 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안 ····· 12
5. 개발된 기술의 해외 진출 방안 ····· 12

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 13
제 1 절 연구개발 목표 ····· 13
1. 최종목표 ····· 13
2. 최종목표의 성격 ····· 13
제 2 절 일체긴장시스템 실용화 ····· 14
1. 일체긴장 연결구 상세 도출 및 상세 검증 ····· 14
2. 일체긴장 관련 설계식 도출 ····· 25
3. 일체긴장 관련 시공방안 도출 ····· 34
4. 일체긴장 PSC 보 제작성 및 구조성능 검증 ····· 36
제 3 절 일체긴장 PSC거더교 실용화 ····· 41
1. 일체긴장 PSC거더교 표준화 ····· 41
2. 일체긴장 PSC거더교 설계기술 개발 ····· 48
3. 일체긴장 PSC거더교 구조성능평가 ····· 55
제 4 절 일체긴장 PSC 소수주거더교 실용화 ····· 62
1. 일체긴장 PSC 소수주거더(철도교) 적용성 분석 및 평가 ····· 62
2. 이동하중의 동적영향 검토 및 Comfort Analysis ····· 94
3. 응력집중부 상세해석 ····· 104
4. 일체긴장 PSC 거더교 현장재하시험 ····· 113
5. 일체긴장 PSC 소수주거더교의 단면표준화 ····· 142

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ···· 149
제 1 절 연구목표의 달성도 ····· 149
제 2 절 연구성과 및 관련분야 파급효과 ····· 152
1. 직접적 연구성과 ····· 152
2. 파급 효과 ····· 153

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 154
제 1 절 활용방안 ····· 154
1. 연구성과의 활용방안 ····· 154
2. 연구결과의 기업 활용방안 ····· 154
3. 타 산업에 미치는 효과 ····· 157
4. 정부 정책과의 연계 방안 ····· 157

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 158

제 7 장 참고문헌 ····· 159

부 록 ····· 163

CONTENTS

SUMMARY ii

CONTENTS xxxiii

Chapter 1. Instruction 1

1.1 Summary of the Subject 1

1.2 Importance of the Subject 3

1. Technical aspect 3

2. Economical & Industrial aspect 6

Chapter 2 Status 7

1.1 Domestic Trends 7

1. Status & Prospect 7

2. Main Companies 9

3. Experts/companies 10

4. Infra 10

5. Domestic Technique 11

1.2 Foreign Trends 11

1. Market 12

2. Main Companies 12

3. Prospects 12

4. Necessity of Joint Project with Foreign Enterprise 12

5. Plan to Advance in Foreign Countries 12

Chapter 3 Substances & Results ····· 13
1.1 Objects ····· 13
1. Ultimate Objects ····· 13
2. Character of Ultimate Objects ····· 13
1.2 Practicality of Unified Prestress System ····· 14
1. Details and Verification ····· 14
2. Formulation about Tensioning ····· 25
3. Details for Construction ····· 34
4. Manufacturing Rectangular Beam & Test ····· 36
1.3 Practicality of Unified Prestress Girder ····· 41
1. Standardization ····· 41
2. Development of Design ····· 48
4. Performance Test of Girder ····· 55
1.3 Practicality of Rationalized Girder ····· 62
1. Applicability ····· 62
2. Moving Load Analysis & Comfort Analysis ····· 94
3. 3-D model for stress concentration ····· 104
4. Rating Test of Actual Bridge ····· 113
5. Optimization for Rationalized Girder ····· 142

Chapter 4 Degree of the Attainment&Contribution ····· 149
1.1 Achieved Goals ····· 149
1.2 Effects ····· 152
1. Direct Effects ····· 152
2. Ripple Effects ····· 153

Chapter 5 Plan to use results ····· 154

1. Plan to use results ····· 154
2. Application Plan in Company ····· 156
3. Effects to Other Industry ····· 157
4. Relation with the Government Policy ····· 157

Chapter 6 Acquired Foreign Informations ····· 158

Chapter 7 References ····· 159

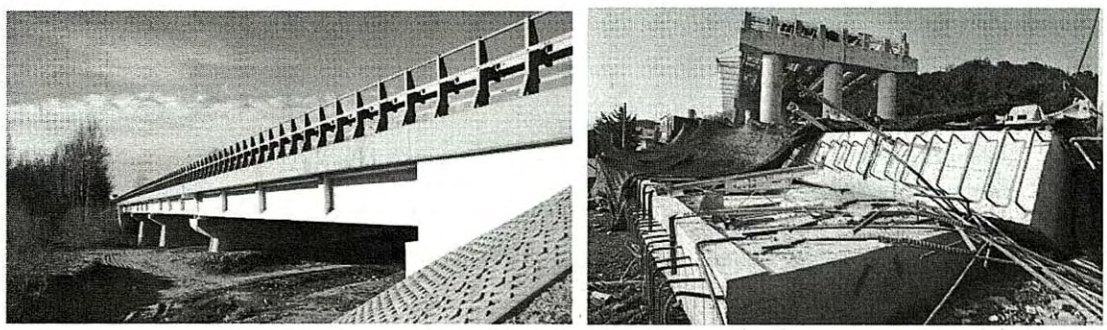
Appendix ····· 163

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발 개요

PSC I형 거더(이하, PSC 거더교)는 1950년대 초반 미국을 중심으로 적용되기 시작하여 1956년에 설계방법과 구조단면이 표준화되면서 단·중경간 교량 중에서 가장 효율적이면서 경제적인 교량으로 평가되어 왔다. 국내에서는 1960년대 이후에 PSC 거더교가 도입되었고, 표준도가 제안되면서 도로교 전체 연장의 23.6%, 철도교 전체 연장 중 38.6%를 점유하며, 도로교는 25~35m, 철도교는 20~25m 경간에 널리 적용되는 가장 보편화된 교량형식으로 현재까지 인식되고 있다.

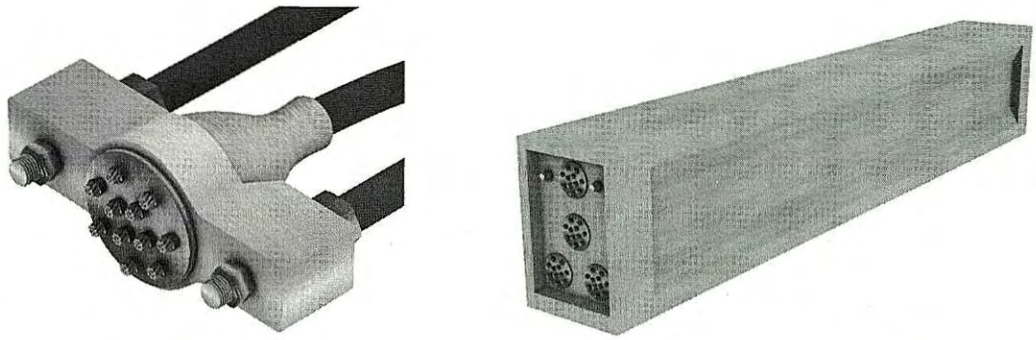
그러나 최근의 사회적·환경적 변화로 인해 하천 횡단 교량의 경우 설계 홍수량의 증대에 따르는 통수능 확보가 요구되고 있으며, 고가 차도의 경우 신설되거나 확장되는 도로의 폭이 30m 이상으로 계획됨에 따라 교량의 경간장 확대가 요구되고 있다. 이 같은 요구에 따라 PSC 거더교는 공사비 측면에서의 경쟁력은 유지할 수 있으나 소요 형고가 급격히 증가하여 형하공간의 제약을 받을 뿐만 아니라, 가설 거더의 무게중심이 높아 가설 중 전도 및 추락 등의 안전사고가 빈번히 발생하고 있다.



(a) PSC 거더교량 전경 (b) 가설중 전도/추락 사례(죽암교)

그림 1.1 PSC 거더교

따라서 본 연구에서는 20~50m의 단경간 규모의 교량에서 가장 저렴한 구조형식인 PSC거더교에 PS강선과 강봉의 일체긴장기법을 개발·적용하여 공사비의 증가없이 기존 PSC거더의 형고를 35%이상 저감시킬 수 있는 교량을 사업화하고자 한다.



(a) 일체긴장 연결구 (b) 일체긴장 PSC보

그림 1.2 일체긴장 PSC거더교 개념도

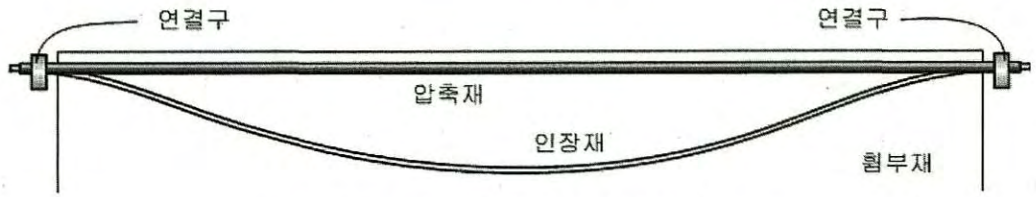


그림 1.3 일체긴장시스템(긴장재의 배치)

과제명	핵심기술명	기술 범위	정량적 정의
PS강선 및 강봉의 일체긴장 시스템을 이용한 PSC교량 구조 개발	일체긴장용 연결구 제품화 기술	PS강선과 강봉을 한 번에 긴장하기 위해 강봉을 고정한 뒤 인장잭에 의해 PS강선을 인장할 수 있는 표준화된 연결구를 개발하는 기술	○3, 5, 7, 9EA 강연선용 연결구 제품화 ○정착장치비 20% 절감 : 정착구&정착보강 → 연결구
	일체긴장용 강봉 설계/시공기술	강봉의 이음부, 긴장시 마찰손실, 좌굴장 산정 등 강봉에 압축응력 도입 관련 설계/시공법을 개발하는 기술	○연결구별 사용강봉표준화 : 2EA, 4EA ○강봉 설치 단가 : 정착장치비의 20%이하
	일체긴장 PSC거더교 상용화 기술	PSC거더교에 일체긴장시스템을 적용하여 PSC교량 제품을 표준화하고 이를 상용화하는 기술	○형고 저감(동일경간: 30m) : 2.0 → 1.2m ○장경간화(동일형고: 1.75m) : 25 → 45m
	일체긴장 PSC 소수주거더교 상용화 기술	일체긴장 PSC거더교에 다단계 긴장 및 프리캐스트바닥판을 병용하여 거더 개수를 절반 이상 절감하는 PSC교량 제품을 표준화하고 이를 상용화하는 기술	○공사비 절감 : 100→80만원/m^2 ○형고 저감(동일경간: 30m) : 2.0 → 1.8m

제 2 절 연구개발의 중요성

1. 기술적 측면

PSC거더교는 가장 저렴한 거더교량 형식이나 장경간화할 경우 형고가 높아져 콘크리트 치기 및 다짐 불량 등의 시공성 저하와 횡좌굴, 전도 등의 안전성 문제 때문에 35m 이하 경간에 국한하여 적용되고 있다. 하지만 최근 사회기반시설물의 발달에 따라 PSC거더교의 저형고 및 장경간화 요구가 증대되고 있으며 이를 구현하는 다양한 공법들이 개발되고 있는데 주로 다단계 긴장에 의해 강도를 증대시키는 방법을 적용하고 있다. 다단계 긴장 PSC거더는 거더 제작시 제작장에서 1차로 긴장력을 도입하고 거더를 교각 상에 가설한 후 바닥판 하중이 재하된 상태에서 2차 긴장을 수행하는 방법으로 일반 PSC거더의 형고를 동일 경간장에서 20% 이상 저감시킬 수 있으며 50m까지 적용 경간장이 확대되고 있는 추세이다. 하지만, 다단계 긴장 PSC거더는 형고가 일반 PSC거더 대비 낮기 때문에 긴장력 도입시 휨모멘트 대비 축력에 대한 영향이 증가하여 거더 상연에서 압축응력이 발생하게 되고 추가적인 바닥판 하중, 2차 고정하중 및 사용하중이 재하되면 압축응력이 초과할 수 있는 제약이 있다. 또한, 2차 긴장은 거더 가설 후 바닥판이 설치된 후에 고공에서 작업이 이루어지기 때문에 시공성이 저하될 뿐만 아니라 안전사고 발생 소지가 있다.

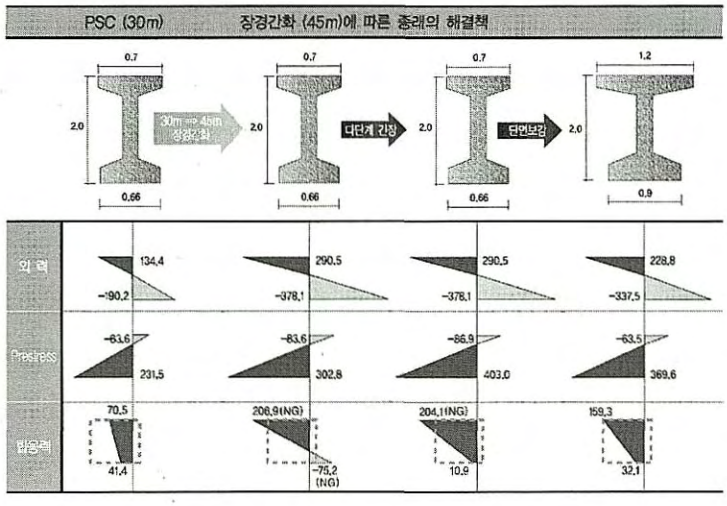


그림 1.4 다단계 긴장 PSC 거더교의 하중저항 메커니즘

PSC거더의 형고를 저감하거나 장경간화를 위해서는 단면강도를 확보하기 위해 보다 많은 긴장력이 필요하게 된다. 또한, 저형고 거더의 경우 편심거리가 제한적이기 때문에 긴장력 도입시에 휨모멘트보다 압축력이 지배적으로 작용하여 고정하중 및 활하중이 재하될 경우 거더 상연의 압축응력이 형고를 결정하는 설계지배인자가 된다. 따라서, 저형고에 따른 이와 같은 문제를 해결하기 위해 그림 1.5와 같이 거더 상연에 인장프리스트레스를 도입하는 방법이 일본에서 적용되고 있다. 작용원리는 PS강선에 의해 거더 하연의 인장응력을 제어하고 강봉에 의해 거더 상연의 압축응력을 제어하는 방식으로써 인장 프리스트레스는 거더 상부에 강봉을 삽입하고 양 단의 블록아웃된 부분에 인장잭을 설치하고 압축력을 도입한 뒤 고정볼트로 강봉을 체결하고 인장잭을 해체함으로써 거더 상연에 인장력을 도입하는 시스템이다. 이러한 프리스트레스 도입방법은 PS강선과 강봉에 작용하는 긴장력(압축력)을 동일하게 하면 거더에 작용하는 축력은 서로 상쇄되고 PS강선과 강봉간의 거리를 편심으로 하는 모멘트만이 도입되어 하중에 의해 발생하는 모멘트와 같은 형상의 역방향 프리스트레스를 도입할 수 있게 되므로 매우 효율적인 프리스트레스 도입방법이라 할 수 있다. 하지만 이 또한 다단계 긴장작업이 필요하게 되며 거더 상연의 블록아웃부(정착부)에는 긴장력 도입시 응력이 집중하기 때문에 이에 대해 조밀한 철근보강이 필요한 단점이 있다.

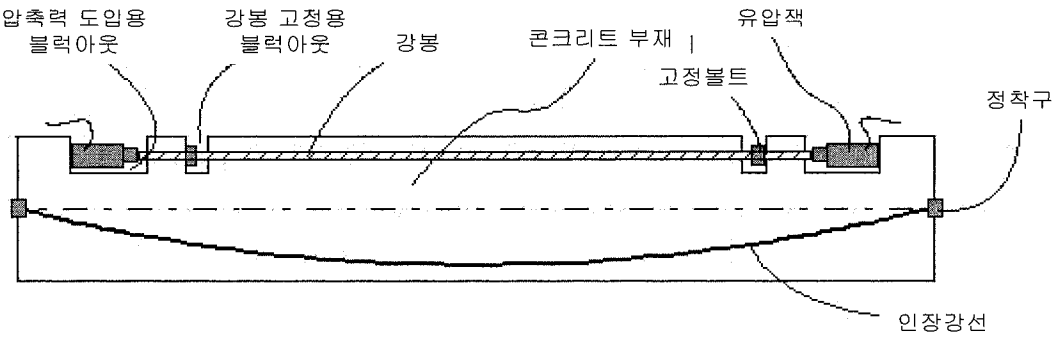


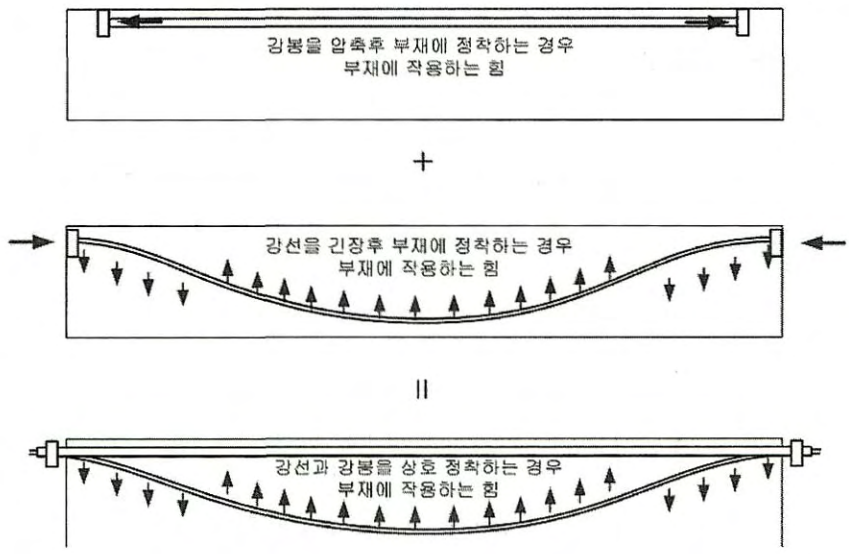
그림 1.5 바이프레(Bi-Pre; 일본)공법 시스템

따라서, 본 연구에서는 상기의 단점을 보완하기 위해 거더 양 단부에 PS강선과 강봉이 연결되어 긴장시에 축력은 자체적으로 PS강선과 강봉에만 전달되어 상쇄되고 거더에는 모멘트 프리스트레스만이 도입될 수 있도록 일체긴장 시스템이 채용되었다.

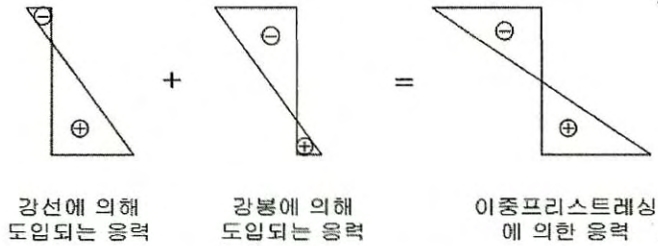
이러한 일체긴장연결구의 활용을 통해 PSC거더의 장경간 · 저형고화시 발생하는 거더 상연의 압축응력 초과문제를 해결하고 다단계 긴장을 배제하여 시공성을 획기적으로 향상시킬 뿐만 아니라 강봉과 PS강선의 간격으로 편심을 조절할 수 있기 때문에 중립축이 낮은 안정적인 단면을 구현할 수 있어 처짐/진동 등의 구조성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.



그림 1.6 PS강선 및 강봉의 일체긴장 PSC거더 시스템



(a) 휨부재에 작용하는 힘



(b)부재 중앙에 발생하는 응력(압축:+)

그림 1.7 PS강선 및 강봉 긴장시스템에 의한 작용력

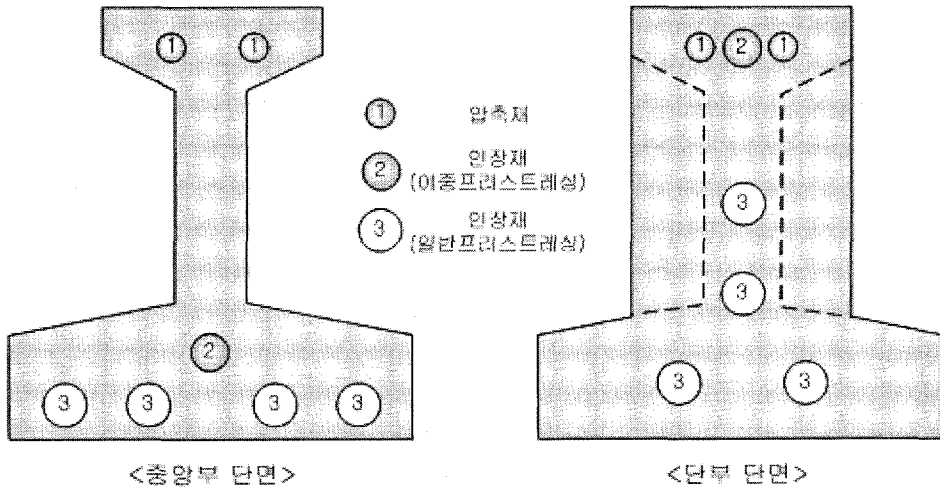


그림 1.8 PS강선 및 강봉 긴장시스템 적용 PSC거더 적용단면 예

2. 경제·산업적 측면

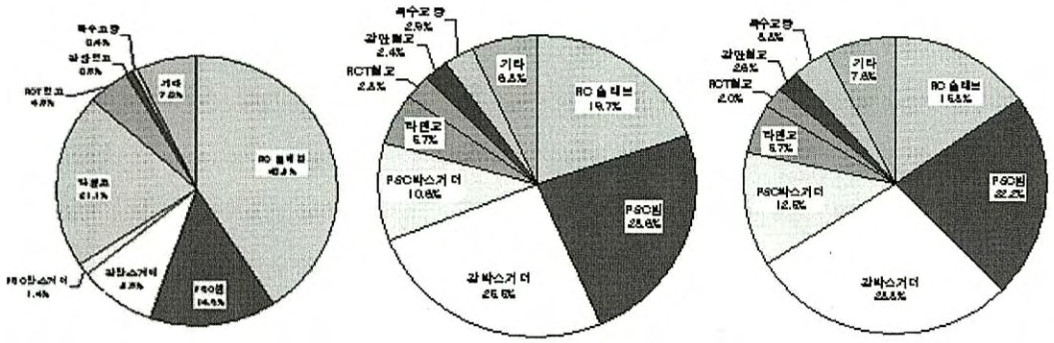
일체긴장 PSC교량은 기존 PSC교량 대비 30%이상의 형고저감에 따른 거더자중 절감으로 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 정착장치 및 정착부 철근보강이 필요 없어 현장작업량이 크게 감소되므로 추가적인 공사비 절감효과를 얻을 수 있다. 또한, 거더 개수를 감소시키는 일체긴장 PSC 소수주거더교는 기존 PSC거더 개수를 30%이상 감소시켜 건설비 20% 절감이 가능하여 기존 PSC거더 시장(약 4,000억원/년)의 50%를 대체할 경우 약 400억원/년의 건설비의 절감이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 타 거더 형식에 비해 형고가 매우 낮으며, 이에 따라 접속도로의 선형계획에 유리하게 작용하고, 기타 하부건축한계에 제약을 받는 현장에 효율적으로 사용이 가능하다. 이러한 장점을 활용하여 PS강재 및 강봉 일체긴장 시스템은 PSC거더교 뿐만 아니라 바닥판 없이 하중이 재하되어 상부플랜지에 압축응력이 과다하게 작용할 수 있는 PC슬래브교, RC라멘교, PC BOX교, 하로교, 장경간 가교 등에 범용으로 적용할 수 있어 다양한 구조물 형태에 대해서 활용도가 높을 것으로 예상된다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술 및 산업 동향

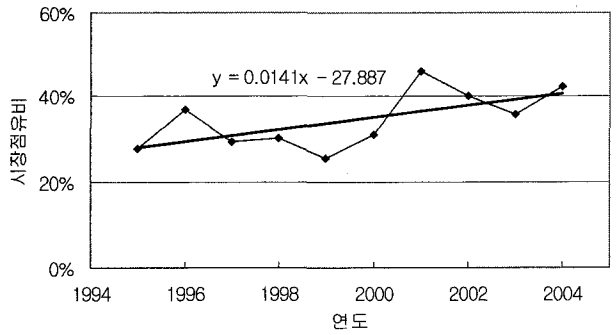
1. 국내 시장 현황 및 예측

국토해양부 교량현황조서에 따르면 현재 국내 공용중인 PSC거더교는 2,248개소, 총 연장 288.2km에 적용되어 도로교 전체 연장 중 23.6%, 철도교 38.6%를 점유하는 가장 보편화된 교량형식이다. 본 연구에서 다루고자 하는 일체긴장 PSC거더교는 도로교 20~50m을 최적경간으로 하기 때문에 이에 대한 최근 10년간 시장규모의 변화(그림2.2)를 살펴보면 최근 시장점유비는 42%이며 연간 1.4%씩 증가하고 있으며 교량면적은 연간 43,595m^2 씩 증가 추세에 있는 것을 알 수 있다. 또한, 20~50m 시장에서 PSC거더교의 점유비는 매년 0.8% 증가하고 있으며 교량면적은 32,672m^2 씩 증가하고 있다.(그림2.3) 따라서 연구완료시점인 2010년 도로교의 시장을 단위면적당 직접공사비를 100천원/m^2 으로 가정하여 예측하면 전체시장규모가 1,554억원에서 163억원(= 32,672 m^2/년 X 5년 X 100 천원/m^2) 가량 증가하여 약 1,717억원 시장규모를 형성하고 있다.

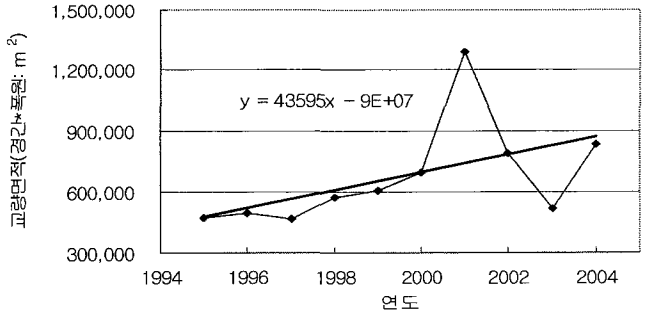


(a) 개소수 기준 (b) 연장 기준 (c) 바닥판 면적 기준

그림 2.1 상부구조 형식별 교량 점유율 분포

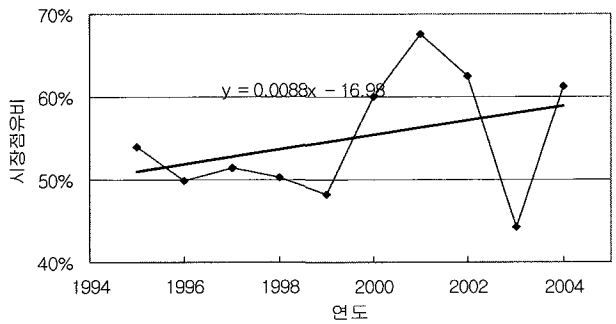


(a) 시장점유비

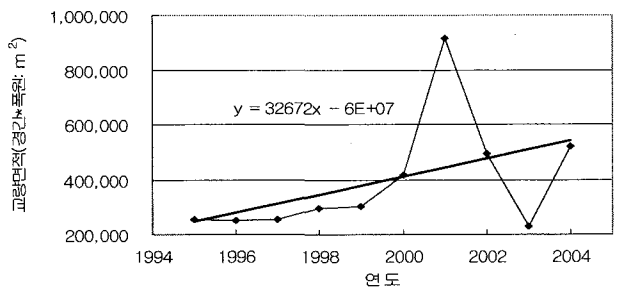


(b) 교량면적

그림 2.2 20~50m 경간의 시장현황



(a) 시장점유비



(b) 교량면적

그림 2.3 PSC거더교 시장현황(20~50m경간)

도로교 뿐만 아니라 철도교의 경우도 고속화에 따른 전철화 및 복선화 사업 등으로 인하여 그 사용이 증가하고 있으며 PSC거더 적용 철도교시장 산정을 위해 철도사업비 중 통상적인 교량상부 공사비율을 2%로 가정하면 연간 철도상부공사비는 6,080억원이며 이 중 PSC거더교 점유비 38.6%분은 약 2,346억원에 달한다. 따라서, 일체긴장 PSC적용시장인 기존 PSC거더 시장은 연간 4,063억원 수준으로 전망된다.

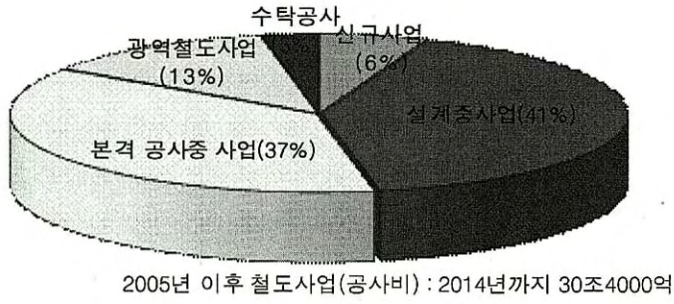


그림 2.4 한국철도시설공단 사업계획

2. 국내 주요 관련 업체

구분	업체명	업체별 능력	비 고
PSC 거더	인터컨스텍	IPC : 다단계긴장공법	건설신기술
	삼표이앤씨	PPC, SPC : 분절제작공법	건설신기술
	비앤지컨설턴트	PnP: 프리캐스트바닥판 적용 다단계긴장공법	건설신기술
	한맥기술	DRPC : 긴장/이완 다단계긴장공법	건설신기술
	우경건설	PSC e-beam : 강판매입 다단계긴장공법	
	DMeng	EPC : 합리화 단면 연속화 공법	
	만세코리아	UDPC : 지점 상승/하강 연속화 공법	건설신기술
합성 거더	삼현피에프	Precom : 강선 긴장 강합성거더	
	동양RPF	RPF : 강선긴장 프리플렉스 공법	건설신기술
	노빌테크	MSP : 다단계긴장 강합성거더	건설신기술
	삼표이앤씨	APF : 프리플렉스 개선공법	
	동양종합건업	파형강판PSC : 복부 파형강판 적용 PSC거더	
	신성건설	SCP : 강재구속 PSC거더	건설신기술
	비비엠코리아	CFT : 콘크리트 충전강관거더	
	중산건설	UDPF : 지점 상승/하강 PF 연속화공법	건설신기술
	지아이에프	PCT : 복부 트러스 강합성거더	

3. 국내 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외 대비)
정착 시스템	이만섭	COWI KOREA	정착구 및 정착구 보강 설계 및 시공	90%
	장신찬	DSI KOREA	정착구 및 정착구 보강 설계 및 시공	90%
	유영섭	VSL KOREA	정착구 및 정착구 보강 설계 및 시공	90%
	심승보	현대산업개발	정착부 콘크리트 균열이론	80%
PSC거더	한만엽	아주대학교	다단계 긴장공법	90%
	박선규	성균관대학교	분절제작공법	80%
	신현목	성균관대학교	PSC거더 거동의 이론적 규명	100%
	박영하	한국도로공사	PSC거더 단면 합리화	70%
	정철헌	단국대학교	PSC거더 전단연결부	80%
	윤석구	서울산업대학교	PSC거더 장기거동 평가	80%
	심창수	중앙대학교	PSC거더 바닥판 상세	80%

4. 국내연구 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
정착 시스템	연구시설 및 설비		O			
	산업기술인력				O	
	산학연공동연구기반				O	
	표준화 기반		O			
	국제기술협력기반				O	
PSC거더	연구시설 및 설비					O
	산업기술인력			O		
	산학연공동연구기반				O	
	표준화 기반		O			
	국제기술협력기반			O		

5. 국내 기술개발 수준

세부기술 내용	국외 현황 (주요선진국명)	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
프리스트레싱 시스템	독일	디비닥코리아(장신찬)	90%
PSC거더 단면 합리화	미국	한국도로공사(박영하)	80%
PSC거더 제작공법	일본	아주대학교(한만엽)	95%

제 2 절 국외 기술 및 산업 동향

건설산업 분야는 내수산업의 경향이 두드러지는 특성을 가지고 있으며, 국제적인 시장교류가 크게 이루어지지 않는 분야로 세부 분야별 국제적 시장규모와 관련된 통계자료가 존재하지 않는다. 따라서, 본 절에서는 해당 업체 및 연구진에서 입수 가능한 범위의 자료를 바탕으로 추산한 국외기술동향 및 시장규모를 표로 정리하여 수록하였다.

1. 주요국가의 시장규모

(단위 : 억원)

구분	국가	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년
PSC거더 교량	미국	12,600	18,360	20,600	20,560	21,320
	일본	7,450	9,898	10,848	12,950	15,390
	독일	4,147	5,504	6,032	7,200	8,558
	영국	3,091	4,102	4,496	5,367	6,378
	프랑스	3,014	4,000	4,384	5,233	6,220

2. 세계시장을 선도하는 주요 업체

업체명(국적)	업체별 능력	비 고
디비닥(독일)	최소 정착구 시스템	
오리엔탈건설(일본)	Bi-Pre공법 적용 PSC거더	
가와다건설(일본)	Bi-Pre공법 적용 중공슬래브교 제작	

3. 해외 시장예측 및 발전전망

PSC거더교는 1960년 이후로 가장 많이 적용된 교량 형식이며 1990년대 이후에는 PSC거더의 장지간화에 관심이 증대되어 단면합리화(Bulb-Tee단면) 또는 공법개선(다단계긴장)을 통해 장지간화를 구현하고 있다. 이와 더불어 2000년대 이후 미국, 일본 등 급속시공을 위한 프리캐스트 분절제작공법 추진 활성화로 PSC거더교는 지속적인 시장을 유지할 것으로 사료된다.

4. 해외 업체 · 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안

PSC거더교의 설계/시공을 위한 각종 요구조건들의 타당성 검토 및 실구조물 적용을 가능케 하기 위해서는 최신기술의 분석 및 검토가 필요하며 이를 위해 교량 적용기술 분야의 해외 전문가를 활용하여 연구결과에 대한 수시 자문을 받았으며 해외 신형식 PSC거더 실용화업체인 가와다건설(일본), 오리엔탈건설(일본) 등의 실무 전문가와의 기술교류를 통해 실용화를 위한 애로기술을 해결하였다.

5. 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

국제특허 출원/등록 후 참여기업인 한국해외기술공사의 진행 중인 현장(캄보디아 Siem Reap~Kralanh공사외 3건, 스리랑카 kalutara~Ambalangoda공사 외 1건, 베트남 Tan Son Nhat~Binh Loi 공사) 등에 설계반영을 통해 해외건설시장진출 모색할 계획이다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 목표

1. 최종목표

목표 구분	최 종 목 표	세 부 목 표
기술 개발	PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC거더 교량 실용화	○ 일체긴장용 연결구 제품화
		○ 일체긴장시스템 최적설계 및 시공기술개발
		○ 일체긴장 PSC거더교 제품화
		○ 일체긴장 PSC 소수주거더교 제품화
기업 지원	개발기술 전파 및 공유활동 수행	○ 기술상담, 교육 및 정보제공 10회 이상
		○ 기술지도 5회 이상
		○ 개발기술의 건설신기술 신청 1건 및 보급활동

2. 최종목표의 성격

최 종 목 표	최 종 성 과	성 격
○ 일체긴장용 연결구 제품화	○ 3, 5, 7, 9EA 강연선용 연결구 ○ 정착장치비 20% 절감 : 정착구&정착보강 → 연결구	제품개발
○ 일체긴장시스템 최적설계 및 시공기술개발	○ 연결구별 사용강봉표준화: 2EA, 4EA ○ 일체긴장시스템 설계 및 시공 가이드라인 개발	공정개발
○ 일체긴장 PSC거더교 제품화	○ 형고 저감(지간 30m) : 2.0 → 1.2m ※강합성거더 수준 ○ 장경간화(형고 1.75m): 25 → 45m	제품개발
○ 일체긴장 PSC 소수주거더교 제품화	○ 공사비 절감 : 100→80만원/m^2 ○ 형고 저감(지간 30m) : 2.0 → 1.8m	제품개발

제 2 절 일체긴장시스템 실용화

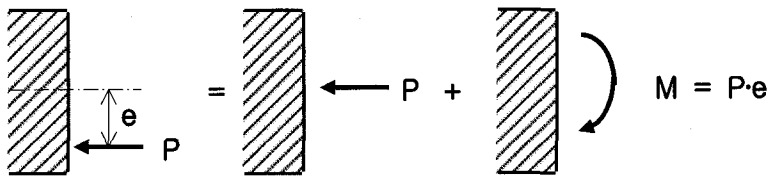
1. 일체긴장 연결구 상세 도출 및 상세 검증

가. 프리스트레싱 공법 기술조사

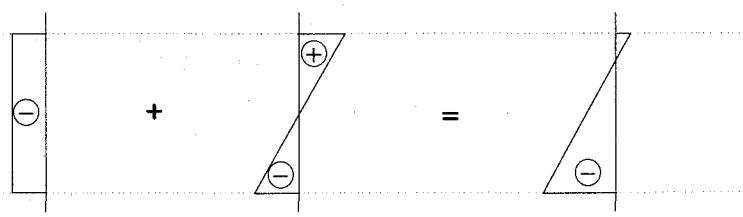
일체긴장 연결구 상세 도출을 위해 PSC거더에 일반적으로 활용되는 프리스트레스 도입 방법 및 다단계 긴장 방법과 일본에서 활용되고 있는 Bi-Prestressing 공법에 대한 기술조사를 실시하였다.

(1) 일반 PSC 및 다단계 긴장공법

일반적으로 긴장재에 의한 프리스트레스 도입 시에는 긴장력과 같은 크기의 축력과 단면 도심과 긴장재의 거리인 편심에 의해 발생하는 모멘트가 동시에 도입된다. 작용하는 단면력 및 응력도는 다음 그림 3.1과 같다.



a. 작용 단면력



b. 응력도

그림 3.1 프리스트레스 도입시 단면력 및 응력도

PSC거더에 도입되는 응력을 시공단계별로 살펴보면 3단계로 구분할 수 있는데 구형 콘크리트단면에 장기거동을 무시할 경우 그림 3.2와 같이 단계별 도입응력이 발생한다.

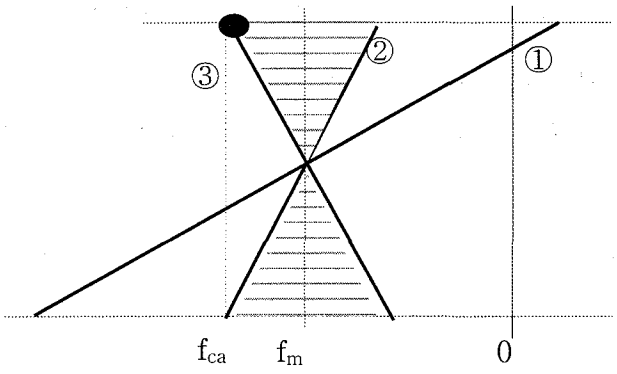


그림 3.2 PSC거더의 시공 단계별 응력도

허용압축응력 = f_{ca} , 허용인장응력 = 0

응력상태 ① : 프리스트레스만 도입한 상태 (보통 이런 상태는 존재하지 않음)

응력상태 ② : 자중의 영향이 더해진 상태(응력상태 ①과 동시에 발생함)

응력상태 ③ : 허용한계까지 추가고정하중 및 활하중이 더해진 상태

여기서, f_m은 단면에 도입된 프리스트레스의 평균값이며 PSC거더의 설계는 최종하중상태에서 하연인장응력이 critical path였으며, 이 때 $f_m < (f_{ca}/2)$ 인 상태가 된다. 하지만 다단계 긴장공법에서는 긴장력을 증가시키고 형고를 낮추기 때문에, 즉 편심이 작아지기 때문에 $f_m > (f_{ca}/2)$이 상태가 되고 critical path는 거더 상연의 압축응력이 된다. 따라서, 응력상태 ①의 직선의 기울기가 PSC거더의 단면형상과 편심량에 의해 자동으로 정해지기 때문에 단면을 최대한 활용할 수가 없으며, 특히 고정하중 부담이 많은 경우 f_m이 과대해져 활하중 부담능력이 축소되는 것을 알 수 있다.

(2) Bi-Prestressing 공법

PC강재를 압축하는 post-compression과 종래 프리스트레싱 방식을 병용하는 공법으로 일본에서는 '두 가지'라는 의미를 가진 접두어[bi : 바이]와 프리스트레스를 뜻하는 접두어[Pre:프레]를 결합하여 사용한 프리스트레싱 방식의 약칭인 Bi-Pre공법으로 널리 활용되고 있다.

포스트텐션은 인장연(거더하연) 부근에 배치된 PC강재를 긴장하고 축압축력과 편

심휨모멘트를 가함으로써 거더 상연에 작은 인장응력과 거더 하연에 큰 압축응력이 작용하는 프리스트레스 분포상태가 되며 프리스트레스는 주로 하중에 의한 거더 하연의 인장응력을 제거하는데 사용된다. 추가로 도입되는 post-compression은 압축연(거더상연)부근에 배치된 PC강봉을 압축하고 축인장력과 편심휨모멘트를 도입함으로써 거더 상연에 큰 인장응력, 거더 상연에서 작은 압축응력이 작용하는 프리스트레스 분포상태가 되어 프리스트레스는 주로 하중에 의한 거더 상연의 압축응력을 제거하는데 사용된다. 상기의 두 가지의 방식을 조합하여 긴장력과 압축력을 조절하는 것으로 축압축응력이 작고 휨응력이 큰 프리스트레스를 도입할 수 있게 된다.

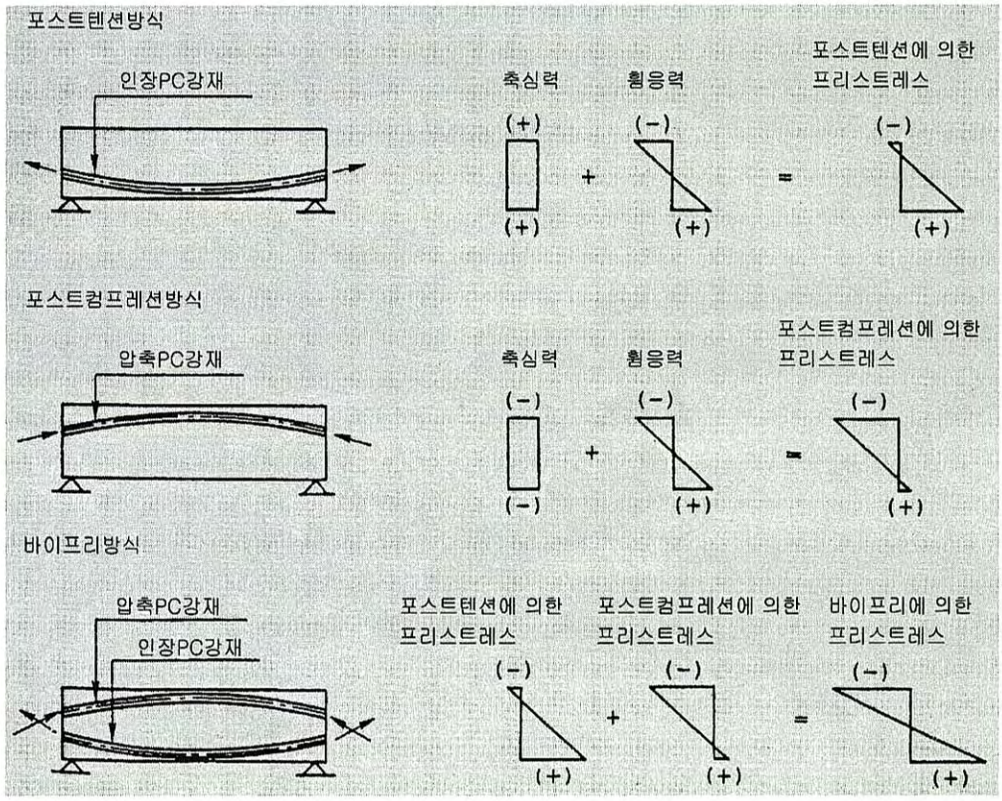
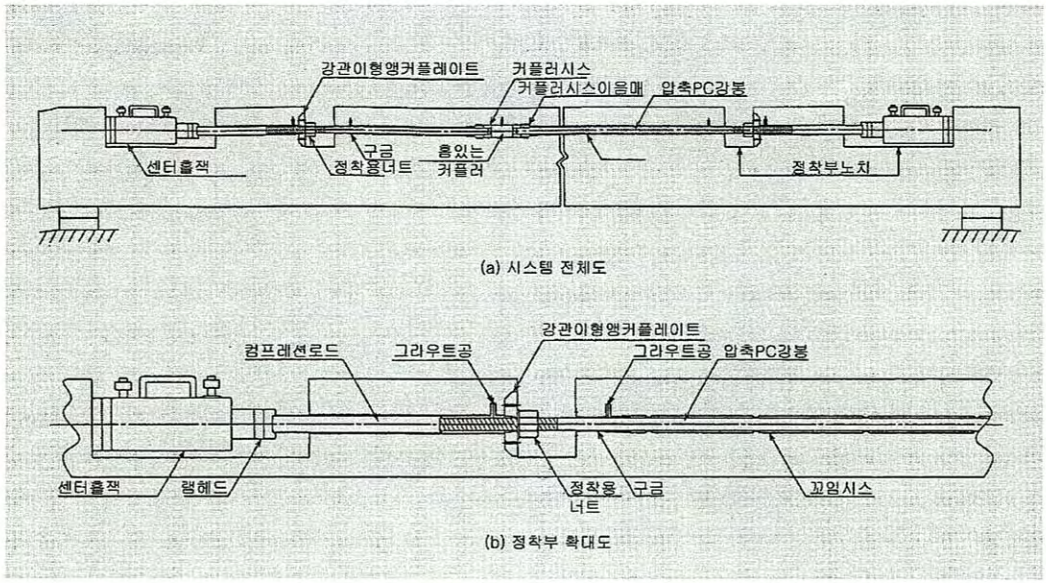


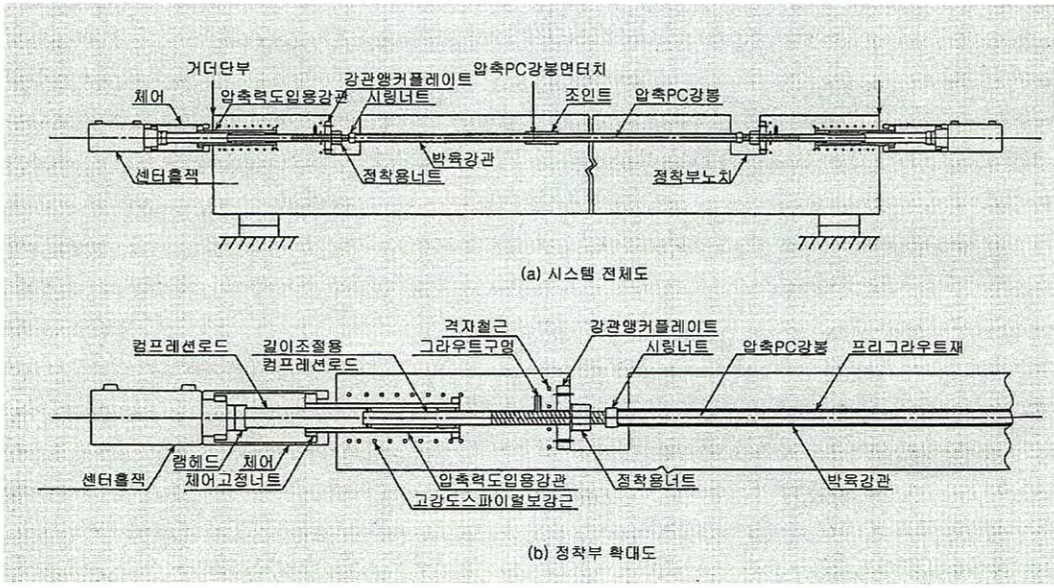
그림 3.3 Bi-Pre 공정별 단면 응력도

post-compression을 도입하기 위해서는 거더 상연에 설치된 강봉에 압축응력을 도입하여야 하는데 노치방식과 단부 압입방식이 주로 사용된다. 노치방식은 주거더 상연에 설치한 노치부에 잭을 설치하고 PC강봉을 압입, 정착하는 노치방식이 표준화되어 압축PC강봉 ∅26㎜와 ∅32㎜를 사용한 단순거더교에 일반적으로 사용되며 단부압입방식은 전용잭을 이용하여 압축PC강봉의 압입을 거더단부에서 실시함으로

써 전항의 노치방식의 잭용 노치부를 필요로 하지 않는 시스템이다.



a. 노치방식 정착시스템 개요도



b. 단부압입방식 정착시스템 개요도

그림 3.4 post-compression 도입방식

나. 일체긴장용 연결구 상세 도출

일체긴장용 연결구는 그림 3.5와 같이 PS강연선용 정착판(wedge plate)이 설치되기 위한 홀과 양 옆으로 강봉이 정착될 홀로 구성된다.

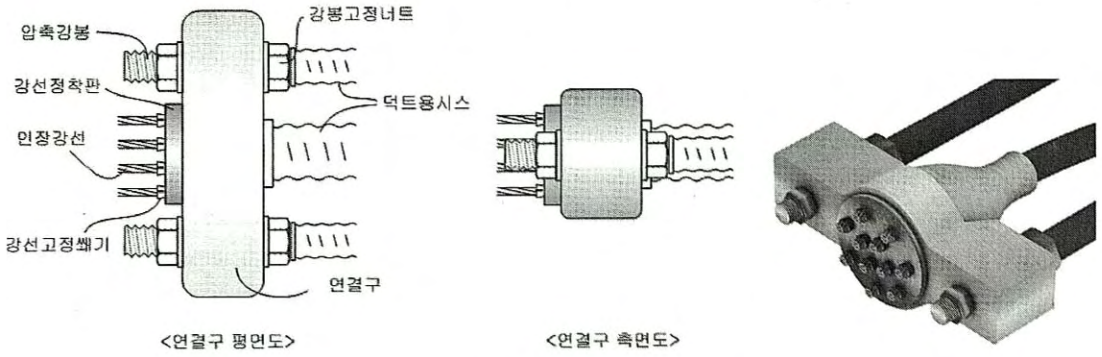


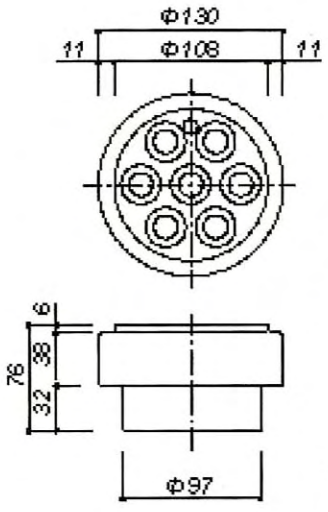
그림 3.5 일체긴장 연결 시스템

일체긴장 연결구의 설계를 위해서 지압판 두께는 강연선부와 강봉부 중 큰 압축력을 전달하는 쪽을 기준으로 산정하였으며, Hole 간격은 강연선, 강봉 각각의 연단거리가 중첩되지 않도록 산정하였다.

(1) 일체긴장용 연결구 Type 선정

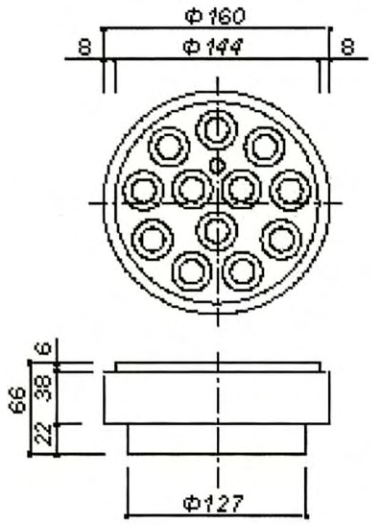
- 140톤 이하용 : 7 TENDON + 2 THREAD BAR SYSTEM → TYPE-1
  7 강연선 정착판(wedge plate) Hole과 40mm 강봉 2개 hole이 있는 시스템
- 220톤 이하용 : 12 TENDON + 4 THREAD BAR SYSTEM → TYPE-2
  12 강연선 정착판(wedge plate) Hole과 40mm 강봉 4개 hole이 있는 시스템

(2) 강연선 관련 표준부속 제원 및 재료성질



- WEDGE PLATE 지름 = 130mm
- HOLE 지름 = 98mm
- SWPC 7B Φ15.2 공칭단면적 = 138.7mm^2
- PS강연선 개소 = 7EA
- PS강연선 사용 단면적 = 970.9mm^2

< 7 강연선 정착판 제원 >



- WEDGE PLATE 지름 = 160mm
- HOLE 지름 = 128mm
- SWPC 7B Φ15.2 공칭단면적 = 138.7mm^2
- PS강연선 개소 = 12EA
- PS강연선 사용 단면적 = 1664.4mm^2

< 12 강연선 정착판 제원 >

· 연결구 소재 : SC450 (항복강도 220MPa)

(3) 연결구 상세 검토 기준

연결구 설계 성능을 검증하기 위한 기준은 PTI 기준 POST-TENSIONING SYSTEMS 4.1.1을 준용하였다. 연결구의 휨응력에 대한 규정과 중앙부 처짐에 관한 규정으로 다음에 제시한 식과 같다.



Purchase Options:

Media: printed document (368 Pages)
Price: $112.50
» Add to cart

Post-Tensioning Manual, Hard Cover
Item Code: LT195
Date: 2006

Description: Published by the Post Tensioning Institute, this manual contains updated information on the current practices in the use, design, and construction of post- tensioning. The 6th Edition has been extensively rewritten and expanded from the 5th Edition. The Manual contains 12 new chapters that give design guidance on modern applications of post-tensioning. All of the original chapters have been totally revised and modified to reflect the current industry practices. New topics include Seismic Design, Post-Tensioned Concrete Floors, Parking Structures, Slab-on-Ground, Bridges, Stay Cables, Storage Structures, Barrier Cables, Dynamic and Fatigue, Durability, Inspection and Maintenance, and Field and Plant Certification. The Manual provides the industry standard for design and construction of post-tensioned structures. This book is an invaluable resource for practicing engineers, architects, students, educators, contractors, inspectors, and building officials. The 6th Edition of the Post-Tensioning Manual provides basic information and the essential principles of post-tensioning.

그림 3.6 POST-TENSIONING MANUAL 6th : PTI

· 휨응력 검토

$$f_s = 3\, f_{bi} \left(\frac{n}{t}\right)^2 \le 0.8 f_{sy}$$

n = 정착판(wedge plate) 단부에서 지압판(bearing plate) 단부 사이 거리(mm)

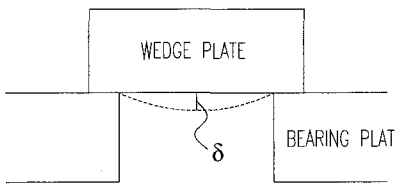
t = 연결구 두께(mm)

f_s = 연결구의 휨응력(MPa)

f_{sy} = 연결구 모재의 항복강도(MPa)

f_{bi} = 평균지압응력(MPa)

· 중앙부 최대변위 검토



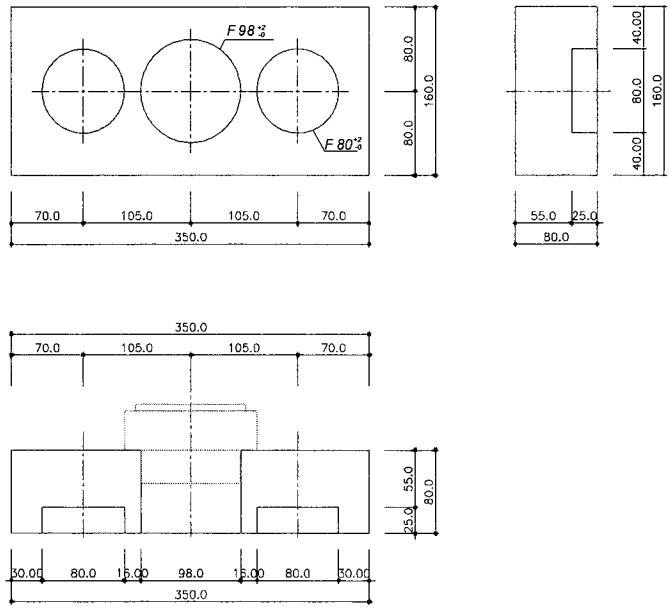
$\delta \le L/600$

δ = 최대 극한강도의 95%의 하중에서의 중앙부 처짐

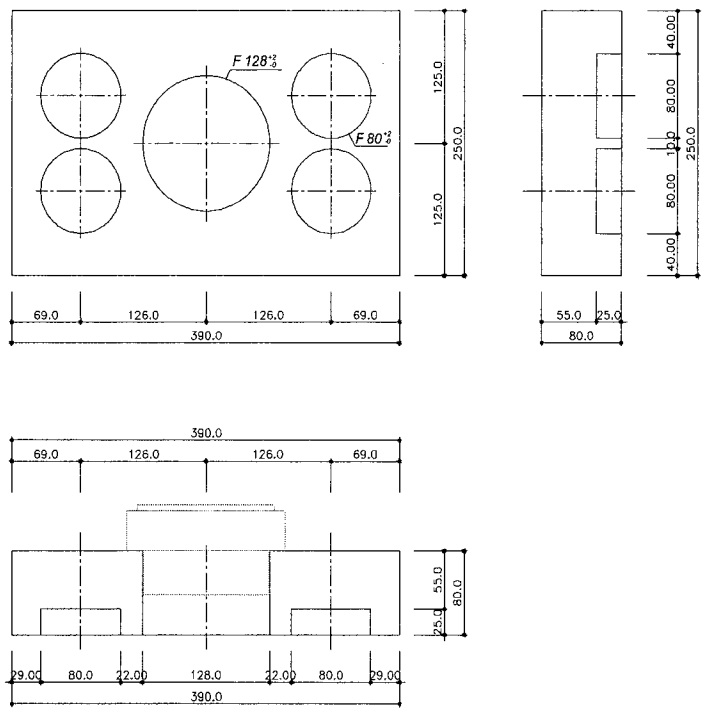
L = 강봉 지점부간 거리

(4) 연결구 제원 결정

일체긴장 연결구의 제원은 강연선 7연선 및 12연선의 정착판의 크기를 기준으로 단면제원을 산정하였으며 현장에서 운반/설치 작업성을 고려하여 40kg$_f$이하의 무게가 되도록 크기 및 두께를 결정하였다. 강봉은 1000MPa급 고강도 강봉을 사용하게 되는데 시판되고 있는 최대 직경인 40~50mm를 수용할 수 있도록 Hole의 직경을 산정하였다. 각각의 단면 제원은 그림 3.7과 같다.



a. Type-1: 7 강연선 2hole

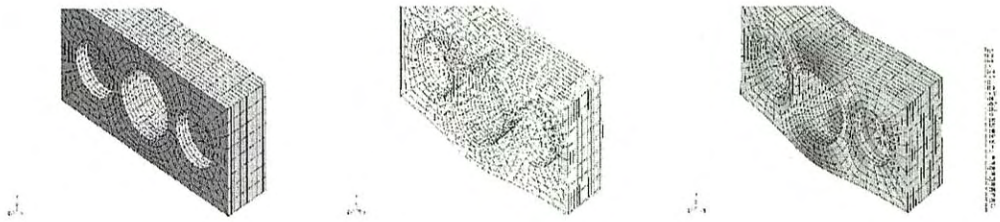


b. Type-2: 12 강연선 4hole

그림 3.7 일체긴장 연결구 제원

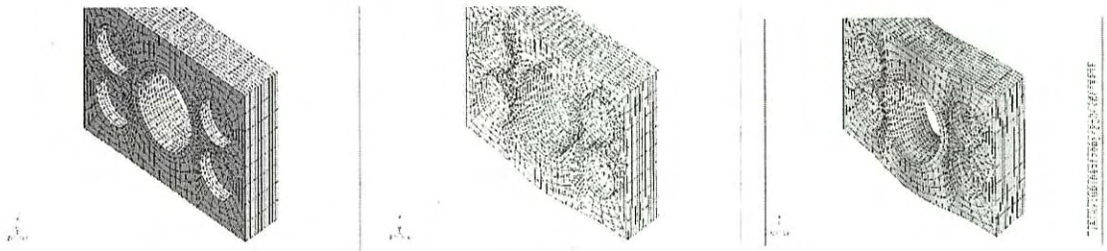
(5) 유한요소해석

설계된 일체긴장 연결구의 PTI기준 만족여부를 판단하기 위해 범용 해석프로그램 DIANA-8을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 요소모델은 solid요소를 사용하였으며 재하하중은 Type-1의 경우 130톤, Type-2 는 220톤을 정착판 접지면에 등분포로 재하하였다. 긴장력은 강봉에 의해서만 지지되기 때문에 지점조건은 강봉 삽입구의 횡방향구속 및 강봉지지면만 축방향으로 구속하여 힌지조건을 구현하였다. 해석모델과 변형형상 및 응력도를 다음 그림 3.8에 나타내었다.



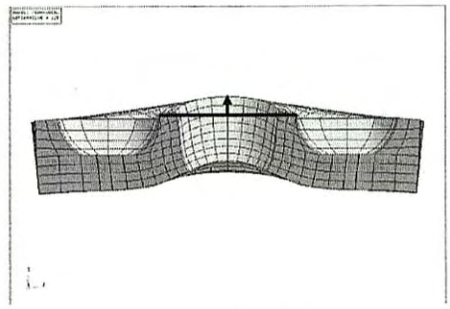
<해석모델> <변형형상> <응력도>

a. Type-1: 7 강연선 2hole



<해석모델> <변형형상> <응력도>

b. Type-2: 12 강연선 4hole



c. 최대변위 산정도

그림 3.8 유한요소해석

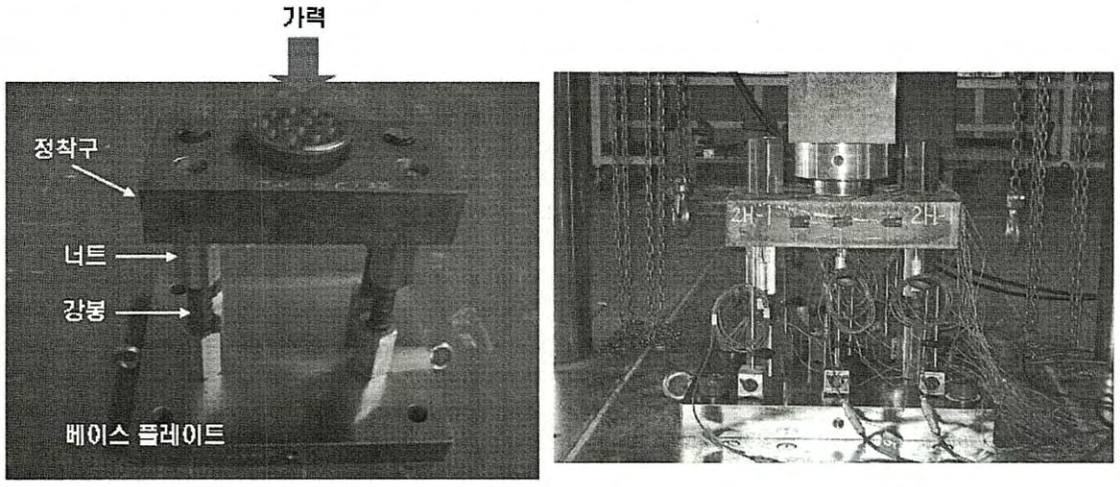
유한요소해석결과 중앙부 최대변위는 각각의 연결구의 허용처짐인 0.217 및 0.287을 30%이상 하회하는 결과를 나타내어 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났으며 응력의 경우에는 허용응력인 176MPa에 가까운 값을 나타냈으나 허용값 이내로 분석되었다. 해석결과는 표 3.1에 정리하였다.

표 3.1 유한요소해석 검토결과

	Type-1 (7 강연선 2hole)	Type-2 (12 강연선 4hole)
Load (kN)	1274.910	2157.540
Area (mm^2)	5730.265	7238.230
Length (mm)	130	172
Allowable Displacement (mm)	0.217	0.287
Displacement (mm)	0.134 (OK)	0.176 (OK)
Allowable Stress (MPa)	176	176
Max. Stress (MPa)	173 (OK)	169 (OK)

다. 일체긴장용 연결구 성능 검증

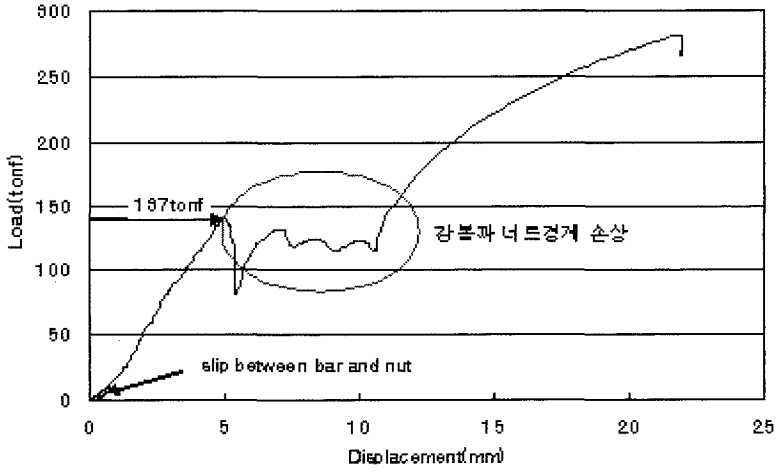
앞서 기술된 바와 같이 설계된 일체긴장용 연결구 시험체 6EA(Type-1, Type-2 각 3EA)를 제작하여 구조성능을 평가하였다.



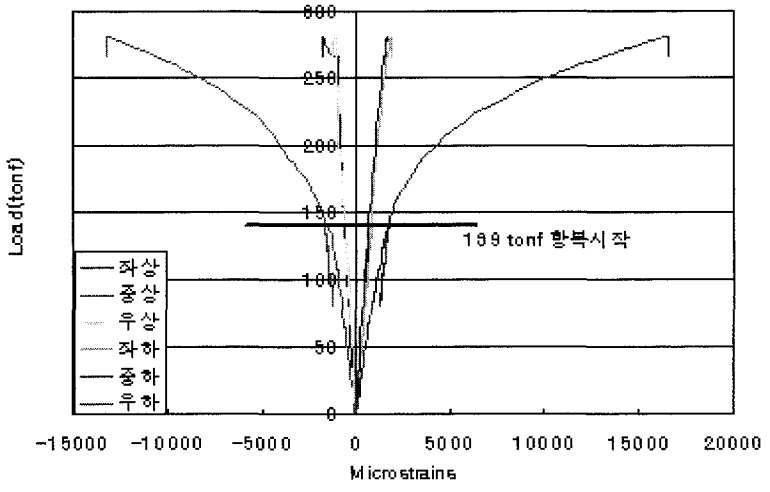
a. 시험체 구성 b. 시험체 세팅

그림 3.9 일체긴장 연결 시스템 성능 검증

시험체에는 연결구 22개소, 강봉당 2개소의 변형률을 측정하였으며 중앙부 및 지점부 6개소에 LVDT를 설치하여 변위를 계측하였다. 하중재하는 300톤 UTM을 이용하여 가력하였다. 제작성 평가를 통해 일체긴장 연결구의 운반을 위한 연결구 양 측면 eye bolt용 hole의 필요성 및 강봉에 압축력을 균등하게 도입하기 위한 힌지형태의 단부처리의 필요성을 인지하였다. 또한 강봉용 Hole을 관통시킬 경우 강봉과 너트 사이의 슬립을 고려하여야 하기 때문에 강봉용 Hole은 관통되지 않는 형태로 변경하였다. 실험결과는 약 137톤까지 탄성변형 후 강봉이 먼저 항복하기 시작하였으며 긴장력 설계시 강봉의 강도를 기준으로 설계할 경우 PTI기준을 충분히 만족할 것으로 판단된다.



a. 하중-변위



b. 연결구 변형률

그림 3.10 일체긴장 연결구 구조성능 검증 결과

2. 일체긴장 관련 설계식 도출

가. 일반사항

일체긴장시스템에 의한 프리스트레스 도입방법은 일반적인 정착구의 거동과 달리 연결구가 콘크리트 면에 닿지 않기 때문에 연결구가 이동하게 되고 이에 따라 특별한 설계가 필요하다. 강봉과 강선의 신축량 및 긴장측과 비긴장측의 이동량을 알아야 이로부터 강선을 늘음량, 즉 긴장측에서 인장강선과 연결구의 상대적인 변위를 계산하여 유압잭의 압력계와 함께 긴장량을 제어하는 지표로 사용할 수 있다. 간편한 계산을 위해서는 다음의 몇 가지 가정이 필요하다.

첫째, 마찰력 계산시에는 긴장측에서의 압축재와 인장재 축력을 사용한다.

둘째, 압축재는 직선으로 배치되어 파상마찰만이 존재한다.

셋째, 인장재는 일정한 곡률로 배치되어 있어 길이방향으로 곡률마찰력이 일정하다. 즉 직선과 세 개의 포물선이 연결된 형태의 배치형상을 가진다(___ + ⌒ + ⌣ + ⌒ +___). 그 배치 상세는 아래와 같다

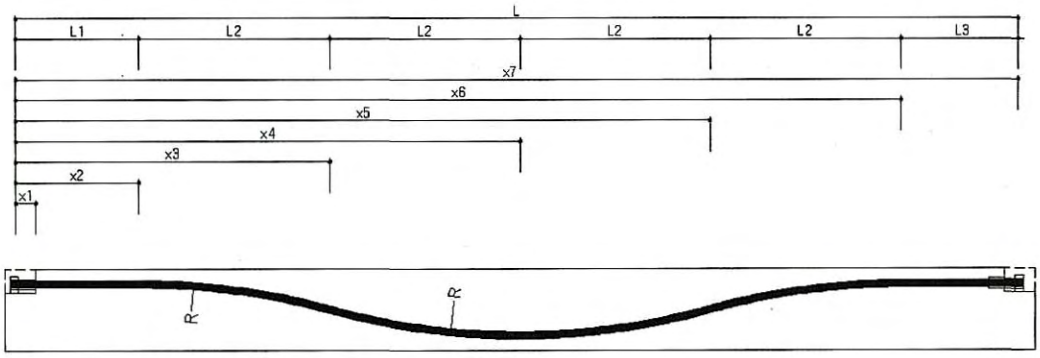
계산에 쓰인 기호 및 정의는 다음과 같다.

표 3.2 일체긴장 설계를 위한 계산에 사용된 기호 및 정의

기호	정의	기호	정의
P_1	긴장력(=긴장잭에 의해 연결구에 작용하는 반력)	P_2	고정측 연결구에서의 압축재와 인장재의 상호반력
$C(x)$	압축재의 압축력 (압축 +)	$T(x)$	인장재의 인장력 (인장 +)
$f_C(x)$	압축재에 작용하는 마찰력	$f_T(x)$	인장재에 작용하는 마찰력
s	긴장측 부재단부로부터의 인장재 길이	x	긴장측 부재단부로부터의 거리
a	인장재가 긴장측으로 미끌어지는 구간	L	휨부재의 길이
k_C	압축재와 덕트 사이의 파상마찰계수	k_T	인장재와 덕트 사이의 파상마찰계수
μ	인장재와 덕트 사이의 곡률마찰계수	ρ	인장재의 곡률
δ_1	긴장측 연결구의 변위	δ_2	고정측 연결구의 변위
δ_c	압축재의 수축량(= $\delta_1 - \delta_2$)	δ_T	인장재의 신장량
δ_s	긴장측 연결구에 대한 인장재의 상대 늘음량	$\alpha(x)$	x까지의 각변화 누계

나. PS강재의 배치

(1) 인장 PS강재(강연선)의 배치



$\alpha_0 = \sin^{-1}[\frac{L_2}{R}]$, $\quad l_0 = \alpha_0 R$

강선의 총 길이(m): $l = L + 4(l_0 - L_2)$

강선의 총 각변화(rad): $4\alpha_0$

표 3.3 강연선 임의의 길이에서의 누계 강선 길이 및 누계각변화

x	누계 각변화	누계 길이
$0 \sim x_2$	0	x
$x_2 \sim x_3$	$\sin^{-1}[\frac{(x-x_2)}{R}]$	$L_1 + R\sin^{-1}[\frac{(x-x_2)}{R}]$
$x_3 \sim x_4$	$2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}]$	$L_1 + l_0 + R(2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}])$
$x_4 \sim x_5$	$2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}]$	$L_1 + l_0 + R(2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}])$
$x_5 \sim x_6$	$4\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_6)}{R}]$	$L_1 + 3l_0 + R(4\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_6)}{R}])$
$x_6 \sim x_7$	$4\alpha_0$	$l = x + 4(l_0 - L_2)$

표 3.3의 식을 함수로 정의하면 상대오차 2%내에서 $\sin^{-1}x \cong x \quad \text{if}(x < 0.33)$ 이므로 누계각 변화를 아래와 같이 간략화 할 수 있다.

$$\alpha(x)=\begin{cases}0 & [0\le x\le x_2]\\ \frac{\alpha_0}{L_2}(x-x_2) & [x_2\le x\le x_3]\\ \frac{\alpha_0}{L_2}(x-x_4)+2\alpha_0 & [x_3\le x\le x_5]\\ \frac{\alpha_0}{L_2}(x-x_6)+4\alpha_0 & [x_5\le x\le x_6]\\ 4\alpha_0 & [x_6\le x\le L]\end{cases}$$

$$l(x)=\begin{cases}x & [0\le x\le x_2]\\ \frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1 & [x_2\le x\le x_6]\\ x+4(l_0-L_2) & [x_6\le x\le L]\end{cases}$$

좀더 간략하게는 아래와 같이도 적용할 수 있다.

$$\alpha(x)=\begin{cases}0 & [0\le x\le x_2]\\ \frac{\alpha_0}{L_2}(x-L_1) & [x_2\le x\le x_6]\\ 4\alpha_0 & [x_6\le x\le L]\end{cases}$$

(2) 압축 PS강봉의 배치

압축 PS강봉은 직선으로 배치되어 있어, 각 변화는 없고, 길이는 직선으로 변화한다.

(3) 일체긴장 시스템의 거동

위의 가정을 적용하면 변위 계산은 인장PS강재와 압축PS강봉의 탄성계수, 단면적, 길이뿐만 아니라 마찰력의 차이에 따라 달라진다. 마찰력이 발생하지 않거나 서로 같은 경우에는 양쪽 연결구에서 힘의 평형은 이루어지지고 변형량만 서로 다르기 때문에 긴장측과 비긴장측의 연결구 움직임의 차이에 의해 두 PS강재의 변형량의 차이를 보정한다. 압축PS강봉보다는 인장PS강재가 배치형태에 의하여 길이도 길 뿐만 아니라 단면적도 작기 때문에 긴장측 연결구가 비긴장측 연결구보다 많이 움직이게 된다. 또한 인장PS강재와 압축PS강봉의 변형량이 서로 같다고 하더라고 마찰력의 차이에 따라 거동의 차이가 발생하게 된다. 마찰력이 서로 다른 경우에도 일체긴장 시스템에서는 긴장측 연결구과 비긴장측 연결구에서는 축력의 평형이 이루어져야 한다. 마찰

이 다름에도 불구하고 축력의 평형이 이루어지기 위해서는 마찰력이 작은 PS강재가 응력을 유발하는 변형뿐만 아니라 선형이동을 하여 양쪽 연결구에서 평형이 이루어지도록 한다. 즉 그림 3.11과 같이 인장PS강재의 마찰이 압축PS강봉의 마찰보다 큰 경우에는 인장PS강재 내에 움직이지 않는 a점이 존재하게 되고(Case1), 압축PS강봉의 마찰이 인장PS강재의 마찰보다 큰 경우 압축PS강재 내에 움직이지 않는 점 b가 존재하게 된다(Case2). 대개의 경우 곡률마찰이 존재하지 않는 압축PS강봉보다 인장PS강재의 마찰이 더 크게 되므로 Case1의 경우에 해당될 것으로 판단되나 압축PS강봉이 곡률로 배치되거나 파상마찰계수가 때, Case1에 해당되는 경우도 발생할 수 있다.

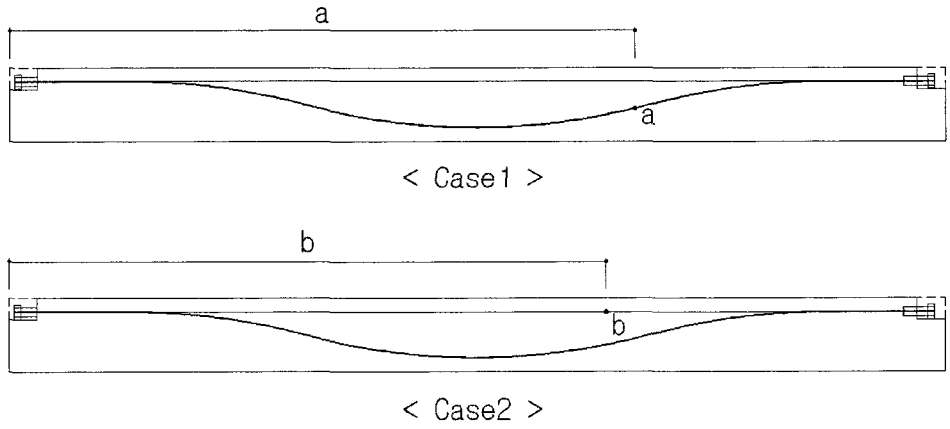


그림 3.11 마찰에 따른 긴장재의 거동

프리스트레싱을 하기 위해서는 긴장력과 함께 긴장잭의 예상 스트로크, 즉 인장재의 신장량과 압축재의 수축량을 합한 값을 알아야 한다. 또한 양쪽 연결구가 각각 어느 정도씩 이동할 것인지를 알아야 연결구와 부재와의 이격거리 등을 설계할 수 있다. 우선 압축재의 수축량(δ_c)을 구할 수 있고, 인장재의 총 신장량(δ_T)을 구할 수 있으며, 긴장시에도 움직이지 않는 점이 어디에 있느냐에 따라 비긴장측 연결구의 이동량을 산정할 수 있으며, 다시 압축재의 수축량을 더하면 긴장시의 늘음량(δ_s)을 구할 수 있다. 긴장측 연결구의 이동량(δ_1)은 고정측 연결구 이동량에 압축재의 수축량을 더하면 된다. 이의 계산과정은 다음 식에 기술하였다.

구 분	Case1	Case2
조건	$C(L) > T(L)$	$C(L) < T(L)$
압축PS강재의 변형량	$\delta_c = \int_0^L \frac{C(x)}{E_c A_c} dx$	
인장PS강재의 변형량	$\delta_T = \int_0^L \frac{T(x)}{E_c A_c} dx$	
비긴장측 연결구의 이동량	$\delta_2 = \int_a^L \frac{T(x)}{E_c A_c} dx$	$\delta_2 = \int_b^L \frac{C(x)}{E_c A_c} dx$
긴장측 연결구의 이동량	$\delta_1 = \delta_C + \delta_2$	$\delta_1 = \delta_C - \delta_2$
긴장측 연결구표면에서의 강선 늘음량(상대변위)	$\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1 = \delta_T + \delta_C$	$\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1$

(가) Case1의 경우

인장PS강재 내에 움직이지 않는 점이 존재하고, 압축PS강봉이 선형이동을 하는 경우로 프리스트레싱재와 덕트의 마찰력을 다음과 식(1) 및 식(2)와 같이 상수로 계산할 수 있게 된다.

$$C(x) = P_1 e^{-\kappa_C x} \tag{1a}$$

$$T(x) = \begin{cases} P_1 e^{-(\mu\alpha(x) + \kappa_T l(x))} & [0 \le x \le a] \\ P_1 (e^{-[\mu(2\alpha(a) - \alpha(x)) + \kappa_T (2l(a) - l(x))]}) & [a \le x \le L] \end{cases} \tag{2a}$$

지승의 값이 작다면 Taylor Series에 의하여 아래와 같이 표현될 수도 있다

$$C(x) = P_1 e^{-\kappa_C x} = P_1 (1 - \kappa_C x) \tag{1-1a}$$

$$T(x) = \begin{cases} P_1 (1 - \mu\alpha(x) - \kappa_T l(x)) & [0 \le x \le a] \\ P_1 (1 - \mu[2\alpha(a) - \alpha(x)] - \kappa_T (2l(a) - l(x))) & [a \le x \le L] \end{cases} \tag{2-1a}$$

긴장측과 비긴장측 연결구에서 인장재와 압축재의 서로에 대한 축력이 평형을 이루어야 하기 때문에 인장재에는 긴장시에도 미끌어지지 않는 점이 존재하고 그 위치를 경계로 마찰력이 작용하는 방향이 바뀌게 된다.

$C(L)=T(L)$이어야 하므로 다음 식3a)와 같이 표현되며

$$P_1 e^{-(\kappa_C L)} = P_1 (e^{-[\mu(2\alpha(a)-\alpha(L))+\kappa_T(2l(a)-l)]})$$
$$\kappa_C L = \mu[2\alpha(a)-\alpha(L)]+\kappa_T(2l(a)-l) \quad (3a)$$

식(3a)에서 a의 값을 구한다. 또한, 일반적으로 $x_2 \le a \le x_6$이므로

$$\kappa_C L = \mu[2\frac{\alpha_0}{L_2}(a-L_1)-4\alpha_0]+\kappa_T(2[\frac{l_0}{L_2}(a-L_1)+L_1]-l)$$
$$2(\mu\frac{\alpha_0}{L_2}+\frac{l_0}{L_2}\kappa_T)a = \kappa_C L+2\mu L_1\frac{\alpha_0}{L_2}+4\mu\alpha_0+\kappa_T[l+2(\frac{l_0}{L_2}L_1-L_1)] \quad (4a)$$
$$a = \frac{\kappa_C L+2\mu L_1\frac{\alpha_0}{L_2}+4\mu\alpha_0+\kappa_T[l+2(\frac{l_0}{L_2}L_1-L_1)]}{2(\mu\frac{\alpha_0}{L_2}+\frac{l_0}{L_2}\kappa_T)}$$

따라서, 압축재의 변형량과 인장재의 변형량은 다음과 같은 식으로 도출된다.

$$\delta_C = \int_0^L \frac{C(x)}{E_c A_c}dx = \int_0^L \frac{P_1 e^{-\kappa_C x}}{E_c A_c}dx = -\frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}[e^{-\kappa_C x}]_0^L = \frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}(1-e^{-\kappa_C L})$$

$$\delta_{T1} = \int_0^{x_2} \frac{T(x)}{E_T A_T}dx = \frac{P_1}{E_T A_T}\int_0^{x_2} e^{-[\kappa_T x]}dx = \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T}[-e^{-[\kappa_T x]}]_0^{x_2} = \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T}[1-e^{-[\kappa_T x_2]}]$$

$$\delta_{T2} = \int_{x_2}^{x_6} \frac{T(x)}{E_T A_T}dx = \frac{P_1}{E_T A_T}\int_{x_2}^{x_6} e^{-[\mu\alpha(x)+\kappa_T l(x)]}dx = \frac{P_1}{E_T A_T}\int_{x_2}^{x_6} e^{-[\mu(x-L_1)\frac{\alpha_0}{L_2}+\kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]}dx$$
$$= \frac{P_1}{(\mu\frac{\alpha_0}{L_2}+\frac{l_0}{L_2}\kappa_T)E_T A_T}[-e^{-[\mu(x-L_1)\frac{\alpha_0}{L_2}+\kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]}]_{x_2}^{x_6}$$
$$= \frac{P_1}{(\mu\frac{\alpha_0}{L_2}+\frac{l_0}{L_2}\kappa_T)E_T A_T}[e^{-(\kappa_T L_1)}-e^{-(4\mu\alpha_0+\kappa_T(4l_0+L_1))}]$$

$$\delta_{T3} = \int_{x_6}^{x_7} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{E_T A_T} \int_{x_6}^{x_7} e^{-[\kappa_T(x+4(l_0-L_2))]} dx$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [-e^{-[\kappa_T(x+4(l_0-L_2))]}]_{x_6}^{x_7}$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [e^{-[\kappa_T(x_6+4(l_0-L_2))]} - e^{-[\kappa_T(x_7+4(l_0-L_2))]}]$$

$$\delta_T = \delta_{T1} + \delta_{T2} + \delta_{T3}$$

대개의 경우는 $x_2 \le a \le x_6$이므로

$$\delta_{T21a} = \int_{x_2}^{a} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2} \kappa_T) E_T A_T} [-e^{-[\mu(x-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]}]_{x_2}^{a}$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2} \kappa_T) E_T A_T} [e^{-(\kappa_T L_1)} - e^{-[\mu(a-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T(\frac{l_0}{L_2}(a-L_1)+L_1)]}]$$

$$\delta_{T22a} = \int_{a}^{x_6} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2} \kappa_T) E_T A_T} [-e^{-[\mu(x-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]}]_{a}^{x_6}$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2} \kappa_T) E_T A_T} [e^{-[\mu(a-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T(\frac{l_0}{L_2}(a-L_1)+L_1)]} - e^{-(4\mu a_0 + \kappa_T(4l_0+L_1))}]$$

따라서, 비긴장측 연결구의 이동량은 $\delta_2 = \delta_{T22a} + \delta_{T3}$와 같으며, 긴장측 연결구의 이동량은 $\delta_1 = \delta_2 + \delta_C$로 계산되며 긴장측 연결구 표면에서의 강선의 늘음량(상대변위)은 $\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1 = \delta_T + \delta_C$로 구할 수 있다.

(나) Case2의 경우

압축PS강봉 내에 움직이지 않는 점이 존재하고, 비긴장측 연결구가 긴장측 방향으로 움직이는 변형을 하는 경우로 프리스트레싱재와 덕트의 마찰력을 식(1b) 및 식(2b)와 같이 상수로 계산할 수 있게 된다.

$$C(x)=\begin{cases} P_1 e^{-\kappa_C x} & [0\le x\le b] \\ P_1 e^{-\kappa_C(2b-x)} & [b\le x\le L] \end{cases} \tag{1b}$$

$$T(x)=P_1 e^{-(\mu\alpha(x)+\kappa_T l(x))} \tag{2b}$$

긴장측과 비긴장측 연결구에서 인장재와 압축재의 서로에 대한 축력이 평형을 이루어야 하기 때문에 압축PS강재에는 긴장시에도 미끌어지지 않는 점이 존재하고 그 위치를 경계로 마찰력이 작용하는 방향이 바뀌게 된다.

$C(L)=T(L)$이어야 하므로

$$P_1 e^{-\kappa_C(2b-L)}=P_1 e^{-(\mu\alpha(L)+\kappa_T l(L))} \tag{3b}$$
$$\kappa_C(2b-L)=\mu\alpha(L)+\kappa_T l(L)$$

식(3b)에서 b의 값을 구한다.

$$\kappa_C(2b-L)=4\mu\alpha_0+\kappa_T l \tag{4b}$$
$$b=\frac{\kappa_C L+4\mu\alpha_0+\kappa_T l}{2\kappa_C}$$

따라서, 압축재의 변형량과 인장재의 변형량은 다음과 같은 식으로 도출된다.

$$\delta_C=\int_0^L \frac{C(x)}{E_c A_c}dx$$
$$=\int_0^L \frac{P_1 e^{-\kappa_C x}}{E_c A_c}dx$$
$$=-\frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}[e^{-\kappa_C x}]_0^L$$
$$=\frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}(1-e^{-\kappa_C L})$$

$$\delta_{C1b}=\int_0^b \frac{C(x)}{E_c A_c}dx$$
$$=\frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}(1-e^{-\kappa_C b})$$

$$\delta_{C2b}=\int_b^L \frac{C(x)}{E_c A_c}dx$$
$$=\frac{P_1}{\kappa_C E_c A_c}(e^{-\kappa_C b}-e^{-\kappa_C L})$$

$$\delta_{T1} = \int_0^{x_2} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{E_T A_T} \int_0^{x_2} e^{-[\kappa_T x]} dx$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [-e^{-[\kappa_T x]}]_0^{x_2}$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [1 - e^{-[\kappa_T x_2]}]$$

$$\delta_{T2} = \int_{x_2}^{x_6} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{E_T A_T} \int_{x_2}^{x_6} e^{-[\mu a(x) + \kappa_T l(x)]} dx = \frac{P_1}{E_T A_T} \int_{x_2}^{x_6} e^{-[\mu(x-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]} dx$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2}\kappa_T) E_T A_T} [-e^{-[\mu(x-L_1)\frac{a_0}{L_2} + \kappa_T[\frac{l_0}{L_2}(x-L_1)+L_1]]}]_{x_2}^{x_6}$$
$$= \frac{P_1}{(\mu \frac{a_0}{L_2} + \frac{l_0}{L_2}\kappa_T) E_T A_T} [e^{-(\kappa_T L_1)} - e^{-(4\mu a_0 + \kappa_T(4l_0 + L_1))}]$$

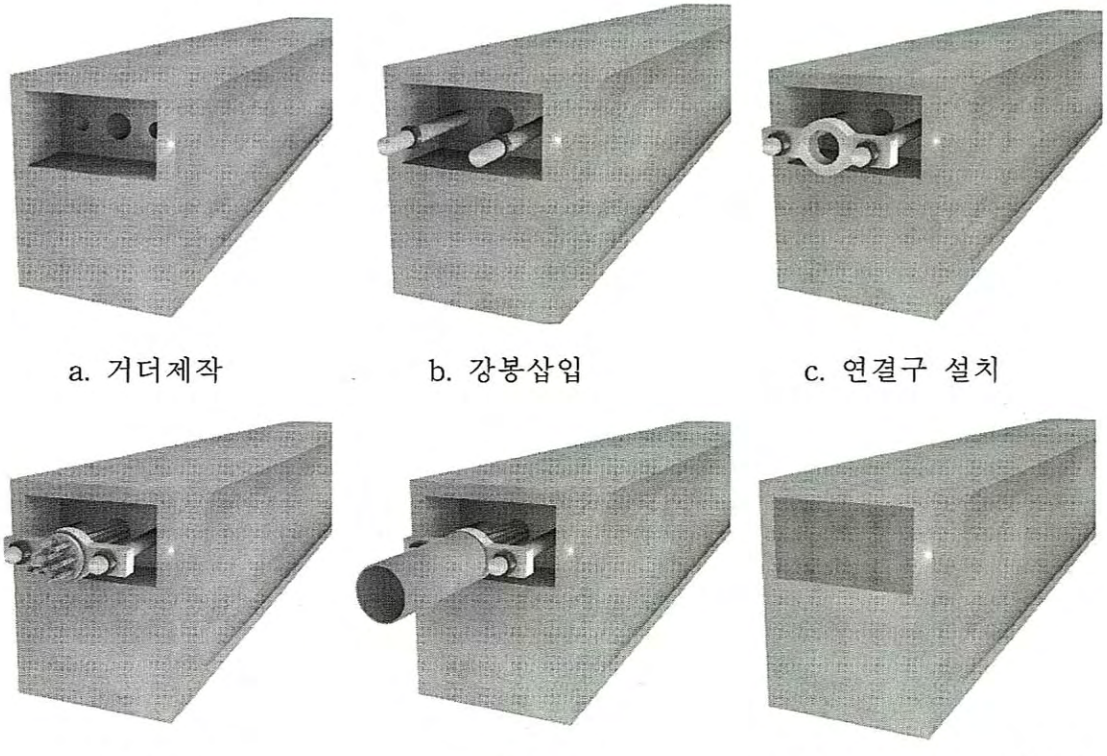
$$\delta_{T3} = \int_{x_6}^{x_7} \frac{T(x)}{E_T A_T} dx$$
$$= \frac{P_1}{E_T A_T} \int_{x_6}^{x_7} e^{-[\kappa_T(x+4(l_0-L_2))]} dx$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [-e^{-[\kappa_T(x+4(l_0-L_2))]}]_{x_6}^{x_7}$$
$$= \frac{P_1}{\kappa_T E_T A_T} [e^{-[\kappa_T(x_6+4(l_0-L_2))]} - e^{-[\kappa_T(x_7+4(l_0-L_2))]}]$$

$$\delta_T = \delta_{T1} + \delta_{T2} + \delta_{T3}$$

따라서, 비긴장측 연결구의 이동량은 $\delta_2 = \delta_{clb}$와 같으며, 긴장측 연결구의 이동량은 $\delta_1 = \delta_C - \delta_2$로 계산되며 긴장측 연결구표면에서의 강선의 늘음량(상대변위)은 $\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1$로 구할 수 있다.

3. 일체긴장 관련 시공방안 도출

일체긴장 PSC거더의 제작공정은 먼저, 제작장의 지반 정지작업 후, 베드를 설치하고 철근 및 쉬스관을 조립/설치한다. 이 때 단부의 상부에는 3개의 쉬스관이 배치되는데 가운데에 강선용 쉬스관이 교축방향으로 포물선 형상으로 배치되고, 양옆의 강봉용 쉬스관은 교축방향 일직선으로 설치되며, 상연에 위치하는 강봉용 쉬스관에는 강봉을 미리 삽입하게 된다. 경간장이 10m를 초과하는 경우에는 강봉을 커플러로 연결하고 쉬스관을 연결하게 된다. 거푸집은 강재 거푸집을 사용하게 되는데 일체긴장 연결구를 설치할 양 단부에는 블록아웃되도록 마감판을 설치한다. 거푸집 설치가 완료되면 콘크리트를 타설한 후 증기양생을 실시하고 콘크리트의 긴장강도가 발현되면 강선을 삽입하고 하부의 정착구부터 긴장작업을 수행하게 된다. 일반 정착구의 긴장작업을 완료한 후 일체긴장 연결구에 PS강선과 강봉을 연결설치하여 긴장력을 도입하는 공정에 의해 거더가 완성된다. 제작공정을 그림 3.12에 나타내었다.



a. 거더제작 b. 강봉삽입 c. 연결구 설치

d. 강연선 삽입 e. 강연선 긴장 f. 단부마감 및 그라우팅

그림 3.12 일체긴장 PSC거더 제작공정

PS강봉은 압축에 저항하여야 하므로 좌굴이 발생하지 않도록 좌굴장을 최대한 줄여야함과 동시에 그라우팅이 가능하여야 하므로 그림 3.13과 같이 꼬임 쉬스관을 고안하였다.

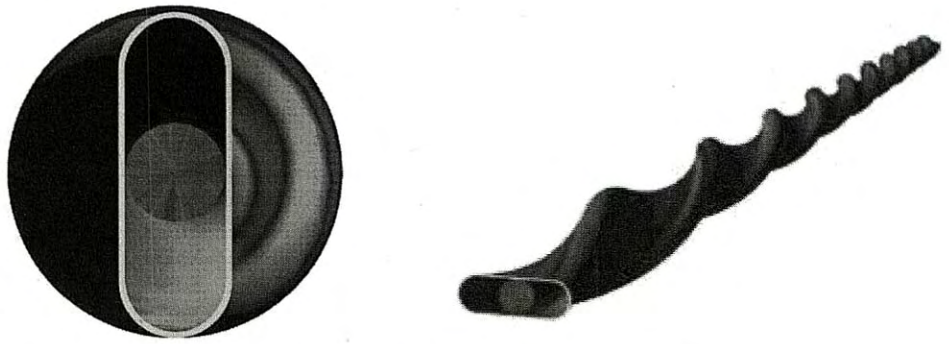


그림 3.13 압축강봉용 꼬임쉬스관

정착단부는 그라우팅 마감시 쉬스관에 콘크리트가 유입되는 것을 방지하기 위해 구조체 단부의 쉬스관 양단에 강봉용 파이프를 설치하여 긴장후 너트를 삽입하는 방법을 그림 3.14와 같이 고안하였다.

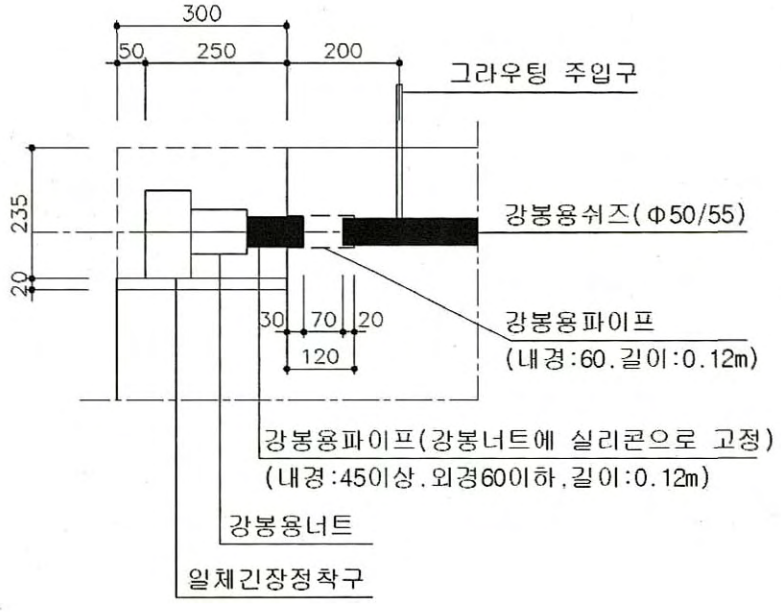
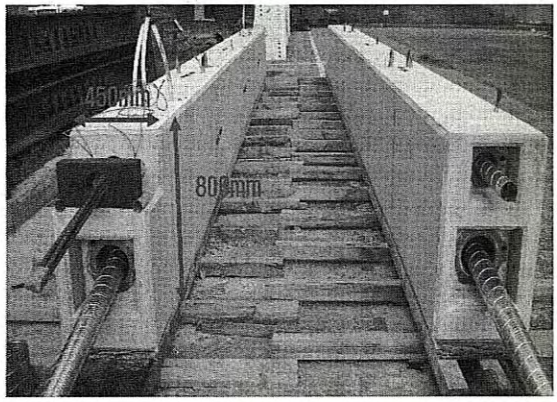


그림 3.14 정착단부 상세

4. 일체긴장 PSC 보 제작성 및 구조성능 검증

일체긴장 시스템의 작용 효과를 검증하기 위해 일체긴장 구형보 3EA와 일반 PSC보 1EA를 제작하였다. 지간 10m를 갖는 구형단면으로 폭 450mm, 높이 800mm로 설계하였다. 단면제원과 도입 긴장력을 그림 3.15에 나타내었다.

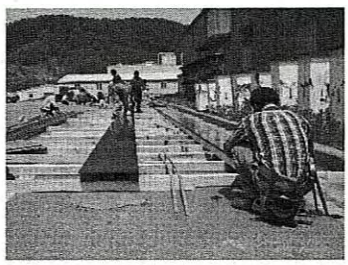


	일체긴장보	PSC보
긴장력	상부 : 100톤 하부 : 275톤	상부 : 135톤 하부 : 275톤
상연 응력	120.7-61.7 = 59kgf/cm²	120.7+11.3 = 132kgf/cm²
하연 응력	34.7+58.9 = 93.6kgf/cm²	34.7+61.0 = 95.7kgf/cm²

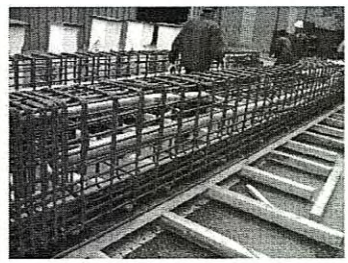
(+) : 압축, (-) : 인장

그림 3.15 일체긴장 보 및 일반 PSC 보 시험체 제원

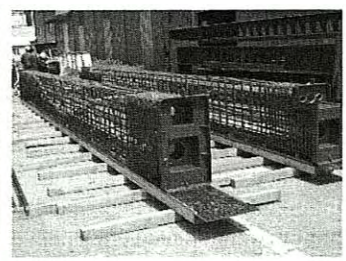
시험체 제작은 그림 3.16과 같이 일체긴장 PSC거더 제작공정을 준수하였다. 강봉 삽입은 콘크리트 타설 전 인력에 의해 원활히 진행되었다.



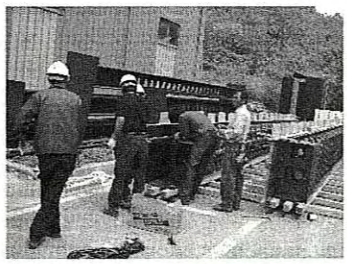
a. 베드 설치



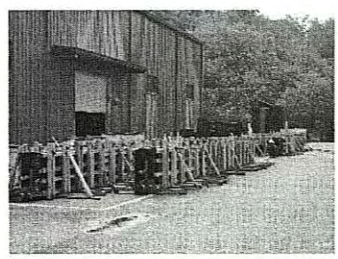
b. 철근/쉬스관 설치



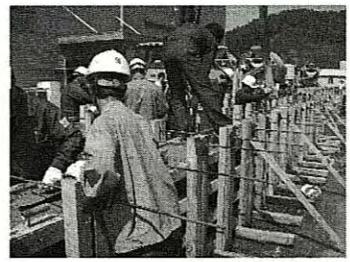
c. 단부 거푸집 설치



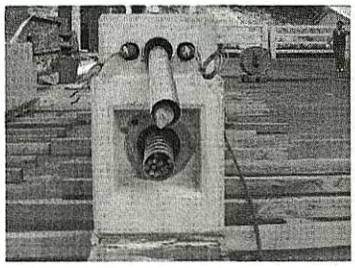
e. 강봉 삽입



f. 거푸집 설치



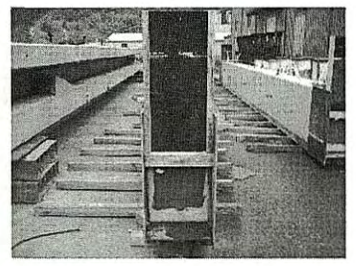
g. 콘크리트 타설



h. 강선 삽입



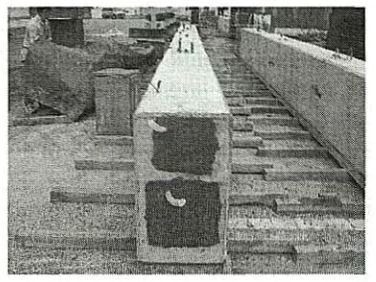
i. 프리스트레싱



j. 단부마감



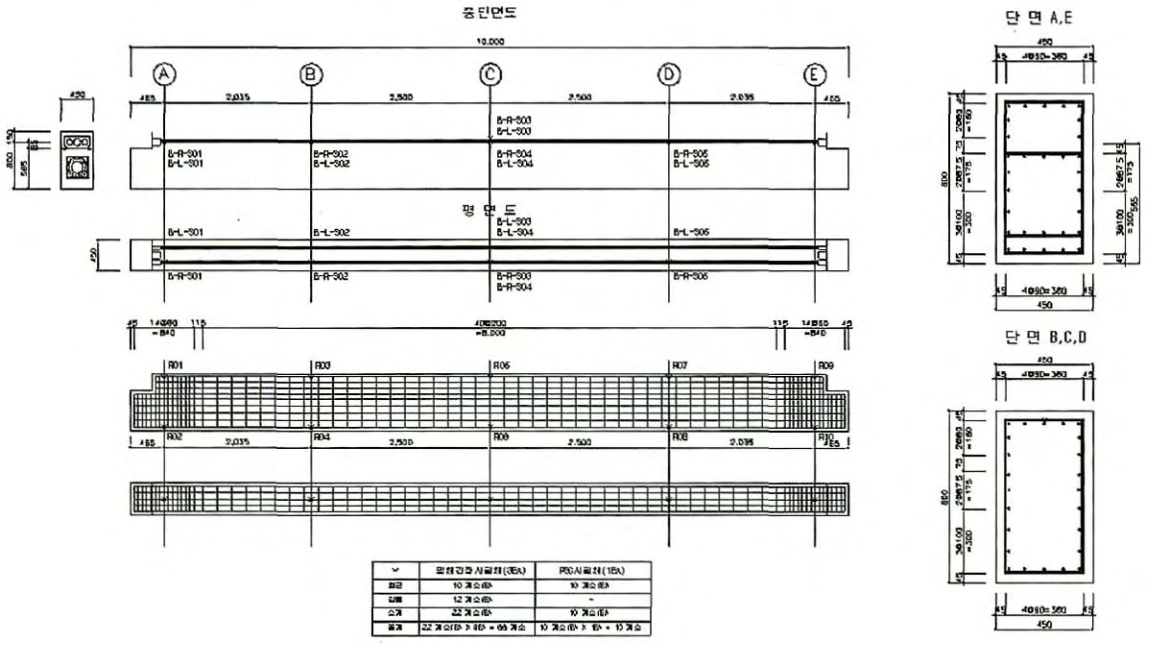
k. 그라우팅



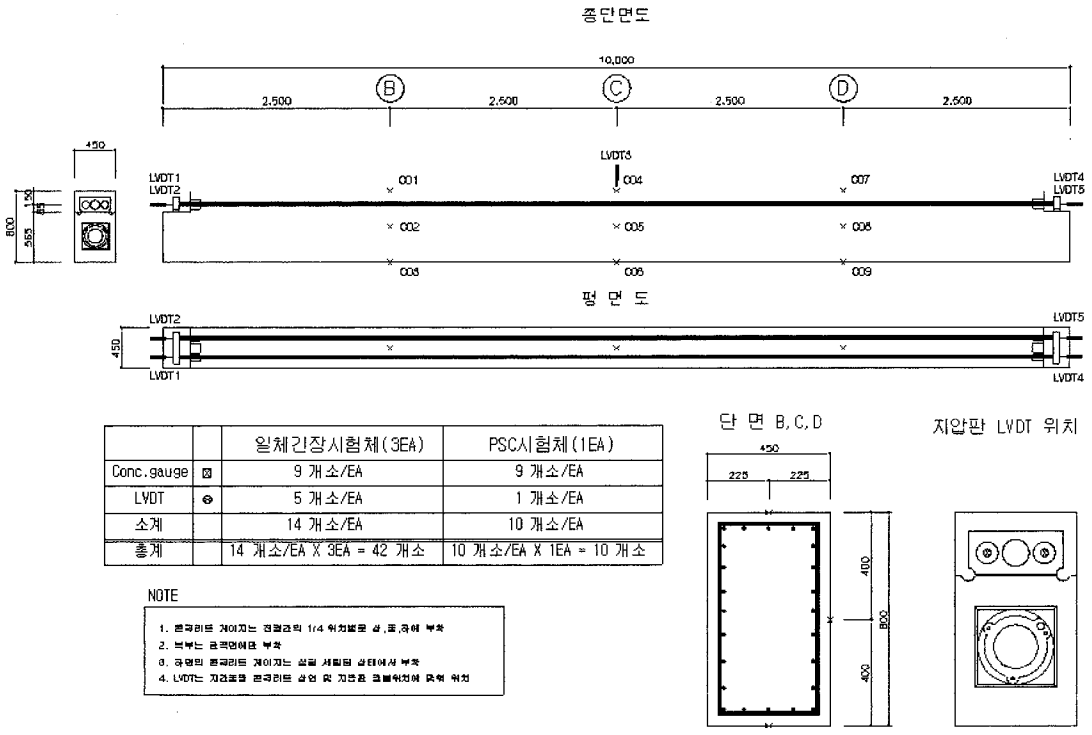
l. 완성

그림 3.16 일체긴장 PSC 보 제작공정

시험체 계측은 지간길이에 따른 일체긴장 효과를 확인하기 위해 철근 및 강봉, 콘크리트 표면에 변형률 게이지를 그림 3.17과 같이 부착하였다.



a. 철근 및 강봉 계측 위치



		일체긴장시험체(3EA)	PSC시험체(1EA)
Conc.gauge	⊠	9 개소/EA	9 개소/EA
LVDT	⊖	5 개소/EA	1 개소/EA
소계		14 개소/EA	10 개소/EA
총계		14 개소/EA X 3EA = 42 개소	10 개소/EA X 1EA = 10 개소

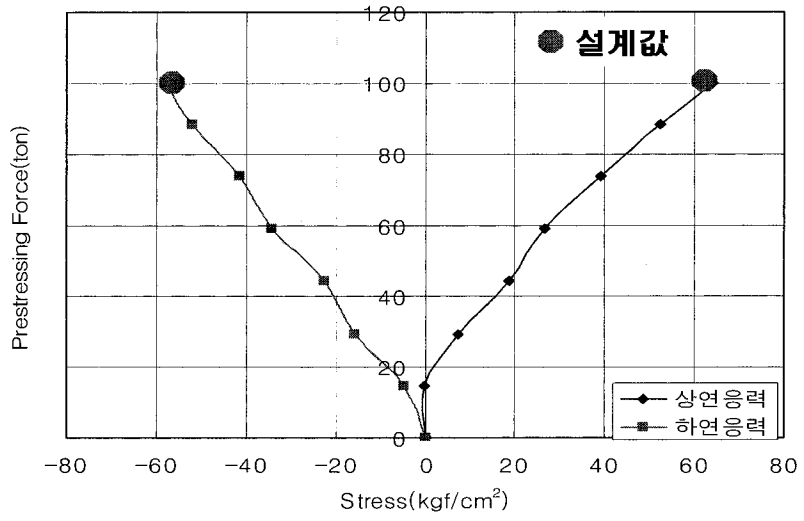
NOTE

1. 콘크리트 게이지는 경간중의 1/4 위치별로 상,중,하에 부착
2. 보부는 중력면에만 부착
3. 강봉의 콘크리트 게이지는 설계 세팅된 상태에서 부착
4. LVDT는 지점조절 콘크리트 상단 및 지점과 경간위치에 면에 위치

b. 콘크리트 변형률 및 변위 계측 위치

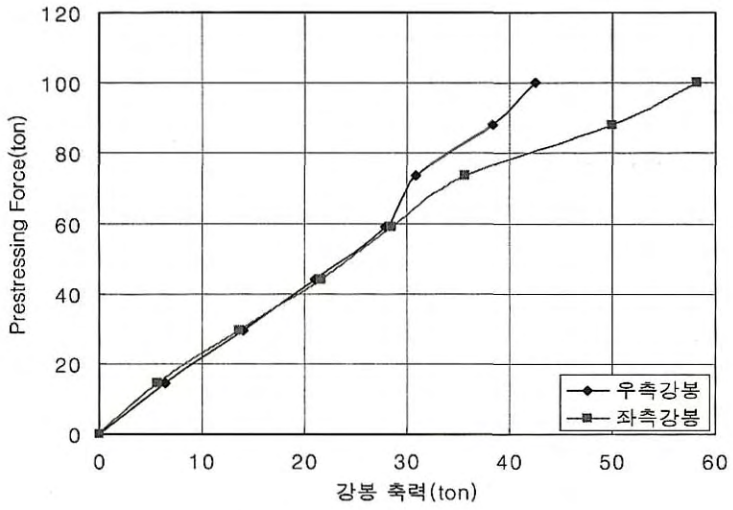
그림 3.17 시험체 계측 위치

일체긴장시의 응력도입은 그림 3.18과 같이 상/하연의 순수 휨모멘트의 도입을 확인하였으며 강봉은 탄성거동함을 확인하였다.



일체긴장시스템 긴장시 응력(G2)

a. 일체긴장 도입 효과

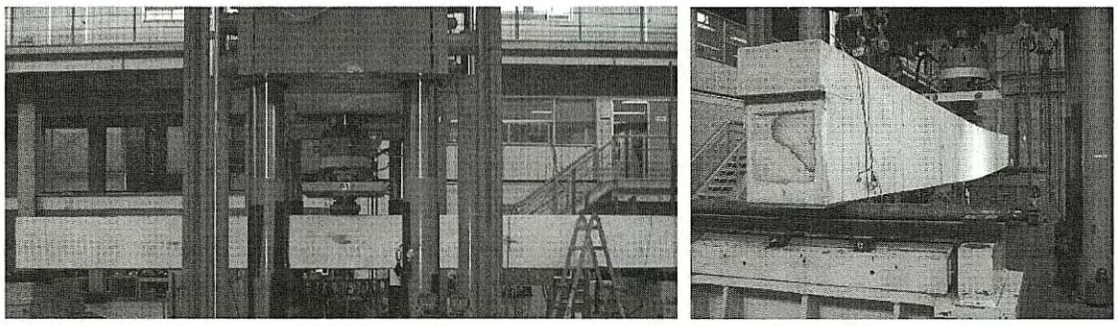


일체긴장시스템 긴장시 강봉 축력(G2)

b. 일체긴장시 강봉의 축력

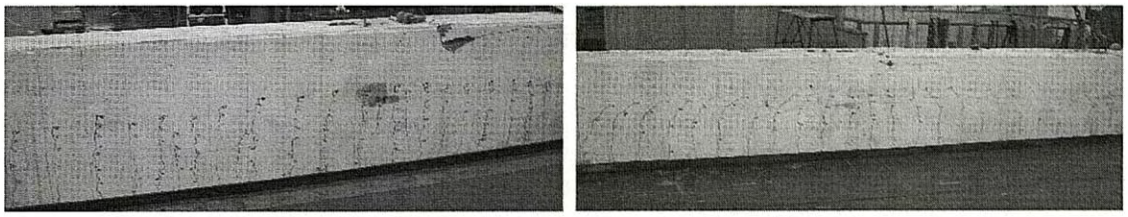
그림 3.18 일체긴장시 계측 결과

제작된 시험체는 1000톤 UTM을 이용하여 지간 중앙부 가력을 통한 정적시험을 수행하였다. 52톤의 하중이 재하될 때까지 탄성거동을 확인하였으며 그 이후 항복하기 시작하면서 107톤에서 파괴되었다. 일체긴장 보가 일반 PSC보보다 긴장력이 35톤 작게 도입되었지만 양 시험체가 동등한 구조성능을 발휘하였다. 균열양상은 일반 PSC보의 경우 축방향력에 의한 프리스트레스가 지배적이기 때문에 연직균열이 발생하였으며 일체긴장 보의 경우 모멘트 프리스트레스 도입에 의해 연직방향 균열이 가력하는 힘이 증가할수록 사인장 균열로 진행되는 것을 확인하였다.



a. 일체긴장 보 가력 : 1000톤 UTM　　b. 파괴시 변형형상

그림 3.19 일체긴장보 정적시험 전경 및 파괴형상



a. 일반 PSC보 시험체　　b. 일체긴장 보 시험체

그림 3.20 균열도

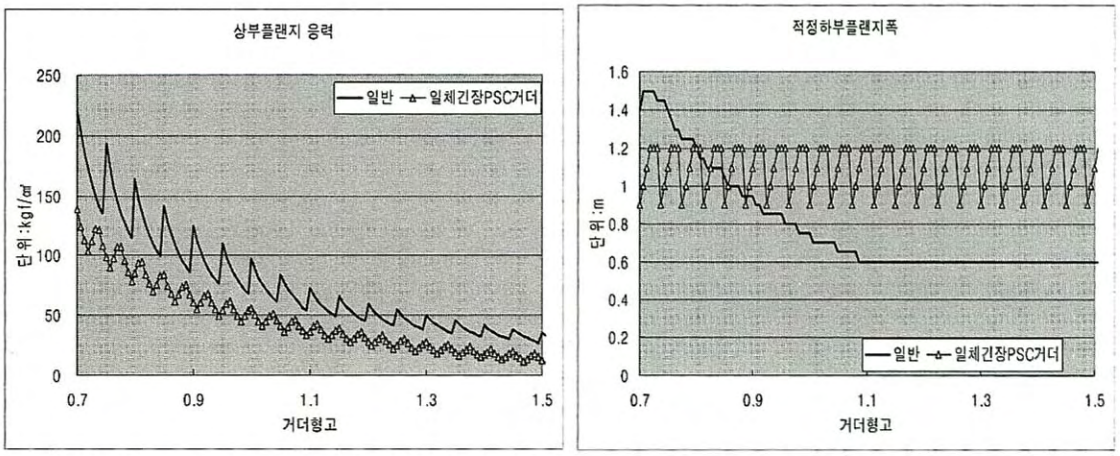
제 3 절 일체긴장 PSC거더교 실용화

1. 일체긴장 PSC거더교 표준화

가. 단면변수에 따른 구조검토

콘크리트 강도를 $f_{ck} = 40.0MPa$로 고정시키고 상부플랜지 폭, 하부플랜지 폭 및 형고를 변수로 변수연구를 수행하였다. 지간별로 긴장 후 최대긴장응력이 강도에 따라 결정되므로 긴장 후 발생하는 응력이 그 값을 초과하지 않는 범위 내에서 단면을 구성하였다.

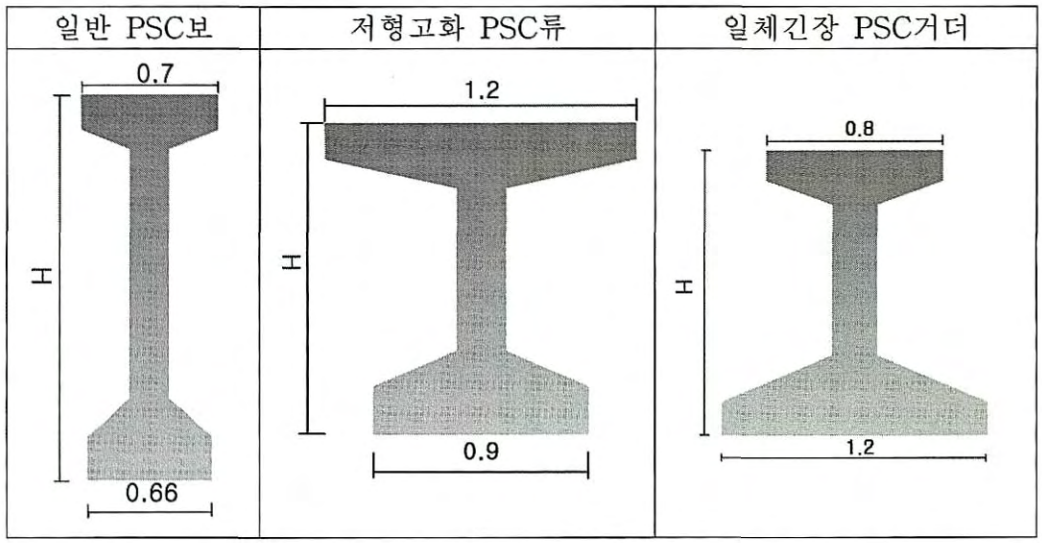
도로교 30m의 경우 일체긴장을 적용한 경우 형고가 0.7m인 거더에서도 상부플랜지의 응력을 허용응력 ($f_{au} = 0.4f_{ck} = 14.0MPa = 140.0kgf/cm^2$) 이내로 적용이 가능하였다. 일체긴장법을 사용하지 않는 경우는 거더 형고 및 상부플랜지 폭에 따라 낮은 형고에서 하부플랜지 폭이 1.4m 이상인 것도 있으나 일체긴장을 사용할 경우 형고가 0.7m이상인 경우 1.2m이하로 사용 가능하였다.



a. 형고에 따른 상부플랜지의 응력　　b. 적정 하부플랜지 폭

그림 3.21 변수연구결과(도로교 30m)

긴장방법에 따라 일반 긴장 및 일체긴장, 다단계 긴장방법을 조합하여 4가지 경우에 대해 형고만을 변수로 변수연구를 실시하였다. 대상 지간은 도로교 30m 로 검토 단면 및 긴장 경우는 다음 그림 3.22에 나타내었다.



- 긴장방법조건

· Case1: 일반 PSC 일단계긴장

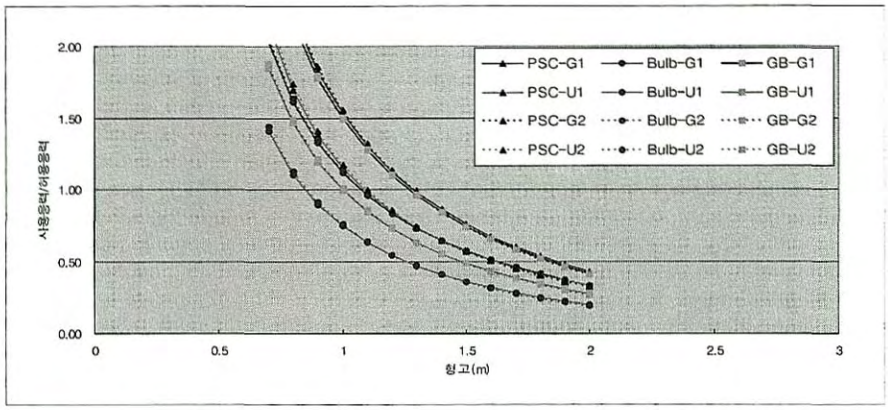
· Case2: 일체긴장시스템 적용

· Case3: 일반 PSC 긴장으로 2단계 긴장적용

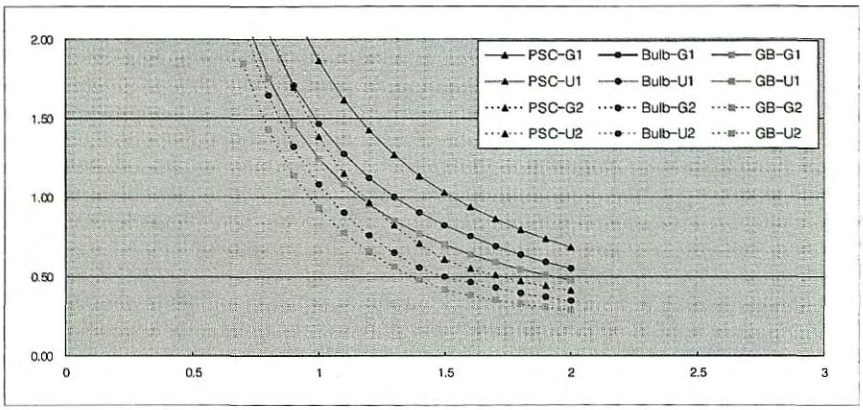
· Case4: 일체긴장시스템을 적용하면서 2단계긴장 적용

그림 3.22 긴장방법에 따른 변수연구 단면

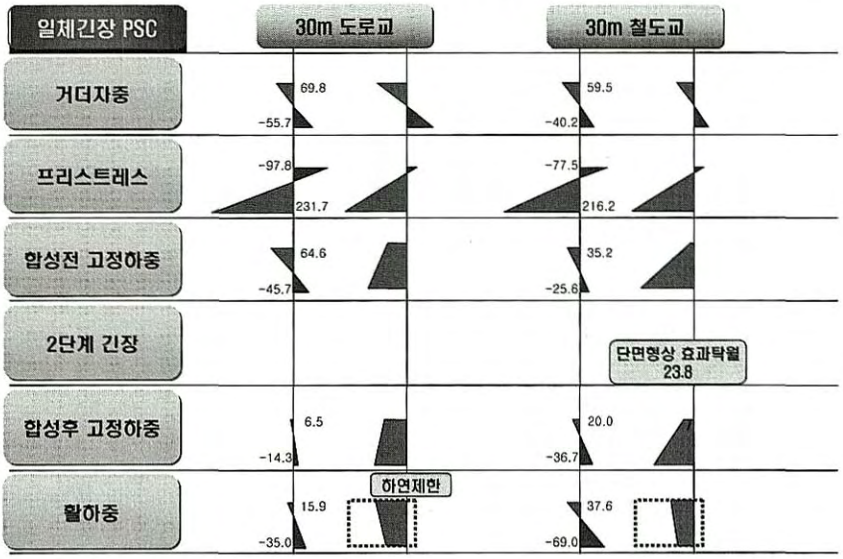
상부플랜지 응력의 경우는 거더 단면을 키운 저형고 PSC거더류(IPC, e-Beam 등)에 비해 일체긴장시스템을 적용하는 것이 효율적인 결과를 나타내었고, 하부플랜지 응력의 경우는 2단계 긴장이 더 효율적 결과를 나타내었다. 그러나 하부플랜지를 크게 할 경우 시공중 안전성이 제고될 뿐 아니라 합성단면의 형상에 따라 처짐 및 진동 등의 사용성 측면에 있어 유리하기 때문에 일체긴장 PSC거더를 실용화함에 있어 일체긴장시스템을 적용하며 거더 하부의 형상을 크게 하고 시공성 향상 및 공사비 절감을 위해 1단긴장을 적용하는 것을 기본안으로 결정하였다.



a. 상부플랜지 응력



b. 하부플랜지 응력



c. 응력변화 형상

그림 3.23 변수연구 결과

나. 강봉의 좌굴방지 상세

(1) 블록아웃부에서 강봉의 좌굴

단부블록아웃의 크기는 피복, 정착구 두께, 강봉의 이동량, 강봉너트의 길이, 여유량을 합산하여 결정된다. 지간별로 다음의 표와 같이 각각의 변수를 산정하고 이에 대한 강봉좌굴장을 검토하였다. 지점조건이 중요한 인자이기 때문에 단부의 회전변형을 방지할 경우 블록아웃부 강봉의 좌굴을 방지할 수 있는 것으로 확인되었다. 제시된 표에서 모든 길이의 단위는 mm이다.

경간장	웨지 플레이트	일체긴장 연결구	너트 길이	강봉의 수축량	단부 이동량	여유량	블럭아웃 크기	적용블럭 아웃크기
20	60	90	100	48	20	32	370	400
25	60	90	100	60	25	34	394	400
30	60	90	100	72	30	36	418	450
35	60	90	100	84	35	37	441	450
40	60	90	100	95	40	39	464	500
45	60	90	100	107	45	41	488	500
50	70	120	100	119	50	46	555	600
55	70	120	100	131	55	48	579	600
60	70	120	100	143	60	50	603	650

지간	블록아웃길이	좌굴길이(L)	E	I	캔틸레버		단부회전을 방지한 경우	
					좌굴장	좌굴력 (tonf)	좌굴장	좌굴력 (tonf)
20	400	600	2E+11	1.25664E-07	1.2	17.2	0.4	140.6
25	400	600	2E+11	1.25664E-07	1.2	17.2	0.4	140.6
30	450	675	2E+11	1.25664E-07	1.4	13.6	0.5	111.1
35	450	675	2E+11	1.25664E-07	1.4	13.6	0.5	111.1
40	500	750	2E+11	1.25664E-07	1.5	11.0	0.5	90.0
45	500	750	2E+11	1.25664E-07	1.5	11.0	0.5	90.0
50	600	900	2E+11	1.25664E-07	1.8	7.7	0.6	62.5
55	600	900	2E+11	1.25664E-07	1.8	7.7	0.6	62.5
60	650	975	2E+11	1.25664E-07	2.0	6.5	0.7	53.3

(2) 단부의 회전변형 방지 방안

단부블록 아웃부를 따라 강봉의 회전변위를 방지하기 위해서 그림 3.24와 같이 가이드라인(각파이프) 시공방안을 도출하였다. 또한, 단부 블록아웃부 길이에 따른 일체긴장연결구의 거동예측도를 그림 3.25에 나타내었다.

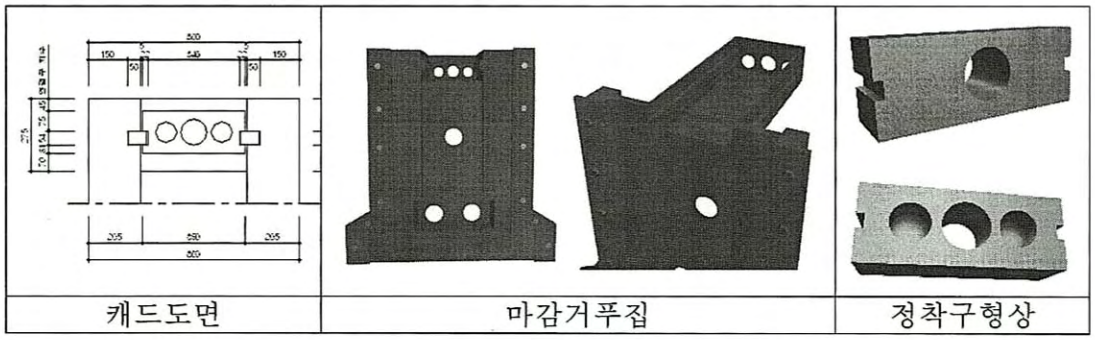


그림 3.24 단부 강봉의 회전변위 방지 방안

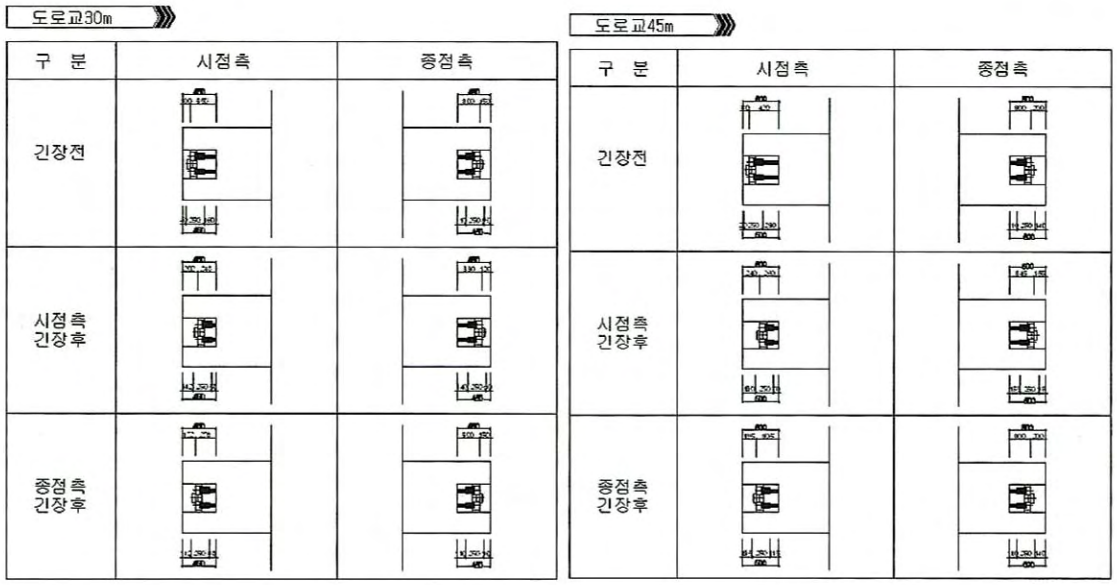


그림 3.25 단부 블록아웃부 길이에 따른 일체긴장연결구의 거동예측도

(3) 쉬즈관 내의 강봉 좌굴

강봉에 도입되는 압축력에 대한 탄성변형량과 좌굴변형량을 산출하였다. 강봉의 탄성변형량은 길이를 최대지간장인 50m로 산정하여 최대 0.09947m의 탄성변형이 발생하는 것을 확인하였다.

$$\delta = \frac{PL}{EA} = \frac{500000N \times 50m}{200 \times 10^9 N/m^2 \times (0.04^2 \times \frac{\pi}{4})} = 0.09947m$$

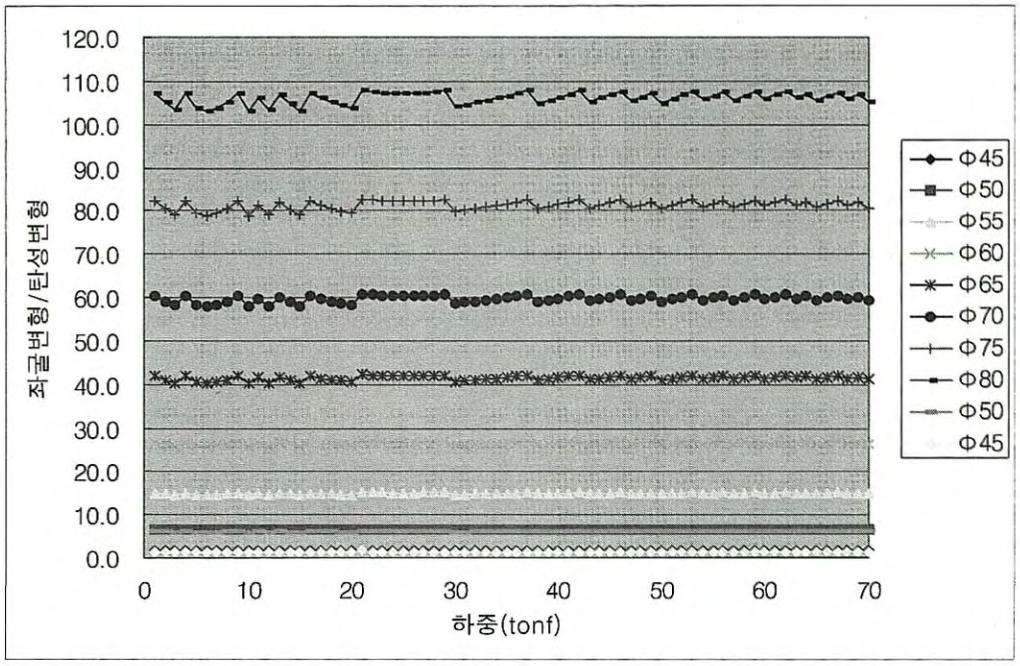
강봉의 좌굴변형 검토를 위해서는 지점조건과 기하형상이 지배적인데 사용 강봉의 직경은 40mm이고, 강봉나사산을 포함하는 경우 45mm이나 안전측으로 40mm로 검토하였다. 쉬즈직경은 1차년도 실험결과 내경 50mm부터 적용이 가능하므로 50mm부터 검토하였다. 좌굴검토에 사용한 식은 다음과 같으며 지간별 작용하중별 좌굴모드 차수를 다음 표에 기술하였다.

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2}$$

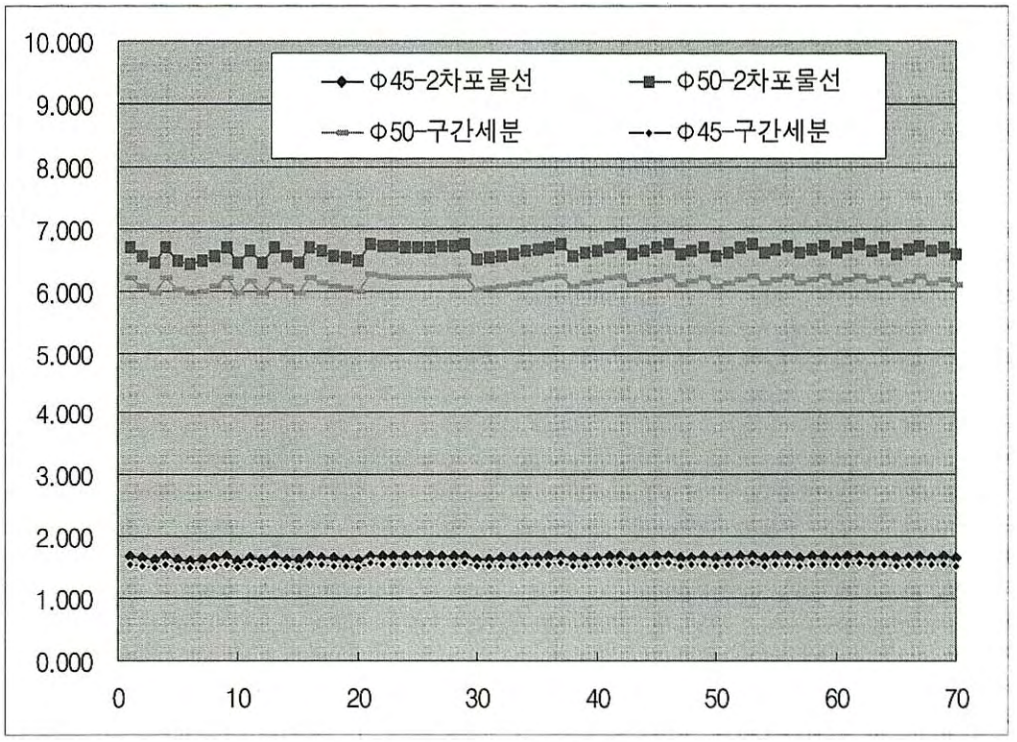
작용력 (tonf)	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m
0	0	0	0	0	0	0	0
10	12	15	19	22	25	28	31
20	17	22	26	31	35	40	44
30	21	27	32	38	43	49	54
40	25	31	38	44	50	57	63
50	28	35	42	49	56	63	70
55	29	37	44	52	59	67	74
60	31	38	46	54	62	69	77

검토결과 강봉에는 압축력이 도입되므로 강봉의 쉬즈내 좌굴은 불가피한 것으로 나타났다. 하지만 일본 바이프레 공법의 경우 1차년도 연구분야에서 확인한 바에 의하면 꼬임쉬즈를 사용하여 좌굴변형을 최소화 하고 있다. 좌굴변형대비 탄성변형의 비율은 교량의 지간이 아니라 좌굴장이 중요하고 좌굴장에 따라 그 값이 산정되며 강봉의 좌굴에 따른 축방향과 다른 방향으로의 좌굴력은 좌굴변형의 형상에 따라 영향을 받는 것으로 판단된다.

쉬즈직경에 따라 탄성변형 대비 좌굴변형의 비율은 크게 달라지지만 그림 3.26과 같이 본 과제에서의 경우에 따른 값은 좌굴변형을 6~7%내로 제한이 가능하기 때문에 좌굴에 대해서는 충분히 안전한 것으로 판단된다.



a. 직경 45~80mm



b. 직경 45, 50mm

그림 3.26 쉬즈직경에 따른 탄성변형 대비 좌굴변형의 비율

2. 일체긴장 PSC거더교 설계기술 개발

가. 장기거동 검토를 위한 AEMM정식화

일체긴장 PSC거더교의 장기거동 설계를 위해 AEMM을 적용하여 정식화하였다. 콘크리트의 재료성질은 시간에 따라 변하기 때문에 프리스트레스 도입 t_1, 합성전 고정하중 재하 t_2, 합성후 고정하중 재하 t_3, 최종검토단계 t_4로 나누어 거더 하연에서의 장기거동에 의한 응력을 산정하였다. ps는 PS 강연선, s는 PS 강봉, c1은 거더 콘크리트, c2는 바닥판 콘크리트를 의미하며 다음과 같이 정리 된다.

(1) 거더 콘크리트 관련

- 탄성계수 : $E_{c1}(t_1)$, $E_{c1}(t_2)$, $E_{c1}(t_3)$
- 크리프계수
  (가) 프리스트레스 : $\phi_{c1}(t_2,t_1),\phi_{c1}(t_3,t_1),\phi_{c1}(t_4,t_1)$
  (나) 합성전 고정하중 : $\phi_{c1}(t_3,t_2),\phi_{c1}(t_4,t_2)$
  (다) 합성후 고정하중 : $\phi_{c1}(t_4,t_3)$
- 재령계수
  (가) 프리스트레스 : $\chi_{c1}(t_2,t_1),\chi_{c1}(t_3,t_1),\chi_{c1}(t_4,t_1)$
  (나) 합성전 고정하중 : $\chi_{c1}(t_3,t_2),\chi_{c1}(t_4,t_2)$
  (다) 합성후 고정하중 : $\chi_{c1}(t_4,t_3)$
  (라) 건조수축률 : $\epsilon_{c1}(t_1 \sim t_2)$, $\epsilon_{c1}(t_2 \sim t_3)$, $\epsilon_{c1}(t_3 \sim t_4)$

(2) 바닥판 콘크리트 관련

※ 합성전 고정하중에 의해서 응력이 발생하지는 않으나 거더의 장기에 의한 응력이 발생하므로 타설후의 합성작용시(t_2)의 단면고려 필요

- 탄성계수 : $E_{c2}(t_2)$[바닥판이 합성작용하기 시작한 시간], $E_{c2}(t_3)$, $E_{c2}(t_4)$
- 크리프계수
  (가) 합성전 고정하중 : $\phi_{c2}(t_3,t_2),\phi_{c2}(t_4,t_2)$
  (나)합성후 고정하중 : $\phi_{c2}(t_4,t_3)$
- 재령계수
  (가) 합성전 고정하중 : $\chi_{c2}(t_3,t_2),\chi_{c2}(t_4,t_2)$
  (나) 합성후 고정하중 : $\chi_{c2}(t_4,t_3)$

(다) 건조수축률 : $\epsilon_{c2}(t_2 \sim t_3)$, $\epsilon_{c2}(t_3 \sim t_4)$

(3) 단면계수 산정

(가) 케이싱 콘크리트

- 그라우팅 전: A_{c1}, B_{c1}, I_{c1}
- 그라우팅 후: A_{c1}, B_{c1}, I_{c1}

(나) 바닥판 콘크리트 : A_{c2}, B_{c2}, I_{c2}

(다) PS강재 단면 : A_{ps}, B_{ps}, I_{ps}

(4) 하중단계별 응력계산

(가) $t = t_1$: 순간 재하에 따른 응력 및 변형률 산정[자중+프리스트레스]

- $A(t_1)$, $B(t_1)$, $I(t_1)$ 산정: 대들보 PSC거더만의 단면
- 기준위치의 외력산정 : N_{i1}, M_{i1}
- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{i1} = \frac{B(t_1)M_{i1} + I(t_1)N_{i1}}{E_{c1}(t_1)[A(t_1)I(t_1) - B(t_1)^2]} \qquad \kappa_{i1} = \frac{A(t_1)M_{i1} + B(t_1)N_{i1}}{E_{c1}(t_1)[A(t_1)I(t_1) - B(t_1)^2]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1i1} = E_{c1}(t_1)\{\epsilon_{i1} - y\kappa_{i1}\}$$

$$f_{si1} = E_s[\epsilon_{i1} - y\kappa_{i1}] \quad f_{pi1} = E_p[\epsilon_{i1} - y\kappa_{i1}]$$

(나) $t = t_1 \sim t_2$: 시간변화에 따른 응력 및 변형률 변화 산정

- $\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)$, A_{c1}, B_{c1}, I_{c1}
- 기준위치의 외력산정 : N_{v1}, M_{v1}

$$-N_{v1} = -\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)[\phi(t_2,t_1)\{A_{c1}\epsilon_{i1} - B_{c1}\kappa_{i1}\} + \epsilon_{sh1}(t_1 \sim t_2)A_{c1}]$$

$$-M_{v1} = -\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)[\phi(t_2,t_1)\{B_{c1}\epsilon_{i1} - I_{c1}\kappa_{i1}\} + \epsilon_{sh1}(t_1 \sim t_2)B_{c1}]$$

- $\overline{A}(t_2,t_1)$, $\overline{B}(t_2,t_1)$, $\overline{I}(t_2,t_1)$ 산정
- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{v1} = \frac{\overline{B}M_{v1} + \overline{I}N_{v1}}{\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)[\overline{A}\,\overline{I} - \overline{B^2}]} \qquad \kappa_{v1} = \frac{\overline{A}M_{v1} + \overline{B}N_{v1}}{\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)[\overline{A}\,\overline{I} - \overline{B^2}]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1v1} = -\overline{E_{c1}}(t_2,t_1)\{\phi_{c1}(t_2,t_1)[\epsilon_{i1} - y\kappa_{i1}] + \epsilon_{sh1}(t_1 \sim t_2) - [\epsilon_{v1} - y\kappa_{v1}]\}$$

$$f_{sv1} = E_s[\epsilon_{v1} - y\kappa_{v1}] \qquad f_{pv1} = E_p[\epsilon_{v1} - y\kappa_{v1}]$$

$$\epsilon_{v11} = \frac{f_{c1v1}(0)}{E_{c1}(t_1)} \qquad \kappa_{v11} = \frac{f_{c1v1}(h_{cc}) - f_{c1v1}(0)}{E_{c1}(t_1)h_{cc}}$$

(다) $t = t_2$: 순간 재하에 따른 응력 및 변형률 산정[합성전 고정하중]

- $A(t_2)$, $B(t_2)$, $I(t_2)$ 산정
- 기준위치의 외력산정 : N_{i2}, M_{i2}
- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{i2} = \frac{BM_{i2} + IN_{i2}}{E_{c1}(t_2)[AI - B^2]} \qquad \kappa_{i2} = \frac{AM_{i2} + BN_{i2}}{E_{c1}(t_2)[AI - B^2]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1i2} = E_{c1}(t_2)\{\epsilon_{i2} - y\kappa_{i2}\}$$

$$f_{si2} = E_s[\epsilon_{i2} - y\kappa_{i2}]$$

$$f_{pi2} = E_p[\epsilon_{i2} - y\kappa_{i2}]$$

(라) $t = t_2 \sim t_3$: 시간변화에 따른 응력 및 변형률 변화산정

- $\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)$, $\overline{E_{c2}}(t_3,t_2)$
- A_{c1}, B_{c1}, I_{c1} & A_{c2}, B_{c2}, I_{c2}
- 기준위치의 외력산정 : N_{v2}, M_{v2}

$$-N_{v2} = -\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)\begin{bmatrix}\{\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)\}\{A_{c1}\epsilon_{i1} - B_{c1}\kappa_{i1}\} \\ +\chi(t_2,t_1)\{\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)\}\{A_{c1}\epsilon_{v11} - B_{c1}\kappa_{v11}\} \\ +\phi_{c1}(t_3,t_2)\{A_{c1}\epsilon_{i2} - B_{c1}\kappa_{i2}\} + \epsilon_{sh1}(t_3 - t_2)A_{c1}\end{bmatrix} - \overline{E_{c2}}(t_3,t_2)[\epsilon_{sh2}(t_2 \sim t_3)A_{c2}]$$

$$-M_{v2} = -\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)\begin{bmatrix}\{\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)\}\{B_{c1}\epsilon_{i1} - I_{c1}\kappa_{i1}\} \\ +\chi(t_2,t_1)\{\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)\}\{B_{c1}\epsilon_{v11} - I_{c1}\kappa_{v11}\} \\ +\phi_{c1}(t_3,t_2)\{B_{c1}\epsilon_{i2} - I_{c1}\kappa_{i2}\} + \epsilon_{sh1}(t_3 - t_2)B_{c1}\end{bmatrix} - \overline{E_{c2}}(t_3,t_2)[\epsilon_{sh2}(t_2 \sim t_3)B_{c2}]$$

- $\overline{A}(t_3,t_2)$, $\overline{B}(t_3,t_2)$, $\overline{I}(t_3,t_2)$ 산정

- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{v2} = \frac{\overline{B}M_{v2} + \overline{I}N_{v2}}{\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)[\overline{A}\,\overline{I} - \overline{B^2}]} \qquad \kappa_{v2} = \frac{\overline{A}M_{v2} + \overline{B}N_{v2}}{\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)[\overline{A}\,\overline{I} - \overline{B^2}]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1v2} = -\overline{E_{c1}}(t_3,t_2)\left\{\begin{array}{l}[\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)][\epsilon_{i1} - y\kappa_{i1}] \\ +\chi(t_2,t_1)[\phi_{c1}(t_3,t_1) - \phi_{c1}(t_2,t_1)][\epsilon_{v11} - y\kappa_{v11}] \\ +\phi_{c1}(t_3,t_2)[\epsilon_{i2} - y\kappa_{i2}] + \epsilon_{sh1}(t_2 \sim t_3) - [\epsilon_{v2} - y\kappa_{v2}]\end{array}\right\}$$

$$f_{c2v2} = -\overline{E_{c2}}(t_3,t_2)\{\epsilon_{sh2}(t_2 \sim t_3) - [\epsilon_{v2} - y\kappa_{v2}]\}$$

$$f_{sv2} = E_s[\epsilon_{v2} - y\kappa_{v2}]$$

$$f_{pv2} = E_p[\epsilon_{v2} - y\kappa_{v2}]$$

$$\epsilon_{v12} = \frac{f_{c1v2}(0)}{E_{c1}(t_2)} \qquad \kappa_{v12} = \frac{f_{c1v2}(h_{cc}) - f_{c1v2}(0)}{E_{c1}(t_2)h_{cc}}$$

$$\epsilon_{v12} = \frac{f_{c2v2}(0)}{E_{c2}(t_2)} \qquad \kappa_{v12} = \frac{f_{c2v2}(y_{scu}) - f_{c2v2}(y_{scl})}{E_{c2}(t_2)h_{sl}}$$

(마) $t = t_3$: 순간 재하에 따른 응력 및 변형률 산정[합성후 고정하중]

- $A(t_3)$, $B(t_3)$, $I(t_3)$ 산정
- 기준위치의 외력산정 : N_{i3}, M_{i3}
- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{i3} = \frac{BM_{i3} + IN_{i3}}{E_{c1}(t_3)[AI - B^2]} \qquad \kappa_{i3} = \frac{AM_{i3} + BN_{i3}}{E_{c1}(t_3)[AI - B^2]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1i3} = E_{c1}(t_3)\{\epsilon_{i3} - y\kappa_{i3}\}$$

$$f_{c2i3} = E_{c2}(t_3)\{\epsilon_{i3} - y\kappa_{i3}\}$$

$$f_{si3} = E_s[\epsilon_{i3} - y\kappa_{i3}]$$

$$f_{pi3} = E_p[\epsilon_{i3} - y\kappa_{i3}]$$

(바) $t = t_3 \sim t_4$: 시간변화에 따른 응력 및 변형률 변화산정

- $\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)$, $\overline{E_{c2}}(t_4,t_3)$
- A_{c1}, B_{c1}, I_{c1} & A_{c2}, B_{c2}, I_{c2}

- 기준위치의 외력산정 : N_{v3}, M_{v3}

$$-N_{v3} = -\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)\begin{bmatrix}\{\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)\}\{A_{c1}\epsilon_{i1}-B_{c1}\kappa_{i1}\}\\ +\chi(t_2,t_1)\{\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)\}\{A_{c1}\epsilon_{v11}-B_{c1}\kappa_{v11}\}\\ +\{\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)\}\{A_{c1}\epsilon_{i2}-B_{c1}\kappa_{i2}\}\\ +\chi(t_3,t_2)\{\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)\}\{A_{c1}\epsilon_{v12}-B_{c1}\kappa_{v12}\}\\ +\phi_{c1}(t_4,t_3)\{A_{c1}\epsilon_{i3}-B_{c1}\kappa_{i3}\}+\epsilon_{sh1}(t_4-t_3)A_{c1}\end{bmatrix}$$

$$-\overline{E_{c2}}(t_4,t_3)\begin{bmatrix}\chi(t_3,t_2)\{\phi_{c2}(t_4,t_2)-\phi_{c2}(t_3,t_2)\}\{A_{c2}\epsilon_{v12}-B_{c2}\kappa_{v12}\}\\ +\phi_{c2}(t_4,t_3)\{A_{c2}\epsilon_{i3}-B_{c2}\kappa_{i3}\}+\epsilon_{sh2}(t_4-t_3)A_{c2}\end{bmatrix}$$

$$-M_{v3} = -\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)\begin{bmatrix}\{\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)\}\{B_{c1}\epsilon_{i1}-I_{c1}\kappa_{i1}\}\\ +\chi(t_2,t_1)\{\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)\}\{B_{c1}\epsilon_{v11}-I_{c1}\kappa_{v11}\}\\ +\{\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)\}\{B_{c1}\epsilon_{i2}-I_{c1}\kappa_{i2}\}\\ +\chi(t_3,t_2)\{\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)\}\{B_{c1}\epsilon_{v12}-I_{c1}\kappa_{v12}\}\\ +\phi_{c1}(t_4,t_3)\{B_{c1}\epsilon_{i3}-I_{c1}\kappa_{i3}\}+\epsilon_{sh1}(t_4-t_3)B_{c1}\end{bmatrix}$$

$$-\overline{E_{c2}}(t_4,t_3)\begin{bmatrix}\chi(t_3,t_2)\{\phi_{c2}(t_4,t_2)-\phi_{c2}(t_3,t_2)\}\{B_{c2}\epsilon_{v12}-I_{c2}\kappa_{v12}\}\\ +\phi_{c2}(t_4,t_3)\{B_{c2}\epsilon_{i3}-I_{c2}\kappa_{i3}\}+\epsilon_{sh2}(t_4-t_3)B_{c2}\end{bmatrix}$$

- $\overline{A}(t_4,t_3)$, $\overline{B}(t_4,t_3)$, $\overline{I}(t_4,t_3)$ 산정

- 기준위치에서의 변형률 산정

$$\epsilon_{v3} = \frac{\overline{B}M_{v3}+\overline{I}N_{v3}}{\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)[\overline{A}\,\overline{I}-\overline{B^2}]} \qquad \kappa_{v3} = \frac{\overline{A}M_{v3}+\overline{B}N_{v3}}{\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)[\overline{A}\,\overline{I}-\overline{B^2}]}$$

- 각단면의 응력산정

$$f_{c1v3} = -\overline{E_{c1}}(t_4,t_3)\left\{\begin{array}{l}[\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)][\epsilon_{i1}-y\kappa_{i1}]\\ +\chi(t_2,t_1)[\phi_{c1}(t_4,t_1)-\phi_{c1}(t_3,t_1)][\epsilon_{v11}-y\kappa_{v11}]\\ +[\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)][\epsilon_{i2}-y\kappa_{i2}]\\ +\chi(t_3,t_2)[\phi_{c1}(t_4,t_2)-\phi_{c1}(t_3,t_2)][\epsilon_{v12}-y\kappa_{v12}]\\ +\phi_{c1}(t_4,t_3)[\epsilon_{i3}-y\kappa_{i3}]+\epsilon_{sh1}(t_3\sim t_4)-[\epsilon_{v3}-y\kappa_{v3}]\end{array}\right\}$$

$$f_{c2v3} = -\overline{E_{c2}}(t_4,t_3)\left\{\begin{array}{l}\chi(t_3,t_2)[\phi_{c2}(t_4,t_2)-\phi_{c2}(t_3,t_2)][\epsilon_{v12}-y\kappa_{v12}]\\ +\phi_{c2}(t_4,t_3)[\epsilon_{i3}-y\kappa_{i3}]+\epsilon_{sh2}(t_3\sim t_4)-[\epsilon_{v3}-y\kappa_{v3}]\end{array}\right\}$$

$$f_{sv3} = E_s[\epsilon_{v3}-y\kappa_{v3}]$$

$$f_{pv3} = E_p[\epsilon_{v3}-y\kappa_{v3}]$$

나. 설계프로그램 개발

일체긴장 PSC거더교량 설계프로그램을 C#을 사용하여 개발하였으며, 해석 프로그램은 대들보로 명명하였다. TEXT형태의 에디터를 포함한 프리프로세서를 사용하며 프로그램 수행결과는 엑셀파일에 결과가 나타나도록 하였다. 프로그램 실행에 따른 몇 가지 스크린 샷을 다음 그림 3.27에 나타내었다.

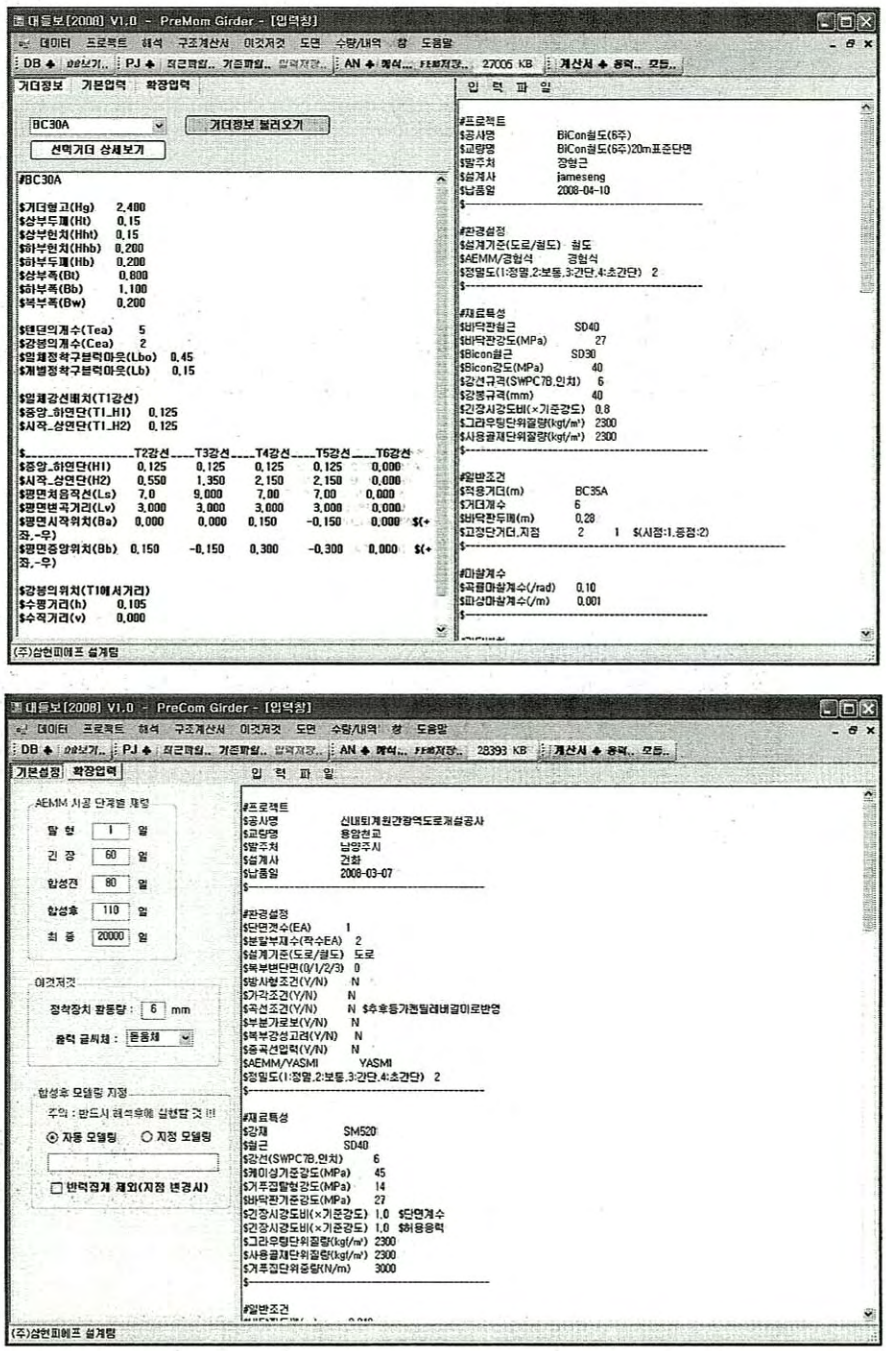
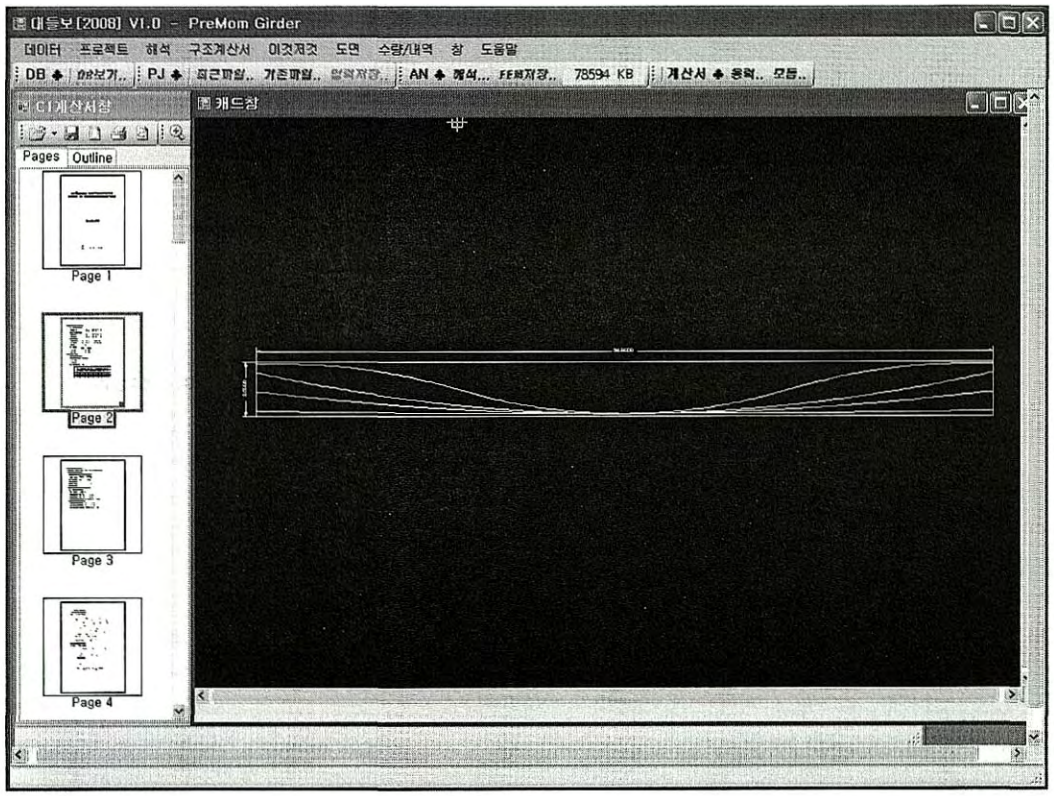


그림 3.27 설계자동화프로그램 스크린 샷(계속)



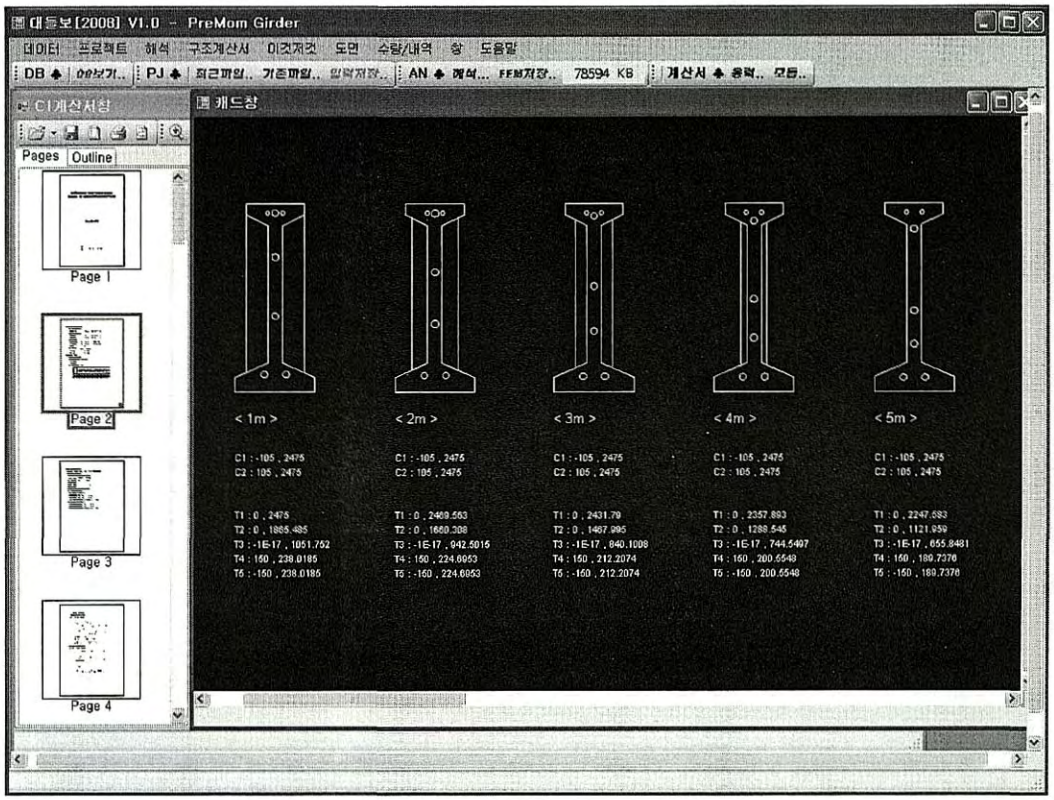
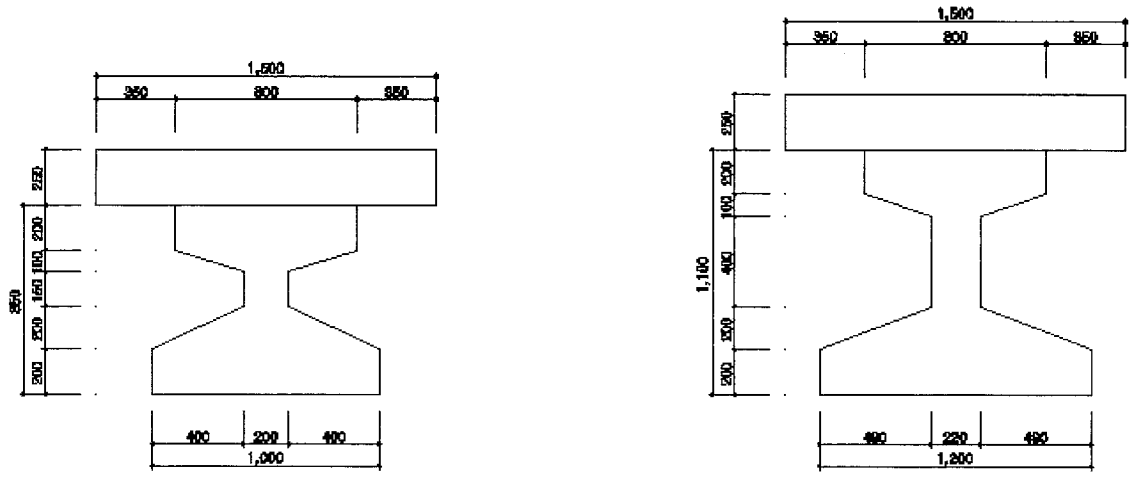


그림 3.27 설계자동화프로그램 스크린 샷

3. 일체긴장 PSC거더교 구조성능평가

가. 시험개요

일체긴장 PSC거더교의 실용화에 앞서 도로교 20m, 철도교 20m 각각 1EA의 실험체를 제작하여 철근상세 및 배근, 솔플레이트의 매립 등 설계의 일반적인 사항 및 단부블럭아웃부 강봉의 좌굴방지상세(블록아웃을 실제보다 긴 1.0m 적용), 일체긴장연결구와의 연결성, 콘크리트 타설시점과 강봉삽입시점 변화에 따른 검증(강봉의 선삽입, 후삽입), 내경 50mm의 강봉쉬즈의 그라우트, 단면형상에 따른 콘크리트의 충진성능 등의 제작성을 평가하고 정/동적 실험을 통해 일체긴장 PSC거더의 구조성능을 검증하였다. 시험체 단면은 그림 3.28과 같이 도로교의 경우 거더 높이 850mm, 철도교의 경우 1,100mm로 산정하였고 각각 DB-24와 LS-22 하중에 대하여 설계하였다. 바닥판 콘크리트의 제원은 시험기기의 크기를 고려하여 폭원 1.5m로 산정하였다.

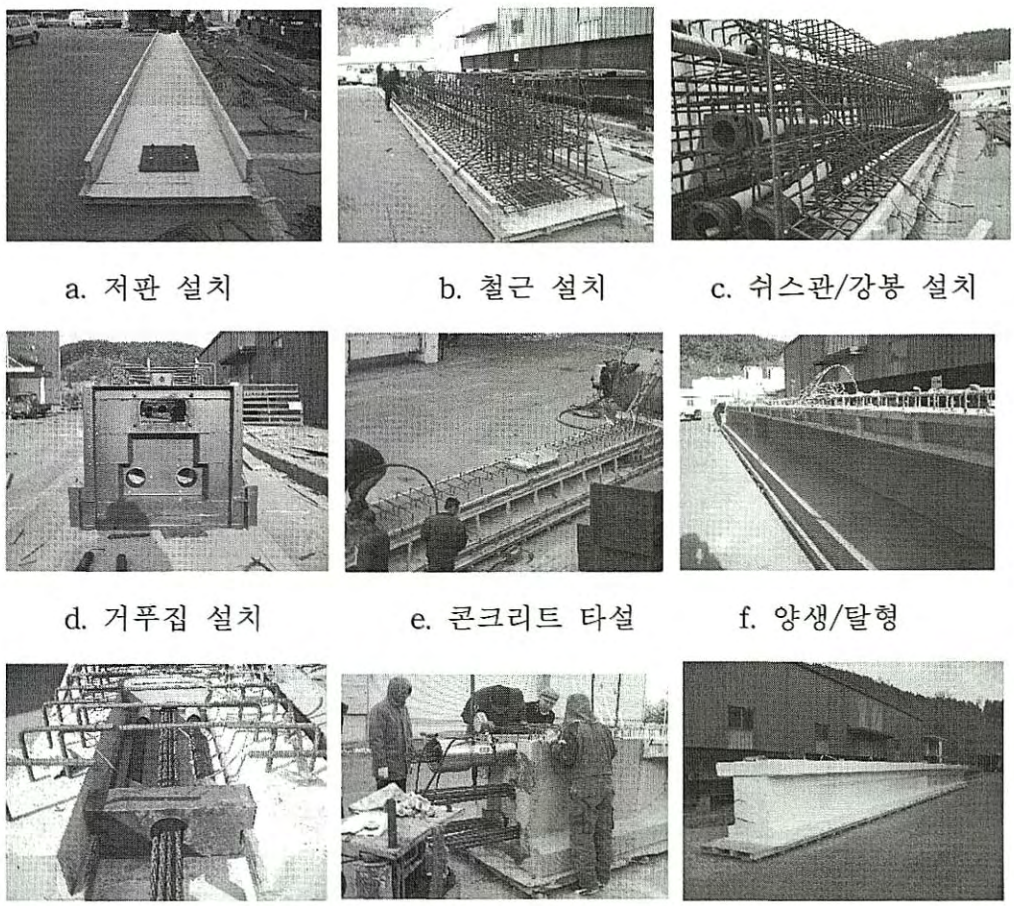


a. 도로교 b. 철도교

그림 3.28 일체긴장 PSC거더교 시험체 제원

나. 제작성능 평가

시험체 제작성 평가 결과 철근상세 등 설계일반사항이 적절하며, 복부에 배치되는 쉬스와 복부철근의 폭사이의 관계는 시공성에 따라 조절할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 단부 회전변형 방지를 위한 가이드라인의 성능에 따라 단부 강봉의 좌굴은 없었으며 일체긴장 연결구와의 연결성은 적절하였다. 강봉 삽입에 있어서는 강봉 연결부에서 강봉의 직진성을 확보하는 것이 어려울 것으로 판단되므로 일단 강봉을 선삽입하여 제작하였고 철근배근과 연계할 경우 더 간편한 시공이 가능한 것으로 판단되었다. 내경 50mm의 강봉쉬즈에서 그라우트는 원활히 수행되었으며, 시험체 폐기시 절단면에서도 그라우트재의 충진성을 확인하였다. 시험체 제작사진을 그림 3.29에 수록하였다.



a. 저판 설치 b. 철근 설치 c. 쉬스관/강봉 설치

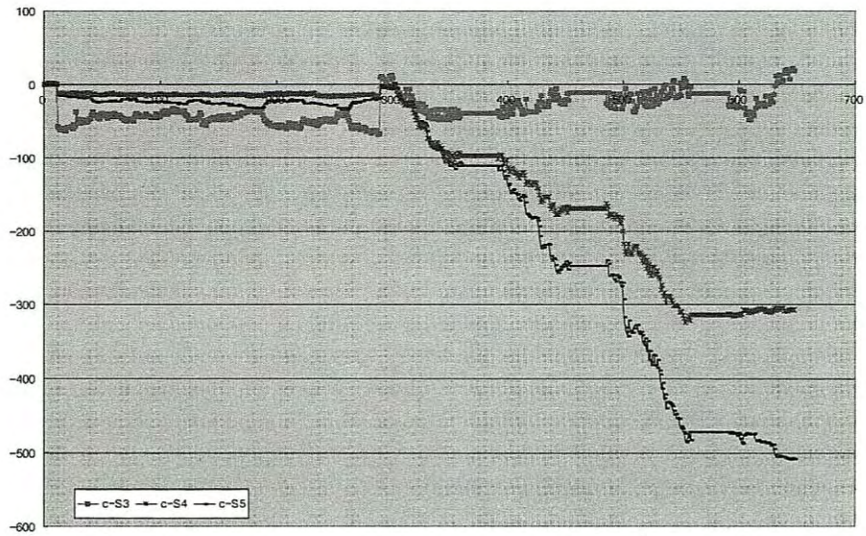
d. 거푸집 설치 e. 콘크리트 타설 f. 양생/탈형

g. 정착구 연결 h. 긴장/마감 i. 완성

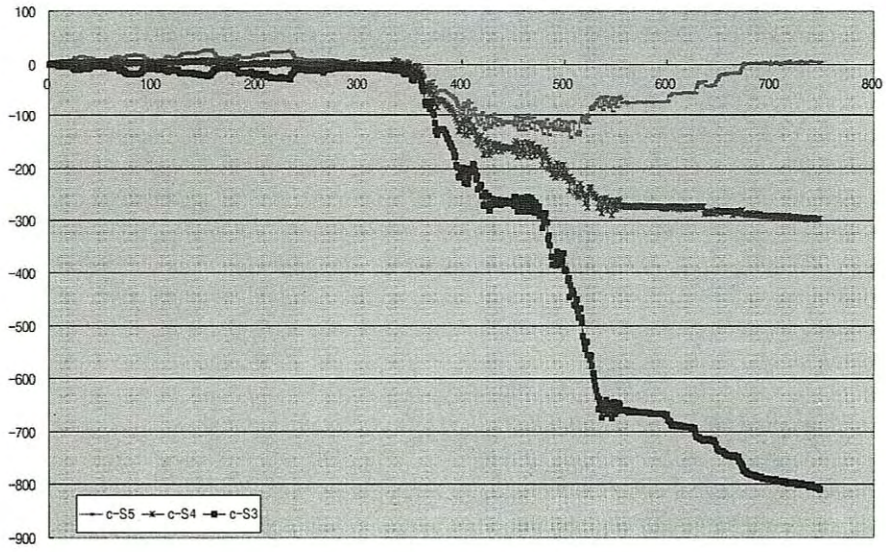
그림 3.29 제작공정별 사진

다. 구조성능 평가

긴장시에 거더 상/하연에 배치된 철근의 변형율을 측정하여 Bi-moment 도입 효과를 확인하였다. 그림 3.30과 같이 일반 정착구의 긴장시 자중의 영향에 의해 철근의 변형이 발생하지 않다가 자중 이상의 프리스트레스 도입시 상/하연 모두 압축변형이 발생하였으며 일체긴장시 상연과 하연의 폭이 증가함을 확인하였다. 일체긴장시의 값을 추출한 그래프를 그림 3.31에 나타내었다.



a. 도로교 시험체



b. 철도교 시험체

그림 3.30 긴장시 철근의 응력변화

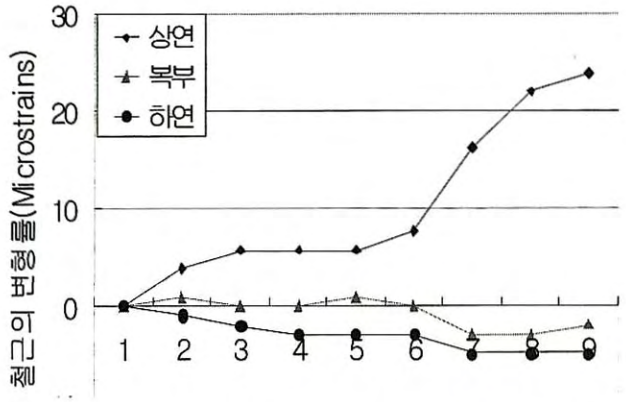


그림 3.31 일체긴장시 철근의 응력변화

정적하중 재하는 1000톤 UTM을 이용하여 지간 중앙부를 변위제어로 가력(그림 3.32)하였으며 하중-변위 곡선은 그림 3.33과 같다. 사용하중 이하에서는 탄성거동을 보이고 있으며 균열은 사용하중의 약 1.2배의 하중에서 발생하였다. 거더 하연의 인장균열이 증가됨에 따라 강성이 점차 감소되었으며 극한상태에서 가력부(압축부)의 바닥판 콘크리트 파괴와 함께 내하력이 감소하는 것을 확인하였다. 극한강도는 계산된 최대저항모멘트보다 15% 이상 증가되는 결과를 보여 충분한 안전율을 갖고 있는 교량거더로 평가되었다.

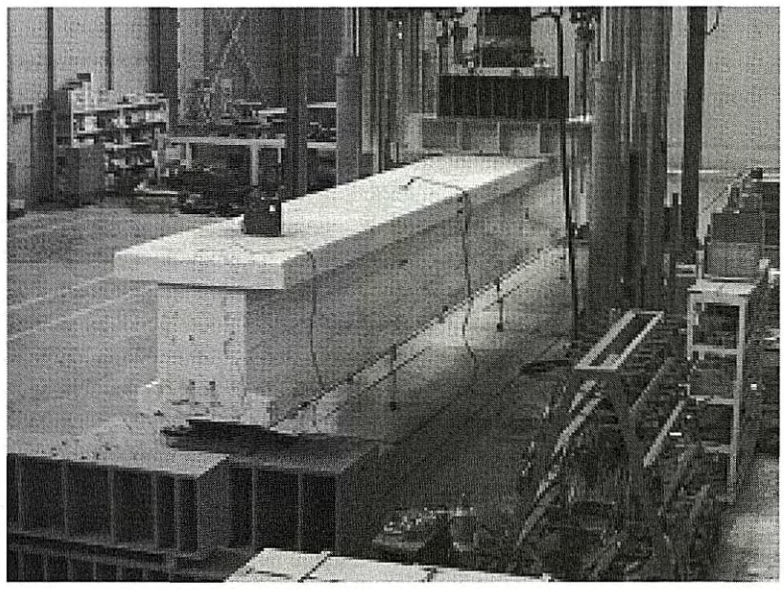


그림 3.32 정적재하시험 전경

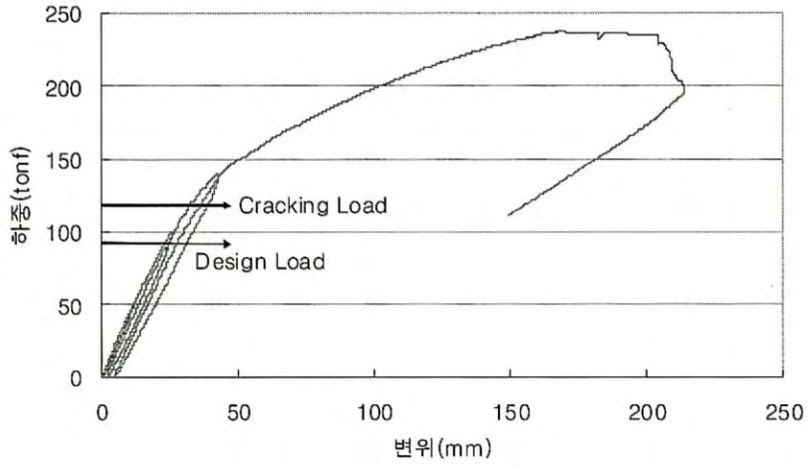


그림 3.33 하중-변위 곡선(철도교)

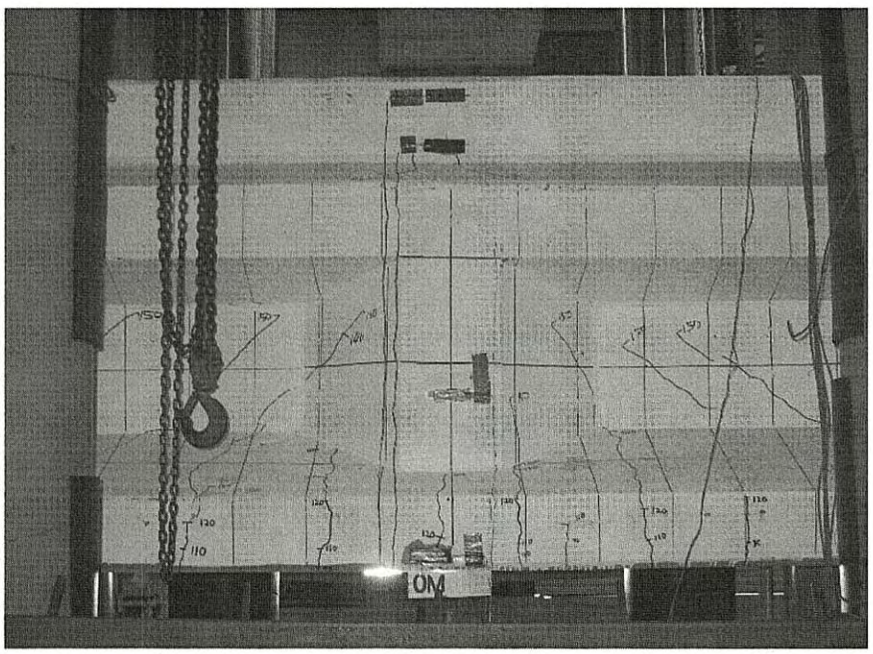


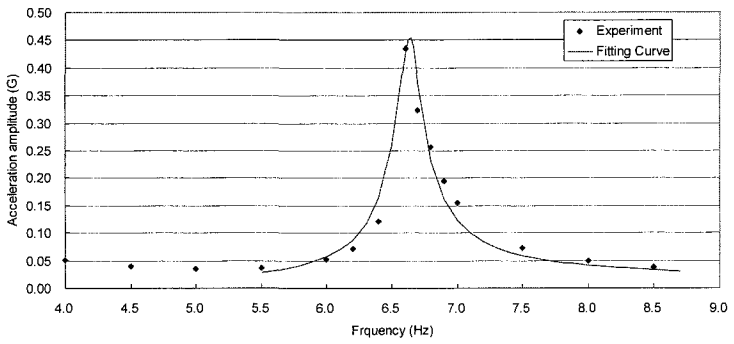
그림 3.34 균열 형상(철도교)

구 분(단위: kN)		도로교시험체	철도교시험체
해석치	설계하중	335	736
	예상균열하중	493	918
실험치	실험균열하중	500	900
	파괴하중	1600	2350

동적성능평가를 위해 가진기를 사용한 가진시험을 수행하였다. 가진기를 사용한 FVT는 일정한 진동수로 가진기를 작동시키며 얻어지는 응답의 진폭을 측정하여 공진 주파수와 FRF를 측정하는 실험이다. 이 시험체의 경우에는 구조해석 결과로부터 구조물의 1차 고유진동수가 약 7Hz 근처에 존재함이 확인되었으므로, 가진 주파수를 4Hz에서 6Hz까지 0.5Hz 간격으로, 6Hz에서 7Hz까지 0.1Hz 간격으로 변화시켜가며 응답을 측정하였으며, 약 6.7Hz의 가진주파수에서 최대 응답이 관찰되었다. 이것은 구조해석으로부터 고유진동수 7Hz 보다 약 0.3Hz 낮은 값으로, 가진기의 부가질량의 영향이 반영된 것이다. 그림 3.35 에는 철도교에 대한 각 가진진동수에 따른 가속도 응답의 진폭과, 1자유도계의 FRF 이론식을 사용하여 curve fitting 한 결과를 함께 나타내었다. Curve fitting에 의해 동적 특성치를 추출하였는데, 실험으로부터 구한 RMS amplitude를 동일한 가진력의 응답으로 환산하기 위해 가진주파수의 제곱으로 나누어 1자유도계의 sine 가진에 대한 가속도 응답 fitting function에 대입하고 peak 주변의 측정점을 사용하여 최소자승법으로부터 고유진동수와 감쇠율을 산정하였다. fitting 결과 고유진동수는 6.632Hz, 감쇠율은 1.43%로 나타났다.

$$\frac{A(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{\left\{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2+\left\{2\xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right\}^2}}$$

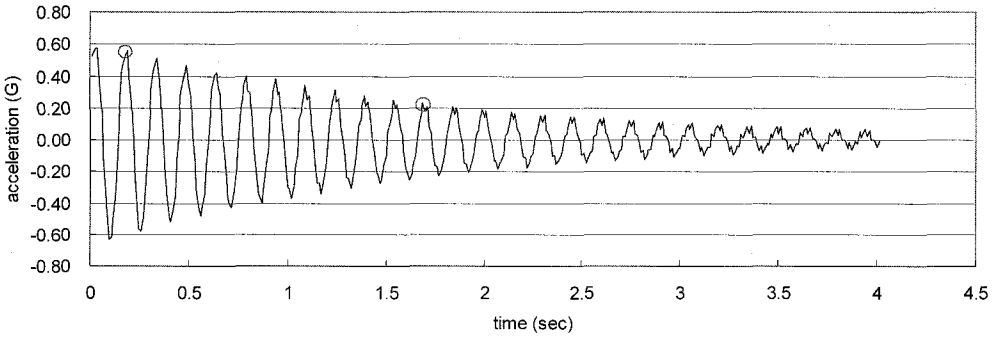
미지수: 고유진동수 (ω_n), 감쇠율(ξ), 비례상수 (A)



도로교시험체	철도교시험체
5.2Hz	6.6Hz(설계기준: 4.0~10.0)

그림 3.35 가진기 실험을 통한 주파수 응답 곡선

가진 종료 후 측정된 감쇠곡선을 사용하여 감쇠비를 추출한 결과는 그림 3.36에 나타내었다. 대수감소법을 사용하여 도출된 감쇠율은 fitting 결과와 유사한 1.4%를 나타내고 있었다. 이는 기존 콘크리트 교량의 동적해석에서 사용되는 2% 이상의 값보다는 다소 작은 값임을 알 수 있다.



$$\delta = \frac{1}{n}\ln\left(\frac{u_i}{u_{i+n}}\right) = \frac{1}{10}\ln\left(\frac{0.5575}{0.2273}\right) = 0.0897 \cong 2\pi\xi$$

$$\therefore \xi = 0.0897/2\pi = 0.014 = 1.4\%$$

그림 3.36 감쇠곡선

제 4 절 일체긴장 PSC 소수주거더교 실용화

1. 일체긴장 PSC 소수주거더교(철도교) 적용성 분석 및 평가

자중절감과 형하공간 확보를 위해 장지간/저형고화를 목표로 본 연구에서 개발되고 있는 일체긴장 PSC 소수주거더교는 필연적으로 일정간격 반복되는 열차하중에 대한 동적거동 검토가 필수적이다. 본 절에서는 철도교량에서 가장 지배적인 요소인 주행열차하중에 대한 동적특성 및 거동을 분석하여 철도교 적용성을 평가하였다. 그러나 소수주거더의 경우 거더 간격이 커지는 사정에도 불구하고 실제 시험체의 제작에 있어서는 시험설비의 수용규모를 감안하여 거더 사이의 간격은 실제 적용과는 달리 제한적으로 적용할 수밖에 없었다.

가. 국내외 성능검증 기준

철도교의 동적성능과 관계되는 시방기준의 경우, 국내의 관련 기준으로는 철도설계기준(2004), 고속철도와 관련된 BRDM(Bridge Design Manual)이 있으며, 2007년 호남고속철도 설계지침에 관련 분야가 제정한 바 있다.

국외의 관련 기준으로는 UIC Code 및 Eurocode, 프랑스 기준인 CTRL Technical Standard, 스페인의 IAPF 등이 있다. 또한, ERRI(European Rail Research Institute) 보고서에 관련 기준 및 설정 근거 등이 제시되어 있다. 또한, 일본의 철도구조물 등 설계표준/동해설의 콘크리트교편 및 2006년도 발간된 변위제한을 참조하였다.

나. 주행열차하중 동적해석 검토절차 및 방법

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

(1) 고속철도 교량의 주행열차하중에 대한 해석은 시간이력해석 혹은 모드중첩법에

의한 동적해석을 적용한다. 시간간격은 충분히 작아야 하며, 모드중첩법을 사용할 경우 첫번째 휨모드와 비틂모드 등이 반드시 포함되어야 하며 국부모드를 제외한 전체모드가 최소 5번째 모드까지 고려한다. Newmark-β 방법과 같은 직접적분법을 사용할 경우 '조건부 안정' 조건을 만족하기 위한 시간간격 $\Delta t \leq T_n/\pi$ (T_n은 구조물의 가장 작은 주기) 등의 조건을 지켜야 하며 유한요소 모델 절점 간에 충분히 작용하도록 작아야 한다.

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

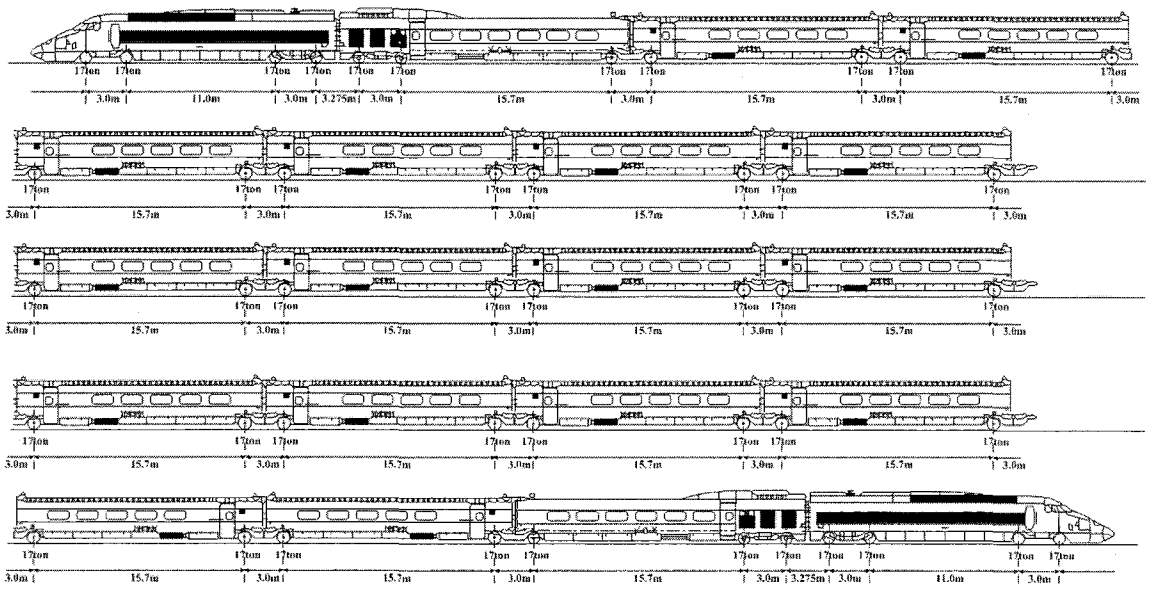


그림 3.37 KTX 하중선도

(2) 동적해석은 최고운행가능속도의 1.2배까지 20km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고 이 속도를 해석범위에 반드시 포함하여야 한다. 임계속도 산정은 다음과 같다.

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

여기서, ω_1은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff}는 열차의 지배적 타격간

격으로 객차간 중심 사이의 거리이며 KTX와 G7의 경우 18.7m 이다.

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

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

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

(6) 교량의 모델링은 정적설계 시 사용한 격자모델 이상의 모델을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 박스거더 교량 등에 대하여 공간뼈대요소로 단순화할 경우 실제 하중 위치를 적용할 수 있도록 편심이 반드시 고려되어야 한다. 교량의 모델링에 사용되는 재료 및 단면특성치는 정적설계에서 적용한 값을 사용한다. 강성의 저평가는 임계속도를 낮추는 효과가 있는 반면 고평가는 임계속도를 높여 설계속도를 벗어나게 할 수도 있다. 설계강성의 75%를 고려해 동적성능평가를 하는 경우도 있으나, 본 규정에서는 정적설계시 반영한 단면 및 재료특성값을 그대로 사용하도록 한다. ERRI D214의 연구결과에도 실제 구조물의 강성은 궤도구조의 강성기여 등에 의해 14-23% 증가한다는 연구결과가 있으며 많은 실험적 연구에 의해 입증된 바 있다. 또한 동적탄성계수(Dynamic Young's Modulus) 역시 정적탄성계수보다 높은 것이 일반적이므로 정적설계에서 사용된 단면 및 재료특성값은 동적해석 시 충분히 안전측으로 볼 수 있기 때문이다. 또한 균열발생에 의한 강성저하를 우려할 수 있으나, 이 때는 반대로 감쇠비가 상승하는 효과가 있다. 이와 같은 면을 종합하여 정적 설계의 단면 및 재료 특성값을 사용하도록 한다.

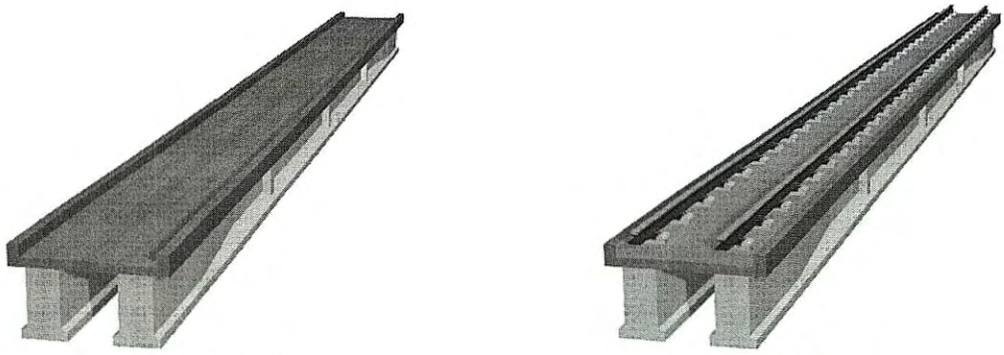
(7) 동적해석 시 자중 및 궤도구조의 질량 등 2차사하중을 포함한 모든 부재의 질량이 고려되어야 한다. 강성과 반대로 질량의 저평가는 임계속도를 상승시킬 수 있다. 따라서, 임계속도가 충분히 고려될 수 있도록 질량이 모두 고려된 안전측을 사용한다. 그러나, 질량이 증가할수록 가속도 응답은 저감되는 면이 있으므로 가속도 응답이 제한치에 근접할 경우 질량효과를 낮춘 모델을 고려하

여 재평가 하도록 한다.

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

다. 동특성 추출 Modal Tests

다음 그림 3.38과 같은 경간장 30m, 폭 3.1m, 높이 2.48m의 2거더 시험체를 제작하였으며, 시험체의 제작 단계에 따라 궤도부설 전과 후의 두 시점에 대한 동적 특성치 측정 시험을 수행하였다. 기존에 모달테스트 등에서 흔히 활용되는 충격햄머(impulse hammer) 외에 가진기(vibration exciter) 및 동적 액츄에이터(dynamic actuator)를 이용하여 더욱 정확한 분석을 하고자 하였다. 표 3.4는 모달테스트에 사용된 충격햄머와 가진기의 제원을 나타낸다.



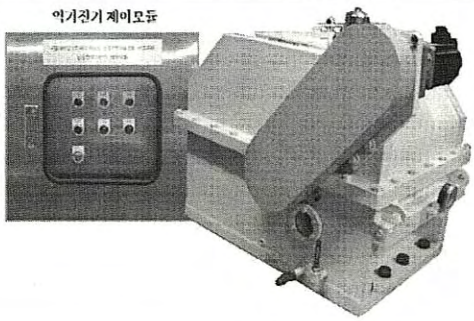
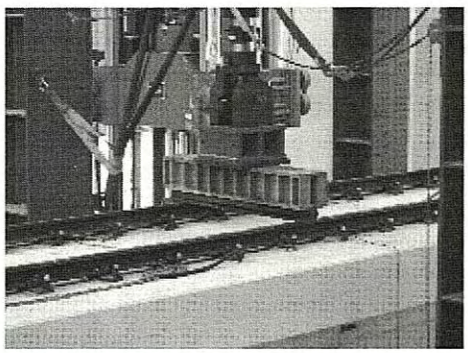
a. 궤도 부설 전　　b. 궤도 부설 후

그림 3.38 일체긴장 PSC 소수주거더 철도교 시험체

설계나 해석에서 사용되는 교량의 강성 및 질량은 실제 구조물과 차이가 있을 수 있으며, 감쇠비의 경우는 전적으로 가정에 의존한다. 예를 들면, 궤도는 설계시 부가하중으로만 고려하고 궤도부설에 의한 강성증가의 효과는 고려하지 않지만, 실제 구조물의 거동은 부가질량의 효과 및 휨강성의 추가 효과가 동시에 나타나기 때문에, 고유진동수의 변화를 이론적으로 예측하기 어렵다. 따라서 실험을 통한 진동특

성치의 측정을 수행하였으며, 이러한 실물 거더에 대한 모달테스트 결과는 교량-열차 상호작용해석에 신뢰성 높은 입력자료로 활용하고자 하였다.

표 3.4 충격햄머, 가진기 및 동적액츄에이터의 제원

	Impact Hammer - Hammer Sensitivity (0.23 mV/N) - Frequency Range 0~250Hz - Hammer Mass : 5.5 kg
	Vibration Exciter - Frequency Range 0~10Hz - 가진력 : 최대 8ton - Unbalanced Mass : 100 kg*2
	Dynamic Actuator - 가진력: 2000 kN - 최대가력속도: 161mm/sec - Stroke: 1,000mm

(1) 모달테스트 개요

본 연구에서는 철도교량용 Bicon 거더(PS강봉 및 강선의 일체긴장시스템을 사용한 교량용 거더의 상업적 명칭)의 동특성을 파악하기 위하여 다음의 표 3.5와 같은 동적가진 실험을 수행하였다. Test I부터 Test VI까지의 총 6가지 시험을 수행하였으며, 시공단계는 전술한 바와 같이 궤도부설 전/후의 2단계로, 가진방법은 impact

hammer/vibration exciter/dynamic actuator의 세 가지로 구성되어 있다.

가진기(vibration exciter)를 사용하여 가진하는 경우에는 해석에 의해 구한 예상 고유진동수의 근처에서 0.1Hz 간격으로 가진하고, 이로부터 구해진 응답의 커브피팅을 통한 고유진동수 추출을 수행하였다. 동적 actuator를 사용한 경우에는 고유진동수 근처에서 구조물의 변위와 가진력이 수렴하지 않는 제어문제가 발생하여 고유진동수 및 모드형상의 추출은 수행하지 않고, 감쇠비의 분석에만 활용하였다.

구조물의 감쇠비를 추출하기 위해 1/2 power bandwidth method와 logarithmic decrement method를 사용하였으며, 각 경우의 결과를 서로 비교하였다.

표 3.5 전체 동적실험의 개요

Test Case	가진방법	시공단계	시험내용
Test I	impact hammer	궤도부설 전	고유진동수 추출
Test II		궤도부설 후	
Test III	vibration exciter	궤도부설 전	고유진동수/감쇠비 추출
Test IV		궤도부설 후	
Test V	dynamic actuator	궤도부설 전	감쇠비 추출, 열차주행 모사
Test VI		궤도부설 후	

(2) 동특성 추정

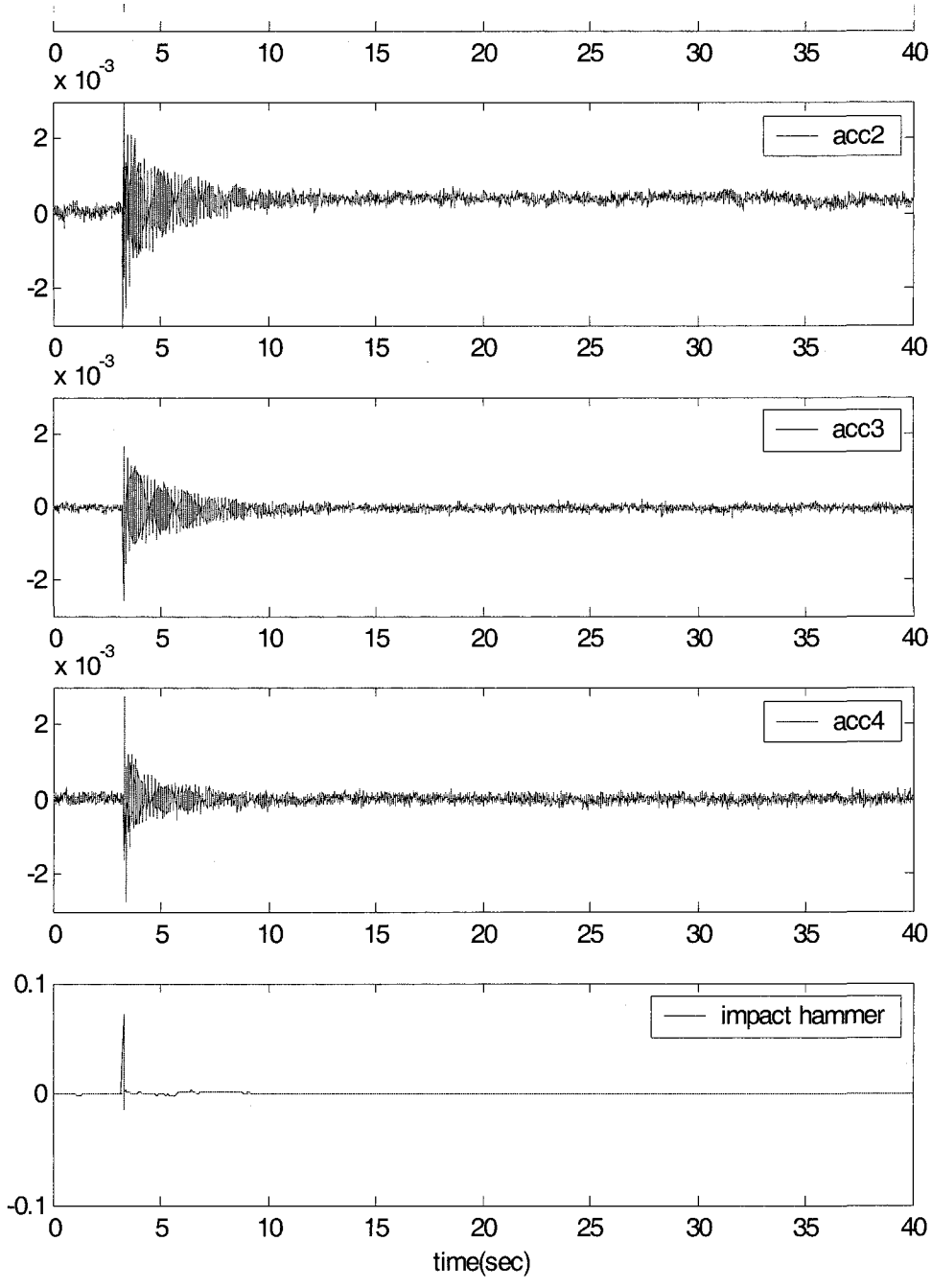
(가) Impact hammer test (TEST I, TEST II)

Impact hammer test에서는 궤도부설 전/후의 시험체에 대한 충격가진시험을 수행하였으며, 표3.1에 보인 impact hammer가 사용되었다. 각 시험경우에 대하여 10회씩의 충격가진을 수행하고, 각각의 충격가진에 대하여 약 30초간의 가속도 시간이력을 100Hz sampling rate으로 수집한 뒤, 각각의 신호로부터 얻어진 power spectrum의 ensemble average를 취하여 최종 frequency 응답을 구하였다. 다음 그림 3.39에 TEST I 및 TEST II 로부터 수집된 가속도 시간이력을 나타내었으며, 그림 3.40에 최종 주파수 응답을 나타내었다.

그림 3.39에 나타난 바와 같이 궤도부설 후 측정시 가속도계 1번이 정상적으로 작동하지 않았으며, 가진망치 역시 신호가 측정되지 않았다. 일관성을 위하여 TEST I 및 TEST II의 경우 모두 1번 가속도계를 제외하고 분석하였다.

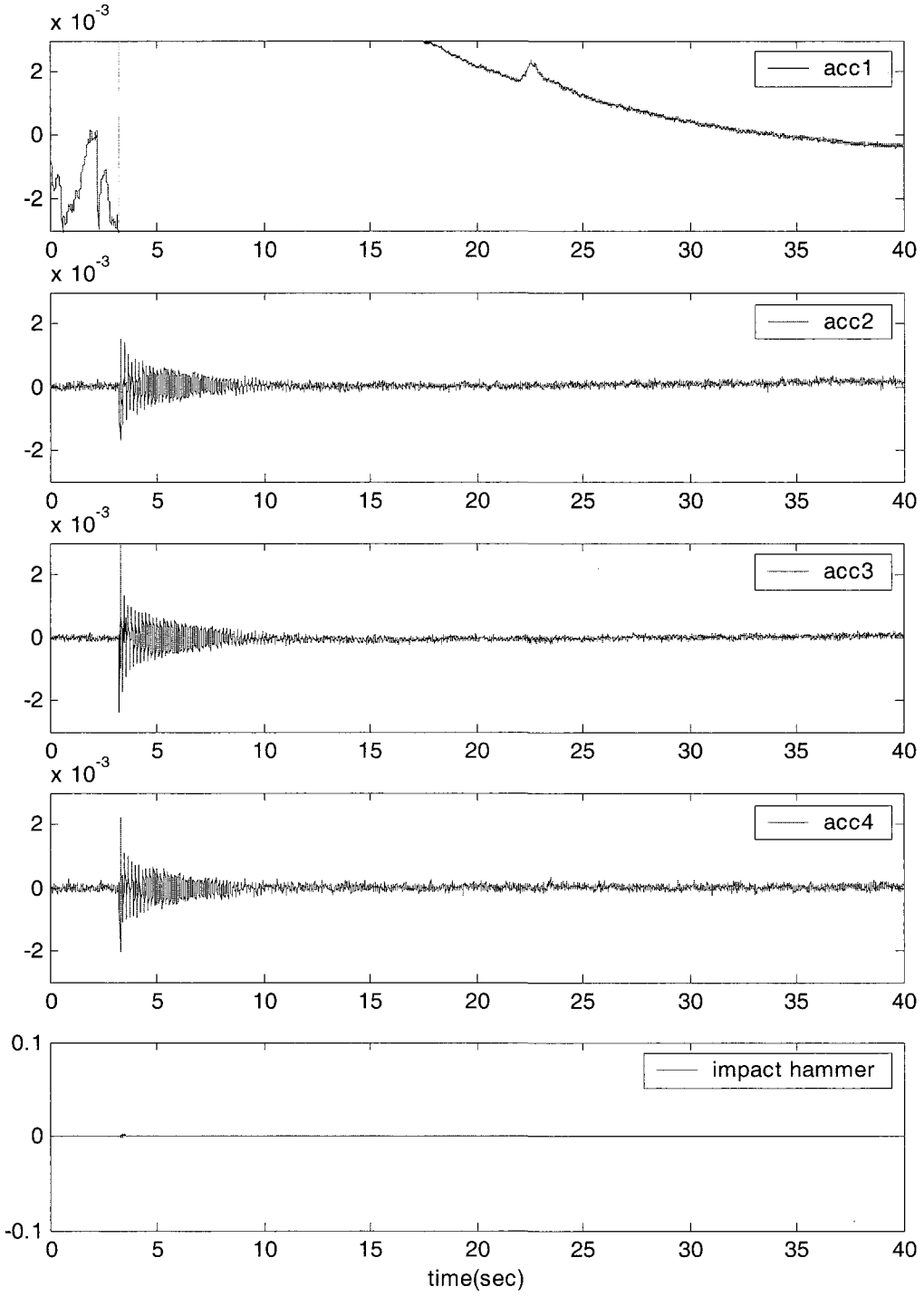
그림 3.40에는 궤도부설 전/후의 주파수응답을 함께 나타내었다. 그림에서 보인바

와 같이 궤도 부설에 의해 시험체의 고유진동수가 낮아진 것을 확인할 수 있다. 궤도부설 전에 6.38Hz 이던 고유진동수가 궤도부설 후 5.88Hz로 약 0.5Hz (약 7.8%) 낮아졌다.



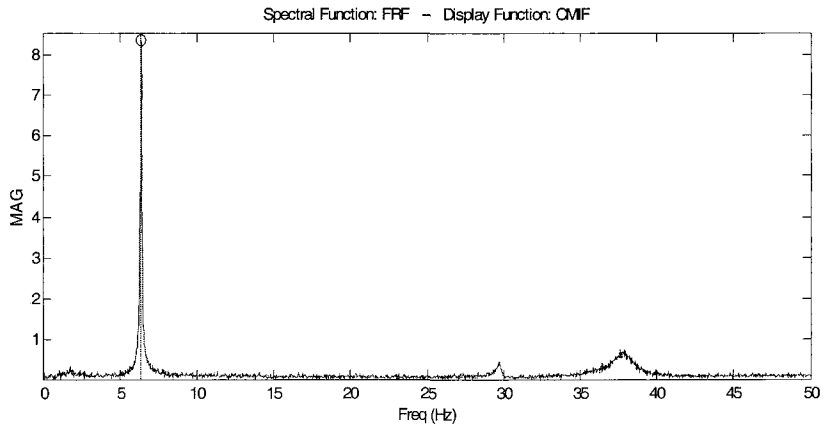
a. TEST I (궤도부설 전) (3rd impact)

그림 3.39 impact hammer test 가속도 시간이력 (계속)

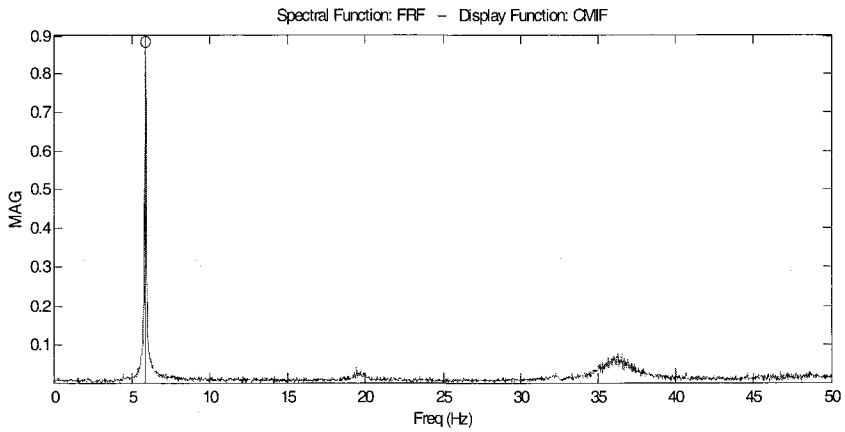


b. TEST II (궤도부설 후) (3rd impact)

그림 3.39 impact hammer test 가속도 시간이력



a. TEST I (궤도부설 전, 6.38Hz)



b. TEST II (궤도부설 후, 5.88Hz)

그림 3.40 impact hammer test에 의한 주파수 응답

(나) 가진기 시험 (TEST III, TEST IV)

1) 고유진동수 추출

TEST II의 가진기 실험에서는 시험체에 부착된 4개의 가속도계로부터 얻어진 가속도응답의 amplitude와 1자유도 FRF의 이론식을 사용한 커브피팅을 통하여 고유진동수를 추출하였다.

$$FRF(\omega) = \frac{A}{\sqrt{\left\{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2 + \left\{2\xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right\}^2}}$$

그림 3.41에 가진기 시험에서 측정한 가속도 시간이력을, 그림 3.42에 궤도부설 전/후 각 가속도계의 신호를 사용하여 수행한 커브피팅의 결과를 나타내었으며, 표 3.6에는 전체 4개 가속도계에 대한 결과 및 평균값을 나타내었다.

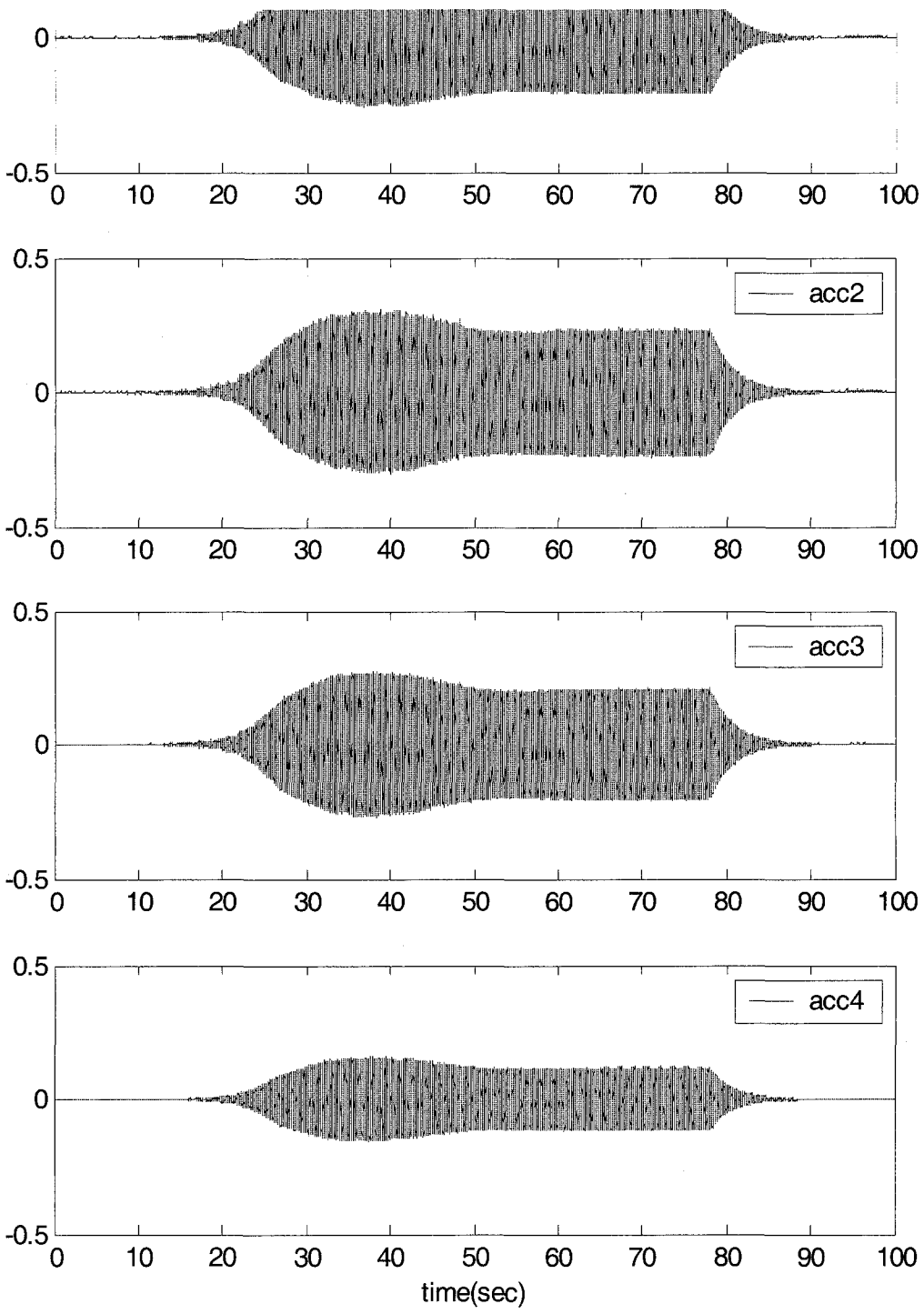
그림과 표에 나타낸 바와 같이 가진기 실험으로부터 얻어진 결과에서는 궤도부설에 의해 고유진동수가 5.576Hz에서 5.758Hz로 0.182Hz (약 3.3%) 증가하였다. 즉, 궤도구조의 강성기여로 인해 오히려 고유진동수가 증가한 것이다.

이와 같은 결과는 동적해석 시 궤도를 질량으로만 고려할 경우 임계속도 산정 및 전체적인 동적응답에서 큰 오류가 있을 수 있음을 나타낸다. 즉 궤도구조의 강성기여에 대해 적합한 고려가 필요함을 알 수 있다.

가진망치를 사용한 경우에 궤도부설에 의해 고유진동수가 감소하는 결과가 나타났는데, 이는 가진망치 실험의 경우 발생되는 동적변위가 미소하여 추가된 궤도구조의 강성발현이 충분치 못한 것으로 추정되며, 따라서 궤도부설로 인한 강성증가 효과가 나타나기 위해 충분한 동적변위가 필요한 것으로 생각된다.

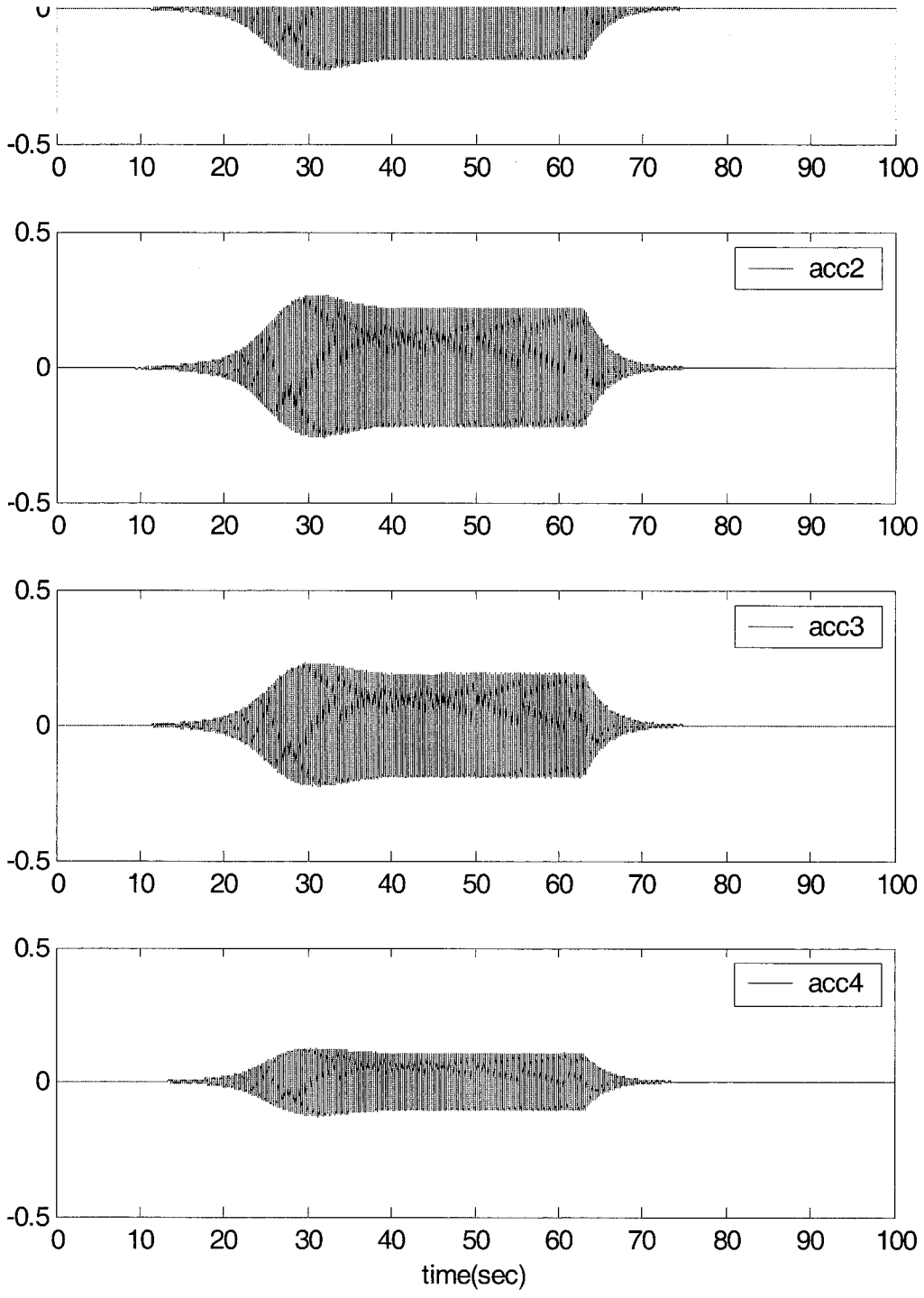
표 3.6 가진기 실험에 의한 고유진동수 추출 결과

시험 케이스	acc1	acc2	acc3	acc4	평균
TEST III (궤도부설 전)	5.572	5.575	5.578	5.580	5.576
TEST IV (궤도부설 후)	5.758	5.757	5.758	5.758	5.758



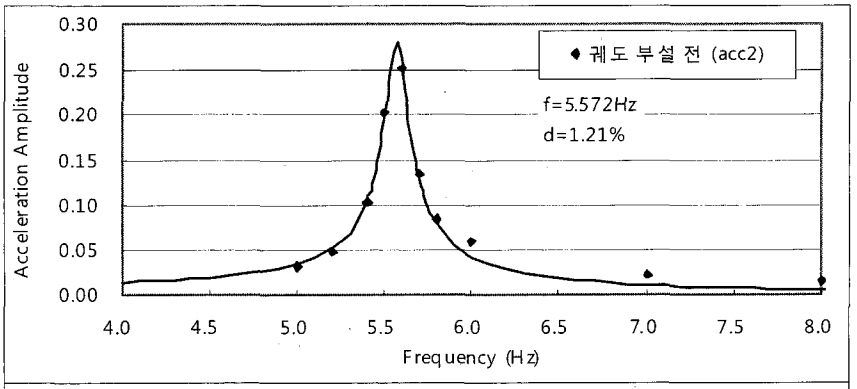
a. TEST III (궤도부설 전, 5.6Hz 가진시)

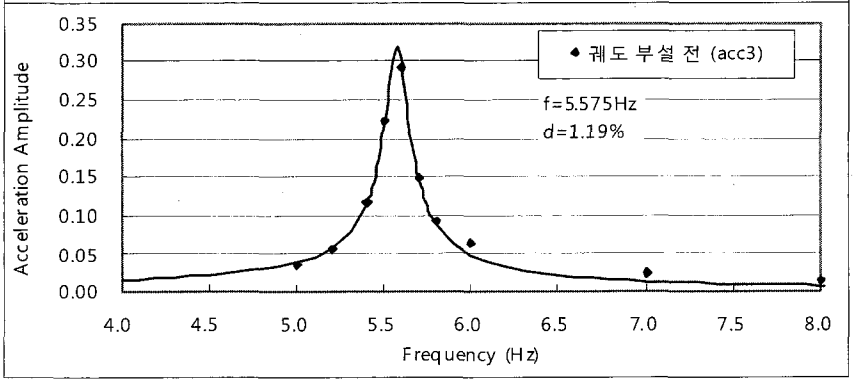
그림 3.41 vibration exciter test에 의한 가속도 시간이력 (계속)

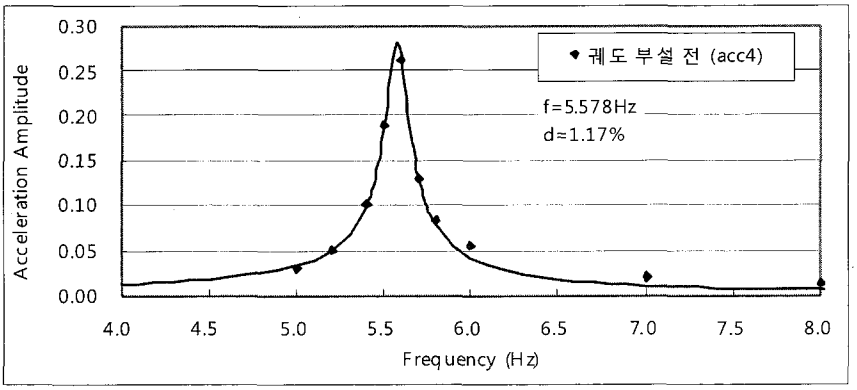


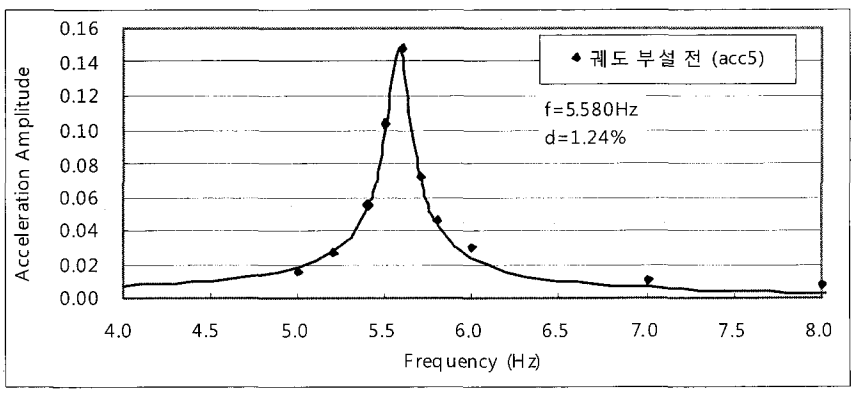
b. TEST IV (궤도부설 후, 5.8Hz 가진시)

그림 3.41 vibration exciter test에 의한 가속도 시간이력



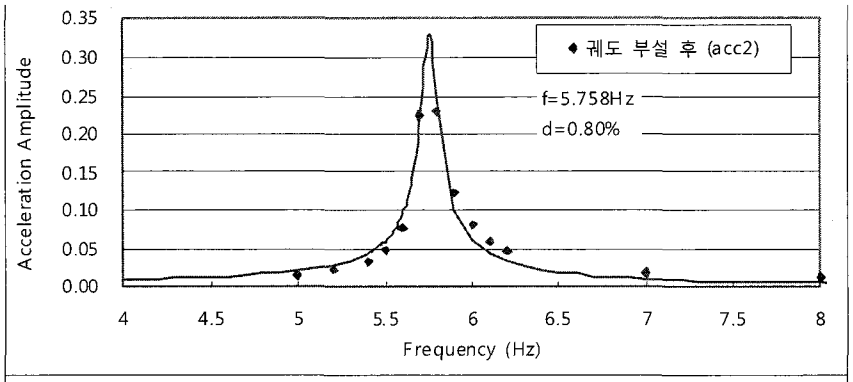


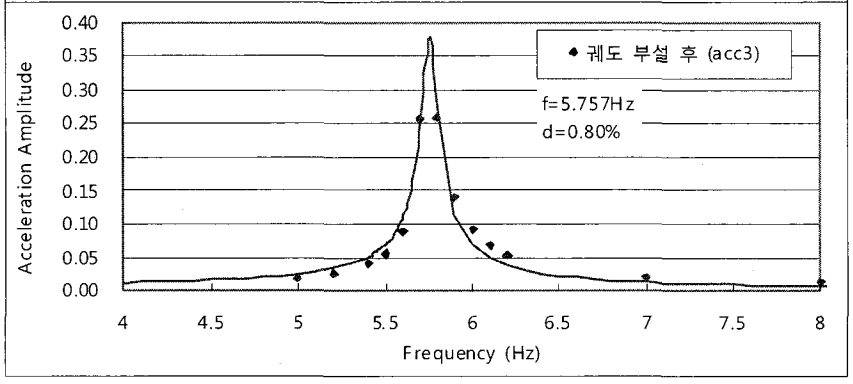


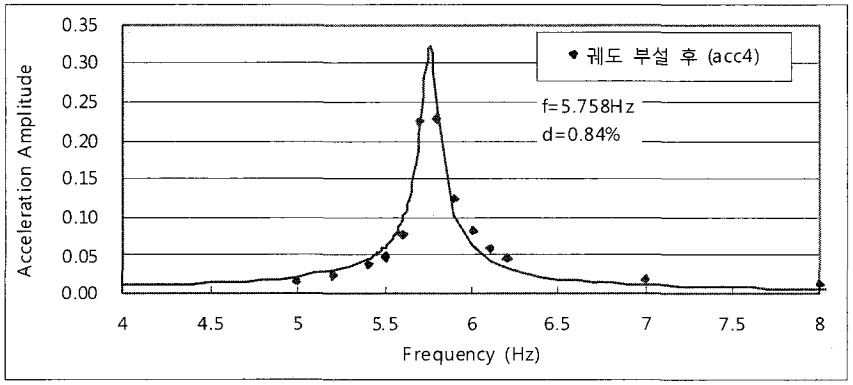


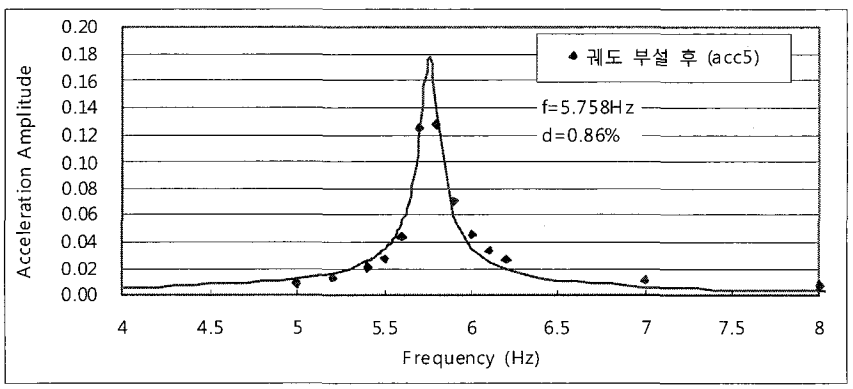
a. TEST III (궤도부설 전)

그림 3.42 vibration exciter test에 의한 고유진동수 추출 (계속)









b. TEST IV (궤도부설 후)

그림 3.42 vibration exciter test에 의한 고유진동수 추출

2) 감쇠비 추출

가진기 실험 데이터로부터 감쇠비를 추출하기 위해 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째는 고유진동수의 추출 시 사용한 방법과 동일한 것으로, 1자유도계 FRF의 이론식을 사용한 커브피팅 결과로부터 감쇠비를 추출하는 것이며, 이 방법은 1/2 power bandwidth method (반동력법)와 동일한 결과를 나타낸다. 두 번째 방법은 가속도 시간이력의 감쇠 곡선으로부터 감쇠비를 구하는 logarithmic decrement method 이다.

$$\xi = \frac{\delta_m}{2\pi m(\omega/\omega_D)} \cong \frac{\ln(v_n/v_{n+m})}{2\pi m}$$

표 3.7에 1/2 power bandwidth method를 사용하여 구한 감쇠비를 나타내었으며, 표 3.8과 그림 3.43에는 logarithmic decrement method를 사용하여 감쇠비를 분석한 결과를 나타내었다.

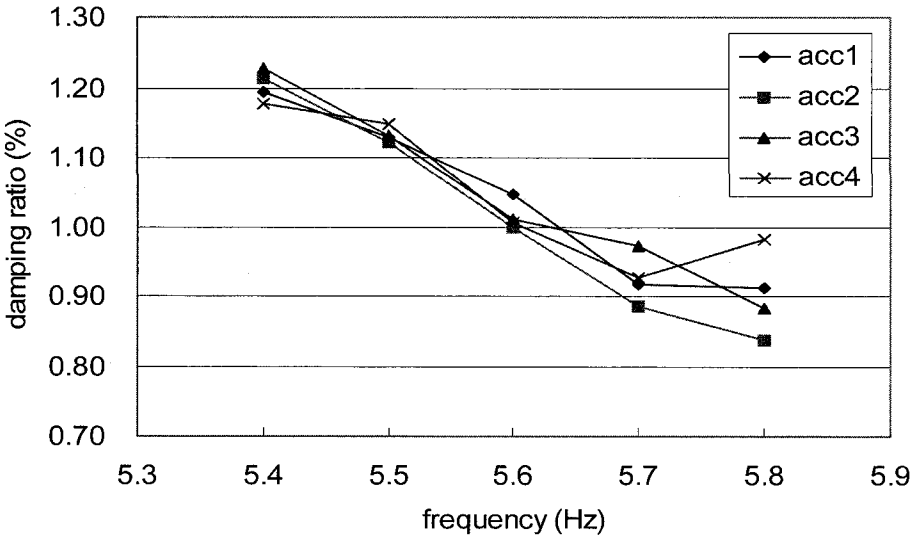
표 3.7 가진기 실험에 의한 감쇠비 추출 결과 (1/2 power bandwidth method)

시험 케이스	acc1	acc2	acc3	acc4	평균
TEST Ⅲ (궤도부설 전)	1.21	1.19	1.17	1.24	1.20
TEST Ⅳ (궤도부설 후)	0.80	0.80	0.84	0.86	0.83

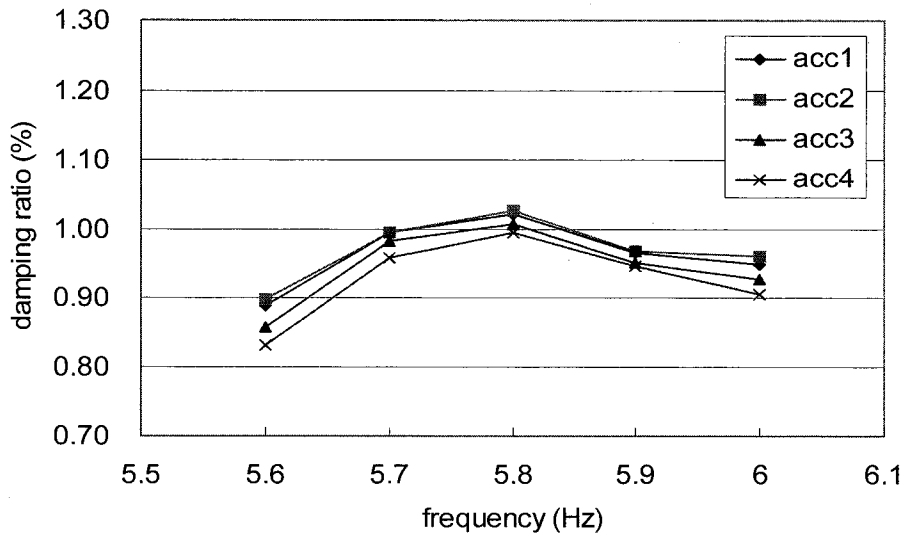
표 3.8 가진기 실험에 의한 감쇠비 추출 결과 (logarithmic decrement method)

시험 케이스	가진 주파수	acc1	acc2	acc3	acc4	평균	
TEST Ⅲ (궤도부설 전)	5.4 Hz	1.19	1.21	1.23	1.18	1.20	1.04
	5.5 Hz	1.13	1.12	1.13	1.15	1.13	
	5.6 Hz	1.05	1.00	1.01	1.01	**1.02**	
	5.7 Hz	0.92	0.89	0.97	0.93	0.93	
	5.8 Hz	0.91	0.84	0.88	0.98	0.90	
TEST Ⅳ (궤도부설 후)	5.6 Hz	0.89	0.90	0.86	0.83	0.87	0.95
	5.7 Hz	0.99	0.99	0.98	0.96	0.98	
	5.8 Hz	1.02	1.02	1.01	0.99	**1.01**	
	5.9 Hz	0.96	0.97	0.95	0.95	0.96	
	6.0 Hz	0.95	0.96	0.93	0.90	0.93	

측정위치에 따른 감쇠비의 차이는 미소하나, 가진 주파수에 따라 감쇠비의 변화가 상대적으로 크게 나타나고 있다. 궤도부설에 따른 감쇠비의 변화는 공진 근처의 0.4Hz 구간에 대한 평균값으로 비교하여 볼 때, 궤도부설에 의해 감쇠비가 감소하는 것으로 보이나, 공진시의 감쇠비만을 비교하면 큰 차이가 없는 것으로 나타난다.



a. TEST III (궤도부설 전)



b. TEST IV (궤도부설 후)

그림 3.43 가진기 실험에 의한 감쇠비 추출 결과 (logarithmic decrement method)

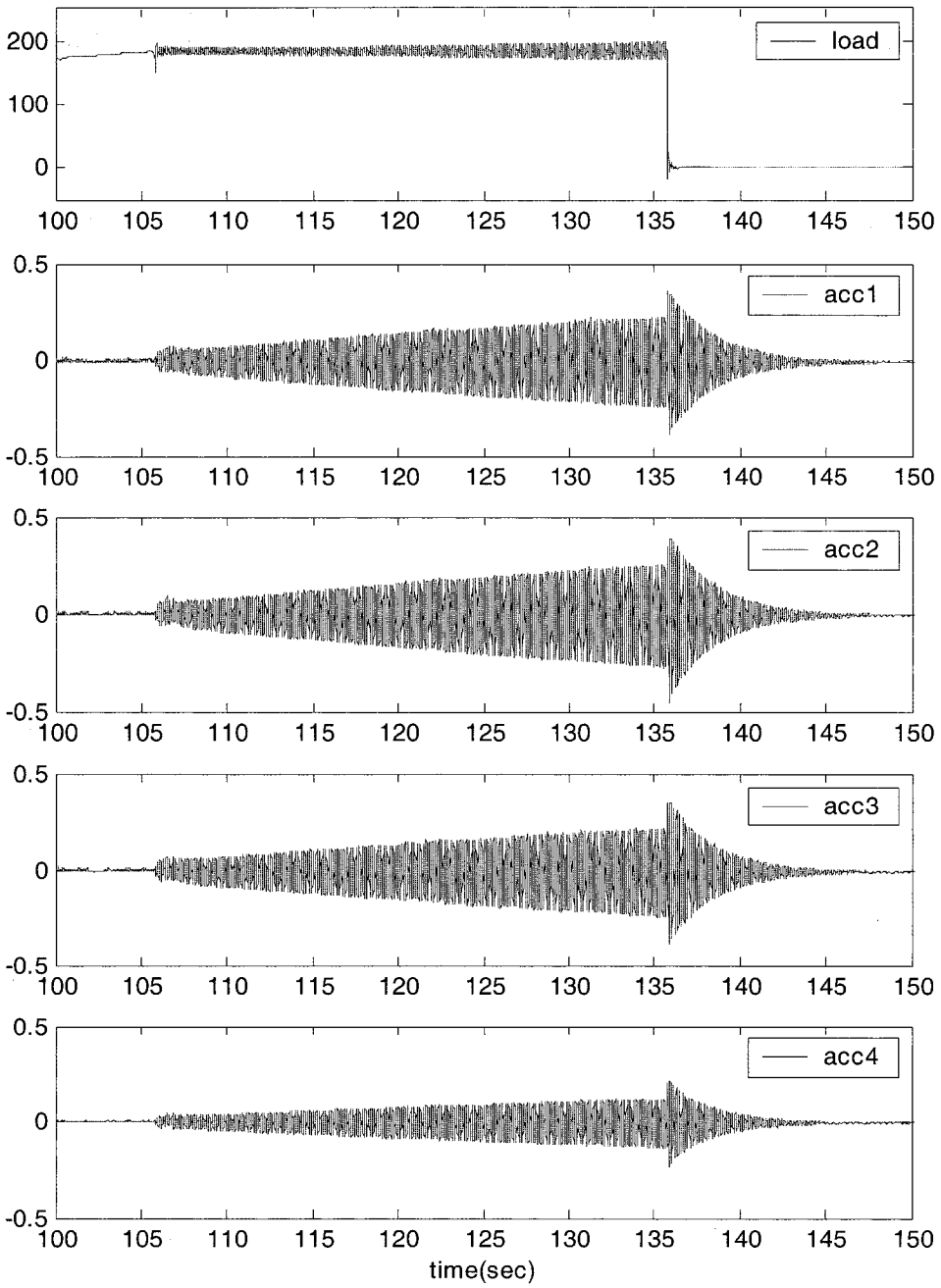
(다) Dynamic Actuator Test (TEST V, TEST VI)

dynamic actuator를 사용한 진동시험은 부가질량의 영향이 없기 때문에 가진기를 사용하는 경우에 비하여 정확한 구조물의 고유진동수 측정이 가능할 것으로 예상되었으나, 그림 3.7에 보인바와 같이 일정한 가진 주파수 하에서 가진력과 응답이 steady state에 도달하지 않고 지속적으로 증가하는 현상이 나타나 가진기를 사용한 경우와 같은 방법으로는 주파수 응답함수를 얻을 수 없었다. 따라서 dynamic actuator를 사용한 실험 데이터는 가진을 종료한 후의 부분만을 사용하여 logarithmic decrement method를 통한 감쇠비의 추출에만 활용하였다.

다음 표 3.9와 그림 3.44에 감쇠비 추출 결과를 수록하였다. 가진기를 사용한 경우와 마찬가지로 측정위치에 따른 변동 보다는 가진 주파수에 따른 변동이 주를 이루었다. 궤도부설에 의한 감쇠율 변화 역시 공진주파수를 중심으로 0.4Hz 구간의 데이터로부터 얻은 평균 감쇠비를 기준으로 볼 때 궤도부설에 의해 감쇠비의 증가가 나타나는 것으로 보이지만 공진 주파수인 5.8Hz로 가진한 경우의 데이터 만을 비교하면 큰 변화가 없는 것으로 나타난다.

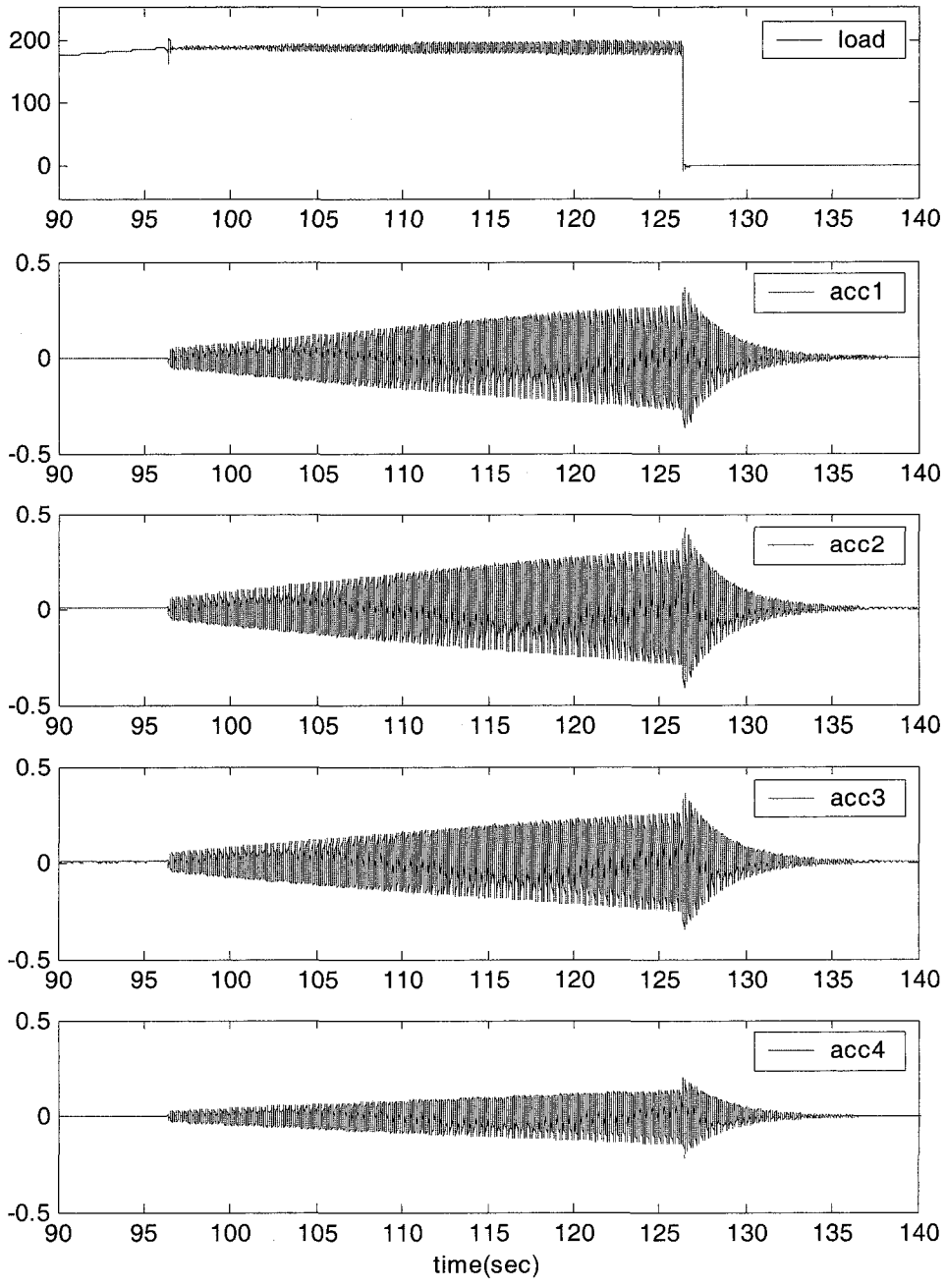
표 3.9 dynamic actuator실험에 의한 감쇠비 추출 결과
(logarithmic decrement method)

시험 케이스	가진 주파수	acc1	acc2	acc3	acc4	평균	
TEST V (궤도부설 전)	5.6 Hz	0.74	0.83	0.97	0.87	0.85	0.99
	5.7 Hz	1.00	1.05	1.06	1.13	1.06	
	5.8 Hz	1.07	1.08	1.08	1.10	1.08	
	5.9 Hz	0.83	0.95	0.78	0.77	0.83	
	6.0 Hz	1.12	1.07	1.13	1.11	1.11	
TEST VI (궤도부설 후)	5.6 Hz	1.07	1.05	1.06	1.04	1.05	1.06
	5.7 Hz	1.06	1.08	1.08	1.11	1.08	
	5.8 Hz	1.07	1.06	1.06	1.05	1.06	
	5.9 Hz	1.09	1.08	1.07	1.08	1.08	
	6.0 Hz	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	



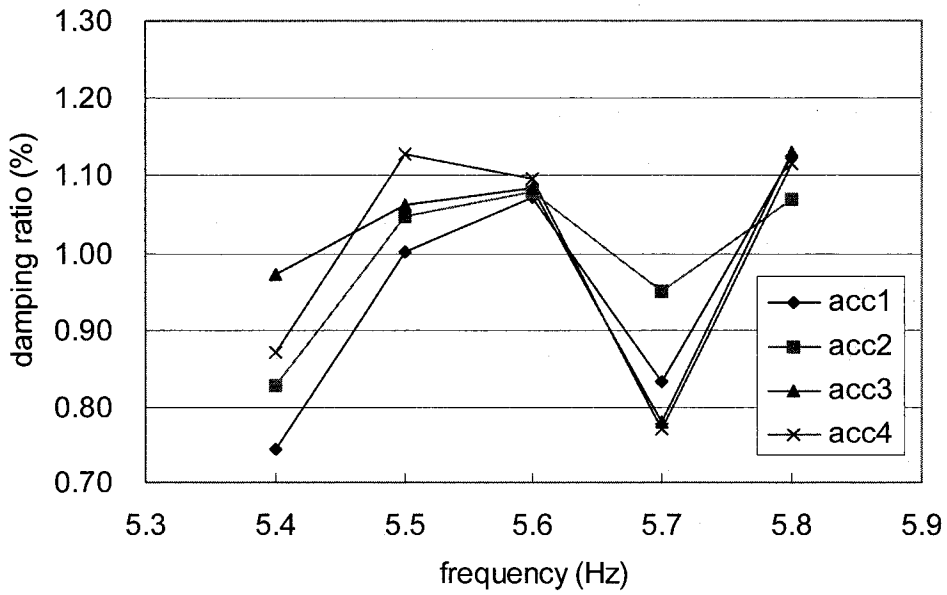
a. TEST V (궤도부설 전, 5.6Hz 가진시)

그림 3.43 dynamic actuator test에 의한 가속도 시간이력 (계속)

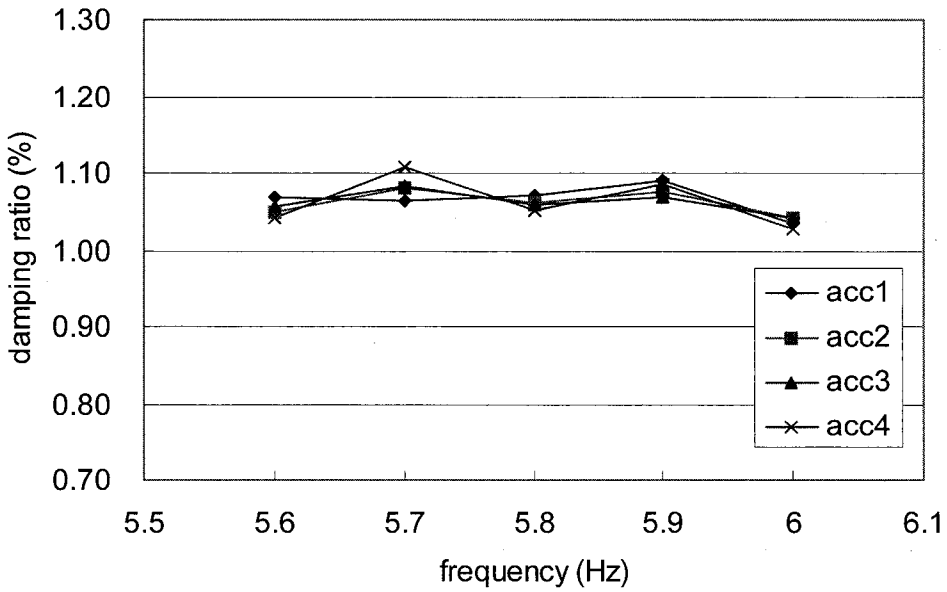


b. TEST VI (궤도부설 후, 5.8Hz 가진시)

그림 3.43 dynamic actuator test에 의한 가속도 시간이력



a. TEST V (궤도부설 전)



b. TEST VI (궤도부설 후)

그림 3.44 dynamic actuator 실험에 의한 감쇠비 추출 결과
(logarithmic decrement method)

(3) 동특성 실험 결론

실물모형에 대하여 충격햄머와 가진기 및 동적 actuator를 사용하여 고유진동수 및 감쇠비를 추출하고자 하였으며, 시공단계에 따라 2단계로 나누어 실험을 수행하여 시공단계별 동특성 변화에 대하여 고찰하였다. 본 동특성 추출 모달테스트의 결과는 주행열차 이동하중 해석의 신뢰성 높은 입력자료로 활용하고자 하였다.

표 3.10에는 impact hammer 및 vibration exciter를 사용하여 구한 궤도부설 전/후의 고유진동수를 비교하였다. 궤도부설에 의한 질량추가 및 강성추가의 복합적 효과로 해석적으로 고유진동수의 증가/감소를 예측하기 어려우며, 실험을 통하여 확인하고자 하였다. 표 3.10에 나타낸 바와 같이 impact hammer를 사용한 경우 고유진동수가 궤도부설 후 감소하는 것으로 나타났으나, vibration exciter를 사용한 경우에는 반대로 나타났다. 시험체의 규모와 가진력의 크기를 고려할 때, impact hammer를 사용한 가진실험의 결과보다는 vibration exciter를 사용한 결과가 더 신뢰성이 높은 것으로 판단되며, impact hammer를 사용한 경우에는 충분한 동적 변위가 발생되지 않아 궤도부설로 인한 강성증가의 효과가 적절히 구현되지 못한 것으로 판단된다.

따라서, 궤도 부설로 인하여 고유진동수는 증가하는 것으로 볼 수 있으며, 이는 질량추가의 효과에 비해 강성 추가의 효과가 더 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 이와같은 결과는 동적해석시 궤도를 질량으로만 고려할 경우 임계속도 산정 및 전체적인 동적응답에서 오류가 발생할 가능성이 있음을 뜻한다. 따라서 철도교량의 동적거동 분석시에는 궤도구조의 강성기여에 대하여 적절히 고려하여야 할 것이다.

표 3.10 궤도부설에 의한 고유진동수 변화

	impact hammer		vibration exciter	
	TEST I (궤도부설 전)	TEST II (궤도부설 후)	TEST III (궤도부설 전)	TEST IV (궤도부설 후)
고유진동수 (Hz)	6.38	5.88	5.58	5.76
고유진동수 변화량 (Hz)	-0.5		0.18	
고유진동수 변화율 (%)	-7.8		+3.3	

감쇠비에 대한 평가는 half-power bandwidth method 보다는 자유진동응답을 이용한 logarithmic decrement에 의한 추정방법이 더욱 신뢰할 수 있는 방법이다. 그러나 실험결과에서 나타난 감쇠비의 특성은 가진 주파수 또는 가속도 응답 크기의 변화에 따라 감쇠비의 변화가 발생하였으며, 이는 얻어진 자유진동응답이 정확하게 exponential decay가 일어나지는 않는다는 것을 의미한다. 따라서 가속도 응답 크기에 따라 변화하는 감쇠비를 평균한 값을 본 실험체의 대표 감쇠비로 추정하였다. Bicon 거더의 최종 사용상태 단면에 대한 감쇠비는 공진실험의 결과를 이용해 약 1.0%로 추정하였다.

half-power bandwidth method를 사용한 경우 궤도부설에 의해 감쇠비가 감소하는 것으로 나타났으나, logarithmic decrement method를 사용한 경우에는 가진기를 사용한 경우와 dynamic actuator를 사용한 경우에 모두 궤도부설에 의한 감쇠비의 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다. 다음 표 3.11에 각 경우의 감쇠비 추출 결과를 나타내었다.

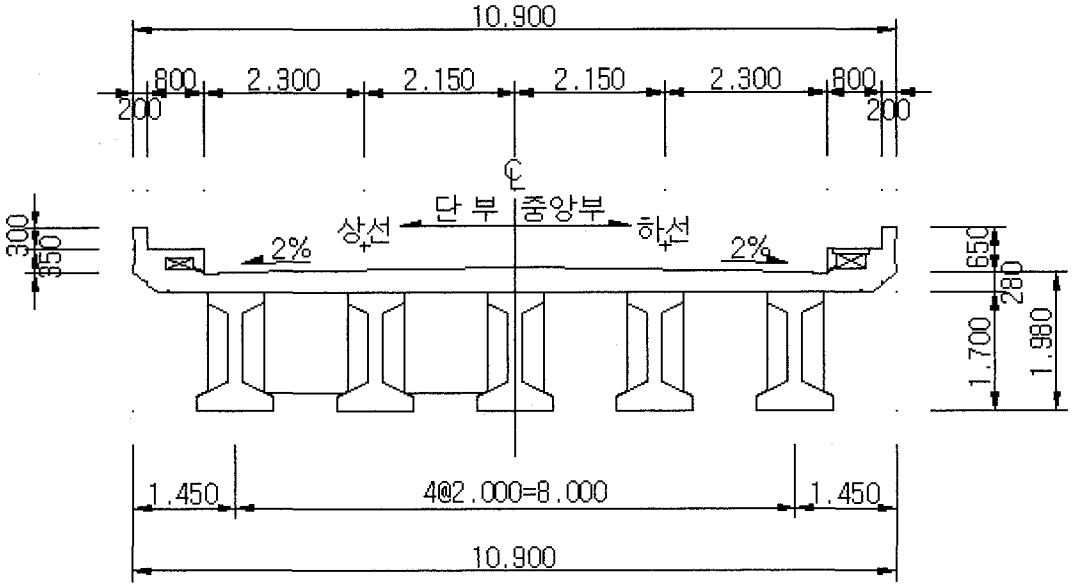
표 3.11 궤도부설에 의한 감쇠비 변화 (단위: %)

		vibration exciter		dynamic actuator	
		TEST III (궤도부설 전)	TEST IV (궤도부설 후)	TEST V (궤도부설 전)	TEST VI (궤도부설 후)
half-power bandwidth method	감쇠비 (%)	1.20	0.83	-	-
	변화량	-0.37		-	
logarithmic decrement method	감쇠비 (%)	1.02 (1.04)	1.01 (0.95)	1.08 (0.99)	1.06 (1.06)
	변화량	-0.01 (-0.09)		-0.02 (+0.07)	

라. 일체긴장 PSC 소수주거더 철도교의 동적응답 분석

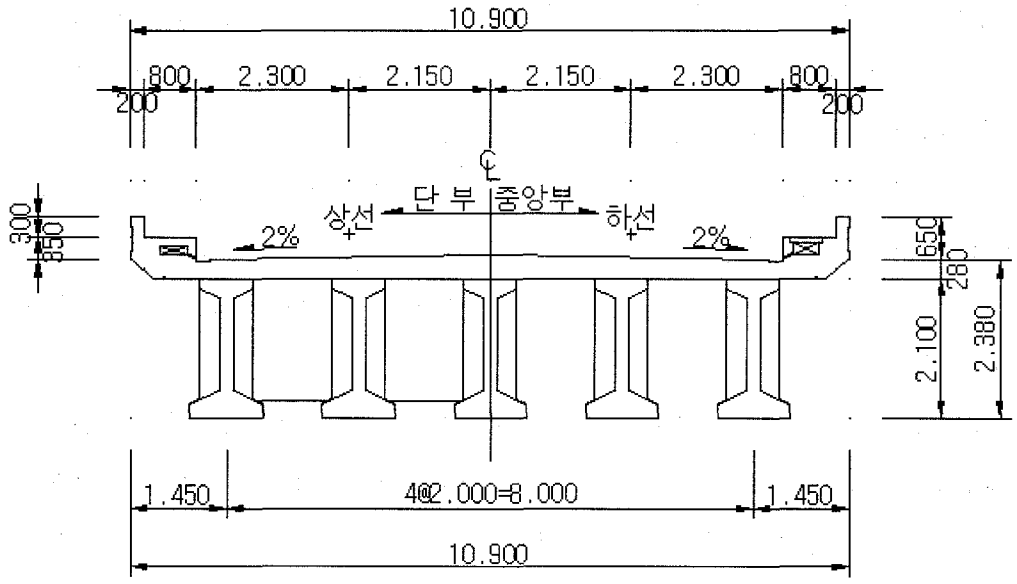
본 연구에서 수행된 실물모형에 대한 동특성 추출 모달테스트와 제시된 수치해석 방법을 이용하여 Bicon 거더 철도교량 및 새마을호 8편성, 무궁화호, 화물열차 20편성, KTX에 대한 수치모델링을 구성하고 호남고속철도 설계지침의 주행안전성 및 승차감 평가에 대한 해석 방법 및 절차를 준용하여 Bicon 거더 철도교량의 주행열차하중에 대한 동적거동을 국내외의 동적성능 기준과 비교 분석하였다. 감쇠비는 실내 실험결과, 호남고속철도 설계지침 등을 참고하여 1.0%의 값을 적용하였다.

선정차량의 하중을 시간경과에 따라 일정한 속도로 주행하면서 교량 상판의 레일 중심을 따라 작용하는 것으로 하였으며, 하중은 단선재하 하였다. 차량의 주행속도는 실제운행속도보다 높은 속도를 고려하여 새마을호, 무궁화호의 경우 10km/h에서 200km/h까지, 화물열차의 경우 150km/h까지 10km/h 단위로 증가시키면서, KTX의 경우 350km/h까지 주행열차 동적해석을 수행하였다. 검토 대상 교량의 단면은 그림 3.45와 같다.

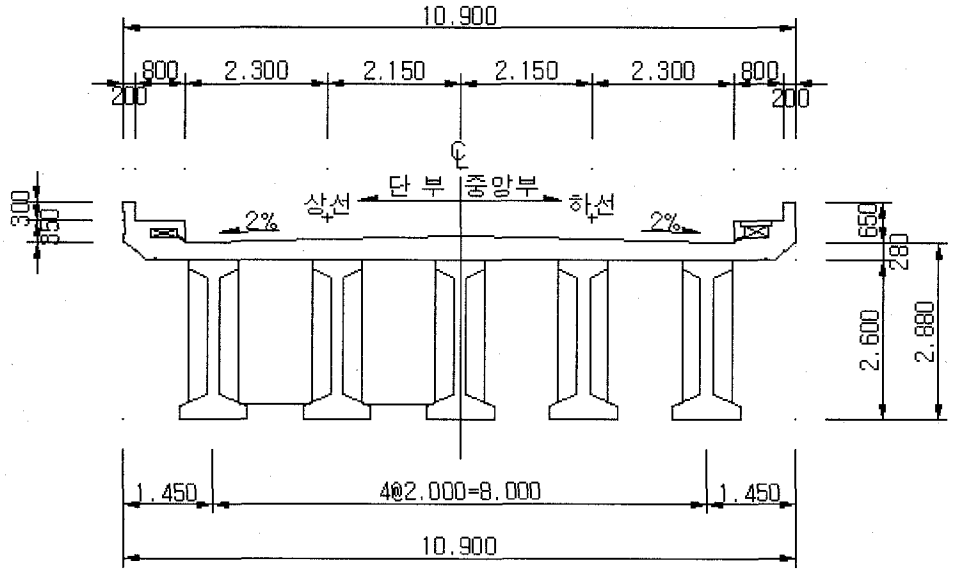


a. 25m 철도교의 단면

그림 3.45 동해석 검토단면(계속)



b. 30m 철도교의 단면



c. 35m 철도교의 단면

그림 3.45 동해석 검토단면

(1) 고유진동수 및 임계속도 분석

교량의 자유진동해석(free vibration analysis)을 수행하여 지배적인 첫 번째 휨 고유진동수를 구하면 특정 축 간격을 가진 열차하중에 대한 공진(resonance) 및 공진소멸(resonance suppression)을 예상할 수 있는 열차 속도를 구할 수 있다. 철도교

량의 이동하중 해석 전 자유진동해석을 통해 공진이 발생되는 임계속도를 파악하는 것은 반드시 선행되어야 할 부분이다. 설계속도 내에서의 공진발생 파악 및 임계속도를 해석 범위 내에 포함시켜야 하기 때문이다.

본 연구에서는 자유진동해석에 일반적으로 많이 쓰이는 부공간반복법(Sub-space Iteration Method)를 사용하여 고유진동수 및 모드형상을 분석하였다. 교량의 모델링은 상판은 판요소로 모델링하고, 거더는 공간뼈대요소를 사용하는 3차원 모델링을 적용하였다.

해석 대상교량은 철고교량 25m, 30m, 35m 경간 5주형 복선 교량이다. 해당 교량에 대한 자유진동해석을 통해 고유진동수를 구하며, 지배적 유효타격거리인 운행열차의 객차 중심 간 거리와의 관계를 통해 임계속도를 구할 수 있다. 표 3.12에 해당교량의 첫 번째 휨 고유진동수 및 공진이 발생되는 임계속도를 나타내었다.

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

표 3.12의 결과를 보면, 일반철도에서 운행되는 새마을호 무궁화호에 대해서는 설계속도인 200km/h를 훨씬 초과한 범위에서 공진이 발생하므로 동적안정성을 충분히 확보할 수 있음을 예상할 수 있다. 화물열차의 실제 운행속도를 최대 150km/h로 예상할 때 마찬가지로 공진의 위험성은 없는 것으로 나타났다. 반면, KTX가 운행되는 고속철도 교량의 경우 다른 일반적인 형식의 교량과 마찬가지로 설계속도 350km/h 내에서 공진의 발생은 피할 수 없는 것으로 나타났다. 25m 교량의 경우 실 운행속도를 벗어난다고 볼 수 있는 353km/h 정도에서 공진이 발생하나, 30m, 35m 교량의 경우에는 실 운행속도 대역에서 공진 발생이 예상된다.

표 3.12 해석대상 교량의 고유진동수 및 임계속도

교량	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)		
		새마을호 (무궁화호)	화물열차	KTX
Bicon 25m	5.24	443.3	263.2	352.8
Bicon 30m	4.42	373.9	222.0	297.6
Bicon 35m	3.96	335.0	198.9	266.6

KTX의 경우에는 설계속도가 350km/h까지 이므로 구조적으로 공진을 피하기는 쉽지 않다. 그러나, 이를 피하기 위한 설계의 경우 과대 단면 발생 등 매우 비경제적인 설계를 초래할 수 있다. 본 연구의 대상 철도교량의 경우에도 대부분 350km/h 이내에서 공진발생의 가능성을 포함하고 있다. 실제로 경부고속철도에 대다수 사용된 PSC Box거더 교량의 경우에도 300km/h 이내에서 KTX 축간격에 의한 공진이 발생된다. 이와 같이 설계속도 내에서 공진발생을 허용할 경우 안전성과 사용성 측면에서 포괄적으로 동적거동을 검토할 필요가 있다. 실제 구조물에 공진발생 시에는 감쇠비에 따라 그 응답의 결과가 매우 지배적이며, 감쇠비는 viscous damping을 흔히 가정하여 사용하나 실제 구조물의 감쇠비는 처짐이력 등 hysteretic 특성을 가지고 있으므로 큰 응답 발생 시 좀 더 높은 감쇠력을 예상할 수도 있다.

(2) 주행열차하중에 의한 동적응답 분석

현재 국내에서 운행되고 있는 철도차량은 고속철도(KTX), 새마을호, 무궁화호, 화물열차 등으로 구분될 수 있으며, 본 보고서는 이들 열차하중에 대한 대상교량의 동적성능 검토를 목적으로 하고 있다.

주행차량의 선정은 새마을호 8량 편성, 무궁화 디젤동력차1량+객차7량 편성, 화물열차 20량 편성, KTX 20량 편성으로 구분하여 선정하였다. 새마을호, 무궁화호는 실제 주행속도가 각각 최고 150km/h와 120km/h 이하이지만, 위험요소에 대한 검토와 향후 대차성능 개선 등을 고려해 220km/h 주행까지 10km/h씩 증속을 시키며 동적해석을 수행하여 거동분석을 하였다. 화물열차의 경우엔 160km/h까지 10km/h씩 증속을 시키며 동적응답을 분석하였고, 고속열차의 경우에는 420km/h까지 10km/h 간격으로 거동분석을 수행하였다. 각 경우에 대하여 공진발생이 예상되는 임계속도에 대한 동적해석도 수행하였다.

판요소+공간뼈대요소 조합에 의한 3차원 모델을 교량 모델로 적용하였으며, 호남고속철도 설계지침의 해석 절차 및 방법을 준용하였다.

동적성능을 평가하기 위한 기준으로 거더 중앙부 연직처짐 및 상판의 최대 연직가속도, 면틀림에 대한 응답을 분석하여 주행안전성 및 승차감에 대한 평가를 수행하였다.

(가) 연직처짐

그림 3.46은 25m 경간 교량의 속도별 연직처짐에 대한 최대값을 나타낸다. LS와 HL은 각각 일반철도와 고속철도의 설계 활하중을 나타내며, 호남고속철도 설계지침에 의거하여 이를 단선 재하해 각 운행열차의 동적연직처짐과 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, 일반철도를 운행하는 열차들에 대해선 공진발생 없이 속도별로 매우 안정적인 응답이 나타나고 있으나, 고속열차인 KTX에 대해서는 약 350km/h에서의 공진발생으로 인해 설계활하중에 의한 응답을 초과하는 급격히 큰 응답이 발생하고 있다. 그러나, "매우 좋은"승차감에 대한 Eurocode 및 호남고속철도 설계지침의 연직처짐 제한은 25m 경간 교량에 대하여 L/1500으로, 16.67mm인데 반하여 최대 연직처짐은 KTX 350km/h 주행 약 6.60mm, 화물열차 주행시 3.0mm 이하로서 제한 기준을 충분히 만족하고 있어 주행안전성 및 승차감을 충분히 확보하고 있다.

그림 3.47은 30m 경간 교량의 속도별 연직처짐에 대한 최대값을 나타낸다. 역시 일반철도를 운행하는 여객/화물 열차에 대해 4.0mm 이하의 안정적인 연직처짐을 나타내고 있으며, 특히 고속철도 KTX 운행에 대해서도 특별한 공진발생 구간이 나타나지 않고 정적 설계하중인 HL하중에 의한 값이 지배적임을 알 수 있다. 이는 KTX 열차에 대한 공진소멸 경간인 28.05m와 근접함에 따른 효과이다. 30m 경간에 대한 연직처짐 제한은 L/1600으로서 18.75mm인데 반하여 KTX에 의해 150km/h 속도 시 약 3.01mm로 매우 안정적인 동적응답을 나타내고 있다. 이와 같은 공진소멸 경간의 활용은 다양한 교량 형식의 고속철도 적용 및 그에 따른 건설비 저감에 매우 효과적인 방법이 될 것으로 판단된다.

그림 3.48은 35m 경간 교량의 속도별 연직처짐에 대한 최대값을 나타낸다. 일반철도의 경우 예상대로 공진발생 없이 화물열차 주행 시 4.31mm의 최대값을 보여준다. 고속열차 KTX 주행 시 예상대로 약 270km/h에서 공진이 발생하며 약 6.52mm의 연직처짐이 발생하였다. 승차감을 만족시키는 연직처짐 제한은 L/1750 적용 시 20.0mm이므로 35m Bicon 거더 역시 연직변위에 대해서는 주행안전성 및 승차감 기준을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다.

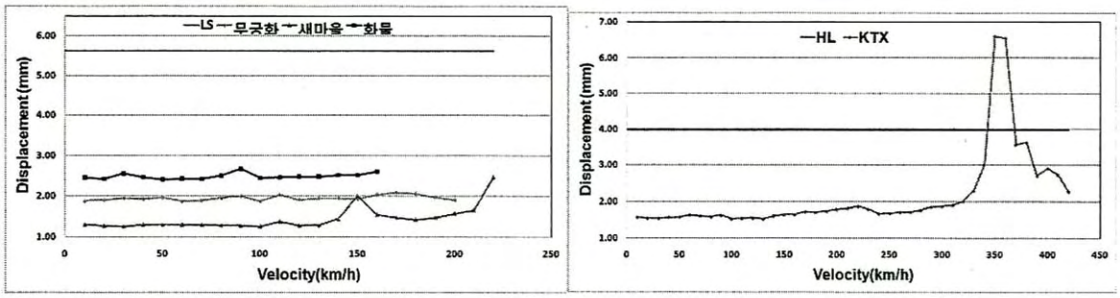


그림 3.46 국내 운행열차하중에 대한 25m 교량의 속도별 연직처짐

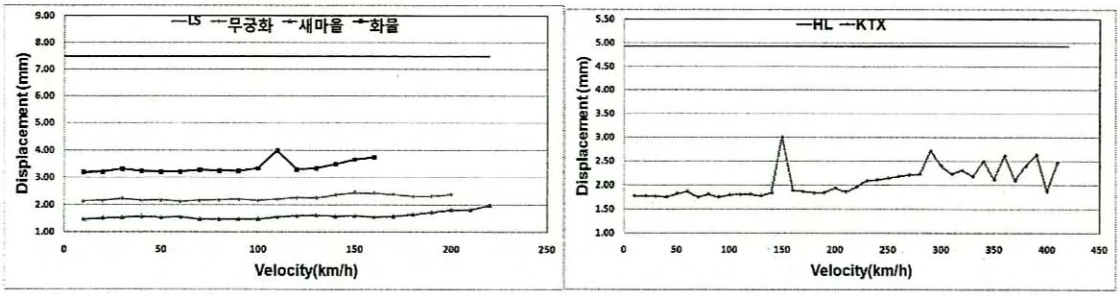


그림 3.47 국내 운행열차하중에 대한 30m 교량의 속도별 연직처짐

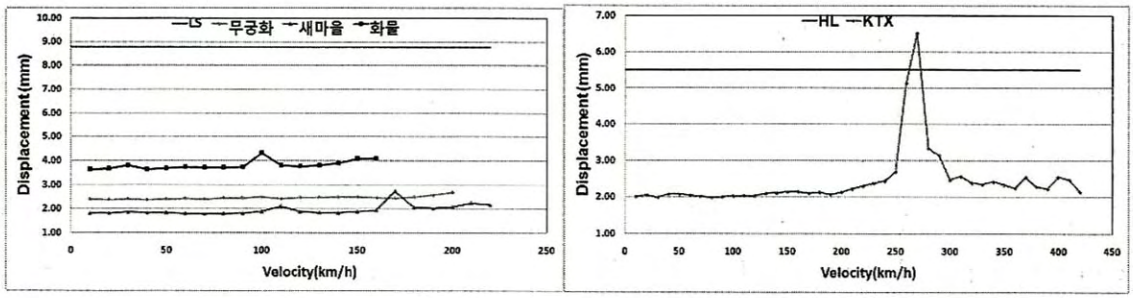


그림 3.48 국내 운행열차하중에 대한 35m 교량의 속도별 연직처짐

(나) 상판의 연직가속도

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

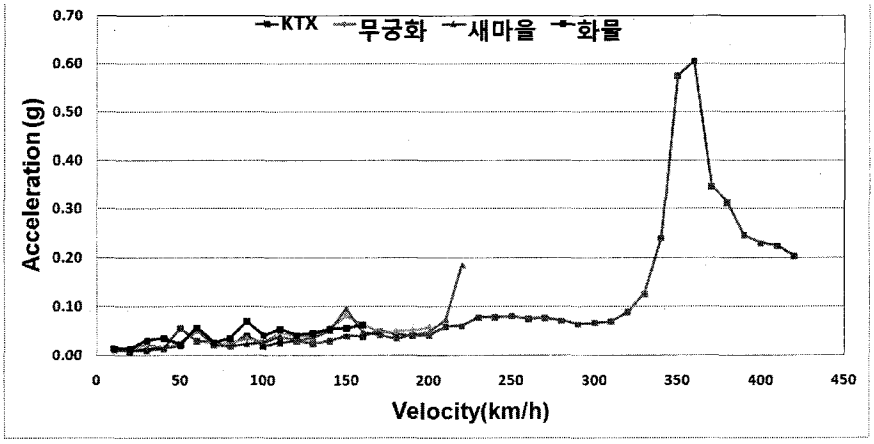


그림 3.49 국내 운행열차하중에 대한 25m 교량의 속도별 연직가속도

그림 3.49는 25m 철도교량에 대한 속도별 최대 연직가속도를 나타낸다. 일반철도의 경우 해석결과 새마을호 220km/h 주행 시 최대 0.186g의 값이 나타나 제한값을 충분히 만족하고 있다. 고속열차 주행 시에는 공진의 영향으로 360km/h 주행에서 0.604g의 최대값이 나타나 제한기준을 만족하지 못하고 있다. 그러나, 전술한 바와 같이 순간적이 최대값이며, 궤도의 강성기여(기존 연구결과 약 10%)를 반영하지 않아 실제 공진은 360km/h 이후 구간에서 나타나므로, 실 운행속도 대역에서는 주행안전성을 확보하고 있다고 판단할 수 있다.

그림 3.50은 30m 경간 거더의 상판 연직가속도 응답을 나타낸다. 고속열차에 대해 30m 경간 역시 약 300km/h에서 공진발생이 예상되나, 30m 경간은 KTX의 유효타격간격인 18.7m에 대해 공진소멸이 일어나는 28.05m 경간과 매우 근접해 임계속도에서의 공진소멸이 일어나 300km/h에서 공진이 발생하지 않으며, 150km/h에서 최대 0.112g가 발생해 제한값인 0.35g를 초과하지 않는 매우 안정적인 동적응답이 유도됨을 알 수 있다. 일반철도의 경우에도 0.10g 이하의 매우 안정적인 동적응답이 발생하고 있다.

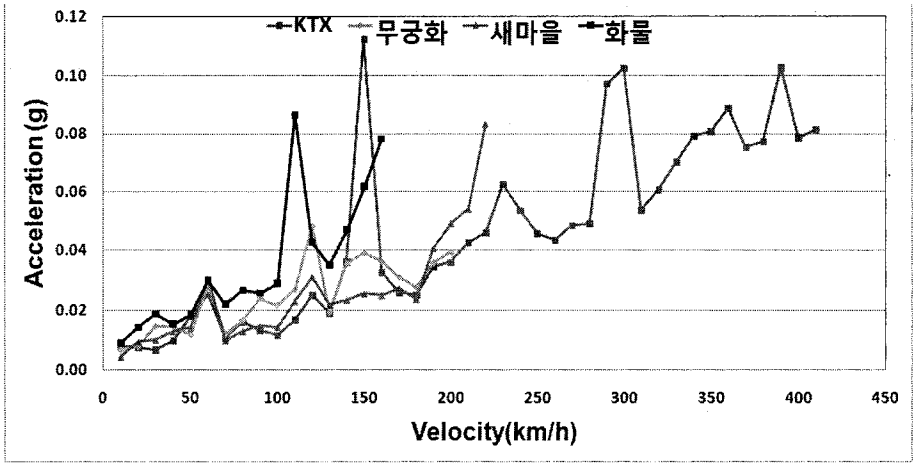


그림 3.50 국내 운행열차하중에 대한 30m 교량의 속도별 연직가속도

그림 3.51 35m Bicon 거더 철도교량에 대한 속도별 최대 연직가속도를 나타낸다. 35m 경간의 경우 약 270km/h에서 KTX 주행에 의해 공진이 발생되 0.328g의 응답이 발생하고 있으나 제한값 0.35g를 만족하고 있다. 이는 경간이 장경간화 됨에 따른 질량효과 추가 등에 따른 작용으로 판단된다. 일반철도의 경우에도 0.10g 이하의 안정적인 동적응답을 나타내고 있다.

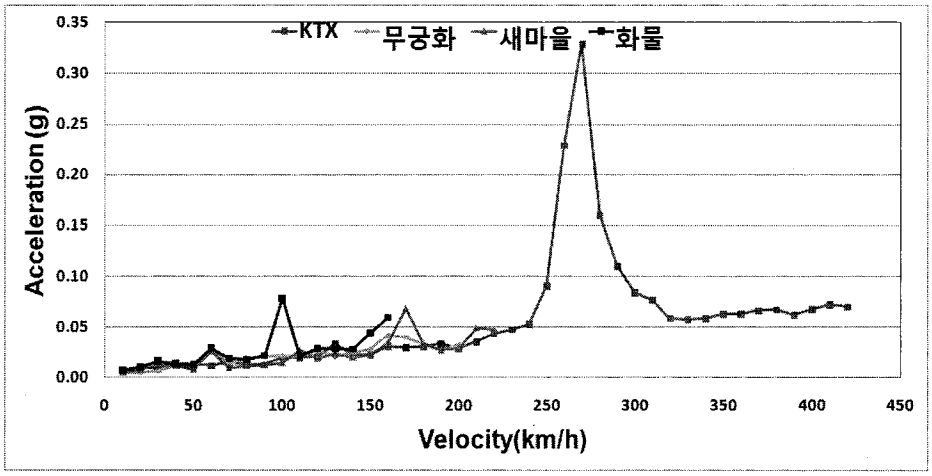


그림 3.51 국내 운행열차하중에 대한 35m 교량의 속도별 연직가속도

(다) 면틀림

그림 3.52~3.54는 각 경간 교량의 속도별 상판 면틀림 최대값을 나타낸다. 면틀림은 주행안전성 및 궤도틀림 방지를 위해 검토되어야하는 항목이며, 일반철도의 경우 3m

당 1.5mm, 실 운행열차를 고려한 고속철도의 경우 3m당 1.2mm 이내로 확보되어야 한다. 결과에서 알 수 있듯이 일체긴장 PSC소수주거더교량은 면틀림에 대해 소요의 동적성능을 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났다.

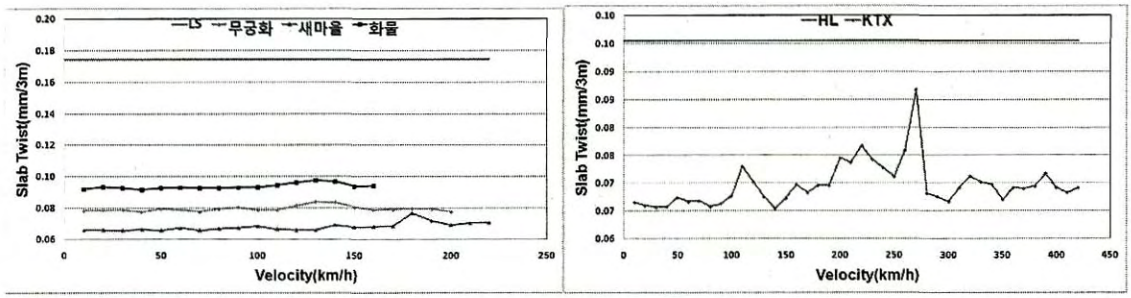


그림 3.52 국내 운행열차하중에 대한 25m 교량의 속도별 면틀림

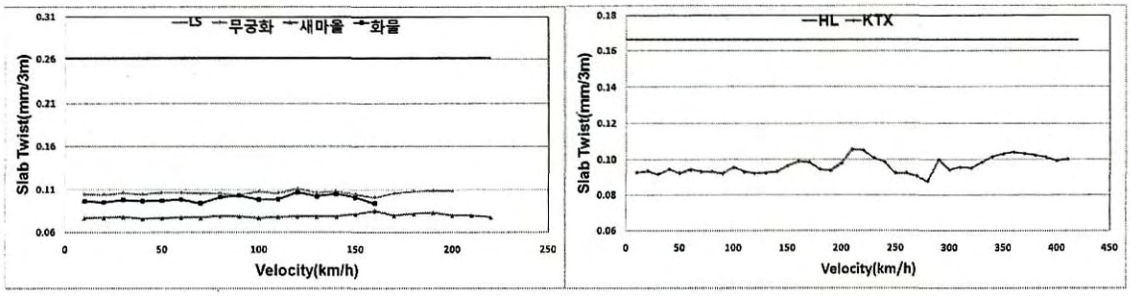


그림 3.53 국내 운행열차하중에 대한 30m 교량의 속도별 면틀림

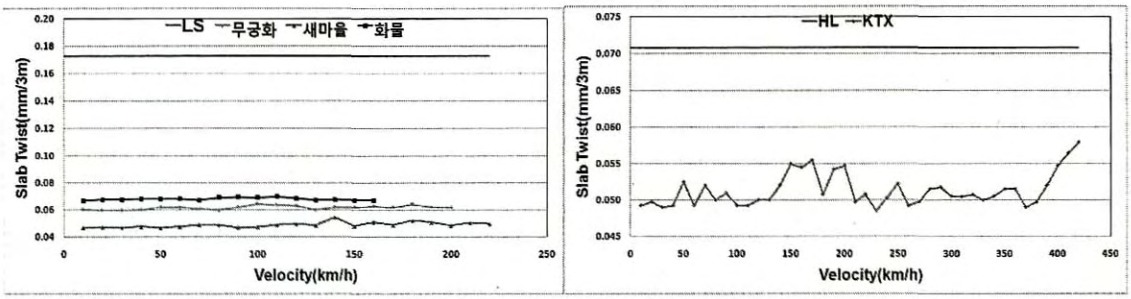


그림 3.54 국내 운행열차하중에 대한 35m 교량의 속도별 면틀림

(3) 동적성능검증 요약

일체긴장 PSC 소수주거더 철도교 적용성 평가를 위한 동적응답 분석결과 소요의 감쇠비 성능을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 일반철도에 대해서는 매우 우수한

동적거동 양상을 나타내어 적용에 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다.

고속철도의 경우 KTX 주행 시 공진소멸과 연관된 경간인 30m 경간 교량의 경우 매우 안정적인 응답을 나타내어 고속철도 적용에도 문제가 없는 것으로 판단된다. 25m, 35m 경간에 교량의 경우에도 연직처짐 및 면틀림에 대해서는 제한기준을 만족하고 있으나 궤도구조의 안전성 및 열차의 주행안전성과 밀접한 관계에 있는 연직가속도에서 기준을 만족하지 못하거나 근접한 결과를 나타내고 있다. 그러나, 해당 교량의 최대 연직가속도는 35m 교량의 경우 약 0.33g로 적용에 문제가 없으며, 25m 경간 교량의 경우에만 약 0.60g의 최대값이 발생하나, 이는 실 운행속도를 벗어났다고 볼 수 있는 360km/h에서 발생한 결과로서 실 운행속도를 고려해 충분히 적용가능하다고 판단된다. 또한, 연직가속도 기준은 순간 최대값에 의한 평가, 과도한 안전율 적용 등 상대적으로 과도한 기준인것을 감안해, 강성 및 질량 보완 등에 의해 이러한 문제를 해결할 경우 고속철도 교량에의 적용성도 충분히 확보할 수 있다고 판단된다.

표 3.13 일체긴장 PSC 소수주거더 철도교량 동적성능 검증 결과요약

항 목	경간	첫 번째 휨 고유진동수	임계속도			
			새마을호	무궁화호	화물열차	KTX
고유진동수 및 임계속도	25m	5.24Hz	443.3km/h	443.3km/h	263.2km/h	352.8km/h
	30m	4.42Hz	373.9km/h	373.9km/h	222.0km/h	297.6km/h
	35m	3.96Hz	335.0km/h	335.0km/h	198.9km/h	266.6km/h
항 목	경간	Eurocode, 호남고속철도 설계지침	새마을호	무궁화호	화물열차	KTX
상판 연직가속도	25m	자갈궤도 : 0.35g 콘크리트궤도 : 0.50g	0.186g	0.082g	0.070g	0.604g
	30m		0.083g	0.048g	0.087g	0.112g
	35m		0.069g	0.041g	0.079g	0.328g
상판의 면틀림	25m	일반철도: 1.5mm/3m 고속철도: 1.2mm/3m	0.077	0.084	0.098	0.087
	30m		0.085	0.111	0.107	0.106
	35m		0.054	0.064	0.070	0.058
경간 중앙부 연직처짐	25m	16.67mm	2.459mm	2.087mm	2.665mm	6.596mm
	30m	18.75mm	1.979mm	2.447mm	3.980mm	3.010mm
	35m	20.00mm	2.738mm	2.686mm	4.086mm	6.522mm

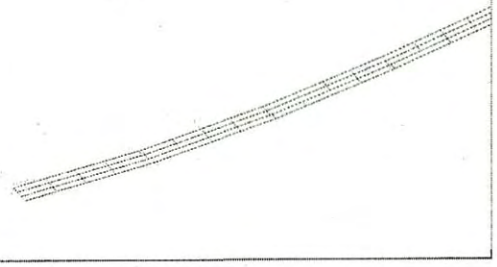
2. 이동하중의 동적영향 검토 및 Comfort Analysis

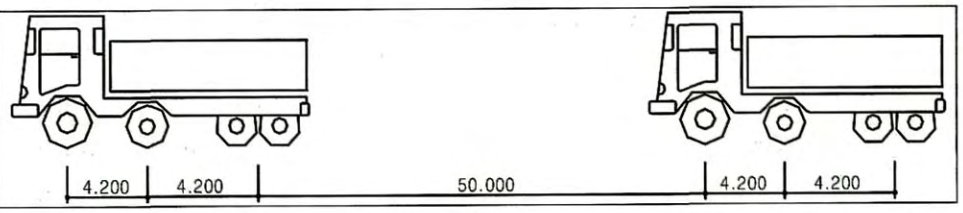
가. 동적영향검토개요

대상교량을 설정하여 빈번하게 진행되는 차량주행에 의해 유발되는 진동이 교량상의 사람에게 미치는 영향을 검토하여 보다 쾌적하고 안전한 환경을 조성하고자 인체감성을 고려한 Comfort Analysis를 수행하였으며, 교량 및 차량의 동특성, 주행면의 요철상태, 주행차량의 속도 등 여러 요인에 의해 지배를 받는 교량의 동적인 거동에 있어서 차량의 동적재하와 구조물의 동적응답에 따른 동적 안전성 확보에 대하여 검토하였다. 이때의 주요 평가 방법은 설계 충격계수와 동적 재하에 의한 구조물의 동적확대계수 응답을 분석하는 것과 차량주행에 의해 유발되는 진동이 교량상의 사람에게 미치는 영향을 검토하는 것이다.

(1) 차량에 의해 유발되는 진동해석

DB-24하중을 집중하중으로 재하하여, 감쇠비를 1.43%를 적용한 교량에 대해 재하속도를 약 40km/h~100km/hr범위에서 20km/hr의 단위로 재하하였다. 적용된 교량은 Beam요소로 모델링 하였으며, 구조물은 선형탄성거동을 한다고 가정하였으며 도달시간(Arrival Time)을 달리하여 Impulse Load로 재하하였다. 차량이 연행하는 경우 더 큰 응답이 발생할 수 있을 것으로 예상하여 1~4대의 설계하중이 일정한 간격을 유지하며 재하하는 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

개 요	모 델 링
• 교량형식 : 4경간 연속 Bicon거더교 • 교량연장 : 202M • 차량편성 : DB-24 차량하중에 의한 동적해석 • 설계속도 : 40km/h~100km/h • 차량간격 : 차량이 50m의 차두거리로 운행 • 교량 감쇠비 : 1.43%	

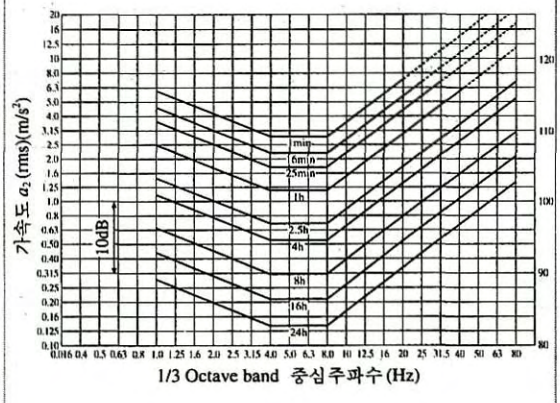
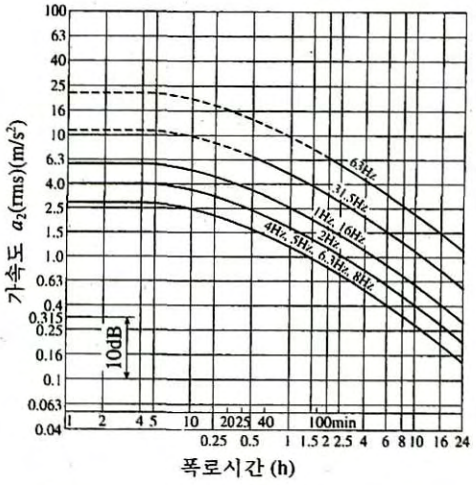
차량간격	

(2) 인체감성을 고려한 Comfort Analysis

해석결과를 바탕으로 인체감성을 고려한 Comfort Analysis를 수행하였다. ISO(국제표준화기구)는 지금까지 축적된 수많은 연구결과를 기초로 하여 1974년 전신진동 폭로시 평가에 관한 지침을 규정해 ISO2631로 등록했다. 이 지침은 통일된 측정이나 평가를 실시해서 Data의 유효이용도 가능하다. 1985년 개정된 ISO2631은 제1부에서 일반적인 필요조건, 제2부에서 건물의 진동평가, 제3부에서 0.1~0.63Hz이 전신 수직진동폭로시 평가와 제4부에서 선박의 진동에 따른 승무원 폭로시 평가를 규정하고 있다. 이 평가는 항공용·육상용·수상용의 수하물과 공업·농업용의 기계류에 대한 진동이 인간의 쾌적성이나 작업능률에 미치는 악영향을 평가하는데 그 한계로 규정되었으며, 주로 전신진동이 대상으로 되고 있다. 진동이 인체에 미치는 악영향을 결정하는 물리적 인자는 대개 진동의 강도(intensity), 주파수(frequency), 방향(direction), 지속시간(duration), 또는 폭로시간(exposure time)의 네 가지 인자가 가장 중요하다. 진동평가시 평가조건(criteria)은 작업능률유지(피로·능률감퇴경계), 건강이나 안전유지(폭로한계)와 쾌적성 유지(쾌적감퇴한계)이다.

진동의 폭로가 피로 및 능률감퇴경계를 넘으면 작업능률이 떨어질 위험이 높다. 그러므로 피로에 의한 인간의 기능이 저하된다. 따라서 이러한 점에 대한 평가가 이루어져야한다. 또한 건강이나 안전의 유지는 피로 및 능률감퇴한계를 우선으로한 곡선과 동일한 진동가속도레벨보다 6dB 높게 폭로한계를 정한다. 폭로한계는 진동폭로에 의해 생긴 역치(threshold value)의 약 절반 정도이다. 쾌적성 유지가 목적인 쾌감감퇴경계는 피로 및 능률감퇴한계에서 10dB 감소시킨 값으로서 교량상의 보행자가 받는 영향을 검토하는 항목이다.

표 3.14 ISO규격에 규정된 수직방향의 피로,능률감퇴경계

가속도-주파수 관계	가속도-폭로시간 관계
	

나. 이동하중 해석 결과 및 Comfort Analysis

표 3.15 설계속도 80km/h일 경우의 경간 및 차량 연행 대수별 최대 변위와 가속도

1대	처짐(cm)	가속도(m/s)	2대	처짐(cm)	가속도(m/s2)
1경간	1.03	0.46	1경간	1.03	0.50
2경간	0.78	0.36	2경간	0.64	0.36
3경간	0.75	0.27	3경간	0.62	0.35
4경간	0.99	0.47	4경간	1.00	0.46
3대	처짐(cm)	가속도(m/s)	4대	처짐(cm)	가속도(m/s2)
1경간	1.03	0.51	1경간	1.03	0.51
2경간	0.67	0.38	2경간	0.67	0.35
3경간	0.64	0.41	3경간	0.64	0.38
4경간	0.99	0.39	4경간	1.00	0.46

표 3.16 경간별 처짐응답의 시간이력

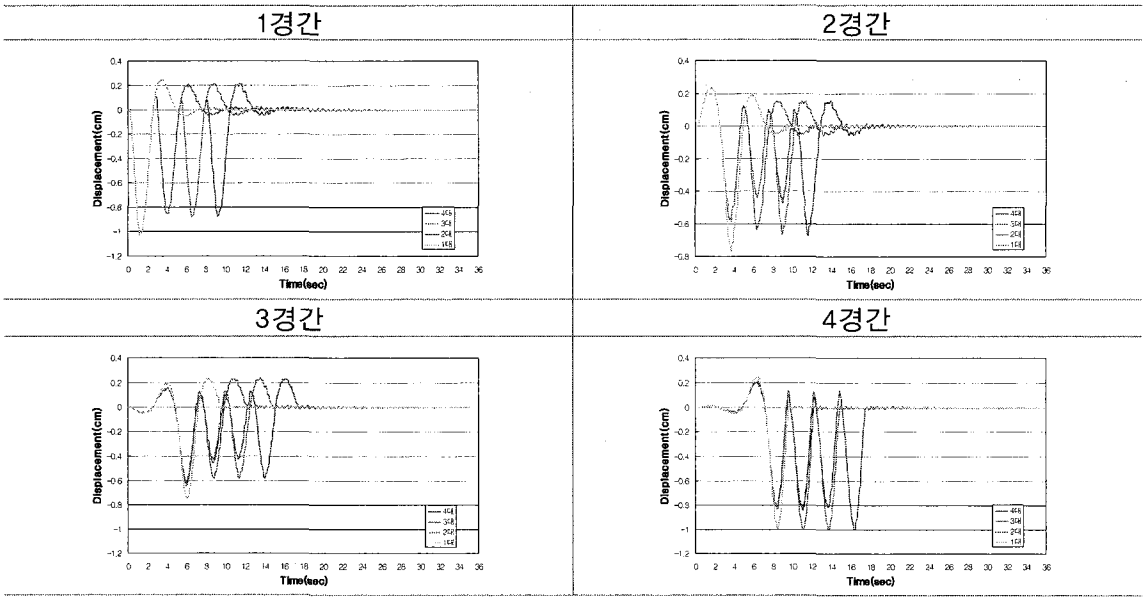
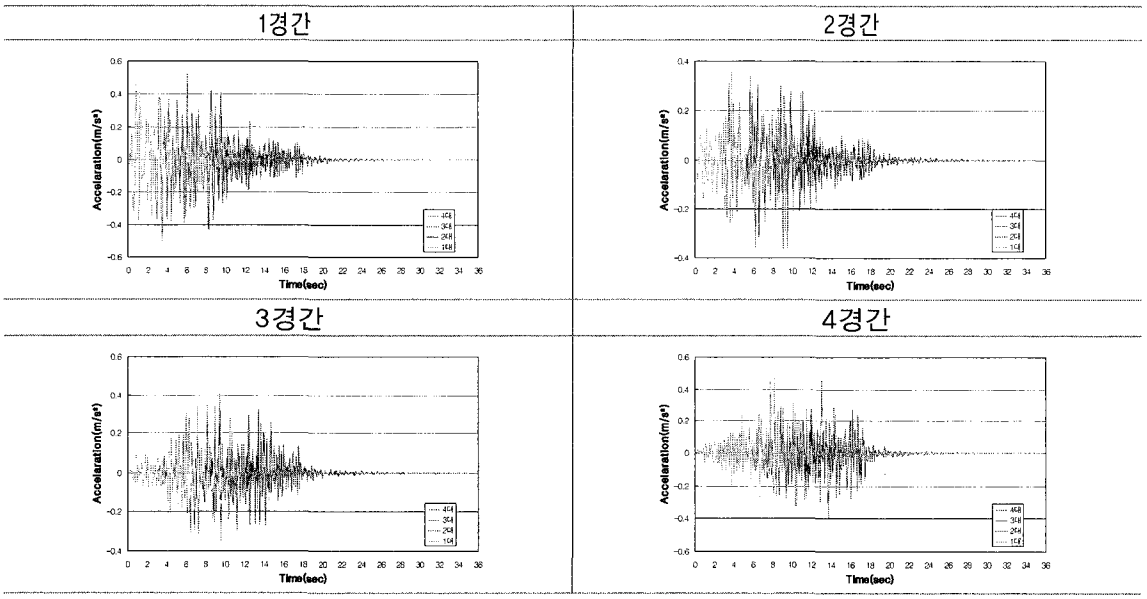


표 3.17 경간별 가속도응답의 시간이력



아래의 결과에서 보는 바와 같이 차량의 이동하중에 의한 진동이 인체에 어느 정도의 영향을 주는지 결정하는 ISO의 진동평가 기준은 가속도와 주파수의 관계로부터 규정되므로, 가속도 시간이력곡선에 대해 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 실시한 후, 쾌감감퇴경계곡선에 적용하여 평가하였다.

평가결과 쾌감감퇴경계곡선에 대한 진동평가 결과 보행자가 1경간 다리를 건

너는 시간은 보행자의 속도가 1m/s 라고 가정하였을 경우 51초가 소요되며, ISO 쾌감감퇴경계곡선의 60km/h 속도일 경우 약25분 이상의 노출시간을 만족하므로 교의 진동은 인체의 쾌감을 감소시키지 않는 정도의 진동으로 평가된다.

1) 동적영향 검토 (100km/hr)

표 3.18 차량속도 100km/hr에 대한 수직변위 시간이력

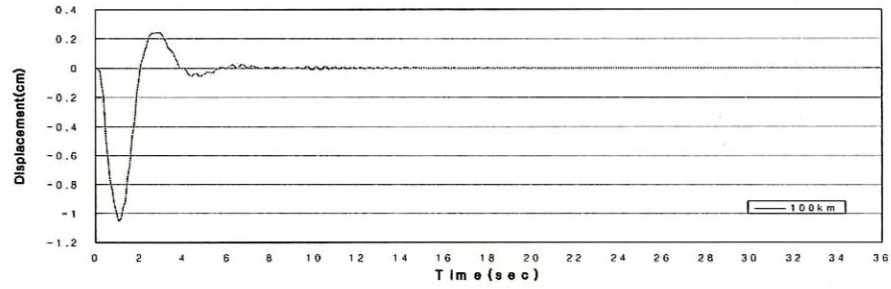
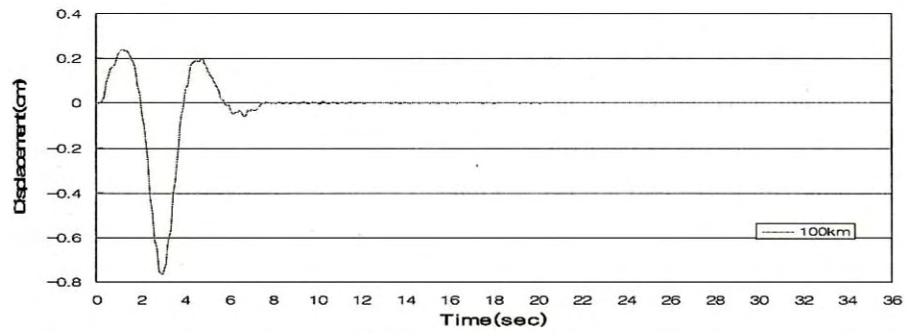
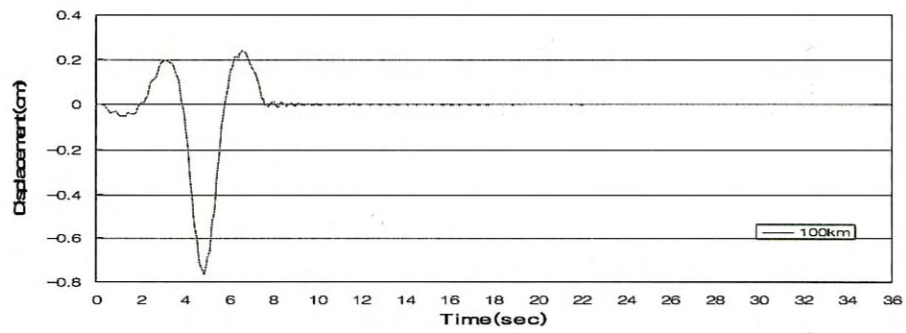
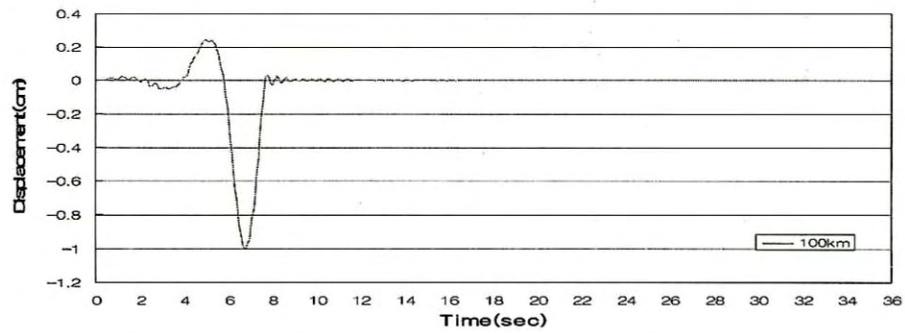
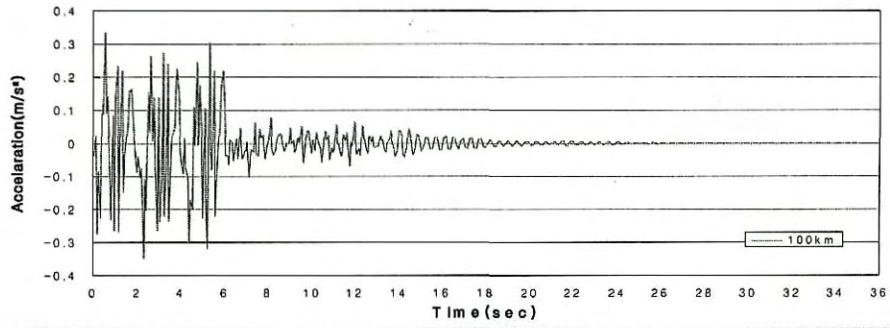
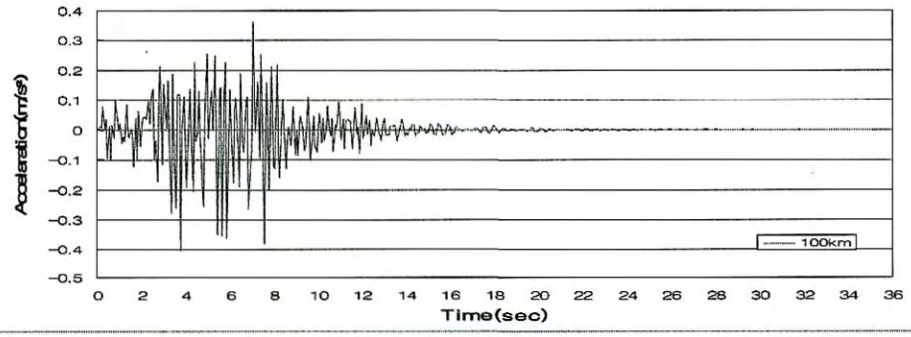
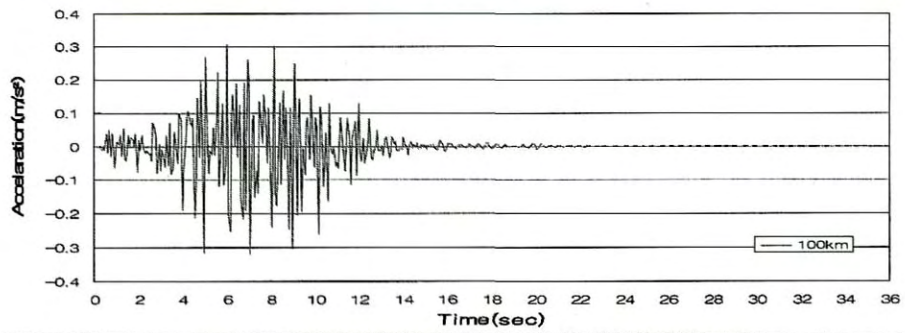
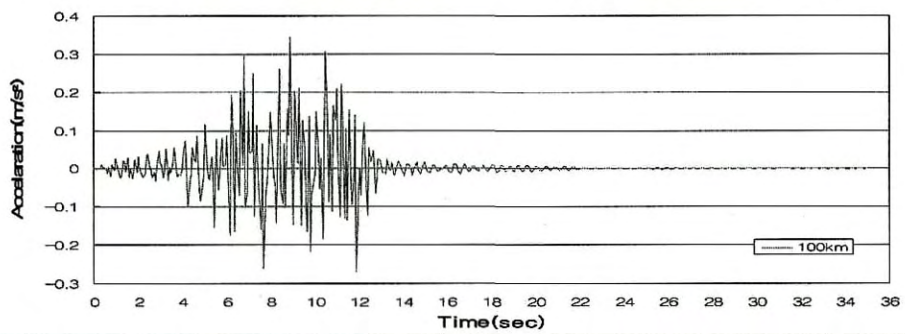
구 분	수직 변위 이력
1경간	
2경간	
3경간	
4경간	

표 3.18 차량속도 100km/hr에 대한 가속도응답의 시간이력

구 분	가속도 이력
1경간	
2경간	
3경간	
4경간	

설계속도에서 공진현상은 발생하지 않았으며, 최대 처짐이 37.67mm 로서 허용처짐 기준인 63.12mm 미만의 결과를 보여 처짐 사용성 요건을 만족하는 것으로 검토되었다. 또한, 설계속도에서의 가속도 최대값은 0.05g로서 진동사용성을 확보하였다.

표 3.19 동적응답의 결과 요약표

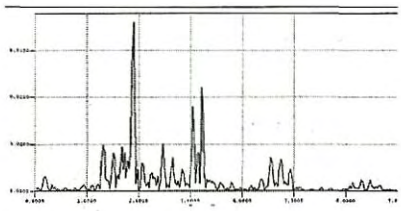
구분	동적처짐 (cm)	가속도 (m/s2)	허용처짐기준 (63.12mm)	승차감 만족도기준(0.1g)
1경간	1.05	0.35	10.5 + 27.07 < 63.12 (만족)	만족
2경간	0.77	0.41	7.7 + 27.07 < 63.12 (만족)	만족
3경간	0.77	0.32	7.7 + 27.07 < 63.12 (만족)	만족
4경간	1.00	0.35	7.7 + 27.07 < 63.12 (만족)	만족

2) Comfort Analysis

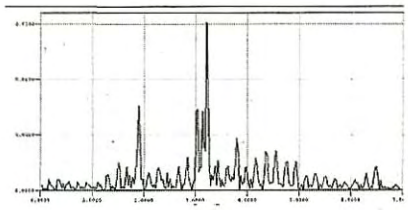
표 3.20 Comfort Anaylsis를 위한 FFT분석 및 쾌감감퇴곡선

FFT 분석결과(40km/hr)

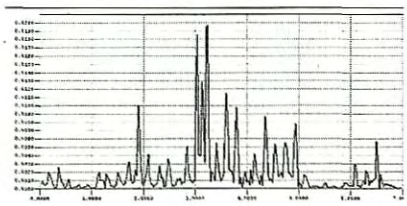
1경간



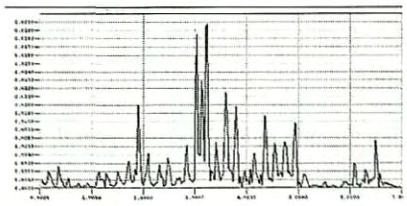
2경간



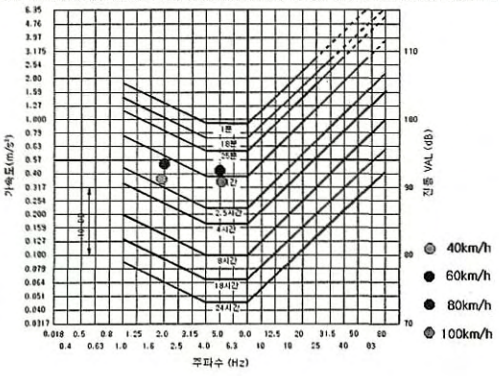
3경간



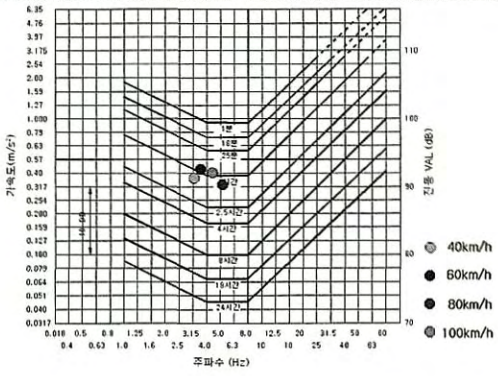
4경간



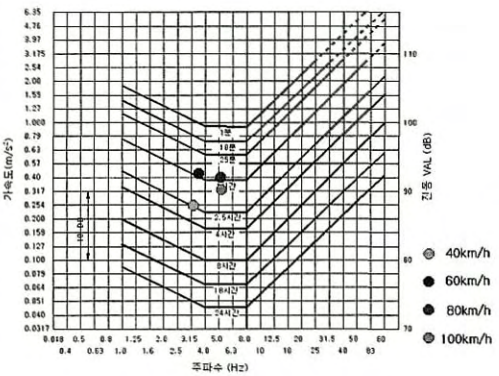
쾌감감퇴곡선에 의한 진동평가 결과



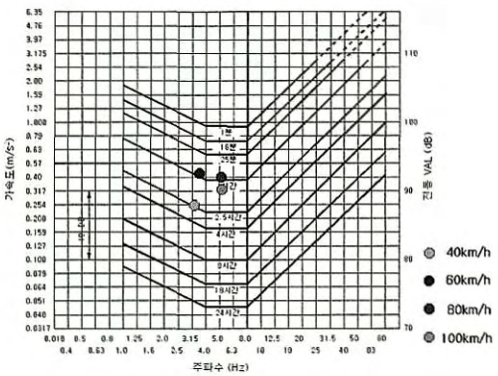
〈1경간〉



〈2경간〉



〈3경간〉



〈4경간〉

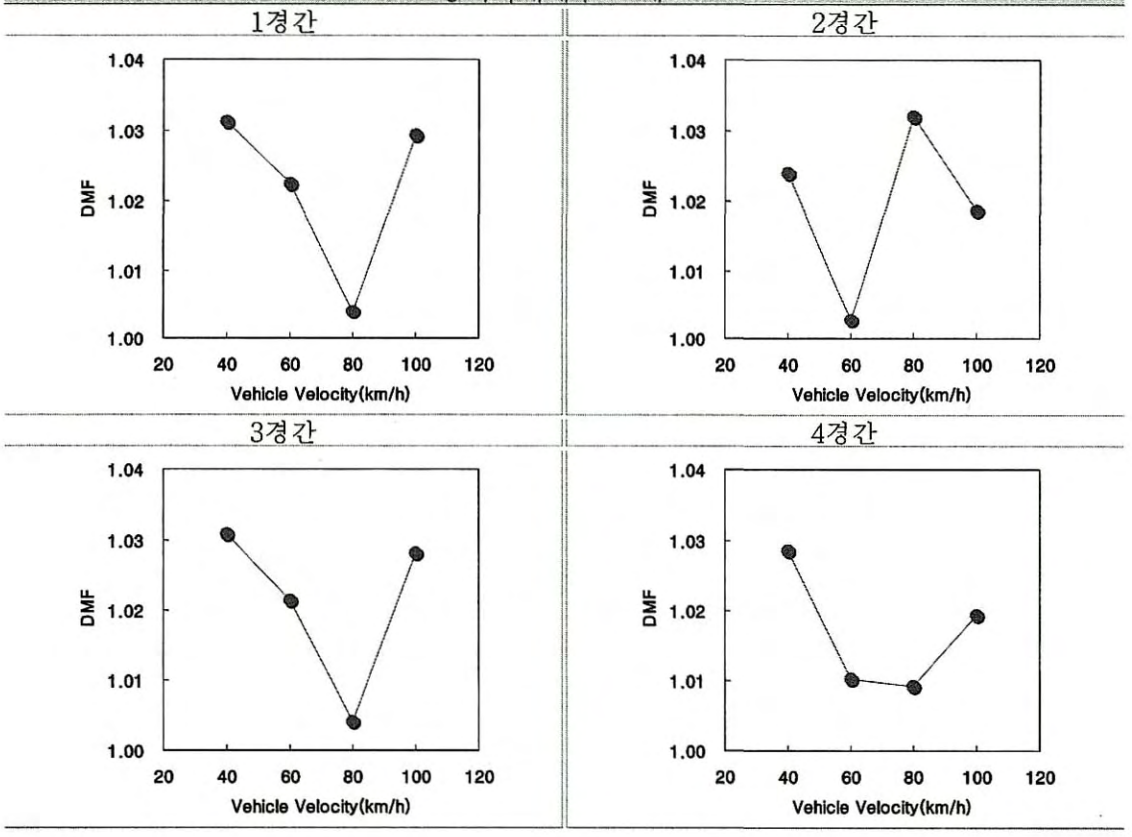
다. 동적확대계수에 의한 설계충격계수의 평가

일반적으로 교량설계시 이동하중에 의한 동적효과를 고려하기 위해 도로교 설계기준상의 충격계수를 사용하고 있으나, 시방서상의 충격계수는 단순히 교량의 길이에 따라 변하는 경험공식에 근거를 두고 있으므로 실질적인 동적거동에 대한 특성을 반영하지 못하는 문제점을 내포하고 있다. 이에 따라 설계차량속도에 해당하는 주행차량의 동하중 효과를 시간이력해석을 통해 수치해석적으로 산정한 뒤 도로교설계기준과 비교하여 충격계수 산정의 적정성을 검토하였다. 해석의 조건과 모델링 등은 앞서 논한바와 같으며, 각 경간에 대한 설계충격계수를 평가하였다.

표 3.21 정적변위, 최대변위 및 동적확대계수(DMF)

차량속도	최대변위(cm)				DMF			
(km/h)	1경간	2경간	3경간	4경간	1경간	2경간	3경간	4경간
정적변위	1.024	0.752	0.746	0.980	-	-	-	-
40	1.056	0.770	0.769	1.008	1.03	1.02	1.03	1.03
60	1.047	0.754	0.762	0.990	1.02	1.00	1.02	1.01
80	1.028	0.776	0.749	0.989	1.00	1.03	1.00	1.01
100	1.054	0.766	0.767	0.999	1.03	1.02	1.03	1.02

동적확대계수 그래프



$$DMF = \frac{\text{동적처짐}}{\text{정적처짐}} \leq 1 + \text{충격계수}$$

위 식으로 계산되는 정적변위에 대한 동적변위의 비율을 나타내는 동적확대계수의 값은 해석결과로부터 상기와 같이 1.00에서 1.03의 범위를 보이고 있으며, 전반적으로 차량속도 40km/h에서 동적확대계수가 다소 증가하고 있어 이 속도대에서 차량하중의 동적인 효과가 가장 크게 됨을 알 수 있다.

한편, 도로교설계기준에 의한 설계 충격계수에 1을 더한 값이 1.166이므로, 본 검토 결과의 동적확대계수가 이 값의 범위를 넘지 않음을 알 수 있어 설계 충격계수를 사용하는 것이 안전측의 설계라고 판단할 수 있다.

3. 응력집중부 상세해석

50m 경간 Bicon 거더의 프리스트레싱 도입시 정착부 상세해석을 수행하였으며, 인양시 발생하는 인양홀 주변의 국부응력 검토를 위한 상세해석을 수행하였다. 또한, 거더 상단에 배치되는 강봉 연결구의 상세해석을 수행하여 강봉에 지지하여 프리스트레싱 텐던을 긴장 할 때 연결구에 발생하는 응력을 검토하였다

가. 정착부 상세해석

긴장재 정착단의 상세해석을 위해 다음 그림과 같이 단부로부터 2m까지의 구간을 3차원 모델링 하였으며, 쉬스관 및 인양홀도 실제 형상에 맞추어 모델링 하였다. 전체적으로 8절점 solid요소를 사용하였으며, 홀 주변과 같이 8절점 solid요소로 분할이 되지 않는 부분은 4절점 solid요소를 사용하였으며 해석에는 범용 구조해석 프로그램인 ansys를 사용하였다.

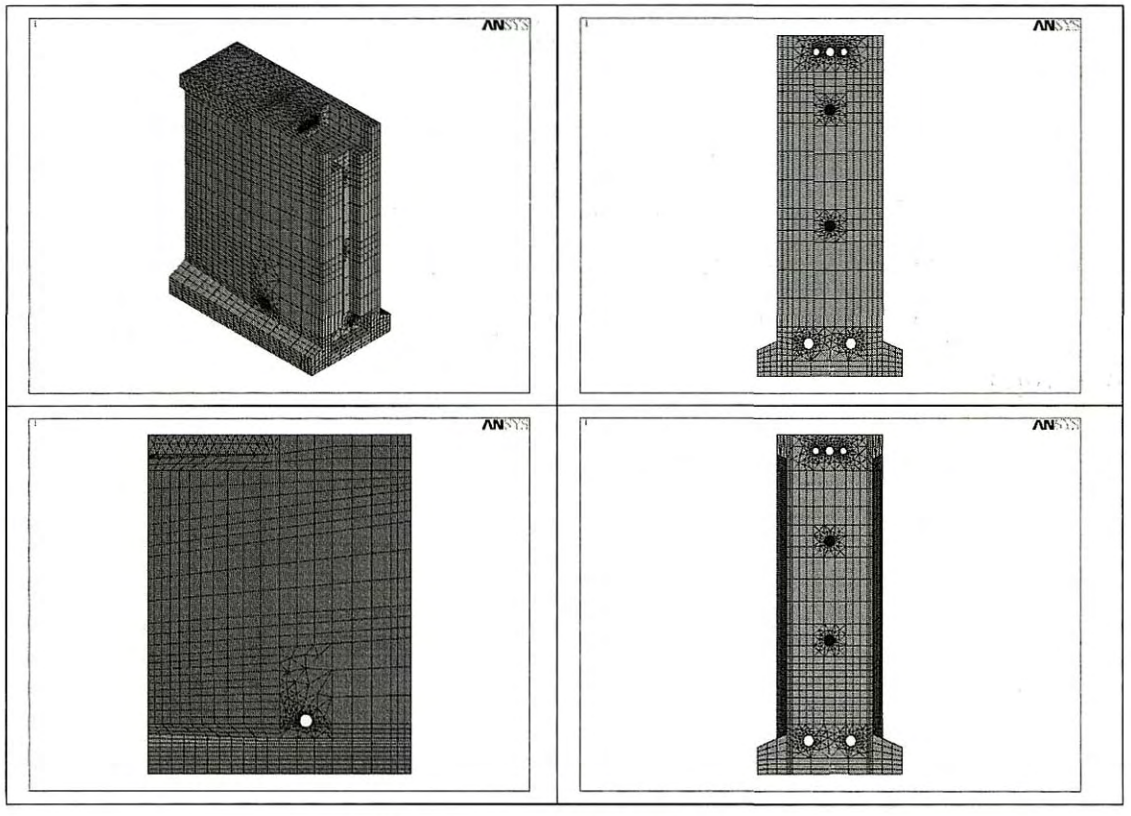


그림 3.55 정착부 해석을 위한 모델링도

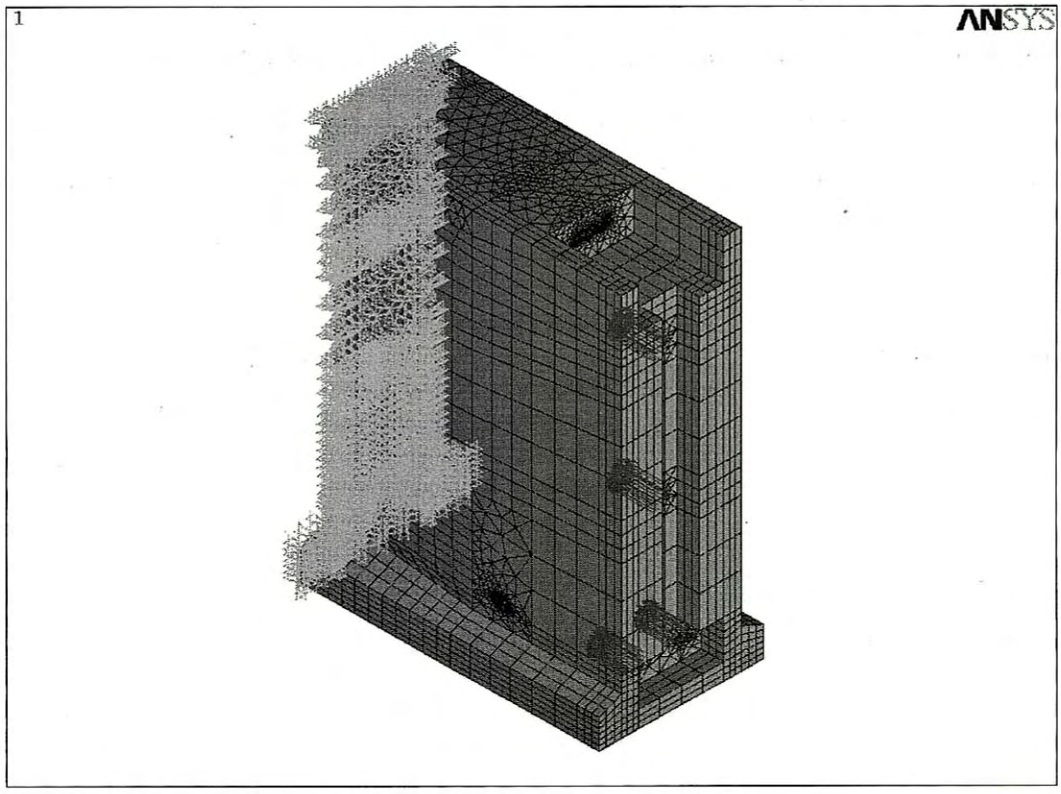


그림 3.56 하중재하도 및 지점조건

하중조건은 정착부 절점에 분포하중으로 도입하였으며, 구조계산서의 내용과 동일하게 복부 텐던에 각각 2800kN, 하부플랜지 텐던에 각각 2700kN씩 적용하였다. 경계조건은 경간 중앙쪽 절단면의 전체 절점에서 모든 자유도를 구속하는 것으로 적용하였다.

아래의 그림에는 교축방향 발생응력의 분포를 나타내었다.

Color contour로 표시된 부분이 압축력이 작용하는 부분이며, 회색으로 표시된 부분에는 인장력이 작용하고 있다. 발생응력의 범위는-13.3MPa ~ +8.32MPa 이다. 최대 압축응력은 허용치보다 작으며, 인장응력은 지압면의 뒤쪽에 발생하고 있어 구조적인 문제가 없을 것으로 판단된다.

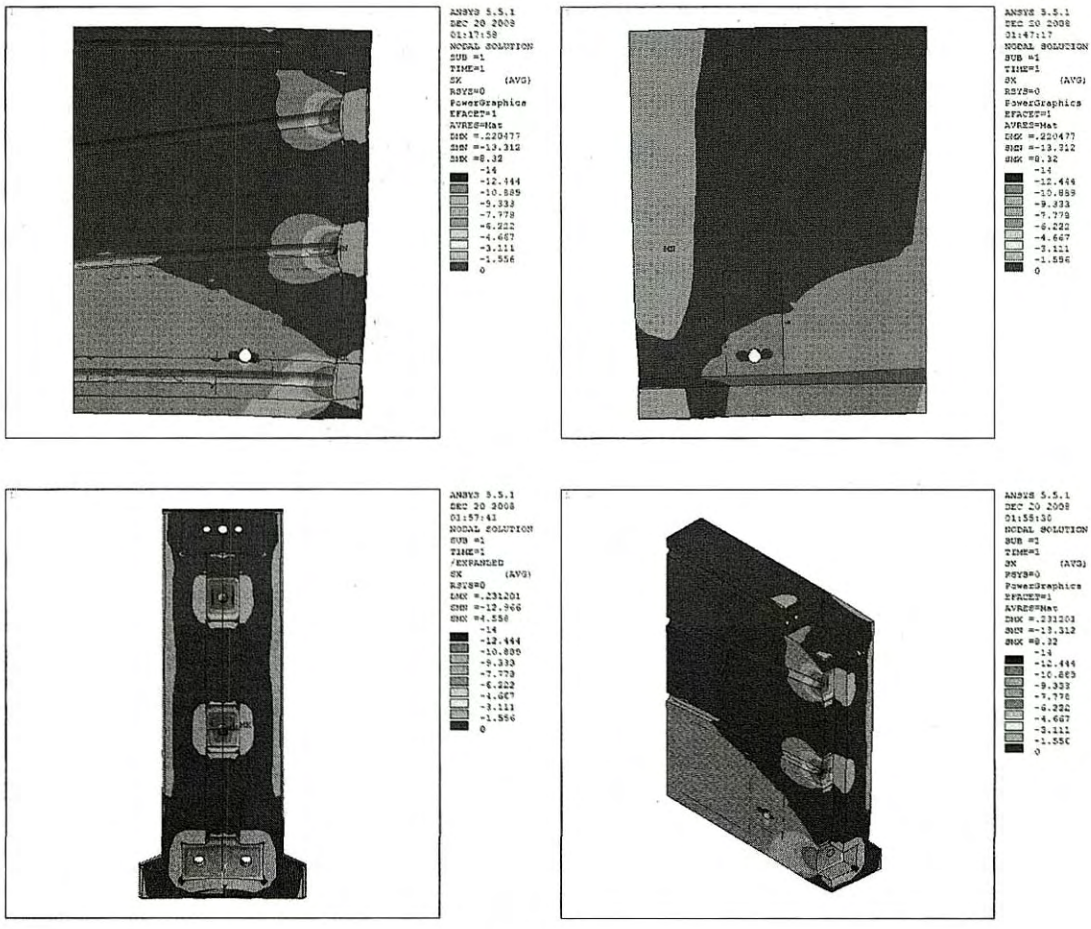


그림 3.57 교축방향 응력분포도

연직방향 발생응력의 분포를 본 결과 발생응력의 범위는 -12.2MPa ~ +3.3MPa 이며, 인장응력은 단부 표면에 할렬력으로 작용하고 있다. 이 때, 인장응력의 발생영역을 color contour로 표시하고, 압축응력은 회색으로 나타내었다.

하단 긴장재와 중간 긴장재의 1/2 위치 (하단으로부터 700mm) 평면에 작용하는 인장응력을 단면에 대해 적분하여 총 할렬력을 계산하면 73.4kN이 된다.

철근의 허용응력을 고려할 경우 45.88cm^{2}으로 적절한 철근배근을 통하여 안전성을 확보할 수 있다.

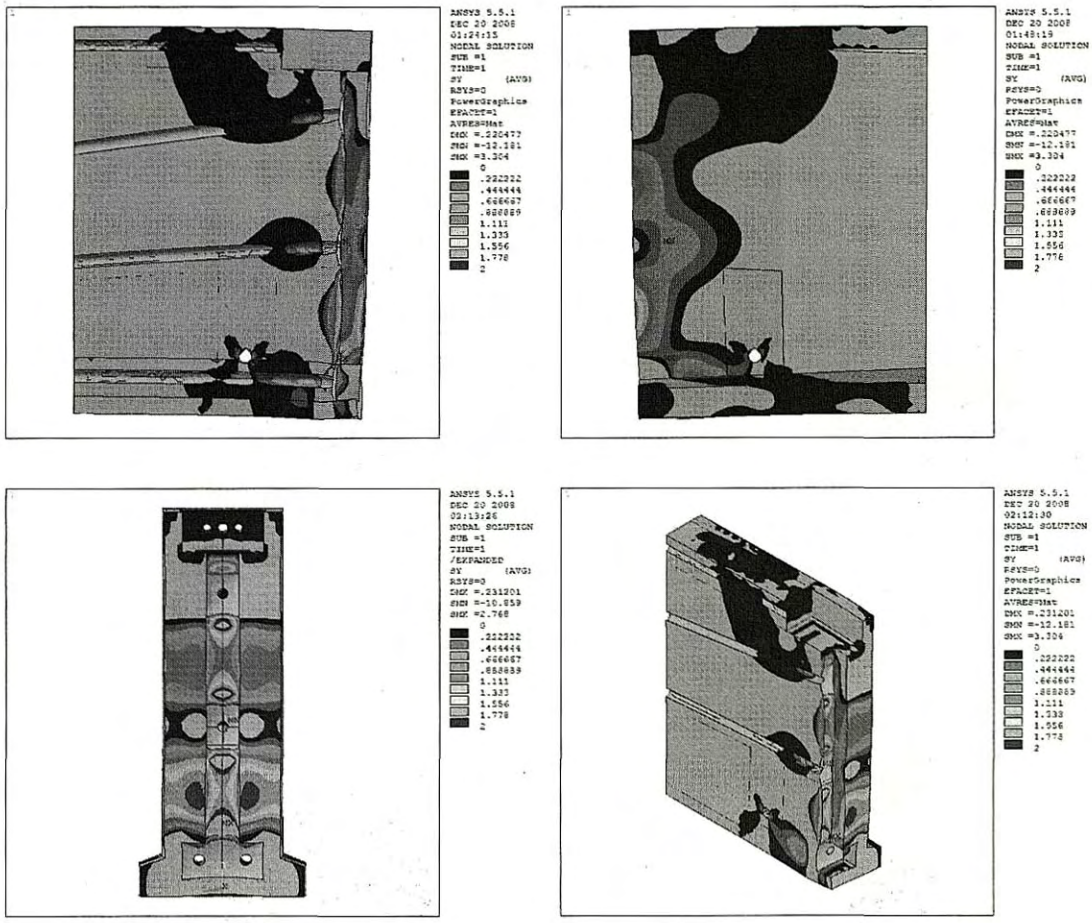


그림 3.58 교축직각방향 응력분포도

나. 인양시 인양부 상세해석

인양 시 인양홀 주위에 발생하는 응력 및 하중상태를 모사하기 위해 인양홀의 상면에서 연직방향으로 변위를 구속하였는데, 인양홀 상면을 180도를 구속한 경우(case1)과 인양홀 상면의 60도 구간을 구속한(Case2)에 대해 결과를 조사하였으며, 콘크리트 블록의 전면과 후면의 교축방향 변위를 구속하고 거더중량의 1/2를 등분포 하중으로 재하하였다.

1) case1

자중의 재하에 의해 인양홀의 아래쪽으로 y방향 인장응력, 위쪽으로 y방향 압축응력이 주로 발생하게 되며, 최대값은 그림6에 나타낸 바와 같이 압축응력 2.695MPa, 인장응력7.047MPa로 나타났다. 최대 인장응력은 인양홀의 내면에서 발생하며, 콘크리트 내부로 발생되는 인장응력은 대부분 2MPa 이내로 나타났다. 인장응력이 발생은 인양홀의 아래쪽으로 약 100mm 구간에 나타났으며, 하부플랜지가 시작되는 구간에서부터는 인장응력이 거의 발생하지 않았다.

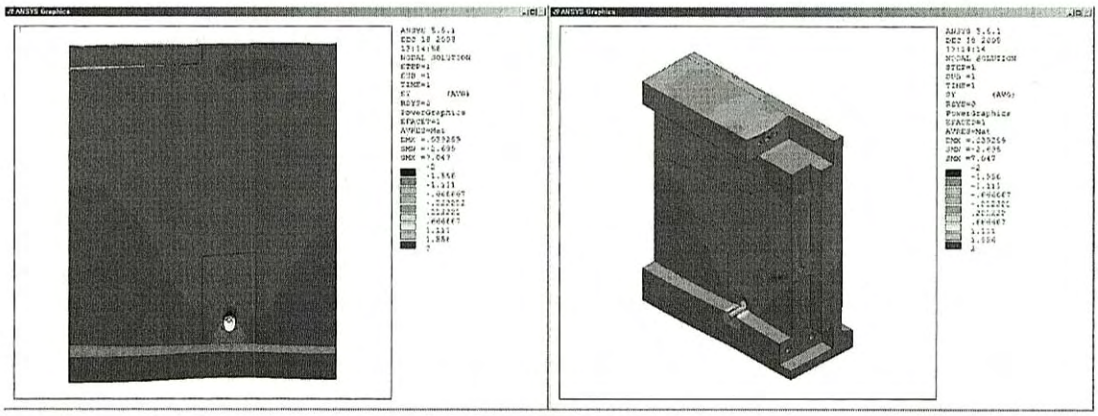


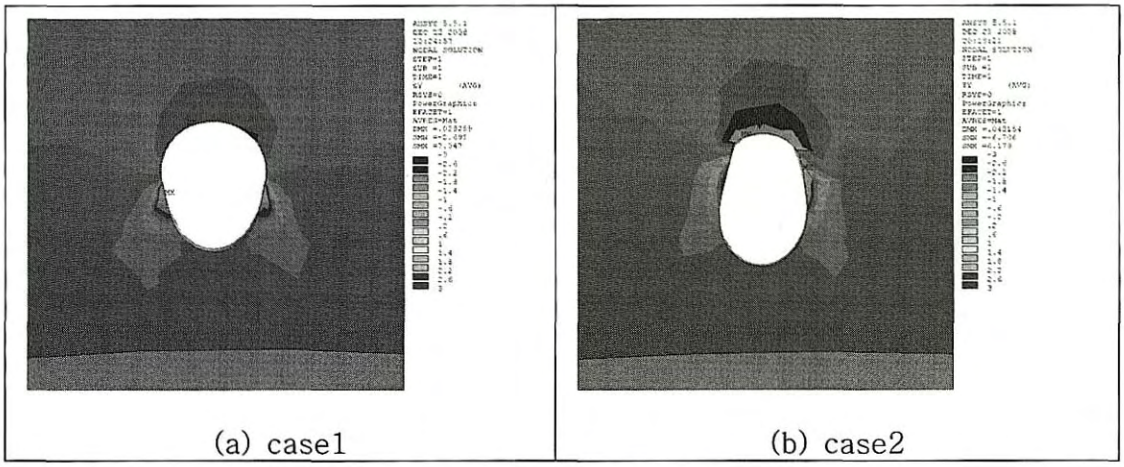
그림 3.59 인양 시 인양홀 주변의 연직방향 응력분포

2) case2

실제로 인양홀 내부에 삽입된 강봉에 의해 인양하는 경우에는 인양홀 내면에 직각인 방향으로만 변위의 구속이 발생할 것이므로, 이러한 지점조건에 최대한 근사하게 모사하기 위해 case2를 수행하였다.

Case2에서는 인양홀의 상면 약 60도에 해당되는 절점에서만 y방향 변위를 구속하였으며, case1과 case2의 변위 구속조건을 위의 그6에 비교하였다.

다음의 그림에서 비교한 것과 같이 case2에서는 인양홀 상부에 발생하는 압축력의 크기가 증가하며(-2.7MPa -6.7MPa), 홀 아래쪽으로 발생하는 인장응력의 크기는 감소한다(7.0MPa 6.2MPa). 이는 허용응력 이내이므로 안전할 것으로 나타났다.



(a) case1　　(b) case2

그림 3.60 case별 응력계산 결과 비교

다. 강봉 연결구 상세해석

1차년도 연구에서 지점조건으로만 모델링 한 것을 접촉조건을 모사하여 해석을 수행하였다. 강봉 연결구는 10절점 4면체 solid요소를 사용하여 모델링하였다. 하중 및 경계조건으로는 강봉이 지지되는 면의 모든 자유도를 구속하고 강선의 정착구가 접하는 면에 긴장력에 해당되는 하중(1200kN)을 분포하중으로 재하하였다.

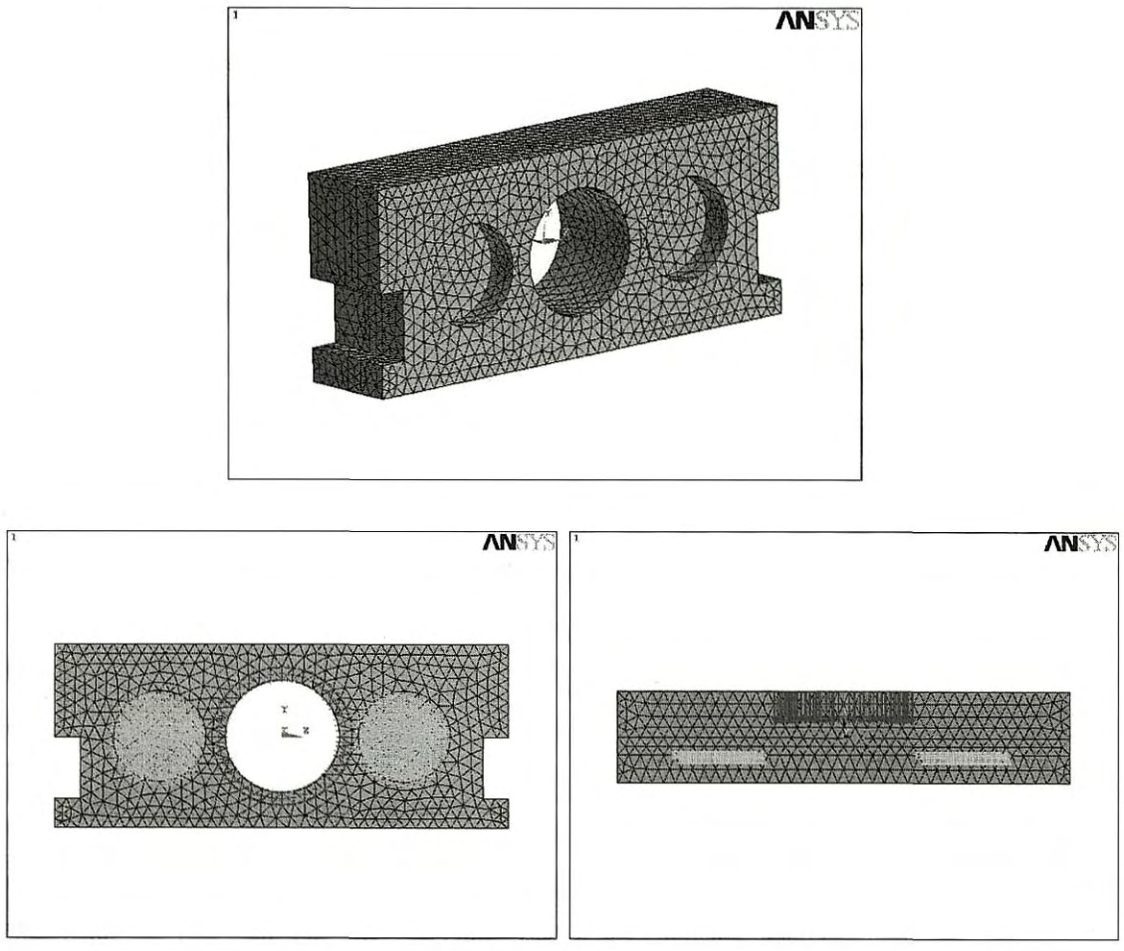


그림 3.66 강봉연결구 해석모델 및 지점조건, 하중재하도

해석을 수행한 결과 변위는 긴장력의 도입에 의해 교축방향으로 변위가 발생하며, 그 크기는 최대 0.2mm로 계산되었다.

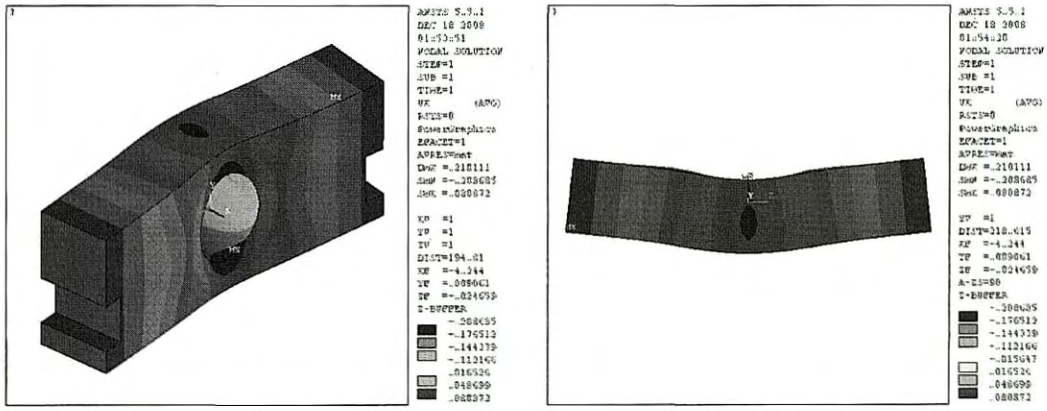
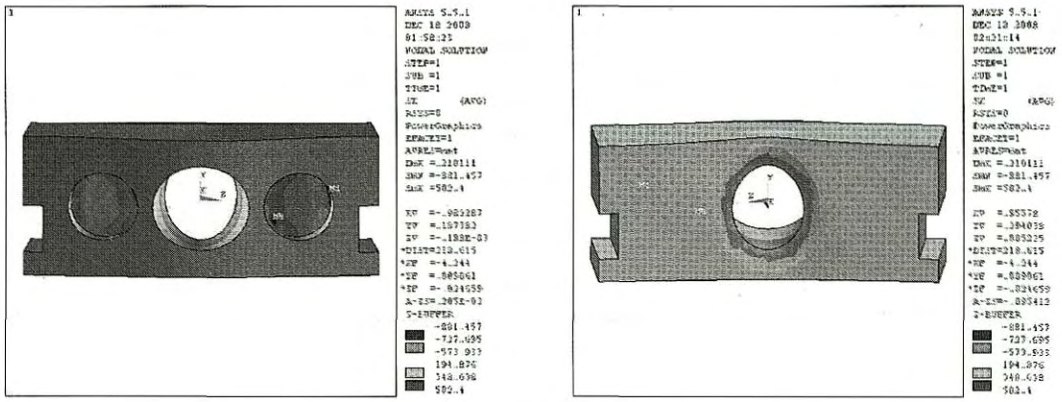


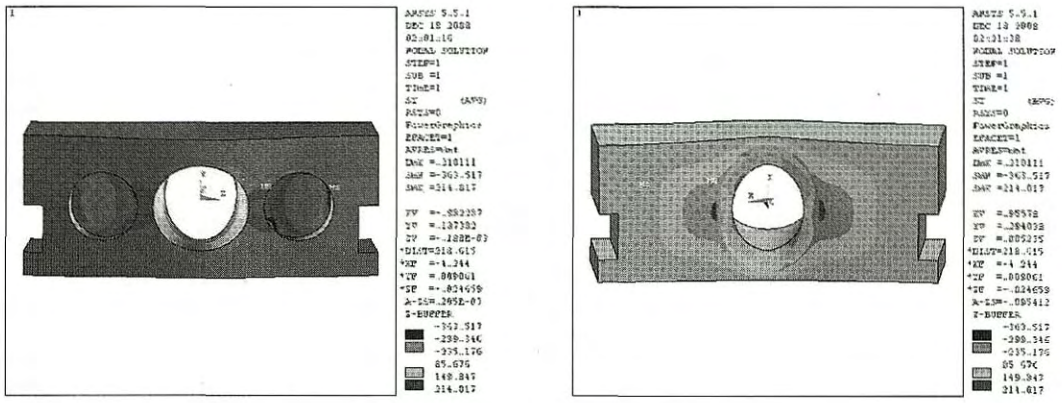
그림3.67 강봉 연결구 발생 변위

교축방향(x) 발생응력은 -881.5 ~ 502.4 MPa, 연직방향(y) 발생응력은 -363.5~214.0MPa, 교축직각방향(z) 발생응력은 -678.3~326.9MPa로 계산되었으며, 최대값이 발생하는 위치는 강봉의 지지면 주변 또는 하중재하면 주변으로 나타났다. 국부적으로 상당히 높은 수준의 응력이 계산되었으나 실제 구조물에서는 연결구와 강봉 및 정착판이 접촉하는 조건으로 본 계산의 결과와 정확히 일치하는 조건이 아니므로 실제로 이와 같이 과도한 응력이 발생하지는 않을 것으로 판단된다.

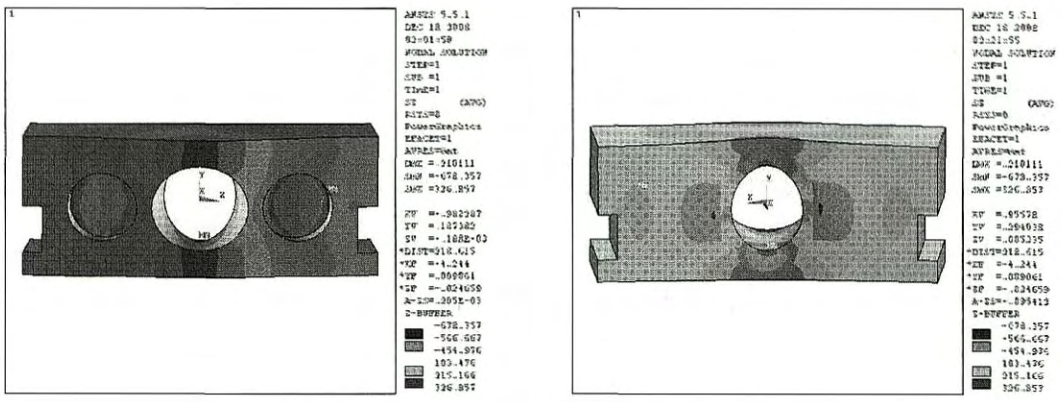
실제 상황을 보다 정확히 모사하기 위해 강봉과 정착판을 강체로 모델링하고 접촉조건을 도입한 해석을 수행하여 확인이 가능하다.



(a) 교축방향 (Sx)



(b) 연직방향 (Sy)



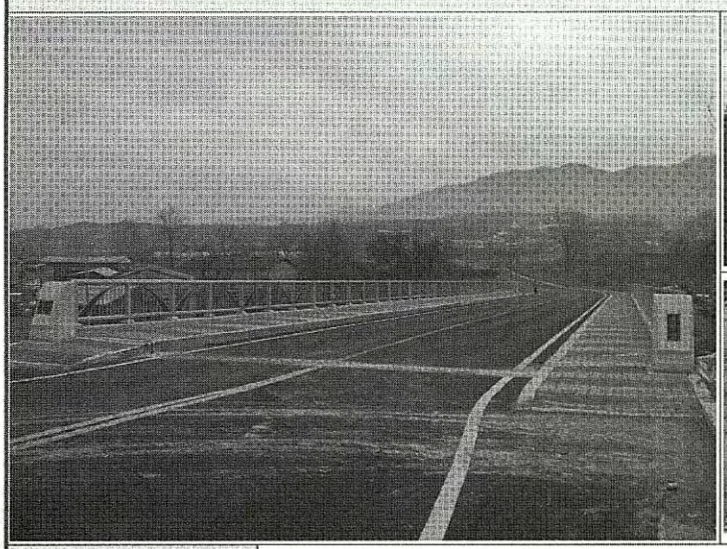
(c) 교축직각방향 (Sz)

그림3.68 강봉 연결구 발생응력

4. 일체긴장 PSC 거더교 현장재하시험

일체긴장 PSC거더교 현장재하시험 대상교량은 경기도 포천시 가산면 우금리에 위치한 가산 노블리제C.C 진입교량인 우금1교이다. 대상교량에 계측센서를 설치하고 데이터 획득시스템을 구성하여 시험차량을 이용한 정/동적 재하시험을 수행하였다. 측정된 데이터와 구조해석 및 기타자료를 이용한 비교분석을 통해 교량 시공의 정확성과 안정성을 평가하였다. 우금1교는 프리스트레스를 이용하는 저형고/장지간형 PSC거더(Bicon거더)로서, 다단계 긴장이 불필요하며, 도심이 낮아 시공안전성과 사용성을 제고한 신형식 거더이다.

교량 전경



교량명	우금1교
교량형식	Bicon거더 (Bi-Moment Prestressed Concrete Girder)
교장	35m @ 2 = 70m
교폭	13m (왕복2차선)

그림 3.69 현장재하시험 대상교량

가. 계측센서 및 계측위치

현장재하시험을 위한 측정센서, 장비 및 계측센서 설치 수량은 아래의 표

3.21~3.23과 같으며, 그림 3.70 및 그림 3.71에 계측센서의 설치 위치를 나타내었다.

표 3.22 계측센서

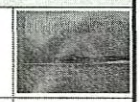
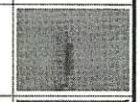
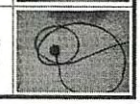
구분	모델명	수량	비고	
변형률계	KFEL-5-120	16ea	철근설치	
	KFEL-5-120	12ea	강봉설치	
	KC-70-120	5ea	콘크리트설치	
	KM-100B	4ea	콘크리트 매립설치	
변위계	CDP-50	5ea	각 거더의 하부	
가속도계	ASV-2GA	3ea	상부슬래브에 설치	

표 3.23 계측장비

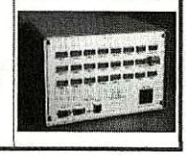
구분	모델명	사양	비고
정적 데이터로거	TDS-602	-TDS-602 : 30 channels ASW-30C Swithing Box 30 channels	
동적 데이터로거	Netpod 4001	16 channels (full) ADC resolution: 24bit@0.1-1KHz sample rate 사용온도범위 : -25~70℃	

표 3.24 계측센서 설치수량

구분		정/동적 재하시험				비고
		중앙부	강봉 커플러 지점	지점부	거더 하부	
Girder 1	변형률계(철근)	4		4		KFEL-5-120
	변형률계(강봉)	2	4			KFEL-5-120
	변형률계(매립)	2				KM-100B
	변형률계(콘크리트)				1	KC-70-120
	변위계	1				CDP-50
	가속도계	2				1/2, 1/4
Girder 2	변형률계(철근)	4				KFEL-5-120
	변형률계(콘크리트)				1	KC-70-120
	변위계	1				CDP-50
Girder 3	변형률계(철근)	4		4		KFEL-5-120
	변형률계(강봉)	2	4			KFEL-5-120
	변형률계(매립)	2				KM-100B
	변형률계(콘크리트)				3	KC-70-120
	변위계	1				CDP-50
Girder 4	변위계	1				CDP-50
Girder 5	변위계	1				CDP-50
	가속도계	1				1/2

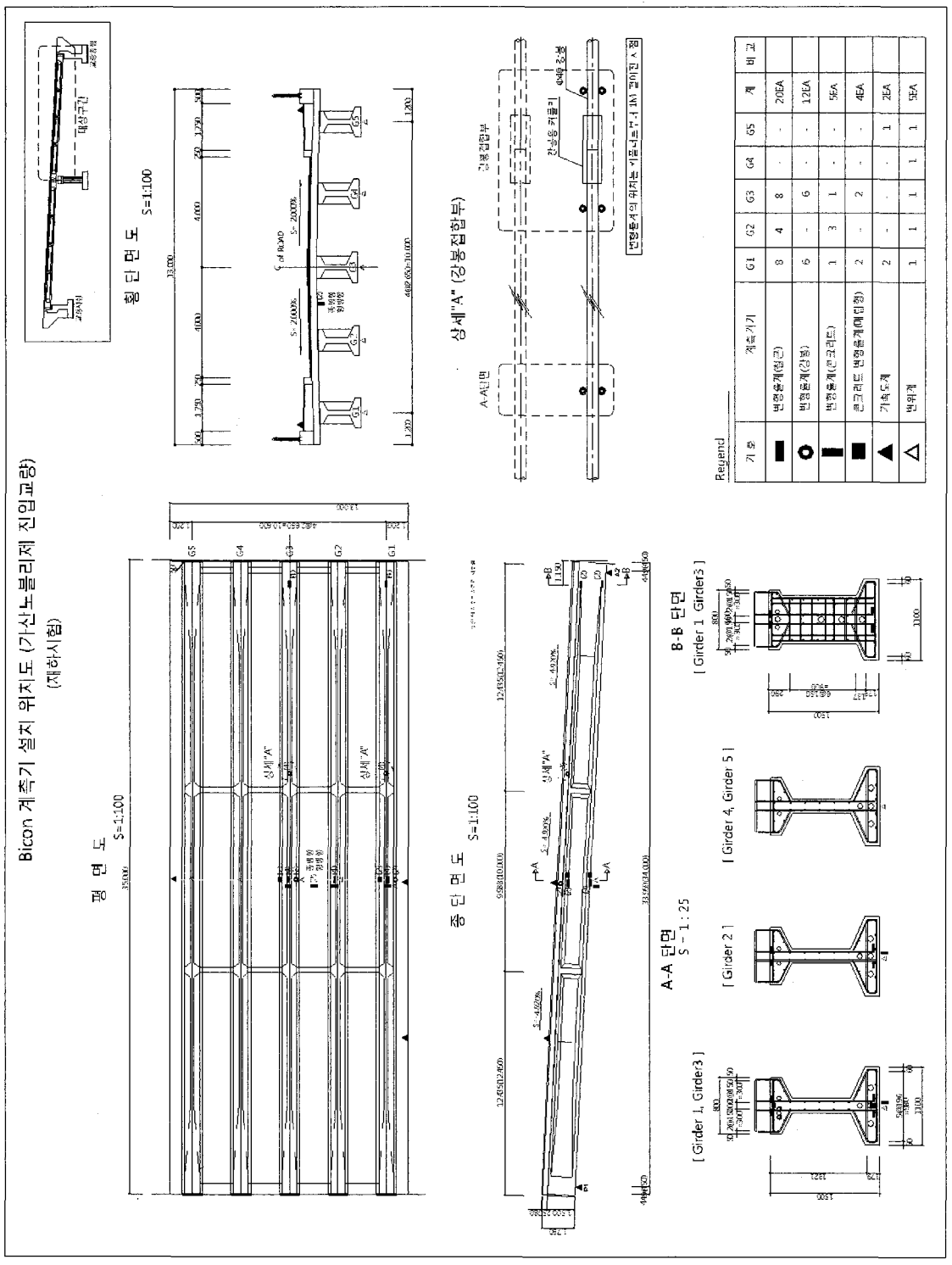


그림 3.70 계측센서 설치위치도 I

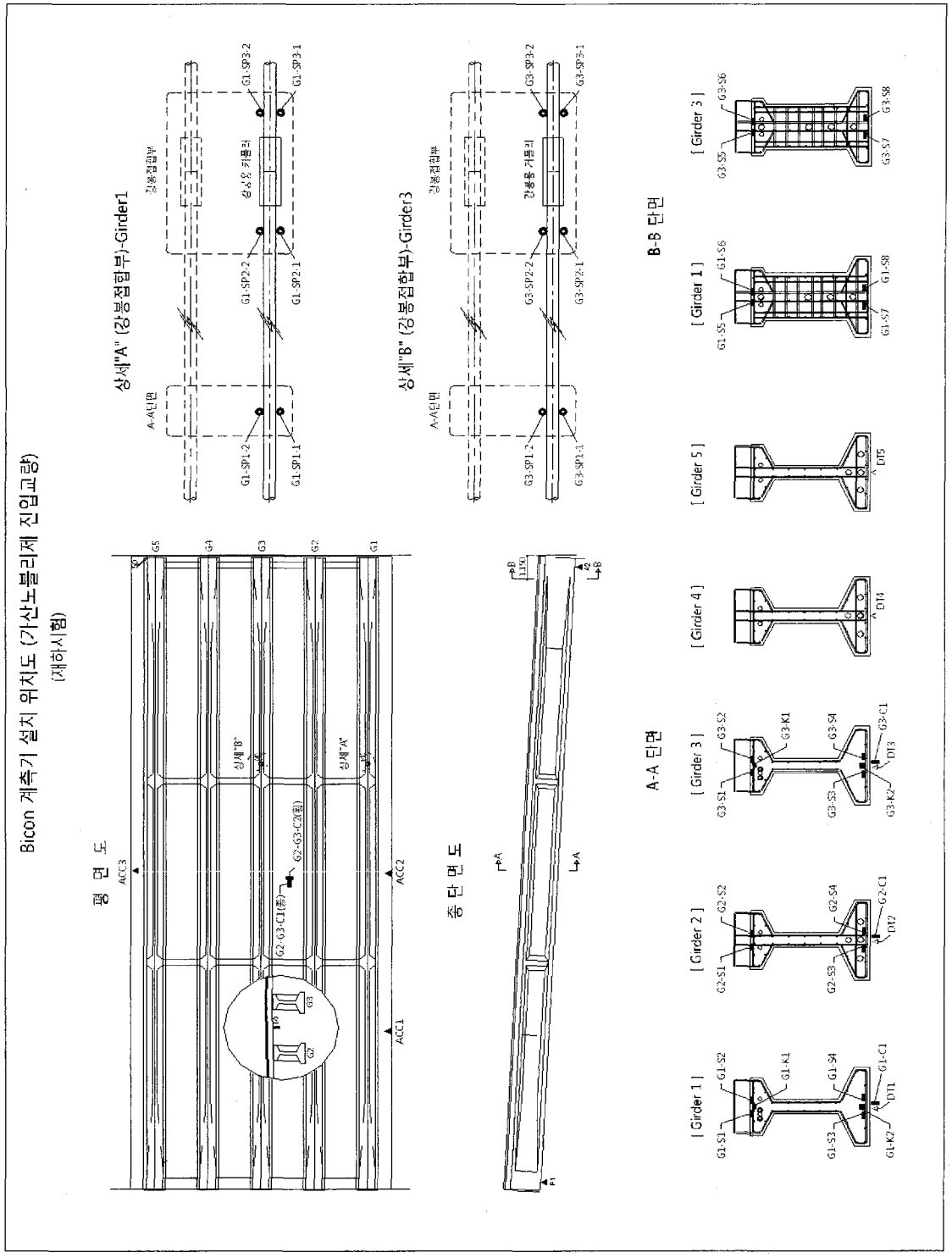


그림 3.71 계측센서 설치위치도 Ⅱ

나. 정적 차량 재하시험

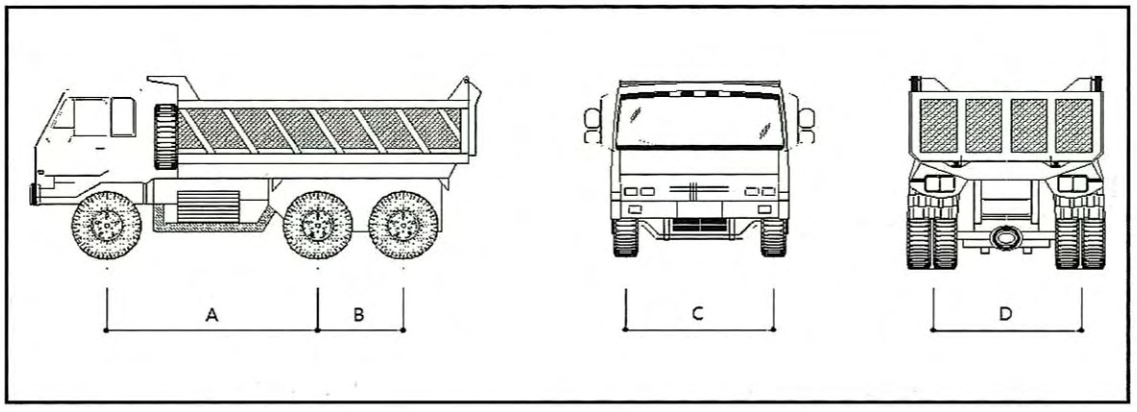
정적재하시험은 작용외력에 대한 조사대상 교량의 정적거동상태를 파악하고 내하력평가를 위한 처짐 및 변형률의 응답비 등을 구하며, 향후 유지관리를 위한 초기 계측치를 확보하기 위하여 실시한다.

정적재하시험은 미리 선정된 지점에 측정하고자 하는 목적에 맞는 센서를 부착하고 시험차량을 교량상의 임의의 위치에 재하시켜 측정지점에 발생하는 변형률 및 처짐 등을 측정하여 교량의 종·횡방향 정적거동상태를 파악한다. 이때 각종 센서의 부착위치 및 시험차량의 재하위치는 전문기술자의 지식 및 경험에 의해 선정되며 대개는 최대응답발생 부위가 된다.

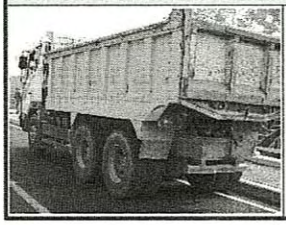
(1) 시험차량 제원

정/동적 재하시험의 시험차량제원은 아래의 표 3.25과 같다.

표 3.25 시험차량 제원



기호	A	B	C	D
치수(m)	3.26	1.30	2.00	1.85

시험차량	전륜(kg)	중륜+후륜(kg)	총중량(kg)
 	6,090	18,770	24,860

(2) 하중경우

정재하시험의 하중경우는 아래의 그림 3.72과 같으며, 정재하시험 위치는 대상경간의 중앙에 차량을 재하 시키고, 모든 하중경우에 대하여 2회에 걸쳐 반복하여 수행한다. 차량은 아래의 그림과 같이 중앙경간에 차량의 중륜이 재하되도록 한다.

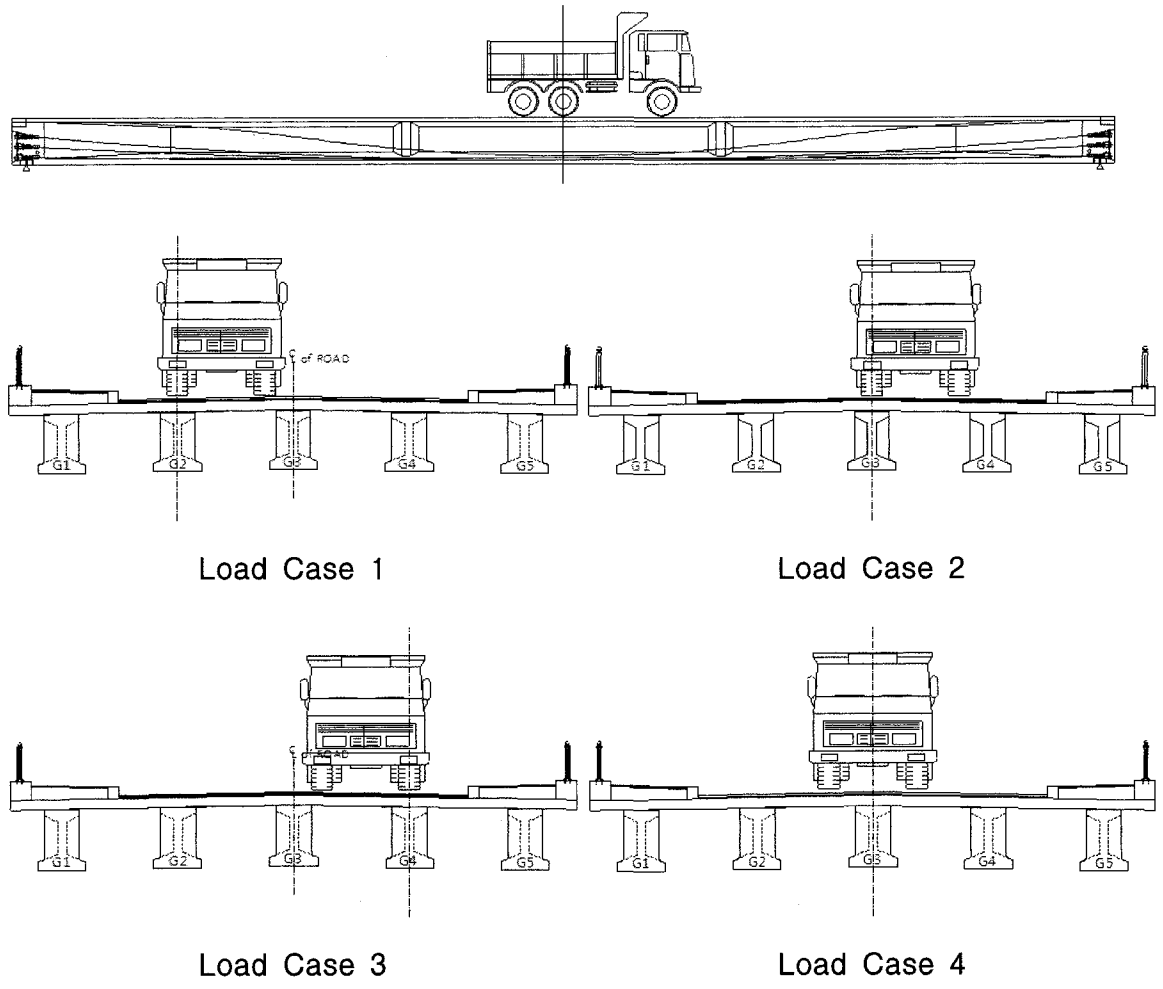


그림 3.72 정적 재하시험 하중 경우

(3) 처짐 및 변형률 측정결과

각 하중경우별 측정된 변위 및 변형률값은 차량하중재하 이전 안정된 상태의 초기치 값과 차량재하 이후의 계측값의 차로 구하였다. 변위계는 하향처짐(+), 측정단위는 (mm)이며, 변형률은 압축(+), 인장(-) 측정단위(μStrain)이다.

표 3.26 처짐 및 변형률 측정결과

구분	LC1		LC2		LC3		LC4		비고
	1회	2회	1회	2회	1회	2회	1회	2회	
dt1	1.61	1.64	0.80	0.81	0.64	0.61	1.06	1.04	
dt2	1.70	1.71	1.15	1.17	1.04	0.99	1.36	1.35	
dt3	1.49	1.49	1.57	1.57	1.53	1.47	1.62	1.61	mm
dt4	1.04	1.03	1.60	1.60	1.76	1.67	1.40	1.40	
dt5	0.66	0.64	1.43	1.43	1.71	1.61	1.15	1.15	
g1-k1	6	6	2	2	2	2	5	5	
g1-k2	-18	-19	-8	-8	-6	-6	-11	-11	
g3-k1	8	8	8	7	7	7	8	8	
g3-k2	-22	-22	-23	-26	-23	-21	-27	-27	
g1-s1	4	5	1	1	0	1	1	4	
g1-s2	4	5	2	2	1	-1	1	2	
g1-s3	-19	-18	-9	-9	-8	-9	-14	-9	
g1-s4	-21	-18	-9	-8	-7	-8	-13	-12	
g1-s5	-4	-2	-2	-1	-2	-1	0	-1	
g1-s6	-1	-2	0	-2	-4	-2	-1	-1	
g1-s7	-2	-1	-4	-2	-4	-4	-2	-2	
g1-s8	-2	0	-1	-2	-2	-2	-2	-1	
g1-c1	-19	-20	-7	-11	-9	-6	-11	-12	
g2-s1	6	5	2	4	2	2	5	4	
g2-s2	5	6	4	4	1	4	5	5	μStrain
g2-s3	-26	-25	-12	-18	-19	-11	-14	-15	
g2-s4	-25	-26	-11	-13	-12	-12	-15	-13	
g2-c1	-34	-35	-14	-20	-21	-13	-22	-34	
g3-s1	8	6	6	6	7	6	7	7	
g3-s2	8	6	5	6	5	5	7	8	
g3-s3	-21	-20	-23	-23	-22	-22	-26	-26	
g3-s4	-22	-22	-23	-22	-20	-21	-26	-26	
g3-s5	-1	-4	-1	-4	-2	0	-4	-2	
g3-s6	-2	0	0	0	-2	0	1	1	
g3-s7	0	-1	-2	0	-2	0	0	-1	
g3-s8	0	-2	-2	-1	-4	-1	-1	0	
g3-c1	-22	-23	-25	-26	-23	-21	-25	-26	
g2-g3-c1	0	-9	0	0	1	5	1	-5	
g2-g3-c2	-63	-78	-7	-9	4	9	-47	-49	

(4) 하중 횡분배 특성

각 거더에 설치된 5개의 변위계(DT1~DT5)를 통하여 하중 횡분배 특성을 분석하였다. 다음은 그 결과를 나타내고 있다.

표 3.27 하중 횡분배 특성(mm)

하중경우	Girder1 DT1	Girder2 DT2	Girder3 DT3	Girder4 DT4	Girder5 DT5	비고
LC1-1	1.61	1.70	1.49	1.04	0.66	
LC1-2	1.64	1.71	1.49	1.03	0.64	
평균	1.63	1.71	1.49	1.03	0.65	
LC2-1	0.80	1.15	1.57	1.60	1.43	
LC2-2	0.81	1.17	1.57	1.60	1.43	
평균	0.81	1.16	1.57	1.60	1.43	mm
LC3-1	0.64	1.04	1.53	1.76	1.71	
LC3-2	0.61	0.99	1.47	1.67	1.61	
평균	0.63	1.01	1.50	1.71	1.66	
LC4-1	1.06	1.36	1.62	1.40	1.15	
LC4-2	1.04	1.35	1.61	1.40	1.15	
평균	1.05	1.35	1.62	1.40	1.15	

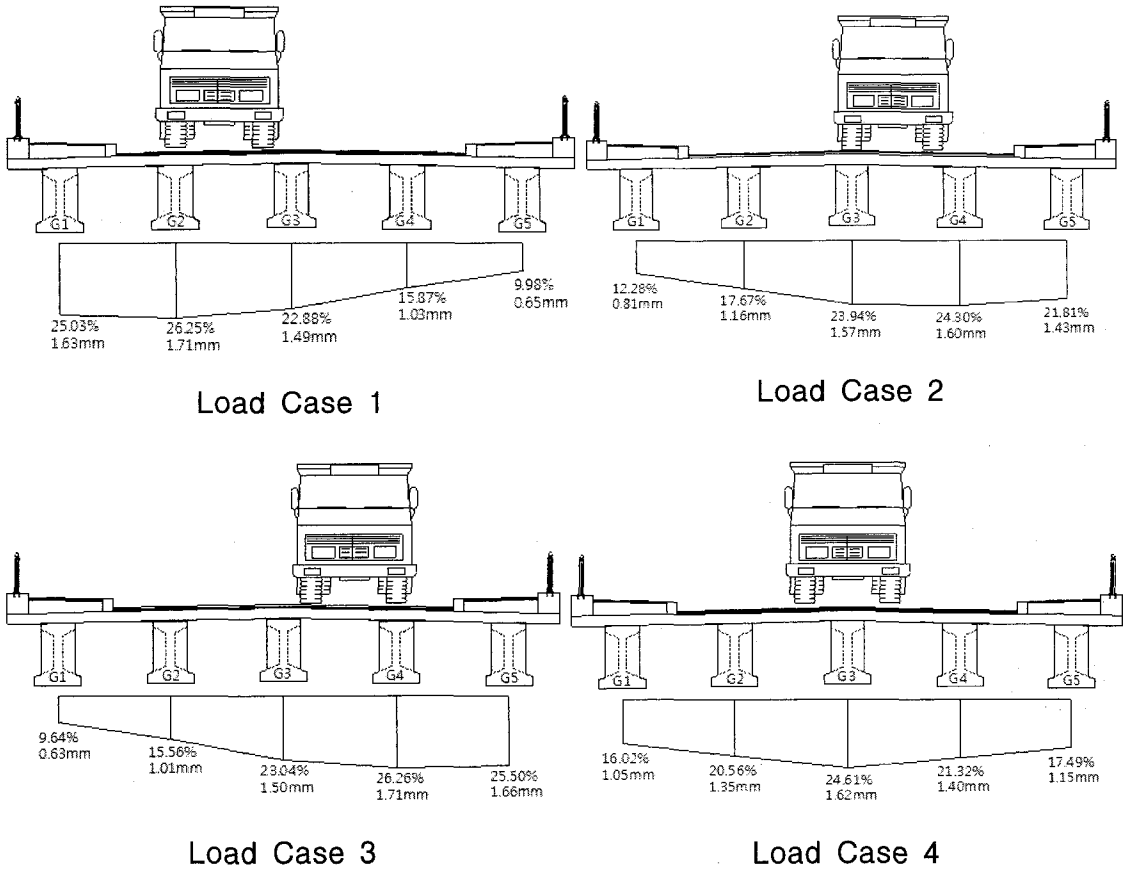


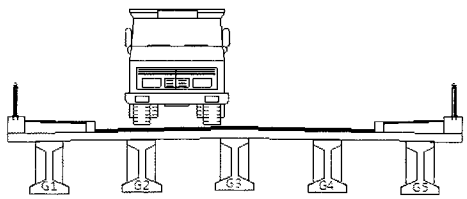
그림 3.73 하중 횡분배 특성

표 3.28 하중 횡분배 특성(%)

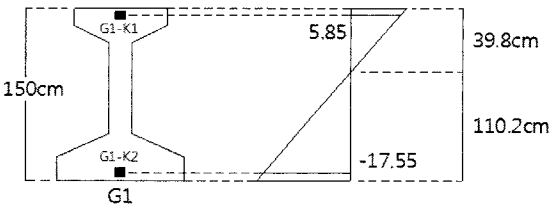
하중경우	Girder1 DT1	Girder2 DT2	Girder3 DT3	Girder4 DT4	Girder5 DT5	비고
LC1-1	24.84	26.19	22.95	15.93	10.08	
LC1-2	25.22	26.30	22.80	15.80	9.87	
평균	25.03	26.25	22.88	15.87	9.98	
LC2-1	12.22	17.57	24.00	24.35	21.86	
LC2-2	12.34	17.76	23.89	24.25	21.76	
평균	12.28	17.67	23.94	24.30	21.81	%
LC3-1	9.62	15.49	22.92	26.33	25.63	
LC3-2	9.65	15.63	23.16	26.19	25.37	
평균	9.64	15.56	23.04	26.26	25.50	
LC4-1	16.15	20.59	24.58	21.21	17.48	
LC4-2	15.89	20.54	24.64	21.43	17.50	
평균	16.02	20.56	24.61	21.32	17.49	

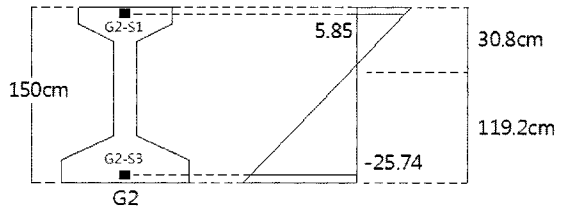
(5) 중립축 위치

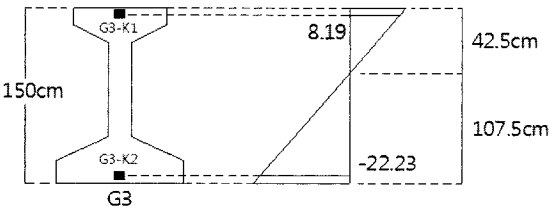
대상 시험구간의 G1~G3구간에 차량을 재하 한 하중경우(LC1)에 대해서 G1과 G3는 거더 상·하부 매립된 콘크리트변형률 데이터를 이용, G2는 거더 상·하부의 철근변형률 데이터를 이용하여 단면의 중립축 위치를 산정하였으며, 그 결과는 아래와 같다.



Load Case1-1







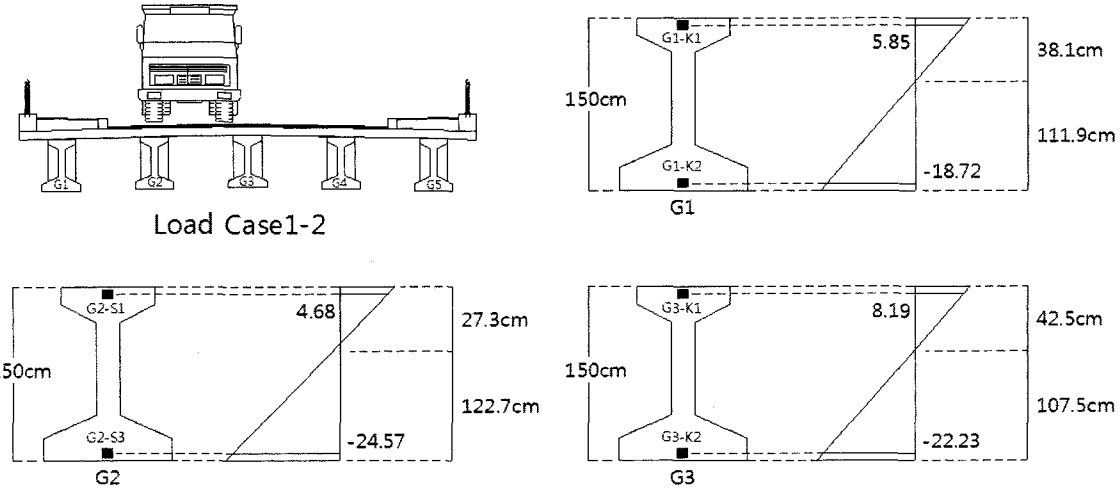


그림 3.74 중립축 위치

표 3.29 중립축 위치 산정

구분		계측치(cm)			계산치	비고
		LC1-1	LC1-2	평균	구조해석	
Girder 1	Y(b)	110	112	111	105	Y(b):하연단거리 Y(t):상연단거리
	Y(t)	40	38	39	45	
Girder 2	Y(b)	119	123	121	106	
	Y(t)	31	27	29	44	
Girder 3	Y(b)	108	108	108	105	
	Y(t)	43	43	43	45	

다. 동적 차량재하시험

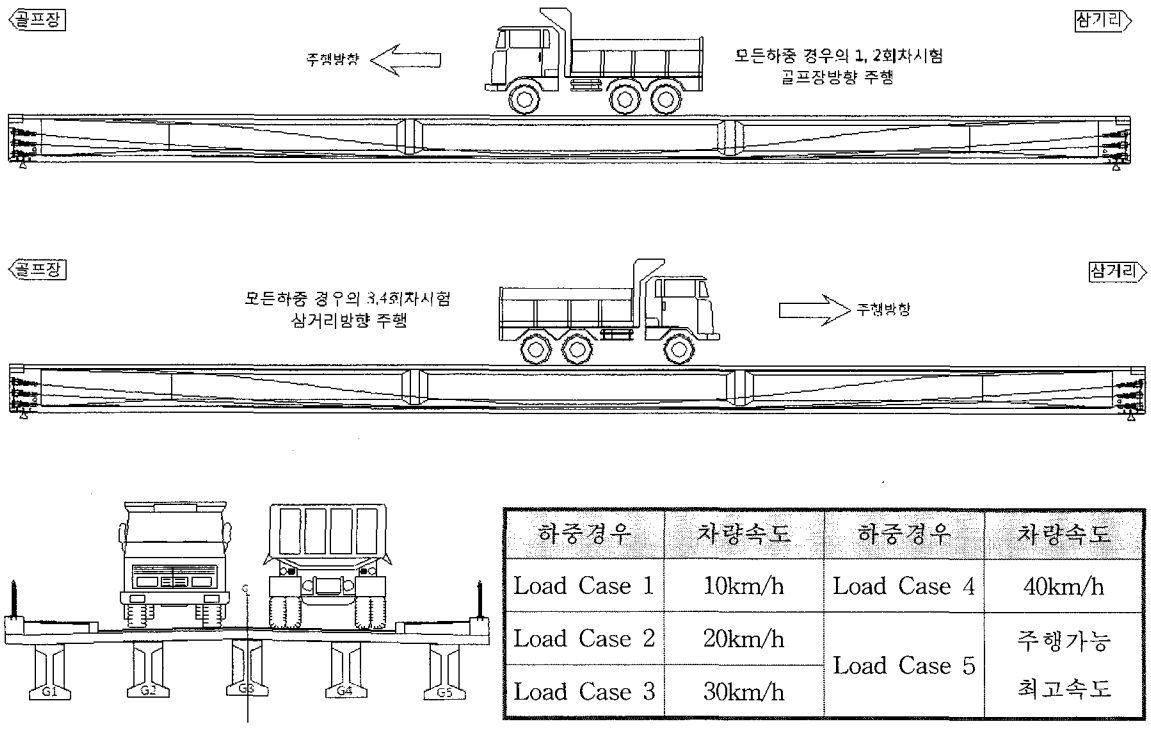
주행차량에 의한 교량의 동적거동을 파악하는 것은 실제 교량이 가지고 있는 저항능력, 강성 및 사용성의 한계를 평가하는데 매우 중요하다. 이와 같은 목적을 위해 실시되는 동적시험은 시험차량의 주행에 의해 유발되는 동적효과 및 제반 동특성을 추정하여 조사대상교량의 안전성 및 사용성 평가와 향후 유지관리를 위한 기초자료를 도출하고자 실시한다. 본 과업에서는 동재하에 따른 교량의 변형률, 변위 및 진동수를 측정하도록 한다.

(1) 시험차량 제원

동적 차량재하시험에 사용된 차량은 정적 차량재하시험에 사용된 차량과 동일하다.

(2) 하중경우

동재하시험의 하중경우는 아래의 그림에 나타내었다. 동재하시험의 경우, 차선을 기준으로 주행하며 모든 하중경우에 대하여 2회씩 반복하여 실험을 수행한다.



하중경우	차량속도	하중경우	차량속도
Load Case 1	10km/h	Load Case 4	40km/h
Load Case 2	20km/h	Load Case 5	주행가능 최고속도
Load Case 3	30km/h		

그림 3.75 동적 재하시험 하중 경우

Load Case 5의 주행가능 최고속도는 현장 주행결과, LC5-1(골프장방향 주행)이 55km/h, LC5-2(삼거리방향 주행)이 43km/h로 측정되었다.

(3) 연직가속도 측정결과

연직가속도 측정결과 최대가속도는 Load Case 5에서 나타났다. 연직가속도는 100Hz의 빈도(Sampling rate)로 측정, 분석하였으며, 각 측정 속도별 연직가속도는 아래와 같다.

표 3.30 연직가속도 측정결과

하중경우			ACC1(1/4지점)	ACC2(1/2지점)	ACC3(1/2지점)
LC1-1	10km/h	골프장방향	0.0158	0.0257	0.0197
LC1-2			0.0098	0.0160	0.0156
LC1-3		삼거리방향	0.0221	0.0367	0.0253
LC1-4			0.0228	0.0373	0.0254
LC2-1	20km/h	골프장방향	0.0144	0.0233	0.0191
LC2-2			0.0121	0.0200	0.0226
LC2-3		삼거리방향	0.0199	0.0283	0.0322
LC2-4			0.0182	0.0317	0.0357
LC3-1	30km/h	골프장방향	0.0151	0.0218	0.0270
LC3-2			0.0133	0.0139	0.0171
LC3-3		삼거리방향	0.0136	0.0172	0.0139
LC3-4			0.0141	0.0197	0.0147
LC4-1	40km/h	골프장방향	0.0208	0.0354	0.0352
LC4-2			0.0255	0.0362	0.0401
LC4-3(주)		삼거리방향	-	-	-
LC4-4			0.0228	0.0278	0.0399
LC5-1	주행가능 최대속도	골프장방향	0.0299	**0.0433**	0.0404
LC5-2		삼거리방향	**0.0313**	0.0368	**0.0486**
최대값(g)			**0.0313**	**0.0433**	**0.0486**

※ LC4-3(주)은 측정시 노이즈 발생으로 분석에서 제외 시켰다.

다음은 연직가속도 측정결과를 나타낸다.

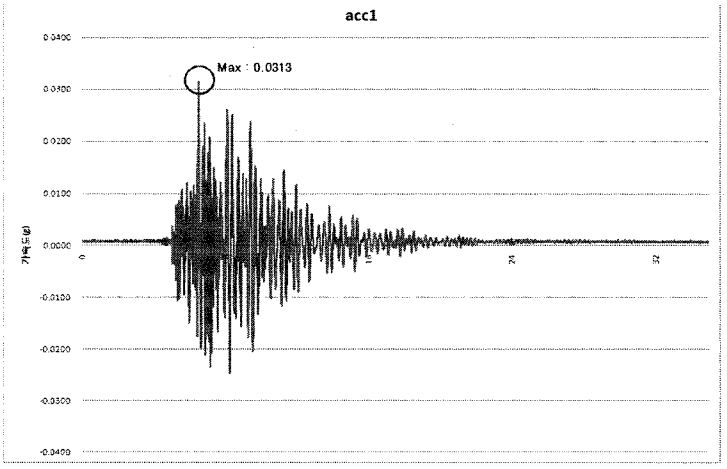


그림 3.76 ACC1(1/4) 최대 연직가속도 그래프

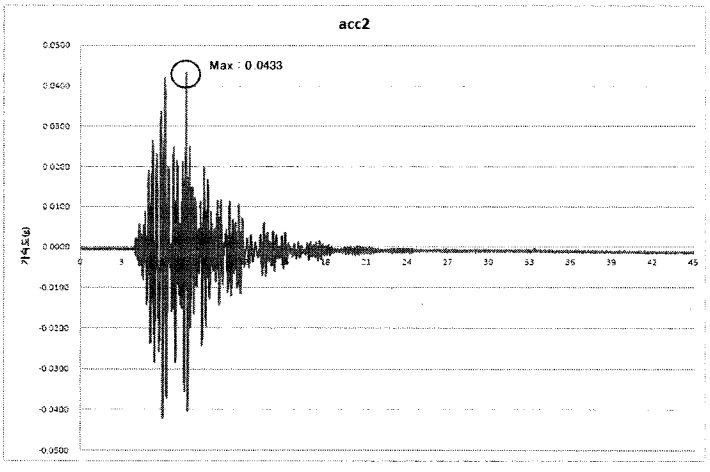


그림 3.77 ACC2(1/2) 최대 연직가속도 그래프

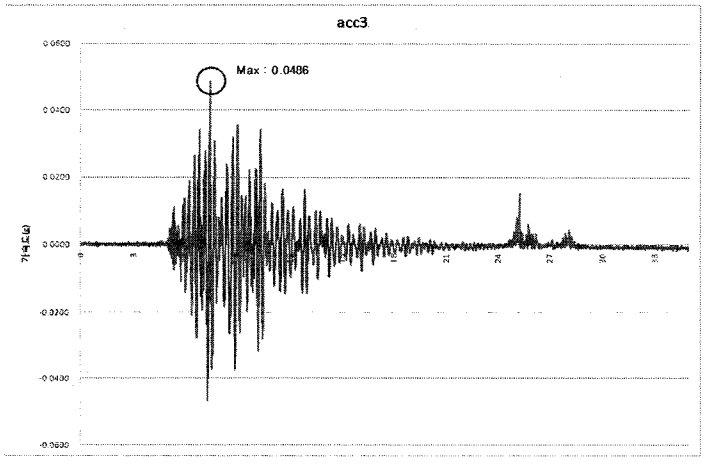


그림 3.78 ACC3(1/2) 최대 연직가속도 그래프

(4) 고유진동수 측정결과

대상교량의 고유진동수를 분석하기 위하여 경간 중앙의 가속도 신호를 이용하였다. 데이터 개수는 4096개로 FFT분석을 통하여 실측 고유진동수(1차 모드)를 산정하였다. 그 결과는 아래와 같다.

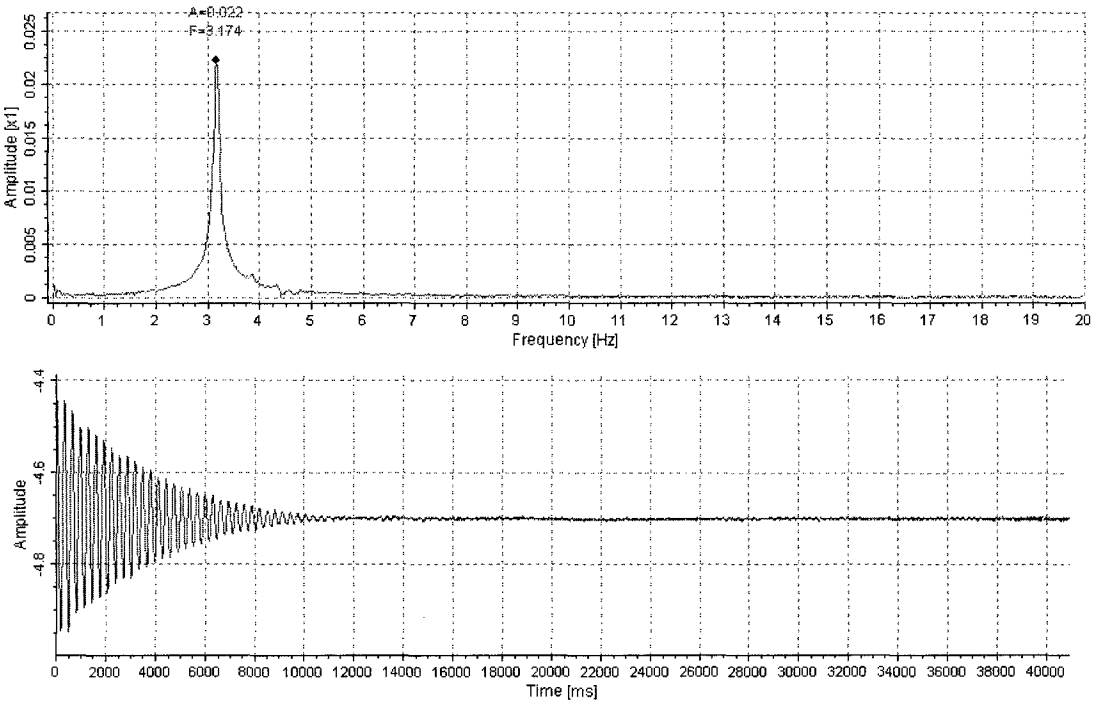


그림 3.79 고유진동수 측정결과(FFT분석) 그래프

표 3.31 고유진동수 측정결과

하중경우			ACC2(Hz)	고유진동수(1st)
LC1-1	10km/h	골프장방향	3.174	3.174 Hz
LC1-2			3.174	
LC2-3	20km/h	삼거리방향	3.174	
LC2-4			3.174	
LC3-1	30km/h	골프장방향	3.174	
LC3-2			3.194	
LC4-3(주)	40km/h	삼거리방향	-	
LC4-4			3.194	
LC5-1	최대속도	골프장방향	3.174	
LC5-2		삼거리방향	3.174	

※ LC4-3(주)은 측정시 노이즈 발생으로 분석에서 제외 시켰다.

(5) 중앙처짐 측정결과

시험차량 주행에 따른 거더 중앙부의 동적 처짐변위 측정결과는 아래의 표 3.24와 같다.

표 3.32 중앙처짐 측정결과

하중경우			Girder 1 DT1	Girder 2 DT2	Girder 3 DT3	Girder 4 DT4	Girder 5 DT5	비고
LC1-1	10km/h	골프장방향	0.804	1.178	**1.673**	**1.974**	**1.983**	단위: (mm) 하향처짐(+)
LC1-2			0.702	1.081	1.564	1.850	1.862	
LC1-3		삼거리방향	1.902	1.905	1.601	1.128	0.763	
LC1-4			**1.905**	**1.911**	1.619	1.167	0.787	
LC2-1	20km/h	골프장방향	0.600	0.977	1.481	1.792	1.812	
LC2-2			0.637	1.029	1.522	1.773	1.744	
LC2-3		삼거리방향	1.814	1.819	1.542	1.091	0.714	
LC2-4			1.831	1.804	1.513	1.084	0.694	
LC3-1	30km/h	골프장방향	0.712	1.123	1.641	1.955	1.980	
LC3-2			0.681	1.066	1.546	1.788	1.776	
LC3-3		삼거리방향	1.671	1.722	1.514	1.087	0.724	
LC3-4			1.763	1.778	1.508	1.055	0.661	
LC4-1	40km/h	골프장방향	0.703	1.047	1.512	1.805	1.839	
LC4-2			0.797	1.112	1.531	1.769	1.842	
LC4-3(주)		삼거리방향	-	-	-	-	-	
LC4-4			1.783	1.792	1.517	1.089	0.780	
LC5-1	최대 속도	골프장방향	0.742	1.079	1.519	1.735	1.717	
LC5-2		삼거리방향	1.735	1.726	1.504	1.096	0.742	
최대값			**1.905**	**1.911**	**1.673**	**1.974**	**1.983**	

※ LC4-3(주)은 측정시 노이즈 발생으로 분석에서 제외 시켰다.

동적 최대 처짐 분석 결과 최대 처짐 변위는 Load Case 1-4 (DT1, DT2의 경우), Load Case1-1(DT3, DT4, DT5의 경우)에 각각 나타났다.

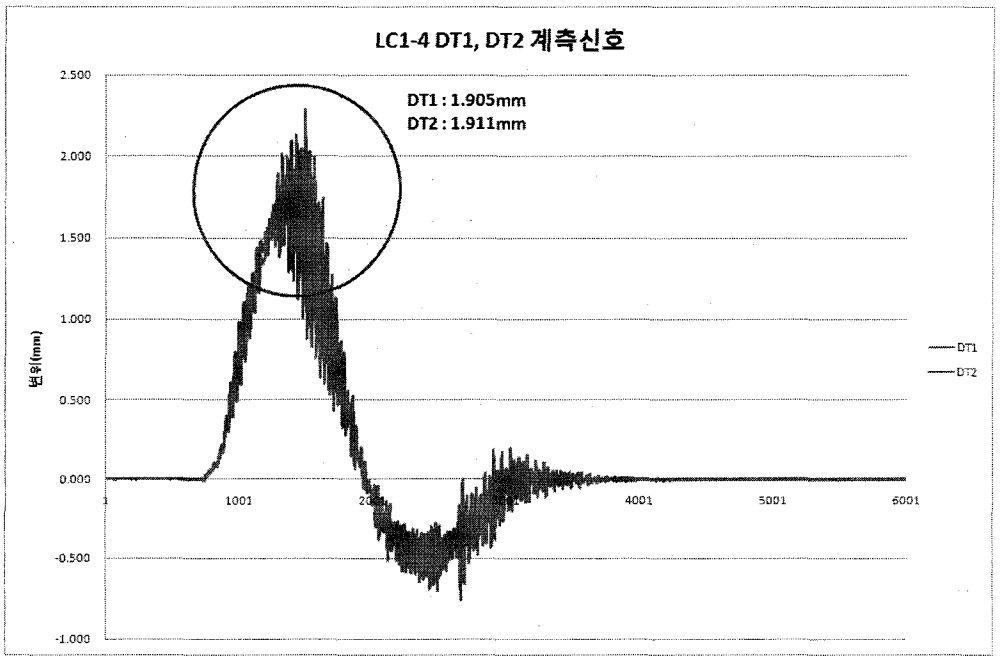


그림 3.80 중앙처짐(DT1, DT2) 그래프

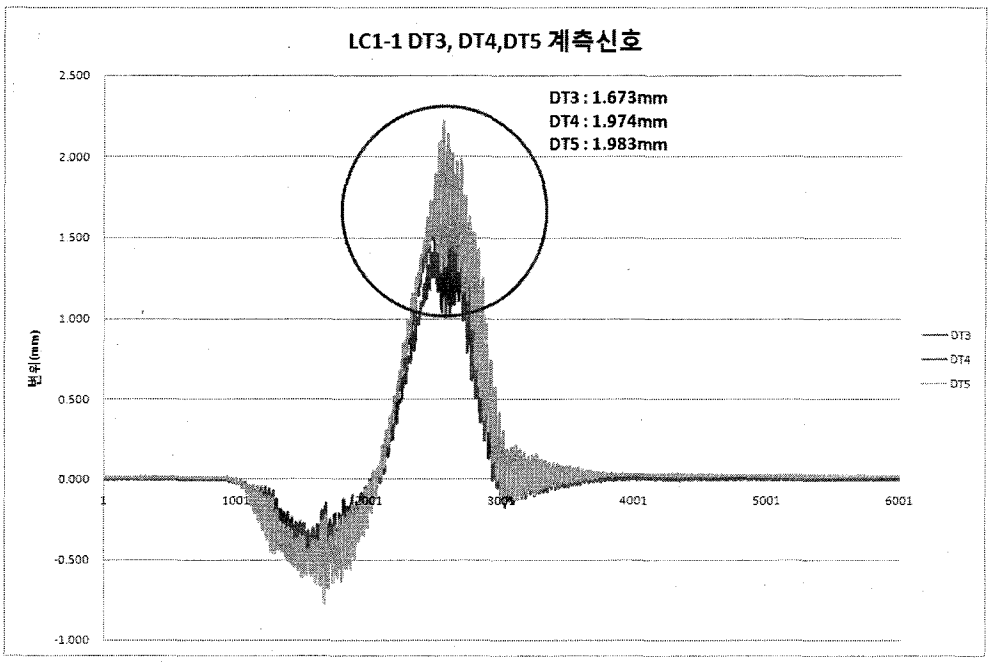


그림 3.81 중앙처짐(DT3, DT4, DT5) 그래프

(6) 충격계수 분석

교량의 노면상태, 차량의 주행속도, 지간장, 사하중과 활하중의 비, 구조적 특성등의 다양한 인자들에 의하여 정적하중 보다 교량에 더 큰 영향을 미칠 수 있는 활하중에 의한 충격영향 정도를 파악하기 위해 동적 처짐변위 데이터를 이용하여 충격계수를 산정하였다.

아래의 그림은 Load Case5-1, 2에서의 DT1과 DT3의 동적응답 곡선으로 $D_{dyn(max)}$에 Low Pass Pilter의 범위를 0.6hz로 필터링하여 정적응답곡선 $D_{sta(max)}$를 구한 예제이다.

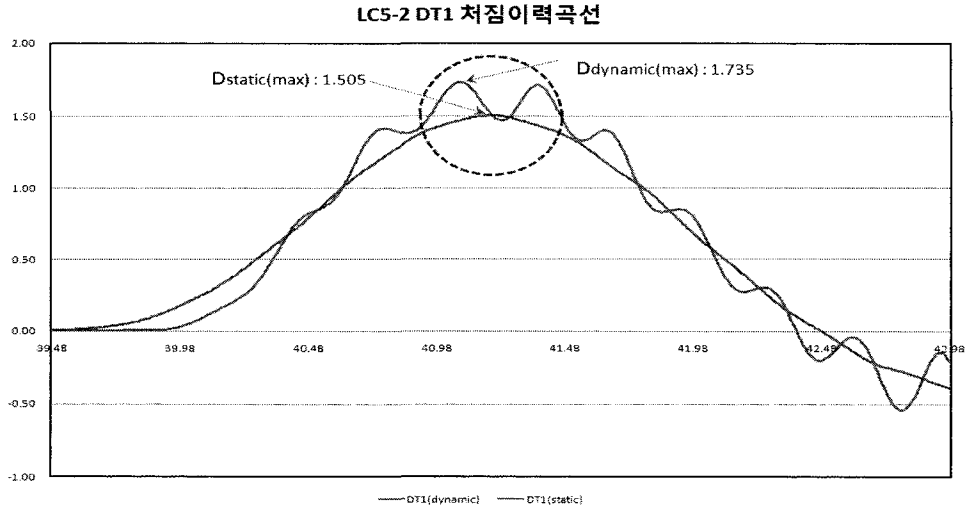


그림 3.82 LC5-2 DT1 Low Pass 그래프

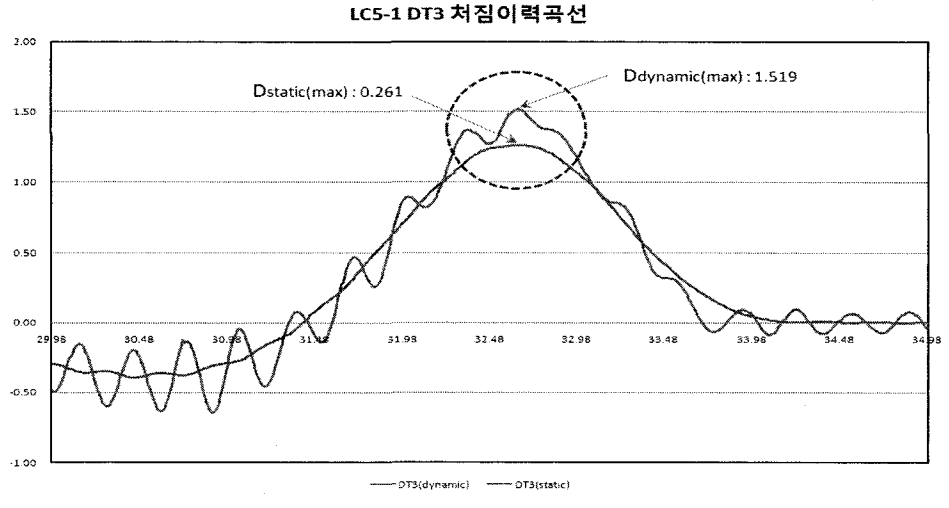


그림 3.83 LC5-2 DT3 Low Pass 그래프

실측 충격계수는 골프장 방향으로 주행한 시험과 삼거리방향으로 주행한 시험을 나누어 산정하였으며, 그 결과는 아래의 표와 같다.

표 3.33 충격계수(골프장방향 주행)

하중경우		구분	Girder3 DT3	Girder4 DT4	Girder5 DT5	비고
LC1-1	10km/h	$D_{dynamic}$	1.673	1.974	1.983	골프장 방향
		D_{static}	1.451	1.739	1.750	
		i	0.153	0.135	0.133	
LC1-2		$D_{dynamic}$	1.564	1.850	1.862	
		D_{static}	1.466	1.740	1.742	
		i	0.067	0.063	0.069	
LC2-1	20km/h	$D_{dynamic}$	1.481	1.792	1.812	
		D_{static}	1.421	1.702	1.725	
		i	0.043	0.053	0.050	
LC2-2		$D_{dynamic}$	1.522	1.773	1.744	
		D_{static}	1.439	1.673	1.656	
		i	0.058	0.060	0.053	
LC3-1	30km/h	$D_{dynamic}$	1.546	1.788	1.776	
		D_{static}	1.385	1.614	1.634	
		i	0.116	0.107	0.087	
LC3-2		$D_{dynamic}$	1.641	1.955	1.984	
		D_{static}	1.376	1.654	1.700	
		i	0.192	0.182	**0.168**	
LC4-1	40km/h	$D_{dynamic}$	1.511	1.805	1.839	
		D_{static}	1.338	1.579	1.605	
		i	0.129	0.143	0.146	
LC4-2		$D_{dynamic}$	1.531	1.769	1.842	
		D_{static}	1.346	1.587	1.621	
		i	0.137	0.115	0.136	
LC5-1	최대속도 (55km/h)	$D_{dynamic}$	1.519	1.735	1.717	
		D_{static}	1.262	1.454	1.481	
		i	**0.203**	**0.193**	0.159	
최대충격계수			**0.203**	**0.193**	**0.168**	

표 3.34 충격계수(삼거리방향 주행)

하중경우		구분	Girder1 DT1	Girder2 DT2	Girder3 DT3	비고
LC1-3	10km/h	$D_{dynamic}$	1.902	1.905	1.601	삼거리 방향
		D_{static}	1.709	1.715	1.429	
		i	0.113	0.111	0.120	
LC1-4		$D_{dynamic}$	1.905	1.911	1.619	
		D_{static}	1.693	1.705	1.438	
		i	0.125	0.121	0.126	
LC2-3	20km/h	$D_{dynamic}$	1.814	1.819	1.542	
		D_{static}	1.682	1.682	1.403	
		i	0.079	0.082	0.099	
LC2-4		$D_{dynamic}$	1.831	1.804	1.513	
		D_{static}	1.709	1.689	1.397	
		i	0.072	0.068	0.083	
LC3-3	30km/h	$D_{dynamic}$	1.671	1.722	1.514	
		D_{static}	1.571	1.595	1.388	
		i	0.064	0.080	0.091	
LC3-4		$D_{dynamic}$	1.763	1.778	1.508	
		D_{static}	1.636	1.628	1.375	
		i	0.078	0.092	0.097	
LC4-3	40km/h	$D_{dynamic}$	-	-	-	
		D_{static}	-	-	-	
		i	-	-	-	
LC4-4		$D_{dynamic}$	1.783	1.792	1.517	
		D_{static}	1.584	1.578	1.299	
		i	0.126	0.135	0.168	
LC5-2	최대속도 (55km/h)	$D_{dynamic}$	1.735	1.726	1.498	
		D_{static}	1.505	1.481	1.270	
		i	0.152	0.165	0.179	
최대충격계수			0.152	0.165	0.179	

(7) 감쇠비 분석

감쇠비는 일정한 감쇠형상을 가장 잘 보이는 LC3-1의 변위 데이터를 이용하여 산정하였다. 여기서 n=10인 구간을 이용하여, 대수감쇠법을 적용하였다.

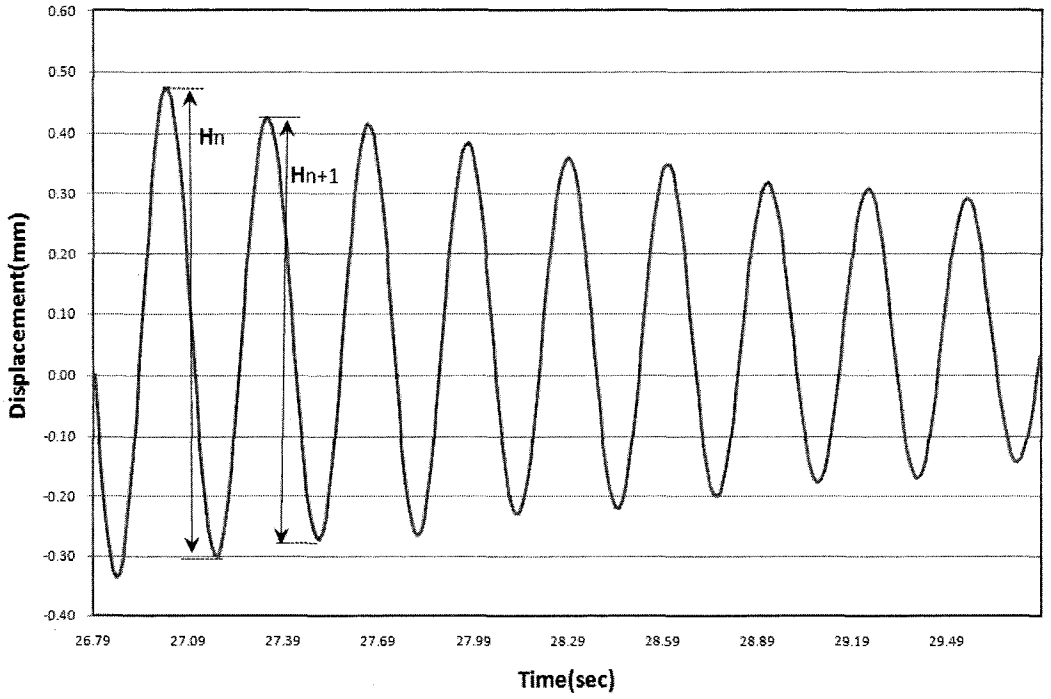


그림 3.84 감쇠비 산정을 위한 변위 데이터

표 3.35 감쇠비 분석결과

구분	Girder1 DT1	Girder2 DT2	Girder3 DT3	Girder4 DT4	Girder5 DT5	비고
H1	0.305	0.301	0.299	0.296	0.299	LC3-1의 하중경우
H10	0.130	0.130	0.136	0.135	0.142	
감쇠비	0.014	0.013	0.013	0.013	0.012	
평균감쇠비	0.0127 (1.27%)					

대수감쇠법에 의한 우금1교의 평균 감쇠률은 1.27%로 차량 주행에 따른 교량의 진동감쇠는 잘 이루어지고 있다.

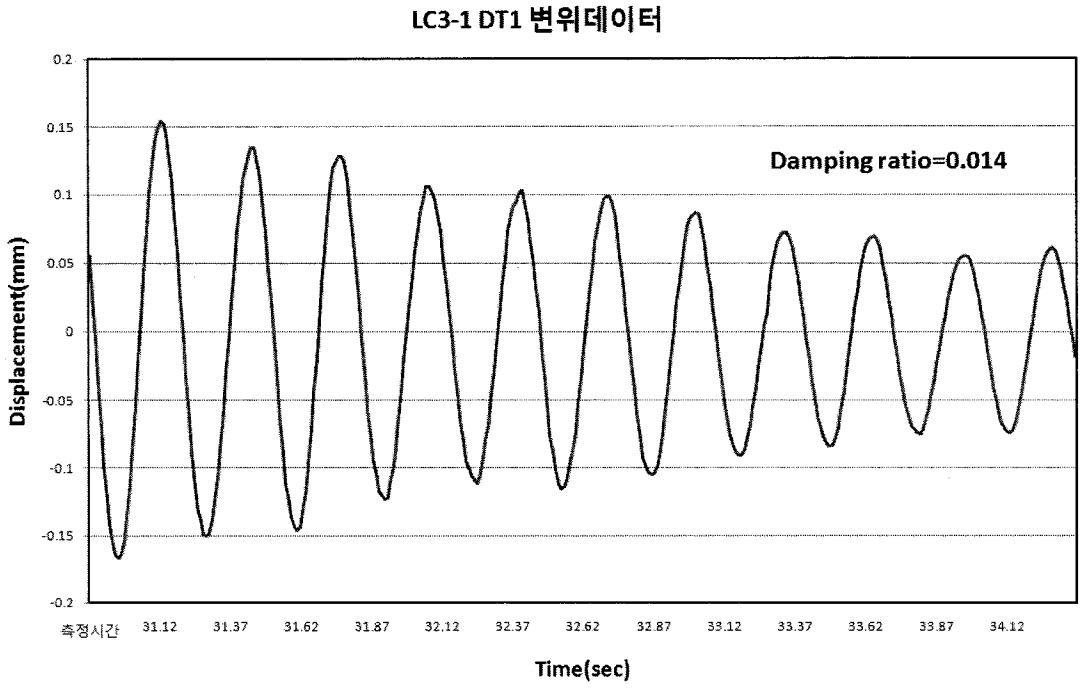


그림 3.85 감쇠비 산정결과(LC3-1 DT1) 그래프

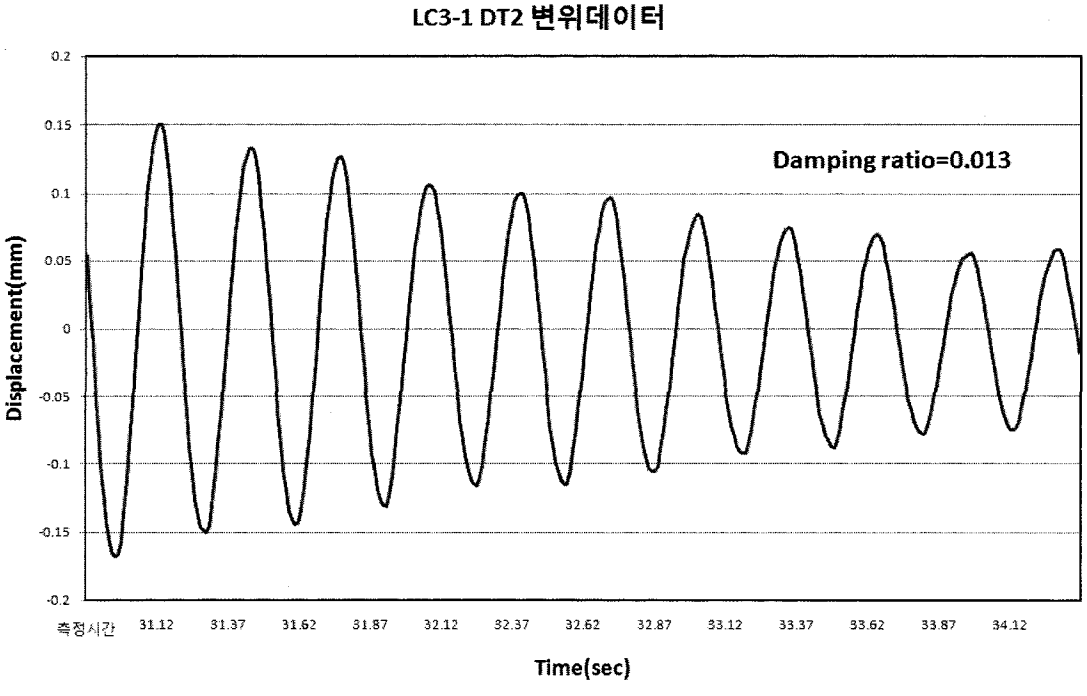


그림 3.86 감쇠비 산정결과(LC3-1 DT2) 그래프

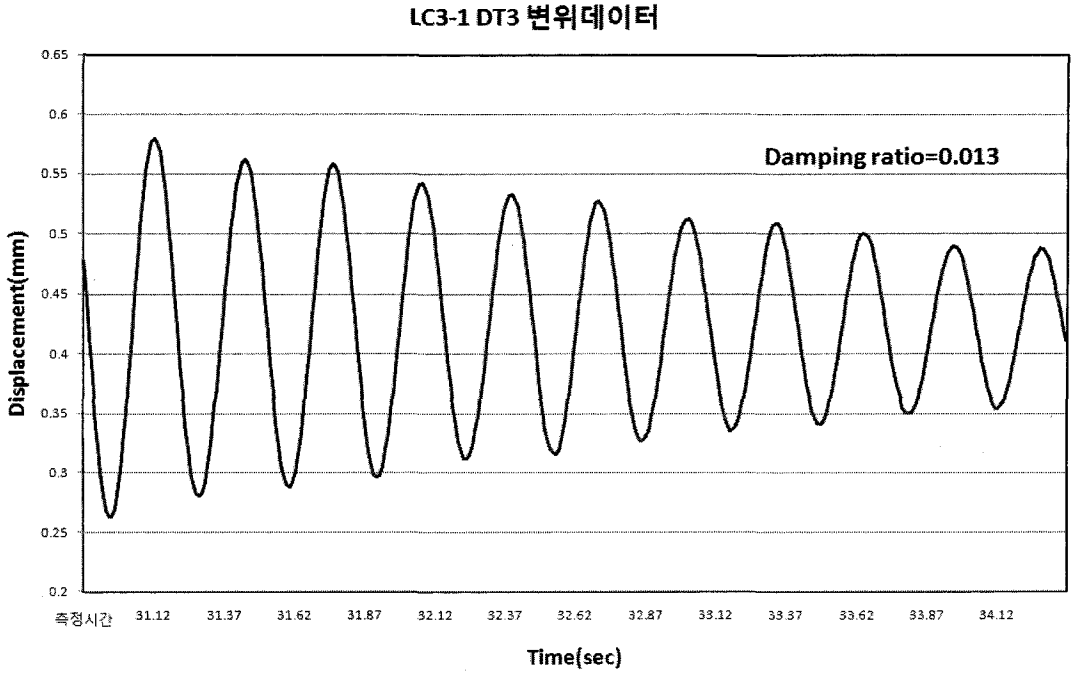


그림 3.87 감쇠비 산정결과(LC3-1 DT3) 그래프

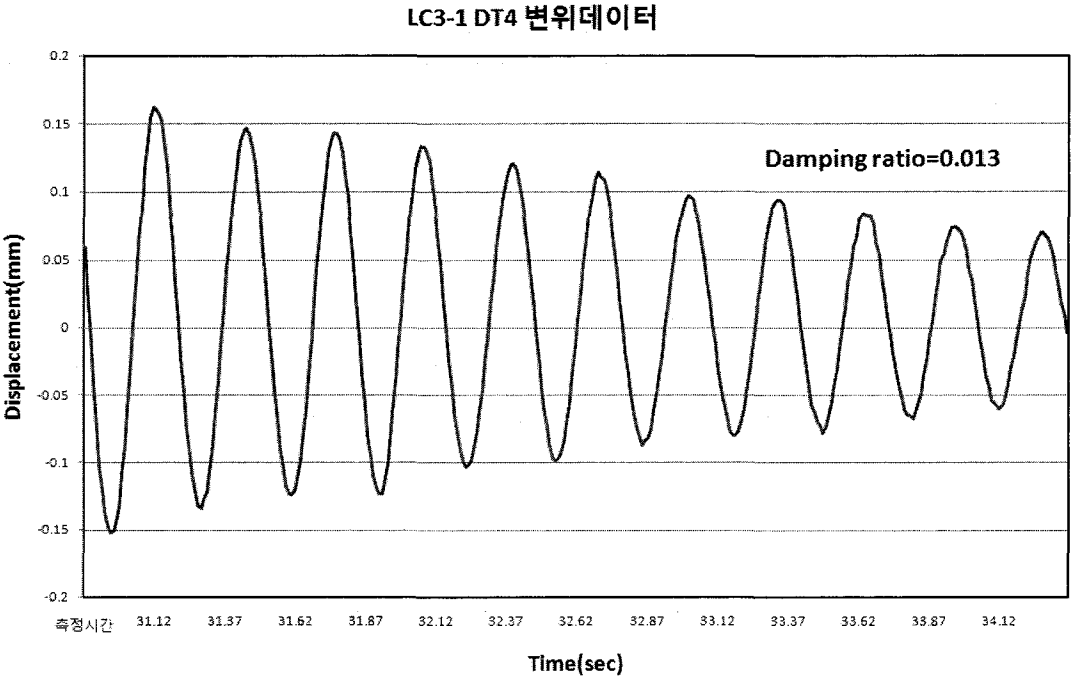


그림 3.88 감쇠비 산정결과(LC3-1 DT4) 그래프

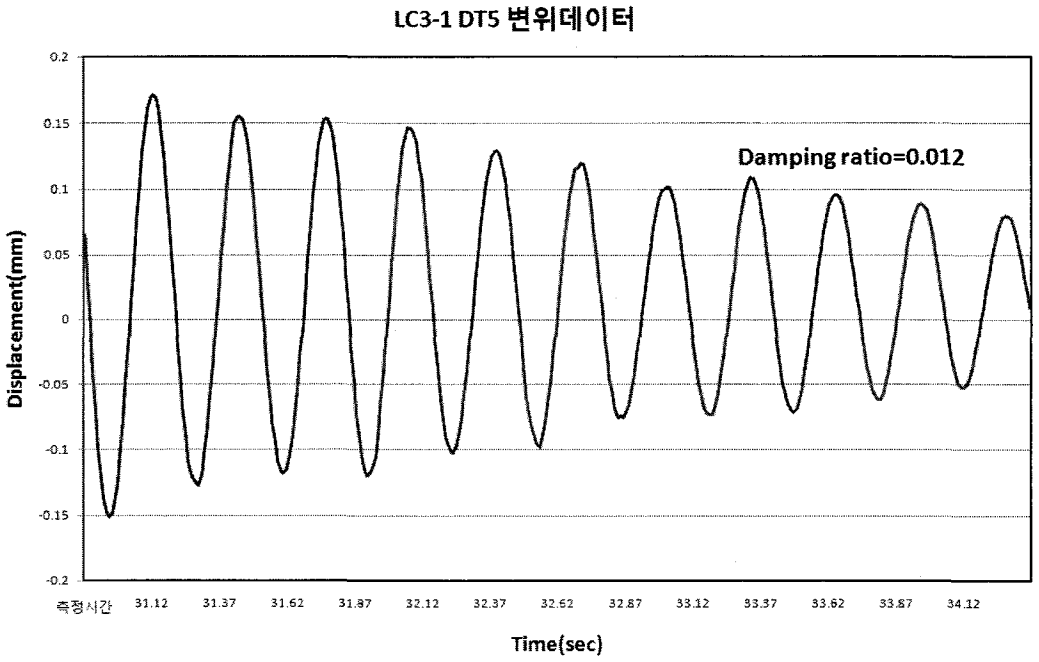


그림 3.89 감쇠비 산정결과(LC3-1 DT5) 그래프

라. 내하력 평가

(1) 내하력 산정방법

현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교의 경우 강도설계법으로 설계되고 있으며, 기존 교량의 내하력 산정에 있어서는 이와 같이 신설교량의 설계 개념과 일관성을 기하는 것이 바람직하다.

최근 도입되고 있는 신뢰성 이론에 의한 내하력 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침 되어야 하므로 비교 및 검증용으로 활용한다.

(가) 허용응력법에 의한 내하력 평가

1) 내하율 및 기본내하력 산정

허용응력법에 의한 교량 부재의 내하율 산정시의 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하므로, 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 표준시방서와 철도건설공사 표준시방서 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

사하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 중성화, 염해, 동해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 사하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 사하중을 가능한 한 정확히 고려하고, 활하중은 현행 도로교 설계기준과 철도건설공사 표준시방서의 설계활하중을 사용한다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i_{\text{계산}})}$$

여기서, fa =실측 허용응력

fd = 실측 사하중에 의한 응력

fl = 설계활하중(도로교의 경우 DB또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중)에 의한 응력

i계산 = 시방서에 의한 이론적인 충격계수

교량의 기본내하력은 상기의 내하율과 설계활하중의 곱으로 나타낸다.

$$\text{기본내하력} = RF \times P_r$$

여기서, Pr = 설계활하중 (DB 또는 DL)

(내하율이 1.0 이상일 경우의 기본내하력은 설계활하중으로 표현)

2) 공용내하력의 산정

허용응력법에 의한 교량부재의 공용내하력은 상기의 기본내하력에 재하시험 결과로부터 구해진 응력보정계수(KS)를 곱하여 구한다.

$$\text{공용내하력(P)} = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, K_S = 응답보정계수 = $\frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

ε계산 = 시험하중 재하에 대한 해석결과 구해진 계산응력

ε실측 = 재하시험에 의해 구해진 실측응력

δ계산 = 시험하중 재하에 대한 해석결과 구해진 계산처짐

δ실측 = 재하시험에 의해 구해진 실측처짐

i계산 = 시방서에 의한 이론적인 충격계수

i실측 = 동적재하시험에 의해 구해진 실측충격계수

(나) 강도설계법에 의한 내하력 평가

1) 내하율 및 기본내하력 산정

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정시 적용하는 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)를 사용하므로 사하중 및 활하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다.

단면강도는 단면의 현재상태 즉, 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 표준시방서와 철도건설공사 표준시방서의 공칭강도와 강도감소계수에 따라 계산한다.

교량 설계시의 부재 강도감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성이 상당히 감소하므로 오히려 공용중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다.

그러나, 부재 단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시에는 교량의 현재 상태에 따른 단면 감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.

사하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 사하중과 현행 도로교 표준시방서의 설계활하중(DB 또는 DL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

도로교 설계기준과 같이 강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정시에 사용한다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{\Phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1 + i_{\text{계산}})}$$

여기서, ΦMn = 극한저항모멘트

Md = 실측 사하중모멘트

Ml = 설계 활하중모멘트

γl = 활하중계수 (2.15)

γd = 사하중계수 (1.30)

i계산 = 시방서에 의한 이론적인 충격계수

i실측 = 동적재하시험에 의해 구해진 실측충격계수

교량의 기본내하력은 상기의 내하율과 설계활하중의 곱으로 나타낸다.

$$\text{기본내하력} = RF \times P_r$$

여기서, Pr = 설계활하중 (DB 또는 DL)

2) 공용내하력의 산정

강도설계법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력(P)} = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, K_S = 응답보정계수 = $\frac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{실측}} \cdot \frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}} = \frac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$

ε계산 = 시험하중 재하에 대한 해석결과 구해진 계산응력

ε실측 = 재하시험에 의해 구해진 실측응력

δ계산 = 시험하중 재하에 대한 해석결과 구해진 계산처짐

δ실측 = 재하시험에 의해 구해진 실측처짐

i계산 = 시방서에 의한 이론적인 충격계수

i실측 = 동적재하시험에 의해 구해진 실측충격계수

(2) 내하력 평가

(가) 실측치와 해석치의 비교

다음의 표 3.28은 차량의 이동재하에 따른 교량의 이론적인 응답을 표시하고 재하시험을 통해 얻은 실측치와 비교한 것으로써 이 결과를 이용하여 응력보정계수(K_S)를 산출하고, 공용내하력 산정에 반영하였다.

대상교량에서 각 거더별로 최대응력이 발생하는 하중재하의 경우에 대하여 거더 하부의 응력 및 처짐 응답비는 아래의 표에 나타내었다.

표 3.36 하중경우별 변형률과 처짐 최대값

구분	Girder1			Girder2			Girder3			비고
	DT1 (mm)	G1-S3 (μStrain)	G1-S4 (μStrain)	DT2 (mm)	G2-S3 (μStrain)	G2-S4 (μStrain)	DT3 (mm)	G3-S3 (μStrain)	G3-S4 (μStrain)	
실측치	1.61	-19	-21	1.70	-26	-25	1.62	-26	-26	LC1-1 (G1,G2) LC4-1 (G3)
	1.64	-18	-18	1.71	-25	-26	1.61	-26	-26	LC1-2 (G1,G2) LC4-2 (G3)
평균	**1.63**	**-18**	**-19**	**1.71**	**-25**	**-25**	**1.62**	**-26**	**-26**	

G1과 G2의 경우 하중 경우(LC1)일 때, G3는 하중 경우(LC4)일 때 최대 처짐 및 최대 변형이 나타나고 있다.

표 3.37 응력과 처짐의 응답비

구분	센서 ID	계산치		실측치		응답비 (계산치/실측치)		비 고
		응력	처짐	응력	처짐	응력	처짐	
G1 (LC1-1,2)	G1-S3,S4 평균	78	-	39	-	2.000	-	측정단위 응력 : kg/㎠ 처짐 : ㎜
	DT1	-	3.98	-	1.63	-	2.441	
G2 (LC1-1,2)	G2-S3,S4 평균	69	-	53	-	1.301	-	
	DT2	-	3.52	-	1.71	-	2.058	
G3 (LC4-1,2)	G3-S3,S4 평균	57	-	54	-	1.055	-	
	DT3	-	2.91	-	1.62	-	1.796	

응력 계산시, 철근의 탄성계수는 2.1×10^{-6} kg/㎠를 사용하였다.

(나) 응력보정계수

변형률의 응답비는 재하시험에서 시험차량하중을 재하 하였을 경우에 측정된 실 구조물의 변형률에 대한 구조해석에서 해석 모델상에 동일한 시험차량 하중을 적용하였을 경우의 이론적인 변형률의 비 (이론변형률/실측변형률)를 말하며, 이 변형률의 응답비와 충격계수의 응답비(이론충격계수/실측충격계수)를 곱한 것이 응력보정계수이다. 응력보정계수는 해석모델상에 가상의 설계하중을 재하하였을 경우에 대한 실 구조물의 응답을 추정하기 위하여 사용된다. 즉, 응력보정계수를 적용하여 이론상으로 구한 기본내하력을 보정함으로서 교량의 공용내하력을 구하는 것은 재하시험을 통하여 실제 교량과 해석 모델과의 차이를 정의한 후 이를 해석모델에 적용하여 가상의 설계하중을 재하 하였을 경우에 대한 실제 교량의 내하력을 예측하는 방법이라고 할 수 있다. 재하시험시 측정된 변형률은 계측장비 및 센서의 정밀도, 측정시의 기후조건, 교량의 가하학적인 특성 및 차량 재하시 하중집중으로 인한 국부적인 변형률의 증가 등의 요인으로 인하여 많은 오차를 포함하게 되며, 따라서, 응력보정계수는 같은 단면이라도 큰 분포를 보이는 것이 일반적이다. 그러므로 내하력 평가시 사용하는 응력보정계수는 대상 단면에서 측정된 응답중에서

가장 큰 응답을 나타내는 하중조건을 기준으로 하며, 그 중에서도 안전측으로 가장 작은 값을 선택하는 것이 바람직하다. 응력보정계수는 변형률의 실측치와 계산치로 구하는 것이 일반적이지만, 처짐에 비해 변형률의 측정값에 포함된 오차가 크며, 여러 가지 요인에 의해서 국부적인 응력의 변동이 크게 발생하는 경우가 있으므로, 교량의 전반적인 거동을 나타내는 처짐으로 구할 수도 있다.

본 교량의 경우 변형률 측정결과에 비해 처짐의 측정결과가 신뢰성이 높은 것으로 판단되므로, 처짐으로 응력보정계수를 구하였으며, 상세 내용은 아래의 표 3.30과 같다.

표 3.38 응력보정계수(KS)

Girder	센서명	처 짐			$\frac{(1+i_{계산})}{(1+i_{실측})}$	응력보정계수 (Ks)	비고
		계산치	실측치	응답비 (계산치/실측치)			
G1	DT1	3.98	1.63	2.441	1.042	2.544	
G2	DT2	3.52	1.71	2.058	1.030	2.120	
G3	DT3	2.91	1.62	1.796	0.998	1.792	

(다) 내하력 평가 결과

허용응력법을 사용하여 거더에 대한 공용내하력을 평가하여 그 결과를 표 3.31에 나타내었다.

표 3.39 공용내하력 평가 결과

구분	사하중응력 (kg/cm2)	활하중응력 (kg/cm2)	기본내하율 (RF)	응력보정계수 (Ks)	내하율 (RF)	공용내하력 (P)
G1	96.80	-45.38	2.133	2.544	5.43	DB-24 이상
G3	90.26	-38.45	2.347	1.792	4.21	DB-24 이상

대상교량인 우금1교 PSC거더(Bicon거더)의 내하력 평가 결과 외측거더(G1)보다 내측거더(G3)의 내하력이 작은 것으로 나타났으며, 내,외측 거더 모두 공용내하력 DB-24 이상의 내하력을 보유하고 있는 것으로 평가 되었다.

5. 일체긴장 PSC 소수주거더교 단면표준화

가. 연구방향

소수주거더라 함은 일반 거더교에서 거더간격을 넓혀서 거더개수를 줄인 교량을 말한다. 소수주거더교에서는 개별 거더의 공사비가 커지게 되지만, 거더개수가 줄어들기 때문에 전체적인 공사비를 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

이러한 소수주거더교의 단면표준화를 위해서는 형고증가에 따른 영향을 검토하여야 하며, 바닥판의 지간이 커짐에 따른 바닥판의 시공방안 등을 고려하여야 한다.

(1) 형고증가의 효과

소수주거더교로 적용할 경우, 일반거더교에 비해 교량의 형고가 증가할 수 밖에 없다. 일체긴장 시스템을 적용할 경우 자중이 클수록 유리하기 때문에, 형고증가에 따라 유리한 점이 있다. 하지만 형고가 커질 경우, 콘크리트 타설시 콘크리트 측압이 증가할 뿐만 아니라, 운반중량이 과다하기 때문에 시공성이 저하된다.

따라서 소수주거더의 검토단계에서 거더의 형고가 3.0m이상이 되는 경우는 그 시공성이 악화되기 때문에 공사비의 증가요인이 됨을 고려하여, 다단계 긴장을 적용하여 형고를 저감하는 방향을 동시에 고려하였다. 다단계 긴장을 적용할 경우 일체긴장 거더교의 장점인 바닥판 교체가 쉽다는 점이 사라지게 되므로 현장 적용시에는 이러한 상항들을 종합적으로 고려하여 단면을 선정하여야 한다.

(2) 바닥판의 지간증가

일반적인 강교의 소수주거더교에서는 바닥판의 지간이 길어짐에 따라 프리스트레스를 도입하거나 프리캐스트 바닥판을 적용한다. 바닥판에 프리스트레스를 도입하는 경우, 고강도의 콘크리트를 적용하여야 할 뿐만 아니라 바닥판 프리스트레스도입작업의 어려움이 공사비 증가의 요인이 된다. 이러한 점을 해결하기 위하여 프리캐스트 바닥판을 적용할 수 있으나, 프리캐스트 바닥판을 사용할 경우 시공성이 개선되고 바닥판의 내구연한이 커지는 장점이 있으나 공사비가 크게 증가하는 단점이 있다. 최근 개발된 공법인 PnP거더 등에서 프리캐스트 바닥판을 적용하였으나 공사비가 크게 증가하여 거더의 적용에 어려움이 있다.

상기한 사항을 고려하여, 일체긴장 소수주거더교에서는 프리캐스트와 프리스트레

스 바닥판을 배제하고, 철근콘크리트 바닥판 적용하는 것을 원칙으로 하였다.

(3) 적용거더의 수

일체긴장 PSC거더교의 경우 2주형으로 하는 것은 콘크리트교의 특성상 합리적인지 않을 것으로 판단되어 일체긴장 PSC거더의 표준화시 사용되었던 횡단면을 4주형과 3주형으로 바꾸는 단면표준화를 실시하였다.

(4) 비틀림강성

소수주거더교의 가장 큰 문제중의 하나는 비틀림 강성이 작다는 것이다. 강교에서는 가로보와 횡브레이싱을 많이 배치하여 이러한 문제를 해결하고 있다. 그러나 콘크리트 거더인 본 공법의 특징상 많은 횡브레이싱을 설치할 수 없다.

강교와 달리 일체긴장 거더교는 직선교 혹을 평면곡선반경이 상당히 큰 경우에만 적용되기 때문에 비틀림에 의한 문제점은 크게 유발하지 않을 것이며, 상기한 바와 같이 2주형교로 적용되는 강교의 소수주거더교와 달리 3주형이나 4주형을 활용하기 때문에 비틀림의 문제에 있어서는 상대적으로 안전할 것으로 판단된다. 그러나 보다 안전한 적용을 위하여 가로보의 배치간격을 10m이하로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

나. 기본 결정사항

표준단면에 사용된 거더간격은 4주형일 경우 3.3m이며 3주형일 경우 4.6m이다. 도로교 및 철도교 설계기준을 참고할 경우, 이 경우에 대한 최소바닥판 두께는 각각 230mm와 270mm가 적용되는데, 일반거더에서 통상 240mm~250mm 두께의 바닥판이 적용되고 있음을 고려하여, 4주형의 경우에는 280mm의 바닥판을 적용하였으며, 3주형의 경우에는 320mm를 적용하였다.

다. 소수주거더 표준단면 분석

(1) 소수주거더교의 거더형고(다단계 긴장을 적용하지 않는 경우)

다단계 긴장이 불필요하고, 바닥판 교체가 용이한 일체긴장 PSC거더교의 장점을 그대로 살리기 위하여, 다단계 긴장을 배제하고 소수주거더의 단면을 선택할 경우, 일반 거더교에 비해 4주형의 경우 35%이상의 형고가 증가하며, 3주형의 소수주거더교를 선택할 경우 75%정도의 형고증가가 필요한 것으로 나타났다.

아래의 표에서 보는바와 같이 3주형교의 경우 3.0m이상의 형고를 가지게 되는데, 이 경우 작업자의 키를 훨씬 상회하기 때문에 철근과 쉬스 및 강연선의 배치가 어렵고, 강재거푸집의 운반과 조립에도 작업대가 필요할 뿐만 아니라 콘크리트 타설시 측압을 견디기 위해서 강재거푸집의 강성을 보완하기 위한 비용이 추가될 뿐만 아니라 하부플랜지의 폭이 큰 장점을 가진 일체긴장 거더교임에도 불구하고 거더의 형고가 하부플랜지의 폭, 즉 지지면적의 2.5배 이상이 되기 때문에 가설시 거더의 전도위험이 크고, 바닥판 타설시에도 위험성을 내포할 수 밖에 없다. 또한 거더의 중량이 150톤에 육박하기 때문에 작업반경에 따라 큰 크레인이 필요하게 된다. 이러한 점을 고려하면 형고가 지나치게 큰 것에 대한 대안이 필요할 것으로 판단된다.

표 3.39 지간별 교량형고(다단계 긴장 미적용시)

구분	적용경간(m)	일반 거더교	소수주거더교	
			4주형	3주형
도로교	30m	1.3m	1.6m	2.1m
	40m	1.7m	2.3m	3.0m
	45m	2.0m	2.8m	3.5m
철도교	25m	1.7m	2.0m	2.5m
	30m	2.1m	2.4m	2.7m
	35m	2.6m	2.8m	3.0m

(2) 소수주거더교의 거더형고(다단계 긴장을 적용한 경우)

다단계 긴장을 배제한 소수주거더교의 경우 형고가 지나치게 크기 때문에 시공상의 어려움과 위험성이 있으므로 다단계 긴장을 고려한 경우에 대한 표준단

면 검토를 수행하였다. 그 결과 4주형 소수주거더의 경우는 10%정도의 형고가 증가하며, 3주형의 경우 30%정도의 형고증가가 필요한 것으로 나타났다.

즉 다단계 긴장을 배제한 경우와 비교하여, 훨씬 더 작은 형고로 교량시공이 가능하며, 시공성 및 안전성이 개선될 것으로 판단된다. 그러나 하부구조상에 일체긴장 거더를 가설하고, 바닥판을 타설한 후, 긴장강도가 발현되기를 기다려서 2단계 긴장작업을 수행하여야 하는 점과 추후 바닥판 타설작업시 적절한 보완이 필요한 점을 종합적으로 고려하여 적용하여야 한다.

표 3.40 지간별 교량형고(다단계 긴장 적용시)

구분	적용경간(m)	일반 거더교	소수주거더교	
			4주형	3주형
도로교	30m	1.3m	1.4m	1.8m
	40m	1.7m	1.9m	2.5m
	45m	2.0m	2.2m	3.0m
철도교	25m	1.7m	1.8m	2.3m
	30m	2.1m	2.2m	2.5m
	35m	2.6m	2.6m	2.8m

(3) 소수주거더의 표준단면도 예시

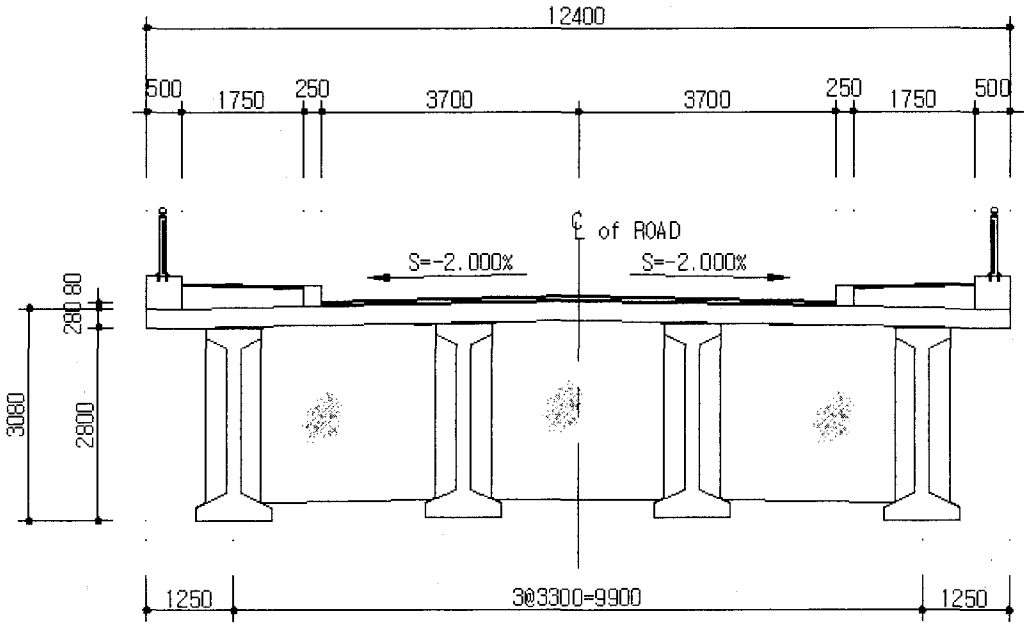


그림 3.90 4주형 일체긴장 소수주거더(도로교45m)

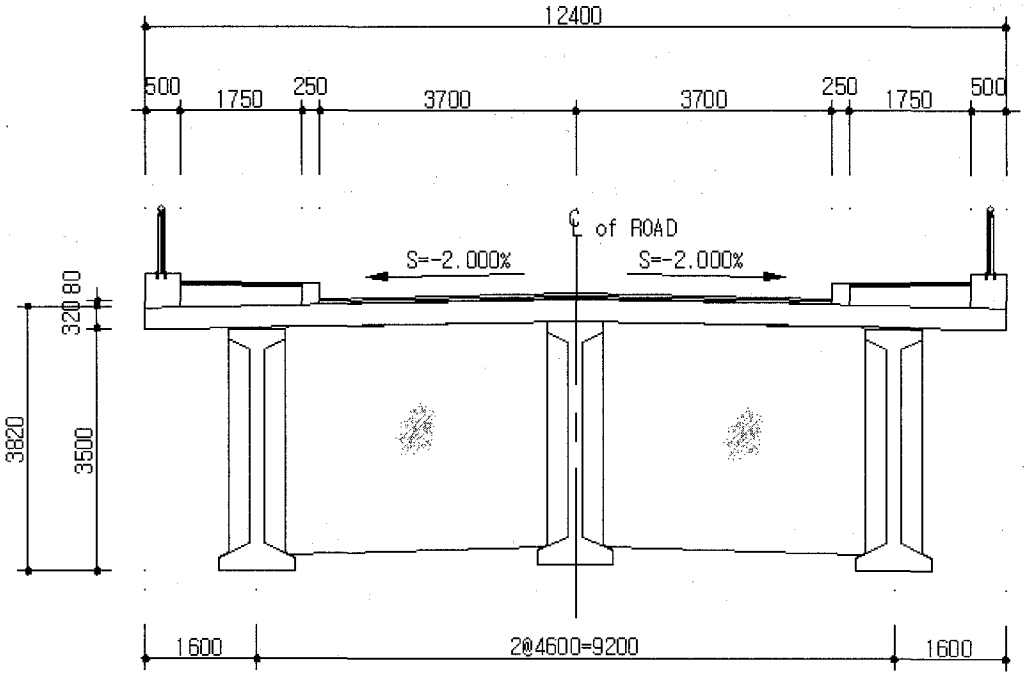


그림 3.91 3주형 일체긴장 소수주거더(도로교45m)

(4) 검토결론

일체긴장 시스템을 이용한 PSC교량의 소수주거더 표준단면을 검토한 결과 35m이하의 경간에서는 공사비 저감을 위하여 다단계 긴장을 배제한 3주형과 4주형의 소수주거더를 이용할 수 있을 것으로 나타났다. 그러나 40m이상의 교량에서는 거더의 형고가 지나치게 크게 되어 다단계긴장을 고려한 소수주거더를 활용하여야 하는 것으로 나타났다.

소수주거더를 활용하는 경우 거더의 개수가 줄어 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 공법의 선정에 있어서는 경제성 뿐만 아니라 시공성과 안전성을 고려하여야 하며, 추후 유지관리 등을 종합적으로 고려하여 교량공법을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

라. 소수주거더의 적용성

강교에서는 강성이 작은 여러개의 거더를 활용하여 교량를 만드는 것에 비하여, 강성이 큰 소수의 거더를 활용하여 교량을 많드는 것이 여러 가지 잇점이 있다. 우선은 용접량이 많이 줄기 때문에, 가공등 시공성이 향상되며, 단면합리화 등으로 강재사용량을 오히려 줄일 수 있기 때문이다. 이러한 점을 착안하여, 다른 PSC거더와 달리 일체긴장 시스템을 구비한 공법으로는 PSC 소수주거더교가 경쟁력을 가질 수 있으므로 이에 대한 연구를 수행하였다.

(1) 일체긴장 PSC 소수주거더교가 적용 가능한 이유

지간 및 적용하중에 따라 차이가 있지만 5주형인 교량을 4주형으로 실시하는 소수주거더교의 경우 설계공사비에서 10%가량 경제성을 지니는 것으로 분석되었다. 이는 거더의 개수 감소에 따른 재료사용량 등의 감소에 의한 것이다. 또한 3주형인 소수주거더교를 적용할 경우 약 12~15% 정도의 공사비 감소가 나타나는 것으로 분석되었는데, 이는 다단계 긴장에 따른 정착구 및 긴장작업으로 고려하였기 때문이다.

따라서 설계공사비에 따르면 일체긴장 PSC소수주거더교를 적용하는 것은 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

(2) 일체긴장 PSC 소수주거더교의 적용이 어려운 이유

상기한 설계공사비와 달리 현장에 PSC소수주거더교를 적용하는 것은 몇가지 사항에 의하여 상당히 큰 어려움이 있는 것으로 분석되었다. 그 이유는 아래와 같다.

첫째 거더형고가 지나치게 높은 점 때문이다. PSC거더교는 베드에 고정되어, 철근조립, PS강재의 배치, 거푸집 조립, 콘크리트 타설, 긴장작업 등이 이루어지게 된다. 이 경우 높이가 2.0m이상이 됨에 따라 제작성은 기하급수적으로 어려워지게 된다. 우선은 사람의 키보다 훨씬 크기 때문에, 모든 작업에는 작업대가 필요하게 되며, 형고가 높아짐에 따라 이러한 작업대의 높이 및 중량은 커지게 되어, 철근조립 등에 어려움이 크다. 또한 강재거푸집 내부에 타설되는 콘크리트에 적절한 다짐을 수행하기 어려울 뿐만 아니라 콘크리트의 유동성이 클수록 타설시 콘크리트의 측압이 크기 때문에, 강재거푸집 및 강재거푸집을 고

정하는 장치가 더욱 튼튼해야 한다.

둘째는 거더의 중량이 무거운 점이다. 거더의 중량이 무겁다는 것은 운반 및 가설에 필요한 장비의 용량이 커지며, 베드 설치시 지반을 더욱 튼튼히 다져야 함을 의미한다. 가설장비의 용량은 크면 클수록 장비임대료가 비싸질 뿐 아니라 운행의 속도도 많이 떨어지기 때문에 공사비 상승에 큰 영향을 끼치게 되며, 가설조건에 따라서는 국내에서 구하기 어려울 정도의 장비가 필요하기 때문에 적용에 제한을 받게 된다.

세 번째 이유는 다단계 긴장이다. 일체긴장 PSC거더교는 다단계 긴장이 불필요하며, 이에 따라 바닥판의 교체 등이 용이한 점을 장점으로 하고 있다. 그러나 일체긴장 소수주거더교를 적용할 경우 이러한 장점은 사라지게 되며, 다단계 긴장을 위해서는 큰 형고 때문에, 하부구조상에 추가의 장비가 필요하게 된다.

기타의 이유로는 바닥판 공사에 있어 시공성과 경제성이 나빠지게 되며, 전단연결을 위한 추가의 보강이 필요한 점 등을 들 수 있다.

(3) 소결

상기한 바와 같이, 일체긴장 PSC거더는 콘크리트 거더로 소수주거더교로 적용할 만한 요건을 갖추고 있으나, 시공성 및 사용성에 있어서의 단점으로 인하여 그 적용에 제한을 받을 수 있으므로 이를 충분히 고려하여야 한다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표의 달성도

연 구 목 표	달성도(%)	내 용
PS강선/강봉의 일체긴장 시스템의 제품화	100	▶ 선행기술조사(일본 바이프레 공법 포함) ▶ 일체긴장 연결구 상세도출 ▶ 상세해석을 통한 해석적 검증 ▶ 8개의 시험체를 제작하여 실험수행 ▶ 긴장관리를 위한 설계식 도출 ▶ 일체긴장 연결구의 표준화 및 제품화
일체긴장 시스템의 실적용을 위한 검증	100	▶ 3개의 일체긴장보와 1개의 일반긴장보를 제작하여 실적용 성능 검증 완료 ▶ 일체긴장 시스템을 위한 시공상세 도출 ☞ 특허등록2건 ▶ 일체긴장 시스템과 관련한 설계 및 시공가이드라인 작성
일체긴장 PSC거더교 구조성능평가	100	▶ 시작품 제작 2건 - 도로교/철도교 20m 시험체 각 1EA ▶ 실교량 제작성 평가: 일체긴장 효과 ▶ 실교량 정적 내하력 평가: 균열/극한하중 ▶ 실교량 동특성 추출: 고유진동수/감쇠비 ▶ 한국콘크리트학회 학술발표 3건
일체긴장 PSC거더교 표준화	100	▶ 지간/단면 형상별 변수연구 - 도로 20~45m, 철도 20~35m ▶ 지간별 표준단면 도출 ▶ 표준단면별 공사비 분석 비교 - 일체긴장 PSC vs 일반 PSC/IPC/e-beam
일체긴장 PSC거더교 간이 구조계산서 작성	100	▶ 변수연구용 Excel형태 간이구조계산서 작성 - PSC/IPC/e-beam/일체긴장 PSC 등

연 구 목 표	달성도(%)	내 용
일체긴장 PSC거더교 자동화 설계프로그램 개발	100	▶ 구조계산서 도출: C# 코딩 - 단면제원/하중 입력 ▶ 프로그램의 명칭을 대들보로 명명 ▶ 출력 설계도서의 검증작업 수행
일체긴장 PSC거더교의 제품화 및 실교량 반영	100	▶ 제품의 명칭을 Bicon거더라 명명 ▶ 2009년 11월 현재 상주~영덕간 고속도로 건설공사'를 포함하여 13개 교량에 설계 반영 ▶ 2009년 11월 현재 2개 교량에 대한 시공이 완료되었으며, 1개교량은 시공중임
일체긴장 PSC거더교 설계지침 작성 및 시공지침 작성	100	▶ 설계가이드라인/시공가이드라인 제작 ▶ 일체긴장 연결구의 긴장관리 기준 ▶ AEMM을 이용한 장기거동 손실 산정 ▶ 강봉의 좌굴에 따른 응력변화 산정 ▶ 시공순서 정립 ▶ 정착 단부 마감방안 도출 ▶ 주요공정별 지침 기술 ▶ 적정 강봉/쉬스관 직경 도출: 유격 10mm
일체긴장 PSC 소수주 거더교 개발을 위한 검토	100	▶ 다단계긴장 관련사항 검토 ▶ 프리캐스트 바닥판 관련 설계 및 시공검토
일체긴장 PSC 소수주 거더교의 구조성능검증	100	▶ 2주형 철도교량 시험체(30m)를 제작을 통한 동적성능 검증 ▶ 궤도부설을 통하여 궤도와의 상호작용 검토 ▶ 동하중 재하를 통한 성능검증
일체긴장 PSC 교량의 동적성능검증	100	▶ 동적성능이 중요한 철도교량에 대하여, 교량지간별/열차속도별 성능검증 ▶ 중앙부처짐/면틀림/승차감 등의 동적성능 관련 국내외기준 만족 ▶ 이동하중 해석을 통한 동정확대계수 평가 ▶ 승차감을 고려한 Comfort Analysis수행

연 구 목 표	달성도(%)	내 용
일체긴장 PSC소수주거더교의 설계 및 시공지침 작성	100	▶ 소수주거더용 바닥판 및 다단계 긴장을 고려한 설계 및 시공 가이드라인 작성 ▶ 일체긴장 PSC거더교의 설계 및 시공가이드라인의 개선
일체긴장 PSC거더교의 현장시험시공	100	▶ 경기도 포천시의 우금1교에 처음으로 현장시공(2009년 11월부터 공용중임) ▶ 시공단계별 계측실시 ▶ 현장재하시험을 통한 내하성능 검증완료
일체긴장 PSC 소수주거더교의 제품화	80	▶ 경제성, 시공성 등과 관련하여 일체긴장 소수주거더교의 경쟁력 평가 ▶ 다단계 긴장 및 바닥판 두께 증가에 따른 문제점 평가 ▶ 일체긴장 PSC거더교의 완성도 제고에 주력
일체긴장 PSC거더교 관련 신기술 출원	95	▶ 2개교량 현장적용 완료 ▶ 신기술보고서 작성작업 ▶ 선행기술조사/원가분석의뢰 ▶ 과제종료 전 신기술출원 신청예상

제 2 절 연구성과 및 관련분야 파급효과

1. 직접적 연구성과(총괄)

연구목표	성과지표	목표치	실적치	성과물 명칭
일체긴장 PSC거더교 제품화	특허출원	4건	출원5건(등록2건)	특허출원번호 및 명세서
	논문 발표 및 게재	11건	논문발표 4건	한국콘크리트학회 학술발표회 논문
	시작품제작	4건	시작품 제작4건 일체긴장 연결구 일체긴장보 일체긴장 거더 일체긴장 교량시험체	시험체 사진 및 실험결과 확인
	기초매뉴얼	2건 (각차년도)	설계,시공가이드라인 6건 각 차년도별로 설계 및 시공가이드라인을 작성하고 업데이트 함	설계가이드라인 1건 시공가이드라인 1건 (최종)
	프로그램	1건	설계프로그램 제작	프로그램 구동화면 계산서
	제품화	2건	일체긴장 연결구의 제품화 일체긴장 PSC거더의 제품화	제품카달로그
	신기술	1건	출원준비중 (선행기술조사 및 원가분석 의뢰) 보고서 작업중	계약서 시공사진
	매출액	10억원	3건(8.7억원)	계약서 및 작업지시서

2. 파급 효과

가. 기술적 측면

일본에서는 25년전부터 활용하고 있는 압축프리스트레스를 이용한 교량구조에 대한 기술이 국내에는 소개만 되었을 뿐, 실용화 된 사례는 없었다. 본 연구과제를 통하여, 압축프리스트레스 이용기술에 대한 분석이 이루어졌을 뿐만 아니라, 이에 더 나아가 단순한 긴장만으로 거더하연뿐만 아니라 상연에서도 유리한 프리스트레스를 도입할 수 있게 되었다.

이러한 일체긴장 시스템을 이용하여 교량구조를 개발하고, 해석 및 실험적 검증을 완료하였을 뿐만 아니라 실교량구조에 적용하여, 선진국보다 3년이상 앞선 프리스트레스 관련 기술을 정립한 것으로 판단된다.

구조물 분야	개발 기술명	비교항목	현재수준 (2006)		연구종료시점 (2009)
PSC 거더교	PSC 빔교 대비	형고 (35m경간)	2.2m	→	1.5m
		거더직접 공사비	42.3만원/m^2	→	40.0만원/m^2
	기존 장경간용 PSC교량대비	형고 (40m경간)	2.0m	→	2.0m
		교량상부 건설비용	85.4만원/m^2	→	71.7만원/m^2
선진수준과의 기술 격차			**-2년**	→	**+3년**

나. 사회·경제적 측면

일체긴장 PSC거더교는 형고를 월등히 감소시켜 사회적 요구가 주변환경과 관련 여유와 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시킬 뿐 아니라 형하공간 확보가 유리해 홍수 등의 자연재해에 의한 피해를 최소화할 수 있다.

또한 일체긴장 PSC거더 적용시장인 기존 PSC거더 시장은 연간 4,390억원 수준으로 일체긴장 PSC거더교는 기존 장경간 교량대비 건설비 20% 절감이 가능하므로 기존 PSC거더 시장(약 4,000억원/년)의 50%를 대치할 경우 약 400억원/년의 건설비용 절감 가능하게 될 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 활용방안

1. 연구성과의 활용방안

◦ 본 개발기술은 기존 PSC거더교량의 문제점을 해소할 수 있는 대안으로 공정이 단순할 뿐만 아니라 공사비 증가 없이 교량 형고를 35%이상 낮출 수 있음

◦ 표준도와 자동화 구조계산 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반기술자도 쉽게 활용할 수 있음

◦ 연구개발성과는 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 자연스럽게 활용될 수 있을 것으로 예상하며 건설신기술 획득으로 보급을 확대할 예정임

◦ 정기적인 기술 세미나, Web Site를 이용한 연구결과 홍보, 연구 성과물 특히 각종 Guide류의 배포 등 각종 기술홍보 활동을 통해 연구 참여업체 이외의 관련업체와도 공유할 계획

◦ PS강선 및 강봉 일체긴장시스템은 당해 연구성과물인 PSC거더교량 이외에 RC라멘 및 슬라브교, PSC하로교, 장경간 가교 등 적용형식을 확대하는 실용화 연구를 수행할 예정임

◦ 현재의 적용실적(2009년 11월 현재)

No.	건 명	교 량 명	제 원	비고
1	우금리~저수지간 도로개설공사	우금1교	2 @ 35.0 = 70.0m	시공완료
2	의정부시 관내국도대체 우회도로 (장암~자금)건설공사	자금IC2교	2 @ 35.7 = 71.4m	시공완료
3	정남~안녕간 도로 확 포장공사	안녕3교	1 @ 40.0 = 40.0m	시공중
4	영동선동백산-도계간 철도이설건설공사	철암교	1 @ 25.0 = 25.0m	설계완료
5	본오~오목천간제2공구 도로확.포장공사실시설계	본오교	1 @ 30.0 = 30.0m	설계완료
6	본오~오목천간제2공구 도로확.포장공사실시설계	어천교	1 @ 30.0 = 30.0m	설계완료
7	본오~오목천간제2공구 도로확.포장공사실시설계	반월교	3 @ 40.0 = 120.0m	설계완료
8	울산~포항고속도로건설공사 10공구 실시설계	문덕교	4 @ 40.0 = 160.0m	설계완료
9	계룡대실지구 도시개발사업	농소천3교	1 @ 36.0 = 36.0m	설계완료
10	상주~영덕간 고속도로 건설공사	상직3교	7 @ 40.0 = 280.0m	설계완료
11	상주~영덕간 고속도로 건설공사	괴정2교	5@40+4@35 = 340.0m	설계완료
12	상주~영덕간 고속도로 건설공사	신기천교	12@45+4@40 = 700.0m	설계완료
13	행정중심 복합도시 건설사업	용포교	1 @ 40.0 = 40.0m	설계완료

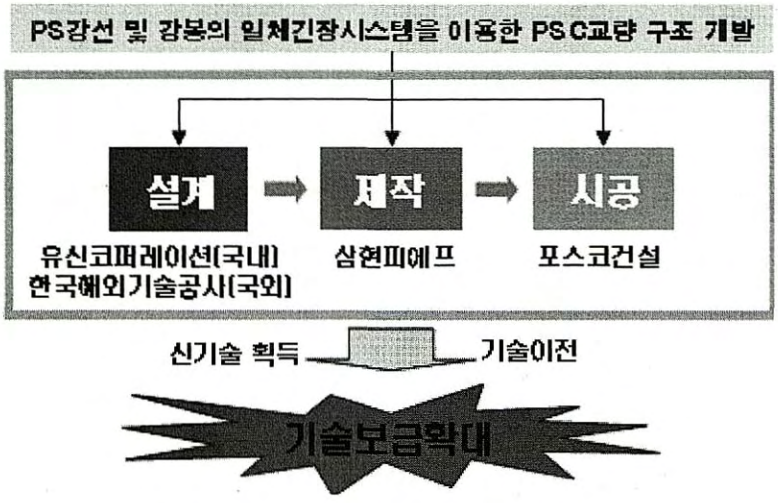
2. 연구결과의 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

번호	기업명	업종	매출액 (2008)	고용현황	연구결과 활용 발전전망
1	삼현피에프	제작	330억원	50명	국내외 신형식 거더 제작
2	유신코퍼레이션	엔지니어링	1,738억원	1,320명	국내외 신형식 거더 설계
3	포스코건설	건설/시공	39,250억원	2,300명	국내외 신형식 거더 시공
4	한국해외기술공사	엔지니어링	171억원	180명	국내외 신형식 거더 설계
5	극동엔지니어링	엔지니어링	154억원	180명	국내외 신형식 거더 설계

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

◦ 당해 연구 참여기업은 제작사, 설계사, 시공사로 구성되어 연구개발단계에서 표준화/설계/시공 관련 개발기술의 실용화를 위한 협력체계를 구축하고 참여기업간 자체적인 연구성과의 활용뿐만 아니라 기술이전을 통한 기술보급 확대를 유도할 예정임



번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	협력방안							
			장비활용	교육연계	기술상담	정보제공	기술지도	기술이전	공동연구	창업지원
1	삼현피에프	경쟁력 우위 신제품 개발 및 판매	V		V	V	V	V	V	
2	유신코퍼레이션	공동연구 및 신기술 적용			V	V	V	V	V	
3	포스코건설	공동연구/신기술 적용/기술이전	V	V	V	V	V	V	V	
4	한국해외기술공사	공동연구 및 신기술 적용			V	V	V	V	V	
5	극동엔지니어링	신기술 적용			V	V	V	V		
합계			2	1	5	5	5	5	4	0

3. 타 산업에 미치는 효과

◦ 일체긴장 PSC거더는 콘크리트 부재에 고강도의 강선과 강봉으로 내력을 향상시킨 구조물로 건설재료 제조업체(강재, 시멘트, 골재 등)의 동반 성장 및 경쟁력 강화가 가능하며, 다양한 구조부재가 적용되는 타 산업뿐만 아니라 그 적용 효율을 극대화하기 위해 신소재 개발도 촉진시킬 것으로 판단됨

◦ 공법 아이디어 개발, 적용성 평가 및 구조시스템 개발이라는 근본적인 기술 공통성을 갖는 연구부문에서 기술적인 교류가 가능할 것으로 판단됨

◦ 이번 연구의 성공사례는 건설 산업분야에 발전적 경쟁의식을 고취하도록 유도하여 건설산업 전반의 고부가가치화를 위한 공동개발로 연계될 가능성이 높음

4. 정부 정책과의 연계 방안

◦ 신공법의 원활한 실용화를 위해서는 4년마다 개정(2008년 예정)되는 도로/철도교 설계기준 및 표준시방서 집필 및 심의위원들로부터 연구결과의 자문을 얻어 기준개정시 적극 반영할 예정임

◦ 신기술의 진보성, 구조안전성, 현장적용성, 보급성 등을 검증하는 건설교통부 제정 건설신기술을 획득하여 실용화에 박차를 가할 예정이며 정부과제를 통한 연구결과의 공신력을 통한 표준화 기틀을 확립할 예정임

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음.

제 7 장 참고문헌

1. 건설교통부 (2005) 2005 교량 현황 조서
2. 건설교통부 (2005) 도로교설계기준
3. 건설교통부 (2003) 콘크리트구조설계기준
4. 심종성 (1999) 국내 시방 규정에 적합한 Bulb-Tee 거더의 사용가능성에 대한 연구, 연구보고서, 한양대학교 공학기술연구소, pp. 46-47
5. 한만엽 (1999) 장경간 IPC 거더 개발 연구 보고서, 연구보고서, 아주대학교 토목기술 연구센터, pp. 2-3
6. Abdel Karim, Ahmad, Tadros, Maher K. (1992) "Design and Construction of Spliced I-Girder Bridges", PCI Journal, Vol. 37, No. 4, July-August, pp. 114-122
7. Alexander, K.B., Rita L.S. and Culmo, M.P. (1997) "Design, Fabrication and Construction of the New England Bulb-Tee Girder", PCI Journal, November-December. pp. 30-40
8. Joseffa V. Meir, Michael R. Cjcciarelli, Julio A. Ramirez ad Robert H. Lee, (1997) "Alternatives to the Current AASHTO Standard Bridge Sections," PCI Journal, January-February, pp. 56-66
9. Clifford L. Freyermuth (1999) "Ten years of Segmental Achievements and Projections for the Next Century", PCI Journal, Vol. 44, No. 3, May-June, pp. 36-51
10. Collins, M.P. (1991) "Prestressed Concrete Structures", Prentice Hall
11. Jessie B. Fitzgerald (1996) "Spliced Bulb-Tee Girders Bring Strength and Grace to Pueblo's Main Street Viaduct", PCI Journal, Vol. 41, No. 6, November-December, pp. 40-48
12. Takashi Yamane, Maher K. Tadros, Sam도 S. Badie, and Mantu C. Baishya (1998) "Full Depth Precast, Prestressed Concrete Bridge Deck System", PCI Journal, Vol. 43, No. 3, May-June, pp. 50-65
13. William, B. Caroland (1992) "Spliced Segmental Prestressed Concrete

I-Beams for Shelby Creek Bridge", PCI Journal, Vol. 37, No. 5, September-October, pp. 22-33

14. 건설교통부(2005), "철도건설규칙", 건설교통부
15. 한국철도시설공단(2004), "철도설계기준(철도교편)", 한국철도시설공단
16. 고속전철 강합성형 교량의 차량하중 동적해석을 통한 최적구조시스템의 결정에 관한 연구(1단계 최종보고서), 서울대학교공학연구소, 1999
17. 고속전철 구조물 안전성 기술 개발(2단계1차년도 연차보고서), 한국건설기술연구원, 2000
18. 김성일, 고속철도교량의 교량-열차 상호작용해석, 박사학위논문, 서울대학교, 2000.2
19. 김성일, 곽종원, 장승필, "3차원 관절형 고속열차 모델을 이용한 교량/열차 상호작용해석", 대한토목학회 논문집, 제19권, 제I-4호, pp.505~516, 1999.7
20. 김성일, 곽종원, 장승필, "교량의 지간장과 고속전철하중 유효타격간격 사이의 관계에 따른 공진현상", 한국지진공학회 논문집, 제3권, 제2호, pp.67-75, 1999.6
21. 최창근, 송명관, 양신추, "고속철도차량(TGV)-교량 상호작용의 단순화된 3차원 해석모델", 한국전산구조공학회논문집, 제13권 제2호, pp.165~178
22. 한국콘크리트학회(2003), "콘크리트구조설계기준", 건설교통부
23. ERRI D 190 RP5(1995), "Permissible Deflection of Steel and Composite Bridges For Velocities v>160km/h", European Rail Research Institute
24. ERRI D 214 RP9(1999), "Rail Bridges For Speeds v>200km/h", European Rail Research Institute
25. EUROCODE 1 Part 2, "Actions on Structures : General actions - Traffic loads on bridges", European Committee for Standardization
26. SYSTRA(1995), "Bridge Design Manual (BRDM) Final Report", Korea High Speed Rail Construction Authority(KHRC)
27. UIC Code 774-1R(1984), "Recommendations for the design of railway bridges in reinforced and prestressed concrete", 2nd edition, International Union of Railway
28. UIC Code 774-3(2001), "Track/Bridge Interaction Recommendations for calculations" 2nd edition, International Union of Railway

29. UIC Code 776-1R(1994), "Loads to be considered in railway bridge design", 4th edition, International Union of Railway
30. UIC Code 776-2R(1976), "Bridges for High and Very High Speeds", 1st edition, International Union of Railway
31. UIC Code 776-3R(1989), "Deformation of bridges", 1st edition, International Union of Railway
32. Hajime Wakui & Nobuyuki Matsumoto, "Dynamic Study on New Guideway Structure for JR Maglev", Proceedings of the 1st International Conference on High Speed Ground Transportation Systems, Orlando, Florida, 1992
33. Y.B. Yang, J.D. Yau, and L.C. Hsu, "Vibration of Simple Beams due to Trains Moving at High Speeds", Engineering Structures, Vol.19, No.11, 1997, pp.936 - 944
34. Cantieni, R., "Dynamic Load Testing of Highway Bridges," IABSE, Proceedings P-75/84, 1984, pp. 57-72.
35. K. J. Bathe, Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996, p.797
36. Channel Tunnel Rail Link (1999), 'Technial Design Standard - Loading & Particular Criteria for CTRL Railway Bridges", CTRL
37. 김성일, 정원석, 최은수 (2005), "공진소멸 현상을 이용한 기존선 철도교량의 지간최적화를 위한 연구", 한국철도학회 논문집, 제8권, 제2호, pp128-136
38. M. Sogabe, N. Matsumoto, M. Kanamori, T. Sato & H. Wakui (2005), "Impact Factors of Concrete Girders Coping with Train Speed-Up", Quarterly Report of RTRI, Vol.46, No.1, pp.46-52.
39. 일본 국토교통성철도국 (2004), "철도구조물등설계기준/동해설 - 콘크리트구조물".
40. 김성일, 김남식, 이희업 (2006), "다단계 긴장 PSC 거더 철도교량의 동특성 실험 및 주행열차하중 해석에 의한 동적성능 평가", 대한토목학회 논문집, 제26권, 제4A호, pp707~717
41. 한국시설안전기술공단, "정밀안전진단 기술자교육 지침서 - 제6부 교량재하시험. pp 340~341", 한국시설안전기술공단.
42. 채희남 외 (2006), "일본 철도교의 현황과 설계/계산 예", 이엔지북.

43. 일본 국토교통성철도국 (2006), "철도구조물등설계기준/동해설 - 변위제한".
44. 스페인 IAPF (2006), Instruccion sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril
45. Manfred Zacher & Matthias Baebler, "Dynamic Behavior of Ballast on Railway Bridges', International Workshop of Dynamics of High-Speed Railway Bridges, Porto, 2005, pp.125-142.

[첨부1. 특허관련 증명서류]

1. 특허증 2건
2. 특허출원증명원 3건

[기타사항]
3. 중국특허등록증

특 허 증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-0911545 호 (PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2007-0038822 호

출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2007년 04월 20일

등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2009년 08월 03일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)

선하중이 도입되는 강재를 수용하는 쉬즈관을 구비한 콘크리트 구조물

특허권자 (PATENTEE)

등록사항란에 기재

발명자 (INVENTOR)

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2009년 08월 03일

특 허 청

COMMISSIONER THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

등 록 사 항

특 허 등록 제 10-0911545 호
(PATENT NUMBER)

특 허 권 자 (PATENTEE)
(주)삼현피에프(110111-1******)
서울특별시 송파구 오금동 128-3 그린빌딩

주식회사 포스코건설(174611-0******)
경북 포항시 남구 괴동동 568-1

재단법인 포항산업과학연구원(174631-0******)
경북 포항시 남구 효자동 산-32번지

주식회사유신코퍼레이션(110111-0******)
서울 강남구 역삼동 832-40

발 명 자 (INVENTOR)
안동근

전진택

특 허 증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-0858397 호
(PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2007-0038841 호

출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2007년 04월 20일

등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2008년 09월 05일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)

거더의 상연이 블록 아웃된 프리스트레스트 콘크리트 빔에사용되는 정착 시스템 및 이를 이용한 프리스트레스 도입방법

특허권자 (PATENTEE)

등록사항란에 기재

발명자 (INVENTOR)

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2008년 09월 05일

특 허 청

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

등 록 사 항

특 허 (PATENT NUMBER) 등록 제 10-0858397 호

특 허 권 자 (PATENTEE)
(주)삼현피에프(110111-1******)
서울특별시 송파구 오금동 128-3 그린빌딩

주식회사 포스코건설(174611-0******)
경북 포항시 남구 괴동동 568-1

재단법인 포항산업과학연구원(174631-0******)
경북 포항시 남구 효자동 산-32번지

주식회사유신코퍼레이션(110111-0******)
서울 강남구 역삼동 832-40

발 명 자 (INVENTOR)
김현배

김철환

발급번호 : 5-5-2009-000999390



출원사실증명원
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성 명 Name	(주)삼현피에프 SAM HYUN P · F. CO., LTD.	주 민 번 호 Residence No	110111-*******
	주 소	서울특별시 송파구 오금동 128-3그린빌딩	전 화 번 호	02-430-6642
	성 명 Name	재단법인 포항산업과학연구원 Research Institute of Industrial Science & Technology	주 민 번 호 Residence No	174631-*******
	주 소	경북 포항시 남구 효자동 산-32번지	전 화 번 호	054-279-6463
	성 명 Name	주식회사 포스코건설 POSCO Engineering & Construction Co.,Ltd.	주 민 번 호 Residence No	174611-*******
	주 소	경북 포항시 남구 괴동동 568-1	전 화 번 호	
	성 명 Name	주식회사유신코퍼레이션 YOO SHIN ENGINEERING CO., LTD.	주 민 번 호 Residence No	110111-*******
	주 소	서울 강남구 역삼동 832-40	전 화 번 호	02-555-7132
	성 명 Name	한국철도기술연구원 KRRI	주 민 번 호 Residence No	135221-*******
	주 소	경기도 의왕시 월암동 360-1	전 화 번 호	031-567-5321
발명자 Inventor	성 명 Name	이필구 LEE Pil Goo	주 민 번 호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	신동기 SHIN Dong ki	주 민 번 호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	지구삼 Jee, Goo Sam	주 민 번 호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	김성일 KIM Sung-IL	주 민 번 호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	김철환 KIM Cheol Hwan	주 민 번 호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	

발급일자 : 2009.01.07

대리인 Agent	성 명	김종영	대리인 코드	9-2004-000205-5
	주 소	서울 강남구 역삼동 649-4 한덕빌딩 803호 (특허법률정우재누스)		
출원번호 Application Number		특허-2008-0132047 PATENT-2008-0132047	출원일자 Filing Date	2008년 12월 23일 DEC 23, 2008
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분 Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		철근 콘크리트 거더의 제작용 거푸집 및 이를 이용한 철근 콘크리트 거더의 제작 방법 FORM FOR FERROCONCRETE GIRDER AND MANUFACTURING METHOD OF FERROCONCRETE GIRER USING SAME		
용 도		제출용	IPC 분류	
최종처분상태			최종처분일	

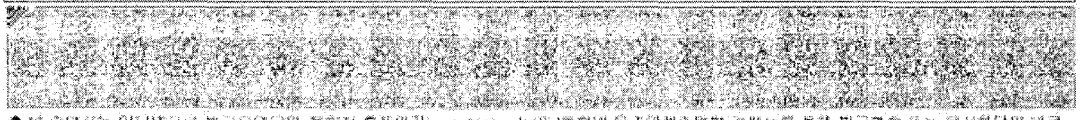
위 사실을 증명함.

This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office

2009년 01월 07일

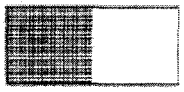
특 허 청 장

COMMISSIONER



◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 "특허민원온라인제출발급" 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

발급번호 :3-5-2009-000994815



출원사실증명원
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성 명 Name	(주)삼현피에프 SAM HYUN P・F. CO., LTD.	주민번호 Residence No	110111-*******
	주 소	서울특별시 [illegible] 128-3 그랜빌딩	전 화 번 호	02-430-6642
	성 명 Name	재단법인 포항산업과학연구원 Research Institute of Industrial Science & Technology	주민번호 Residence No	174631-*******
	주 소	경북 포항시 남구 [illegible] 산32번지	전 화 번 호	054-279-6463
	성 명 Name	주식회사 포스코건설 POSCO Engineering & Construction Co.,Ltd.	주민번호 Residence No	174611-*******
	주 소	경북 포항시 남구 괴동동 568-1	전 화 번 호	
	성 명 Name	주식회사유신코퍼레이션 YOO SHIN ENGINEERING CO., LTD.	주민번호 Residence No	110111-*******
	주 소	서울 강남구 역삼동 832-40	전 화 번 호	02-555-7132
	성 명 Name	한국철도기술연구원 KRRI	주민번호 Residence No	135221-*******
	주 소	경기도 의왕시 월암동 360-1	전 화 번 호	031-567-5321
발명자 Inventor	성 명 Name	이필구 LEE Pil Goo	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	신동기 SHIN Dong ki	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	양인욱 Yang, In Wook	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	김성일 KIM Sung-IL	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	안동근 AHN Dong Keun	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	

발급일자 : 2009.01.07

대리인 Agent	성 명	김준영	대리인 코드	9-2004-000205-5
	주 소	서울 강남구 역삼동 649-4 한덕빌딩 803호 (특허법률정우제누스)		
출원번호 Application Number		특허-2008-0132014 PATENT-2008-0132014	출원일자 Filing Date	2008년 12월 23일 DEC 23, 2008
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분 Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		장경간화가 가능한 교량용 분절형 프리스트레스트 콘크리트빔 및 그 제작 방법 PRESTRESSED SEGMENT CONCRETE GIRDER FOR BRIDGE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF		
용 도		제출용	IPC 분류	
최종처분상태			최종처분일	

위 사실을 증명함.

This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office

2009년 01월 07일

특 허 청 COMMISSIONER 장

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허낸·온라인 제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드를 입력하면 위·변조 여부를 확인하실 수 있습니다. 단, 발급번호로 조회한 후에는 90일까지 가능합니다.

발급번호 : 5-5-2009-000995037



출원사실증명원
CERTIFICATE OF APPLICATION

출원인 Applicant	성 명 Name	(주)삼현피에프 SAM HYUN P・F. CO., LTD.	주민번호 Residence No	110111-*******.
	주 소	서울특별시 송파구 오금동 128-3 그린빌딩	전 화 번 호	02-430-6642
	성 명 Name	재단법인 포항산업과학연구원 Research Institute of Industrial Science & Technology	주민번호 Residence No	174631-*******
	주 소	경북 포항시 남구 효자동 산-32번지	전 화 번 호	054-279-6463
	성 명 Name	주식회사 포스코건설 POSCO Engineering & Construction Co.,Ltd.	주민번호 Residence No	174611-*******
	주 소	경북 포항시 남구 괴동동 568-1	전 화 번 호	
	성 명 Name	주식회사유신코퍼레이션 YOO SHIN ENGINEERING CO., LTD.	주민번호 Residence No	110111-*******
	주 소	서울 강남구 역삼동 832-40	전 화 번 호	02-555-7132
	성 명 Name	한국철도기술연구원 KRRI	주민번호 Residence No	135221-*******
	주 소	경기도 의왕시 월암동 360-1	전 화 번 호	031-567-5321
발명자 Inventor	성 명 Name	이필구 LEE Pil Goo	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	신동기 SHIN Dong ki	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	김충언 Kim, Choong Eon	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	김성일 KIM Sung-IL	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	
	성 명 Name	전진택 JUN Jin Taek	주민번호 Residence No	
	주 소		전 화 번 호	

발급일자 : 2009.01.07 1/2

대리인 Agent	성 명	김준영	대리인 코드	9-2004-000205-5
	주 소	서울 강남구 역삼동 649-4 한덕빌딩 803호 (특허법률정우제누스)		
출원번호 Application Number		특허-2008-0132123 PATENT-2008-0132123	출원일자 Filing Date	2008년 12월 23일 DEC 23, 2008
발명(고안)의 명칭, 디자인을 표현할 물품, 상품(서비스업)류 구분 Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark		프리스트레스트 콘크리트 빔 교량의 연속화 구조 CONTINUATION STRUCTURE OF PRESTRESSED CONCRETE GIRDER BRIDGE		
용 도		제출용	IPC 분류	
최종처분상태			최종처분일	

위 사실을 증명함.

This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Korean Intellectual Property Office

2009년 01월 07일

특 허 청
COMMISSIONER

◆본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허고객민원센터>발급/제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드를 대조하여 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 발급번호를 통한 확인은 1회에 한해 가능합니다.

证书号第538782号

发明专利证书

发明名称：施加预应力的方法以及应用该方法的连接装置和预应力混凝土梁

发明人：宋宇燦

专利号：ZL 2005 8 0005030.0

专利申请日：2005年1月5日

专利权人：三现P.F株式会社；宋宇燦

授权公告日：2009年8月19日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权、颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。缴纳本专利年费的期限是每年01月05日前一个月内。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长

中华人民共和国国家知识产权局

2009年8月19日

第1页(共1页)

[첨부2. 콘크리트학회 발표논문 4편]

프리스트레스트 콘크리트거더의 동적응답 분석

Dynamic Behavior of Bi Prestressed Concrete Girders

이 필 구* 김 충 언**
Lee, Pil Goo Kim, Choong Eon

ABSTRACT

This study was performed to estimate the dynamic behavior for Bi Prestressed Concrete Girder(Bicon girder) which could introduce effectively prestressed forces into concrete girders. Dynamic behavior of PSC girder must be verified because it becomes not only slim but also long and a railway bridge which loaded regularly has risk of resonance especially.

Forced vibration test using a vibration machine was executed for 20m railway bridge girder specimen to acquire dynamic characteristics(natural frequency, damping ratio) and test results showed the natural frequency of 6.632Hz and the damping ratio of 1.43%

요 약

이 논문에서는 저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder (이하 Bicon거더)의 동적 안정성을 검토하기 위한 동적 재하시험의 결과를 분석하였다. PSC거더도 단면 효율의 극대화와 더불어 형고가 낮아지고 구조물이 세장해 지므로, 동적안정성의 검토가 필수적으로 수반되어야 하며, 특히 철도교와 같이 규칙적인 반복하중을 받는 구조물의 경우에는 공진의 위험이 항상 존재하므로 구조물의 설계 과정에서 이에 대한 검토를 충분히 수행하여 사용중 공진이 발생할 가능성을 최소화 시킬 필요가 있다. 이에 대한 동적 특성치(고유진동수, 모드형상 및 감쇠율)를 실험적으로 얻기 위해 이 연구에서는 20m 철도교 시험체에 대하여 가진기를 사용한 진동시험(Forced vibration test, FVT)을 수행하여 6.632Hz의 고유진동수와 1.43%의 감쇠율을 얻었다.

*정회원, RIST 토목구조연구실 책임연구원
**정회원, 삼현PF 기술개발팀 팀장

1. 서 론

저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder (이하 Bicon거더)의 동적 안정성을 검토하기 위한 동적 재하시험의 결과를 분석하였다. Bicon 거더는 거더 상연에 강봉(압축재)와 하연에 강연선(인장재)를 동시에 긴장하여 두 프리스트레싱재의 편심을 이용, 부재에 순수한 휨만을 도입할 수 있는 프리스트레싱 공법으로 제작되어 단면 효율을 극대화시킬 뿐만 아니라 형고가 낮아지고 구조물이 세장해 지므로, 동적안정성의 검토가 필수적으로 수반되어야 하며, 특히 철도교와 같이 규칙적인 반복하중을 받는 구조물의 경우에는 공진(resonance)의 위험이 항상 존재하므로 구조물의 설계 과정에서 이에 대한 검토를 충분히 수행하여 사용 중 공진이 발생할 가능성을 최소화 시킬 필요가 있다. 이를 위해 가장 기본적으로 수행되어야 할 것은 구조물의 동적특성치 (고유진동수, 모드형상 및 감쇠율)의 정확한 산정이다. 이러한 동적 특성치를 실험적으로 얻기 위해 이 연구에서는 20m 철도교 및 도로교 시험체에 대하여 가진기를 사용한 진동시험(Forced vibration test, FVT)을 수행하였다.

2. 동적실험

시험체는 그림 1에 나타낸 것과 같은 단면을 갖는 20m 길이의 거더이며 동적응답의 측정을 위해 단부로부터 L/6간격으로 6개(지간중앙에 2개)의 가속도계를 배치하였으며, L/2 지점을 가진점으로 정하였다. 실험에서 사용한 가진기는 편심을 갖는 2개의 질량을 회전시켜 동적 가진력을 얻기 때문에 가진망치를 사용하는 경우에 비해 큰 가진력을 얻을 수 있지만 (10Hz 가진시 최대 80kN), 구조물의 질량에 비해 무시할 수 없는 크기의 질량이 가진기에 의해 추가되기 때문에 (약 1.5ton) 이의 영향을 분석단계에서 고려하여야 하고, 1회 가진시 특정한 고정된 주파수에 대한 가진만이 가능하기 때문에 넓은 주파수영역에서의 응답을 측정하기 위해서는 긴 시험시간이 소요된다. 신호 측정빈도 (sampling frequency)는 100Hz로 설정하여 Nyquist frequency 인 50Hz까지의 분석이 가능하도록 하였으며, 이는 구조물의 고유진동수 범위를 고려할 때 충분한 측정범위였다.

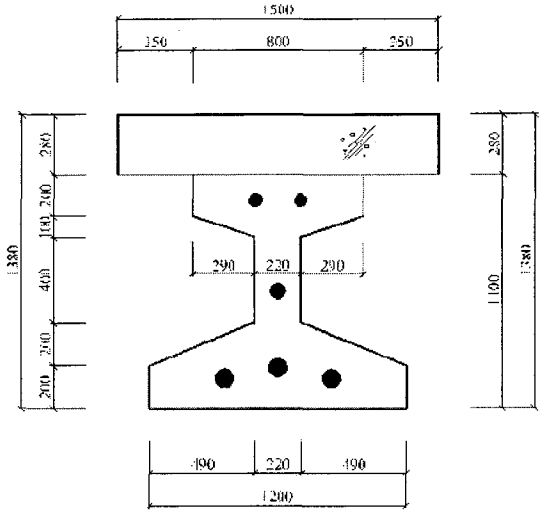


그림 1 시험체 제원

가진기를 사용한 FVT는 일정한 진동수로 가진기를 작동시키며 얻어지는 응답의 진폭을 측정하여 공진 주파수(고유진동수)와 주파수 응답을 측정하는 실험이다. 이 시험체의 경우에는 구조해석 결과로부터 구조물의 1차 고유진동수가 약 7Hz 근처에 존재함이 확인되었으므로, 가진 주파수를 4Hz에서 6Hz까지 0.5Hz 간격으로, 6Hz에서 7Hz까지 0.1Hz 간격으로 변화시켜가며 응답을 측정하였으며, 약 6.7Hz의 가진주파수에서 최대 응답이 관찰되었다. 이것은 구조해석으로부터 고유진동수 7Hz 보다 약 0.3Hz 낮은 값으로, 가진기의 부가질량의 영향이 반영된 것이다. 그림 2에는 각 가진 진동수에 따른 가속도 응답의 진폭과, 1자유도계 응답의 이론식을 사용하여 curve fitting 한 결과를 함께 나타내었다. Curve fitting에 의해 동적 특성치를 추출하였는데, 실험으로부터 구한 RMS amplitude를 동일한 가진력의 응답으로 환산하기 위해 가진주파수의 제곱으로 나누어 1자유도계의 sine 가진에 대한 가속도 응답 fitting function에 대입하고 peak 주변의 측정점을 사용하여 최소자승법으로부터 고유진동수와 감쇠율을 산정하였다. fitting 결과 고유진동수는 6.632Hz, 감쇠율은 1.43%로 나타났다.

$$\frac{A(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{\left\{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right\}^2+\left\{2\xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right\}^2}}$$

미지수: 고유진동수 (ω_n), 감쇠율(ξ), 비례상수 (A)

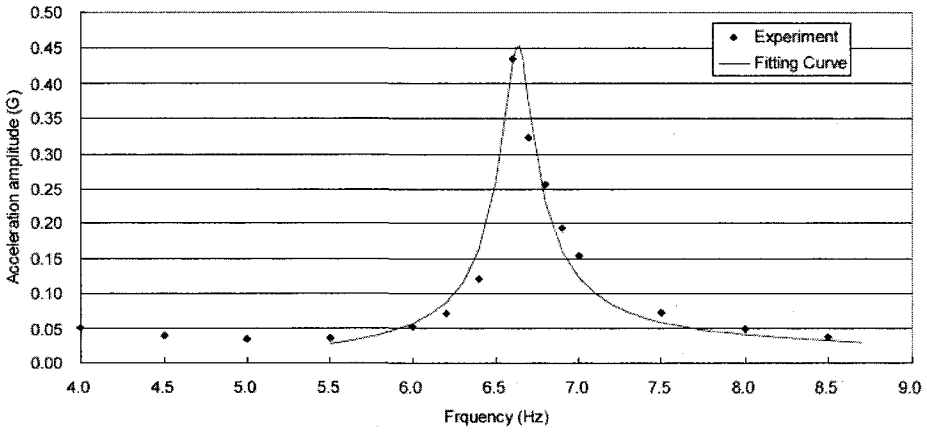
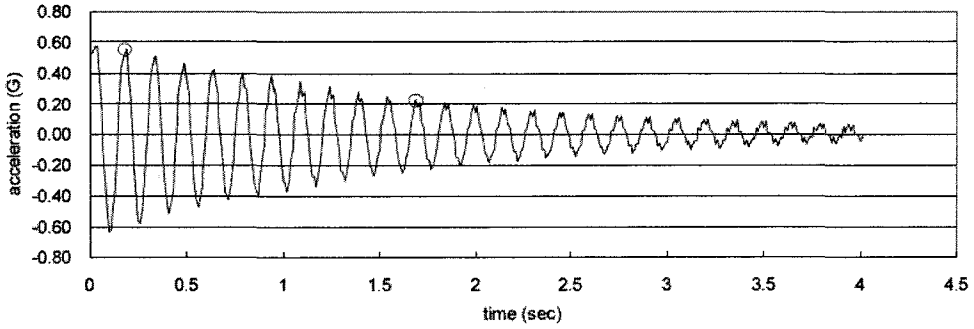


그림 2 가진기 실험을 통한 주파수 응답 곡선

가진 종료 후 측정된 감쇠곡선을 사용하여 감쇠비를 추출한 결과는 그림 3에 나타내었다. 대수감소법을 사용하여 도출된 감쇠율은 fitting 결과와 유사한 1.4%를 나타내고 있었다. 이는 기존 콘크리트 교량의 동적해석에서 사용되는 2% 이상의 값보다는 다소 작은 값임을 알 수 있다.



$$\delta = \frac{1}{n}\ln\left(\frac{u_i}{u_{i+n}}\right) = \frac{1}{10}\ln\left(\frac{0.5575}{0.2273}\right) = 0.0897 \cong 2\pi\xi$$

$$\therefore \xi = 0.0897 / 2\pi = 0.014 = 1.4\%$$

그림 3 감쇠곡선

3. 결론

이 연구에서는 구조물의 동적거동 파악에 가장 기본적인 바탕이 되는 동적특성치를 가진기를 사용한 강제진동시험을 통하여 구하였다. 실험의 결과로 얻어진 동적특성치는 사전 수치해석의 결과와 근접한 값을 보여주었으며, 향후 차량-교량 상호작용을 고려한 이동하중해석의 정도를 향상시키는 데에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 건설기술혁신사업 자유공모과제(06건설핵심-C10) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이정휘, 이필구, 김성일, 안혜영 (2005) "프리스트레스트 강합성 거더의 동적 특성치 변화 분석," 2005 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 951-954
2. Clough, R. W. and Penzien, Joseph (1993) *Dynamics of Structures, 2nd Ed.*, McGraw-Hill
3. Ewins, D. J. (2000) *Modal Testing: Theory, Practice and Application, 2nd Ed.*, Research Studies Press Ltd.
4. Kim, S. and Lee, J. (2000). "Use of Modal Testing to Identify Damage on Steel Members." KSCE Journal of Civil Engineering, 4(2), 75-82
5. The MathWorks. (1999). *Using MATLAB, version 5.3.* Natick, MA, USA

프리스트레스트 콘크리트거더의 정적거동 평가

Static Behavior of Bi Prestressed Concrete Girders

이 필 구* 김 충 언**
Lee, Pil Goo Kim, Choong Eon

ABSTRACT

This study was performed to estimate the workability and the static behavior for Bi Prestressed Concrete Girder(Bicon girder) which could introduce effectively prestressed forces into concrete girders. A bicon girder is manufactured by means of introducing pure bending moment that prestress simultaneously the compressive member(steel bar) and the tensile member(steel tendon).

Static test was executed for 20m railway bridge girder specimen and evaluated whether pure bending moment was introduced or not, and the behaviors after cracking, and at the ultimate load. Test results showed that a bicon girder had the enough safety in the introduction of pure moment, the serviceability, and the ultimate behavior.

요 약

이 연구에서는 저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder(이하 Bicon거더)에 대한 정적 구조성능을 검증하였다. Bicon거더는 거더 상연에 강봉(압축재)와 하연에 강연선(인장재)를 동시에 긴장하여 두 부재의 편심을 이용, 부재에 순수한 휨만을 도입할 수 있는 프리스트레싱 공법으로 제작된다.

구조성능검증을 위해 철도 LS-22하중으로 20m Bicon거더 시험체를 제작하였다. 프리스트레스 도입시 콘크리트 부재에 순수 휨의 도입여부를 계측하였고, 탄성 및 균열 후 거동, 파괴시의 극한거동을 평가하기 위해 정적 재하시험을 수행하였다.

시험결과 긴장시 중앙단면의 효과적인 휨모멘트의 도입을 확인하였고, 정적하중 재하시 균열은 사용하중의 약 1.2배의 하중에서 발생하였으며 극한강도는 최대저항모멘트보다 15% 이상 증가되는 결과를 보여 충분한 안전율을 갖고 있는 교량거더로 평가되었다.

*정회원, RIST 토목구조연구실 책임연구원
**정회원, 삼현PF 기술개발팀 팀장

1. 서 론

최근에 교량에 사용되는 거더의 지간이 증가하고 형고가 점점 낮아짐에 따라 거더 하연의 인장보다는 거더 상연의 압축응력이 문제가 되는 사례가 발생하고 있다. 특히 2차례 이상 프리스트레스를 도입하는 다단계 긴장 PSC 거더나 콘크리트 하로교의 단부보, 프리스트래스트 슬래브교 등의 경우에는 긴장시 휨모멘트에 비해 압축성분이 월등히 커져 이러한 현상히 확연히 발생하고 있다.

콘크리트는 기본적으로 인장에 약하고 압축에 강한 재료이기 때문에 인장부에 고강도 강연선을 이용하여 압축응력을 도입하는 PSC형태의 구조부재가 널리 사용되고 있다. 하지만, 지나친 부재의 슬림화와 그에 따르는 과도한 프리스트레싱은 압축부에서 응력초과의 문제를 발생시킬 수 있다. 기존의 프리스트레싱 방법으로는 프리스트레스에 의해 부재에 발생할 인장응력을 미리 보완할 수는 있으나 압축응력에 대해서는 단면 재원을 조정하는 것 이외에는 제어할 방법이 없기 때문이다. 대부분의 경우 압축응력이 문제가 되지 않는 정도의 단면을 선정하고 그에 맞는 적당한 수준의 프리스트레스를 도입하게 되지만 경우에 따라서는 약간의 압축응력 조정으로 보다 효율적인 설계를 도모할 수 있다.

이 연구에서는 저형고의 콘크리트거더의 제작/설계시 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder(이하 Bicon거더)를 소개하고 이에 대한 정적 구조성능을 검증하고자 한다.

2. Bicon 거더 제작공법

Bicon거더는 거더 상연에 강봉(압축재)와 하연에 강연선(인장재)를 동시에 긴장(일체긴장)하여 두 부재의 편심을 이용, 부재에 순수한 휨만을 도입할 수 있는 프리스트래싱 공법으로 제작된다. 프리스트레스를 도입하는 프리스트래싱재의 단부를 콘크리트에 직접 정착하지 않고 압축재와 인장재를 서로 연결시켜 프리스트레스 도입시 축력을 상쇄시킬 수가 있다. 따라서 PSC거더에서 형고를 작게 할수록 증가되는 거더 상연의 응력을 제어할 수 있어 장경간화 및 저형고화를 구현할 수 있는 프리스트래싱 공법이다.

일반적으로 콘크리트에 프리스트레스를 도입하기 위해서는 고강도의 인장재와 정착구 그리고 긴장장치가 필요한데, Bicon 거더에서 프리스트레스를 도입하기 위해서는 콘크리트에 인장재를 정착하는 정착구는 필요하지 않으며, 대신에 인장재의 인장력과 같은 크기의 압축력을 받을 수 있는 압축재가 추가되고 인장재와 압축재를 연결하고 긴장장치의 반력을 받아 압축재에 전달하는 연결구가 필요하다(그림 1, 그림 2 참조).

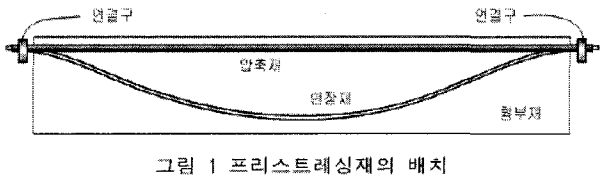


그림 1 프리스트레싱재의 배치

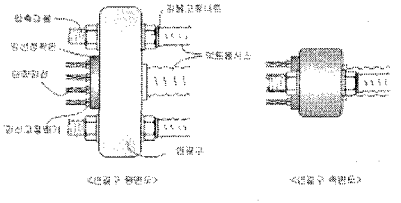


그림 2 연결구 상세도

콘크리트 휨부재의 상부에는 압축재용 덕트가 직선 또는 직선에 가까운 형상으로 배치되고 아래쪽에는 인장재용 덕트가 곡선형으로 배치되어 있으며, 각각의 덕트를 관통하는 압축재와 인장재는 부재 단부에 노출되어 연결구에 의해 서로 연결된다. 이 때 인장재는 부재단부에서 압축재와 평행해야 하기

때문에 인장재의 배치형상은 2개의 변곡점을 가지는 곡선이 된다. 이러한 방법으로 프리스트레스를 도입할 때 특별한 긴장장치가 필요한 것은 아니고 일반적인 긴장장치를 이용해서 프리스트레스를 도입할 수 있는데, 다만 긴장장치의 반력을 휨부재에 배립된 정착구가 아닌 부재와 분리된 연결구가 받아서 자연스럽게 압축재에는 압축력이 도입되고 인장재에는 인장력이 도입되도록 한다.

이러한 Bicon 거더의 효과는 그림 3에서 보는 바와 같이 콘크리트 부재 상부에 압축된 강봉이 정착된 효과와 긴장된 인장재가 정착된 효과의 합과 같다. 따라서 부재에는 축력이 발생하지 않으며 순수하게 휨모멘트만이 발생하게 된다. 그 모멘트의 크기는 부재 중립축의 위치와는 무관하고 압축재와 인장재의 편심거리에 비례한다. 이러한 방식의 프리스트레싱 공법을 적용하면 압축영역의 응력을 조절할 수 있으므로 압축을 받는 상부플랜지는 작게, 인장을 받는 하부플랜지는 크게 계획할 수 있다. 따라서 하부에 많은 긴장재를 배치하고 긴장력을 크게 할 수 있으며, 중립축이 낮아져서 바닥판 콘크리트 타설에 의한 하부플랜지의 프리스트레스 손실이 작아질 뿐만 아니라, 바닥판 합성 후에 지나치게 중립축이 올라가는 기존 교량과는 달리 적절한 위치에 중립축을 위치시킴으로써 2차 고정하중 및 활하중에 대한 단면효율을 증가시킬 수 있다. 이러한 단면형상은 가설 중에 안정성이 매우 뛰어나고 바닥판이 합성된 최종상태에서 활하중에 대한 강성이 크다.

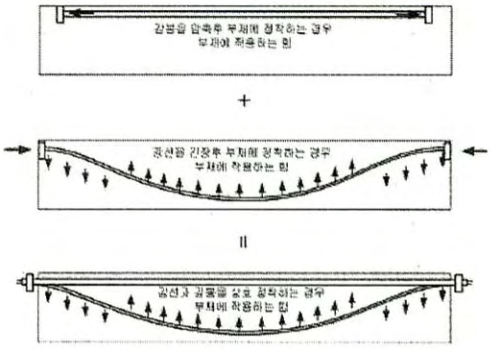


그림 3 일체긴장에 의해 작용하는 힘

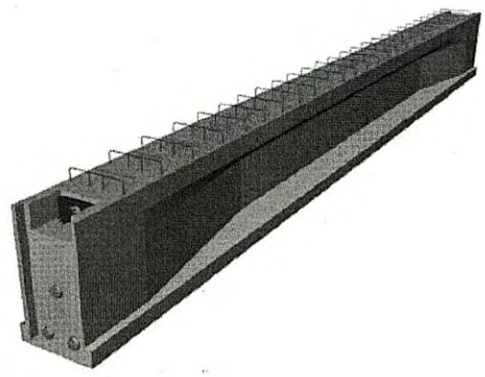


그림 4 Bicon 거더 형상

3. 구조성능검증 실험

구조성능검증을 위해 철도 LS-22하중, 도로 DB-24하중으로 20m Bicon거더 시험체를 각 1본씩 제작하였으며 단면제원은 그림 5와 같다.

시험체의 제작시 일체긴장에 의해 도입되는 응력을 평가하기 위해 지간 중앙의 거더 상연과 하연의 철근의 변형률을 계측하였다. 그림 7(a)에서처럼 긴장력의 증가에 따라 거더 상연에는 인장, 거더 하연에는 압축변형이 발생하여 효과적인 휨모멘트 도입을 확인하였다.

정적하중 재하는 1000톤 UTM을 이용하여 지간 중앙부를 변위제어로 가력(그림 6)하였으며 하중-변위 곡선은 그림 7(b)와 같다. 사용하중 이하에서는 탄성거동을 보이고 있으며 균열은 사용하중의 약 1.2배의 하중에서 발생하였다. 거더 하연의 인장균열이 증가됨에 따라 강성이 점차 감소되었으며 극한상태에서 가력부(압축부)의 바닥판 콘크리트 파괴와 함께 내하력이 감소하는 것을 확인하였다. 극한강도는 계산된 최대저항모멘트보다 15% 이상 증가되는 결과를 보여 충분한 안전율을 갖고 있는 교량거더로 평가되었다.

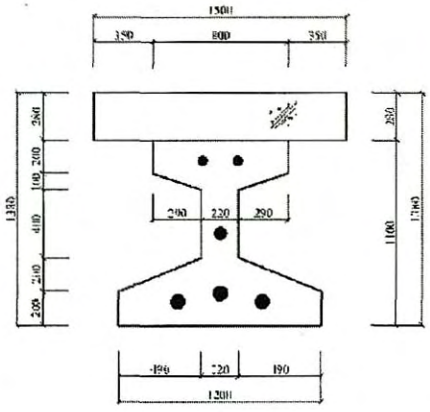


그림 5 시험체 제원

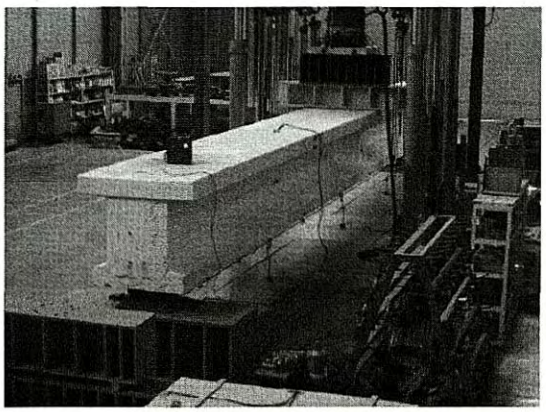
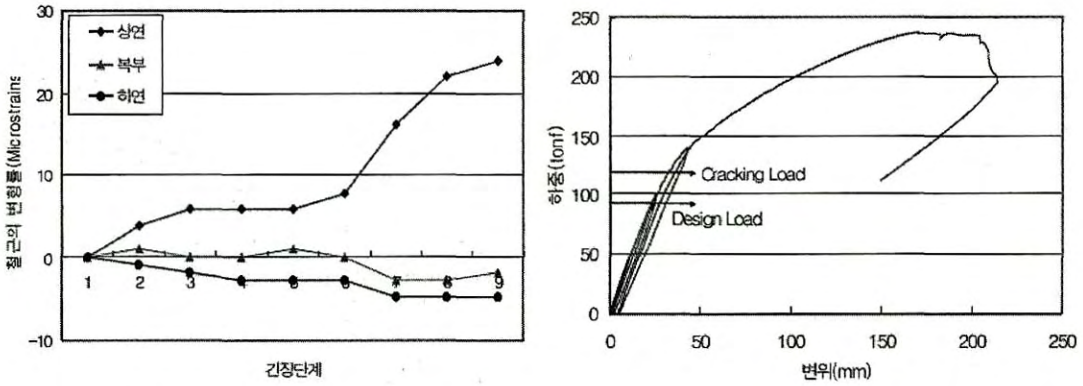


그림 6 시험체 세팅



(a) 프리스트레싱에 의한 휨모멘트 도입 (b) 하중-변위 곡선

그림 7 실험결과

4. 결론

이 논문에서는 휨부재에 압축력을 가하지 않고 순수하게 휨을 가하여 제작하는 Bicon 거더를 소개하고 이에 대한 구조성능을 평가하였다. 시험결과 긴장시 중앙단면의 효과적인 휨모멘트의 도입을 확인하였고, 정적하중 재하시 균열은 사용하중의 약 1.2배의 하중에서 발생하였으며 극한강도는 최대저항모멘트보다 15% 이상 증가되는 결과를 보여 충분한 안전율을 갖고 있는 교량거더로 평가되었다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 건설기술혁신사업 자유공모과제(06건설핵심-C10) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2005) 도로교설계기준.

프리스트레스트 콘크리트거더의 정착구 거동 분석

Anchorage Behavior of Bi Prestressed Concrete Girders

이 필 구* 김 충 언**
Lee, Pil Goo Kim, Choong Eon

ABSTRACT

This study was performed to estimate the anchorage behavior for Bi Prestressed Concrete Girder(Bicon girder) which could introduce effectively prestressed forces into concrete girders. A bicon girder is manufactured by means of introducing pure bending moment that prestress simultaneously the compressive member(steel bar) and the tensile member(steel tendon). Therefore, the steel bar and the steel tendon must be unified in both ends and compressive and tensile force be offset.

Anchorage dimension of 6 test specimens was designed under PTI specification which defined maximum stress and deformation to estimate structural behavior. Test results showed that the stress and the deformation of anchorage were within limits if the steel bar behaviored elastically.

요 약

이 연구에서는 저형고의 콘크리트거더에 효율적으로 프리스트레스를 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder (이하 Bicon거더)에 대한 정착구의 구조성능을 검증하였다. Bicon거더는 거더 상연에 강봉(압축재)와 하연에 강연선(인장재)를 동시에 긴장하는데 프리스트래싱재의 단부는 콘크리트에 직접 정착하지 않고 부재 단부에서 서로 연결되기 때문에 프리스트레스 도입시 축력은 프리스트래싱재간에 서로 상쇄되고 콘크리트 부재에는 순수 휨만이 도입되게 된다. 따라서 정착구의 역할은 강봉과 강연선을 동시에 정착하며 강연선으로부터 강봉에 도입되는 축력에 저항하여야 한다.

정착구의 단면제원은 PTI 기준에서 제시하고 있는 휨응력과 최대수직변위를 고려하여 설계하였으며 구조성능평가를 위해 6EA의 시험체를 제작하였다. 시험결과 강봉이 탄성거동을 나타낼 경우 정착구는 응력, 변위 모두 허용기준 이내의 값을 보였다.

*정회원, RIST 토목구조연구실 책임연구원
**정회원, 삼현PF 기술개발팀 팀장

1. 서 론

PSC거더의 경우 지나친 부재의 슬림화와 그에 따르는 과도한 프리스트레싱은 압축부에서 응력초과의 문제를 발생시킬 수 있다. 기존의 프리스트레싱 방법으로는 프리스트레스에 의해 부재에 발생할 인장응력을 미리 보완할 수는 있으나 압축응력에 대해서는 단면 제원을 조정하는 것 이외에는 제어할 방법이 없기 때문이다. 이를 보완하기 위해 거더 상연에 강봉(압축재)와 하연에 강연선(인장재)를 동시에 긴장하여 축력은 프리스트레싱재간에 서로 상쇄시키고 콘크리트 부재에는 순수 휨만을 도입할 수 있는 Bi Prestressed Concrete Girder(이하 Bicon거더)의 정착구에 대한 해석 및 구조성능 검증을 수행하였다.

2. 시험체 해석

일반적으로 콘크리트에 프리스트레스를 도입하기 위해서는 고강도의 인장재와 정착구 그리고 긴장장치가 필요한데, Bicon 거더에서 프리스트레스를 도입하기 위해서는 콘크리트에 인장재를 정착하는 정착구는 필요하지 않으며, 대신에 인장재의 인장력과 같은 크기의 압축력을 받을 수 있는 압축재가 추가되고 인장재와 압축재를 연결하고 긴장장치의 반력을 받아 압축재에 전달하는 연결구가 필요하다 (그림 1 참조).

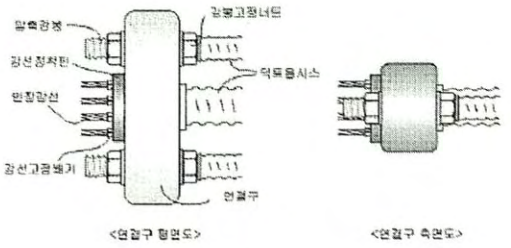
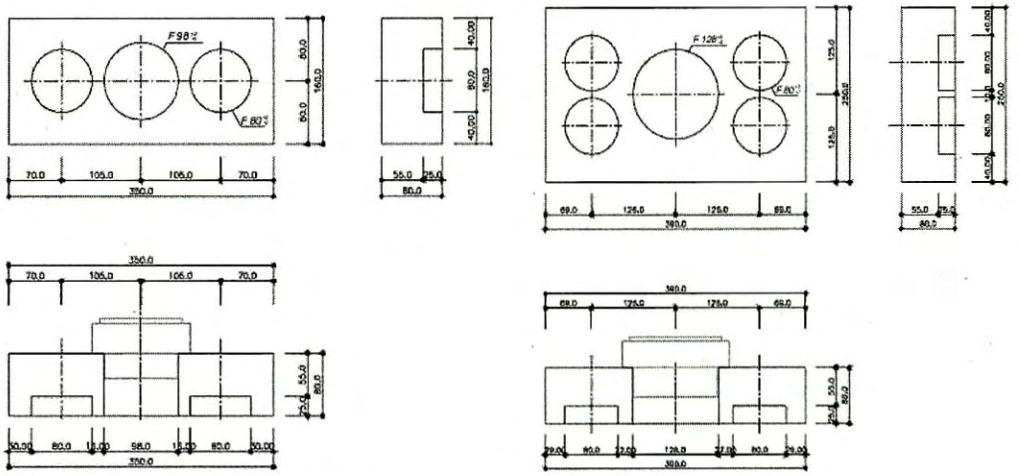


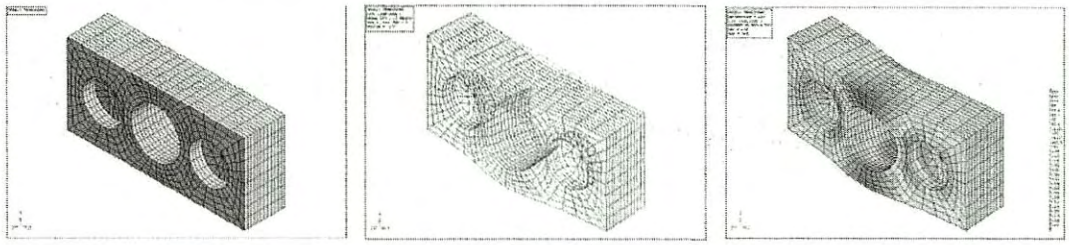
그림 1 정착구 상세도



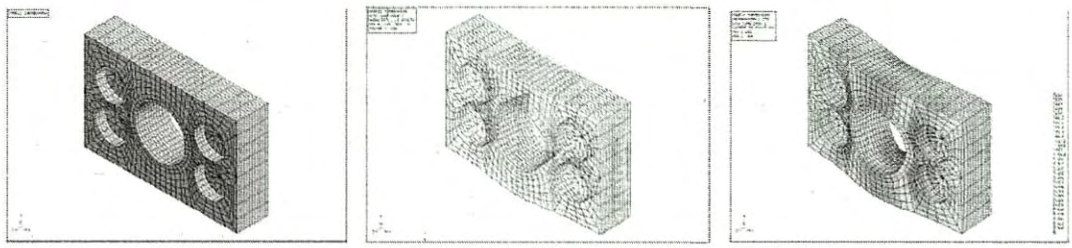
(a) Type-1: 7 강연선 2hole (b) Type-2: 12 강연선 4hole

그림 2 시험체 제원

이러한 정착구(연결구)는 강봉과 강연선에 의해 작용하는 힘에 대해 휨변형이 발생하게 되는데 이러한 정착구를 적용하기 위해서는 설계기준에서 제시하고 있는 최대응력과 변형(PTI기준) 이내에 들도록 설계하여야 한다. 이에 swpc7B 15.2mm 강연선 7가닥과 40mm 강봉 2개가 연결될 수 있는 시험체 Type-1과 강연선 12가닥과 강봉 4개가 연결될 수 있는 시험체 Type-2를 설계하고 유한요소해석에 의해 설계기준과 비교하였다. 시험체 단면제원은 그림 2와 같고, 범용 해석프로그램인 DIANA-8을 이용 solid요소로 해석한 결과는 그림 3과 같다. 표 1의 결과에서처럼 2가지 형상의 정착구 모두 최대허용 변위 (Type-1: 0.217mm, Type-2: 0.287mm)와 최대휨응력 176MPa 이내의 값을 보이고 있었다.



(a) Type-1: 7 강연선 2hole



(b) Type-2: 12 강연선 4hole

그림 3. 시험체 유한요소해석

표 1 시험체 해석결과

	Type-1 (7 강연선 2hole)	Type-2 (12 강연선 4hole)
Load (kN)	1274.910	2157.540
Area (mm^2)	5730.265	7238.230
Length (mm)	130	172
Allowable Displacement (mm)	0.217	0.287
Displacement (mm)	0.134 (ok)	0.176 (ok)
Allowable Stress (MPa)	176	176
Max. Stress (MPa)	173 (ok)	169 (ok)

3. 구조성능검증 실험

구조성능검증을 위해 정착구 시험체를 각각 3EA 제작하여 강봉을 삽입하고 강연선을 정착하는 앵커플레이트에 하중을 재하(그림 4)하여 정착구의 거동을 분석하였다. 그림 6에서처럼 강봉과 너트의 슬립과 방봉의 축변형에 의해 변위가 다소 크게 발생하였으나 사용하중하에서 허용처짐 이내의 값을 보

이고 최대 응력에 있어서도 기준치를 만족하는 것을 알 수 있다.

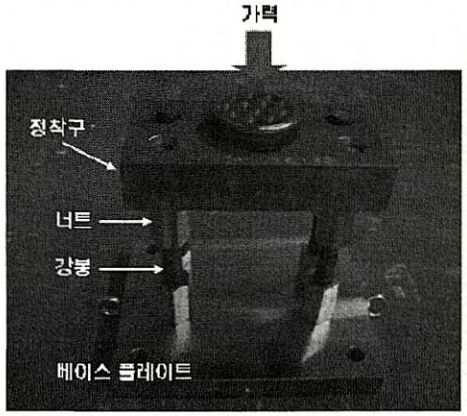


그림 4 시험체 제원

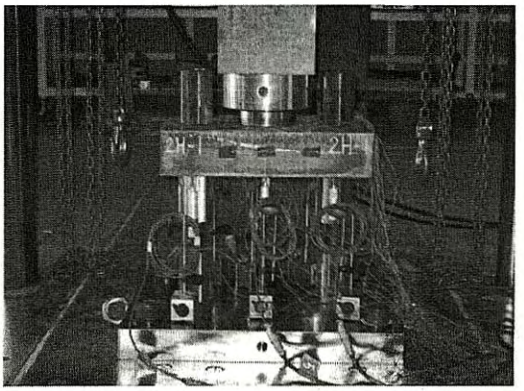
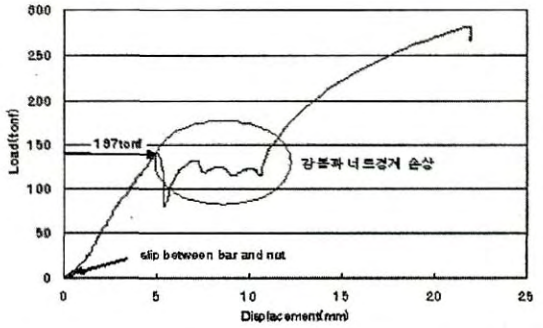
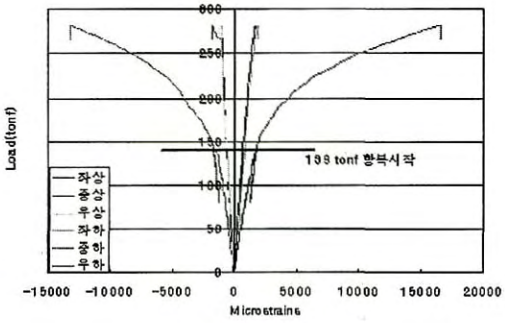


그림 5 시험체 세팅



(a) 하중-변위 곡선



(b) 정착구 변형률 곡선

그림 6 실험결과(Type-1)

4. 결론

이 논문에서는 강연선의 긴장에 의해 콘크리트 부재에 프리스트레스를 도입할 때에 강봉에 의해 축력을 상쇄할 수 있는 단부의 정착구에 대한 해석 및 실험검증을 수행하였다. 설계된 정착구는 PTI의 응력 및 변형 기준을 만족하였고, 실험결과 강봉이 탄성거동을 나타낼 경우 정착구는 응력, 변위 모두 허용기준 이내의 값을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 건설기술혁신사업 자유공모과제(06건설핵심-C10) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Post-Tensioning Manual 6th, (2006).

강봉과 강연선이 일체화된 정착구의 슬립거동 평가

Slip Behavior of Anchorage Unifying Both PS Strand and Bar

이 필 구* 김 창 언**
Lee, Pil Goo Kim, Choang Eon

ABSTRACT

The anchorage system unified both PS strand and bar effectively introduced a prestress into a flexural concrete members. This study examined the relation between the anchorages of both ends and the introduced force and derived the equation for design.

요 약

본 논문에서는 콘크리트 휨부재에 효율적인 프리스트레스를 도입할 수 있는 강봉과 강연선이 일체화된 정착구의 양쪽 연결구의 이동량과 도입긴장력의 관계를 규명하고 설계에 적용할 수 있는 계산식을 유도하였다.

1. 서 론

기존의 저형고 PSC거더의 프리스트레싱 방법은 하중에 의한 휨부재 하연에 발생할 인장응력을 미리 보완할 수는 있으나 상연의 압축응력에 대해서는 편심거리가 제한되어 제어가 어렵다. 이를 극복하기 위해 고강도의 압축재(강봉)와 인장재(강선)를 이용하며 두 프리스트레싱재의 편심을 이용해 부재에 순수하게 휨만을 가하여 상연의 압축응력을 조절할 수 있는 PS강선 및 강봉의 일체긴장방법이 있다. 이 방법의 경우 압축재와 인장재가 서로 연결되어 콘크리트 부재 단부에서 직접 정착되지 않기 때문에 긴장시에 압축재와 인장재의 변형과 미끄러짐 때문에 부재축 방향으로 이동하게 되어 보다 정확한 이동량의 산정이 필요하다. 이 논문에서는 양쪽 연결구의 이동량과 도입긴장력의 관계를 규명하고 설계에 적용할 수 있는 계산식을 유도하고자 한다.

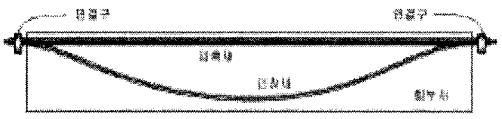


그림 1 프리스트레싱재의 배치

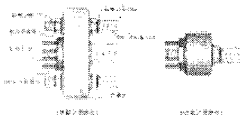


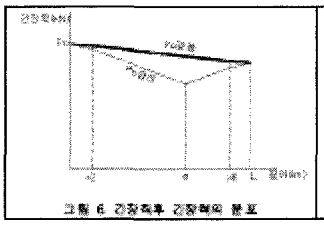
그림 2 강봉/강연선 일체 정착구 상세도

*정회원, RIST 토목구조연구실 책임연구원
**정회원, 삼현PF 기술개발팀 팀장

2. 일체긴장 정착구의 슬립거동

인장을 받는 강선의 경우 폐지에 의한 슬립이 발생하고, 압축을 받는 강봉의 경우는 슬립이 발생하지 않는다. 그러나 일체긴장 정착구에서는 강선과 강봉의 축력이 서로 평형을 이루어야 하므로, 강선의 슬립에 의한 인장응력의 손실은 일체긴장연결구에서의 평형유지를 위한 강봉의 압축응력 손실로 이어지게 된다.

표 1 슬립손실 전의 축방향력의 분포 및 기호설명



- 강선의 축방향력(인장) 분포:
- 슬립손실분 $P_{ps}(x1)$, 슬립손실후: $P_{ps}(x)$
- 강봉의 축방향력(압축) 분포
- 슬립손실분 $P_{pb}(x1)$, 슬립손실후: $P_{pb}(x)$
- 긴장측 연결구의 평형: $P_{ps}(0) = P_{pb}(0) = P_0$
- 비긴장측 연결구의 평형: $P_{ps}(L) = P_{pb}(L) = P_L$
- 위치의 설명
x2 : 긴장측 직선배치 종료점
a : 강선의 이심량 중심
x6 : 비긴장측 직선배치의 시작

그림 6. 긴장직후 긴장력의 분포

실제 구조물을 고려한다면, 일체긴장시스템이 도입되는 부재의 길이가 20m이상이며 강선과 강봉의 마찰계수가 통상의 값이고(강선곡률마찰계수=0.15~0.25, 강선파상마찰계수=0.0005~0.0006, 강봉파상마찰계수=0.005~0.006), 설계슬립이 6mm이하이기 때문에 그림 4와 같은 거동을 보이며 이에 따라 설계슬립량으로부터 강선의 손실이 종료되는 점(Lset)을 산정하고 이로부터 손실 후의 강선의 축력이 산정되며 이로부터 연결구의 이동량을 산정할 수 있다.

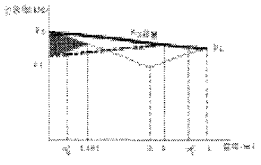


그림 7. 최대슬립시 축방향력 분포

- 긴장측 연결구의 강선의 슬립량

① 강선의 설계슬립량을 이용하여 L_{set}산정

$$\delta_{set} = \frac{1}{E_p A_p}\left\{\left(P_0 - P_0(x_2)\right)\times x_2 + \left(P_0(x_2) + P_0(L_{set})\right)\times\left(L_{set} - x_2\right) - \left(P_L + P_L\right)\times L_{set}\right\}$$

② 긴장측 연결구의 이동량(강봉의 축력변화에 의한 거동량으로 산정)

$$\Delta_1 = \frac{1}{E_p A_p}\left\{\left(P_0 - P_0(x_1)\right)\times x_1 + \left(P_0(x_1) - P_0(\text{끝})\right)\times(\text{끝} - x_1)\right\}$$

3. 결론

이 논문에서는 강봉과 강연선이 일체화된 정착구의 양측 연결구의 이동량과 도입긴장력의 관계를 규명하여 설계에 적용할 수 있는 계산식을 유도하였다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 건설기술혁신사업 자유공모과제(06건설핵심-C10) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

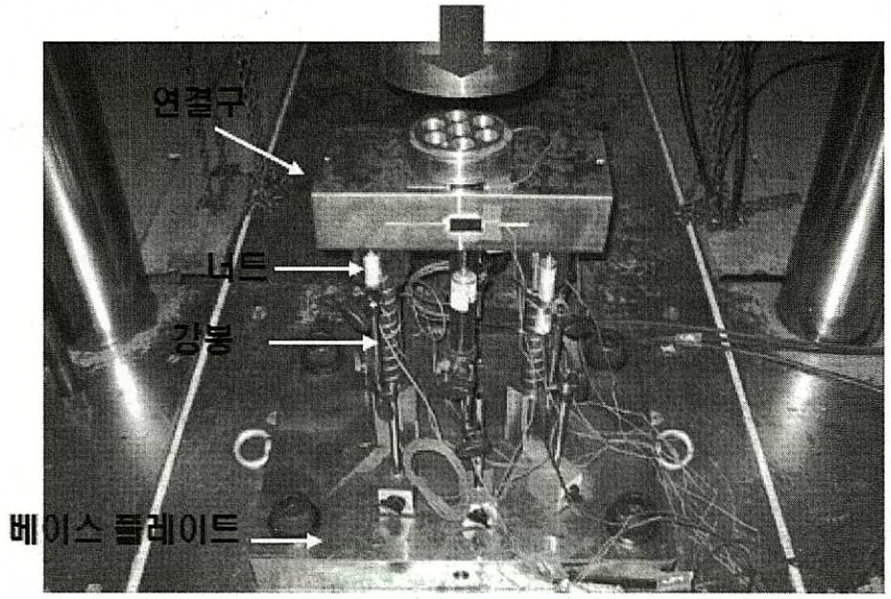
참고문헌

1. 건설교통부 (2006) 도로교설계기준.

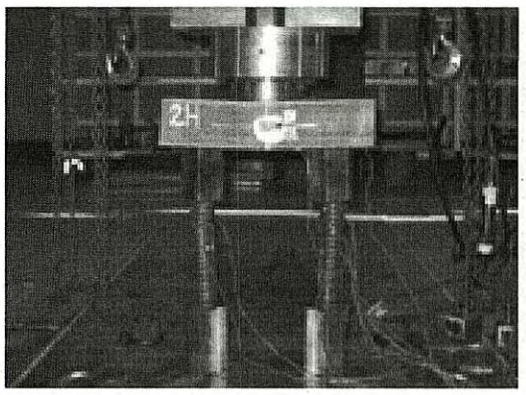
[첨부3. 시작품제작 사진]

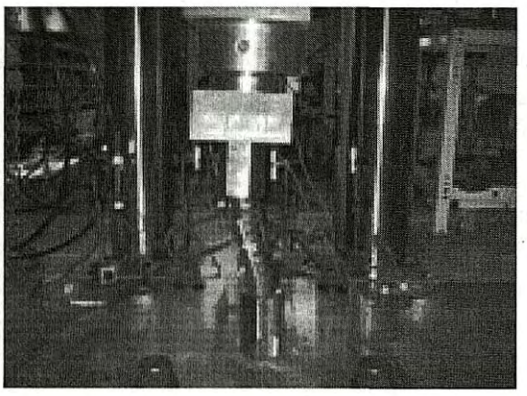
1. 일체긴장 연결구
2. 일체긴장 사각보
3. 일체긴장 거더
4. 일체긴장 교량시험체

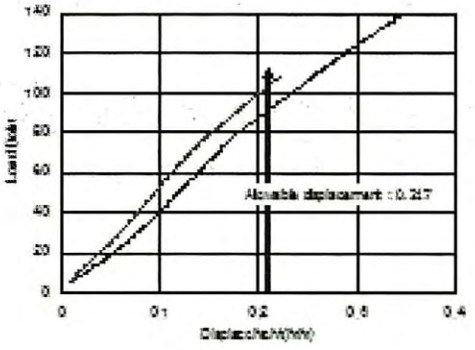
1. 일체긴장 연결구 실험

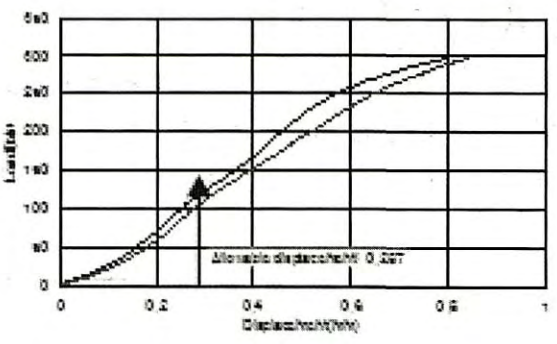


시험체 세팅

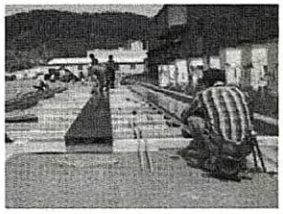








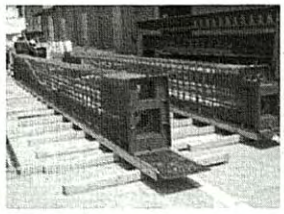
2. 일체긴장 사각보 실험



베드설치



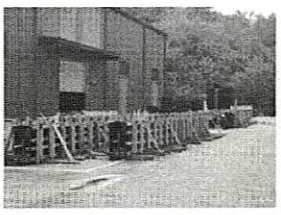
철근/쉬스관 설치



단부거푸집 설치



강봉삽입



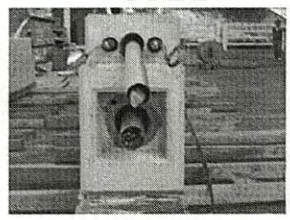
거푸집설치



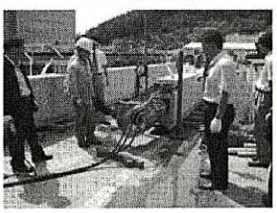
콘크리트 타설



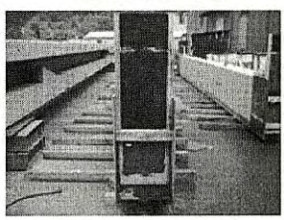
탈형



강선삽입



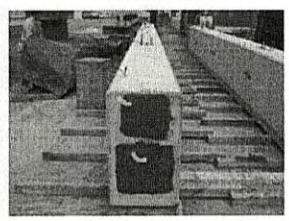
프리스트레싱



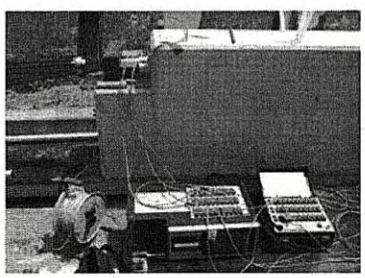
단부마감

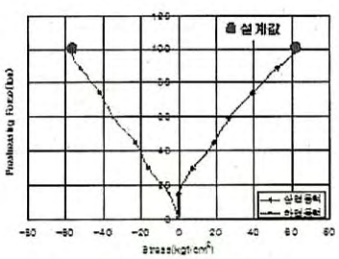


그라우팅

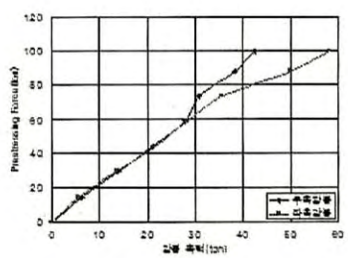


완성

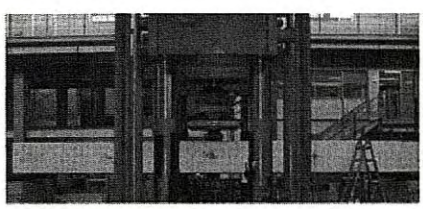




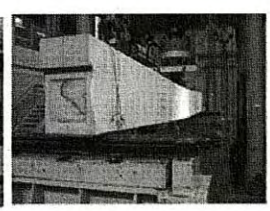
일체긴장시스템 긴장시 응력(G2)



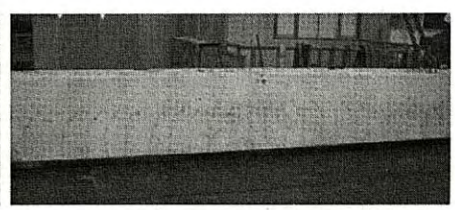
일체긴장시스템 긴장시 강봉 축력(G2)



일체긴장 PSC보 가력 : 1000톤 UTM



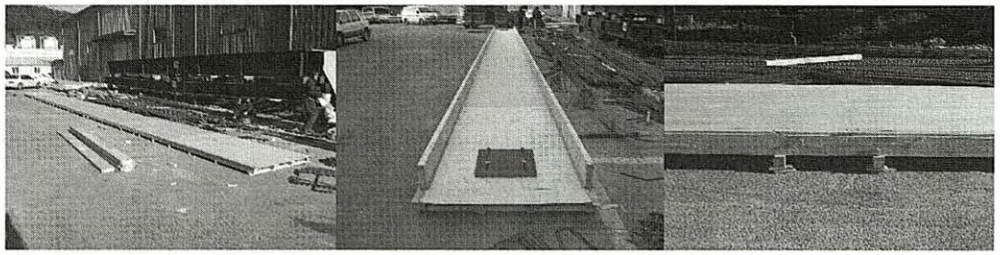
파괴시 변형형상



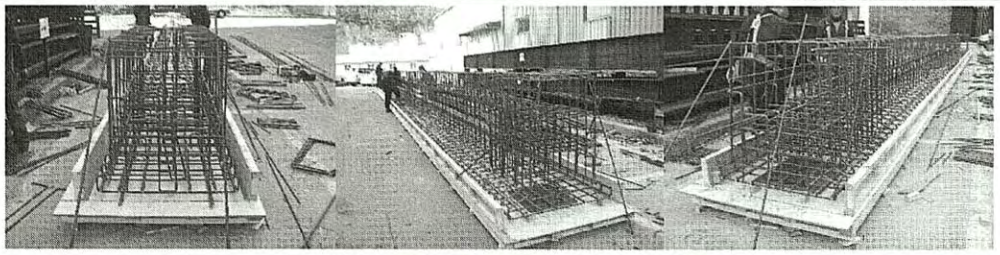
일체긴장 PSC보의 균열양상

3. 일체긴장 거더실험

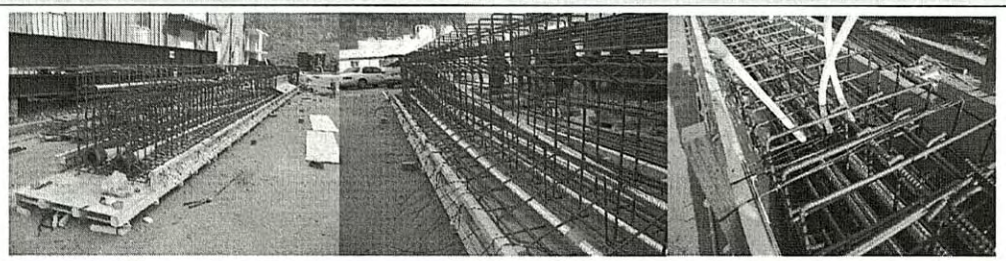
베드작업



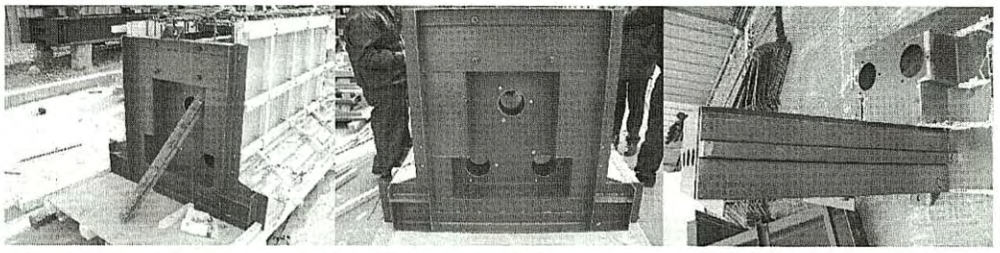
철근조립



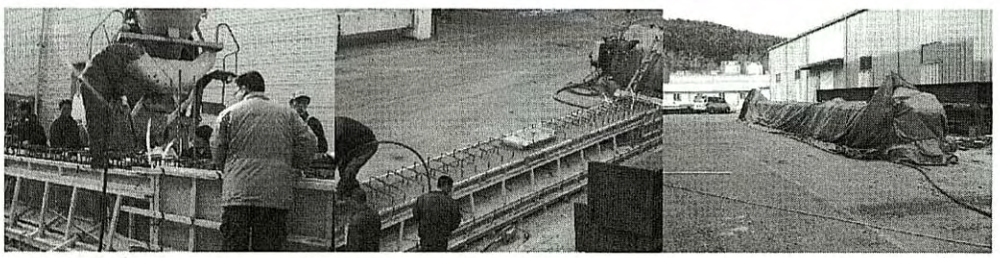
쉬스조립



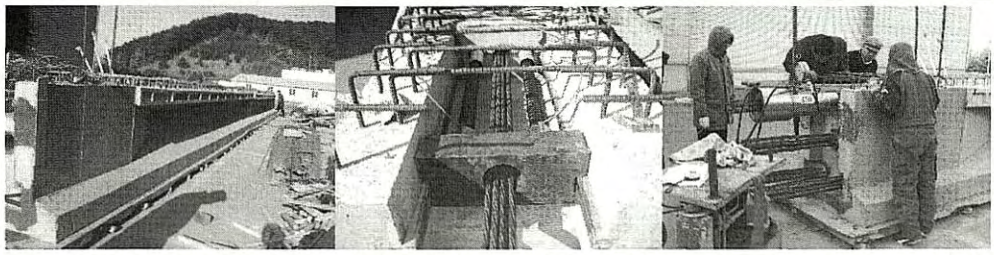
거푸집 조립



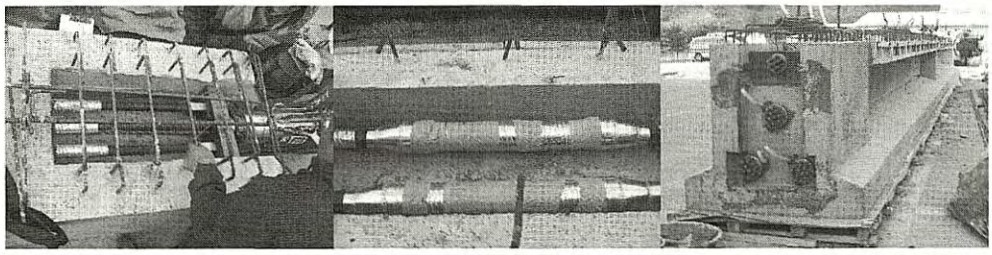
콘크리트 타설 및 양생



탈형 및 긴장



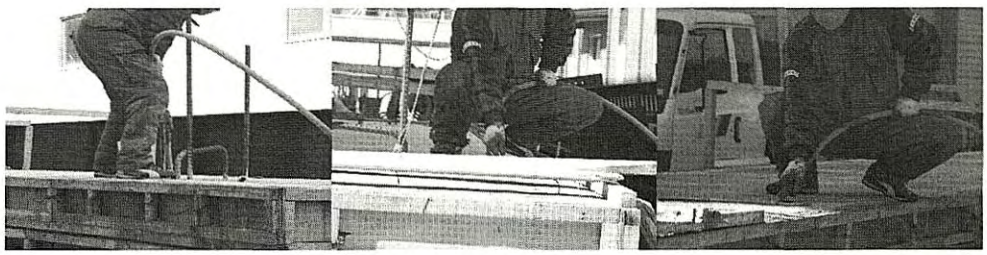
긴장



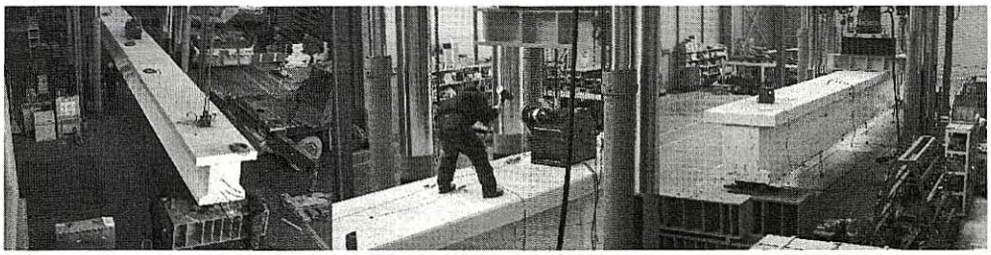
바닥판 시공



그라우팅

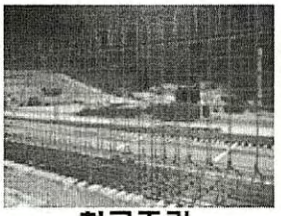


실험사진



4. 일체긴장 교량시험체


베드설치


철근조립


쉬즈배치


강봉삽입


단부 거푸집


강연선 삽입

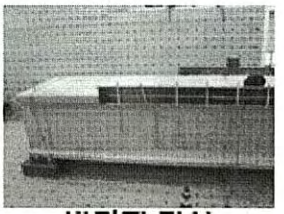

거푸집 설치


콘크리트 타설


양생


거푸집 탈형


긴장작업


바닥판 타설


1차 실험


궤도설치


2차실험


시험체 폐기

[첨부4. 설계 및 시공 가이드라인]

일체긴장거더(Bicon Girder)

설계지침(안)

과제명 : PS강봉 및 강선의 일체긴장시스템을 이용한 교량구조개발

2009.

주관연구기관: (주)삼현피에프

협동연구기관: 포스코건설

유신코퍼레이션

참여기업: 한국해외기술공사

극동엔지니어링

- 목 차 -

제 1 장 일반사항

1.1 적용범위

1.2 용어의 정의

1.3 일체긴장 시스템

1.4 참고문헌

제 2 장 재 료

2.1 사용재료

2.2 물리상수

2.3 긴장재의 마찰계수

제 3 장 허용응력

제 4 장 설 계

4.1 설계개요

4.2 제작/시공단계별 하중

4.3 바닥판

4.3.1 철근콘크리트 바닥판

4.3.2 바닥판의 지간

4.3.3 바닥판의 설계 휨모멘트

4.3.4 바닥판의 최소두께

4.3.5 유효폭의 산정

4.4 일체긴장거더

4.4.1 일반사항

4.4.2 거더의 배치

4.4.3 콘크리트의 장기거동

4.5 일체긴장 정착부

4.5.1 일반사항

4.5.2 정착단 이동량

4.6 압축 PS강봉

4.6.1 압축 PS강봉의 설계

4.6.2 압축 PS강봉의 릴랙세이션

4.7 전단설계

4.7.1 전단과 비틀림

4.7.2 전단연결재

머 리 말

하중에 의하여 콘크리트에 발생하는 인장응력을 상쇄하기 위하여 미리 압축응력을 도입한다는 개념이 1886년 미국에서 발명된 이래 프리스트레스 공법은 지속적인 발전을 거듭하여 오늘날까지 PSC I형 거더, PSC 박스거더 등 다양한 형태의 공법으로 적용되고 있다. 그러나 교량에 작용하는 외력이 거더의 휨모멘트에 의해 교축방향 응력을 발생시키는데 반해, PS강재에 의한 프리스트레스는 대개의 경우 축력과 휨모멘트가 동시에 도입되므로 외력과 균형을 이루지 못하는 경우가 있었다.

이와 같은 불균형 문제를 해결하기 위해 인장 프리스트레스를 도입하는 방법이 고려되었고, 1977년 오스트리아에서 Post-compression 공법이라는 이름으로 최초로 실교량에 적용되었다. 이후 1985년 일본에서 독자적인 강봉정착 시스템을 개발하고 실용화하여 2004년까지 약 560개소 교량에 적용되었다. 이것이 바이프레(Bipre)라고 부르는 공법이다.

본 설계 및 시공지침은 이와 같은 post-compression의 효과를 개선 및 개량한 일체긴장시스템을 이용한 거더에 관한 것으로서, 국내에서는 처음 시도되며 세계 최초로 휨모멘트 성분만의 프리스트레스를 도입하는 공법이다.

상위기준인 도로교 설계기준, 철도설계기준(철도교편) 및 콘크리트 구조설계기준뿐만 아니라 각종 설계기준 규정을 따르고자 하였으며, 국내외의 자료들을 참고하여 실용적으로 적용될 수 있도록 노력하였다. 휨모멘트를 프리스트레스로 도입하는 공법을 정립하여 교량뿐 아니라 광범위 구조체의 내하력 증가에 큰 역할을 할 수 있기를 기대한다.

2009년 12월

『PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC교량구조 개발』 연구과제

연구원 일동

제1장 일반사항

1.1 적용범위

(1) 이 설계가이드라인은 일체긴장 시스템을 적용한 교량구조에 관한 것으로 50m이하의 교량에 적용하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 이 설계가이드라인은 최소한의 요구조건을 제시한 것으로 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관련설계지침의 적용을 대체할 수 있다.

(3) 이 설계가이드라인에서 제시되지 않는 사항에 대해서는 상위규정을 준수하여야 한다.

1.2 용어의 정의

본 설계 가이드라인에 이용하는 용어는 「콘크리트 구조설계기준 1.3용어의 정의」에 준한다. 이 외에 일체긴장 시스템 공법의 고유 용어를 다음과 같이 정의한다.

(1) 일체긴장거더(Bicon거더)

일체긴장 시스템이 적용된 거더로 모멘트 프리스트레스를 활용하여 긴장효율성을 제고한 거더

(2) PS강봉 : 콘크리트 구조물에 인장 프리스트레스를 도입하기 위해 압축하여 이용하는 고강도 강봉

(3) PS강선 : 콘크리트 구조물에 압축 프리스트레스를 도입하기 위해 인장하여 이용하는 고강도 강연선으로 구성된 강선

(4) 일체긴장 연결구

PS강봉과 PS강선이 동시에 정착되어 두 PS강재에 의한 인장력과 압축력이 평형을 이루게 하는 정착구

(5) 일체긴장 시스템

PS강봉과 PS강선 및 일체긴장 연결구로 구성되어 PS 강선의 긴장에 의해 PS강봉에 압축력이 도입되어 인장과 압축이 동시에 도입되는 시스템

(6) 강봉용 쉬즈관

PS강봉의 압축을 수용하고 그라우팅이 가능하면서 압축을 받는 PS강봉의 좌굴의 영향을 최소화하는 쉬즈관

(7) 단부가이드

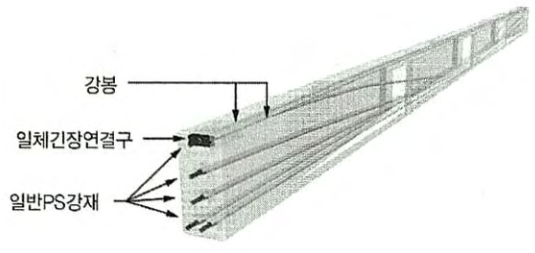
단부에 돌출된 강봉의 좌굴을 방지하기 위하여 일체긴장 연결구가 선형으로 거동하도록 설치하는 가이드

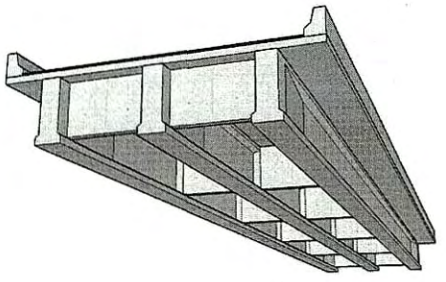
(8) 일체긴장 소수주거더

일체긴장 소수주거더교는 콘크리트에 압축력을 도입하는 포스트텐션(post tension)과 인장력을 도입하는 포스트컴프레션(post compression)을 혼용하여 제작한 거더를 이용하여 횡방향 구조계를 단순화한 PSC 콘크리트 거더

【해 설】

일체긴장 거더는 일체긴장 시스템을 이용하여 PS강선 긴장 시 발생하는 압축력을 긴장과 동시에, 단면 상연에 삽입된 강봉이 부담하게 만들어 상연에 발생하는 압축응력의 과다 누적을 피하면서 저형고화 할 수 있도록 개선된 프리스트레스트 콘크리트 거더이다. 일체긴장거더는 축방향 성분들이 서로 상쇄되고 휨모멘트 성분들이 서로 중첩되어 휨모멘트 성분만의 프리스트레스가 도입된다. 따라서 사용하중 재하시 응력의 여유로 인해 기존 PSC 거더교에서 도입하지 못했던 장지간 바닥판의 채용이 가능한 것이다.





1.3 일체긴장시스템

일체긴장시스템이란 교량거더에 압축력을 도입하는 포스트텐션과 인장력을 도입하는 포스트컴프레션을 동시에 구조체에 가하는 시스템을 의미한다.

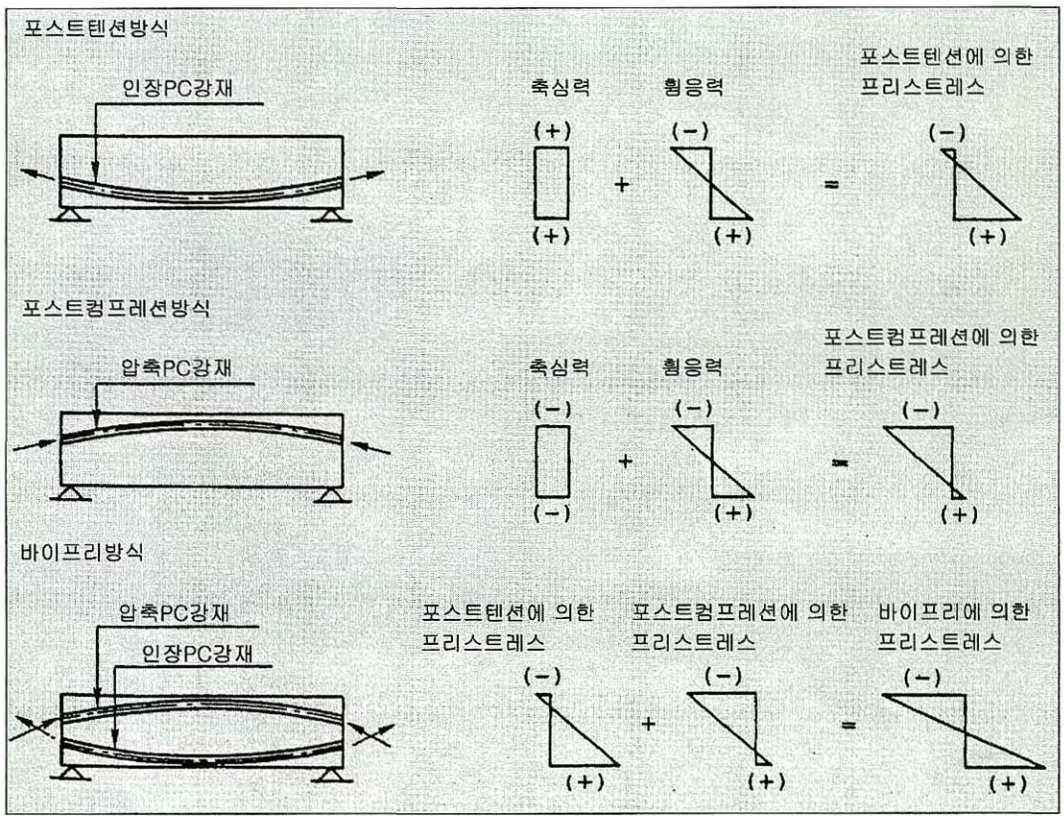
(1) 일체긴장 시스템을 적용하면 거더에는 축방향성분이 아닌 휨모멘트 성분만에 의한 종방향 응력이 도입된다.

(2) 일체긴장 시스템을 적용할 경우 정착부의 별다른 보강은 필요 없다.

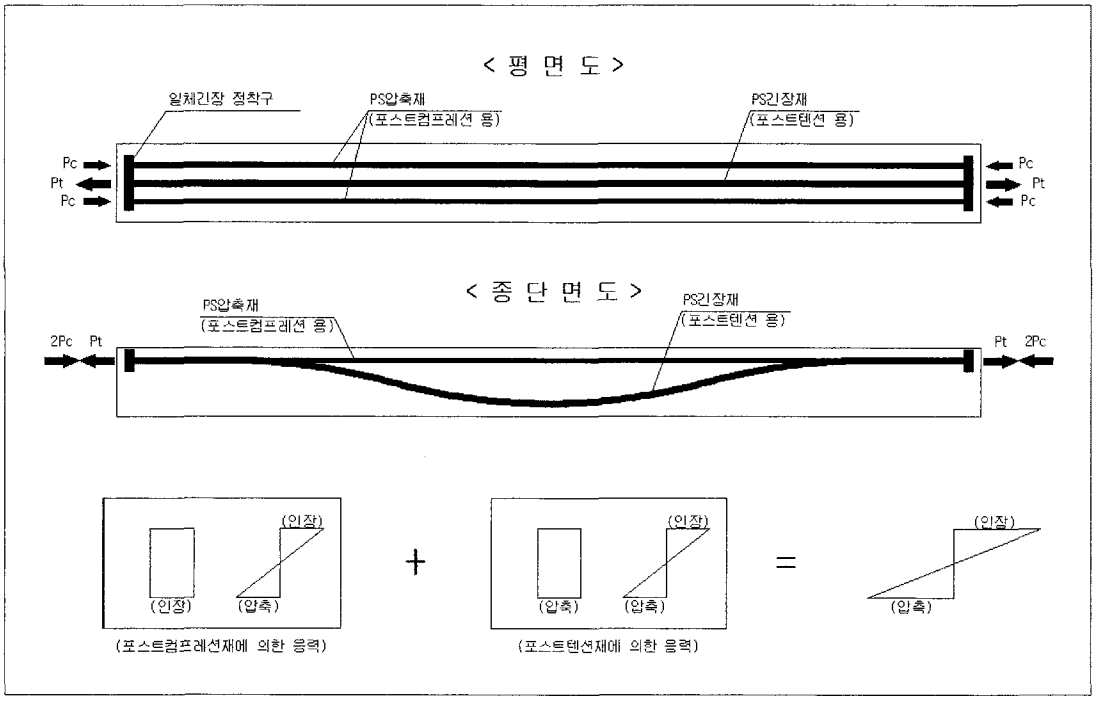
【 해 설 】

콘크리트 거더에는 포스트 컴프레션만을 도입하는 것은 의미가 없다. 이는 콘크리트의 재료성질 상 인장과 압축에 관한 허용응력이 다르기 때문이다. 따라서 포스트컴프레션의 효과는 필요하지만 포스트컴프레션만 도입되는 경우는 없고, 포스트텐션과 동시에 적용되게 된다. 이러한 점에서 착안하여 포스트텐션의 일부를 포스트컴프레션과 일체로 거더에 도입되게 하는 방법이 일체긴장 시스템이다. 이는 포스트텐션을 도입할 때의 반력을 포스트컴프레션용 강재로 지지하게 하므로 가능한 것이다.

[일반적인 포스트 컴프레션 방식]-바이프레 공법 참조



[일체긴장시스템 방식]



(1)에 관하여

일체긴장 시스템은 축방향 성분들이 서로 상쇄되고 휨모멘트의 성분들이 서로 중첩이 되어 휨모멘트 성분만의 프리스트레스가 도입되는 공법이다.

(2)에 관하여

일반적으로 PS강재의 정착부는 파열, 할렬, 지압 등에 대한 적절한 보강이 필요하다. 대개의 경우 철근에 의해서 이러한 보강들이 이루어지며 보강범위 및 보강철근의 양이 적지 않다. 일체긴장시스템의 경우 축방향 성분들이 일체긴장 연결구에서 서로 상쇄되므로 강한 강성을 가지는 일체긴장 연결구가 필요하지만 콘크리트 내에 별도의 보강을 할 필요는 없다.

제 2 장 재 료

2.1 사용재료

(1) 콘크리트의 설계기준강도 f_{ck} 는 다음과 같다.

일체긴장거더 $f_{ck} \geq 35\,MPa$

(2) 강재는 KS D 3503(일반구조용 압연강재), KS D 3515(용접구조용 압연강재) 및 KS D 3529(용접구조용 내후성 열간압연 강재)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

(3) PS강재

PS강봉, PS강연선은 한국산업규격 KS D7002, KS D3505에 적합한 것으로 한다.

(4) 철근

① 철근은 KS D3504에 적합한 것이어야 한다. KS D3527에 적합한 철근은 시험을 하여 품질을 확인하고, 그의 사용 여부를 결정해야 한다.

② 철근의 항복강도 f_y 는 400 MPa을 초과하지 않아야 한다.

③ 철근은 이형철근을 사용해야 한다.

【해 설】

(4) PS강봉의 경우 압축재로 사용되는 것이 일반적이지 않기 때문에 사용상에 주의를 기하여야 한다. 현재는 B종 1호 SBPR 930/1080의 제품을 사용하여 재료의 항복강도도 높은 것을 사용하여 강봉의 항복에 의한 변형을 최소화 하도록 한다. PS강봉의 압축에 대한 특성은 제조방법에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 고주파열처리 등으로 제조되는 열처리 강봉의 압축력에 대한 탄성한계는 인장력과 거의 같고 압축력의 이완치도 적다. 한편 인발 혹은 스트레칭에 의해 인장방향의 변형경화를 발생시켜 탄성한계를 높인 인발강봉과 압연강봉은 압축력에 대한 성질은 가공전 원재료에 가깝고 탄성한계도 낮아 이완치도 커진다.

해설 표 2.1 PS강봉의 규격값

적 용 강 봉	종 류	기 호	공칭단면적 (mm2)	0.2%영구수축에 대한 하중(kN)	최대압축강도 (kN)	이완율 (%)
∅26	B종1호	SBPR930/1080	530.9	494 이상	574 이상	4.0이하
∅32			804.2	748 이상	869 이상	
∅36			1018	947 이상	1100 이상	
∅40			1257	1170 이상	1360 이상	

2.2 물리상수

설계계산에 사용하는 물리상수의 값은 다음과 같이 한다.

(1) 강재

① 설계계산에 사용하는 강재의 물리상수 값은 표 2.1의 값을 사용한다.

표 2.1 설계계산에 사용되는 강재의 물리상수

종 류	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	210,000 MPa
철근의 탄성계수	200,000 MPa
PS강연선, PS강봉의 탄성계수	200,000 MPa
강의 전단탄성계수	81,000 MPa
강과 주강의 푸아송비	0.30

(2) 콘크리트

① 콘크리트의 탄성계수는 다음의 규정을 따른다.

가. 콘크리트 압축강도가 30 MPa이하인 경우로서 보통골재를 사용한 콘크리트(단위질량 $W_c = 2{,}300\,kg/m^3$)에서는 다음 값을 사용한다.

$$E_c = 4{,}700\sqrt{f_{ck}}\ \text{(MPa)} \tag{2.1}$$

나. 콘크리트 압축강도가 30 MPa를 초과하는 경우로서 보통골재를 사용한 콘크리트에서는 다음 값을 사용한다.

$$E_c = 3{,}300\sqrt{f_{ck}} + 7{,}700\ \text{(MPa)} \tag{2.2}$$

② 콘크리트의 전단탄성계수는 식 (2.3)에 따라 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \tag{2.3}$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 포아송비

다. 콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6로 가정한다.

(4) 프리스트레스의 감소량 및 부정정력을 계산할 경우, 콘크리트의 크리프계수와 건조수축변형률은 「도로교 설계기준 4.2.3.3 및 4.2.3.4」의 규정에 따라 산정한다.

제 3 장 허용응력

(1) 콘크리트의 허용응력은 표 3.1을 따른다.

표 3.1 콘크리트의 허용응력

응력의 종류	하중상태	허용응력 (MPa)
압축응력	프리스트레스 도입직후	$0.55 f_{ci}$
	설계하중 작용시	$0.40 f_{ck}$
인장응력	프리스트레스 도입직후	$1.4\,MPa$ 또는 $0.25\sqrt{f_{ci}}$을 초과하는 부분에서는 비균열 단면으로 가정해서 계산된 콘크리트의 총인장력에 저항하도록 부착된 철근을 배근해야됨. 이때 최대 인장응력은 $0.5\sqrt{f_{ci}'}$를 넘지 않아야 한다.
	설계하중 작용시	$0.5\sqrt{f_{ck}}$
		$0.25\sqrt{f_{ck}}$ (해변지역)

(2) PS강재의 허용응력은 표 3.2 규정을 따른다.

표 3.2 PS강재의 허용응력

하중상태	허용응력 (MPa)
PS강재 긴장시	$0.9 f_{py}$
PS강재 정착 후	$0.7 f_{pu}$ (정착구)
	$0.83 f_{py}$(정착장치의 활동에 의한 손실 구역의 끝 부분에서의 응력)
설계하중 작용시	$0.8 f_{py}$

(3) PS강봉의 허용응력은 표 3.3 규정을 따른다.

표 3.3 PS강봉의 허용응력

하중상태	허용응력 (MPa)
PS강봉 긴장시	$0.75f_{pu}$
PS강재 정착후	$0.70f_{pu}$(정착구)
설계하중 작용시	$0.50f_{pu}$

(4) 압축 PS강재로서 이용하는 PS강봉의 허용압축응력은 표 3.4의 값으로 한다.

표 3.4 압축 PS강봉의 허용압축응력

PS강봉의 종류	하중상태	허용압축응력
B종 1호 열처리 PS강봉	설계하중 작용시	697 N/mm^2

(5) 1차긴장 후 바닥판 콘크리트가 경화한 후 2차긴장시 허용응력은 설계하중 작용시 허용응력을 적용한다.

【해 설】

(4) 열처리에 의한 PS강봉은 압축에 대한 상태와 인장에 대한 상태가 거의 같다. 그러나 압축의 최대강도는 좌굴에 대한 구속조건에서 인장강도에 비해 훨씬 크다. 따라서 허용응력도는 압축도에 대한 항복점을 기준으로 한 $0.75\sigma_{py} = 697\ N/mm^2$을 이용한다. 압축 PS강재의 경우, 도입시 응력이 증가하는 방향에 있으므로 통상 설계하중 시 허용값 697N/㎟를 유효계수(≒1.2~1.3정도)에서 제한 값 정도로 도입한다. 곧 도입 시, 도입직후의 허용값은 특별히 규정하지 않지만 상기의 허용압축응력 이하로 하면 된다.

제 4 장 설 계

4.1 설계개요

일체긴장거더의 일체긴장 시스템은 그 사용목적과 구조특성, 환경조건에 필요한 성능을 확보할 수 있도록 부재치수, 단면형상을 적절하게 결정하고 PS강재를 효율적으로 배치하여야 하며 다음의 사항을 고려한다.

(1) 일체긴장 시스템을 이용한 거더는 제작조건 및 가설조건을 고려하여 적용한다.

(2) 프리스트레스의 손실을 계산할 때는 인장을 받는 PS강연선과 압축을 받는 PS강봉의 프리스트레스의 상호작용을 고려하여 계산해야 하지만, 통상 프리스트레스의 계산을 확장하므로 계산이 가능하다.

(3) 긴장시 일체긴장 정착구가 이동하는 시스템이므로 이를 고려하여 설계하여야 한다. 또한 긴장측과 비긴장측의 이동량을 적절히 계산하여야 한다.

【해 설】

(1) 도입직후의 PS강재응력도

프리스트레스 도입직후 PS강재 응력을 구할 때는 인장 및 압축 PS강재의 프리스트레스 도입순서를 고려하여 계산한다.

ㄱ. 인장 PS강재

프리스트레스 도입직후, 즉 압축 PS강봉의 프리스트레스가 도입된 직후의 인장 PS강재 응력은 인장 PS강재와 쉬스의 마찰에 의한 손실과 정착구 세트로 감소 및 인장 PS강재 자체의 프리스트레스에 의한 탄성변형의 영향 등을 고려하여야 한다. 일체긴장거더에 적용되는 인장 PS강재에 대해서는 콘크리트 탄성변형에 의한 영향은 고려할 필요가 없다.

ㄴ. 압축 PS강봉

압축 PS강봉의 프리스트레스 도입직후 응력은 통상 포스트텐션 방식의 인장 PS강연선과 같이 압축 PS강봉과 쉬스의 마찰에 의한 손실에 의한 감소를 고려한다.

(2) 설계하중시 PS강재 응력

인장 PS강연선 및 압축 PS강봉의 설계하중시 PS강재 응력은 프리스트레스 도입직후 각각의 PS강재 응력에 크리프 건조수축 및 이완의 영향을 고려하여 산출한다.

ㄱ. 인장 PS강재

인장 PS강재의 프리스트레스 도입직후의 인장응력은 크리프 건조수축 및 인장 PS강재의 이완에 의해 감소한다.

ㄴ. 압축 PS강봉

압축 PS강봉의 프리스트레스 도입직후의 압축응력은 크리프, 건조수축에 의해 증가하고 이완에 의해 감소한다.

4.2 제작/시공단계별 하중

콘크리트 및 PS강재의 응력은 다음 하중들에 대하여 단계별로 각각 불리한 영향을 주는 하중조합에 대하여 계산하고, 계산된 결과는 허용응력 이하이어야 한다.

(1) 1차긴장(post-tension+post-compression)

(2) 합성전 고정하중

(3) 바닥판 콘크리트 자중

(4) 2차긴장(post-tension)

(5) 2차고정하중 / 활하중

(6) 콘크리트의 최종단계 크리프 및 건조수축, 온도차

【해 설】

(1) 제작대에서 철근과 쉬스관 배치 후 콘크리트 타설 및 양생을 마친 후 1차긴장을 실시 한다. 1차긴장시 해설 그림 4.1의 ①번 강연선에는 post-tension을 도입하고, ②번의 강연선과 강봉은 일체긴장 정착부를 통해 각각 post-compression과 post-tension이 도입된다.

(2) 크레인으로 인양하고 지점에 거치되는 단계에서 일체긴장거더는 자신의 중량을 받게 된다.

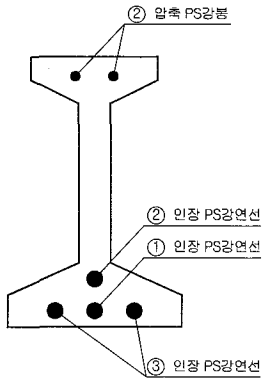
(3) 일체긴장거더가 바닥판 콘크리트가 경화되기 까지 바닥판 자중을 지지하는 단계이다.

(4) 바닥판 콘크리트가 경화되어, 즉 합성단면을 이루고 나면 해설 그림 4.1의 ③번 강연선을 긴장하고(2차긴장), 여기서부터 일체긴장거더는 바닥판 유효폭을 포함한 단면으로 응력을 산정한다.

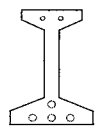
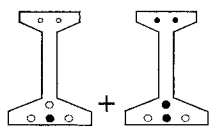
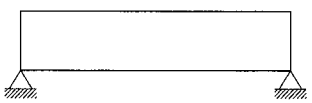
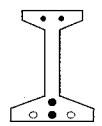
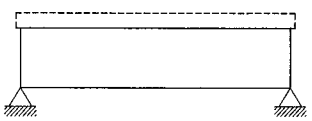
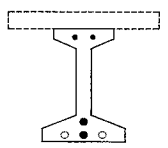
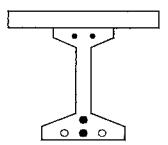
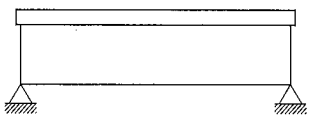
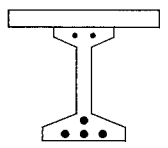
(5) 방호벽, 중앙분리대, 포장, 난간 및 방음벽 등 계획된 시설의 모든 중량을 고려하여

고정하중으로 재하한다.

(6) 활하중은 「도로교 설계기준 2.1.3」을 따른다.



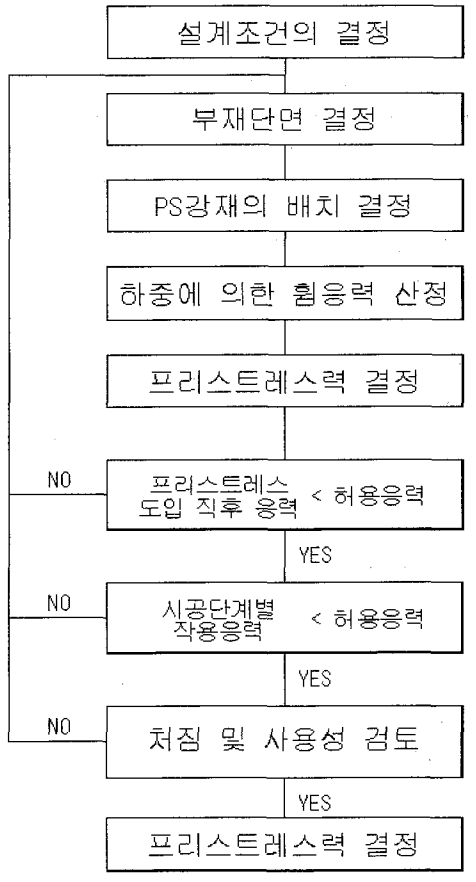
해설 그림 4.1 PS강재의 배치

PHASE		단계별 시공순서		저항단면
합성전	1	콘크리트 양생직후		
	2	1차 긴장 post tension + post compression		
	3	합성전 고정하중		
	4	바닥판 콘크리트 타설		
합성후	5	2차 긴장 (post tension)		
	6	2차고정하중 / 활하중 재하		

해설 그림 4.2 일체긴장거더의 시공단계별 저항단면

일체긴장 시스템이 적용된 경우 설계흐름은 일반 PSC거더교의 설계흐름과 기본적으로 동일하다. 단, 긴장시 도입되는 프리스트레스의 차이가 있을 뿐이며, 단면의 형상도 기존 PSC거더와는 다르게, 하부플랜지가 상부에 비해 비대하여 무게중심이 하단에 위치하는, 안정된 단면형상이 된다.

일체긴장거더의 설계는 시공순서나 시공조건에 따라 동일 단면내의 응력분포가 다르기 때문에 미리 산정한 조건에 따라 바닥판 합성 전·후에 있어서 각각의 시공단계마다 응력을 산출하여 단면의 각 부분에 대한 응력을 검토해야 한다. 산정한 시공 공정이 실제의 공정과 달리 휨응력에 영향을 미칠 경우에는 재차 응력 조사를 하는 것이 좋다.



해설 그림 4.3 설계흐름도

4.3 바닥판

4.3.1 철근콘크리트 바닥판

(1) 이 절은 현장타설되는 철근콘크리트 교량바닥판에 대한 기존 설계법에 대한 규정이며, 바닥판 단면 내에 발생되는 면내 압축력을 고려한 경험적 설계법은「도로교 설계기준 4.7.7」의 규정을 따른다.

(2) 바닥판의 설계는「도로교 설계기준 4.7」을 따른다.

【해 설】

(1) 일체긴장 거더교에서는 경제성과 시공성을 고려하여 소수주거더교로 적용될 때에도 철근콘크리트를 채용하는 것을 기본으로 하며 이에 대한 거더의 응력은 거더의 강성으로 저항한다.

4.3.2 바닥판의 지간

(1) 일체긴장 거더교의 바닥판 지간은 5m 이하로 한다.

(2) 캔틸레버의 길이는 내측거더 간격의 1/2 이하로 한다.

【해 설】

(1) 소수주거더로 적용되는 경우에도 기본적으로 주거더를 3개소 이상 배치하는 것으로 하는데 이는 바닥판이 지나치게 두꺼워지는 것을 피하기 위함이다. 여기서, 바닥판 지간이 5m이고 연속판인 경우 $30L+130=280mm$임을 고려하여 적정 두께를 결정한다.

(2) 캔틸레버의 길이(외측거더 중앙에서 바닥판 끝단까지의 거리)는 가능하면 내측거더 간격의 1/2 이하로 줄여 외측거더에 불필요하게 과하중이 재하되지 않도록 한다.

4.3.3 바닥판의 설계 휨모멘트

바닥판의 설계 휨모멘트는「도로교 설계기준 4.7.5」를 따른다.

4.3.4 바닥판의 최소두께

바닥판의 최소두께는「도로교 설계기준 4.7」에 의하여 산정한다.

4.3.5 유효폭의 산정

바닥판의 유효폭 계산은「도로교 설계기준 4.2.2.6」에 의하여 산정한다.

4.4 일체긴장거더

4.4.1 일반사항

(1) 일체긴장거더의 단면은 I형 또는 박스형 단면을 기본으로 한다.

(2) PS강봉은 PS강선의 프리스트레스 도입 한 후 압축력을 도입한다.

(3) 프리스트레스 계산에서는 콘크리트의 탄성변형, 크리프 건조수축에 대한 인장 PS강연선과 압축 PS강봉의 상호작용을 고려해야 하지만, 통상 프리스트레스의 계산을 확장함으로써 대응이 충분히 가능하다.

4.4.2 거더의 배치

거더는 최소 3본 이상 배치하는 것으로 하고, 가능한 한 직교가 되도록 배치한다.

4.4.3 콘크리트의 장기거동

(1) 일체긴장거더는 인장 PS강연선과 압축 PS강봉이 거더의 상, 하연에 배치되어 각각의 프리스트레스는 역방향으로 도입된다. 따라서 각각의 프리스트레스를 구할 때는 상호의 영향을 고려하여 구할 필요가 있다.

(2) 장기거동은 PSC교량에서 적용되는 설계식을 준용할 수 있다.

(3) 장기거동 해석을 위해서는 AEMM 등의 방법을 적용하여 설계할 수 있다..

4.5 일체긴장 정착부

4.5.1 일반사항

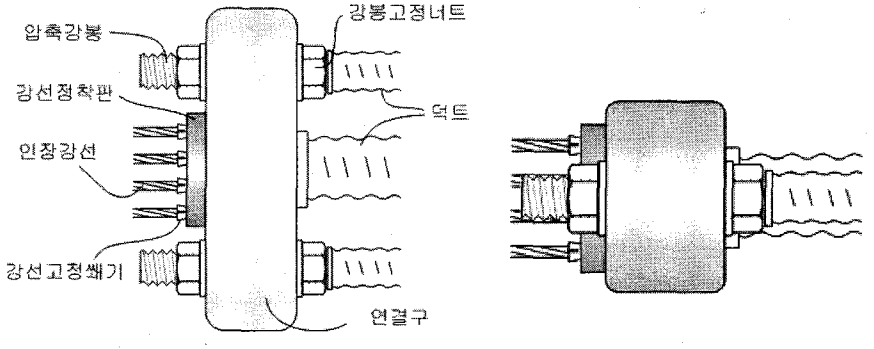
(1) 일체긴장 정착부는 인장 PS강연선과 압축 PS강봉이 동시에 인장과 압축이 이루어지는 부분이므로 그 상세를 결정함에 있어 주의하여야 한다.

(2) 긴장시 일체긴장 정착부의 거동은 마찰력에 의하여 달라질 수 있으므로 이를 충분히 고려하여야 한다.

(3) 일체긴장 정착부는 콘크리트의 크리프 및 건조수축 등의 장기거동에 의하여 수축변형을 하게 되고 이로 인하여 압축 PS강봉의 응력이 증가하는 등의 문제가 유발 될 수 있으므로 주의하여야 한다.

【해 설】

일체긴장 시스템은 PS강연선 긴장시 압축력을 강봉이 부담하는 시스템이므로 콘크리트에 인장재를 정착하는 정착구가 필요하지는 않지만, 인장재의 인장력과 같은 크기의 압축력을 받을 수 있는 강봉이 추가됨에 따라 인장재와 압축재를 연결하고 긴장 장치의 반력을 받아 압축재에 전달하여 주는 연결구(정착판)이 필요하며 그 형상은 해설 그림 4.4에 나타내었다.



(a) 연결구 평면도 (b) 연결구 측면도

해설 그림 4.4 일체긴장 연결구

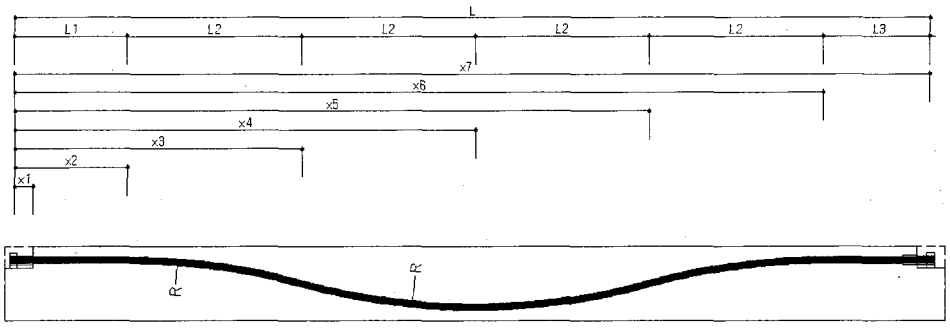
4.5.2 정착단 이동량

(1) 일체긴장시스템은 정착부에서 PS강봉의 압축력의 합과 PS강연선의 인장력의 합이 평형을 이루어야 한다.(긴장정착부와 비긴장 정착부에서 모두 평형을 이루어야 한다.)

(2) PS강봉과 PS강연선에서 발생하는 마찰력은 그 크기가 서로 다르므로 이를 고려하여야 하며, 이 때 발생하는 이동량을 계산하여야 한다.

【해 설】

ㄱ. 인장 PS 강연선의 배치



강연선의 총길이(m) : $l = L + 4(l_o - L_2)$

강연선의 총 각변화(rad) : $4\alpha_o$ (여기서, $\alpha_o = \tan^{-1}(L_2/R)$, $l_o = \alpha_o R$)

해설 그림 4.5 인장 PS강연선의 배치

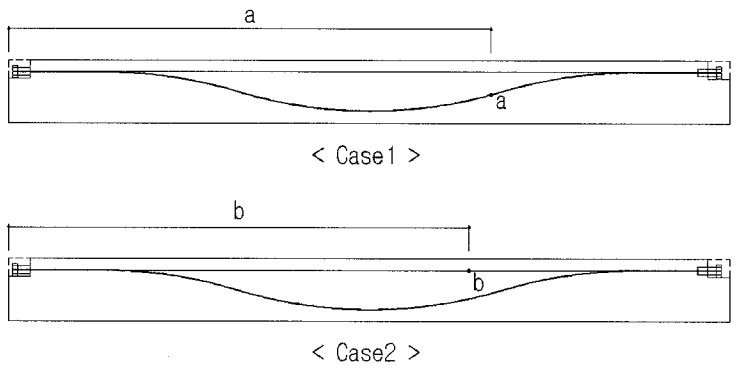
해설 표 4.1 임의의 길이에서의 누계 강선 길이 및 누계 각 변화

x	누계 각변화	누계 길이
$0 \sim x_2$	0	x
$x_2 \sim x_3$	$\sin^{-1}[\frac{(x-x_2)}{R}]$	$L_1 + R\sin^{-1}[\frac{(x-x_2)}{R}]$
$x_3 \sim x_4$	$2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}]$	$L_1 + l_0 + R(2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}])$
$x_4 \sim x_5$	$2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}]$	$L_1 + l_0 + R(2\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_4)}{R}])$
$x_5 \sim x_6$	$4\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_6)}{R}]$	$L_1 + 3l_0 + R(4\alpha_0 + \sin^{-1}[\frac{(x-x_6)}{R}])$
$x_6 \sim x_7$	$4\alpha_0$	$l = x + 4(l_0 - L_2)$

ㄴ. 압축 PS 강봉의 배치

압축 PS강봉은 직선으로 배치되어 있어, 각변화는 없고, 길이는 직선으로 변화한다. 위의 가정을 적용하면 변위 계산은 인장 PS강재와 압축 PS강봉의 탄성계수, 단면적, 길이 뿐만 아니라 마찰력의 차이에 따라 달라진다.

마찰력이 발생하지 않거나 서로 같은 경우에는 양쪽 정착구에서 힘의 평형은 이루어지지고 변형량만 서로 다르기 때문에 긴장측과 비긴장측의 정착구 움직임의 차이에 의해 두 PS강재의 변형량의 차이를 보정한다. 압축PS 강봉보다는 인장PS 강재가 배치형태에 의하여 길이도 길 뿐만 아니라 단면적도 작기 때문에 긴장측 정착구가 비긴장측 정착구보다 많이 움직이게 된다.



해설 그림 4.6 PS강재의 마찰 발생 위치

또한 인장 PS강재와 압축 PS강봉의 변형량이 서로 같다고 하더라고 마찰력의 차이에 따라 거동의 차이가 발생하게 된다. 마찰력이 서로 다른 경우에도 일체긴장 시스템에서는 긴장측 정착구과 비긴장측 정착구에서는 축력의 평형이 이루어져야 한다. 마찰이 다름에도 불구하고 축력의 평형이 이루어지기 위해서는 마찰력이 작은 PS강재가 응력을 유발하는 변형뿐만 아니라 선형이동을 하여 양쪽 정착구에서 평형이 이루어지도록 한다. 즉 인장 PS강재의 마찰이 압축 PS강봉의 마찰보다 큰 경우에는 인장 PS강재 내에 움직이지 않는 a점이 존재하게 되고(Case1), 압축PS 강봉의 마찰이 인장PS 강재의 마찰보다 큰 경우 압축 PS강재 내에 움직이지 않는 점 b가 존재하게 된다(Case2).

대개의 경우 곡률마찰이 존재하지 않는 압축 PS강봉보다 인장PS강재의 마찰이 더 크게 되므로 Case1의 경우에 해당될 것으로 판단되나 압축 PS강봉이 곡률로 배치되거나 파상마찰계수가 때, Case1에 해당되는 경우도 발생할 수 있다.

ㄷ. 필요한 변형량 산정

프리스트레싱을 하기 위해서는 긴장력과 함께 긴장잭의 예상 스트로크, 즉 인장재의 신장량과 압축재의 수축량을 합한 값을 알아야 한다. 또한 양쪽 정착구가 각각 어느 정도씩 이동할 것인지를 알아야 정착구와 부재와의 이격거리 등을 설계할 수 있다. 우선 압축재의 수축량(δ_c)을 구할 수 있고, 인장재의 총 신장량(δ_T)을 구할 수 있으며, 긴장시에도 움직이지 않는 점이 어디에 있느냐에 따라 비긴장측 정착구의 이동량을 산정할 수 있으며, 다시 압축재의 수축량을 더하면 긴장시의 늘음량(δ_s)을 구할 수 있다. 긴장측 연결구의 이동량(δ_1)은 고정측 연결구 이동량에 압축재의 수축량을 더하면 된다.

해설 표 4.2 Case에 따른 이동량의 산정

구 분	Case1	Case2
조 건	$C(L) > T(L)$	$C(L) < T(L)$
압축 PS강봉의 변형량	$\delta_c = \int_0^L \frac{C(x)}{E_c A_c} dx$	
인장 PS강연선의 변형량	$\delta_T = \int_0^L \frac{T(x)}{E_c A_c} dx$	
비긴장측 정착구의 이동량	$\delta_2 = \int_a^L \frac{T(x)}{E_c A_c} dx$	$\delta_2 = \int_b^L \frac{C(x)}{E_c A_c} dx$
긴장측 정착구의 이동량	$\delta_1 = \delta_C + \delta_2$	$\delta_1 = \delta_C - \delta_2$
긴장측 정착구표면에서의 강선 늘음량(상대변위)	$\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1 = \delta_T + \delta_C$	$\delta_s = \delta_T - \delta_2 + \delta_1$

4.6 압축 PS강봉

4.6.1 압축 PS강봉의 설계

일체긴장거더의 압축강봉 시스템은 강봉의 좌굴을 방지하기 위해 일반 쉬스관이 아닌 스크류 타입의 쉬스관을 사용하여 강봉의 좌굴을 억제하는 방식을 적용하나, 초기 긴장시 쉬스관내 그라우팅 이전에 강봉의 좌굴이 발생할 수 있으므로 이에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

표 4.1 PS강봉의 탄성계수

강재의 종류	탄성계수
열처리 PS강봉	2.0×10^5 MPa

【해 설】

- 강봉 좌굴 검토 기준

① 강봉 좌굴에 대한 사항을 도로교 설계기준에 근거하여 검토를 수행한다.

② 양단의 경계 조건은 양단 힌지로 가정하여 검토를 한다.

③ 강봉의 지지점은 강봉이 스크류 쉬스관의 접지점을 기준으로 강봉의 좌굴강도를 산정 한다.

4.6.2 압축 PS강봉의 릴랙세이션

프리스트레스의 감소량을 산출하는 경우의 압축 PS강봉의 겉보기 릴랙세이션은 아래표의 값으로 해도 좋다.

표 4.2 PS강봉의 릴랙세이션

강재의 종류	릴랙세이션
PS강봉	3%

다만, PS강재가 고온의 영향을 받는 경우에는 PS강재의 겉보기 강재의 겉보기 릴랙세이션은 값에 2%를 가산하는 것을 원칙으로 한다.

4.7 전단설계

4.7.1 전단과 비틀림

일체긴장거더의 전단설계는「도로교 설계기준 4.5.5」의 해당규정을 적용한다.

4.7.2 전단연결재

일체긴장거더의 전단연결재는「도로교 설계기준 4.4.6.5」규정을 따르며 전단철근(스터럽) 대신 별도의 전단연결재를 그림 4.1과 같이 교축방향으로 배근한다.

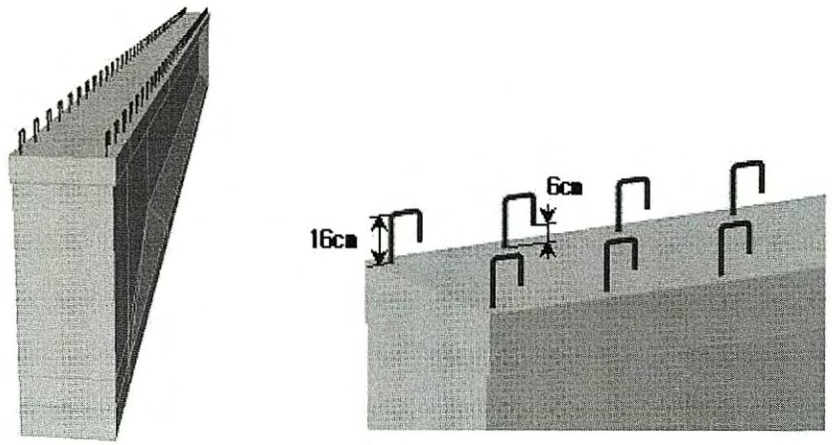


그림 4.1 전단연결재 형상 및 배근

【해 설】

「안전성 향상을 위한 PSC I 거더교 전단철근 배근방법 개선(한국도로공사)」에 제시된 배근을 따른다. 기존 PSC거더의 배근방법과 다르게 적용되는 배경은 전단연결재가 거더 상면의 양 외측에 배치되기 때문에 거더 상면의 중앙부 이동공간을 확보하여 작업자의 안전성을 향상하고, 전단철근 배근시 일정간격으로 배근하므로 철근배근 작업성 향상 및 검측을 용이하게 하기 위해서다. 또한 전단연결재가 갈고리 형상이기 때문에 철근 배근 작업이 용이하고, 작업공간이 확보되어 상면의 표면처리 작업이 용이하여 바닥판과의 접합력이 증대하는 것으로 나타났다.

일체긴장거더(Bicon Girder)

시공지침(안)

과제명 : PS강봉 및 강선의 일체긴장시스템을 이용한 교량구조개발

2009.

주관연구기관: (주)삼현피에프

협동연구기관: 포스코건설

유신코퍼레이션

참여기업: 한국해외기술공사

극동엔지니어링

머 리 말

외적하중에 의하여 콘크리트에 발생하는 인장응력을 상쇄하기 위하여 미리 압축응력을 도입한다는 개념이 1886년 미국에서 발명된 이래 프리스트레스 공법은 지속적인 발전을 거듭하여 왔으며, 이는 PSC I형 거더, PSC 박스거더 등 다양한 형태의 공법으로 적용되고 있다. 그러나 교량에 작용하는 외력은 휨모멘트에 의해 거더 단면에는 교축방향 응력을 발생시키는데 반해, PS강재에 의한 프리스트레스는 대개의 경우 축력과 휨모멘트가 동시에 도입되므로 외력과 균형을 이루지 못하는 경우가 있었다.

이와 같은 불균형 문제를 해결하기 위해 인장 프리스트레스를 도입하는 방법이 고려되었고, 1977년 오스트리아에서 Post-compression 공법이라는 이름으로 최초로 실교량에 적용되었다. 이후 1985년 일본에서 독자적인 강봉정착 시스템을 개발하고 실용화하여 2004년까지 약 560개소 교량에 적용되었다. 이것이 바이프레(Bipre)라고 부르는 공법이다.

본 시공가이드라인은 이와 같은 post-compression의 효과를 개선 및 개량한 일체긴장시스템을 이용한 거더에 관한 것으로서, 국내에서는 처음 시도되며 세계 최초로 휨모멘트 성분만의 프리스트레스를 도입하는 공법이다.

상위기준인 도로교 설계기준, 철도설계기준(철도교편) 및 콘크리트 구조설계기준뿐만 아니라 각종 설계기준을 따르고자 하였으며, 국내외의 자료들을 참고하여 실용적으로 적용될 수 있도록 노력하였다. 휨모멘트를 프리스트레스로 도입하는 공법을 정립하여 교량뿐 아니라 광범위 구조체의 내하력 증가에 큰 역할을 할 수 있기를 기대한다.

2009년 12월

『PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC교량구조 개발』 연구과제

연구원 일동

- 목 차 -

제 1 장 일반사항

1.1 적용범위

1.2 용어의 정의

1.3 관련시방서

1.4 참조규격

제 2 장 재 료

2.1 콘크리트 재료

2.2 프리스트레스 도입용 재료

2.2.1 PS강재

2.2.2 쉬스관

2.2.3 정착장치와 접속장치

2.3 일체긴장 연결구용 강재

2.4 기타 부재

제 3 장 시 공

3.1 일체긴장거더의 시공순서

3.2 베드설치 및 철근조립

3.2.1 제작장

3.2.2 베드설치

3.2.3 철근의 조립

3.3 쉬스의 배치

3.3.1 일반사항

3.3.2 압축 PS강봉용 쉬스

3.4 콘크리트 타설

3.4.1 거푸집 조립

3.4.2 타설 준비

3.4.3 타설 작업

3.4.4 다지기

3.5 양생

3.6 PS강재의 배치

3.7 PS강재의 정착

3.7.1 일반사항

3.7.2 PS강재의 긴장관리

3.8 2차긴장 작업

3.8.1 일반사항

3.9 그라우팅 작업

3.9.1 적용범위

3.9.2 준비작업

3.9.3 모르타르 배합시험

제 1 장 일반사항

1.1 적용범위

(1) 본 시공지침은 일체긴장 시스템을 적용한 거더에 관한 것으로 I형 단면의 거더에 적용하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 단면형상이 다른 경우에도 이 시공지침을 준용할 수 있다.

(2) 본 시공지침은 최소한의 요구조건을 제시한 것으로 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 관련지침의 적용을 대체할 수 있다.

(3) 본 시공지침에서 제시되지 않는 사항에 대해서는 상위규정을 준수하여야 한다.

1.2 용어의 정의

본 설계 가이드라인에 이용하는 용어는 「콘크리트 구조설계기준 1.3 용어의 정의」에 준한다. 이 외에 일체긴장 시스템 공법의 고유 용어를 다음과 같이 정의한다.

(1) 일체긴장거더(Bicon거더) : 일체긴장 시스템이 적용된 거더로 모멘트 프리스트레스를 활용하여 긴장효율성을 제고한 거더

(2) PS강봉 : 콘크리트 구조물에 인장 프리스트레스를 도입하기 위해 압축하여 이용하는 고강도 강봉

(3) PS강선 : 콘크리트 구조물에 압축 프리스트레스를 도입하기 위해 인장하여 이용하는 고강도 강연선으로 구성된 강선

(4) 일체긴장 연결구 : PS강봉과 PS강선이 동시에 정착되어 두 PS강재에 의한 인장력과 압축력이 평형을 이루게 되는 정착구

(5) 일체긴장 시스템 : PS강봉과 PS강선 및 정착판으로 구성되어 PS 강선의 긴

장에 의해 PS강봉에 압축력이 도입되어 인장과 압축이 동시에 도입되는 시스템

(6) 강봉용 쉬즈관 : PS강봉의 압축을 수용하고 그라우팅이 가능하면서 압축을 받는 PS강봉의 좌굴을 방지하는 쉬즈관

(7) 단부가이드 : 단부에 돌출된 강봉의 좌굴을 방지하기 위하여 일체긴장 연결구가 선형으로 거동하도록 설치하는 가이드

1.3 관련시방서

(1) 콘크리트 구조설계기준 (2003년), 건설교통부

(2) 콘크리트 표준시방서 (2003년), 건설교통부

(3) 도로교 설계기준 (2005년), 건설교통부

(4) 도로교 표준시방서 (2005년), 건설교통부

(5) 철도설계기준 (2004년), 건설교통부

(6) 철도공사 전문시방서 (2004년), 건설교통부

1.4 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 3505 PC 강봉

KS D 7006 고장력강용 피복아아크 용접봉

제 2 장 재 료

2.1 콘크리트 재료

(1) 콘크리트는 프리스트레스 응력을 받을 수 있도록 고강도이어야 한다.

일체긴장거더 콘크리트	:	fck ≥ 35 MPa
바닥판 콘크리트	:	fck ≥ 27 MPa

(2) 콘크리트는 소요강도, 내구성, 수밀성과 워커빌리티를 고려하여 배합설계하여야 한다.

(3) 시멘트는 KS의 규격에 적합한 것이어야 한다.

(4) 굵은 골재의 최대치수는 25mm를 표준으로 하고, 부재치수, 철근간격, 펌프압송 등의 사정에 따라 20mm를 적용할 수 있다.

2.2 프리스트레스 도입용 재료

2.2.1 PS강재

(1) PS강선 및 PS강연선은 KS D 7002에 적합한 것이어야 한다.

(2) PS강봉은 KS D 3505에 적합한 것이어야 한다.

(3) PS강재는 깨끗해야 하며 유해한 녹, 더러움, 흠 등이 없는 것이어야 한다.

2.2.2 쉬스관

(1) 쉬스관은 콘크리트를 타설할 때 쉽게 변형되지 않는 것이어야 하며 이음부에서 시멘트풀이 유입되지 않아야 한다.

(2) 인장 PS강재용 쉬스

인장 PS강재에는 일반적으로 많이 사용되는 아연도금 주름관을 사용한다.

(3) 압축 PS강재용 쉬스

압축 PS강재용 쉬스는 내설 PS강재의 좌굴을 방지함과 동시에 그라우팅이 가능하여야 한다. 따라서 내경이 너무 크지 않고, 그라우팅이 가능하도록 하여

야 한다.

ㄱ. 홈이 있는 쉬스

일본의 바이프레(Bipre)공법에서 사용되는 쉬스관으로써, 강봉의 좌굴을 방지하기 위해 일정한 간격으로 수직 교차하는 방향으로 쉬스를 찌그려뜨려 좌굴을 방지하도록 한 것이다.

표 2.1 홈이 있는 쉬스의 제원

적용강봉	쉬스내경(㎜)	홈간격(㎜)	홈부위 내경(㎜)	판두께(㎜)
ø26	38	196	26	0.27
ø32	45	280	32	0.32
ø36	52	336	36	0.32
ø40	58	392	40	0.32

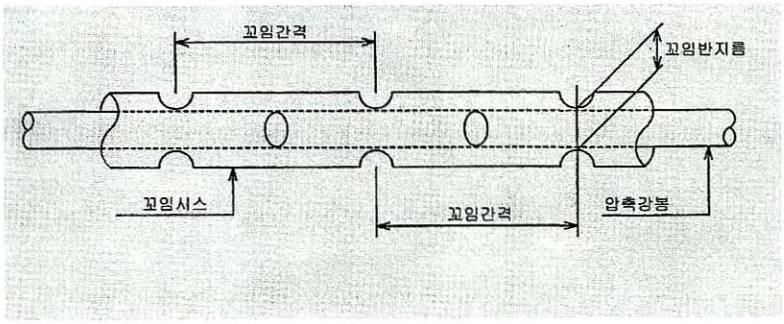


그림 2.1 홈이 있는 쉬스

ㄴ. 비틀림 제작한 쉬스

또 다른 방법의 쉬스는 한쪽방향으로의 변위가 구속된 단면의 쉬스를 종방향으로 진행하면서 회전하도록 한 쉬스로써, 그라우팅 주입 혹은 확인하는 곳에서는 확대가 되거나 2개의 주입구를 가지도록 만들어야 한다.



그림 2.2 비틀림 제작한 쉬스

2.2.3 정착장치와 접속장치

정착장치 및 접속장치는 PS강재의 규격에 정해진 인장강도 값의 95%에 이르기 전에 유해한 변형이나 파단이 생기지 않는 것이어야 한다. 또한 정착장치는 PTI(Post-Tensioning Institute) 또는 FIP(Fédération Internationale de la Précontrainte)와 같은 국제적인 기준에서 제시되고 있는 하중전달시험, 정적재하시험 및 동적재하시험 등의 조건을 만족시켜야 한다.

2.3 일체긴장연결구용 강재

(1) 일체긴장 연결구는 제작이 용이하며, 큰 힘을 지지하기에 적절한 재료를 사용하여야 한다.

(2) 강재는 산업규격의 기준에 준하되 규격품 외의 강재를 사용하고자 할 경우에는 사용 강재의 해당 산업규격 절차에 의하여 제 시험 후 사용하여야 한다.

2.4 기타 부재

1.2의 관련시방서 규정에 따른다.

제 3 장 시 공

3.1 일체긴장거더의 시공순서

일체긴장거더는 아래의 시공순서도와 같은 순서로 시공한다.

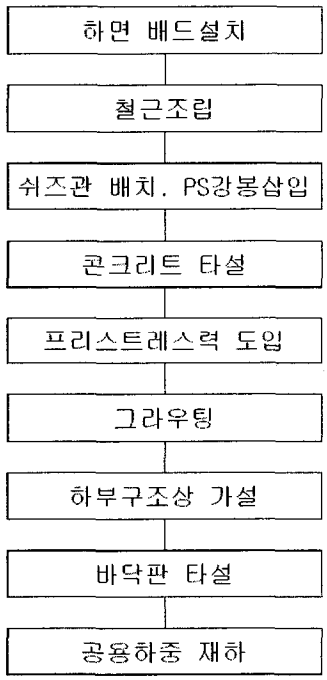


그림 3.1 제작 흐름도

3.2 베드설치 및 철근조립

3.2.1 제작장

(1) 일체긴장거더의 제작장은 제작, 운반 및 적치를 고려하여 선택하여야 한다.

(2) 바닥면은 침하 우려가 없는 곳을 선정하여야 하며, 침하 우려가 있는 곳은 적절히 보강하여야 한다.

(3) 제작대의 횡방향 간격은 작업자가 통행할 수 있고, 다른 공정의 작업이 원활하도록 하여야 한다.

3.2.2 베드설치

(1) 거더 하면의 거푸집 및 동바리 역할을 하는 베드는 부등침하 등일 발생하지 않도록 하여야 한다.

(2) 베드의 종단선형은 보의 전체적인 종단선형계획을 고려하여 설치하여야 한다.

(3) 베드를 지지하는 지지재는 콘크리트 타설 등의 작업과 우천 등의 기상조건을 고려하여 지지높이와 간격을 결정하여야 한다.

3.2.3 철근의 조립

(1) 철근은 설계도에 나타난 형상 및 치수와 일치하도록 배근하여야 한다.

(2) 철근 결속의 이음길이는 400mm이상을 유지하도록 한다.

(3) 콘크리트 타설압 등에 의해 변형 및 결속의 분리가 일어나지 않도록 하여야 한다.

3.3 쉬스의 배치

3.3.1 일반사항

(1) PS강재는 설계도에 나타난 형상 및 치수에 일치하도록 하고 이것을 배치할 때에는 쉬스관이나 정착장치에 흠이 생기지 않도록 콘크리트 블록, 철근 등으로 견고하게 지지하고 콘크리트를 타설할 때에 거푸집과의 상대위치가 바뀌지 않도록 해야 한다.

(2) PS강재의 거푸집 내에 있어서의 그 위치 변동은 연단 응력에 지장이 없는 정도로 하여야 하며 과다한 위치 변경 시는 구조 검토 후 감독원과 협의한 후 조정한다.

(3) PS강재의 배치오차는 도심 위치 변동의 경우 부재치수가 1m 미만일 때는 5mm를 넘지 않아야 하며, 또 1m 이상인 경우에 부재치수의 1/200 이하로서 10mm를 넘지 않도록 한다. 어떠한 경우에라도 10mm를 넘는 경우에는 다시 수정한다.

(4) PS강재 및 쉬스관의 배치가 끝나면 반드시 검사를 하여 파손, 위치의 변동을

수정해야 한다.

(5) 쉬스관 배치시 매 1m마다 결속선으로 견고히 철근에 매어 콘크리트 타설시 위치가 변동되지 않도록 하여야 한다.

(6) PS강재 및 정착장치의 배열, 위치, 정착상태 등은 반드시 감독원의 검측을 받아야 하며, 시정요구가 있을시 지체없이 시정보완 하여야 한다.

(7) 정착장치와 쉬스관은 도면과 일치하도록 배치하고 튼튼히 고정시켜서, 콘크리트 타설 중에 움직이지 않도록 해야 한다.

(8) 삽입 전 PS강재의 단부는 용접이나 열에 의한 절단 등으로 변형이 발생하지 않도록 해야 한다.

(9) 쉬스관 제원에 따른 준수사항

강연선	덕트 직경 (mm)	최 소 직선거리 (m)	곡선 반경 (m)	덕트간 최소간격(mm)		연단거리 (덕트중심 ~콘크리트연단)
				중심간격	순간격	
9EA	80	1	4	120	40	80
12EA	85	1	4	125	40	85
15EA	95	1.2	4	135	40	90
19EA	100	1.2	5	140	40	95

3.3.2 압축 PS강봉용 쉬스

(1) 압축 PS강봉의 쉬스는 좌굴을 예방하기 위해 좌굴방지용 홈을 설치할 수 있다. 이 경우 (2)~(3)의 규정을 준수하여야 한다.

(2) 쉬스관의 절단

현장에서 쉬스관의 절단가공은 가능한 홈 부분을 피하여 직각으로 절단 하는 것이 바람직하지만, 부득이한 경우에 절단 시 접속장소의 입구를 원형으로 만들어 두는 것이 중요하다.

(3) 쉬스관의 접속

쉬스관의 홈 부분은 가장자리에 종·횡방향으로 교차로 설치되어야 하고 규칙적으로 배열되어야 하고 홈 간격이 넓어지지 않도록 주의 깊은 관심이 필요하다. 간격이 너무 넓어지거나, 불규칙한 배열은 긴장시 약점이 될 수도 있다.

(4) 압축 PS강봉의 유지

압축 PS강봉의 유지는 인장부재의 PS강봉과 철근 등을 배치하여 고정시키는 것이 좋지만, 쉬스관의 굴곡의 영향을 고려하여 높이를 정할 필요가 있다. 고정단 부분에서, 커플러는 위치 유지를 위해 유지구간을 정할 필요가 있다.

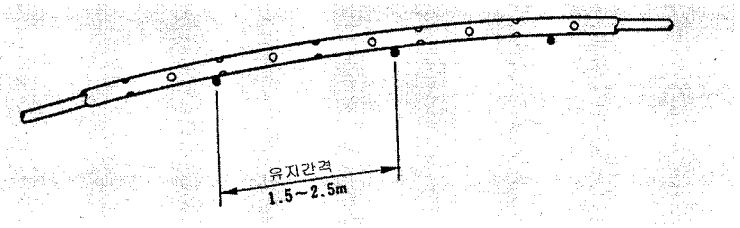


그림 3.2 압축 PS강봉의 유지간격

3.4 콘크리트 타설

3.4.1 거푸집 조립

(1) 거푸집은 콘크리트 타설 압 등의 하중에도 변형이 가지 않도록 견고하게 고정하여야 한다.

(2) 거푸집 해체시 콘크리트 탈락 등의 현상을 방지할 수 있도록 표면 청소를 깨끗이 하고, 박리제 등을 충분히 사용하여야 한다.

(3) 거푸집의 단부는 일체긴장연결구 및 인장 PS강재용 정착구와의 연결을 고려하여 제작 및 조립을 시행하여야 한다.

3.4.2 타설 준비

(1) 콘크리트를 타설하기 전에 철근, 거푸집, 삽입 철물, 타설 순서 등이 시공 상세도 및 철근가공 조립도에 정해진 대로 배치되었는지 확인해야 한다.

(2) 콘크리트를 타설하기 전에 운반 장치, 타설 장비 및 거푸집 안을 청소하여 콘크리트 속에 잡물이 혼입되는 것을 방지해야 한다. 콘크리트가 닿았을 때 수분이 흡수될 염려가 있는 곳은 미리 습하게 해 두어야 한다. 다만, 습기를 지나치게 주어서 수분이 고이지는 않도록 주의해야 한다.

(3) 감독원이 거푸집, 철근, 마개, 쉬스관의 정착장치 및 강재의 배치, 내부 청소 상태 등을 검사하여 승인하기 전에는 콘크리트 타설을 해서는 안된다.

(4) 시공자는 진동 다짐시 철근, 쉬즈관, 강선 등의 위치가 이탈되지 않도록 주의하여야 하며 타설 전에 모든 쉬스관의 막힘 여부를 확인해야 한다.

3.4.3 타설 작업

(1) 콘크리트의 타설 작업을 할 때에는 철근 및 매설물의 배치나 거푸집이 손상되지 않도록 해야 한다.

(2) 타설된 콘크리트를 거푸집 안에서 횡 방향으로 이동시켜서는 안 된다.

(3) 타설 작업 도중에 심한 재료분리가 생겼을 때에는 재료분리를 방지할 방법을 강구해야 한다.

(4) 콘크리트 타설 작업 도중 표면에 떠올라 고인 블리딩이 있을 경우에는 적당한 방법으로 이 물을 제거한 후, 그 위에 콘크리트를 쳐야 한다. 고인 물을 제거하기 위하여 콘크리트 표면에 도랑을 만들어 흐르게 해서는 안 된다.

(5) 콘크리트 타설시 재료분리가 될 수 있는 대로 적게 되도록 콘크리트의 반죽질기 및 타설 속도를 조정하여야 한다.

3.4.4 다지기

(1) 콘크리트 다지기에는 내부 진동기의 사용을 원칙으로 하나, 얇은 벽 등 내부 진동기의 사용이 곤란한 장소에서는 거푸집 진동기를 사용해도 좋다.

(2) 콘크리트는 타설 직후 바로 충분히 다져서 콘크리트가 철근 및 매설물 등의 주위와 거푸집의 구석구석까지 잘 채워져 밀실한 콘크리트가 되도록 해야 한다.

(3) 내부 진동기의 찔러 넣는 간격은 일반적으로 500mm 이하로 하는 것이 좋으며 한 장소에서의 진동시간은 콘크리트를 충분히 잘 다질 수 있도록 1개소당 5-15초로 한다. 또 진동기는 콘크리트로부터 천천히 빼내어 구멍이 남지 않도록 하며 콘크리트를 횡방향으로 이동시킬 목적으로 사용해서는 안된다.

(4) 재진동을 할 경우에는 콘크리트에 나쁜 영향이 생기지 않도록 초결이 일어나기 전에 실시해야 한다.

3.5 양생

(1) 콘크리트는 타설 후에 저온 건조 및 급격한 온도변화 등에 의한 유해한 영향을 받지 않도록 하며, 충분히 양생 또는 경화하지 않은 콘크리트가 진동, 충격 및 하중에 의하여 손상을 받지 않도록 보호해야 한다.

(2) 시험용 공시체는 주부재와 같은 조건으로 양생하여야 한다.

(3) 증기 양생조건

- 전치시간 : 3~4시간
- 승온온도 : 15℃/hr 이하
- 최고온도 : 40~60℃
- 최고온도 유지시간 : 2~4시간
- 최고온도 2~4시간 유지 후 서냉 및 기건양생

(4) 콘크리트 타설 후 비닐 시트카바와 양생포 등을 덮어서 외기를 차단하여 3~4시간 경과 후부터 스팀보일러에 의한 증기양생을 실시한다.

(5) 증기양생 시 온도상승 및 하강의 시간당 온도변화는 15℃이하로 하고 최고양생온도는 40~60℃가 계속 유지되도록 한다.

3.6 PS강재의 배치

(1) PS강재는 설계도와 일치하도록 배치하여야 한다.

(2) 일체긴장 정착구에 있어서 압축 PS강봉은 두 개의 강봉이 동일하게 압축력을 받을 수 있도록 배치하여야 한다.

(3) 압축 PS강봉의 접속

압축 PS강봉의 접속은 그라우팅의 유입성을 고려하여 커플러를 실시하여야 한다. 이때 커플러의 중앙부에 구멍이 뚫려 있으므로 PS강봉을 이 구멍위치까지 확실히 밀어 넣어야 한다.

3.7 PS강재의 정착

3.7.1 일반사항

(1) PS강재는 규격에 따른 생산제조회사로부터 시험에 관한 시험성과표를 받아 그것을 기준으로 인장관리를 실시하는 것이 원칙이나, 그렇지 못할 경우는 KS D 7002 SWPC 7B ϕ15.2mm의 표준규격에 준하여 인장관리계획서를 작성하고, 추후 현장에서 시험인장을 실시하여 차이가 발생할 때는 이를 수정 보완해야 한다.

(2) 일체긴장연결구를 긴장하는 경우 긴장측 정착구의 이동량, 비긴장측 정착구의 이동량, 강선의 늘음량 및 도입된 축방향력의 크기를 기록하여야 한다.

(3) 마찰손실계수 κ, μ 값은 현장실측 결과에 따라 인장관리시 보정하고, 기본적인 인장 관리 계획서는 관련시방규정에 정해진 값을 기준으로 한다.

(4) 프리스트레스의 도입 시기는 콘크리트의 압축강도가 프리스트레싱 직후에 콘크리트에 발생하는 최대압축응력 1.7배 이상이 될 때이며, 특별히 규정되지 않는 한 부재의 양생조건과 동일한 상태에서 양생시킨 공시체에 대한 압축강도가 35 MPa이 될 때까지 콘크리트에 힘을 가하지 않아야 한다.

(5) 프리스트레싱의 관리는 하중계의 지시도 및 PS강재의 늘음량에 의해 관리하는 것을 원칙으로 하고, 그의 관계가 직선으로 되어있는 것을 확인하여야 한다.

3.7.2 PS강재의 긴장관리

(1) PS강재의 긴장관리 방법은 긴장력과 신장량에 의해 관리하는 방법과 마찰계수에 의해 관리하는 방법 2가지가 있다.

(2) 긴장력과 신장량에 의해 PS강재의 긴장력 도입을 관리하는 방법은 다음과 같다.

- 압력을 기준으로 긴장을 실시한다.
- 신장량을 ±5%를 기준으로 관리한다.
- 긴장 시 긴장압력의 약 75%까지 긴장 후 쉬스관 내에서 처짐에 의해 늘어난 량을 보정하여 늘음량을 계산하고, 최종 압력까지 긴장하여 신장량을 체크하고 설계 신장량과 비교한다.

- 신율이 허용오차범위를 벗어났을 경우 허용오차 이내로 들어오도록 긴장력을 보정하여 긴장을 실시한다.
- 긴장시 PS강재의 긴장력은 0.9값을 넘지 않도록 미리 한계선을 파악하여 과도한 긴장이 되지 않도록 한다.
- 강선 파단 시 나머지 강선에 의해 긴장을 실시하되 충분한 프리스트레스가 도입 되도록 긴장력 및 신장량을 보정한다.

3.8 2차긴장 작업

3.8.1 일반사항

(1) 2차 긴장 시기는 슬래브 콘크리트가 경화된 후에 실시한다.

(2) 2차 인장은 1단긴장 후 타단 확인 긴장을 수행 하며, 긴장에 의한 슬래브에의 악영향이 발생하지 않도록 긴장작업 순서를 검토한 후 시행한다.

(3) 긴장작업 시행전 긴장기에 대한 calibration을 실시하여 공인기관의 검사를 득한 후 사용한다.

(4) 정착 단부주변을 깨끗이 손질하여 이물질이 없도록 하고 강선의 배열을 꼬이지 않게 정리하고, HEAD를 끼우고 지압판에 밀착시킨 후 정착쐐기(WEDGE)를 1차 정착한다. HEAD를 끼우기 전에 반드시 비부착 강연선의 피복을 절단해야 한다.

(5) 긴장관리는 긴장관리도 상의 하중지시계와 늘음량과의 관계로 관리하며 이의 관계가 직선임을 확인한다.

(6) PS강연선의 배치작업시 위치오차에 의한 원인과 긴장작업 잘못으로 인하여 수평 휨(Sweep)이 작용될 수 있으므로, 오차한계 이상은 수정을 시켜야 한다.

(7) 인장시 인장잭의 뒷부분에서 작업을 피하고 옆에서 작업할 수 있도록 안전조치를 취해야 한다.

(8) 잭을 정착구에 설치한 후 매 $100kg_f/cm^2$ 압력마다 잭의 램(Ram) 길이를 측정해야 한다.

(9) PS 강연선의 인장력은 설계도면을 참고하여 결정하여야 한다.

(10) 2차 인장작업이 완료된 후 보호캡을 설치하고 그라우팅 작업을 실시한다.

(11) 2차긴장이 완료된 후 슬래브 솟음량을 측정하여 계산치와 비교 검토 후 이상유무를 확인한다.

3.9 그라우팅 작업

3.9.1 적용범위

긴장작업 후 쉬스관 내의 PS강재의 부식방지를 위해 시멘트 그라우팅을 실시하여야한다.

3.9.2 준비작업

(1) 그라우팅시에는 온도변화에 의한 PS강재 자체의 수축, 팽창에 따르는 힘이 발생되며 온도가 높으면 블리딩(bleeding)현상이 발생하기 전에 모르타르가 경화 될 우려가 있으므로 그라우팅은 현장여건을 감안하여 동일한 조건 하에 모의시험을 실시하여야 한다.

(2) 그라우팅에 적용될 물/시멘트와 각 재료의 배합관계를 작성하여 참고자료로 사용한다.

(3) 시험 그라우팅시 시험 및 주요 점검사항

- 쉬즈관 및 정착부 내부에 공기 및 공극이 없이 완전히 충진되는 상태 점검
- PS강재와 그라우팅 자재와의 부착관계
- 현장조건하의 그라우팅 장비 및 작업의 연속성

3.9.3 모르타르 배합시험

(1) 쉬스관 내에 주입된 모르타르는 PS강재를 부식으로부터 보호하는 역할과 구조물에 하중이 전달되었을 때 외부 긴장재의 진동방지 역할을 한다. 따라서 시멘트 모르타르는 주입시 쉬스관 내부에 충분히 주입되어야 하며 유동성이 좋은 모르타르를 사용하여야 한다.

(2) 그라우팅 배합비

- 물, 시멘트, 혼화제(팽창제+유동화제)를 혼합하여 약 2분정도 혼합한다.

- 물은 식수를 사용하고 W/C비는 36%에서 시작하여 시험에 의해 결정하며 최대 45% 이하이어야 한다. 동절기에는 안정성을 위하여 40% 이하로 한다.
- 혼화제는 시멘트 중량의 0.5~1.0% 정도 사용한다.
- 침전은 거의 없어야 하며, 팽창률은 10% 이하이어야 한다.

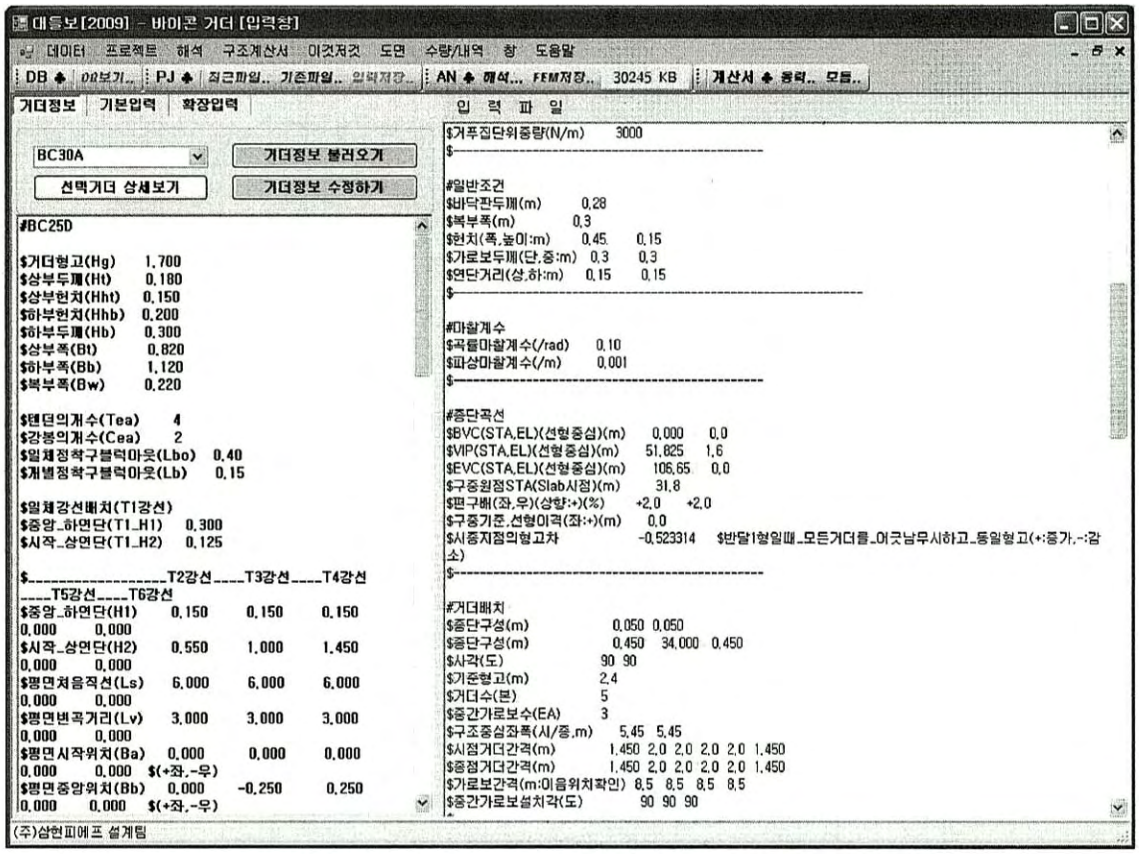
(3) 그라우팅 믹서

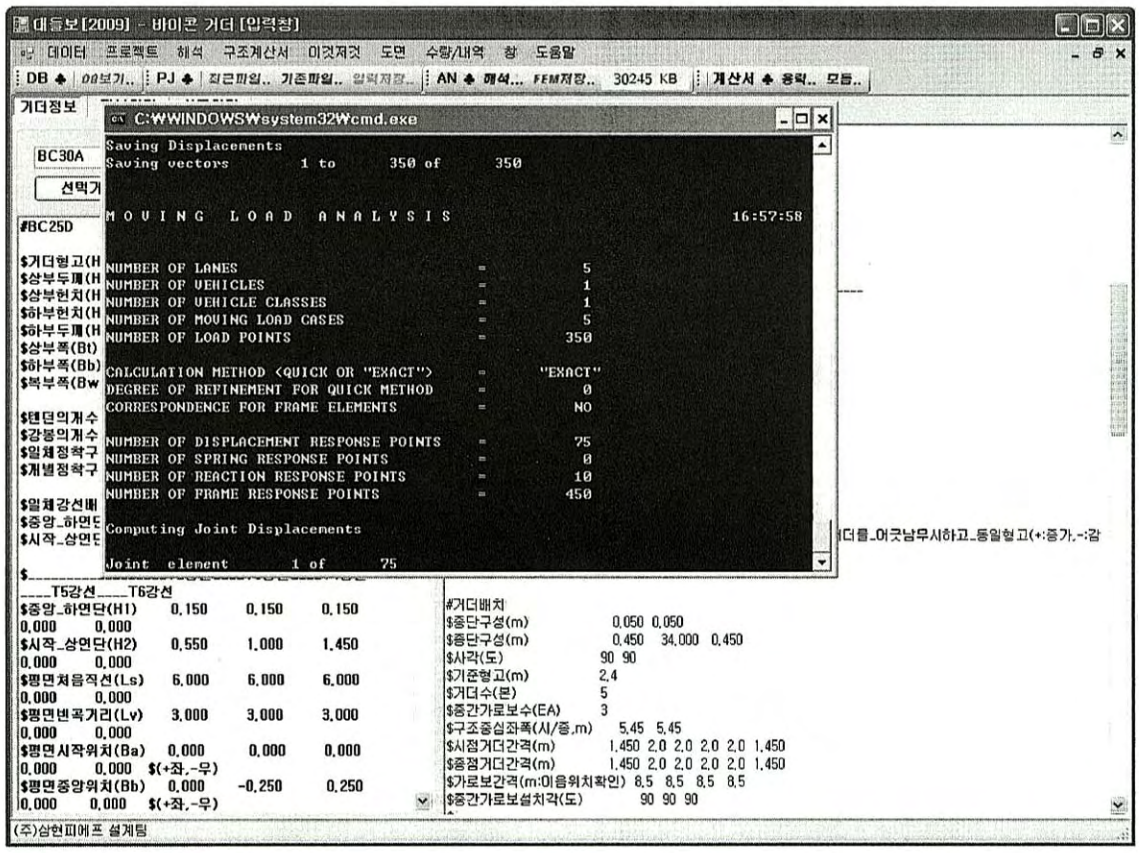
- 믹서는 혼합조와 주입조가 분리되어 연속작업이 가능해야 한다.
- 일정한 물-시멘트비가 유지되도록 정확한 계량이 가능한 물탱크를 부착한다.

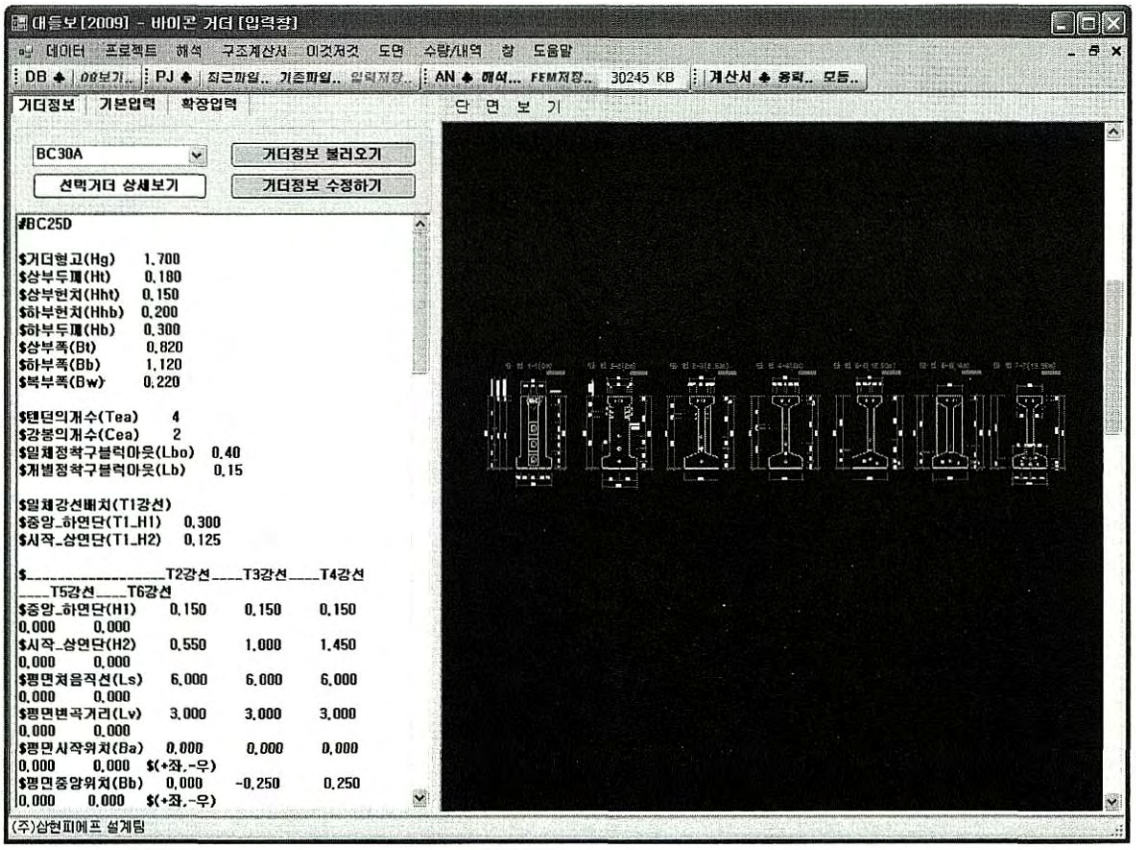
(4) 그라우팅 작업 시 주의사항

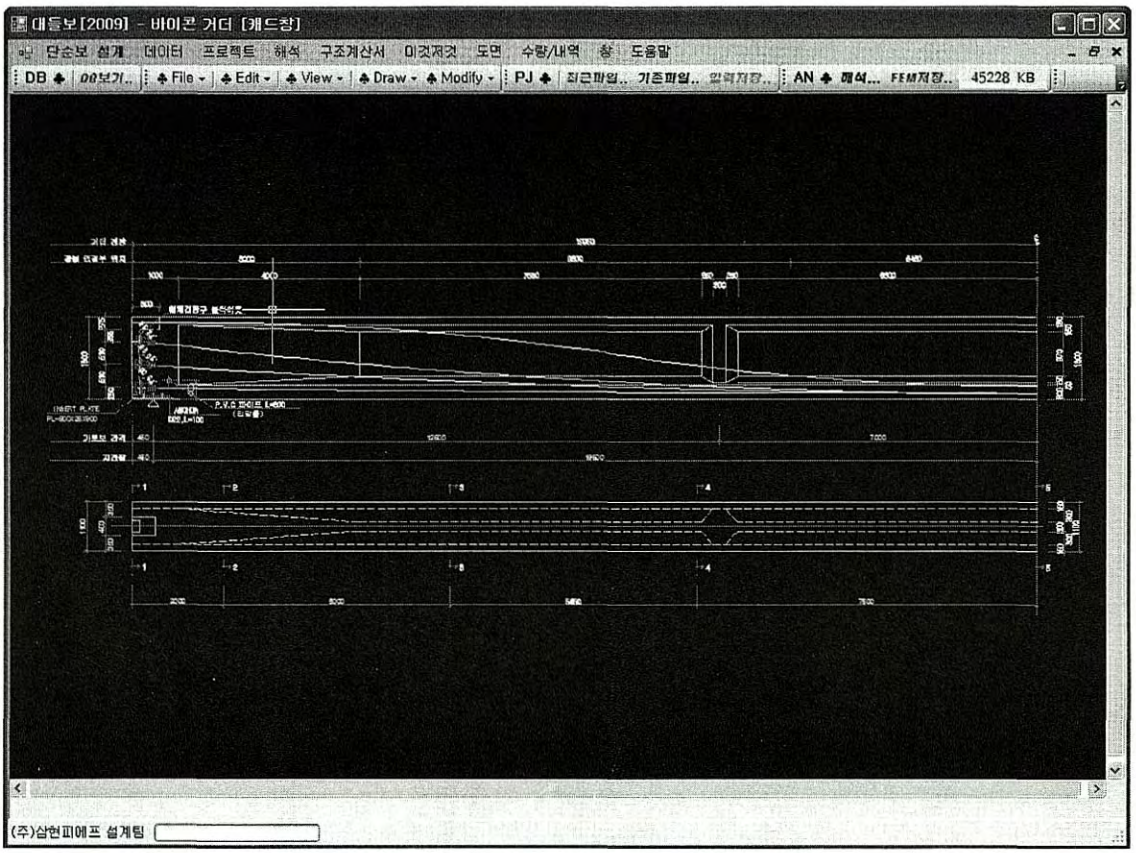
- 그라우팅 실시 전 덕트 상태 등을 점검하여야 한다.
- 가능한 한 PS강재를 긴장하고 8시간 후 및 7일 이내에 실시하여야 한다.
- 그라우팅 전에 블록아웃을 모르타르로 마감한다.
- 그라우팅 잔류수나 공기가 완전히 제거될 때까지 계속한 후 그라우팅 벤트 호스를 막아야 한다.
- 장비 및 주입압력계는 정기 점검하여 주입압력은 0.7-1.0 MPa로 하여야 한다.
- 주입 시 작업 중단 시간은 30분 이하로 하여 초기응결이 안되도록 하여야 한다.
- 출구에서 그라우팅재는 균등질이어야 하고 주입완료 시 출구를 막고 여압을 가한다.

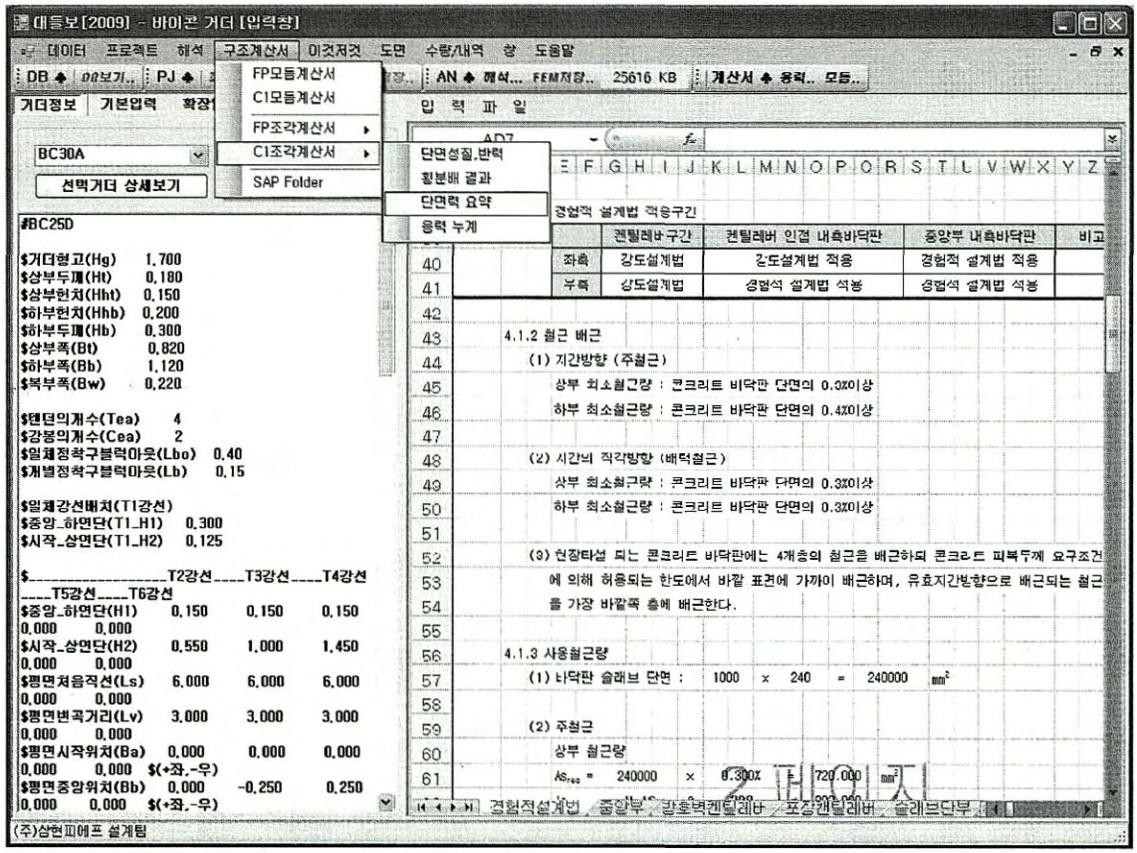
[첨부5. 설계프로그램 제작]


대들보[2009] - 바이콘 거더 [입력창]
데이터 프로젝트 해석 구조계산서 이것저것 도면 수량/내역 창 도움말
DB ♣ DB보기.. PJ ♣ 접근파일.. 기존파일.. 입력저장.. AN ♣ 해석... FEM저장.. 30245 KB 계산서 ♣ 용락.. 모듬..
거더정보 기본입력 확장입력
입 력 파 일
BC30A
거더정보 불러오기
선택거더 상세보기
거더정보 수정하기
#BC25D
$거더형고(Hg) 1.700
$상부두께(Ht) 0.180
$상부헌치(Hht) 0.150
$하부헌치(Hhb) 0.200
$하부두께(Hb) 0.300
$상부폭(Bt) 0.820
$하부폭(Bb) 1.120
$복부폭(Bw) 0.220
$텐던의개수(Tea) 4
$강봉의개수(Cea) 2
$일체정착구블럭마웃(Lbo) 0.40
$개별정착구블럭마웃(Lb) 0.15
$일체강선배치(T1강선)
$중앙_하연단(T1_H1) 0.300
$시작_상연단(T1_H2) 0.125
$_____T2강선____T3강선____T4강선
____T5강선____T6강선
$중앙_하연단(H1) 0.150 0.150 0.150
0.000 0.000
$시작_상연단(H2) 0.550 1.000 1.450
0.000 0.000
$평면처음직선(Ls) 6.000 6.000 6.000
0.000 0.000
$평면변곡거리(Lv) 3.000 3.000 3.000
0.000 0.000
$평면시작위치(Ba) 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 $(+좌,-우)
$평면중앙위치(Bb) 0.000 -0.250 0.250
0.000 0.000 $(+좌,-우)
$거푸집단위중량(N/m) 3000
$
#일반조건
$바닥판두께(m) 0.28
$복부폭(m) 0.3
$헌치(폭,높이:m) 0.45 0.15
$가로보두께(단,중:m) 0.3 0.3
$연단거리(상,하:m) 0.15 0.15
$
#마찰계수
$곡률마찰계수(/rad) 0.10
$파상마찰계수(/m) 0.001
$
#중단곡선
$BVC(STA,EL)(선형중심)(m) 0.000 0.0
$VIP(STA,EL)(선형중심)(m) 51.825 1.6
$EVC(STA,EL)(선형중심)(m) 106.65 0.0
$구중원점STA(Slab시점)(m) 31.8
$편구배(좌,우)(상향:+)(%) +2.0 +2.0
$구중기준_선형이격(좌:+)(m) 0.0
$시중지점의형고차 -0.523314 $반달1형일때_모든거더를_어긋남무시하고_동일형고(+:증가,-:감소)
$
#거더배치
$중단구성(m) 0.050 0.050
$중단구성(m) 0.450 34.000 0.450
$사각(도) 90 90
$기준형고(m) 2.4
$거더수(본) 5
$중간가로보수(EA) 3
$구조중심좌폭(시/종,m) 5.45 5.45
$시점거더간격(m) 1.450 2.0 2.0 2.0 2.0 1.450
$중점거더간격(m) 1.450 2.0 2.0 2.0 2.0 1.450
$가로보간격(m:이음위치확인) 8.5 8.5 8.5 8.5
$중간가로보설치각(도) 90 90 90
(주)삼현피에프 설계팀


대들보[2009] - 바이콘 거더 [입력창]
C:₩WINDOWS₩system32₩cmd.exe
Saving Displacements
Saving vectors 1 to 350 of 350
MOVING LOAD ANALYSIS 16:57:58
NUMBER OF LANES = 5
NUMBER OF VEHICLES = 1
NUMBER OF VEHICLE CLASSES = 1
NUMBER OF MOVING LOAD CASES = 5
NUMBER OF LOAD POINTS = 350
CALCULATION METHOD (QUICK OR "EXACT") = "EXACT"
DEGREE OF REFINEMENT FOR QUICK METHOD = 0
CORRESPONDENCE FOR FRAME ELEMENTS = NO
NUMBER OF DISPLACEMENT RESPONSE POINTS = 75
NUMBER OF SPRING RESPONSE POINTS = 0
NUMBER OF REACTION RESPONSE POINTS = 10
NUMBER OF FRAME RESPONSE POINTS = 450
Computing Joint Displacements
Joint element 1 of 75
거더정보
BC30A
선택거
#BC25D
$거더형고(H
$상부두께(H
$상부헌치(H
$하부헌치(H
$하부두께(H
$상부폭(Bt)
$하부폭(Bb)
$복부폭(Bw
$텐던의개수
$강봉의개수
$일체정착구
$개별정착구
$일체강선배
$중앙_하연단
$시작_상연단
____T5강선____T6강선
$중앙_하연단(H1) 0.150 0.150 0.150
0.000 0.000
$시작_상연단(H2) 0.550 1.000 1.450
0.000 0.000
$평면처음직선(Ls) 6.000 6.000 6.000
0.000 0.000
$평면변곡거리(Lv) 3.000 3.000 3.000
0.000 0.000
$평면시작위치(Ba) 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 $(+좌,-우)
$평면중앙위치(Bb) 0.000 -0.250 0.250
0.000 0.000 $(+좌,-우)
#거더배치
$중단구성(m) 0.050 0.050
$중단구성(m) 0.450 34.000 0.450
$사각(도) 90 90
$기준형고(m) 2.4
$거더수(본) 5
$중간가로보수(EA) 3
$구조중심좌폭(시/종,m) 5.45 5.45
$시점거더간격(m) 1.450 2.0 2.0 2.0 2.0 1.450
$중점거더간격(m) 1.450 2.0 2.0 2.0 2.0 1.450
$가로보간격(m:이음위치확인) 8.5 8.5 8.5 8.5
$중간가로보설치각(도) 90 90 90
(주)삼현피에프 설계팀


대들보[2009] - 바이곤 거더 [입력창]
데이터 프로젝트 해석 구조계산서 이것저것 도면 수량/내역 창 도움말
DB ♣ DB보기.. PJ ♣ 최근파일.. 기존파일.. 입력저장.. AN ♣ 해석... FEM저장.. 30245 KB 계산서 ♣ 종력.. 모듬..
거더정보 기본입력 확장입력
단 면 보 기
BC30A
거더정보 불러오기
선택거더 상세보기
거더정보 수정하기
#BC25D
$거더형고(Hg) 1.700
$상부두께(Ht) 0.180
$상부헌치(Hht) 0.150
$하부헌치(Hhb) 0.200
$하부두께(Hb) 0.300
$상부폭(Bt) 0.820
$하부폭(Bb) 1.120
$복부폭(Bw) 0.220
$텐던의개수(Tea) 4
$강봉의개수(Cea) 2
$일체정착구블럭아웃(Lbo) 0.40
$개별정착구블럭아웃(Lb) 0.15
$일체강선배치(T1강선)
$중앙_하연단(T1_H1) 0.300
$시작_상연단(T1_H2) 0.125
$_____T2강선____T3강선____T4강선
____T5강선____T6강선
$중앙_하연단(H1) 0.150 0.150 0.150
0.000 0.000
$시작_상연단(H2) 0.550 1.000 1.450
0.000 0.000
$평면쳐음직선(Ls) 6.000 6.000 6.000
0.000 0.000
$평면변곡거리(Lv) 3.000 3.000 3.000
0.000 0.000
$평면시작위치(Ba) 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 $(+좌,-우)
$평면중앙위치(Bb) 0.000 -0.250 0.250
0.000 0.000 $(+좌,-우)
(주)삼현피에프 설계팀


대들보[2009] - 바이곤 거더 [캐드창]
단순보 설계 데이터 프로젝트 해석 구조계산서 이것저것 도면 수량/내역 창 도움말
DB ♣ DB보기.. ♣ File ♣ Edit ♣ View ♣ Draw ♣ Modify PJ ♣ 최근파일.. 기존파일.. 입력저장.. AN ♣ 해석... FEM저장.. 45228 KB
(주)삼현피에프 설계팀

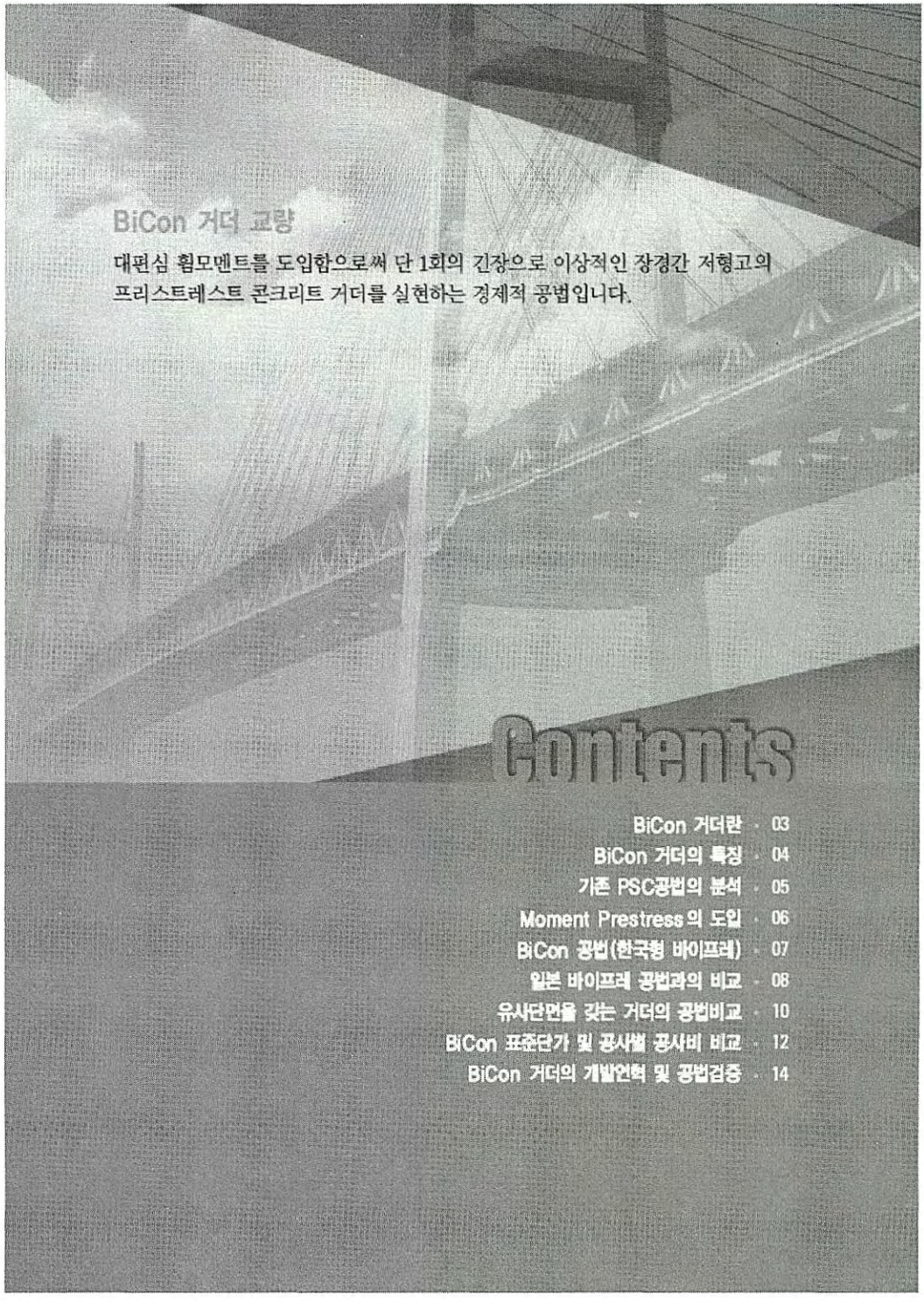

대들보[2009] - 바이콘 거더 [입력창]
데이터 프로젝트 해석 구조계산서 이것저것 도면 수량/내역 창 도움말
FP모듬계산서
C1모듬계산서
FP조각계산서
C1조각계산서
SAP Folder
단면성질,반력
철분배 결과
단면력 요약
응력 누계
입 력 파 일
BC30A
선택거더 상세보기
#BC25D
$거더형고(Hg) 1.700
$상부두께(Ht) 0.180
$상부헌치(Hht) 0.150
$하부헌치(Hhb) 0.200
$하부두께(Hb) 0.300
$상부폭(Bt) 0.820
$하부폭(Bb) 1.120
$복부폭(Bw) 0.220
$텐던의개수(Tea) 4
$강봉의개수(Cea) 2
$일체정착구블럭마찟(Lbo) 0.40
$개별정착구블럭마찟(Lb) 0.15
$일체강선배치(T1강선)
$중앙_하면단(T1_H1) 0.300
$시작_상면단(T1_H2) 0.125
$_____T2강선____T3강선____T4강선
____T5강선____T6강선
$중앙_하면단(H1) 0.150 0.150 0.150
0.000 0.000
$시작_상면단(H2) 0.550 1.000 1.450
0.000 0.000
$평면처음직선(Ls) 6.000 6.000 6.000
0.000 0.000
$평면변곡거리(Lv) 3.000 3.000 3.000
0.000 0.000
$평면시작위치(Ba) 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 $(+좌,-우)
$평면중앙위치(Bb) 0.000 -0.250 0.250
0.000 0.000 $(+좌,-우)
경험적 설계법 적용구간
켄틸레버구간
켄틸레버 인접 내측바닥판
중앙부 내측바닥판
비고
좌측
강도설계법
강도설계법 적용
경험적 설계법 적용
우측
강도설계법
경험적 설계법 적용
경험적 설계법 적용
4.1.2 철근 배근
(1) 지간방향 (주철근)
상부 최소철근량 : 콘크리트 바닥판 단면의 0.3%이상
하부 최소철근량 : 콘크리트 바닥판 단면의 0.4%이상
(2) 지간의 직각방향 (배력철근)
상부 최소철근량 : 콘크리트 바닥판 단면의 0.3%이상
하부 최소철근량 : 콘크리트 바닥판 단면의 0.3%이상
(3) 현장타설 되는 콘크리트 바닥판에는 4개층의 철근을 배근하되 콘크리트 피복두께 요구조건
에 의해 허용되는 한도에서 바깥 표면에 가까이 배근하며, 유효지간방향으로 배근되는 철근
을 가장 바깥쪽 층에 배근한다.
4.1.3 사용철근량
(1) 바닥판 슬래브 단면 : 1000 x 240 = 240000 mm²
(2) 주철근
상부 철근량
720.000
경험적설계법
중앙부
강토벽켄틸레버
포장캔틸레버
슬래브단부
(주)삼현피에프 설계팀

[첨부6. 제품 카달로그(최종본)]

Bi-moment Prestressed Concrete Girder

BiCon 거더 (한국형 바이프레)





BiCon 거더 교량

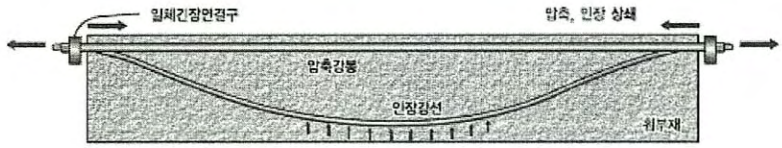
대편심 휨모멘트를 도입함으로써 단 1회의 긴장으로 이상적인 장경간 저형고의 프리스트레스트 콘크리트 거더를 실현하는 경제적 공법입니다.

Contents

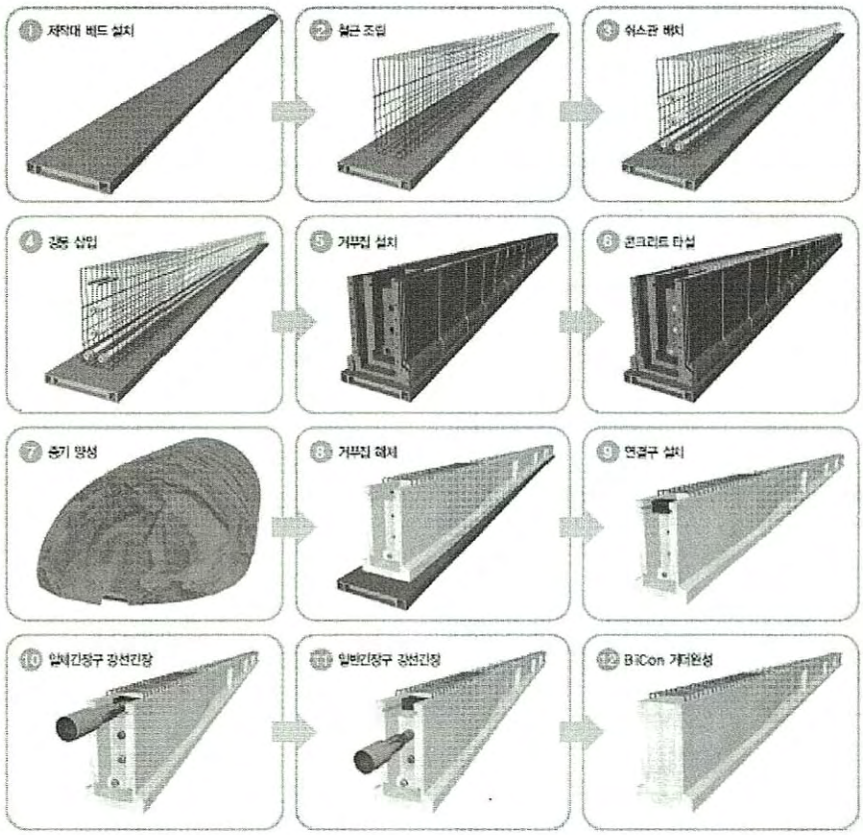
BiCon 거더란 · 03
BiCon 거더의 특징 · 04
기존 PSC공법의 분석 · 05
Moment Prestress의 도입 · 06
BiCon 공법(한국형 바이프레) · 07
일본 바이프레 공법과의 비교 · 08
유사단면을 갖는 거더의 공법비교 · 10
BiCon 표준단가 및 공사별 공사비 비교 · 12
BiCon 거더의 개발연혁 및 공법검증 · 14

공법의 개요

역T형의 고강도 콘크리트 단면 상연에 강봉을 삽입하여 PS강선 긴장 시 발생하는 압축력을 강봉이 부담하고 콘크리트 단면에는 대편심 휨모멘트를 발생시킴으로써, 거더 상연응력의 과다누적을 피하면서 저형고화 할 수 있도록 개선된 프리스트레스트 콘크리트공법 (일본 '바이프레' 공법원리를 응용, 개선한 공법)

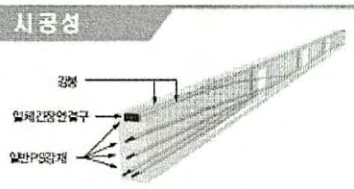


BICon 거더 제작공정

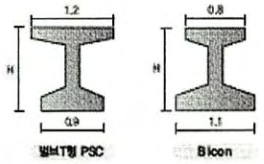


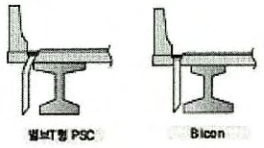
BiCon 거더의 특징

시공성



●다단계긴장이 불필요한 장경간 저형고 PSC거더
→ 일체긴장연결구 사용으로 가능

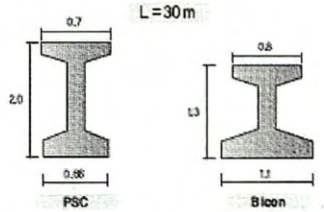




●낮은 중립축 형상으로 가설 중 안전성 확보

●거더 상연 폭 감소로 배수처리 망호

구조성능

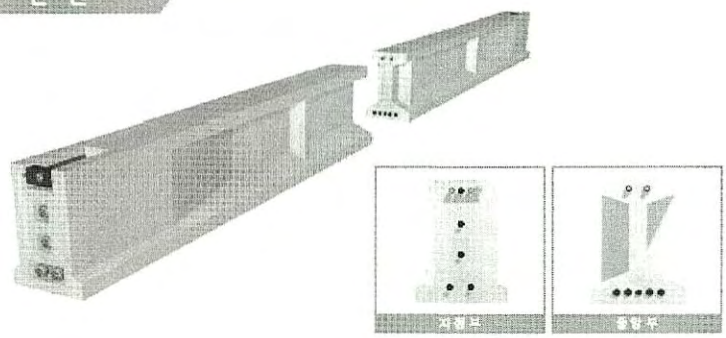


●단 1회 긴장으로 저형고 PSC 거더 구현
●내구연한이 15~20년인 바닥판 수명 종료 시 교체 및 보수가 자유롭다. (유지관리 양호)
●강봉과 강선사이의 대편심 모멘트로 Full prestressing 설계
●중립축이 낮아 중단면 대비 처짐 및 진동성능 유리(사용성 증대)
●바닥판 교체 시 거더 상/하연 응력 안전율 유지

경제성

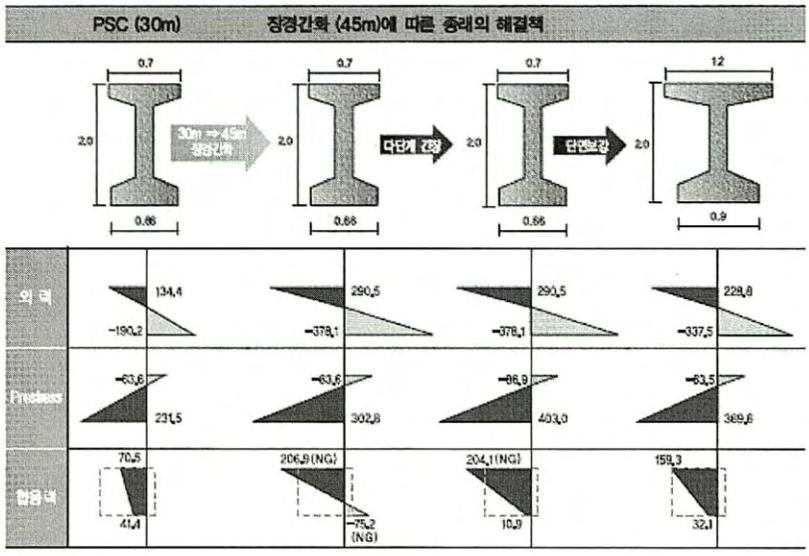


단 면



장경간 / 저형고화에 따른 응력분포 양상

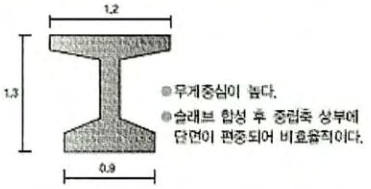
● 단면(형고) 고정 후 장경간화 시 구조적 메커니즘



장경간 / 저형고화에 따른 문제해결의 방법

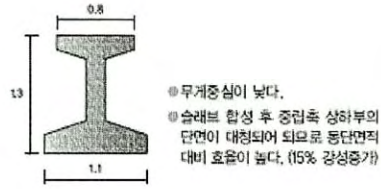
구 분	거더 하면	거더 상면
문제점	프리스트레스 단계에서 허용긴장응력의 제한	외력에 의한 압축응력의 증가 (긴장력의 축력 성분으로인해 프리스트레스에 의해 상쇄되는 응력의 크기는 제한)
해결방안	1) 거더하면 단면증대 (기존방식) 2) 다단계 긴장으로 해결 (기존방식)	1) 거더상면 단면증대 (기존방식) 2) 모멘트 프리스트레스 도입 (BICon의 원리)
해결방안의 한계	2)➡ 다단계 긴장에 따른 추가공정 발생	1)➡ 거더상면 단면증대로 인한 기설 시 전도방지 위한 증가 1)➡ 공용중 교량횡단의 상부단면만 비대한 비효율적인 단면

다단계 긴장 및 벌브T형 단면과의 비교



● 무게중심이 높다.
● 슬래브 합성 후 중립축 상부에 단면이 편중되어 비효율적이다.

벌브T형 PSC
A : 0.5334 m²
I : 0.3413 m⁴

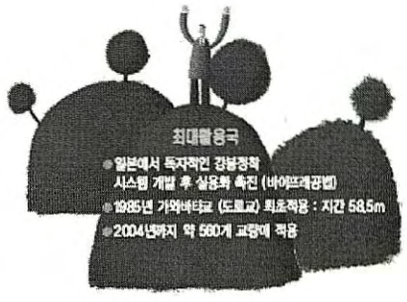


● 무게중심이 낮다.
● 슬래브 합성 후 중립축 상하부의 단면이 대칭되어 되므로 동단면적 대비 효율이 높다. (15% 강성증가)

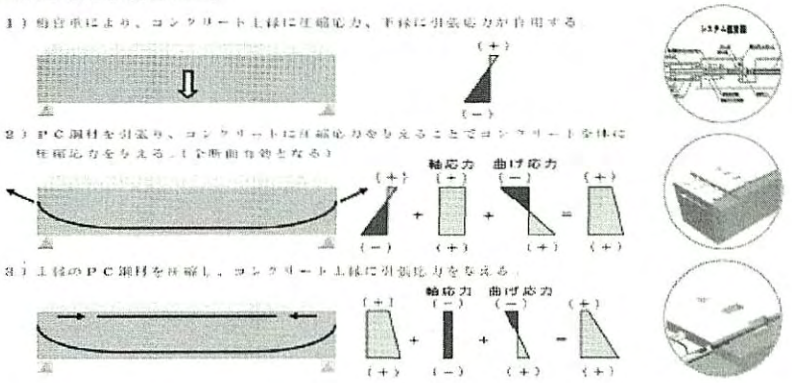
Bicon
A : 0.6259 m²
I : 0.3928 m⁴

Moment Prestress 의 도입





바이프레 (Bipre) 공법소개

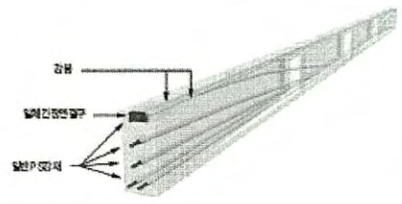


바이프레 (Bipre) 공법의 시공사례

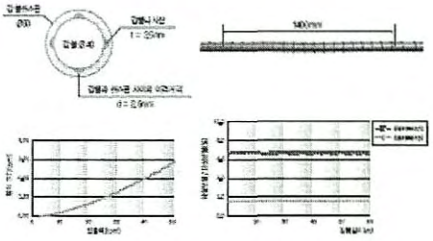


BiCon 공법(한국형 바이프레)

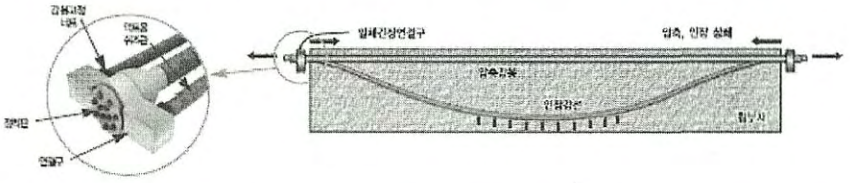
강봉삽입부



강봉 좌굴 검토



시공원리

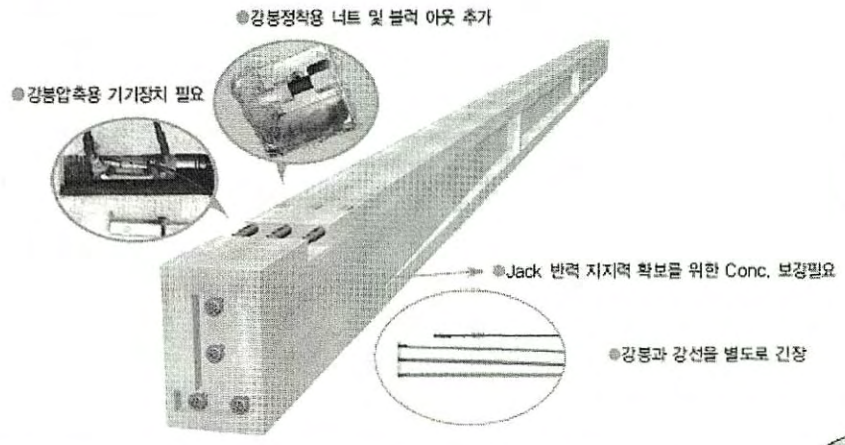


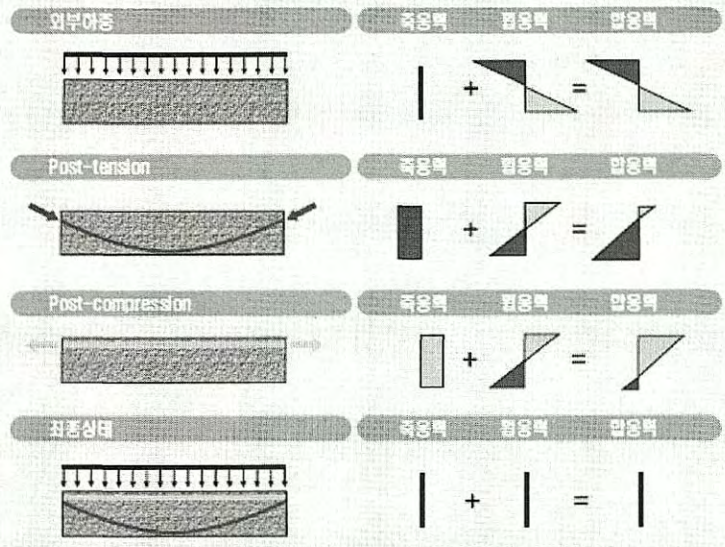
원리 및 성능	일본 바이프레공법과 대비	종래 벌브T형 PSC 공법과 대비
●일본에서 적용한 바이프레공법과 동일한 개념과 성능 ●강봉의 압축과 강선의 인장을 동시에 도입	●강봉의 압축과 강선의 인장이 동시에 이루어지므로, 정착부 보강 불필요 ●강봉의 정착을 위한 돌력이웃 간소화	●대단계 긴장이 불필요하게 되므로 시공성 혁신 ●역T형 단면형상으로 도심이 낮아 사용중 안전성이 제고되고, 공용중 사용성이 증대됨

BIcon 공법의 시공사진



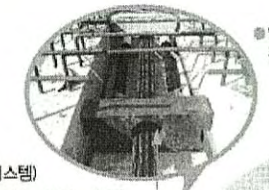
Post - compression의 개념 (일본 바이프레공법의 원리)





●Tension과 compression이 각각 도심의 아래와 위에서 작용하여 축력에 의한 응력은 상쇄되고 외력모멘트에 대항하는 저항모멘트에 의한 응력만 남아 거더 상면에 과압축을 피할 수 있다.

Moment Prestress (일본 바이프레들 개선한 BICon 거더의 원리)



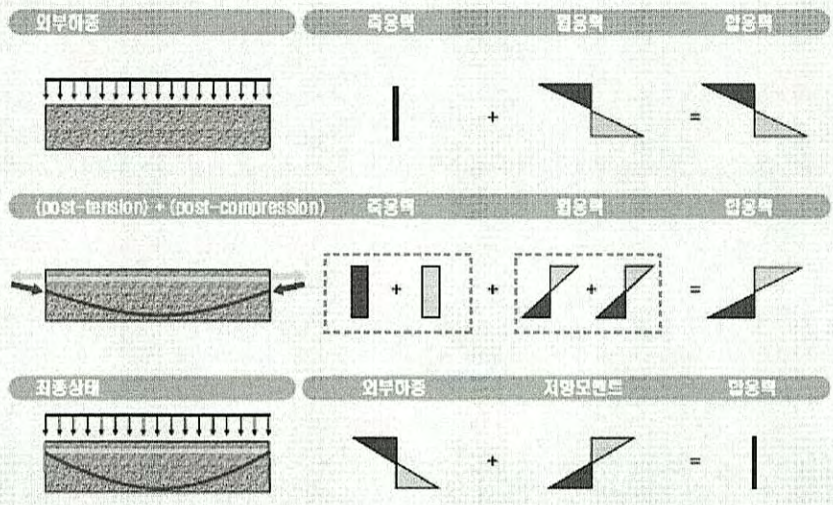
- 일체 긴장연결구 사용으로 긴장작업 간소화

선

- 공정단순 (일체긴장 시스템)
- 시공성증대 (블럭아웃 감소, 위치 : 단부)
- 강봉과 강연선의 축력 상쇄로 Conc. 보강불필요
- 공사비 절감 (긴장공정의 단순화)

- 양단부에만 블럭아웃 설치
- 강봉과 강선의 일체긴장

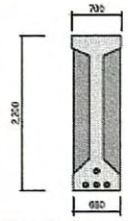
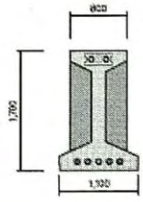
내 용



- Tension을 기함으로서 발생하는 압축력을 상쇄시키기위해 추가의 compression이 필요한 종전의 방식(일본 바이프레)을 개선하여 긴장 시의 콘크리트가 받는 압축력을 거더상면에 삽입된 강봉이 대신하도록 함으로서 외력모멘트에 저항하는 대편심모멘트만 발생 되도록 함. (이론적으로 최종상태의 전단면을 무응력 상태로 유지할 수 있다.)

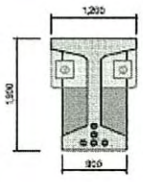
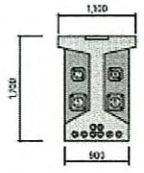
유지단면을 갖는 거더의 공법비교

2008 상반기

	P.S.C (35m)		BiCon (40m)	
거더 단면		제작공정 1. 거푸집 베드 조성 및 제작 2. 철근, 쉬스관 설치 3. 콘크리트 타설 4. 증기양생 및 거푸집 탈형 5. 강선긴장 6. 거더 가설 7. 바닥판 타설		제작공정 1. 거푸집 베드 조성 및 제작 2. 철근, 쉬스관 및 앵커긴장부 설치 3. 콘크리트 타설 4. 증기양생 및 거푸집 탈형 5. 강봉 및 강선 앵커긴장 6. 거더 가설 7. 바닥판 타설
사용 재료	• 콘크리트 : 슬래브 – fck = 27 MPa 거더 – fck = 40 MPa • 강선 : SWPC 7B ø15.2mm – fpy = 1,900 MPa		• 강봉 : fy = 950 MPa • 콘크리트 : 슬래브 – fck = 27 MPa 거더 – fck = 40 MPa • 강선 : SWPC 7B ø15.2mm – fpy = 1,900 MPa	
공법 개요	• PS강선 및 강봉을 이용하여 콘크리트에 압축프리스트를 도입하여 주하중에 저항할 수 있도록 설계되는 Post-tension방식의 공법 • 마관이 중요시 되지 않는 30m 정도의 단경간 교량에 적용이 용이함	응력분포 양상 응력구분 / 응력분포 외력 1차 긴장 2차 긴장 (바닥판 타설 후) 합계	• 역T형의 고강도 콘크리트 단면 상연에 강봉을 삽입하여 PS강선 긴장시 발생하는 압축력을 강봉이 부담하고 콘크리트 단면에는 대편심 휨모멘트만을 발생시키므로 거더 상연의 과압축을 피하면서 단 1회의 긴장만으로 저항고화 할 수 있는 프레스트레스 콘크리트공법 • 항하공간 확보가 요구되는 35m ~45m의 중경간 교량에 적용이 용이함	응력분포 양상 응력구분 / 응력분포 외력 1차 긴장 2차 긴장 (바닥판 타설 후) 합계
장 · 단점	• 다단계 긴장이 불필요하여 시공이 간단하다. • 형고가 높아 마관이 불량 • 무게중심이 높아 가설 시 전도의 위험이 높다. • 거더자체의 단면만으로 설계하중에 저항하므로 바닥판 교체 및 보수가 용이하여 유지관리가 양호.		• 다단계 긴장이 불필요하므로 시공이 간단하다. • 형고가 낮아 항하공간 확보 및 진출입부 성토량 절감에 탁월하다. • 거더상연의 단면이 작아 배수계획에 유리하고, 가설시 전도의 위험이 낮다. • 거더자체의 단면만으로 설계하중에 저항하므로 바닥판 교체 및 보수가 용이하여 유지관리가 양호. • 역T형 단면으로 완공 후 전체교량 횡단면의 형상이 단면강성에 가장 효율적인 I형과 가까워 동일형고 대비 처짐 및 진동에 대한 사용성이 유리하다.	
경제성 - 철근 : 780원/ton - 레미콘 : 10만/㎥	• 재료의 구성이 간단하고 공정이 단순하여 빔 공사비가 저렴하다. • 형고가 높아서 인접도로의 토공량이 증가하여 이에 따른 부대비용 및 용지 부대비용 및 용지보상비가 추가된다. (하기공사비에는 미반영)		• 재료의 구성이 간단하고 공정이 단순하여 빔 공사비가 저렴하다. • PSC계열의 거더를 장경간/저형고화를 위한 필수공종인 다단계 긴장을 배제하므로서 공사비 절감은 물론 시공성 확보로 인한 공기절감의 효과도 우수하다. • 축소시킨 단면 만큼 재료비가 절감되므로 공사비가 저렴하다.	

거더본당 공사비	3,600만원
㎡당 거더 직공비	42만원 /㎡
㎡당 슬래브 직공비	25만원 /㎡
㎡당 상부 직공비	67만원/㎡
㎡당 간접비 (45%)	30만원 /㎡
㎡당 상부 총공사비	98만원/㎡

거더본당 공사비	4,300만원
㎡당 거더직공비	44만원 /㎡
㎡당 슬래브 직공비	25만원 /㎡
㎡당 상부 직공비	69만원/㎡
㎡당 간접비 (45%)	31만원/㎡
㎡당 상부 총공사비	100만원/㎡

	LP.C (40m)	e-beam (40m)
거더 단면	 **제작공정** 1. 거푸집 베드 조성 및 제작 2. 철근 및 쉬즈관 설치 3. 콘크리트 타설 4. 증기양생 및 거푸집 탈형 5. 1차 강선긴장 6. 거더 기설 7. 바닥판 콘크리트 타설 8. 2차 강선긴장	 **제작공정** 1. 거푸집 베드 조성 및 제작 2. 철근, 쉬즈관 및 보강강판 설치 3. 콘크리트 타설 4. 증기양생 및 거푸집 탈형 5. 1차 강선긴장 6. 거더 기설 7. 바닥판 콘크리트 타설 8. 2차 강선긴장
사용 재료	• 콘크리트 : 슬래브 – fck= 27 MPa 거더 – fck= 40 MPa • 강선 : SWPC 7B ø15.2mm – fpy= 1,900 MPa	• 강재 : SM400 – fpy= 240 MPa • 콘크리트 : 슬래브 – fck= 27 MPa 거더 – fck= 40 MPa • 강선 : SWPC 7B ø15.2mm – fpy= 1,900 MPa
공법 개요	• PSC거더 제작시 시공단계별 하중증기를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입할 수 있도록 설계, 제작하므로써 장경간 저형고의 거더하연에 충분한 압축력을 도입하고 거더상연은 단면을 증대시켜, 외력에 저항하도록 하는 개선된 프리스트레스 콘크리트 공법 • 형하공간 확보가 요구되는 35m ~45m의 중경간 교량에 적용이 용이함 **응력분포 양상** 응력구분 / 응력분포 외력 / 1차 긴장 / 2차 긴장 (바닥판타설후) / 합계	• IPC거더 공법과 동일하게 시공단계별 하중증기를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입할 수 있도록 설계, 제작하므로써 장경간 저형고의 거더하연에 충분한 압축력을 도입하고, 거더상연은 단면 증대와 강재삽입으로 IPC거더 공법대비 저형고를 구현할 수 있도록 개선된 프리스트레스 콘크리트 공법 • 형하공간 확보가 요구되는 35m ~45m의 중경간 교량에 적용이 용이함 **응력분포 양상** 응력구분 / 응력분포 외력 / 1차 긴장 / 2차 긴장 (바닥판타설후) / 합계
장·단점	• 다단계 긴장의 도입으로 PSC공법에 비해 저형고가 가능하다. • 순차적 프리스트레싱 (거치 후 2차긴장 추가)에 의하여 시공단계별 공정복잡 • 바닥판 교체 또는 보수 시 거더응력 초과 • 벌브T형 형상으로 무게중심이 높아 가설 시 전도의 위험이 크고, 외측거더 배수처리가 어렵다.	• 다단계 긴장의 도입으로 PSC공법에 비해 저형고가 가능하다. • 순차적 프리스트레싱 (거치 후 2차긴장 추가)에 의하여 시공단계별 공정복잡 • 벌브T형 형상으로 무게중심이 높아 가설 시 전도의 위험이 크고, 외측거더 배수처리가 어렵다.
경제성 - 철근 : 1만원/ton - 데크근 : 10만/㎡	• 재료의 구성은 간단하나 다단계긴장에 따른 추가비용이 증가한다. 거더본당 공사비 5,100만원 ㎡당 거더직공비 53만원 / ㎡ ㎡당 슬래브 직공비 25만원 / ㎡ ㎡당 상부 직공비 78만원/㎡ ㎡당 간접비 (45%) 35만원/㎡ **㎡당 상부 총공사비 113만원/㎡**	• 재료의 구성이 다소 간단하나 다단계긴장에 따른 추가비용이 증가한다. • 단면축소를 위해 삽입된 강재로 인해 자재비 상승이 예상된다. 거더본당 공사비 4,900만원 ㎡당 거더직공비 50만원 / ㎡ ㎡당 슬래브 직공비 25만원 / ㎡ ㎡당 상부 직공비 75만원/㎡ ㎡당 간접비 (45%) 34만원/㎡ **㎡당 상부 총공사비 109만원/㎡**

BiCon 표준단가 및 공법별 공사비 비교

도로교

형고 : 슬래브 제외

2008 상반기 기준 (단위: 천원)

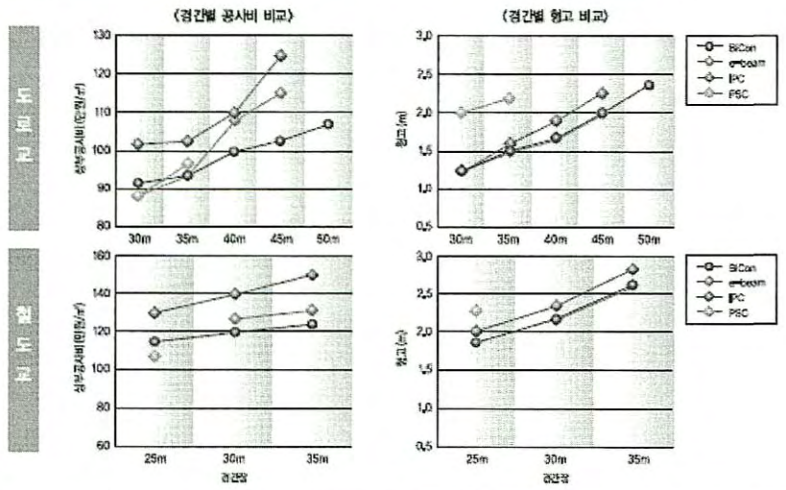
길 이 (반력)	구 분	BiCon 표준형고	e-beam 표준형고	I.P.C 표준형고	P.S.C 표준형고
30m (1,150kN)	형고	1.3m	1.3m	1.3m	2.0m
	빔단가	28,000	26,000	33,000	26,000
	m당 빔공사비	384	357	453	357
	m당 slab공사비	250	250	250	250
	m당 상부직영비	635	607	703	607
	m당 간접비(45%)	285	273	316	273
	m당 상부총공사비	920	880	1,019	880
35m (1,250kN)	형고	1.5m	1.5m	1.6m	2.2m
	빔단가	34,000	34,000	39,000	36,000
	m당 빔공사비	400	400	459	423
	m당 slab공사비	250	250	250	250
	m당 상부직영비	650	650	709	673
	m당 간접비(45%)	292	292	319	303
	m당 상부총공사비	942	942	1,028	977
40m (1,500kN)	형고	1.7m	1.7m	1.9m	
	빔단가	43,000	49,000	51,000	
	m당 빔공사비	443	504	525	
	m당 slab공사비	250	250	250	
	m당 상부직영비	693	754	775	
	m당 간접비(45%)	312	339	349	
	m당 상부총공사비	1,005	1,093	1,124	
45m (1,650kN)	형고	2.0m	2.0m	2.3m	
	빔단가	51,000	59,000	66,000	
	m당 빔공사비	467	540	604	
	m당 slab공사비	250	250	250	
	m당 상부직영비	717	790	854	
	m당 간접비(45%)	322	355	384	
	m당 상부총공사비	1,039	1,145	1,238	
50m (1,900kN)	형고	2.4m			
	빔단가	60,000			
	m당 빔공사비	494			
	m당 slab공사비	250			
	m당 상부직영비	744			
	m당 간접비(45%)	335			
	m당 상부총공사비	1,079			
기준	- 설계하중 : DB-24 - 교량폭원 : 2차선 5주형		철근자재비 : 78만원 / ton 레미콘자재비(40MPa) : 10만원/㎥		

철도교

형고 : 슬래브 제외

2008 상반기 기준 (단위 : 천원)

길 이 (반력)	구 분	BiCon 표준형고	e-beam 표준형고	I.P.C 표준형고	P.S.C 표준형고
25m (1,900kN)	형고	1.8m		2.0m	2.3m
	빔단가	27,000		32,000	23,000
	m'당 빔공사비	495		587	422
	m'당 slab공사비	300		300	300
	m'당 상부직영비	795		887	722
	m'당 간접비(45%)	358		399	325
	m'당 상부총공사비	1,153		1,286	1,047
30m (2,200kN)	형고	2.2m	2.2m	2.4m	
	빔단가	34,000	39,000	44,000	
	m'당 빔공사비	520	596	673	
	m'당 slab공사비	300	300	300	
	m'당 상부직영비	820	896	973	
	m'당 간접비(45%)	369	404	438	
	m'당 상부총공사비	1,189	1,300	1,411	
35m (2,600kN)	형고	2.6m	2.6m	2.8m	
	빔단가	42,000	49,000	56,000	
	m'당 빔공사비	550	642	734	
	m'당 slab공사비	300	300	300	
	m'당 상부직영비	850	942	1,034	
	m'당 간접비(45%)	383	424	465	
	m'당 상부총공사비	1,233	1,366	1,499	
기준	- 설계하중 : LS-22 - 교량제원 : 복선 5주형		철근자재비 : 78만원/ton 레미콘자재비(40MPa) : 10만원/m'		



BiCon 거더의 개발연혁 및 공법검증

개발연혁

■ '06 정부자유공모과제 선정 및 협약



●협약일 : '06. 12. 20 ~ '09. 10. 19
●주 체 : 한국건설교통기술평가원
●주관사 : (주)삼현피에프
●협력사 : 유신, KCI, 포스코건설
극동엔지니어링㈜
●위탁연구기관 : RIST
●평 가 : 교량부문 1위

■ 특허등록



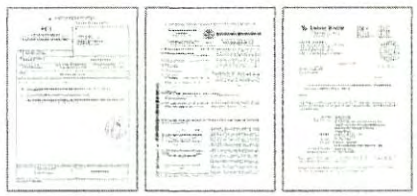
●등록번호 : 제 10-0589799호
●발명명칭 : 단순한 긴장으로 휨인을 가하는 대편심 프리스트레싱 방법과 장치 및 그를 이용한 PSC보
●특허권자 : (주)삼현피에프
●등 록 일 : '06. 06. 07

■ 자문단구성 및 회의

●일 시 : 2006년 01월
●자문진 : 교수 (신현묵, 이광명, 김상철)
연구소 (윤태영, 심무 (이민섭, 신옥범)
●연구진 : 삼현피에프
유신코퍼레이션
포스코건설

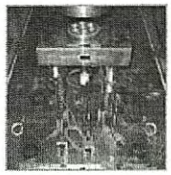


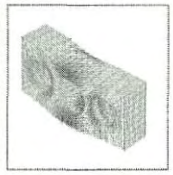
■ 국제특허 (PCT) 취득 및 중화민국 특허등록



공법검증

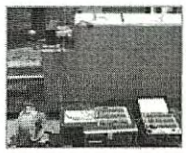
■ 일체긴장연결구 성능평가

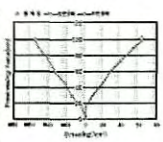




●처짐 (L/600 이하) ●응력 (극한강도의 80% 이하)
●PTI 기준 만족

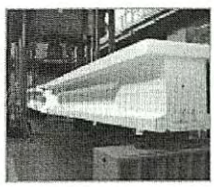
■ 보시험체 시험





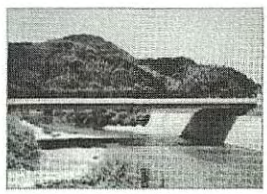
●일체긴장시 상연 압축응력제어 및 모멘트 도입 효과 확인
●10m BiCon거더의 극한내하력 확인 (107톤 : 설계하중의 4.2배)

■ 거더 시험체 시험

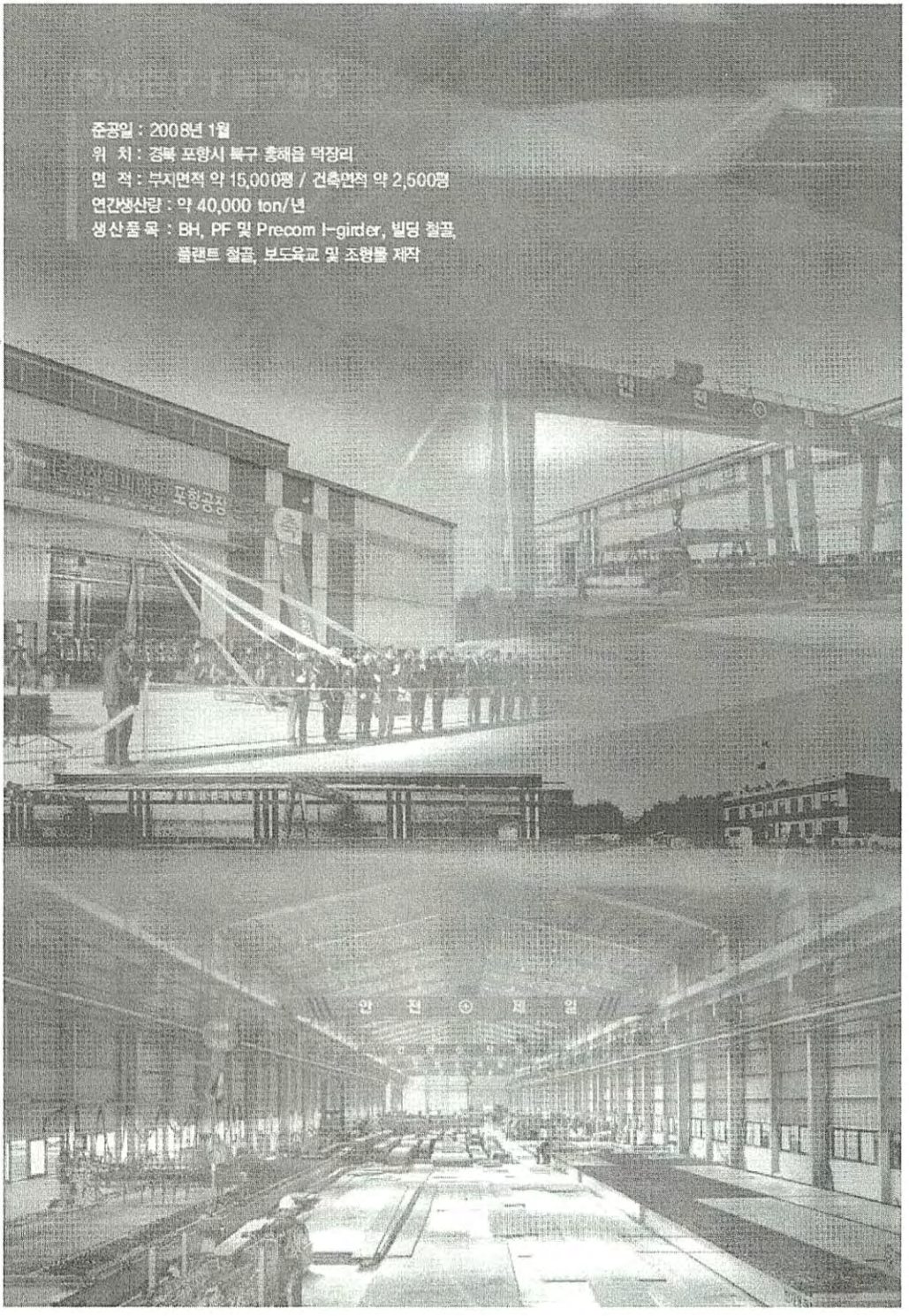


●일 시 : 2008년 2월 12일 ~ 29일
●제 원 : L = 20m / 도로교 / 철도교 각각 1EA 실제거더
●거더는 설계하중의 약 2.0배의 하중에서 균열이 발생, 설계하중의 약4배에서 파괴

■ 시험 시공



●가신지역 35m


준공일 : 2008년 1월
위 치 : 경북 포항시 북구 흥해읍 덕장리
면 적 : 부지면적 약 15,000평 / 건축면적 약 2,500평
연간생산량 : 약 40,000 ton/년
생산품목 : BH, PF 및 Precom I-girder, 빌딩 철골,
플랜트 철골, 보도육교 및 조형물 제작
포항공장
안 전 ⊙ 제 일

[첨부7. 신기술출원관련]

1. 신기술지정신청서
2. 선행기술조사 신청서
3. 원가분석의뢰 서류

신기술지정신청서

처리기간
120 일

신 기 술 명 칭	PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용하여 프리스트레스를 도입하는 PSC거더(Bicon거더)의 제작공법			
기술을 개발 또는 개량한자	법 인 명	(주)삼현피에프	법인등록번호	110111-1734931
	성명(대표자)	안해영	주민등록번호	
	주 소	(138-859) 서울특별시 송파구 오금동 128-3 그린빌딩		
기술을 개발 또는 개량한자	법 인 명	포스코건설(주)	법인등록번호	174611-0002979
	성명(대표자)	정동화	주민등록번호	
	주 소	(790-300) 경상북도 포항시 괴동동 568-1		
기술을 개발 또는 개량한자	법 인 명	(주)유신코퍼레이션	법인등록번호	110111-0061666
	성명(대표자)	박찬식	주민등록번호	
	주 소	(135-936) 서울특별시 강남구 역삼동 832-40		
기술을 개발 또는 개량한자	법 인 명	(재)포항산업과학연구원	법인등록번호	174631-0004155
	성명(대표자)	권 오 준	주민등록번호	
	주 소	(790-600) 경북 포항 남구 효자동 산 43		
기술을 개발 또는 개량한자	법 인 명	한국철도기술연구원	법인등록번호	135221-000076
	성명(대표자)	최성규	주민등록번호	
	주 소	(437-759) 경기도 의왕시 월암동 374-1		
신 기 술 내 용 (요 약)	본 기술은 콘크리트 거더 상연에 강봉을 삽입하고 양 단부에서 PS강선과 일체긴장 연결구를 이용, 일체로 연결하여 강선의 긴장시 발생하는 압축력을 강봉이 부담하고 콘크리트 거더에는 강봉과 PS강선의 거리를 편심으로 하는 순수 휨모멘트를 도입시킴으로써, 장경간·저형고 PSC거더의 제약조건인 거더 상연의 압축응력 초과 문제를 해결할 수 있으며 다단계 긴장을 배제하고 1회의 긴장에 의해 제작될 뿐만 아니라 중립축이 낮아 가설시 전도 위험이 없는 시공이 용이한 PSC거더 공법이다.			
신 기 술 의 범 위	PS강선과 강봉의 일체긴장시스템에 의해 외력에 의한 휨모멘트와 상반되는 순수 휨모멘트를 콘크리트 거더에 미리 도입하는 PSC거더 제작방법			

「건설기술관리법」 제18조, 동법 시행령 제32조 및 동법 시행규칙 제10조의 규정에 의하여 신기술지정을 신청합니다.

2009년 12월 28일

신청인 (주)삼현피에프 대표이사 안 해 영 (서명 또는 인)

신청인 포스코건설(주) 대표이사 정 동 화 (서명 또는 인)

신청인 (주)유신코퍼레이션 대표이사 [illegible] (서명 또는 인)

신청인 (재)포항산업과학연구원 원장 권 오 준 (서명 또는 인)

신청인 한국철도기술연구원 원장 최 성 규 (서명 또는 인)

국토해양부장관 귀하

구비서류	수수료
1. 신기술의 내용(신기술의 요지 및 지정요건인 신규성·진보성·현장적용성에 대한 구체적인 설명서와 도면 등을 포함합니다)	신청시 1만원 (수입인지)

2. 국내외 건설공사에서의 활용전망
3. 현장적용 시방서 및 유지관리지침서 등 신기술관련 심사자료
4. 그 밖에 심사에 필요한 「건설기술관리법」 제25조의 규정에 의한 품질검사전문기관의 각종 시험성적서 및 시험시공결과 등 신기술의 평가에 필요하다고 인정되는 사항

선행기술조사 신청서

신청인	하태열	전화번호	
핸드폰		팩스번호	
주소	138-859		
	서울 송파구 오금동 128-3 그린빌딩 5층 기술개발팀		
업체명	삼현피에프	대표자명	안해영
E-mail		홈페이지	www.precom.co.kr
서비스종류	특허성(출원서작성전)조사	의뢰청구항	null
신청내용	조사목적 : 건설교통기술평가원 제출용 (건설신기술지정 신청)		
조사범위	[한국, 일본, 미국, EP/PCT]		
조사종류	일반조사		
출원번호	10-2004-0000210	출원인	송우찬
출원일자	20040105	발명명칭	단순한 긴장으로 휨만을 가하는 대편심 프리스트레싱 방법과 장치 및 그를 이용한 PSC보
신청일	2009-11-24	완료예정일	2009-12-09
기타사항			
합계금액	0		

한국특허정보원

(별지 제11호 서식) (정색)

세금계산서 (공급받는자 보관용)

책번호	권	호
일련번호	09	- 0472

공급자	등록번호	220-82-04926			공급받는자	등록번호	219-81-29556		
	상호(법인명)	한국특허정보원	성명	박재천		상호(법인명)	(주)삼현피에프	성명	안해영
	사업장 주소	서울 마포구 동교동 146-8				사업장 주소	서울 송파구 오금동 128-3 그린빌딩		
	업태	서비스외	종목	특허정보제공외		업태	건설	종목	철콘, 비계구조물해체공사

작성			공급가액											세액										비고
년	월	일	공란수	백	십	억	천	백	십	만	천	백	십	일	십	억	천	백	십	만	천	백	십	일	
2009	11	24	5						5	9	0	9	1	0						5	9	0	9	0	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
11	24	선행기술조사 수수료				590,910	59,090	

합계금액	현금	수표	어음	외상미수금	
650,000	650,000				이 금액을 (영수) 청구 함

22226-28132일 95. 1. 25승인 182mm×128mm 인쇄용지(특급) 34g/㎡

No. 20091[illegible]

계 약 서

건 명	Bicon 도로교 45m 외 1종
계 약 금 액	일금이백이십만원정 (₩2,200,000 부가세포함)
계 약 당 사 자	(갑) 주식회사 삼현피에프 (을) 사단법인 한국산업분석연구소

제 1 조 (목적 및 범위)

본 계약의 목적 및 범위는 (갑)이 제시한 과업지시서에 의한다.

제 2 조 (조사 방법)

기획재정부 회계예규 예정가격 작성기준 2200.04-106-5(2008.12.29)에 의거 조사한다.

제 3 조 (계약 기간)

계약일로부터 10일간

※상기의 계약기간은 필요시 상호 협의 하에 조정할 수 있다.

제 4 조 (대금 지급)

계 약 금 : 2009년 월 일 일금만원정(₩ 부가세포함)

잔 금 : 보고서 완료일 일금이백이십만원정(₩2,200,000 부가세포함)

※(갑)은 원가조사 성과물 납품 시 지급하는 것으로 한다.

제 5 조 (자료의 제공 및 성실의무)

(1) (갑)은 업무를 수행하기 위하여 필요한 자료를 제시하여야 하며 (을)은 원가조사업무를 성실히 수행하여야 한다.

(2) (을)은 본 용역 수행과정에서 알게 된 기밀에 대한 보안을 유지하여야 한다.

조달청선정 신기술제품 가격산정기관
사단법인 한국산업분석연구소

No. 20091164

(3) (갑)과 (을)은 계약이 종료될 때까지 신의와 성실의 관계를 유지한다.

제 6 조 (협의 조정)

본 계약에 정해지지 않은 사항 또는 해석에 이의가 발생한 사항에 대해서는 (갑)과 (을)이 상호 협의한다.

제 7 조 (성과물 납품)

본 용역의 성과물은 보고서 3부와 CD 1매를 납품하는 것으로 한다.

본 계약의 성립을 증명하기 위해 계약서 2부를 작성하여 (갑)과 (을)이 서명날인 하고 각각 1부씩 보관한다.

2009년 11월 26일

(갑) 상 호 명 : 주식회사 삼현피에프
주 소 : 서울특별시 송파구 오금동 128-3 (그린빌딩)
대 표 자 : 대표이사 안 해

(을) 상 호 명 : 사단법인 한국산업분석연구소
주 소 : 서울 영등포구 여의도동 18-3
대 표 자 : 송 영

조달청선정 신기술제품 가격산정기관
사단법인 한국산업분석연구소

[첨부8. 현장적용관련]

건설공사 하도급 변경 계약서

1. 원도급공사명 : 포천가산노블리제 C.C조성사업 진입도로공사

2. 하도급공사명 : 교량 거더 공사

3. 공 사 장 소 : 경기도 포천시 가산면 우금리 579번지

4. 공 사 기 간 : 변경 = 착공 2008년 12월 26일 ~ 준공 2009년 06월 30일
당초 = 착공 2008년 12월 26일 ~ 준공 2009년 03월 31일

5. 계 약 금 액 : 일금 구억칠천이백사십만원정 (₩ 972,400,000)
공 급 가 액 : 일금 팔억팔천사백만원정 (₩ 884,000,000)
부 가 가 치 세 : 일금 팔천팔백사십만원정 (₩ 88,400,000)
※ 변경 전 계약금액 : 일금 육억삼천육백구십팔만팔천원정 (₩ 636,988,000)

6. 선 급 금 : 없 음

7. 기성 부분금 : (1) 월(1회)기성청구
(2) 목적물수령일로부터(45)이내지급
(3) 지급방법 : 현금 %, 어음 %

8. 계약 보증금 : 일금 구천칠백이십사만원정 (₩ 97,240,000)

9. 하자보수보증금율 : 발주처의 요청 기준에 준함

10. 하자담보책임기간 : 발주처의 요청 기간에 준함

11. 지 체 상 금 율 : 1/1000(지체일수 1일당 0.1%)

당사자는 위의 내용과 별첨 건설공사 하도급계약조건, 설계도 및 시방서, 계약내역서에 의하여 공사계약을 체결하고 계약서 2통을 작성하여 각각 날인 후 1통씩 보관한다.

2009년 9월 15 일

※ 도 급 인
주 소 : 서울시 성북구 성북2동 110 -1호
상 호 : (주) 두 화 공 영
성 명 : 한 수 (인)

※ 수 급 인
주 소 : 서울시 송파구 오금동 128-3 그린빌딩
상 호 : (주) 삼 현 피 에 프
성 명 : 안 해 영 (인)

교량거더 공사 변경내역서

공사명 : 가산노블리제 C.C 조성공사 중 진입도로공사

공 종	규 격	단위	수량	하도급액-(삼현PF)		비 고
				단 가	금 액	
1. 제1교					237,500,000	
BICON BEAM(L=34.8)		본	10	22,300,000	223,000,000	
긴장 및 설치		본	10	1,450,000	14,500,000	
2. 제2교					184,750,000	
PRECOM BEAM(L=30.1)		본	5	35,500,000	177,500,000	
긴장 및 설치		본	5	1,450,000	7,250,000	
3. 제3교					296,500,000	
PRECOM BEAM(L=30.2)		본	10	28,200,000	282,000,000	
긴장 및 설치		본	10	1,450,000	14,500,000	
4. 자재비					108,580,720	
철 근	SD40	TON	73.444	930,000	68,302,920	
레미콘	25-45-15	M3	159.40	100,000	15,940,000	
레미콘	25-40-15	M3	270.42	90,000	24,337,800	
직접공사비 계					827,330,720	
5. 일반관리비		식			56,669,280	
소 계					884,000,000	
6. 부가가치세		식			88,400,000	
계 약 금 액					972,400,000	

교량공사비와 자재비 일반관리비에서 Bicon부분을 분리하면 ₩460,000,000 이 된다.

작 업 지 시 서

문 서 번 호	305381 - 0912호	발행업자	2009년 11월 10일
원도급공사명	수원시 관내(분천-송산) 국도대체 우회도로		
하도급공사명	바이콘거더 제작	협력업체	(주)삼협피에프
작업 지시명	안녕3교 바이콘거더 제작		
작 업 위 치	안 녕 3 교	조치기한	~ 11월 30일

지 시 내 용

1. 귀 사의 노고에 감사드리고 무재해를 기원합니다.
2. 수원시 관내 국도대체 우회도로 현장의 안녕3교 바이콘거더(L=40m,8본) 제작 작업지시 하오니 지체없이 시공하여 주시기 바라며(콘크리트타설: 11월30일까지), 품질 및 안전관리에 만전을 기해 주시기 바랍니다.

접수 2009.11.10

공사성격	☐ COST 증가	☐ COST 감소	☐ COST 변동없음
사 유	☐ 물량증가	☐ 발주자 요청	☑ SPEC 변경
	☐ 추가공사	☐ 등관공사	☐ 시공시 누락
	☐ 도면변경	☐ REWORK	☐ 철거
정산방법	☐ 기계약단가	☐ 협의확정	☑ 신규합의단가
	☐ 실시공물량 정산	☐ 발주처정산조건준용	☐ 미정산(업체부담)
첨 부	☐ 관련도면/시방서	☐ 내역서(산출근거)	☐ 단가설명자료
파일첨부	없음		
소요금액			
지급자재/장비	☑ 없음	☐ 있음	
특기사항	공사에 대한 검사방법 및 시기, 하도급대금과 그 지급방법 및 지급기일을 제반 사항에 관한 사항은 당초 하도급계약조건에 따른다.		
작업지시자	이 종 현	수 령 자	이 재 광 (인)

시 공 확 인 서

1. 공 사 명 : 의정부시 관내 국도대체 우회도로(장암~자금) 건설공사
   [발주처 : 서울지방국토관리청]

2. 공 종 명 : 자금IC R-C1교 中 Bicon 제작 및 설치공사

3. 공사기간 : 2009년 09월 18일~원도급준공일(단, 2009년 12월 31일까지)

4. 공사금액 : 262,900,000원(부가세포함)

5. 공사위치 : 경기도 의정부시 자일동 일원

6. 적용공법 : PS강연선 및 강봉을 이용한 일체긴장 PSC 거더(Bicon)
   (특허번호 : 10-0589797)
   (특 허 명 : 단순한 긴장으로 휨만을 가하는 대편심 프리스트레싱 방법과 장치 및 그를 이용한 PSC보)

7. 기술공급 및 시공사 : ㈜상현피에프

8. 공사개요 :
   ① 교량형식 : Bicon Girder 교
   ② 주형구성 : L=34.9m * 4(6)주형 * 2경간

상기 『의정부시 관내 국도대체 우회도로(장암~자금) 건설공사』 中 본선진입을 위한 도로용 장지간 Ramp교량 설치공사 시 "PS강연선 및 강봉을 이용한 일체긴장 PSC 거더(Bicon)공법"이 적용되어 시공하였음을 확인합니다.

2009년 11월

극동건설 주식회사
대표이사 윤 춘 호 (인)