제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조개발에 관한 연구"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013 . 8 .

주관연구기관명 : (주)삼현피에프
주관연구책임자 : 신동기
연 구 원 : 김충언/지구삼/김보현
" : 안해영/양인욱/이 인
" : 장형근/하태열/전민욱
" : 나윤호/이동성/이동혁/
" : 서성봉/강신재

공동연구기관명 : 도화엔지니어링
공동연구책임자 : 조명환
연 구 원 : 진정훈/최명훈/배규태
" : 김병선/박형순/김지선
" : 장효원
" : 권순섭/윤종오/나관웅
" : 조기연/김태곤/고준호

공동연구기관명 : 포항산업과학연구원
공동연구책임자 : 이필구
연 구 원 : 김진국/조광일

위탁연구기관명 : 고려대학교
위탁연구책임자 : 강영종

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>10-기술
혁신A04</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.8.29.~
2013.8.28.</td><td>단 계 구 분</td><td>3차년도/
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">상시제안과제</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">강상자 구조와 트러스 구조가 결합된
장경간 하이브리드 교량구조개발</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
참 여
연구원수</td><td>총 : 37명
내부 : 37명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 398,000천원
기업 : 399,000천원
계 : 797,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 37명
내부 : 37명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 993,000천원
기업 : 1,000,000천원
계 : 1,993,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">삼현피에프 기술연구소
도화엔지니어링 기술연구소
포항산업과학연구원
강구조연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">삼현피에프
도화엔지니어링
한라건설
선구엔지니어링</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 고려대학교 연구책임자 : 강영종</td></tr>
</table>

요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)	보고서면수	

1. 연구목적: 강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간(80~150m) 하이브리드 교량구조의 개발

2. 목표도달수단
  1) 정모멘트부에는 강상자 구조, 부모멘트 구간에는 트러스 구조를 적용
  2) 검증된 강상자 구조와 트러스 구조를 접합하는 최적 접합부 개발
  3) 하이브리드 교량시스템의 설계 및 시공기술 개발

3. 주요연구과정 및 연구결과
  3.1 선행기술 조사
    1) 설계도서 분석을 통한 프로세스 개발
    2) 사례조사를 통한 연속지점부 및 곡선교 적용성 검토
  3.2 강상자 및 트러스 접합부 최적상세 개발
    1) 접합부 최적형상 도출: 아이디어 → 변수연구 → 개선상세 도출 → 특허출원
    2) HSB800강재(인장강도 800MPa)의 적용성 연구
  3.3 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 구조성능 및 제작성 검증
    1) 접합부에 대한 해석적 검증 및 30m실물실험: 응력집중, 피로성능
    2) 지점부에 대한 실물실험 및 해석: 부모멘트부 거동 및 이중합성 적용성
    3) 곡선교에 대한 실물실험 및 해석
      - 브레이싱 보강재 배치에 따른 응력검토,
      - 평면선형이 R=300이상인 경우 적용성 검토
    4) 동적성능 검증
    5) 극한강도 평가
  3.4 하이브리드 교량 설계 및 시공기술 개발
    1) 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발
    2) 객체지향 프로그램 기반 설계자동화 프로그램 개발
    3) 한계상태 설계예제 작성
    4) 하이브리드 교량구조 시공상세 및 가설 프로세스 개발
  3.5 하이브리드 교량 구조의 제품화 기술 개발
    1) 하이브리드 교량구조와 단일형식 교량구조의 비교연구
    2) 표준설계 및 표준단면 연구
    3) 제품 카탈로그 작성

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	강상자, 트러스, 장경간, 하이브리드, 교량
	영 어	Steel Box, Truss, Long Span, Hybrid, Bridge

요 약 문

Ⅰ. 제 목

강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 필요성

○ 최근에 시작된 4대강 사업으로 인해 기존 교량의 장경간화와 더불어 구조안전성 뿐만이 아니라 미관과 시공성 및 녹색환경성(이산화탄소 배출량 감소)을 확보할 수 있는 장경간 교량 형식의 수요가 증대되고 있음.

○ 국내의 경우 경간장 50m이하에서는 PSC거더 및 강합성거더 등 다양한 복합구조 형식의 교량이 적용되고 있고, 70m 이하의 교량에서는 강상자형 거더, 그 이상의 경간장에서는 특수공법을 활용한 PSC 박스교나 트러스 및 아치 등과 같은 교량구조들이 사용되며 경간장 200m 이상에서는 사장교 및 현수교와 관련된 지속적인 연구진행(초장대교량 사업단 등) 및 적용(이순신대교 등)이 이루어지고 있으나 경간장 80~150m 에서는 적절한 교량형식이 부족한 실정임.

○ 경간장 80~150m 교량을 일반 강상자형 교량구조로 구성하게 되면 거더의 높이가 운반에 필요한 제한기준(3.2m)을 초과하여 그 사용에 많은 제약이 수반(현장에서의 강재 복부에 대한 종방향 연결이 불가피한 점 등)되며, PSC 박스구조로 적용할 경우 중량 증가로 인해 공사비 및 공사기간이 증가하게 되는 단점이 있음.



(a) 강박스 복부 절단/볼트이음 (b) PSC박스 FCM 가설

그림 1. 기존 80~150m 교량공법

○ 또한, 아치나 트러스 구조 등의 특수구조를 적용하기에는 단면변화 및 부재의 연결개소가 증가하게 되므로 설계 및 시공 효율성이 저하되는 단점이 있음.

○ 따라서, 경간장 80~150m에 적용할 수 있는 설계 및 시공이 단순한 복합구조형식의 교량시스템 개발이 시급함.

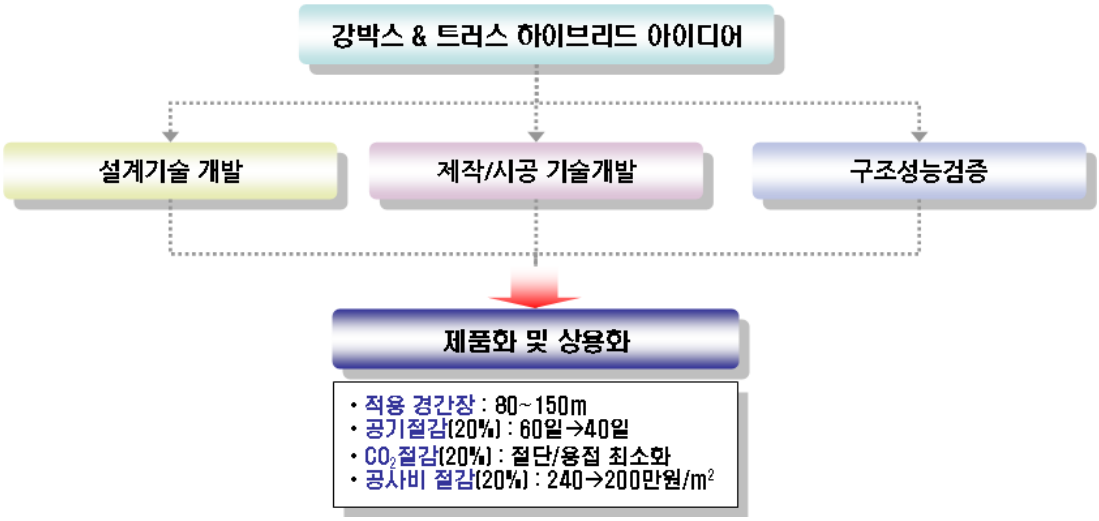
2. 핵심기술 및 범위

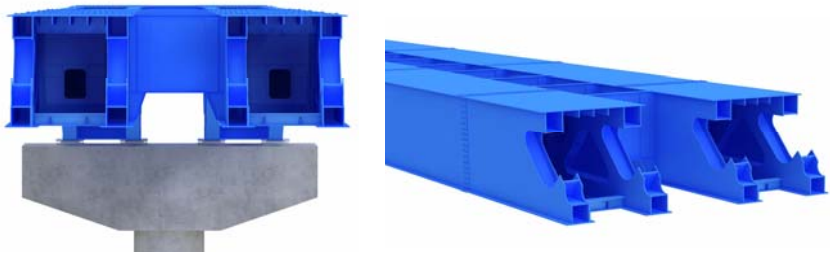
과 제 명	핵심기술명	기 술 범 위	정량적 정의
강상자구조와 트러스구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조개발	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 설계기술	- 강상자와 트러스 연결부 최적상세 개발 - 연속 지점부 트러스 이중합성 설계기술 개발 - 설계자동화 프로그램 개발 - 설계지침 개발	○ 장경간 교량 구조형식 개발 : 경간장 80~150m
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 시공기술	- 트러스 부재 자동화 제작 상세 개발 - 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발 - 현장조건별 최적 가설방법 개발 - 시공 및 유지관리지침 개발	○ 공기절감(20%) : 60일→40일(150m 1개소) ○ CO_2저감 : 20%
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 구조성능평가	- 강상자와 트러스 연결부 피로성능평가 - 동적성능평가(이동하중해석 및 가진실험) - 극한 내하력 평가 - 실교량 시공단계별 제작성능평가	○ 200만회 피로성능확보 ○ 동적성능평가(감쇠비 추출) : ISO 쾌감감퇴곡선 비교 ○ 극한 안전율 4배 이상 확보 : 극한하중/설계하중 ○ 계측/구조계산 비교 : 오차 5% 이하
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화기술	- 경간장/형고별 설계표준화: 구조계산서/도면 - 경제성 분석: 설계(LCC) 및 실행공사비 산출 - 곡선교 적용상세 개발 및 실험 - 한계상태설계법 정립	○공사비 절감(20%) : 240 → 200만원/m^2 * 120m 3경간 기준

2. 연구개발 목표

가. 최종 목표

최 종 목 표	최 종 성 과 목 표
강상자 및 트러스 하이브리드 장경간 교량 제품화 및 상용화	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 최적구조 개발
	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계/시공기술 개발
	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화기술 개발





<강박스-트러스 접합부 상세>



나. 연차별 성과목표 및 성과지표

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	(질적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 최적구조 개발	접합부 응력집중율	접합부 집중응력 / 평균응력	1.7 이하	30%
		접합부 피로등급	강상자 & 트러스(상/하현재) 및 보강재 용접부	C 이상	20%
		접합부 피로성능	설계응력 반복회수 하중 재하	200만회	25%
		장경간 교량 기술조사건수	트러스(곡선교 포함) 교량 건수	10건	5%
		단위강중	2@100m 교면적당 강재중량 (kgf/m^2)	400	20%
	소 계				100%
	(양적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 최적구조 개발	신소재/신공법	신공법 개요도(CG포함)	2건	30%
		시제품 제작	30m 강상자&트러스 접합부 시험체 도면 및 제작사진	1건	50%
		특허 출원/등록	특허출원증 및 명세서	2건	20%
	소 계				100%

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
2차년도	(질적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계/시공 기술 개발	최대경간장	부모멘트부 형고 6m 이하 설계 최대경간(m)	150m	10%
		극한강도검토	부모멘트 실험결과 또는 비선형해석/설계강도	3배	10%
		비용절감효과	강박스구조와의 설계공사비 비교	20%	15%
		비틀림저항구조	비틀림저항구조 검토서	R=400	10%
		이중합성 강성기여도	부모멘트부 이중합성 전/후 트러스 상현재 응력감소비율	10%	15%
		부모멘트 바닥판 강성기여도	부모멘트부 바닥판 합성 전/후 트러스 상현재 응력감소비율	10%	20%
		동적성능	2@150m ISO 쾌감감퇴경계곡선 만족 노출시간(120km/h주행시)	18분	20%
	소 계				100%
	(양적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계/시공 기술 개발	지침/메뉴얼	설계 및 시공메뉴얼	2건	40%
		시제품제작	30m 강상자&트러스 접합부 시험체 도면 및 제작사진	1건	30%
		국내외 학술지 논문게재 건수	국내외 학술지	2건	20%
		특허출원/등록	특허출원증 및 명세서	1건이상	10%
	소 계				100%

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
3차년도	(질적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화 기술개발	3-1 제작 공기	현장제작 제작공기(2@150m)	60일	30%
		3-2 단위공사비	100+ 120+ 100m 교면적당 공사비 (만원/m^2)	250	30%
		3-3 설계 합리화율	허용응력설계 강중 대비 한계상태설계 강중 절감율(%)	5	15%
		3-4 곡률반경	곡선교 시험체 설계하중 저항 최소곡률반경(m)	300	25%
	소 계				100%
	(양적지표) 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화 기술개발	3-5 기술이전	기술이전 계약서	1건	20%
		3-6 TestBed설계적용	설계도서	1건	20%
		3-7 프로그램 등록	설계자동화 프로그램	1건	10%
		3-8 시작품 제작	프리캐스트바닥판 및 곡선교 시험체	1건	30%
		3-9 사업화/제품화	장경간 하이브리드교량 홍보브로셔	1건	5%
		3-10 국내외 학술지 논문게재 건수	국내외 학술지 게재 인쇄본	2건	5%
		3-11 특허 출원/등록	특허출원증 및 명세서	1건	10%
	소 계				100%

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

- 1차년도

주요연구내용	범위	세부 항목
접합부 최적형상 도출	아이디어도출 변수연구 특허출원	▶ 접합부 연결방식별 변수연구 (매개변수4개) ▶ 접합부 보강 최적상세 도출 -강박스단부 다이아프램 -상/하현재 L/4중첩 -상/하현재 다이아프램 관통 -복부&사재 연결 → 사재중첩 불필요 ▶ 접합부 상세 및 제작방법 특허출원 3건
고강도 재료 적용성 평가	고강도 재료활용 제작	▶ HSB800강재 하이브리드 접합성능평가
연속지점부 설계 프로세스 개발	자료조사	▶ 장경간 트러스 설계도서 수집 및 분석 -총5건, 경간장 80~480m ▶ 곡선트러스 기술자료수집 ▶ 콘크리트 바닥판 설계검토 방안 도출
접합부 설계방안 정립	설계방안도출	▶ 트러스&접합부 강결모델 ▶ 설계예제작성
트러스 부재 제작 상세 개발	제작성 검증	▶ 사재:I형, 현재:ㅁ형 ▶ 측면강판 일체제작
강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발	접합부 시공방법	▶ 접합부재의 제작 프로세스 개발 ▶ 세그먼트부 연결방법에 대한 검토
접합부 제작성능 평가	실험체 제작	▶ 접합부 시험체 제작 ▶ 강교 제작전문가 자문
접합부 상세 유한요소 해석	3차원모델링	▶ 실험체에 대한 상세해석 적용 ▶ 접합방법별로 변수를 변경
접합부 피로성능평가	피로실험	▶ 하이브리드구조 응력흐름/변형분석 ▶ 용접부 피로성능분석 ▶ 200만회 피로시험

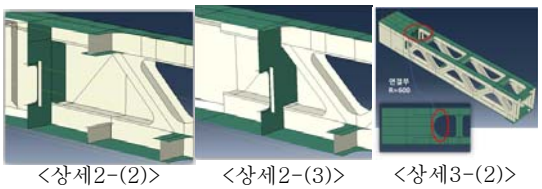
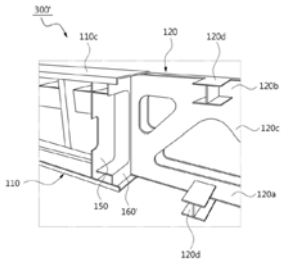
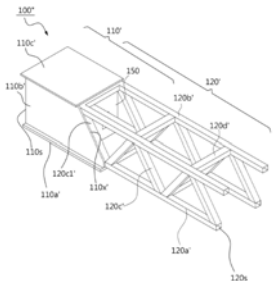
- 2차년도

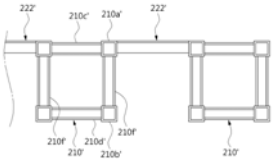
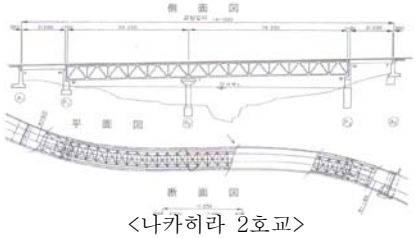
주요연구내용	범위	세부 항목
설계자동화 프로그램 알고리즘 개발	설계알고리즘 정립	▶ 설계자동화를 위한 알고리즘 개발 - 하이브리드 교량구조의 조건에 최적화 - 시공단계를 고려한 설계자동화 ▶ 객체지향 프로그램 기반으로 작성 - 모듈별 독립수행
교량형식에 따른 비교검토 연구	단일형식교량과 비교	▶ 교량전체 구간을 강박스로 하는 경우에 대해 비교검토
설계지침 개발	자료조사 본과제적용	▶ 하이브리드 구조용 설계지침 작성
시공 및 유지관리지침 개발	자료조사 본과제적용	▶ 하이브리드 구조용 시공지침 작성 ▶ 하이브리드 구조용 유지관리지침 작성
30m 부모멘트부 시험체 제작성 평가	제작성 검증 이중합성효과 검증	▶ 2@70=140m의 실교량 기반 실험체 제작 ▶ 실험체 제작성 평가 ▶ 이중합성 구조의 성능평가 ▶ 설계적용을 위한 결과도출
동적성능평가	2경간교량 3경간교량	▶ ISO기준의 의한 동적성능 및 진동평가 ▶ DMF검토를 통한 충격계수 검증
극한 내하력 평가	실험체 비선형해석	▶비선형 유한요소해석 평가 ▶극한하중 5,371kN(설계하중의 3.58배)
하이브리드 구조 곡선교량 상세분석	3차원해석 다양한 상세 적용	▶하이브리드 구조의 곡선교 적용시 구조거동해석 ▶하이브리드 곡선교량의 시공상세 선정을 위한 상세연구

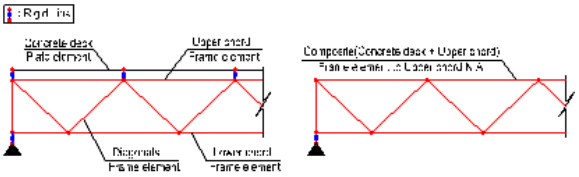
- 3차년도

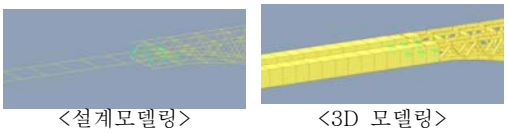
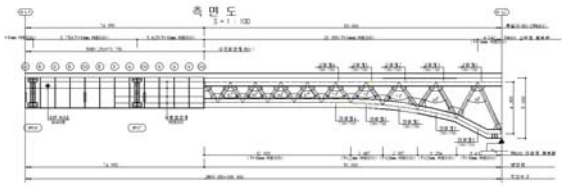
주요연구내용	범위	세부 항목
경간장/형고별 설계표준화	구조계산서표준화 도면 표준화	▶ 설계표준화(80~150m) - 10m경간장별 표준 및 경제적 단면 도출 - 표준화 구조계산서 및 도면 작성
설계자동화 프로그램 개발	구조해석	▶ 설계자동화 프로그램 : MathCad활용 - 구조계산서 작성
경제성 분석	설계공사비 실행공사비	▶ 경제성 분석(80~150m) - 도로교 품셈 적용 설계공사비 산출 - LCC 분석을 통한 설계공사비 산출 - 시험체 자료 근거 실행공사비 산출 ▶ 타공법 비교(FCM, ED교 등) - 실교량 적용실적 내역서 활용 - 전문가 자문을 통한 객관성제고
설계지침 개발	전문가 자문 관련기준 개정	▶ 하이브리드 구조용 설계지침 작성
시공 및 유지관리지침 개발	전문가 자문 관련기준 개정	▶ 하이브리드 구조용 시공지침 작성 ▶ 하이브리드 구조용 유지관리지침 작성
Test Bed 적용	실시설계적용	▶ 기존 교량 설계변경 및 신규설계 반영 ▶ 발주처/설계사/시공사 기술설명회
적용성 확대를 위한 시공상세개발 및 검증실험	곡선교 해석 곡선교 실물실험	▶ 곡선교 적용상세 실험 - 해석을 통한 곡선교 적용상세 선정 - 목표 곡률반경(R=300)의 실험체 제작 - 실험체의 비틀림 성능평가 ▶ 프리캐스트 바닥판 실험 - 1,2차년도 연구성과 활용 - 시공상세별 실험체 제작 및 실험
한계상태 설계법 연구	설계도서 예시 작성	▶ 개정설계기준 상세검토(2012.2) ▶ 하이브리드 교량구조와 관련된 설계항목 선정 및 검토법 결정 ▶ 설계도서 작성 및 전문가 자문

Ⅳ. 연구개발 결과

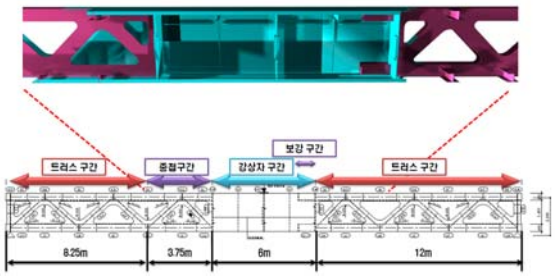
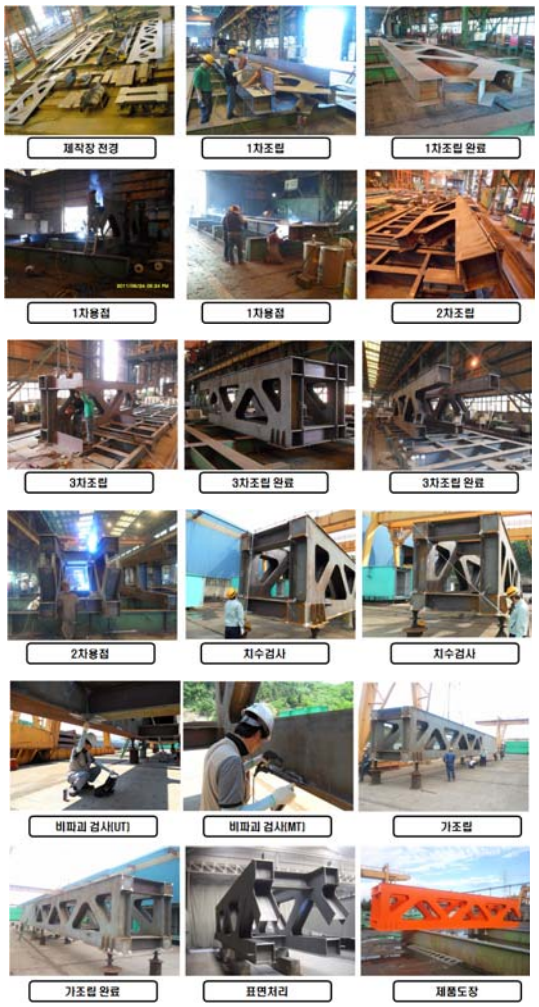
연차	연구 내용	연구 결과
1차년도	**강상자 및 트러스 접합부 최적상세 개발** ▪ 접합부 최적형상 도출 -접합부 연결방식별 변수연구 -접합부 보강 방안 도출 -접합부 상세 및 제작방법 특허출원 ▪ 고강도 재료 적용성 평가 -HSB800강재(인장강도 800MPa) -60MPa급 이상 고강도 콘크리트	◦접합부 연결방식별 변수연구 -다이아프램위치(강박스단부, 현재단부) -현재중첩위치(강박스단부, L/2중첩) -사재중첩유무 -강박스&트러스 접합부 곡률(300,600)  <상세2-(2)> <상세2-(3)> <상세3-(2)> ◦접합부 보강 최적상세 도출  -강박스단부 다이아프램 -상/하현재 L/4중첩 -상/하현재 다이아프램 관통 -복부&사재 연결 → 사재중첩 불필요 ◦접합부 상세 및 제작방법 특허출원 (특허-2011-0066785) 연속교량의 복합형식 상부구조 및 이에 사용되는 연결체  (특허-2011-0066782) 복합형식 연속교량의 상부구조 및 이에 사용되는 연결체  (특허-2011-0059997)

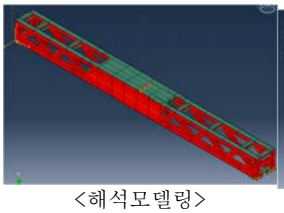
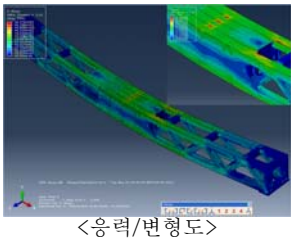
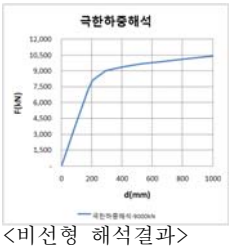
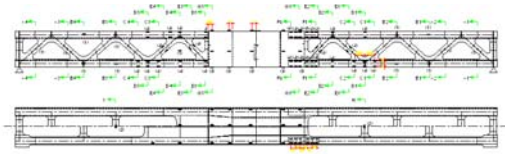
<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>프리캐스트 바닥판의 휨연결방법 및 이에 의해 시공된 교량의 상부구조
 
◦ 고강도 재료 적용성 평가
-HSB800강재 하이브리드 접합성능평가
 
<HSB800 용접부 초음파 탐상결과></td></tr>
<tr><td></td><td>강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계 프로세스 개발
▪ 연속지점부 설계 프로세스 개발
-콘크리트 바닥판 설계검토 방안 도출
-트러스 이중합성 설계방안 개발
▪ 접합부 설계방안 정립</td><td>◦ 장경간 트러스 설계도서 수집 및 분석
-총5건, 경간장 80~480m
<table><tr><th>교량명</th><th>경간장구성</th></tr><tr><td>성수대교(상로트러스)</td><td>84+ 5@120+ 84=768m</td></tr><tr><td>월호도~개도간(중로트러스)</td><td>200+ 400+ 200+ 130=930m</td></tr><tr><td>가평교(상로트러스)</td><td>3@70=210m
80+ 125+ 80=285m</td></tr><tr><td>거금연도교(상로트러스)</td><td>120+ 198+ 480+ 198+ 120
=1116m</td></tr><tr><td>마곡대교(상로트러스)</td><td>4@80=320m,
85+ 3@120+ 85=530m</td></tr></table> 
<성수대교> <마곡대교>
◦ 곡선트러스 기술자료수집
-총22건, 경간장 60~130m, R100~
 
<나카히라 2호교></td></tr>
</table>

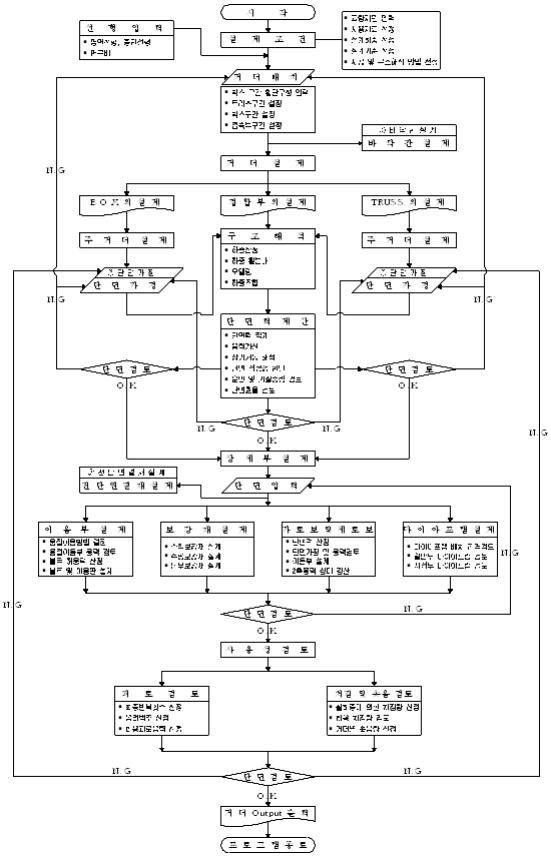
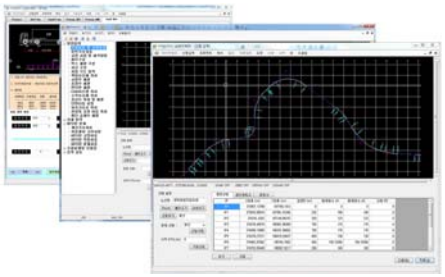
<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>◦ 연속지점부 설계 프로세스 개발
-콘크리트 바닥판 설계검토 방안 도출
→ 바닥판&상현재 합성모델
→ 합성전후 트러스 축선동일
 
CASE 1 CASE 2
<바닥판 별도 Modeling> <바닥판&상현재 합성모델>

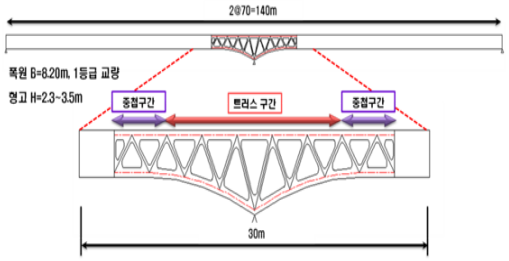
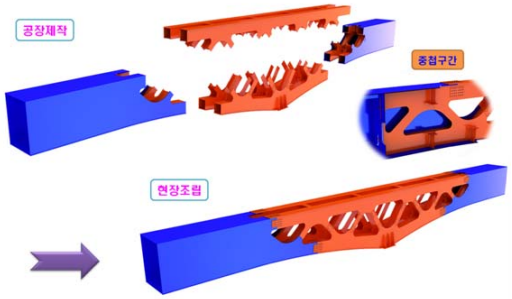
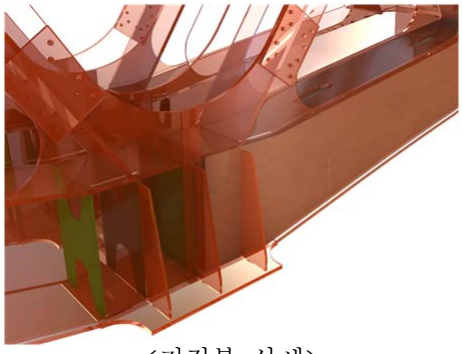
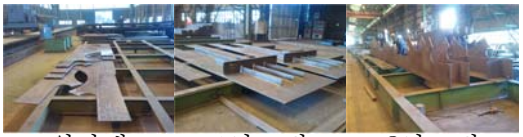
◦ 접합부 설계방안 정립
-트러스&접합부 강결모델
 
<설계모델링> <3D 모델링>
-설계예제작성: 2@100m, 2@120m
→ 단위강중: 400~450kgf/m^2
 
<2@100m 설계도면></td></tr>
<tr><td></td><td>강상자 및 트러스 하이브리드 교량 제작/시공 프로세스 개발
▪ 트러스 부재 자동화 제작 상세 개발
-용접최소화 절곡가공 방안 도출
▪ 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발</td><td>◦ 트러스 부재 자동화 제작 상세 개발
-사재:I형, 현재:ㅁ형
-측면강판 일체제작
 
<사재:I형, 현재:ㅁ형> <측면강판 일체제작>

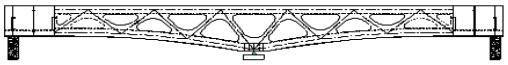
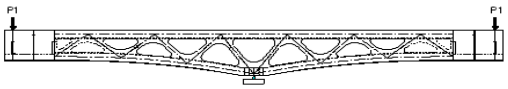
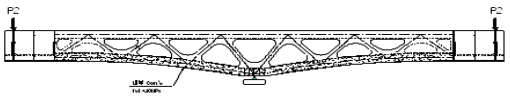
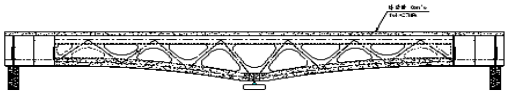
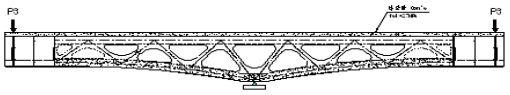
◦ 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발
<table><tr><th>구분</th><th>강상자</th><th>트러스</th></tr><tr><td>1단계</td><td>소조립(보강재)</td><td>현재조립</td></tr><tr><td>2단계</td><td>대조립(폐단면)</td><td>트러스형성</td></tr><tr><td>3단계</td><td colspan="2">접합부 조립</td></tr><tr><td>4단계</td><td colspan="2">현장트러스 연결</td></tr></table></td></tr>
</table>

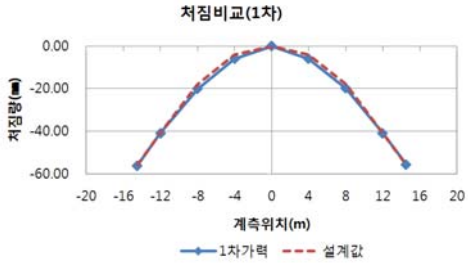
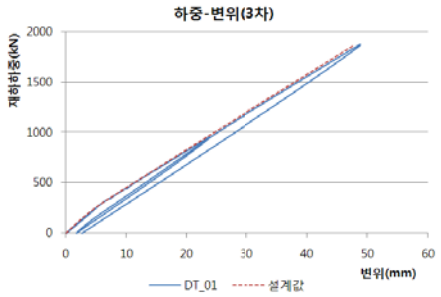
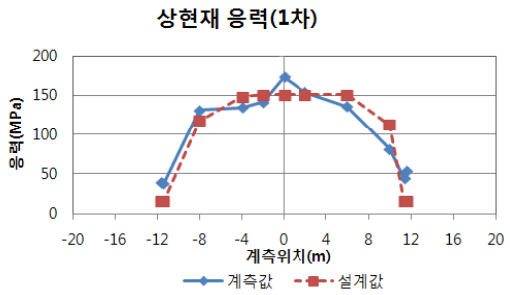
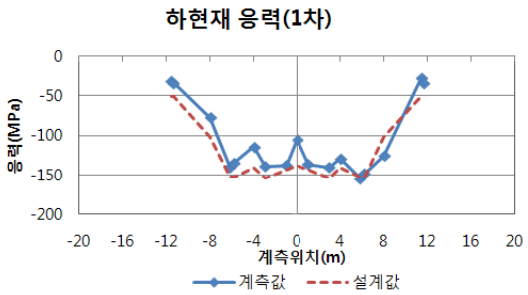
연차	연구 내용	연구 결과
		 <소조립> <트러스형성> <접합부조립>
	강상자 및 트러스 접합부 구조성능 검증 ▪ 접합부 제작성능 평가 ▪ 접합부 상세 유한요소 해석 ▪ 접합부 피로성능평가	◦ 접합부 제작성능 평가 -시험체 제원: L=30m, B=2.2m, H=2.2m  -제작공정 

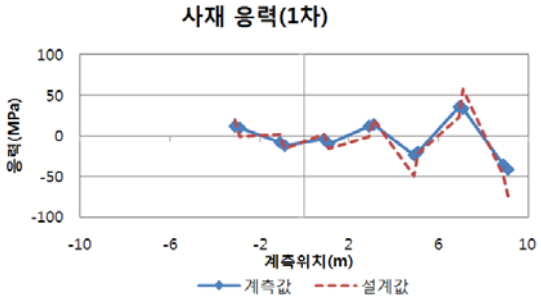
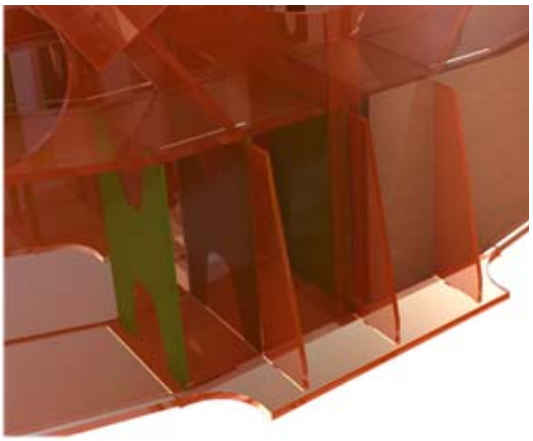
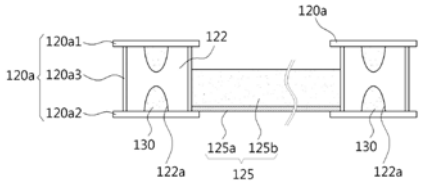
연차	연구 내용	연구 결과
		◦ 접합부 상세 유한요소 해석 -사용프로그램: ABAQUS 6.10-1 -Shell요소 사용 시험체 half모델   <해석모델링> <지점 및 하중조건>   <응력/변형도> <비선형 해석결과> ◦ 접합부 정적 및 피로성능평가 -하이브리드구조 응력흐름/변형분석 -용접부 피로성능분석 -계측기 설치:변형률계183개, LVDT 7개  <계측계획도> -시험결과: 200만회 run-out →정재하: 10만,50만,100만,200만회 피로하중 재하후 →피로하중재하: 0.8Hz, 200만회재하 50±450kN  <실험체 세팅>

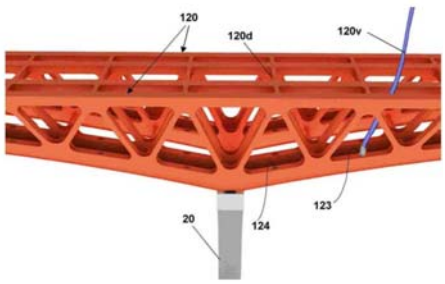
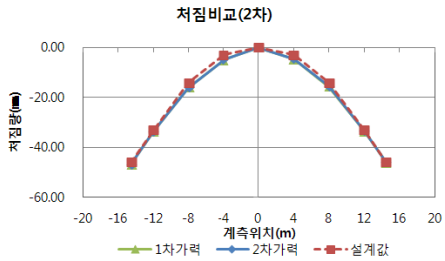
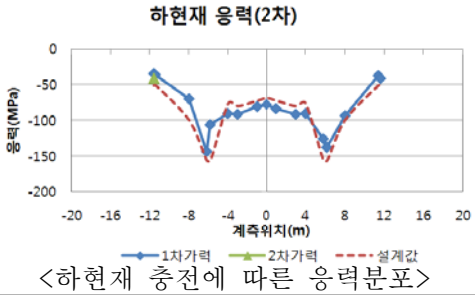
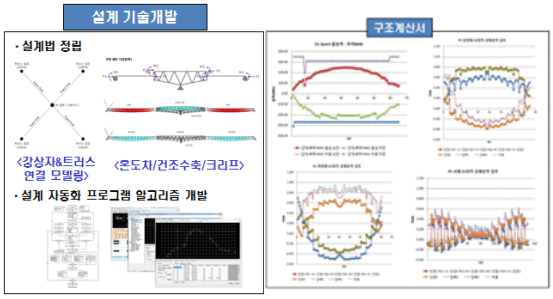
연차	연구 내용	연구 결과
2 차 년 도	**하이브리드 교량구조용 설계자동화 프로그램 알고리즘 개발** ▪ 설계자동화를 위한 프로그램 개발용 알고리즘 개발 -하이브리드 교량구조조건에 최적화 -시공단계를 고려한 설계자동화 ▪ 객체지향프로그램 기반 -모듈별 독립 수행 -객체지향 언어로 개발	◦하이브리드 교량조건 최적화 -현장여건을 고려한 현장이음부 설정 -시공단계별 응력검토 및 누계(단계별 결과확인 가능) -객체지향 프로그램언어 사용: Visual C#(.net) ◦프로그램 알고리즘  <프로그램 알고리즘> ◦GUI 구현 계획  < GUI예시(선형입력) >

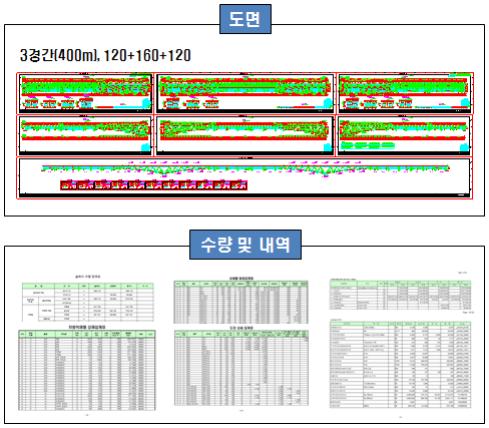
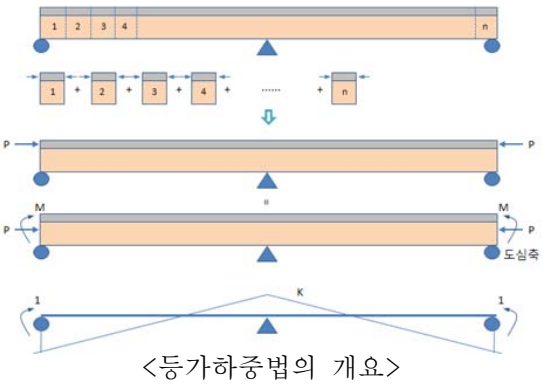
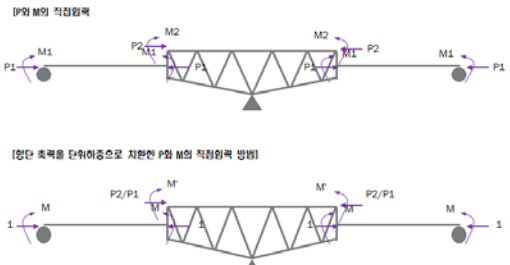
연차	연구 내용	연구 결과
	하이브리드 구조의 부모멘트부 실험 ▪ 트러스부 및 접합부의 제작성능 평가 ▪ 하이브리드 교량구조의 부모멘트부 구조성능 평가	◦ 실험체 제작을 통한 하이브리드 교량구조의 시공성능 파악 -실험체 계획(대상교량: 2@70)  <부모멘트부 실험체 개요도> -실험체 제작 개요  <실험체 개요>  <지점부 상세> -실험체 제작 사진  <원자재> <1차조립> <2차조립>  <용접> <가조립> <1차도장>

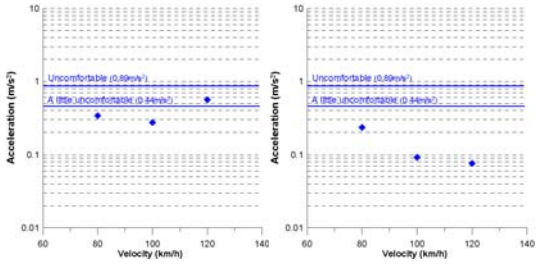
연차	연구 내용	연구 결과
		 <도장완료> <실험동반입><게이지부착>  <1차실험> <2차실험> <3차실험> ◦ 구조성능평가 -실험개요도 1. 강재거더 시험체 실험동 거치대 거치  2. 강재거더 시험체 1차 정적재하 시험  3. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 하현재 내부 콘크리트 타설  4. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 2차 정적재하 시험  5. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 바닥판 콘크리트 타설  6. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 3차 정적재하 시험  -재하실험 결과: 처짐 → 구조계산과 실험결과는 일치 → 지점부 처짐형상은 콘크리트 균열여부에 따라 Bilinear형상

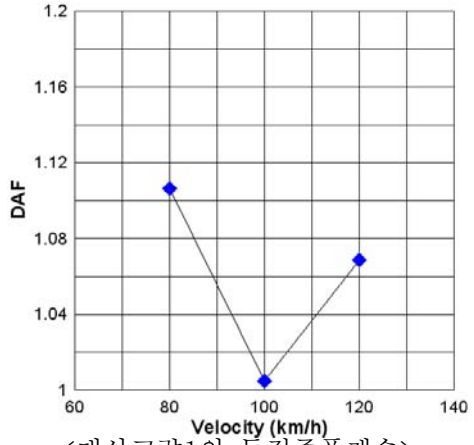
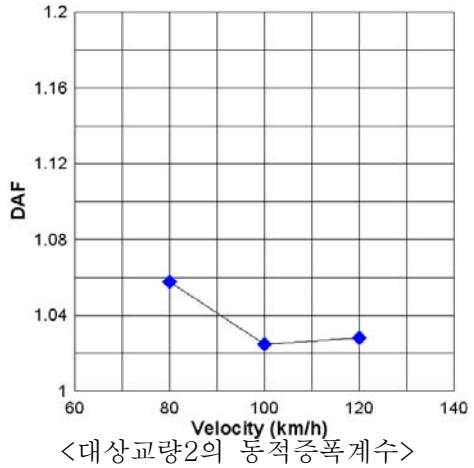
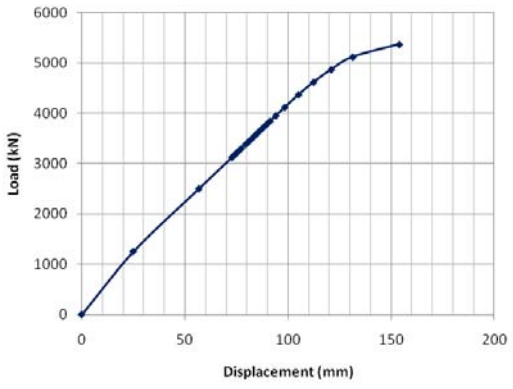
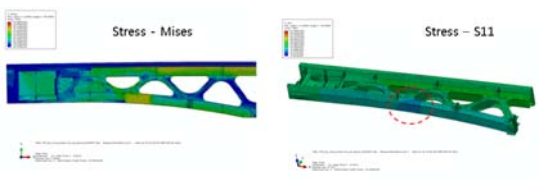
연차	연구 내용	연구 결과
		 <1500kN시 처짐형상>  <단부 처짐형상> -재하실험 결과: 상,하현재 응력 → 실험결과 격점부에는 부재부 보다 작은 응력이 발생  <상현재의 응력분포>  <하현재의 응력분포> -재하실험 결과: 사재 응력 → 변단면부에서는 사재의 응력은 작고, 등단면부에서는 큼 → 사재에 휨응력은 거의 없음

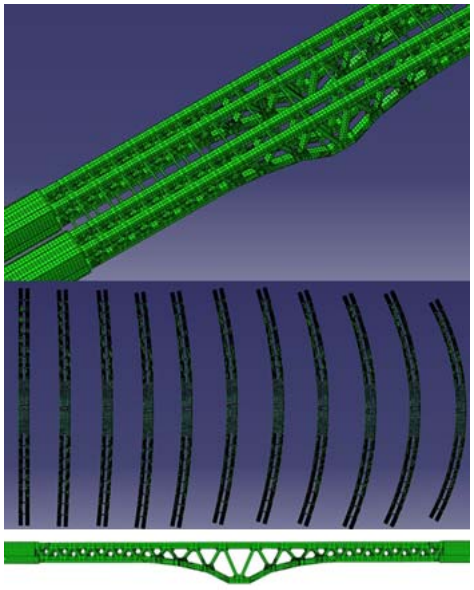
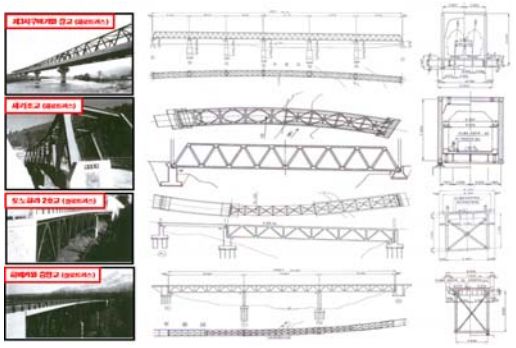
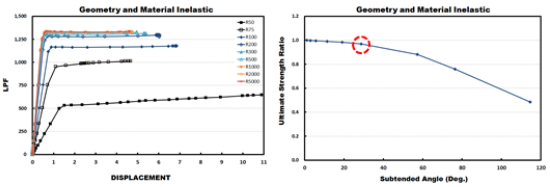
연차	연구 내용	연구 결과
		 <사재의 응력분포>
	하이브리드 교량구조의 하현재 충전에 따른 이중합성 효과검증 ▪ 하현재 충전 시공상세개발 ▪ 이중합성 효과검증	◦ 이중합성 시공을 위한 시공상세 개발 -콘크리트 타설공 및 다짐공 확보  <타설홀> <다짐용 홀> -다이아프램에 관통홀 설치  <다이아프램 홀> -특허출원: 이중합성을 위한 시공상세 【도 7】  <다이아프램 상세>

연차	연구 내용	연구 결과
		【도 9c】  <타설공 및 다짐공> ◦ 이중합성 적용효과 -하현재 충전에 따른 처짐감소: 15% (56.0mm⋯→ 46.0mm) -하현재 충전에 따른 응력감소: 40% (140MPa⋯→ 80MPa)  <하현재 충전시 처짐형상>  <하현재 충전에 따른 응력분포>
	실용화를 위한 설계도서 작성 ▪ 설계도서: 구조계산서, 설계도면, 수량 산출서 작성 ▪ 건조수축 및 온도차 고려 ▪ 공법명 명명: HiTAB	◦ 설계도서 작성 -구조계산서, 도면, 수량산출서 등 설계도서 1식 작성 

연차	연구 내용	연구 결과
		 -등가하중법 고려(도로설계편람) → 단면별 등가축력 및 모멘트 입력  <등가하중법의 개요>  <하이브리드 교량의 등가하중법>
	실교량 적용을 위한 연구 ▪ 가설개요도 및 조감도 ▪ 공개실험 및 기술세미나 개최	◦ 가설개요도 및 조감도 -육상가설 개요도: 크레인가설  <가설개요도>

연차	연구 내용	연구 결과
		-조감도  ◦ 공개실험  <세미나> <공개실험>
	동적성능 검증 ▪ 설계차량 재하시 동적성능 검증 ▪ 건강한계지표를 이용한 동적성능 검증	◦ 동적성능 검증 대상교량 -대상교량1: 2@100=200m -대상교량2: 120+ 160+ 120=400m  ◦ 진동사용성 검토 -설계속도에서는 불편을 느끼지 않음 -대상교량2의 경우 진동성능에 따른 불편함 없음 -대상교량1을 120km/hr이상으로 주행하는 경우 약간 불편함을 느낄 수 있음 

연차	연구 내용	연구 결과
		◦ 동적증폭계수  <대상교량1의 동적증폭계수>  <대상교량2의 동적증폭계수>
	극한강도 평가 ▪ 비선형 유한요소해석 검증	◦ 유한요소해석 평가 -부모멘트부 시험체 비선형 해석 -극한하중 5,371kN(설계하중의 3.58배)   <비선형해석 결과>

연차	연구 내용	연구 결과
	곡선교 적용을 위한 시공상세 개발 ▪ 하이브리드 곡선교량 응력분석 ▪ 곡선트러스교 형식별 성능분석	◦ 3차원 해석모델 -ABAQUS 6.10활용/곡률별 해석연구 -곡률 중심각 0.5rad 교량은 직선 교량일 때의 접합부 최대응력(176.0MPa) 보다 39.55% 증가  ◦ 곡선트러스 사례조사 -일본에 적용된 곡선트러스 형식조사 -형식별 해석을 통한 성능검증  ◦ 재료 및 기하비선형 해석 

연차	연구 내용	연구 결과
3차년도	**한계상태 설계법 적용** ▪ 한계상태 설계기준에 맞는 설계도서 작성 ▪ 허용응력설계도서와의 비교	◦ 하중조합계수 [하중조합과 하중계수]

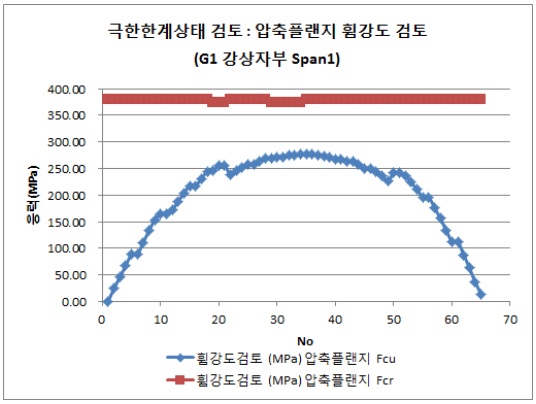
한계상태 하중조합 \ 하중	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS CF	WA BP WP	WS	WL	FR	TU	TG	GD SD	이 하중들은 한번에 한가지만 고려 γ_p EQ	IC	CT	CV
극한 I	γ_p	1.80	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한 II	γ_p	1.40	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한 III	γ_p	–	1.00	1.40	–	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한 IV – EH, EV, ES, DW DC만 고려	γ_p	–	1.00	–	–	1.00	0.50/1.20	–	–	–	–	–	–
극한 V	γ_p	1.40	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극단상황 I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	–	–	1.00	–	–	–	1.00	–	–	–
극단상황 II	γ_p	0.50	1.00	–	–	1.00	–	–	–	–	1.00	1.00	1.00
사용 I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
사용 II	1.00	1.30	1.00	–	–	1.00	1.00/1.20	–	–	–	–	–	–
사용 III	1.00	0.80	1.00	–	–	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
사용 IV	1.00	–	1.00	0.70	–	1.00	1.00/1.20	–	1.0	–	–	–	–
피로 – LL, IM & CE만 고려	–	0.75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

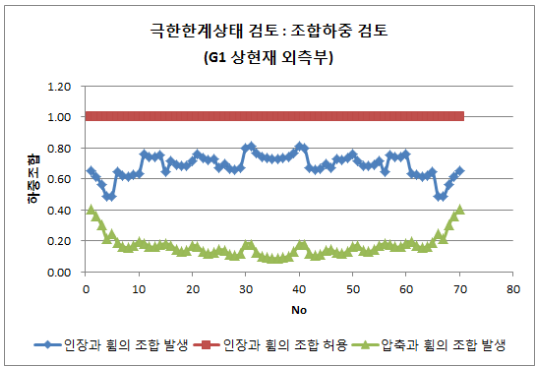
◦ 검토교량 제원

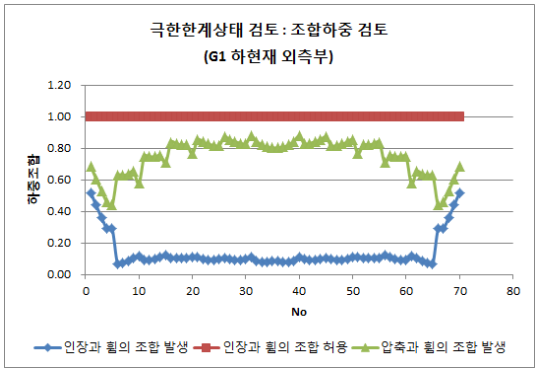
교량 등급	1등급 • 허용응력설계법 : DB24 & DL24 • 한계상태설계법 : KL-510 & 표준차로하중 & 피로하중
교량 형식	HiTAB(Hybrid truss and steel box) 거더교
교량 연장	200m (2@100m)
교량 폭원	10.735m
형고	정모멘트부 3.0m, 트러스 지점부 7.0m

◦ 응력검토

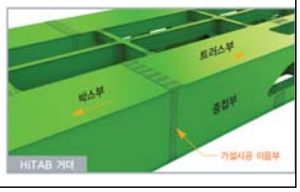
– 강상자부

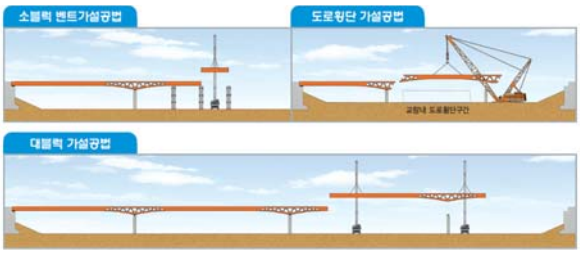
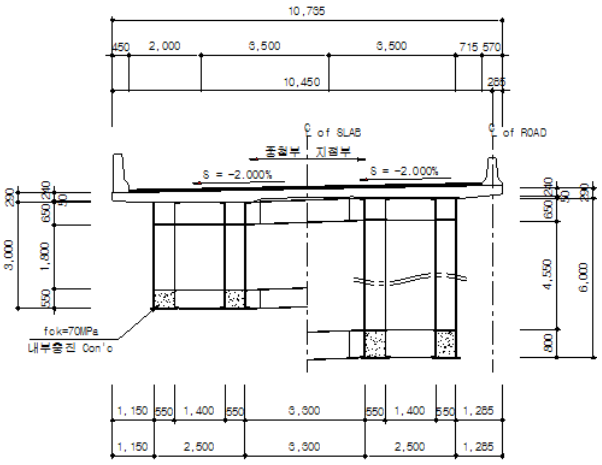


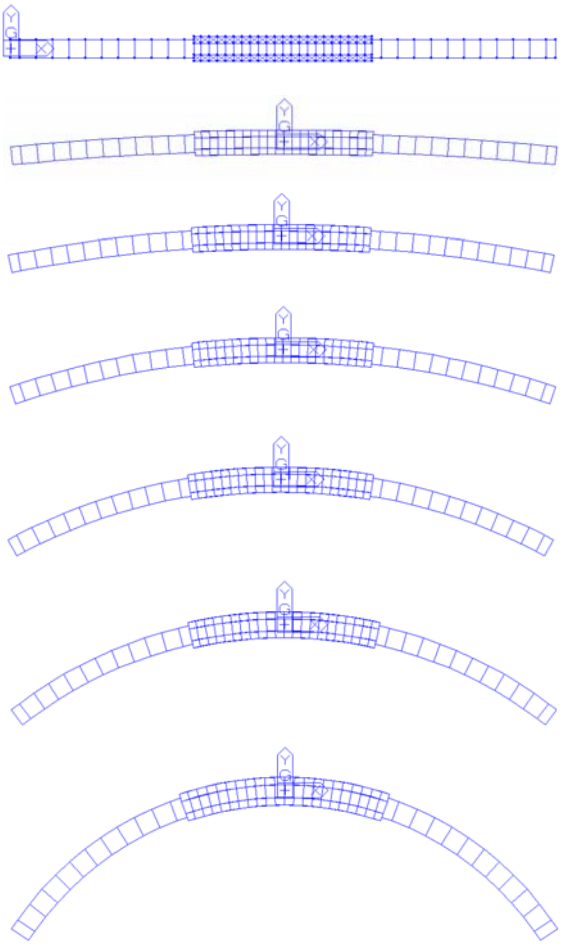
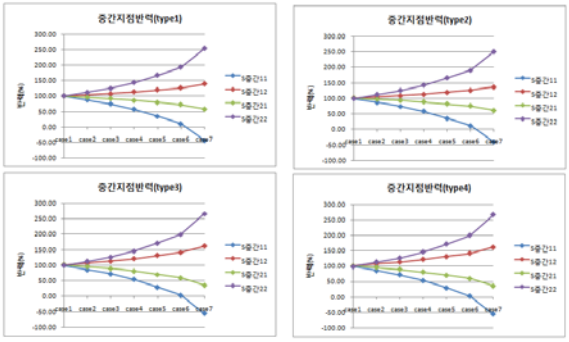
<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>- 트러스 상현재
 

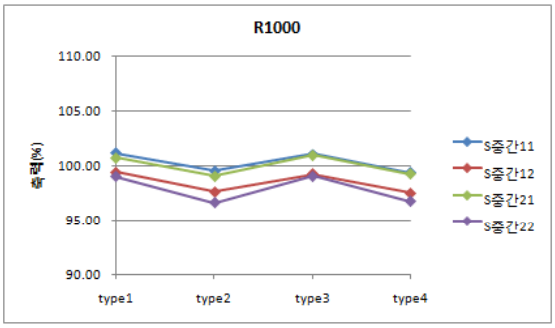
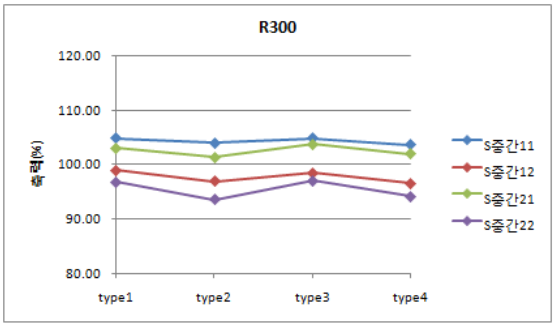
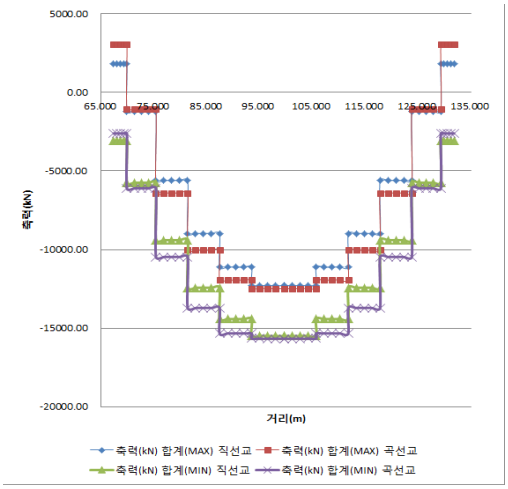
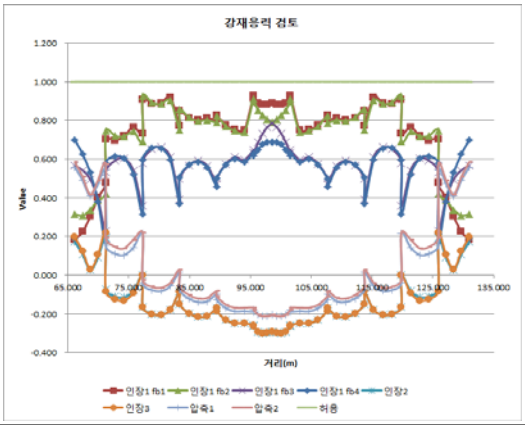
- 트러스 하현재
 

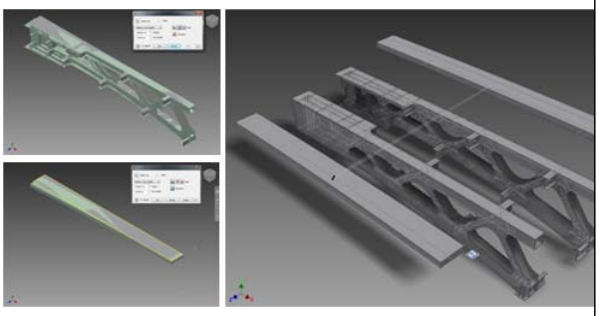
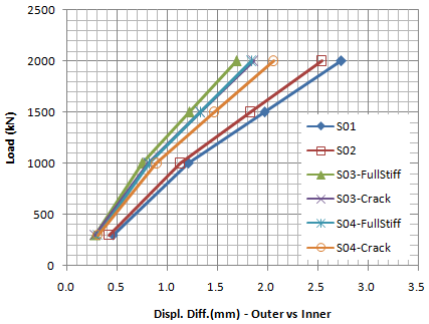
◦ 검토결론
- 한계상태 설계법은 허용응력감소가 아닌 폭-두께비 제한
- 강상자부는 큰 차이가 없으나 트러스부의 단면합리화 가능
<table>
<tr><th colspan="2">강중(kgf/㎡)</th><th rowspan="2">강중
감소율(%)</th></tr>
<tr><th>허용응력설계법</th><th>한계상태설계법</th></tr>
<tr><td>576.4</td><td>535.9</td><td>7%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td></td><td>표준설계도서 작성
▪ 경간장 구성에 대한 표준단면
▪ 시공성 검토
▪ 이중합성 적용시 설계공사비 산정</td><td>▪ 경간장 구성에 대한 표준단면(형고)
<table>
<tr><td>경간 구성</td><td>80/100</td><td>95/120</td><td>100/130</td><td>120/150</td></tr>
<tr><td>경간부(m)</td><td>3.0</td><td>3.0</td><td>3.0</td><td>3.2</td></tr>
<tr><td>지점부(m)</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>8.0</td><td>10.0</td></tr>
</table>
▪ 표준연결위치 결정
 

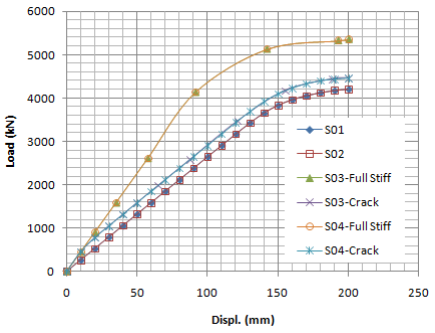

</td></tr>
</table>

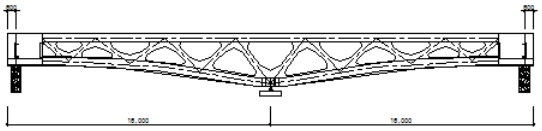
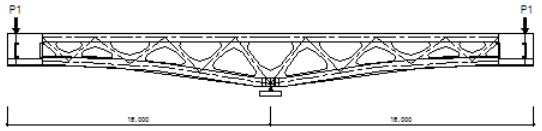
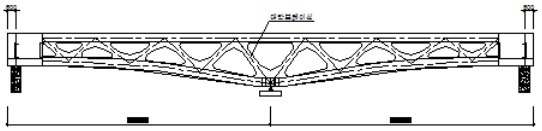
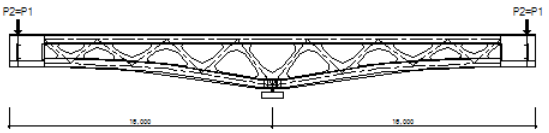
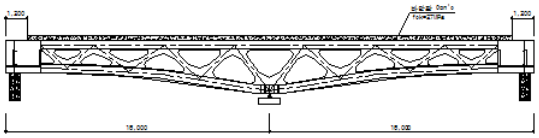
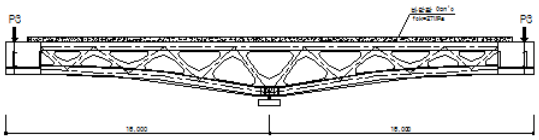
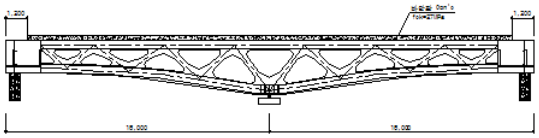
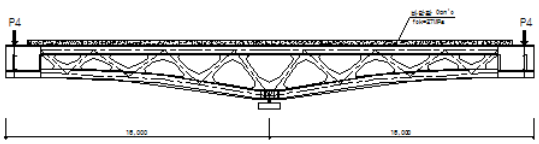
연차	연구 내용	연구 결과
		▪ 표준시공상세  ▪ 표준가설방법  ▪ 표준 현장제작공기: 60일 ▪ 이중합성 적용 설계도서 - 320m (100+ 120+ 100)  **강재량 / 철근량 / 콘크리트량** 1649.0 tonf / 189.7 / 1218.6 - 내역서 분석 공사비 **상부 구조 설계 직공비** HiTAB / 바닥판 / 합계 175.7 만원/㎡ / 22.6 만원/㎡ / 198.3 만원/㎡

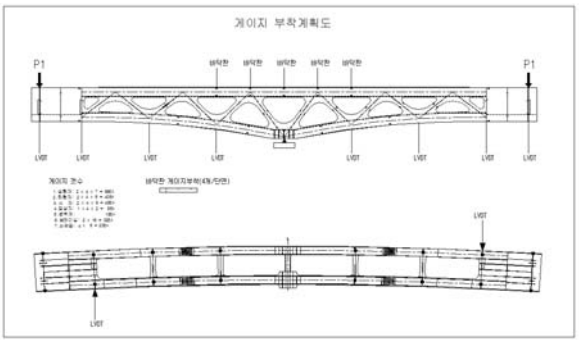
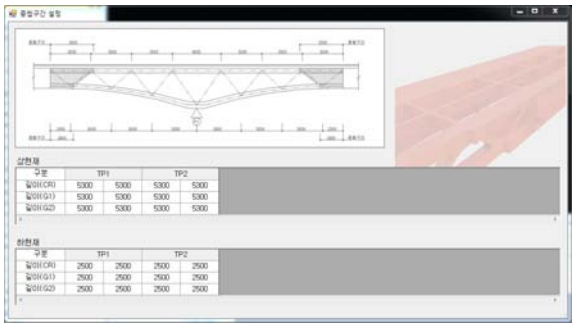
연차	연구 내용	연구 결과
	곡선교 해석 ▪ 곡률에 따른 해석결과 비교분석 ▪ 브레이싱에 따른 결과분석 ▪ R=300m설계도서 분석	▪ 해석대상곡률(case1~case7) 직선, R1000, R500, R300, R200, R150, R100  ▪ 비교대상 브레이싱 - type1: 브레이싱 없음 - type2: 수평브레이싱 - type3: 대각브레이싱 - type4: 수평-대각브레이싱 ▪ 반력해석결과 

연차	연구 내용	연구 결과
		▪ 현재의 축력   ▪ 평면선형 R=300m인 교량의 설계 -현재축력 예시  -현재응력 예시 

<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>▪ 분석결과
- 직접적인 부반력은 발생하지 않음
- 부반력에 대한 대책은 필요
- 박스부의 응력은 큰 차이가 없음
- 트러스부에서는 다소 차이가 발생하지만, 허용응력 이내의 설계 가능
- 가로보에 대한 보완이 필요함</td></tr>
<tr><td></td><td>곡선교 실험
▪ 실험체 설계 및 해석
▪ 실험체 제작
▪ 실험 수행</td><td>▪ 실험체 설계 및 해석(R=250m)
 
 

<극한하중 해석결과>
<table>
<tr><th></th><th>Test I</th><th>Test III</th><th colspan="2">Test IV</th></tr>
<tr><td>Displ (mm)</td><td>S01</td><td>S02</td><td>S04 -FullStiff</td><td>S04 -Crack</td></tr>
<tr><td>200</td><td>4205</td><td>4210</td><td>5352</td><td>4467</td></tr>
</table>

</td></tr>
</table>

연차	연구 내용	연구 결과
		▪ 실험 계획 및 제작 - 브레이싱 역할 비교 - 바닥판 역할 분석 1. 강재거더 시험체 실험동 거치대 거치 (거더 사이의 대각브레이싱 미설치)  2. 강재거더 시험체 1차 정적재하 시험  3. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 대각브레이싱 설치  4. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 2차 정적재하 시험  5. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 바닥판 콘크리트 타설  6. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 3차 정적재하 시험  7. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 대각브레이싱 설치  8. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 4차 정적재하 시험 

연차	연구 내용	연구 결과
		  실험체 세팅 실험체 세팅 ▪ 실험 계측계획 
	자동화 프로그램 개발	▪ 입력 예시그림  ▪ 프로그램 등록증 

Ⅴ. 연구개발결과의 활용 계획

◦ 본 개발은 경간장 80~150m 범위의 장경간에 적용 가능한 구조형식으로서 기존 강박스거더 및 PSC박스거더, 특수교량(아치, 트러스) 형식에 비해 제작공정이 단순하여 공사비를 20% 이상 절감할 수 있음.

◦ 설계표준화 및 설계 자동화 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반기술자도 쉽게 활용할 수 있음.

◦ 연구개발은 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 실용화에 초점을 두고 진행되었으며, 그 성과를 기반으로 건설신기술을 획득하여 보급을 확대할 예정임.

◦ 연구기간 내 혹은 연구기간 종료 후에도 상관없이 계획 중인 사업에 적용될 수 있도록 도로, 구조설계, 시공 경험을 다수 확보하고 있는 설계사와 건설사가 참여하여 핵심기술이 적용될 수 있도록 함.

◦ 국내 건설사에 기술이전을 통한 해외사업 진출 지원이 될 수 있도록 기술 제공.

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

SUMMARY
(영문요약문)

Steel girder and various types of precast concrete girder are used for short span bridge whose span length is under 70m, many types of truss and arch are used for long span bridge, over 150m, and cable types are applied for longer bridge, over 250m. But there is no proper bridge structure for span length 80~150m.

Recently, demand for those span length bridge is on the rise due to development of the Four-River Restoration Project and complex circumstances of construction.

The goal of this project is research and development of optimized girder bridge structure for those span length. Steel box girder is good at bridges of low height, under 3.2m, because the cost of higher box structure is increased exponentially due to limit of transportation and connection in cite. Truss girder is good at bridges of great height, because of the ratio of the manufacturing cost over steel weight. The hybrid system of this project is consist of those two structures, steel box and truss. A steel box structure is located in positive moment region with below 3.0m height and a truss structure in negative moment region with tapered height.

Development of optimum joint system and its fatigue test of two structures is the goal of first year, the development of design and construction technology will be established in 2nd year, and the final goal of this R&D project is commercialization and NET certificate of the hybrid bridge structure

CONTENTS

SUMMARY ····· ii
CONTENTS ····· xxxvii

Chapter 1. Instruction ····· 1
1.1 Summary of the Subject ····· 1
1. Definition ····· 2
2. Summary ····· 3
1.2 Importance of the Subject ····· 3
1. Technical aspect ····· 3
2. Economical & Industrial aspect ····· 5
3. Social & Cultural aspect ····· 6

Chapter 2 Status ····· 7
1.1 Domestic Trends ····· 7
1. Status & Prospect ····· 7
2. Main Companies ····· 9
3. Experts/companies ····· 10
4. Domestic Technique ····· 10
1.2 Foreign Trends ····· 11

Chapter 3 Substances & Results ····· 15
1.1 Objects ····· 15
1. Ultimate Objects ····· 15
2. Character of Ultimate Objects ····· 15
3. Objects in Current Term ····· 16
1.2 Substances & Results ····· 17
Ⅰ. First Period ····· 17
1. Collecting and Analysis of Data ····· 17
2. Design Method ····· 19
3. Details of Connection Part ····· 25
4. Design and Manufacture of Specimen ····· 28
5. FEM ····· 34
6. Static and Fatigue Test ····· 42
7. Applying to Curved Bridge ····· 50
Ⅱ. Second Period ····· 55

1. Program Algorithm for Design Calculation using Computer ····· 55
2. Comparison with other bridge type ····· 59
3. Mock-up Test of Negative Moment Zone ····· 67
4. Typical Design Process ····· 79
5. Design of Dynamic Behavior ····· 83
6. FEM for Ultimate Strength ····· 89
7. Analysis of Stress in connection part of curved bridge ····· 90
Ⅲ. Third Period ····· 105
1. LRFD for HiTAB ····· 105
2. Typical Design for HiTAB ····· 128
3. Typical Design for Double Composite HiTAB ····· 134
4. Design for Bridge with Stringers ····· 149
5. Analyses of Curved HiTAB ····· 161
6. Experiment for Curved HiTAB ····· 185
7. Design Program ····· 199
8. Design Projects ····· 201

Chapter 4 Degree of the Attainment&Contribution ····· 207
1.1 Achieved Goals ····· 207
1.2 Effects ····· 210
1. Direct Effects ····· 210
2. Ripple Effects ····· 213

Chapter 5 Plan to use results ····· 215
1. Plan to use results ····· 215
2. Application Plan in Company ····· 216
3. Effects to Other Industry ····· 217
4. Relation with the Government Policy ····· 217

Chapter 6 Acquired Foreign Informations ····· 219

Chapter 7 References ····· 221

목 차

제 출 문 ····· i
요 약 문 ····· ii
목 차 ····· xxxix

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 연구개발 개요 ····· 1
1. 연구목표 ····· 1
2. 핵심기술 및 범위 ····· 2
제 2 절 연구개발의 중요성 ····· 3
1. 기술적 측면 ····· 3
2. 경제·산업적 측면 ····· 5
3. 사회·문화적 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
제 2 절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 11

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 15
제 1 절 연구개발 목표 ····· 15
1. 최종목표 ····· 15
2. 최종목표의 성격 ····· 15
3. 연차별 목표 ····· 16
제 2 절 연구수행 내용 및 성과 ····· 17
Ⅰ. 1차년도 ····· 17
1. 기존설계도서 수집 및 분석 ····· 17
2. 설계방법 연구 ····· 19
3. 접합부 상세 개발 ····· 25
4. 실험체 설계 및 제작 ····· 28
5. 접합부 상세해석 ····· 34
6. 정적실험 및 피로실험 ····· 42

7. 곡선교 적용성 연구 ····· 50
Ⅱ. 2차년도 ····· 55
1. 설계자동화 프로그램 알고리즘 개발 ····· 55
2. 교량형식에 따른 비교검토 연구 ····· 59
3. 부모멘트부 실험 ····· 67
4. 설계도서 작성 ····· 79
5. 동적성능 검증 ····· 83
6. 유한요소 해석 ····· 89
7. 강상자-트러스 하이브리드 곡선교량 접합부 응력분석 ····· 90
Ⅲ. 3차년도 ····· 105
1. 한계상태 설계법 적용 설계도서 ····· 105
2. 표준설계도서 작성 ····· 128
3. 이중합성을 고려한 표준설계도서 작성 ····· 134
4. 세로보가 있는 단면을 위한 설계검토 ····· 149
5. 곡선교 해석 ····· 161
6. 곡선교 실험 ····· 185
7. 설계자동화 프로그램 등록 ····· 199
8. 설계적용 ····· 201

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 207
제 1 절 연구목표의 달성도 ····· 207
제 2 절 연구성과 및 관련분야 파급효과 ····· 210
1. 직접적 연구성과 ····· 210
2. 파급 효과 ····· 213

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 215
제 1 절 활용방안 ····· 215
1. 연구성과의 활용방안 ····· 215
2. 연구결과의 기업 활용방안 ····· 216
3. 타 산업에 미치는 효과 ····· 217
4. 정부 정책과의 연계 방안 ····· 217

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 219

제 7 장 참고문헌 ····· 221

제 1 장 서 론

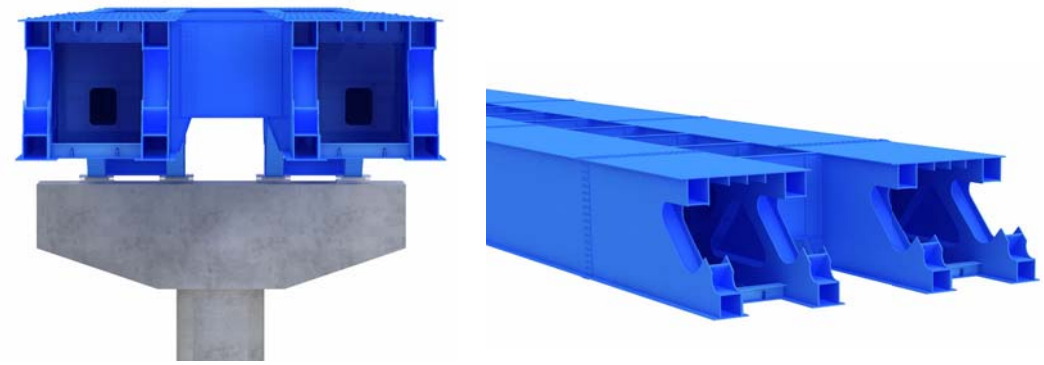
제 1 절 연구개발 개요

1. 연구목표

본 연구과제는 적정한 형식이 부족한 경간장 80~150m 내외에 적합한 교량구조를 개발하고 사업화하는 기술혁신사업으로 낮은 형고로 저항할 수 있는 정모멘트 구간에는 강상자 구조를 적용하고, 높은 형고가 필요하여 운반에 제약을 받는 부모멘트 구간에는 트러스 구조를 적용하여 구조성능을 개선하고, 현장작업을 최소화하여 20%이상의 공사비를 절감하는 하이브리드 교량시스템의 실용화가 그 목표이다.



(a) 장경간 하이브리드 교량 개요도

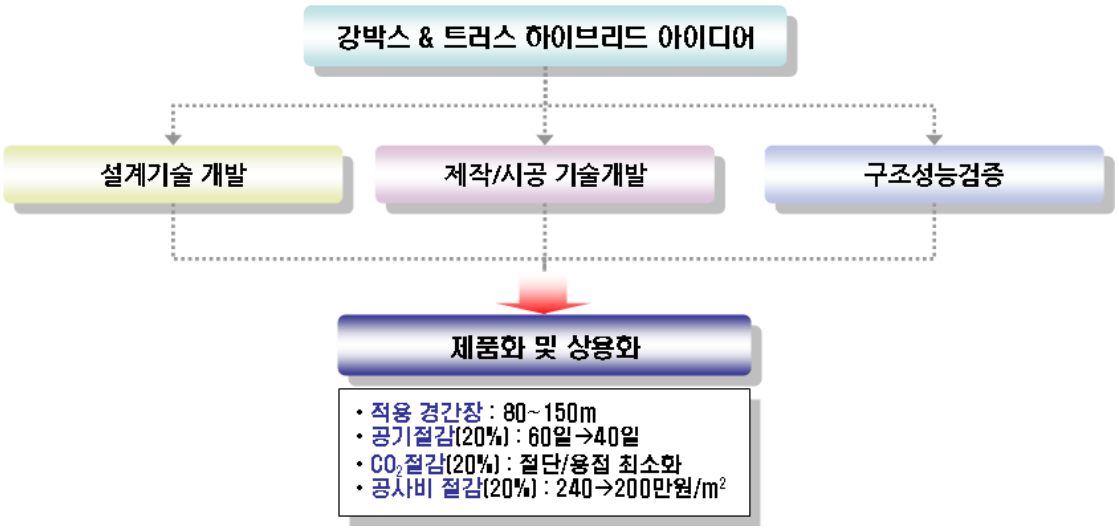


(b) 강박스-트러스 접합부 상세도

그림 1. 장경간 하이브리드(강박스-트러스 조합) 교량구조

2. 핵심기술 및 범위

과 제 명	핵심기술명	기 술 범 위	정량적 정의
강상자구조와 트러스구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조개발	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 설계기술	- 강상자와 트러스 연결부 최적상세 개발 - 연속 지점부 트러스 이중합성 설계기술 개발 - 설계자동화 프로그램 개발 - 설계지침 개발	○ 장경간 교량 구조형식 개발 : 경간장 80~150m
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 시공기술	- 트러스 부재 자동화 제작 상세 개발 - 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발 - 현장조건별 최적 가설방법 개발 - 시공 및 유지관리지침 개발	○ 공기절감(20%) : 60일→40일(150m 1개소) ○ CO2저감 : 20%
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량의 구조성능평가	- 강상자와 트러스 연결부 피로성능평가 - 동적성능평가(이동하중해석 및 가진실험) - 극한 내하력 평가 - 실교량 시공단계별 제작성능평가	○ 200만회 피로성능확보 ○ 동적성능평가(감쇠비 추출) : ISO 쾌감감퇴곡선 비교 ○ 극한 안전율 4배 이상 확보 : 극한하중/설계하중 ○ 계측/구조계산 비교 : 오차 5% 이하
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화기술	- 경간장/형고별 설계표준화: 구조계산서/도면 - 경제성 분석: 설계(LCC) 및 실행공사비 산출 - 곡선교 적용상세 개발 및 실험 - 한계상태설계법 정립	○공사비 절감(20%) : 240 → 200만원/m2 * 120m 3경간 기준







제 2 절 연구개발의 중요성

1. 기술적 측면

최근에 시작된 4대강 사업으로 인해 기존 교량의 장경간화와 더불어 구조안전성 뿐만이 아니라 미관과 시공성 및 녹색환경성(이산화탄소 배출량 감소)을 확보할 수 있는 장경간 교량 형식의 수요가 증대되고 있으나 이러한 시장의 요구에 가장 부합할 수 있는 경간장 80~150m에 적용하기에 적합한 교량형식이 부족한 실정이다. 경간장 50m이하에서는 PSC거더 및 강합성거더 등 다양한 복합구조 형식의 교량이 적용되고 있고, 70m 이하의 교량에서는 강상자형 거더, 그 이상의 경간장에서는 특수공법을 활용한 PSC 박스교나 트러스 및 아치 등과 같은 교량구조들이 사용되며 경간장 200m 이상에서는 사장교 및 현수교와 관련된 지속적인 연구진행(초장대교량사업단 등) 및 적용(이순신대교 등)이 이루어지고 있으나 경간장 80~150m을 대표하는 교량형식은 없다.

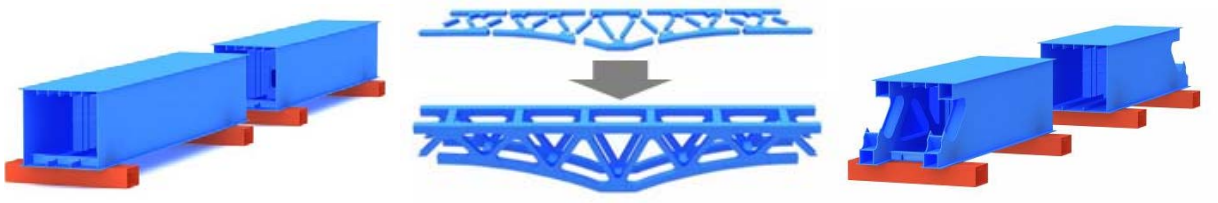
경간장 80~150m 교량을 일반 강상자형 교량구조로 구성하게 되면 거더의 높이가 운반에 필요한 제한기준(3.2m)을 초과하여 그 사용에 많은 제약이 수반(현장에서의 강재 복부에 대한 종방향 연결이 불가피한 점 등)되며, PSC 박스구조로 적용할 경우 중량 증가로 인해 공사비 및 공사기간이 증가하게 되는 단점이 있다. 또한, 아치나 트러스 구조 등의 특수구조를 적용하면 단면변화 및 부재의 연결개소가 증가하게 되어 설계 및 시공 효율성이 저하된다. 따라서, 경간장 80~150m에 적용할 수 있는 설계 및 시공이 단순한 복합구조형식의 교량시스템 개발이 시급하다.



(a) 강박스 복부 절단/볼트이음　　(b) PSC박스 FCM 가설

그림 2. 기존 80~150m 교량공법

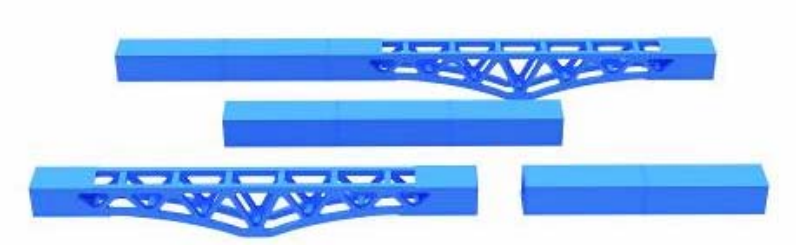
강상자 및 트러스 구조를 결합한 하이브리드 교량구조(그림 1)는 장경간 연속교량에서 형고가 낮은 정모멘트부에 강상자 구조를 적용하고 형고가 높아지는 부모멘트부에 트러스 구조를 적용하여 운반 길이 및 중량 제약을 해결할 수 있어 공사기간, 공사비, CO_2 발생량을 각각 20%씩 절감할 수 있는 교량공법이다.



(a) 정모멘트부 강상자　　(b) 부모멘트부 트러스　　(c) 강상자 및 트러스 접합부



(d) 접합부 및 트러스 연결



(e) 강상자 및 트러스 연결



(f) 가설

그림 3. 강박스-트러스 조합교량 시공 순서도

2. 경제·산업적 측면

국내의 경간장 80~150m의 장경간 교량시장은 전체 도로교 시장의 12%(10년 누적 평균값)로 연간 약 3,600억원의 시장을 형성하고 있으나 2000년 이후 경제성 위주의 교량 설계 및 시공으로 1999년에 31%의 점유에서 2007년 7%로 급격히 감소하고 있다.

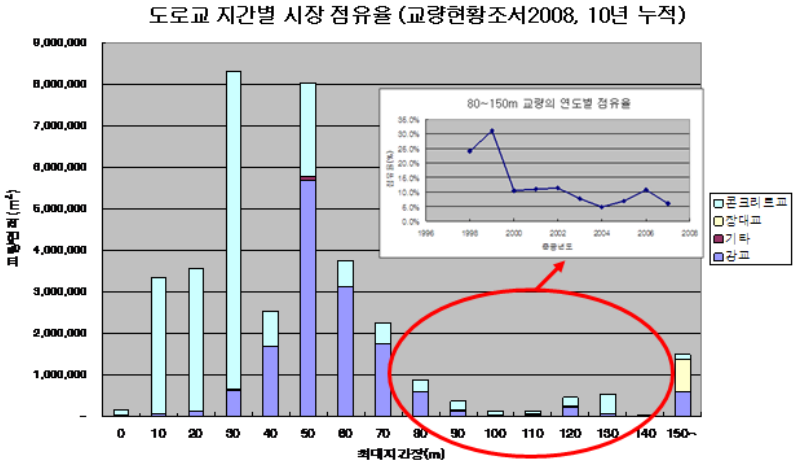


그림 4. 도로교 80~150m 시장현황

강상자 및 트러스 구조를 결합한 하이브리드 교량은 경간장 80~150m에 적용되는 강박스, PSC박스, 아치, 트러스 교량 대비 자중절감에 따른 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 자동화 제작 및 단순가설에 의한 공기단축을 통해 20~30% 공사비 절감 효과를 얻을 수 있다.(표 1).

표 1. 거더교량 형식별 경간장대비 교량공사비 비교(3경간 연속교) (단위 : 만원/m^2)

경간장(m) / 교량 형식	80	100	120	150
강박스 교량	170	210	240	-
PSC박스 교량(FCM)	200	220	250	280
트러스/아치 교량	240	260	280	300
강상자 및 트러스 하이브리드 교량	140 내외	170 내외	200 내외	240 내외

기존 도로교 80~150m 시장(약 3,600억원/년)의 50%를 대치할 경우 약 360억원/년의 건설비 절감이 가능할 뿐만 아니라, 가장 많이 적용되는 PSC박스교나 익스트라도즈드교에 비해 경관성 및 투시성 등의 미관이 확보되고 내풍에 우수하여 관광자원으로써의 가치 확보도 가능하게 된다.

3. 사회·문화적 측면

사회적 요구가 주변환경과 관련 여유와 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시키는 것은 시대의 보편적 요청이며, 본 과제의 핵심기술인 강상자 및 트러스 하이브리드 교량은 구조적 성능뿐만 아니라 경관 및 쾌적성 등 다양한 요소를 고려한 개발을 수행하여 경관적인 요소를 대폭 보강하여 최소형고 구현을 통해 주변의 자연환경 및 인공시설물 등과의 조화와 그 지역의 Landmark 역할을 수행할 수 있게 될 것이다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술 및 산업 동향

1. 국내 시장 현황 및 예측

현재 국내 준공된 도로교 현황을 보면 교면적이 연평균 2,000,000㎡로 단위면적당 공사비를 150만원/㎡으로 산정하면 약 3조원/년의 시장규모를 형성하고 있으며, 국내의 경간장 80~150m의 장경간 교량시장은 전체 도로교 시장의 12%(10년 누적 평균값)로 약 3,600억원/년의 시장을 형성하고 있으나 2000년 이후 경제성 위주의 교량 설계 및 시공으로 1999년에 31%의 점유에서 2007년 7%로 급격히 감소하고 있다.

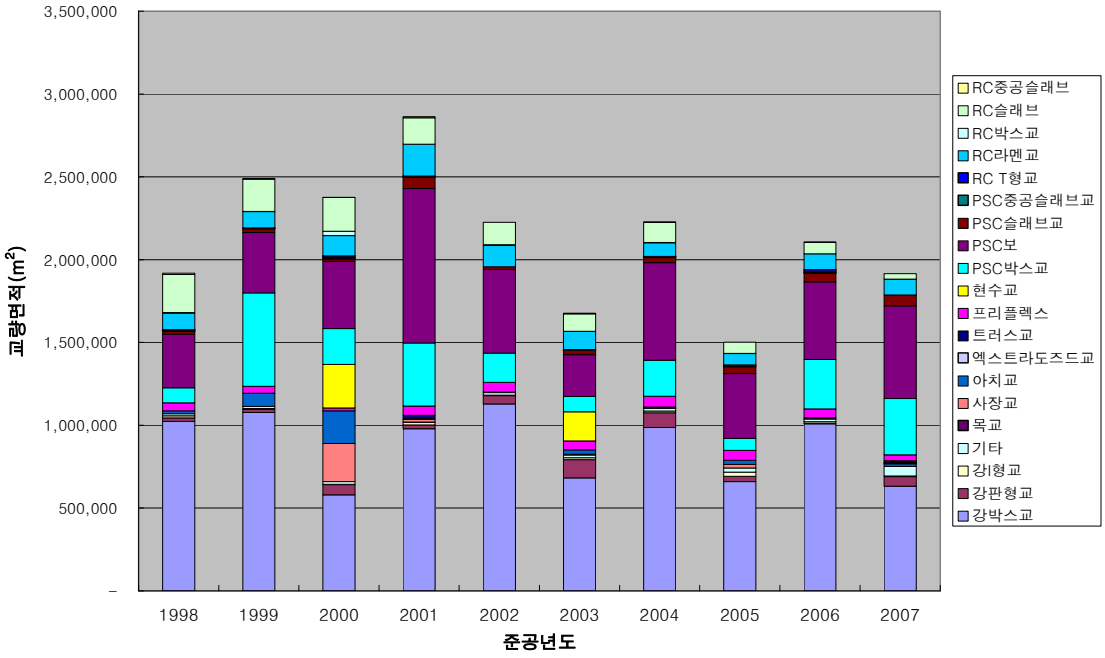


그림 5. 도로교 형식별 준공현황(2008교량현황조서)

현재 준공된 80~150m의 형식은 PSC박스 58개소, 강박스 31개소, 트러스 10개소, 아치 9개소, 강판형교 8개소, 기타(사장교 등) 10개소, 익스트라도즈드 1개소(문화대교)로 총 127개소가 적용되었으며 경간 구성이 7경간 이상 다경간인 경우 PSC박스가, 5경간 이하인 경우 강박스교량이 적용되고 있다.

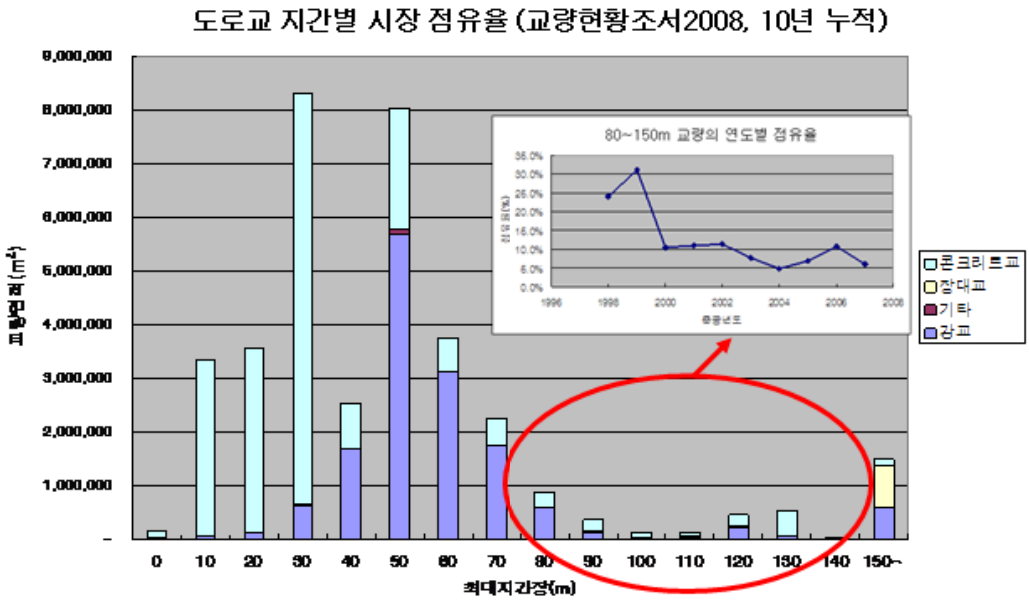


그림 6. 도로교 80~150m 시장현황

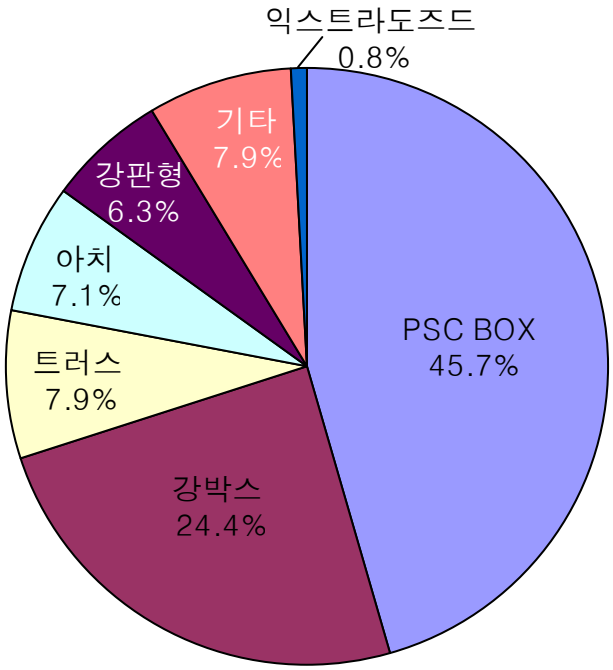


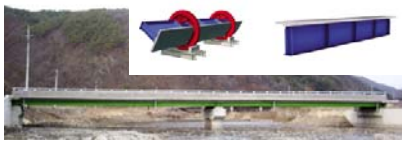
그림 7. 도로교 형식별 80~150m 적용 현황

단위공사비 250만원/m^2 내외의 PSC박스와 200만원/m^2 내외인 강박스 교량 대비 공사비 20% 절감이 가능한 강박스 및 트러스 하이브리드 교량을 개발할 경우 기존 도로교 80~150m 시장(약 3,600억원/년)의 50%를 대치하여 약 360억원/년의 건설비 절감이 예상된다.

2. 국내 주요 관련업체

국내 70m 이하 교량의 전문 설계 및 시공업체는 60여개로 주로 PSC거더 및 강합성거더 관련 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있으나 80~150m 이상 장경간 교량 관련 업체는 거의 없는 실정이다.

표 3. 80~150m 교량 관련 국내 업체 현황

공법명	업체명	홈페이지
SBarch 공법  하부플랜지는 I형상으로 상부플랜지는 박스형상으로 제작된 강재거더 상부플랜지에 아치형상의 콘크리트를 합성하여 압축저항에 강성을 증대시킨 합성거더	(주)혜동브릿지	www.n-sb.co.kr
PCT 공법  소정의 압축력이 도입된 콘크리트 하현재, 강관 또는 압연형강으로 만들어진 복부재, 그리고 강-콘크리트 합성부재로 형성 되는 상현재로 구성되는 프리스트레스트 복합트러스 거더	(주)알씨코리아	www.rckorea.co.kr
Turn Over 공법  별도의 프리스트레스를 도입하는 공정 없이 제작단계에서의 TURN OVER 공정만으로 강재자중에 의해 발생하는 응력을 저감시키는 공법	(주)삼표건설	www.sampyo.co.kr
PUS 공법  기존의 개구제형 U형 거더에 저형고, 장경간이 가능하도록 거더에 고강도 콘크리트를 합성하고 부분 프리스트레스를 도입한 하이브리드 U-Type Steel Box 거더	(주)우경건설	www.wkcos.com

3. 국내전문가 및 연구기관 현황

2000년 이후 강상자와 관련해서는 미국에서 주로 사용하는 개단면 강박스의 상부 브레이싱 및 좌굴 관련 보강방안 연구가 진행되었고 트러스 관련은 중국에서 많이 적용된 CFT조합 트러스 관련 최적설계 및 부재의 구조성능검증 연구가 진행되었으며 주로 학계를 중심으로 연구가 진행되었고 실용화는 미진한 상태이다.

표 4. 국내 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
강상자	최병호	한밭대학교	개단면 강박스 합리화	100%
	김경식	청주대학교	강박스 연속지점부 좌굴거동 평가	100%
	이성철	동국대학교	강박스 보강상세 및 좌굴거동 평가	100%
	강영종	고려대학교	강박스 보강상세 및 좌굴거동 평가	100%
트러스	박용명	부산대학교	CFT 조합트러스 구조성능평가	90%
이중합성	정철헌	단국대학교	CFT 거더 및 교각 해석 및 실험	100%
	서석구	서영엔지니어링	강박스 이중합성 설계 및 실험 평가	90%
	김영진	대우건설	CFT 거더 및 교각 해석 및 실험	90%
	심창수	중앙대학교	소수주거더 이중합성 및 전단연결부 거동 평가	100%

4. 국내연구 인프라 수준

국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 연구지원 및 분산공유형 건설인프라 구축사업을 통해 산학연공동연구기반 및 연구시설/설비 등 국내연구 인프라 수준은 선진국대비 우월한 수준이다.

표 5. 국내연구 인프라 수준

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

제 2 절 국외 기술 및 산업 동향

국외의 경우 복합교량의 적용 실적은 많지 않으며, 대부분 사장교나 익스트라도즈드교의 중앙경간장을 장대화하기 위하여 중앙경간부에 강상형 구조와 측경간부에 PSC 상형구조를 적용하고 있으며, 일본의 경우, 비대칭 경간에서 짧은 측경간을 PSC 박스 구조를 적용하고 중앙부 장경간을 강상자형 구조를 적용한 복합교량 시공 사례가 있다.

국외에 적용된 경간장 80~150m의 교량형식은 대부분 강교나 합성구조 또는 특수구조 형식이었으며, 본 연구에서 제안한 정모멘트부 강상자 및 부모멘트부 트러스 구조의 하이브리드 형식은 적용된 사례가 없다.

표 6. 국외 복합교량 형식

교량명	교장(m)	교량형식	복합구조형식	비고
Tortosa Bridge	384m (Main Span 180m)	3경간 연속 격자 프레임	프리스트레스트 합성빔 구조	1982 스페인
Sun Marine bridge	260m(200+ 60)	사장교	주교량부(200m)의 장경간측 (L=145m) 강상형 구조와 단경간측(L=55m)의 PSC 상형구조로 구성	1996 일본
Ikikuchi Bridge	790m(150+ 490+ 150)	사장교	중앙경간부 강상형구조, 측경간부 PSC 상형구조	일본
多多羅大橋 (TataraOhashi)	1,480m(270+ 890+ 320)	사장교	중앙경간부 강상형구조, 측경간부 PSC 상형구조	1999 일본
Normandie bridge	2,141m(547+ 856+ 737)	사장교	중앙경간부 강상형구조, 측경간부 PSC 상형구조	1995 프랑스
木曾川橋 (Kisogawa bridge)	1,145m(160+ 3@275+ 160)	익스트라 도즈드교	강상형구조와 PSC상형구조	2001 일본
揖斐川橋	1,397m (154+ 4@271.5+ 157)	익스트라 도즈드교	강상형구조와 PSC상형구조	2001 일본
塩坪橋	119.4m	강·PSC복합 상자형교	강상자형구조와 PSC박스구조	2005 일본
小貝川橋	259m (30.9+ 107.5+ 117.75)	강·PSC복합 상자형교	강상자형구조와 PSC박스구조	2008 일본
市道橋	204m (65.5+ 100+ 38.5)	강·PSC복합 상자형교	강상자형구조와 PSC박스구조	일본
失作川橋(豊田アロ -ズブリッジ)	820m (175+ 2@235+ 175)	사장교	강상자형구조와 파형강판 웨브 PSC 박스구조	2005 일본
Shibanpo Bridge	1,104m (87.75+ 4@138+ 330 + 133.75)	PSC Box + Steel Box	강상자형구조와 PSC박스구조	2006 중국

	
Kisogawa bridge (Japan)	Shibanpo Yangtze Bridge (China)
	
Tortosa Bridge (Spain)	小貝川橋 (Japan)
	
市道橋 (Japan)	Normandie bridge (France)

그림 8. 국외 복합교량 시공사례

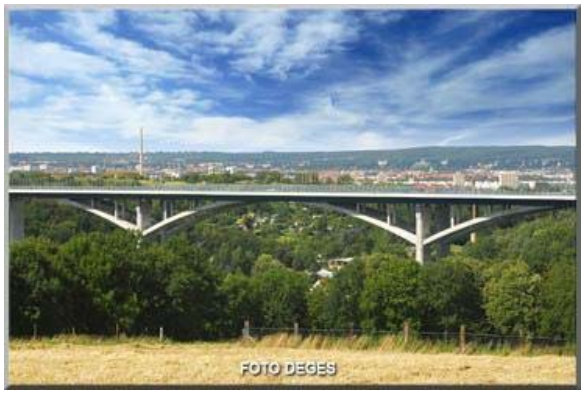
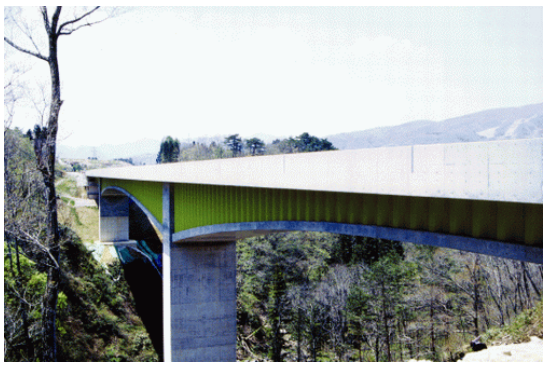
<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>교량명</td><td>Haynes Inlet Slough Bridge</td><td>교량명</td><td>Highway Bridge Across the Lockwitz Valley</td></tr>
<tr><td>국가, 준공년도</td><td>USA, 2004</td><td>국가, 준공년도</td><td>France, 2005</td></tr>
<tr><td>교량 형식</td><td>아치형 하로교</td><td>교량 형식</td><td>아치형 하로교</td></tr>
<tr><td>최대 경간장</td><td>72.8m</td><td>최대 경간장</td><td>125m</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>교량명</td><td>Domvinski Bridge</td><td>교량명</td><td>Shintoyo Bridge</td></tr>
<tr><td>국가, 준공년도</td><td>Croatia, 2006</td><td>국가, 준공년도</td><td>Japan, 2007</td></tr>
<tr><td>교량 형식</td><td>Extradosed Bridge</td><td>교량 형식</td><td>강상형바닥판+아치 복합교</td></tr>
<tr><td>최대 경간장</td><td>120m</td><td>최대 경간장</td><td>105m</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>교량명</td><td>Kinokawa Viaduct</td><td>교량명</td><td>Hondani Bridge</td></tr>
<tr><td>국가, 준공년도</td><td>Japan, 2004</td><td>국가, 준공년도</td><td>Japan, 1998</td></tr>
<tr><td>교량 형식</td><td>복합트러스교</td><td>교량 형식</td><td>복부파형강판 PSC상자형교</td></tr>
<tr><td>최대 경간장</td><td>85m</td><td>최대 경간장</td><td>97m</td></tr>
</table>

그림 9. 국외 장경간 교량(80~150m) 형식

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 목표

1. 최종목표

최 종 목 표	최 종 성 과 목 표
강상자 및 트러스 하이브리드 장경간 교량 제품화 및 상용화	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 최적구조 개발
	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계/시공기술 개발
	○ 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화기술 개발

2. 최종목표의 성격

최 종 목 표	최 종 성 과	성 격
강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계기술 개발	○장경간 교량 구조형식 개발 : 경간장 80~150m	제품개발
강상자 및 트러스 하이브리드 교량 시공기술 개발	○공기절감(20%) : 60일→40일(150m 1개소) ○CO_2저감 : 20%	공정개발
강상자 및 트러스 하이브리드 교량 구조성능 검증	○200만회 피로성능확보 ○동적성능평가(감쇠비 추출) : ISO 쾌감감퇴곡선 비교 ○극한 안전율 4배 이상 확보 : 극한하중/설계하중 ○계측/구조계산 비교 : 오차 5%이하	제품검증
강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화	○공사비 절감(20%): 240 → 200만원/m^2 *120m 3경간 기준	상용화

3. 연차별 목표

연 차	연구목표	주요 연구내용	구 분
1차년도 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 최적구조 개발	강상자 및 트러스 접합부 최적상세 개발	▪ 접합부 최적형상 도출 -접합부 연결방식별 변수연구 -접합부 보강 방안 도출 -접합부 상세 및 제작방법 특허출원 ▪ 고강도 재료 적용성 평가 -HSB800강재(인장강도 800MPa) -60MPa급 이상 고강도 콘크리트	→ 삼현 → 삼현
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계 프로세스 개발	▪ 연속지점부 설계 프로세스 개발 -콘크리트 바닥판 설계검토 방안 도출 -트러스 이중합성 설계방안 개발 ▪ 접합부 설계방안 정립	→ 도화 → 도화
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 제작/시공 프로세스 개발	▪ 트러스 부재 자동화 제작 상세 개발 -용접최소화 절곡가공 방안 도출 ▪ 강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발	→ 삼현 → 삼현
	강상자 및 트러스 접합부 구조성능검증	▪ 접합부 제작성능 평가 ▪ 접합부 상세 유한요소 해석 ▪ 접합부 피로성능평가	→ 삼현 → RIST → RIST
2차년도 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계/시공 기술개발	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계자동화 프로그램 및 설계지침 개발	▪ 설계자동화 프로그램 알고리즘 개발 ▪ 설계예제 이용한 단일형식교량과 비교 ▪ 설계지침 개발 -접합부 보강재 설계 -접합부 구조해석 모델링 방안 -트러스 이중합성부 설계	→ 삼현 → 도화 → 도화
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 시공/유지관리 지침 개발	▪ 시공 및 유지관리지침 개발 -현장조건별 최적 가설방법	→ 삼현
	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 구조성능검증	▪ 30m 부모멘트부 시험체 제작성 평가 ▪ 동적성능평가 -경간장별 이동하중해석 ▪ 극한 내하력 평가	→ 삼현 → RIST → RIST
3차년도 강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화 기술개발	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 제품화 기술개발	▪ 경간장/형고별 설계표준화 -경간장별 구조계산서/도면 표준화 ▪ 경제성 분석 -설계(LCC) 및 실행공사비 산출 ▪ 한계상태 설계법 정립	→ 도화 → 삼현 → 도화,RIST
	시공성 개선을 위한 구조성능 검증연구	▪ 프리캐스트 바닥판 연구 -시공성 개선을 위한 연구 ▪ 곡선교적용 상세실험 -곡선교 최적상세 선정 -시공성 및 비틀림성능 개선실험	→ 삼현 → 삼현,RIST
	실교량 적용을 위한 기술개발	▪ 선행기술조사 및 원가분석 ▪ 공법브로우셔 및 모형제작 ▪ 기술설명회	→ 삼현 → 삼현 →연구진전체

제 2 절 연구수행 내용 및 성과

Ⅰ. 1차년도

1. 기존설계도서 수집 및 분석

1.1. 설계도서

(1) 대상교량

(가) 성수대교(상로트러스): 84+ 5@120+ 84=768m

(나) 월호도~개도간(중로트러스): 200+ 400+ 200+ 130=930m

(다) 가평교(상로트러스, 철도교): 3@70=210m, 80+ 125+ 80=285m

(라) 거금연도교 2단계(상로트러스 사장교): 120+ 198+ 480+ 198+ 120=1116m

(마) 마곡대교(상로트러스, 신공항철도): 4@80=320m, 85+ 3@120+ 85=530m

(2) 설계도서

구분	구조계산서	도면
성수대교		◎
월호도~개도간	◎	◎
가평교	◎	
거금연도교	◎	◎
마곡대교	◎	◎

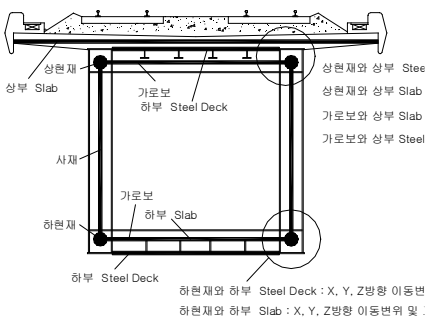
1.2. 설계도서 분석

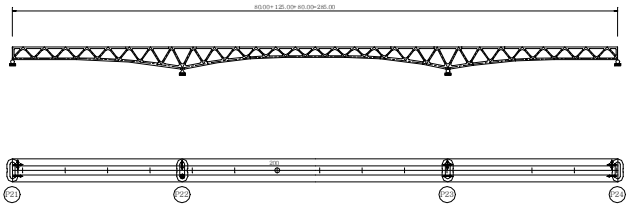
(1) 부모멘트부 설계방안

(가) 월호도~개도간 교량; 중로트러스로 바닥판 비합성

(나) 가평교(철도교)

- 부모멘트부 바닥판의 적절강성 평가(Smeared Crack Model활용)
- 합성후 고정하중 및 활하중에 의해 균열구간결정
- 비선형해석과 처짐형상이 일치하는 강성평가(30~40%)



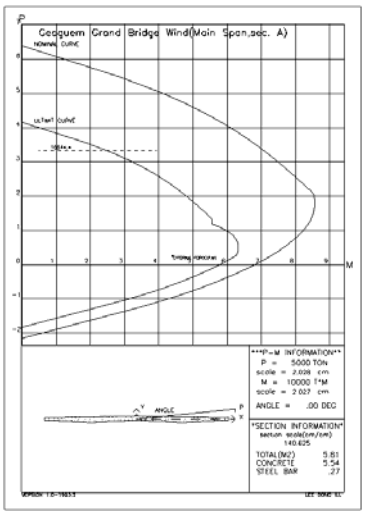


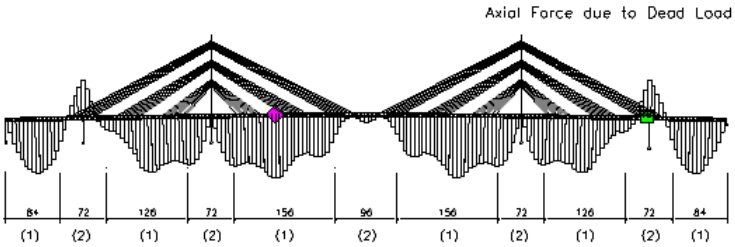
구 분		연직력	수평력	비 고
교각 21	⑤	1000	-	양방향
	⑥	1000	380	일방향
교각 22	⑦	4000	1700	일방향
	⑧	4000	1700	고정단

구 분		연직력	수평력	비 고
교각 23	⑨	4000	-	양방향
	⑩	4000	720	일방향
교각 24	⑪	1000	-	양방향
	⑫	1000	380	일방향

(다) 거금연도교

- 사장교 이므로 바닥판에 축력발생 → P-M상관도 적용





(2) 격점부 연결방법

(가) 볼트연결: 성수대교, 월호도~개도간 교량

(나) 용접연결: 가평교, 마곡대교, 거금연도교



<마곡대교: 용접연결>



<성산대교: 볼트연결>

2. 설계방법 연구

2.1. 구조 및 설계에 대한 자문

(1) 자문내용

(가) 강상자와 트러스의 하이브리드 교량구조에 대한 의견

(나) 강상자와 트러스 접합부의 설계방법

(다) 트러스로 구성된 지점부 부모멘트부의 설계

(2) 자문위원

(가) 교수: 심창수(중앙대), 배두병(국민대), 조재병(경기대), 강영종(고려대)

(나) 설계전문가: 김형목(대한콘설탄트), 연구진

(3) 자문결과 정리

(가) 강상자와 트러스의 하이브리드 교량구조에 대한 의견

① 특별한 구조형식이 아니므로 접합부만 잘 검토하면 될 듯

② 목표 경간장에 맞는 경제성 검토 필요

③ 트러스 부재를 소형으로 제작하는 경우의 제작성 및 제작비 검토

④ 현장연결의 시공성 검토 필요

⑤ 부모멘트를 트러스로 고정하지 말고 강상자의 연속성을 이용하는 방법 고려

(나) 강상자와 트러스의 접합부 설계방법

① 보강재만 설치하는 것보다는 튼튼할 것 같음

② 경제성을 고려하여 중첩구간의 길이를 결정하여야 할 듯함

③ 설계는 강상자 혹은 트러스만으로 고려하면 문제없을 듯

④ 단면력이 큰 부분이 아니므로 적절한 상세만 적용하면, 설계 방법상의 문제는 큰 영향을 미치지 않는 위치임

⑤ 다이아프램과의 연결은 관통연결이 적절함

(다) 트러스로 구성된 지점부 부모멘트부의 설계

① 바닥판을 별도로 모델링하는 방법과 상현재와 합성으로 모델링 하는 방법이 있는데, 둘 중 연구진에서 실험 등을 통해 검증하고, 방법을 결정하여 진행하면 될 듯함

② 강상자 구간과의 일관성과 설계자의 편의를 위해서는 합성단면으로 적용하는 것이 좋음

③ 그러나 응력검토시 바닥판 강성을 완전히 무시하는 것은 과다설계 가능성이 있음

④ 유럽의 설계법인 모멘트 재분배량 산정법을 고려해 볼 것(균열영향고려)

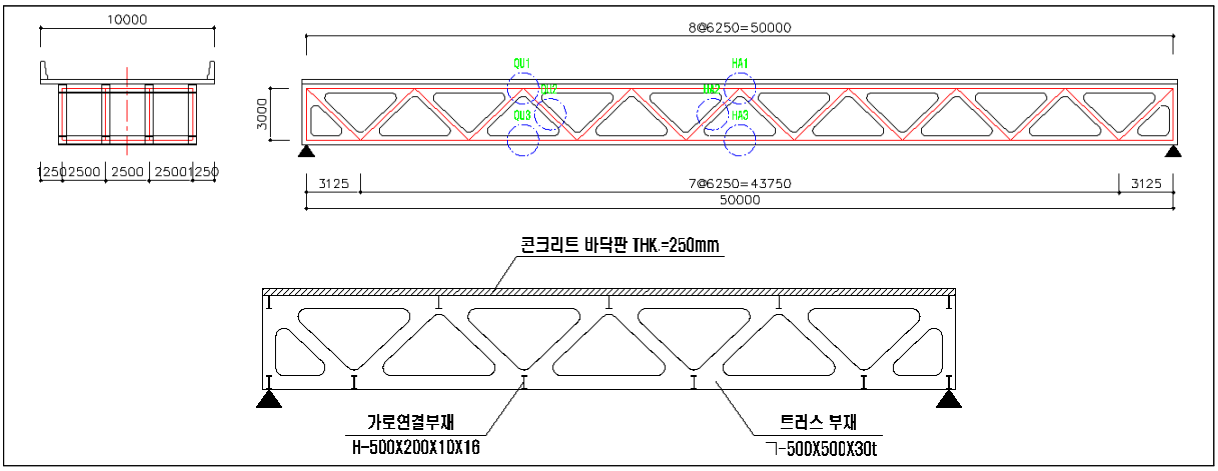
⑤ 2차년도에는 연속부의 실험을 통해 다양한 검증을 하면 좋을 듯함

⑥ 축선변화의 영향은 미미하지만 2차응력을 최소화 할 수 있도록 상/하현재의 축선을 고려하여 설계하는 것이 타당함.

2.2. 구조해석

(1) 목적: 바닥판의 모델링 방법에 따른 결과 비교

(2) 예제교량

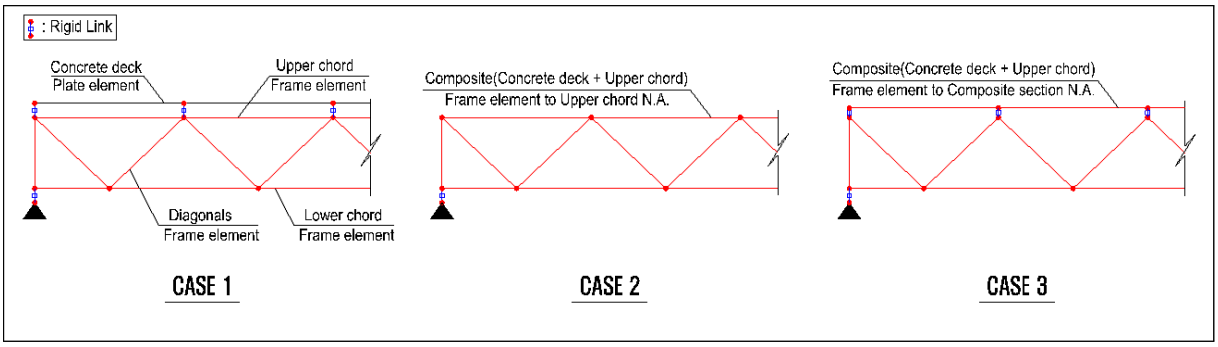


(3) 해석모델

(가) Case1: 바닥판과 트러스 상현재 별도 모델

(나) Case2: 바닥판과 트러스 상현재의 합성(축선을 현재에 일치)

(다) Case3: 바닥판과 트러스 상현재의 합성(축선을 합성부재 중립축에 일치)



(4) 집중하중 재하시 해석결과: 경간중앙부

(가) 단면력(kN,m)

L/4

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	축력	모멘트	축력	모멘트	축력	모멘트
상현재	-48.1	10.2	-254.6	9.2	-238.4	21.5
사재	-64.5	10.3	71.8	9.3	68.1	7.0
하현재	187.7	3.1	200.6	3.5	187.4	3.1

L/2

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	축력	모멘트	축력	모멘트	축력	모멘트
상현재	-116.9	12.1	-355.5	36.3	-333.2	36.1
사재	-63.3	15.3	-61.1	16.1	-59.1	15.7
하현재	375.9	7.6	396.0	7.8	372.2	7.1

(나) 응력(MPa)

L/4

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	상연	하연	상연	하연	상연	하연
바닥판	-0.250	-0.260	-0.281	-0.241	-0.327	-0.233
상현재	-2.076	0.370	-1.927	-1.280	-1.863	-0.349
사재	-2.379	0.091	0.158	2.388	0.368	2.047
하현재	2.956	3.700	3.137	3.976	2.951	3.694

L/2

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	상연	하연	상연	하연	상연	하연
바닥판	-0.280	-0.420	-0.509	-0.350	-0.488	-0.329
상현재	-3.524	-0.622	-2.797	-0.241	-2.631	-0.089
사재	-2.957	0.712	-3.014	0.847	-2.930	0.835
하현재	5.754	7.576	6.086	7.957	5.748	7.451

(5) 등분포하중 재하시

(가) 단면력(kN,m)

L/4

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	축력	모멘트	축력	모멘트	축력	모멘트
상현재	-2801.1	335.9	-8685.7	261.8	-8138.2	432.5
사재	-2004.1	350.9	-2080.7	342.1	-1958.7	279.2
하현재	7136.6	128.6	7603.8	138.1	7114.3	122.7

L/2

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	축력	모멘트	축력	모멘트	축력	모멘트
상현재	-3204.1	198.0	-9958.5	333.9	-9330.0	286.2
사재	-308.3	341.5	-318.9	356.6	-290.4	350.2
하현재	9474.3	167.4	10112.4	182.7	9458.8	161.3

(나) 응력(MPa)

L/4

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	상연	하연	상연	하연	상연	하연
바닥판	-12.700	-4.500	-9.342	-8.190	-9.683	-7.779
상현재	-89.942	-9.388	-65.518	-47.082	-62.232	-31.775
사재	-77.610	6.542	-77.913	4.129	-68.207	-1.250
하현재	111.115	141.956	118.260	151.379	111.427	140.853

L/2

구분	CASE 1		CASE 2		CASE 3	
	상연	하연	상연	하연	상연	하연
바닥판	-13.200	-6.400	-10.879	-9.409	-10.060	-8.800
상현재	-80.552	-33.068	-75.272	-51.757	-70.401	-50.246
사재	-46.415	35.483	-48.414	37.105	-47.141	36.843
하현재	147.911	188.057	157.391	201.205	148.368	187.050

(6) 해석결과 및 결과 분석

(가) Case2는 현재의 응력들이 Case1과 Case3에 비해 크게 나타나는데, 이는 축선을 상현재에 일치시킴으로써, 교량전체의 강성이 작게 평가되었기 때문인 것으로 판단

(나) Case1과 Case3의 경우 응력이 유사함

(다) 단지 격점부의 응력은 두 개가 다소 차이남

(라) 이는 모델링 방법의 차이라기 보다는 바닥판과 상현재의 연결방법에 따라 나타나는 차이인 것으로 분석됨

(마) 설계에 적용하는 것은 어떤 방법이든 상관없는 것으로 나타났으나, Case2를 적용하는 경우는 안전측이지만, 비경제적인 설계가 될 수 있으므로 주의 필요

2.3. 설계예제 작성(개략설계)

(1) 적용방법

(가) 부모멘트부: 일반적으로 강상자에서 적용하는 방법 고려

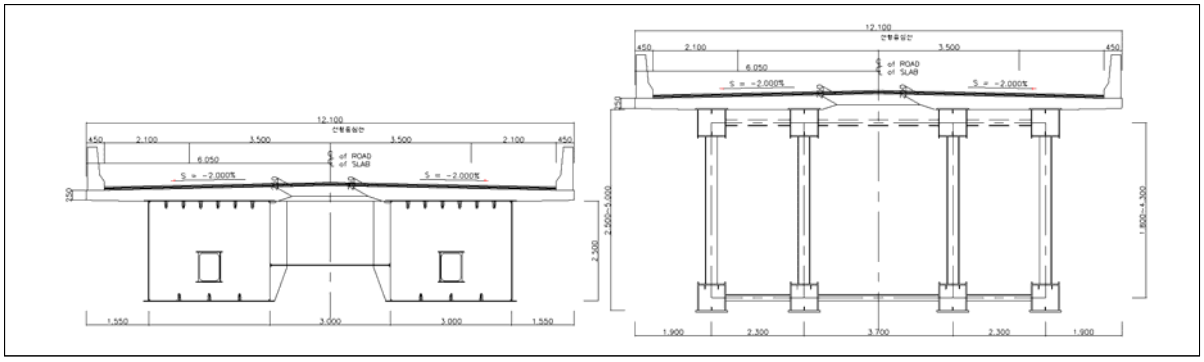
- 단면력 산정시: 바닥판과 상현재의 합성단면 고려
- 응력검토시: 철근만 유효한 것으로 고려

(나) 상현재의 축선: 바닥판 합성에 따른 상현재의 축선변화 미고려(안전측)

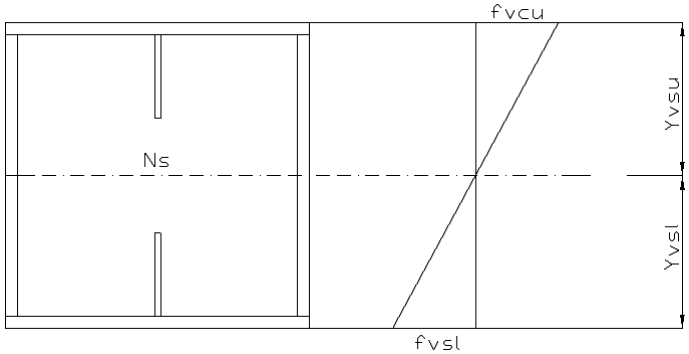
(다) 접합부: 강상자의 강성만 고려

(2) 설계예시(2@100=200m, 2@120=240m)

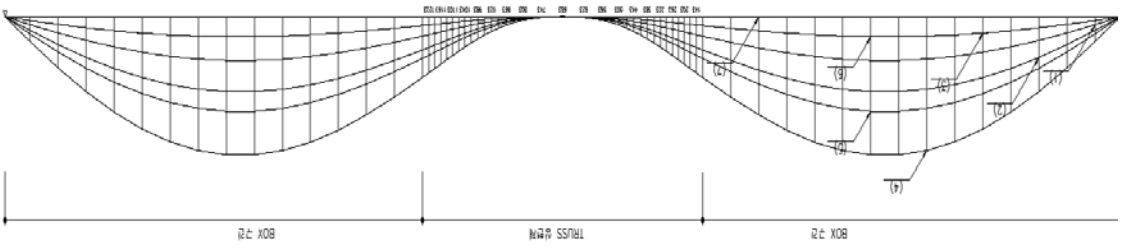
(가) 횡단면도



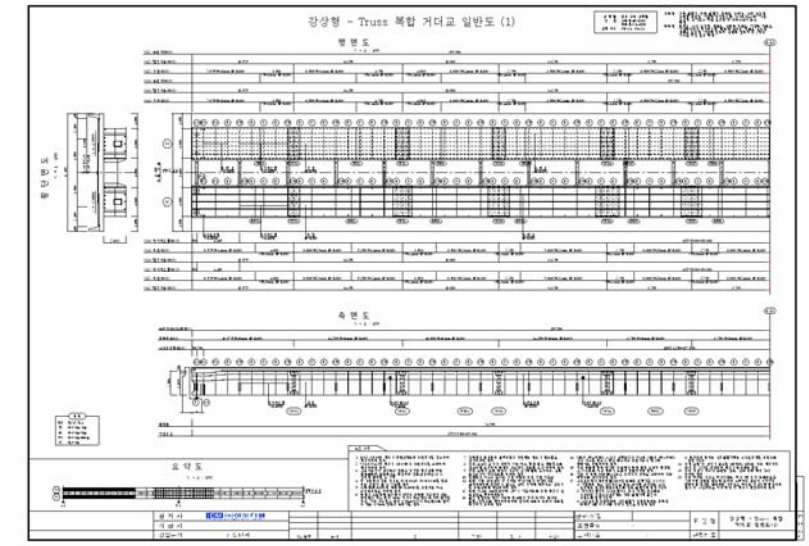
(나) 트러스 현재설계

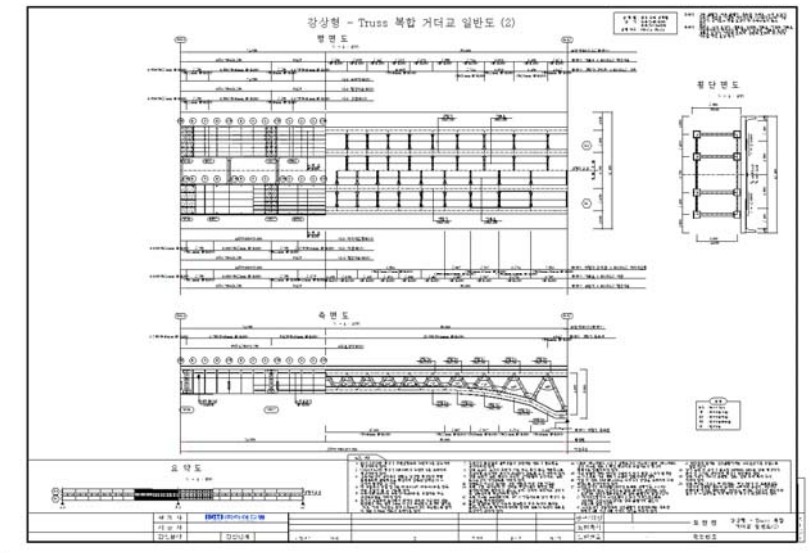


(다) 솟음예시



(라) 도면예시



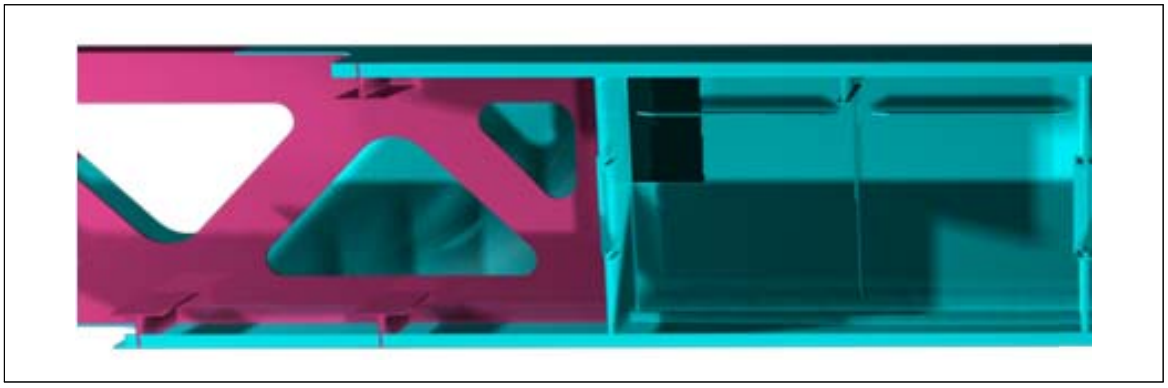


3. 접합부 상세 개발

3.1. 중첩구간을 두는 방안(특허출원1건)

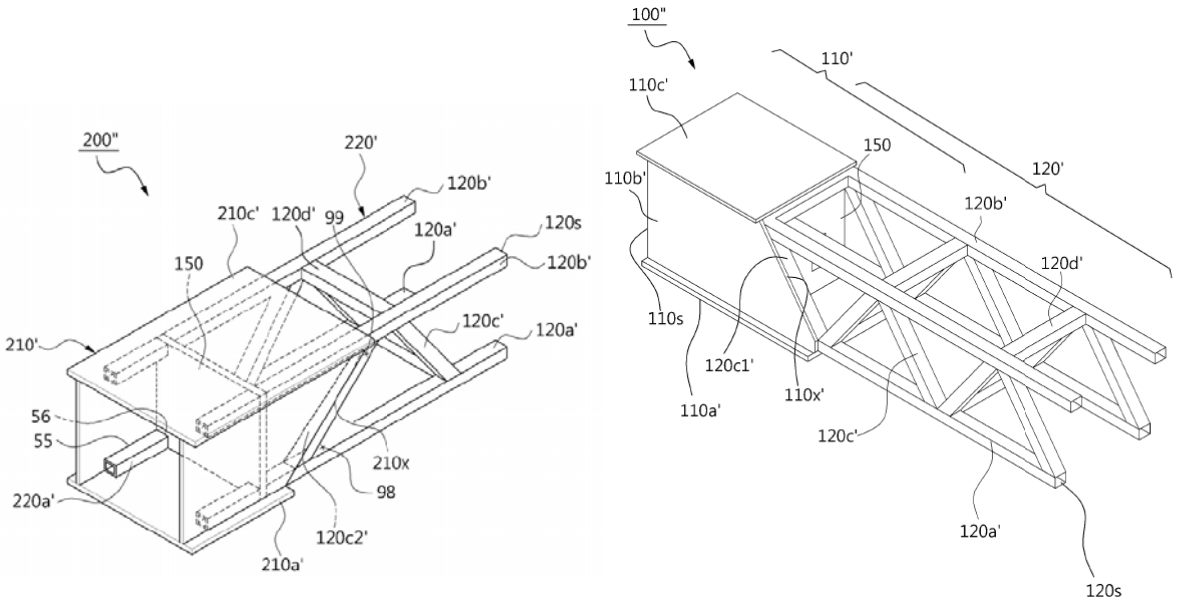
(1) 중첩구간을 두는 경우, 박스부분의 상부플랜지가 끝나는 위치와 하부플랜지가 끝나는 위치를 다르게 설정하여 원활한 응력흐름 유도

(2) 상세부 CG



(3) 출원특허1: (특허-2011-0066782)

복합형식 연속교량의 상부구조 및 이에 사용되는 연결체



3.2. 연결부를 보강하는 방안(특허출원1건)

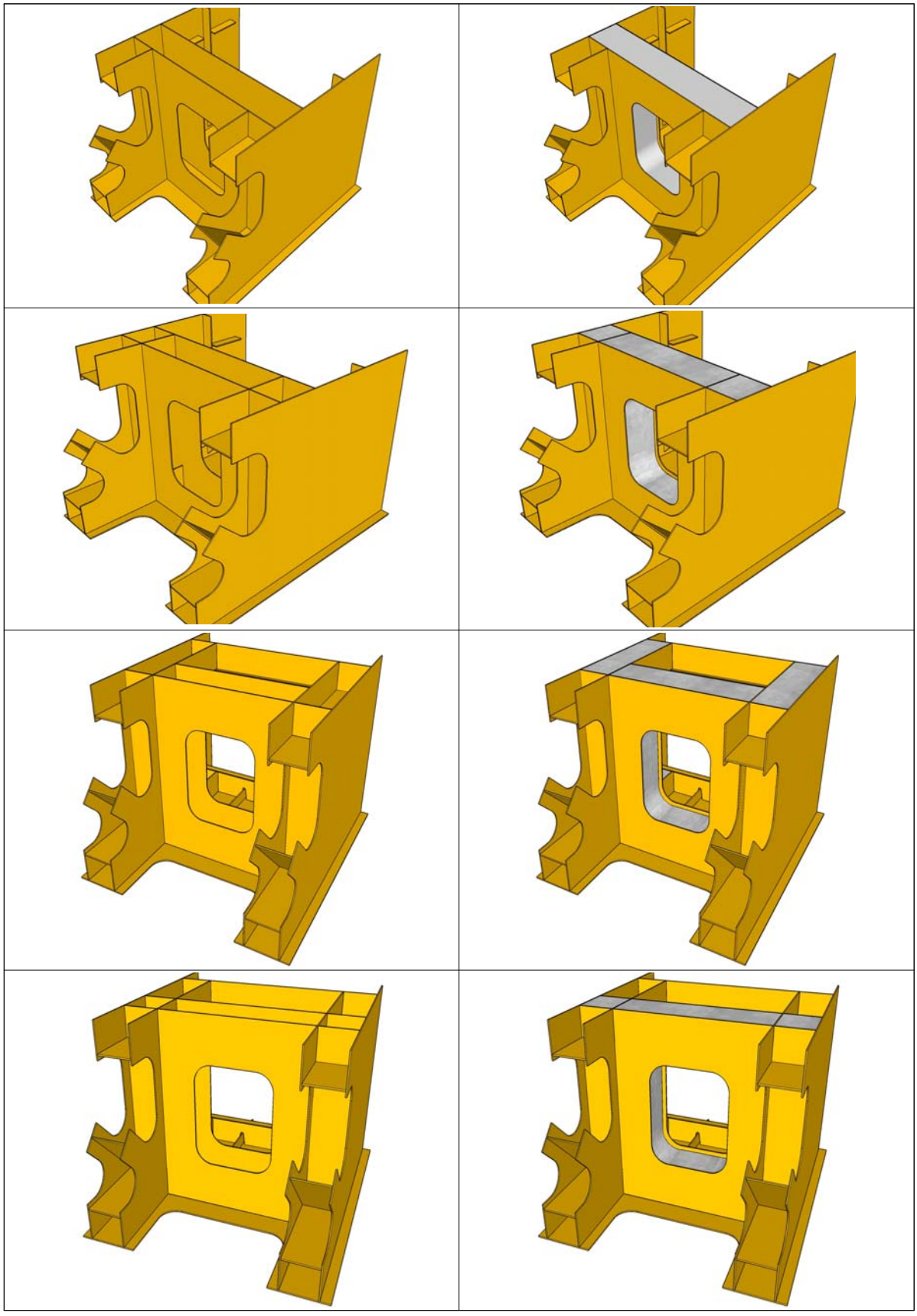
(1) 다양한 방향에 대한 상세검토

(가) 다이아프램을 2개로 두는 방안

(나) 현재를 연장하여 보강하는 방안

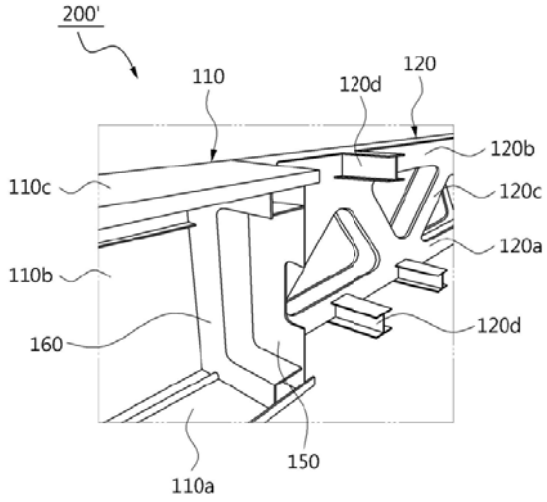
(다) 콘크리트를 타설하는 방안

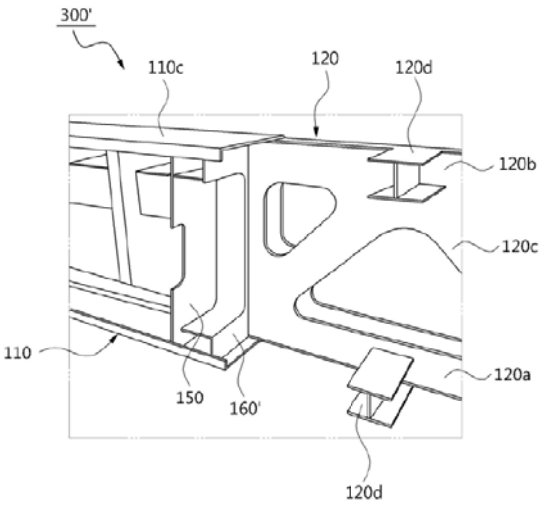
(2) 다양한 보강방안에 대한 제작도 및 CG



(3) 출원특허2: (특허-2011-0066785)

연속교량의 복합형식 상부구조 및 이에 사용되는 연결체

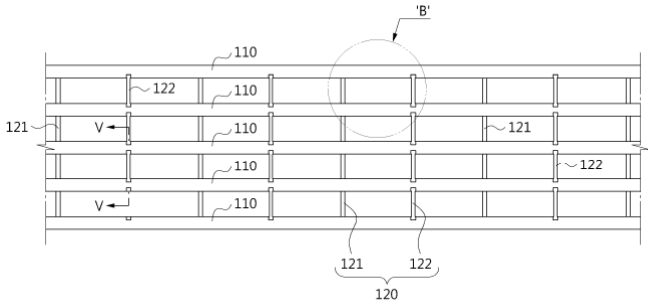


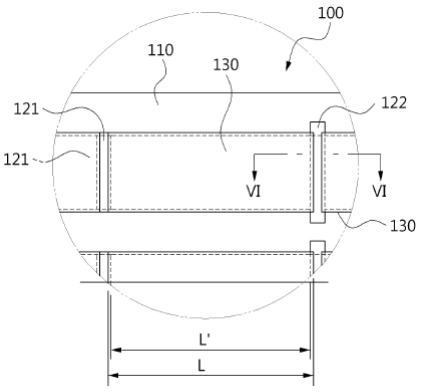


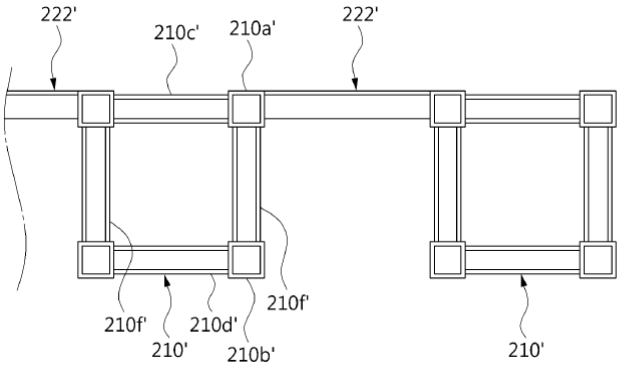
3.3. 트러스 구간 바닥판 시공상세(출원특허3)

(특허-2011-0059997)

프리캐스트 바닥판의 휨연결방법 및 이에 의해 시공된 교량의 상부구조







4. 실험체 설계 및 제작

4.1. 실험목적

(1) 제작성 검토

(가) 실험체 박스부 형고를 2.5m이상으로 할 것

(나) 트러스부재를 내공 500이상으로 할 것

(다) 연결부를 실스케일로 할 것

(2) 응력상세 흐름

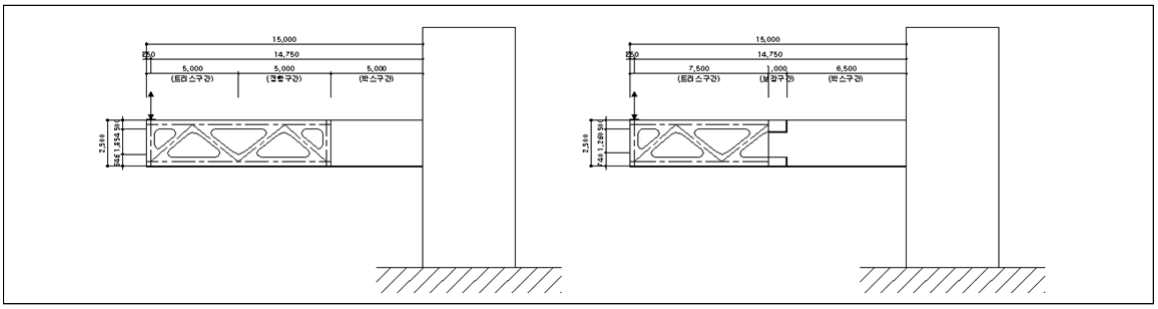
(가) 게이지 설치방향을 잘 준비할 것

(나) 접합부와 트러스 부의 응력을 비교검토

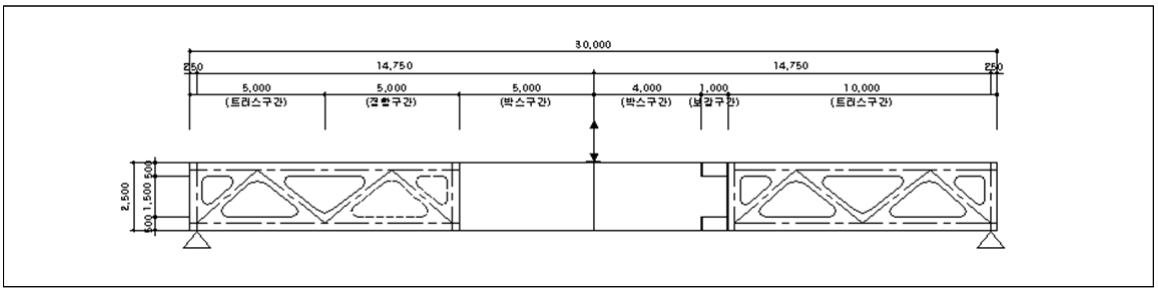
(3) 피로성능검증

4.2. 실험방법비교안

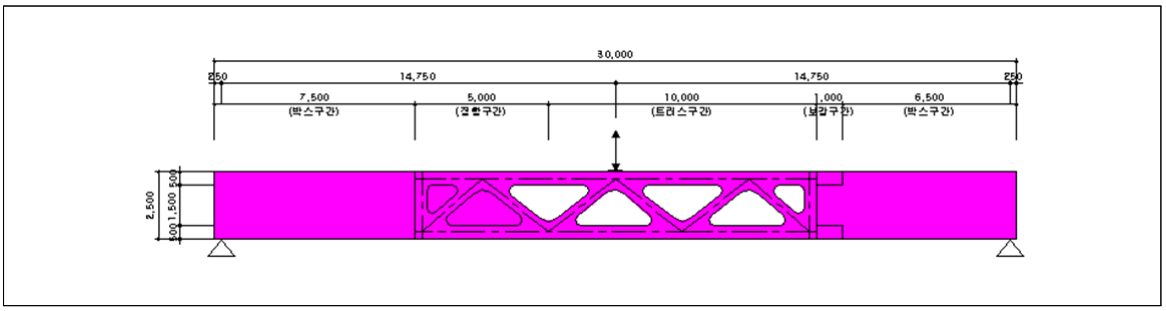
(1) 1안: 반력벽에 캔틸레버 설치 ☞ 반력벽에 무리가 되므로 배제



(2) 2안: (단순교형태1) 중앙부가 박스



(3) 3안: (단순교형태2) 중앙부가 트러스



(4) 비교

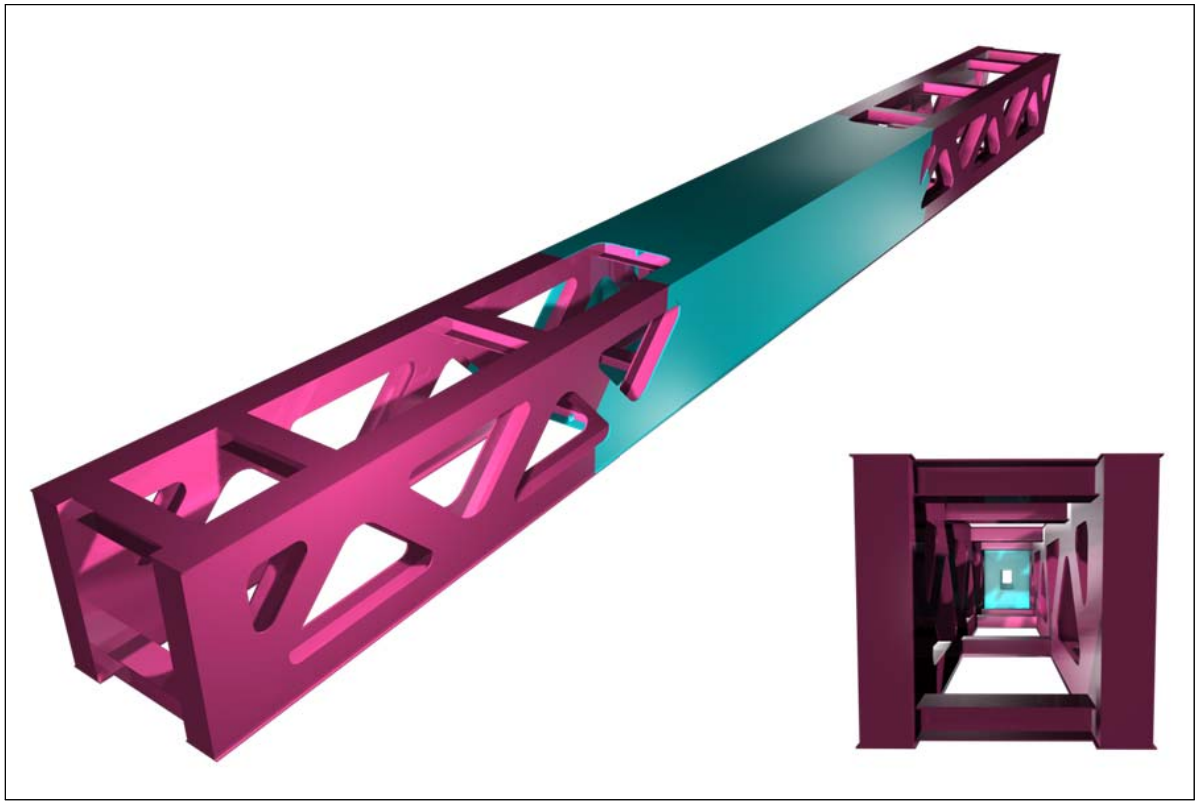
구 분	방법2	방법3
장 점	● 필요한 부분에 더 많은 응력이 걸리도록 할 수 있다. ● 응력의 원활한 흐름을 확보하기 위한 박스구간의 길이는?	● 트러스 부에 큰 응력이 걸린다.
단 점	● 박스구간을 짧게하면, 응력흐름에 문제가 있고, ● 길게하면 박스구간에 연결부가 생겨서 시공성에 문제가 있다.	● 하중재하가 트러스 부에 이루어진다.
적용	◉	

4.3. 시험체 제작

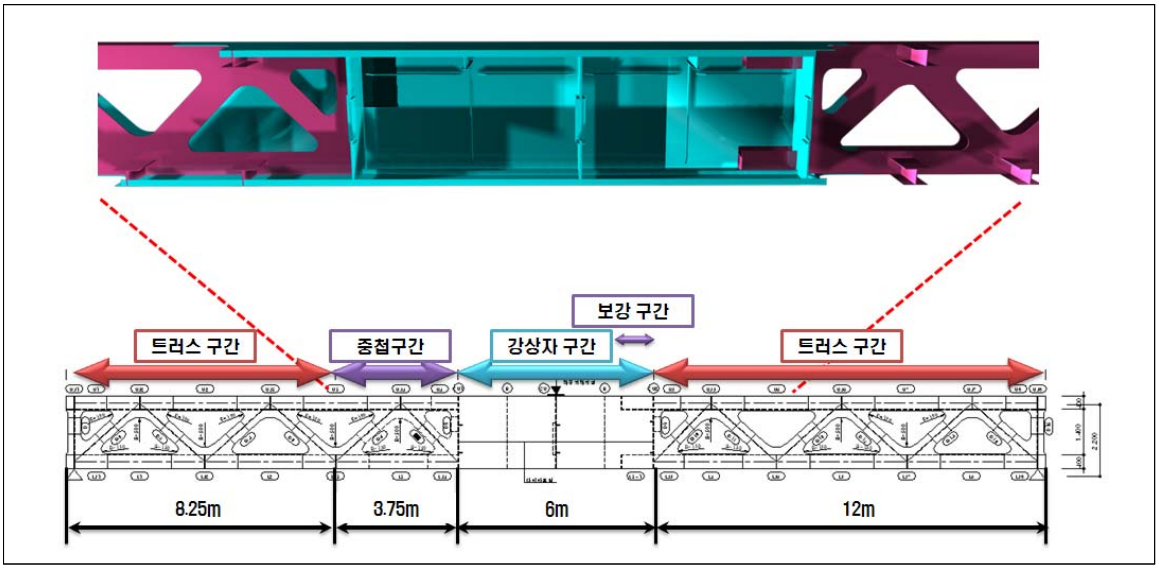
(1) 실험체 개요(2.2m x 2.2m, 30m)

(가) 사재는 I형, 현재는 ㅁ형 적용

(나) 제작성을 위해 트러스부 측면강판은 일체로 제작함



(2) 적용상세



(3) 제작과정

(가) 접합프로세스

- 접합순서

구분	강상자	트러스
1단계	소조립(보강재)	현재조립
2단계	대조립(폐단면)	트러스형성
3단계	접합부 조립	
4단계	현장트러스 연결	

- 접합부 제작순서

① 소조립1: 강상자 플랜지와 트러스현재의 복부판 용접연결

② 소조립2: 강상자 복부와 트러스 현재의 플랜지 연결

③ 소조립3: 강상자 복부와 트러스 사재의 연결

④ 대조립: 소조립된 부재의 결합

- 접합부 제작시 주의 사항

① 상/하현재 혹은 보강재 결합부에는 강상자 플랜지와 복부의 내측 용접

→ 강상자 복부구간에 개선을 활용하여 용입 필릿용접을 실시함으로, 양측필릿 용접의 목두께 확보

② 휨모멘트와 같은 방향의 용접(다이아프램과 현재의 결합)은 불량유발

→ 보강이 필요한 구간 등은 다이아프램은 관통용접 실시하여야 함

③ 현장용접연결 or 볼트연결

→ 위보기 용접 등, 용접자세의 어려움은 크지 않음(제작사)

→ 가조립의 정확도가 높지 않은 경우, 용접량 과다우려

(나) 시공사진



제작장 전경



1차조립



1차조립 완료



1차용접



1차용접



2차조립



3차조립



3차조립 완료



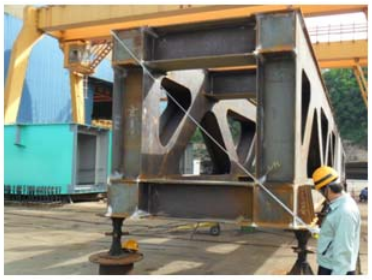
3차조립 완료



2차용접



치수검사



치수검사



비파괴 검사(UT)



비파괴 검사(MT)



가조립



가조립 완료

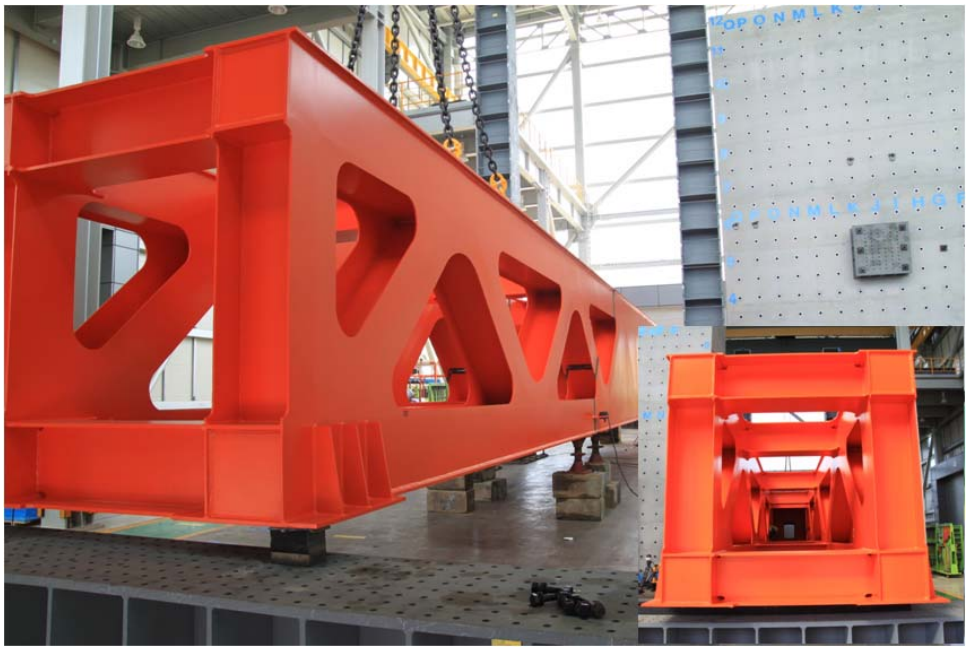


표면처리



제품도장

(4) 실험동 세팅



(5) 실험일정

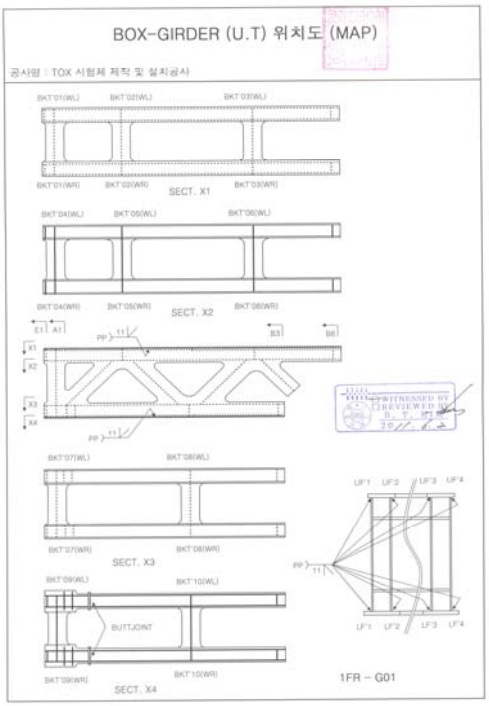
7월, 8월						
일	월	화	수	목	금	토
3	4	5 시험체 반입 실험체 (용접)	6 실험체 (용접)	7 실험체(용접,도장) 위치잡기	8 게이지작업 프레임작업	9
10	11 게이지작업 프레임작업	12(연구진 회의)	13 실험체 (용접)	14 실험체 (용접)	15 받침부세팅	16
17	18 정재하 피로하중재하	19 피로하중재하	20 피로하중재하	21 피로하중재하	22 (10만회) 피로하중재하	23 피로하중재하
24 피로하중재하	25 피로하중재하	26 피로하중재하	27 피로하중재하	28 피로하중재하	29 (50만회) 피로하중재하	30 피로하중재하
31 피로하중재하	1(8월) 피로하중재하	2 피로하중재하	3 피로하중재하	4 피로하중재하	5 정재하3 (100만회)	6 피로하중재하
7 피로하중재하	8 피로하중재하	9 피로하중재하	10 피로하중재하	11 피로하중재하	12 피로하중재하	13 피로하중재하
14 피로하중재하	15 피로하중재하	16 정재하(200만회) 실험종료	17 실험체 폐기	18 실험체 폐기	19	20

(6) 고강도 재료(HSB800)적용성 평가

- 시험체 플랜지에 HSB800적용
- 제작성(절단, 용접성능 등)에 문제없음을 확인
- 가력실험을 통해 하이브리드 부재의 이상거동 없음을 확인


REPORT OF ULTRASONIC EXAMINATION
초 음 파 탐 상 검 사 보 고 서

케 이 엔 디 티 앤 아 이 (주)
Korea NonDestructive Testing Co., Ltd.



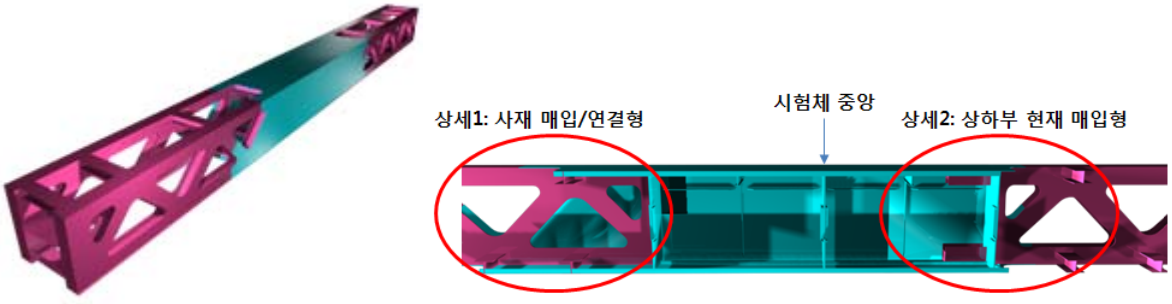
< HSB800 용접실험 성적서 >

5. 접합부 상세해석

5.1. 상세해석 개요 및 결과정리

- 해석프로그램: ABAQUS 6.10-1

해석모델	최대응력/변위			비고
	MPa	발생위치	변위 (mm)	
1.시험체(상세1+ 상세2)	697	상세2측- 상현재round부분	145	전부분선형상태 극한하중: 약1000톤
2.상세1-half모델				
(1)기본모델	546	상세1측- 상현재round부분	140	전부분선형상태
(2)사재삭제	533	상세1측- 상현재round부분	140	전부분선형상태
(3)사재삭제후격벽이동	549	상세1측- 상현재round부분	141	전부분선형상태
(4)상하현재중첩구간축소	672	상세1측- 상현재round부분	144	전부분선형상태
3.상세2-half모델				
(1)강상자-현재연결부 R=300	692	상세2측- 상현재round부분	156	전부분선형상태
(2)강상자-현재연결부 R=600	681	상세2측- 상현재round부분	155	전부분선형상태
(3)상하현재근입깊이짧게 (격벽위치까지,R=600)	691	상세2측- 상현재round부분 격벽바로위추가응 력집중발생	163	전부분선형상태
*작용하중:자중(시험체:약48톤),외력(6000kN,중앙가력)				

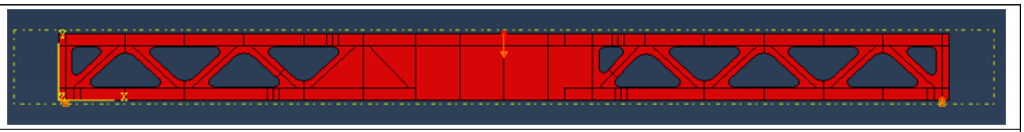
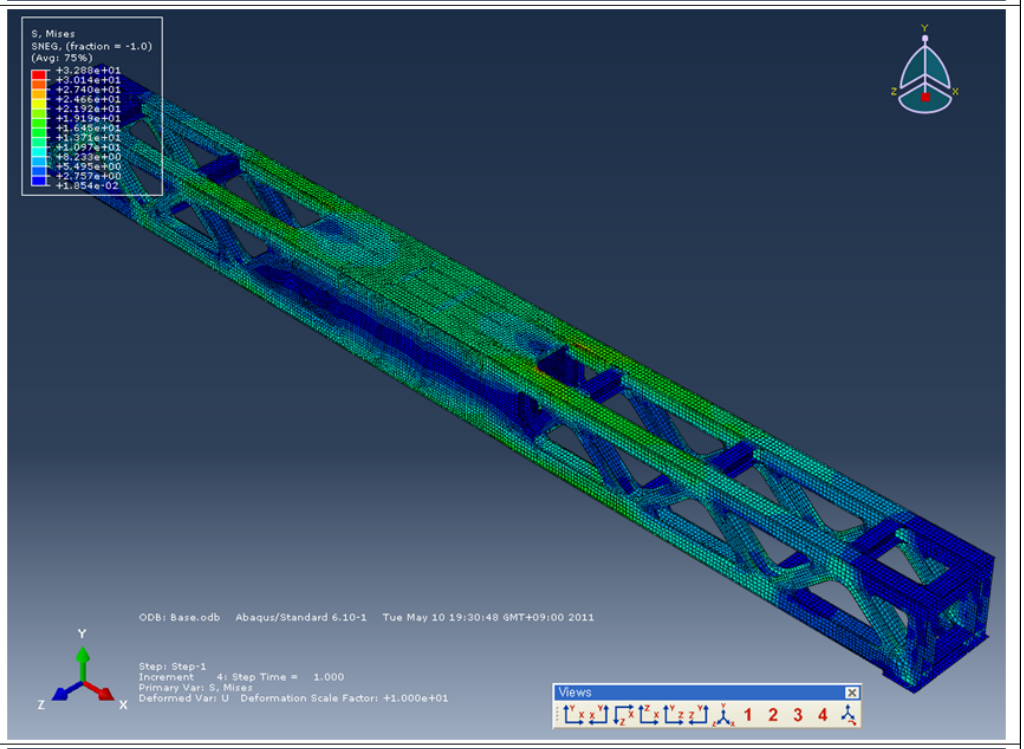
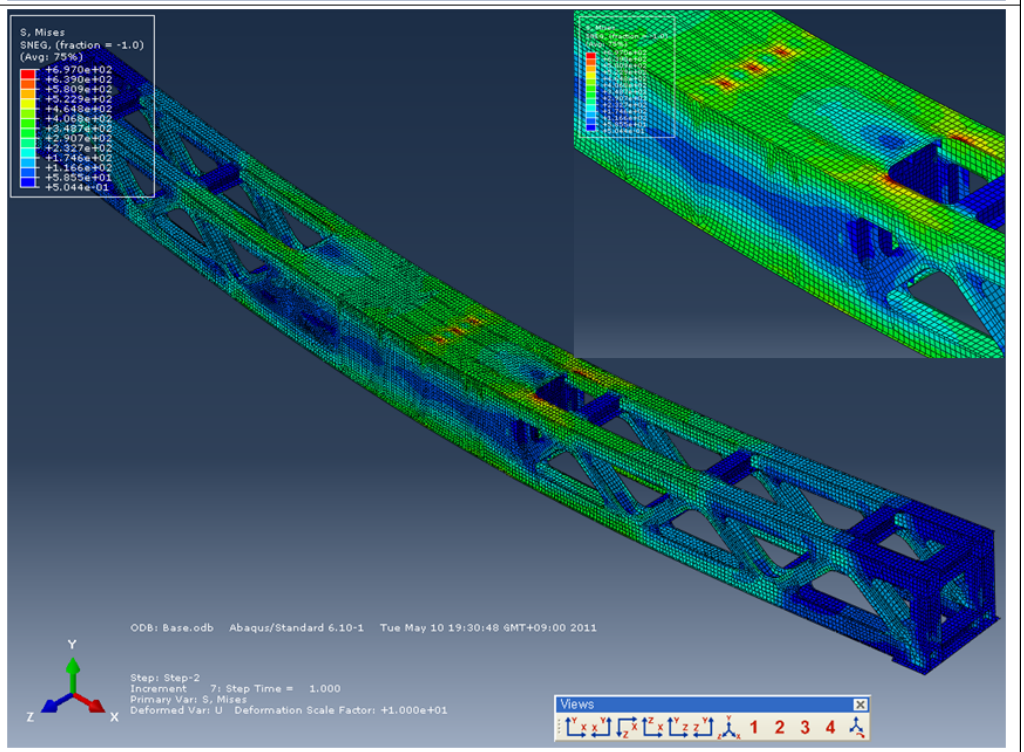


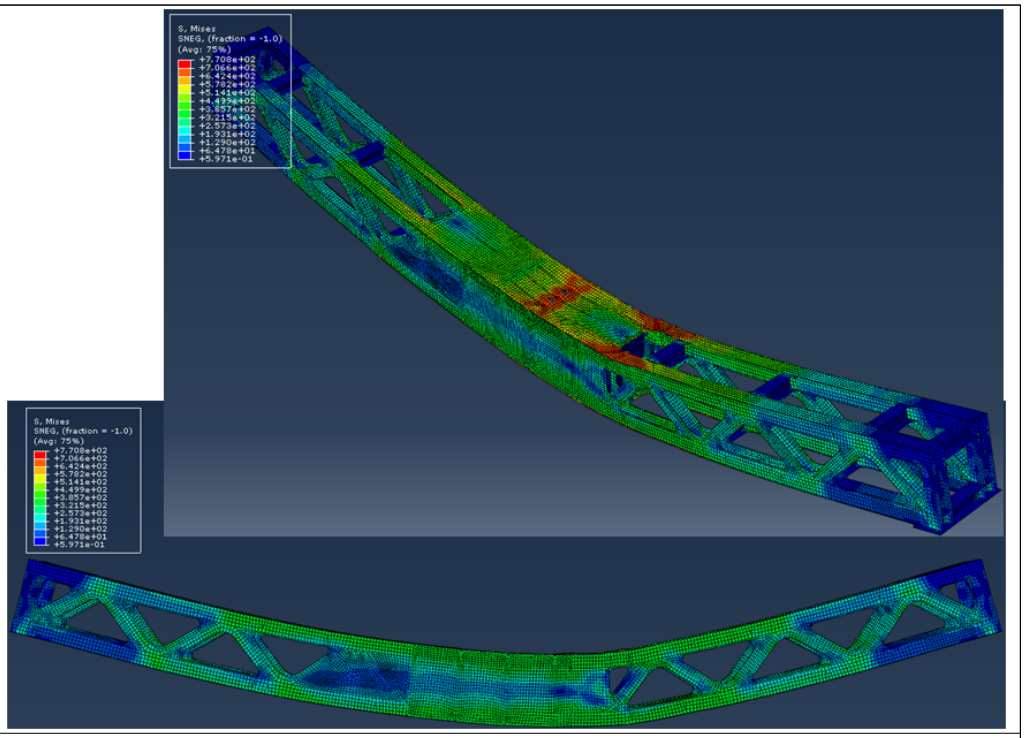
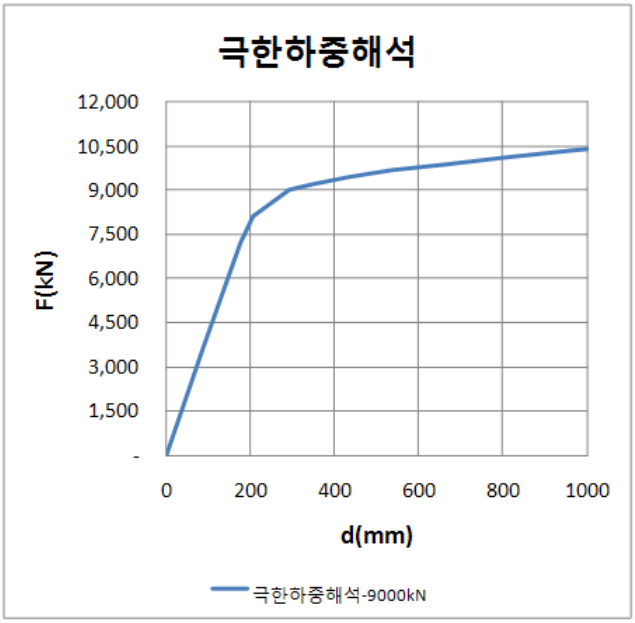
5.2. 해석모델링 및 결과

(1) 해석모델1: 시험체 해석

(가) 모델링 개요: HSB800&SM490B의 하이브리드 구조

(나) 하중재하: step1(강재자중), step2(가력하중6000kN재하)

해석모델	
STEP1 자중재하 (약480kN)	
STEP2 가력 (6000kN)	

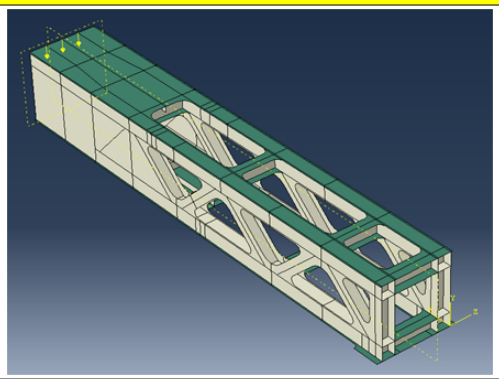
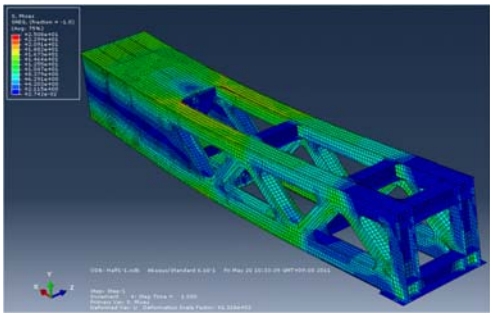
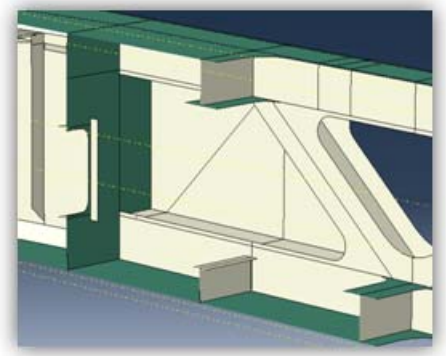
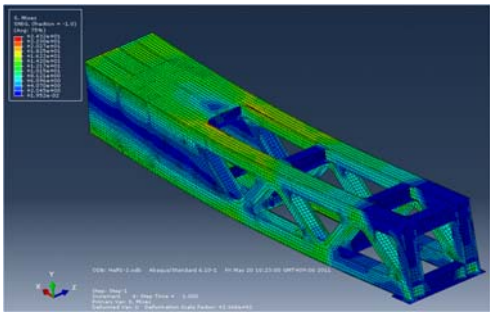
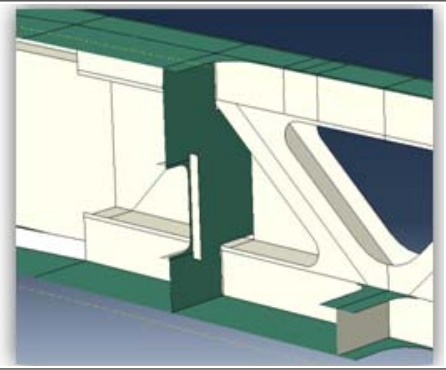
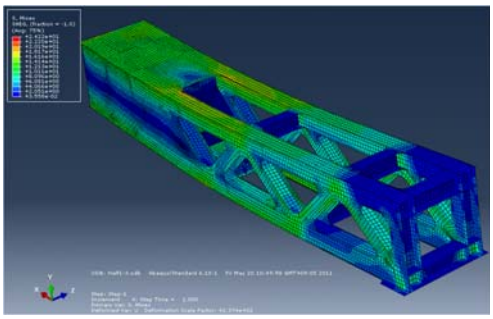
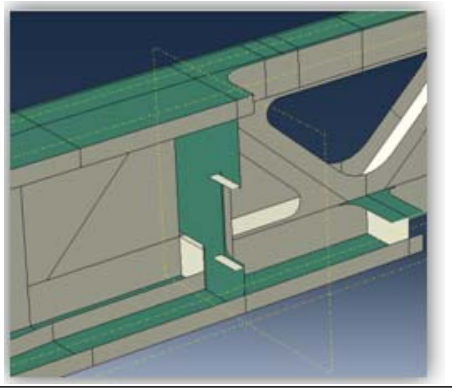
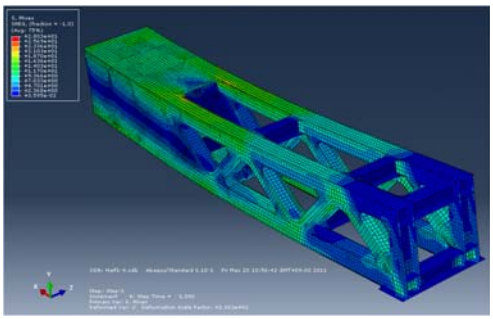
극한하중 해석 (9000kN)	
비선형 해석결과	
응력집중	1) 극한하중이 약 10,000kN으로 나타남 2) 최대집중응력은 697MPa(상세2, 상현재 round부분) 3) 최대변위: 145mm

(2) 해석모델2~5:강상자와 트러스의 중첩배치

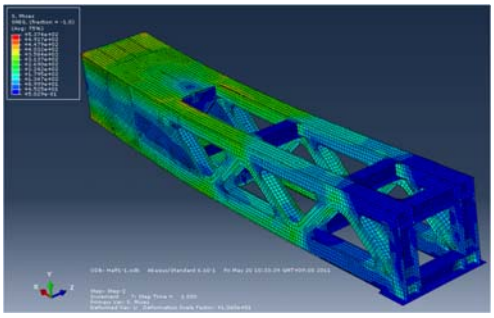
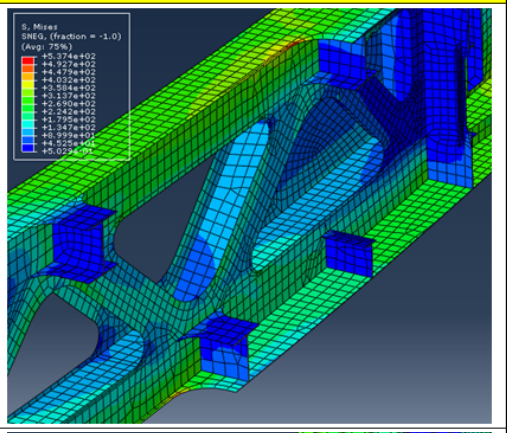
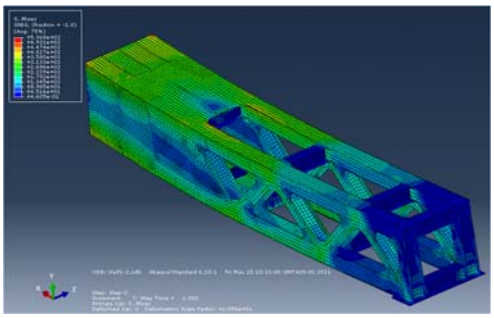
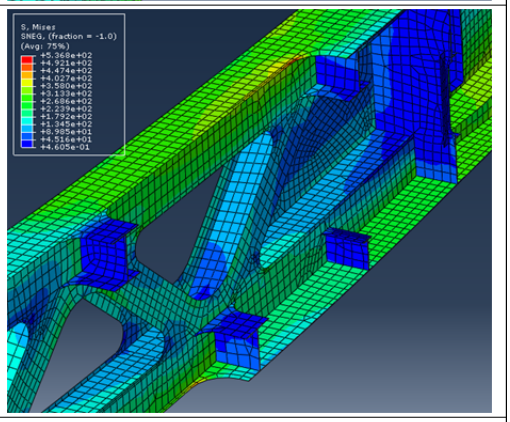
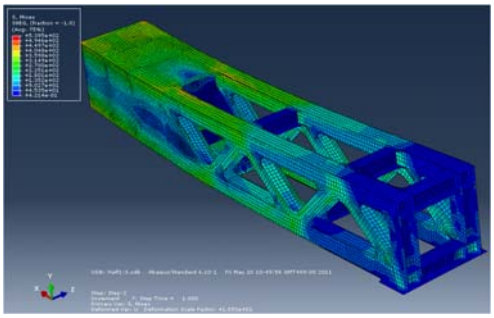
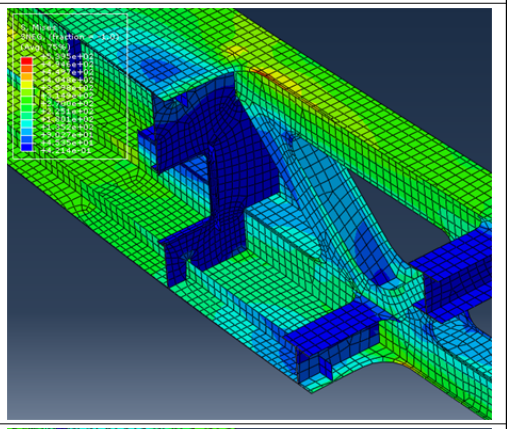
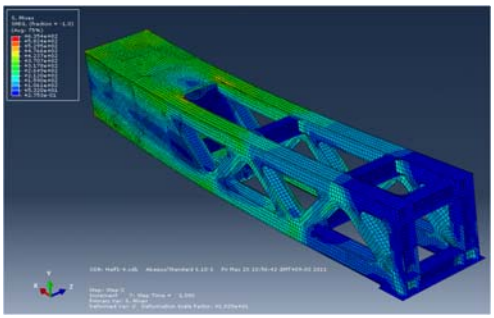
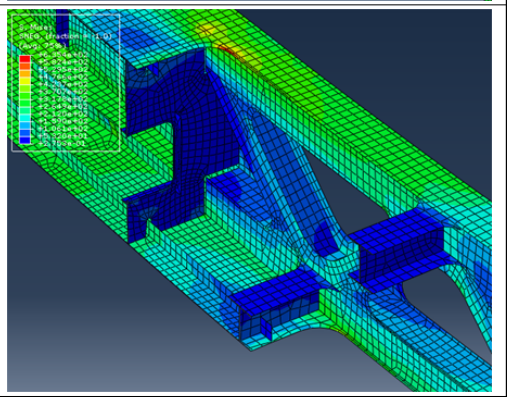
(가) 해석모델개요

해석모델2	기본모델링
해석모델3	중첩구간 사재1개 삭제
해석모델4	다이아프램을 단부쪽으로 이동
해석모델5	상/하형재 중첩길이 감소

(나) 모델링 및 STEP1(강자중)

구분	모델링	STEP1: 자중재하
해석모델2		
해석모델3		
해석모델4		
해석모델5		

(다) STEP2(3000kN재하)

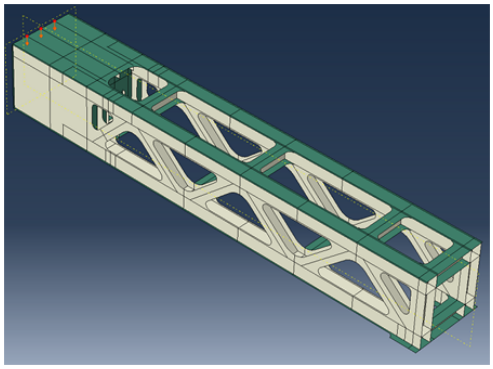
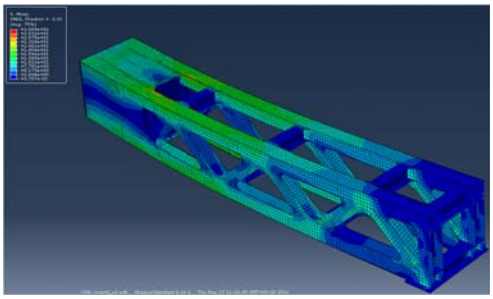
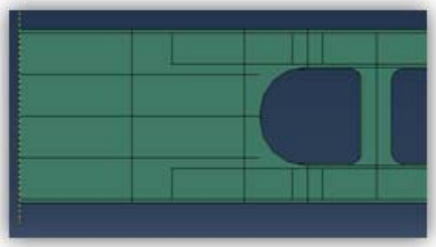
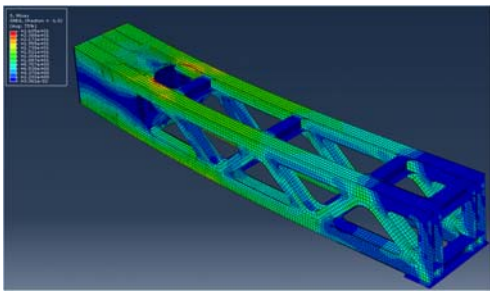
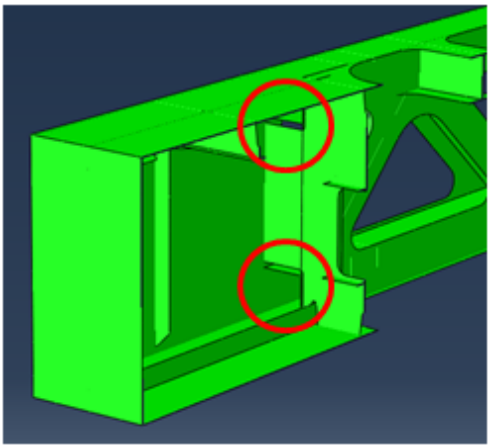
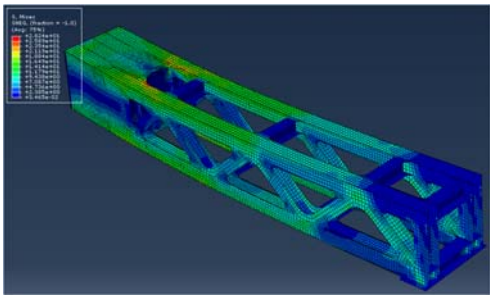
구분	STEP2: 전체모델	STEP2: 접합부
해석모델2		
해석모델3		
해석모델4		
해석모델5		

(3) 해석모델6~8:강상자구간에 보강재 배치

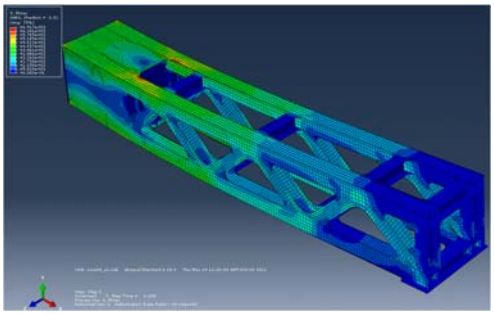
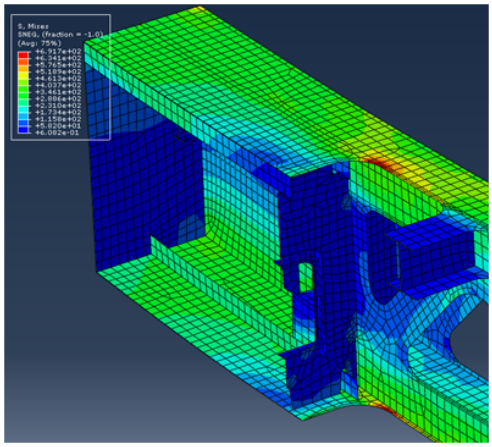
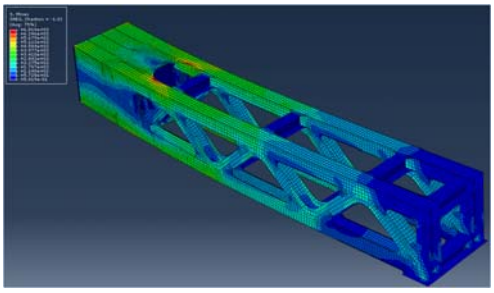
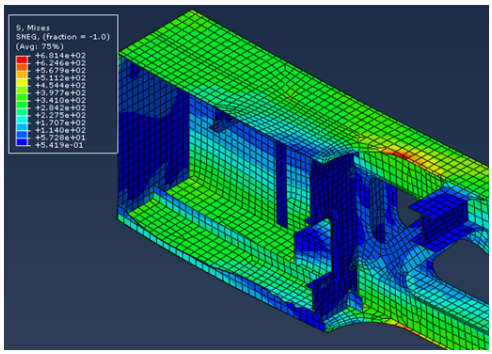
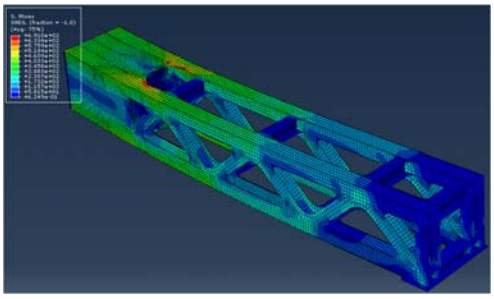
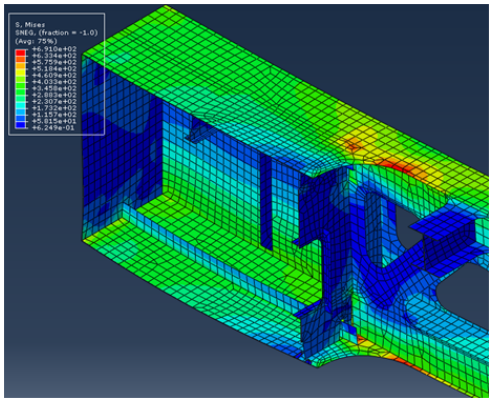
(가) 해석모델개요

해석모델6	강상자와 현재 연결부 R=300mm적용
해석모델7	강상자와 현재 연결부 R=600mm적용
해석모델8	상/하현재 근입깊이 짧게(격벽위치까지) R600m적용

(나) 모델링 및 STEP1(강자중)

구분	모델링	STEP1: 자중재하
해석모델6		
해석모델7		
해석모델8		

(다) STEP2(3000kN재하)

구분	STEP2: 전체모델	STEP2: 접합부
해석모델6		
해석모델7		
해석모델8		

5.3. 상세해석 결론

(1) 시험체의 극한하중은 약 1000톤 수준임

(2) 동일하중 작용 시 상세 1만을 갖는 거더형태가 보다 Stiff한 거동을 보임

(3) 응력집중부: 상세 1과 상세 2 모두 트러스 상하현재와 강박스 간 연결부에서 응력집중이 발생함

- 상세 1: 국부 집중응력의 최대값과 거더 중앙부 최대 모멘트부 응력의 최대값이 유사
- 상세 2: 국부 집중응력의 최대값이 전체 거동에 의한 응력보다 매우 크게 나타남

→ 상세 1이 보다 적합한 연결상세임

(4) (상세 1) 강상자에 삽입되는 트러스 부재의 사재는 응력/변위 측면에서 구조거동에 영향이 없음

(5) (상세 1) 강상자 내 트러스 삽입부의 격벽위치는 응력/변위 측면에서 구조거동에 영향이 없음

→ 다이아프램은 시공성을 고려하여 위치 결정

(6) (상세1/상세2) 트러스 상하현재 근입깊이를 작게 할 경우 급격한 강성차이에 의해 집중응력/변형 증가

→ 상하현재의 적당한 근입깊이 요구됨

(7) 해석상 최적상세: 상세 1에서 (1) 삽입 트러스 사재 삭제 (2) 격벽을 약간 밖 쪽으로 이동 (해석모델 2-(3))

→ 2의 결과와 비교할 때 강상자의 복부를 트러스 부재 일부까지 확장함으로써 구조성능을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 평가됨

6. 정적실험 및 피로실험

6.1. 정적실험 주요착안사항

(1) 접합상세별 응력흐름 파악

(가) 상세1: 중첩구간의 위치별 응력전달 흐름 파악(게이지 50EA)

(나) 상세2: 보강재에 작용하는 응력파악(게이지 48EA)

(2) 박스구간의 응력흐름 파악

(가) 하중재하점 근처의 박스구간 및 하이브리드 구조 접합부의 응력흐름 파악

(나) 두 개의 서로 다른 접합상세에 따른 거동형태 파악(게이지 40EA)

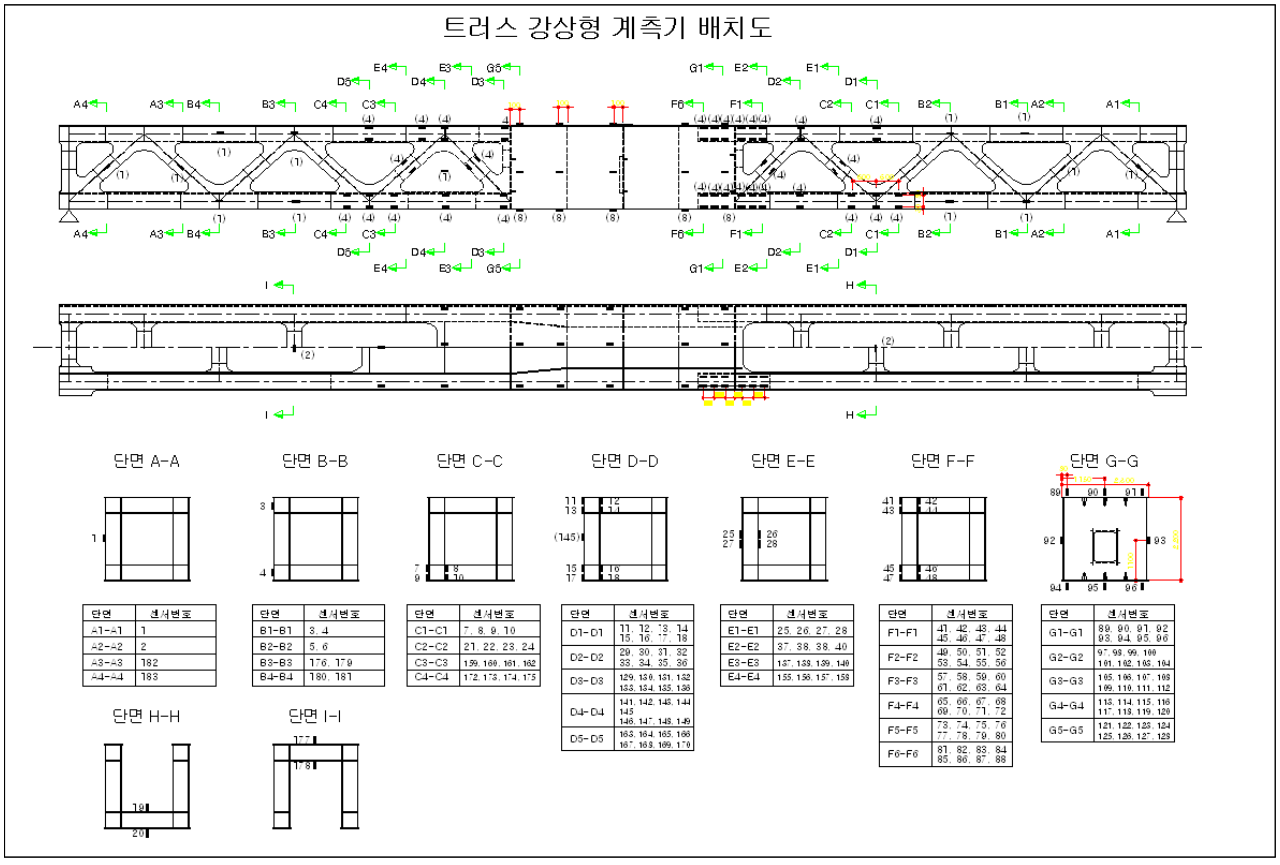
(3) 트러스격점부 응력흐름 파악

(가) 트러스 격점부의 힌지거동수준 파악

(나) 격점부응 응력변화 및 트러스 부재의 응력변화 파악(게이지 30EA)

(4) 전체 구조의 응력흐름파악

(가) 트러스 부재마다 붙인 게이지 활용(게이지 수: 집중부 제외 약20EA)



단면	센서번호
A1-A1	1
A2-A2	2
A3-A3	182
A4-A4	183

단면	센서번호
B1-B1	3, 4
B2-B2	5, 6
B3-B3	176, 179
B4-B4	180, 181

단면	센서번호
C1-C1	7, 8, 9, 10
C2-C2	21, 22, 23, 24
C3-C3	159, 160, 161, 162
C4-C4	172, 173, 174, 175

단면	센서번호
D1-D1	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
D2-D2	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
D3-D3	129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136
D4-D4	141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149
D5-D5	163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170

단면	센서번호
E1-E1	25, 26, 27, 28
E2-E2	37, 38, 39, 40
E3-E3	137, 138, 139, 140
E4-E4	155, 156, 157, 158

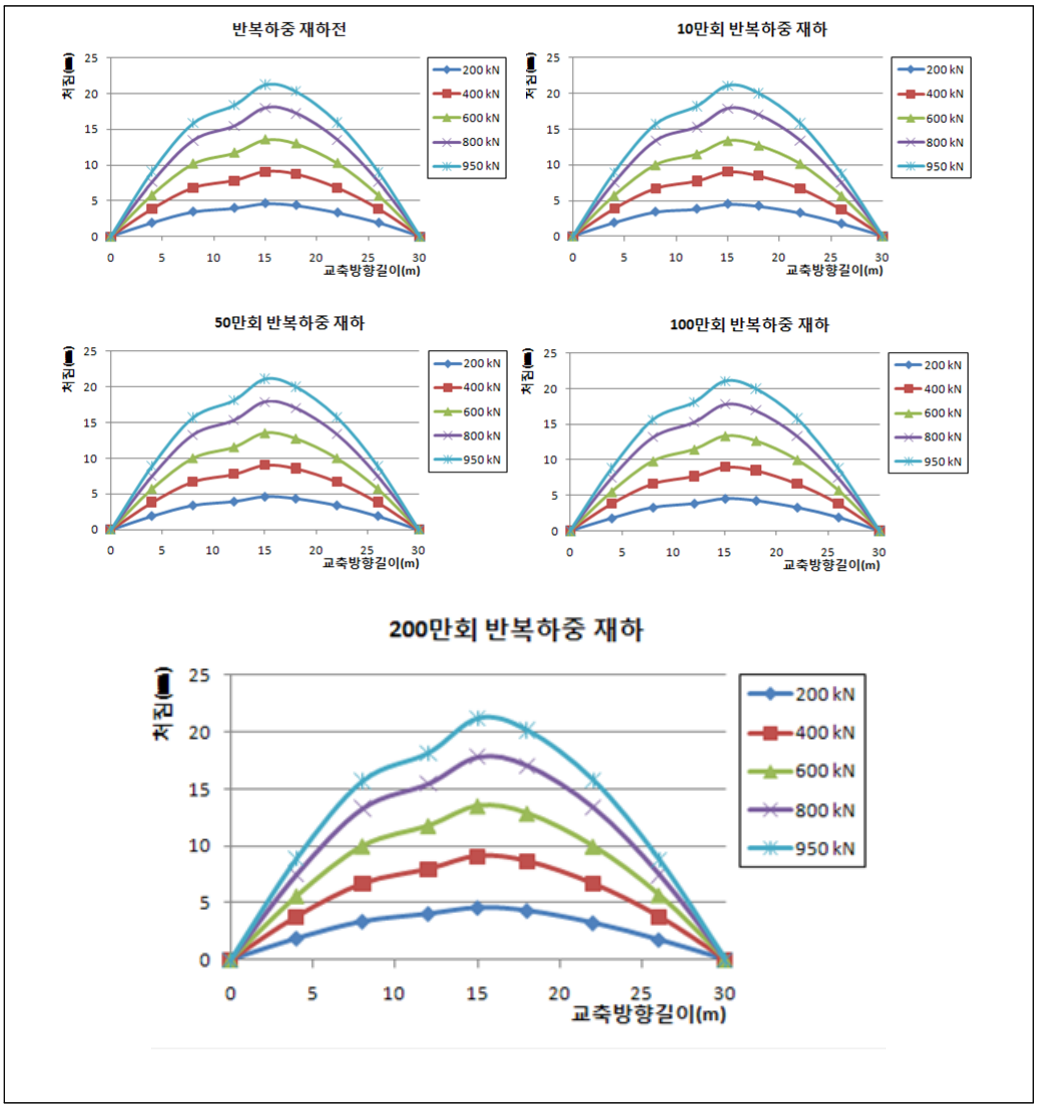
단면	센서번호
F1-F1	41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48
F2-F2	49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56
F3-F3	57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64
F4-F4	65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72
F5-F5	73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80
F6-F6	81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88

단면	센서번호
G1-G1	89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
G2-G2	97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104
G3-G3	105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112
G4-G4	113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120
G5-G5	121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128

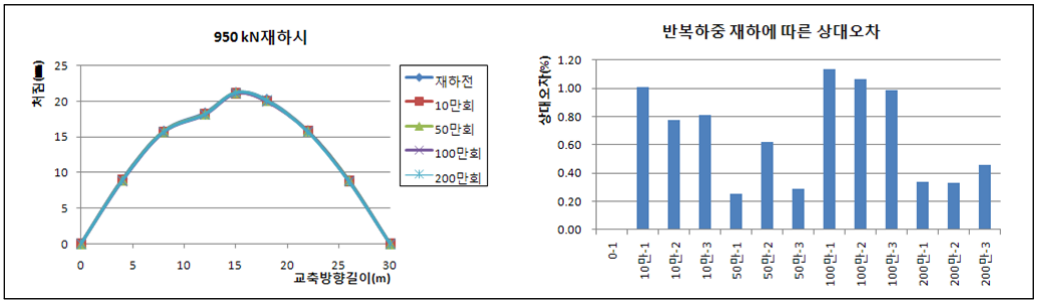
6.2. 실험결과분석

(1) 처짐분석

(가) 처짐형상



(나) 반복하중 재하



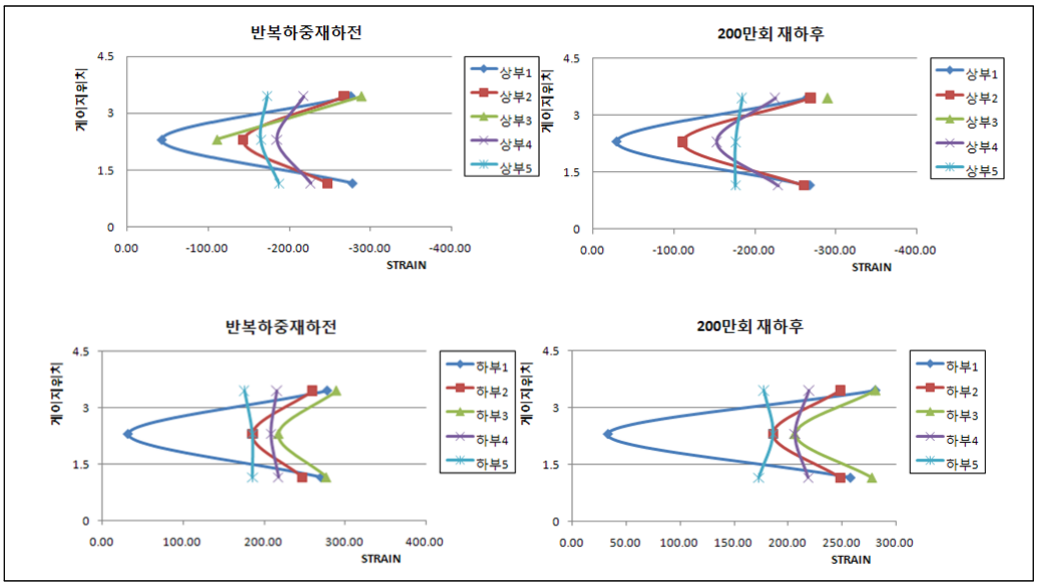
(다) 결과분석

1) 처짐형상 분석결과 “접합상세1”의 강성보강효과가 뛰어남을 확인할 수 있다.

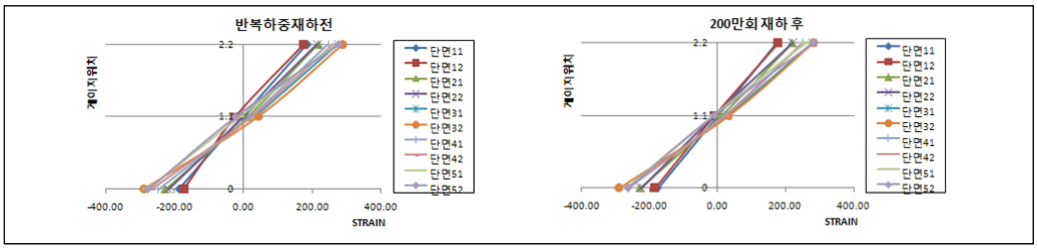
2) 반복하중에 따라 중앙부 최대처짐을 비교한 결과 특별한 경향성 없이 차이를 나타내고 있지만, 반복하중 재하전의 값과의 상대오차를 산정한 결과 1.0%내외의 값을 보이므로, 반복하중에 의한 강성저하는 미미한 것으로 확인할 수 있다.

(2) 박스부 응력분석

(가) 플랜지 응력



(나) 단면내 변화

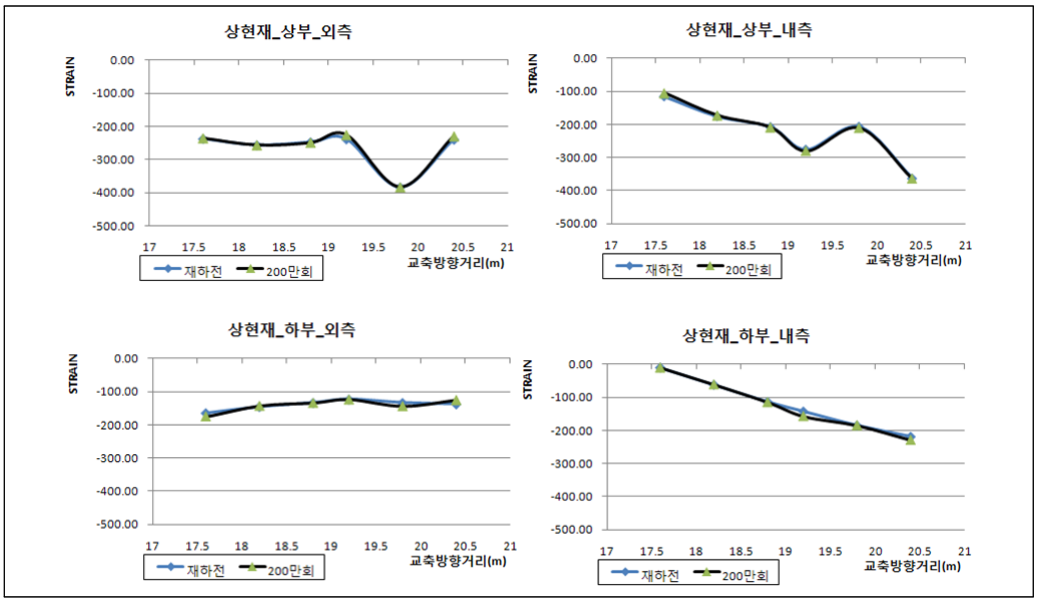


(다) 결과분석

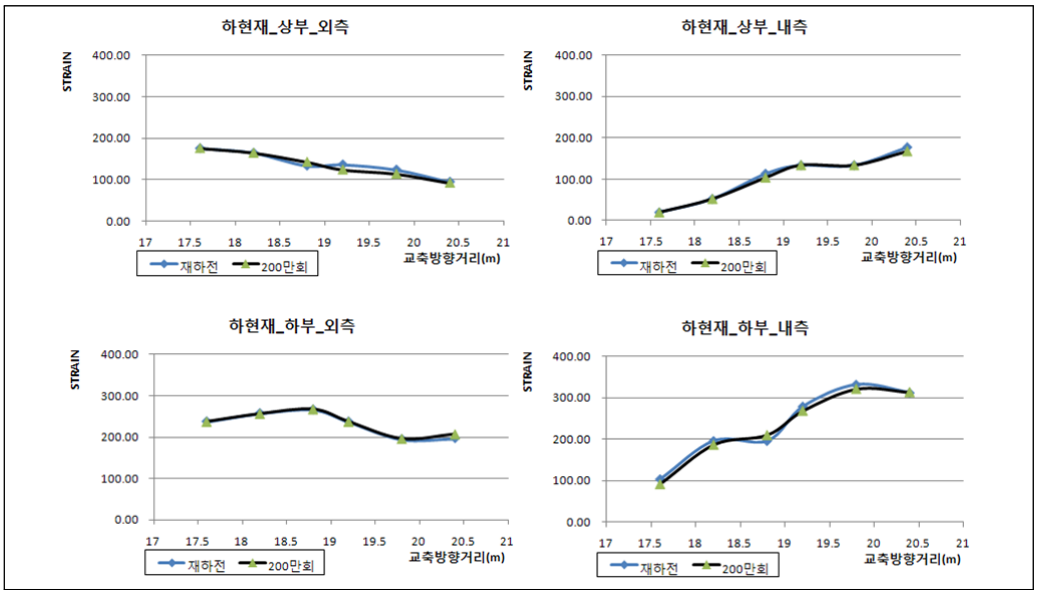
1) 반복하중에 따른 강성저감 효과는 미미함
2) 중앙부(상부3, 하부3)은 집중하중이 재하되는 부위이므로 상부플랜지에서의 변형률 경향은 참고값으로만 사용
3) 접합상세1의 경우 현재가 양측에 강성이 큰 현재가 있으므로 전단지연효과가 크게 나타나, 측부의 게이지에서 중앙부보다 큰 값을 나타냄을 확인할 수 있다.
4) 접합상세2의 경우 전단지연효과가 미미함을 확인할 수 있다.
5) 연직방향변화는 전형적인 휨거동을 나타내고 있으며, 반복하중에 따른 강성저하는 미미하다.

(3) 보강부 응력분석

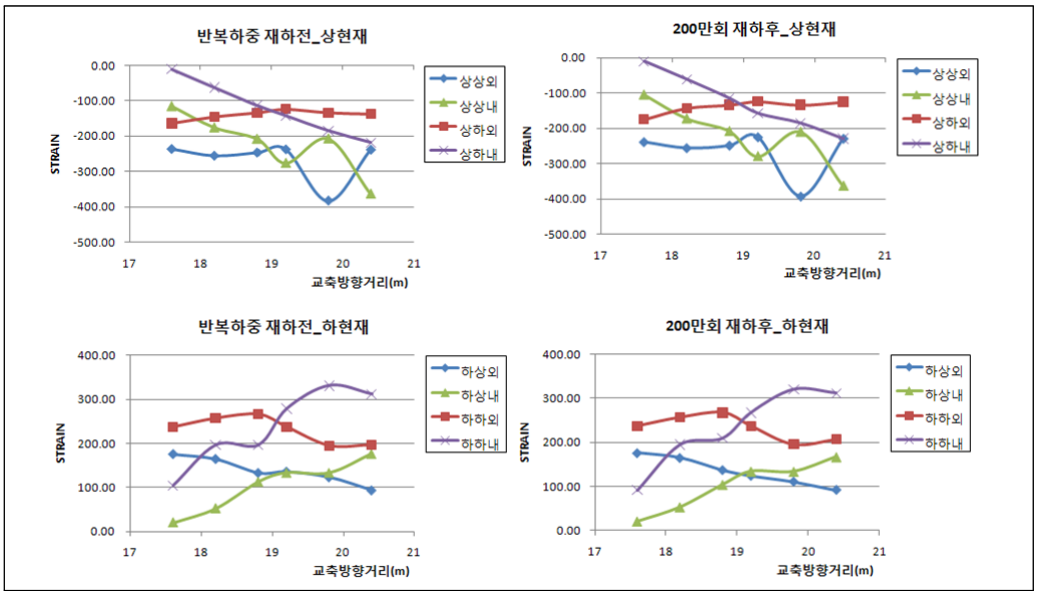
(가) 상현재 보강



(나) 하현재 보강



(다) 일괄표현



(라) 결과분석

1) 전체적인 응력거동은 보강부의 전형적인 응력거동을 보인다.

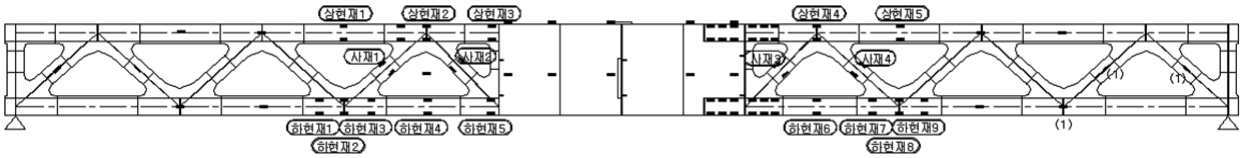
① 외측의 경우 중앙부의 응력에 비해 현재부의 응력이 작지 않음을 볼 수 있고, 격점부의 응력은 단부로 갈수록 줄어드는 경향이 아닌 격점부의 거동을 보인다.

② 내측의 경우에는 보강부가 끝나갈수록 급격히 응력이 감소하는 경향을 보인다.

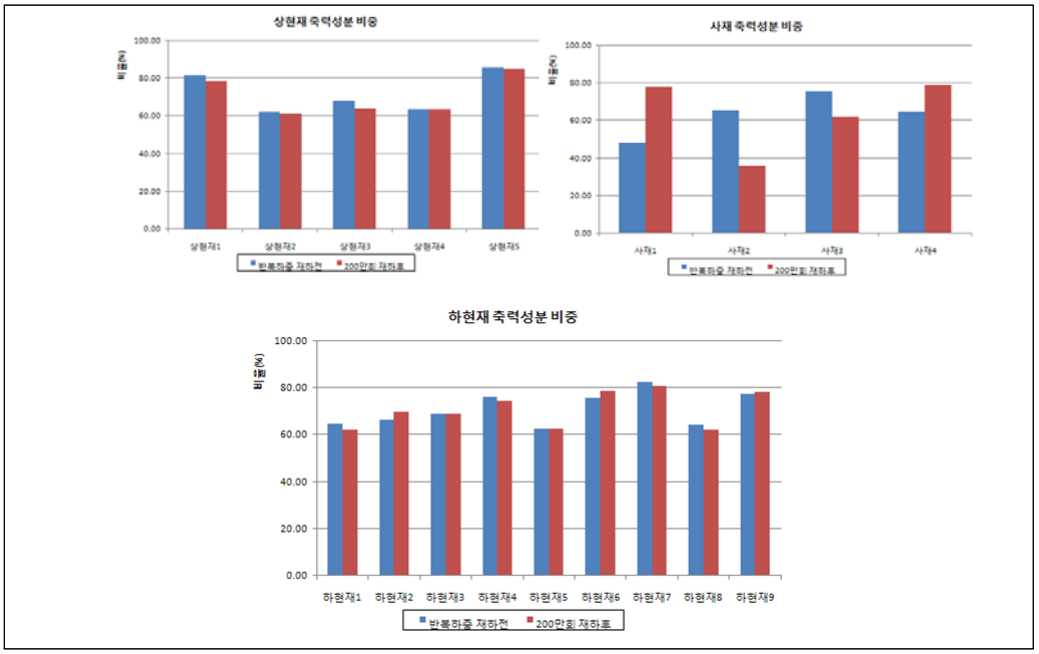
2) 반복하중 재하에 따른 강성저하는 미미하다.

3) 하현재에 비해 상현재에서 응력집중부가 발생하는 것은 사재의 방향에 따른 영향인 것으로 생각된다.

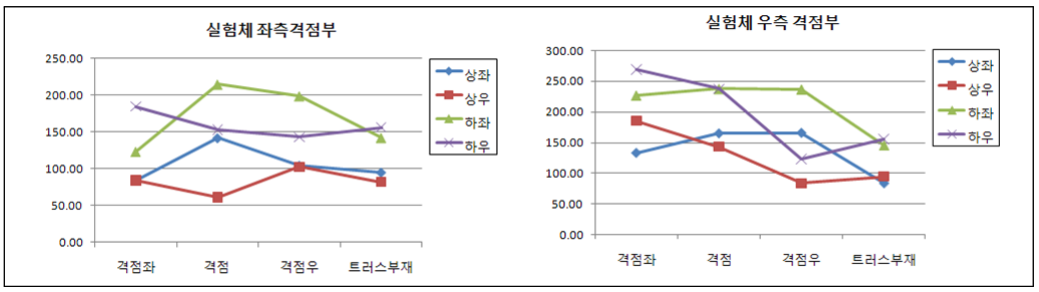
(4) 트러스부재



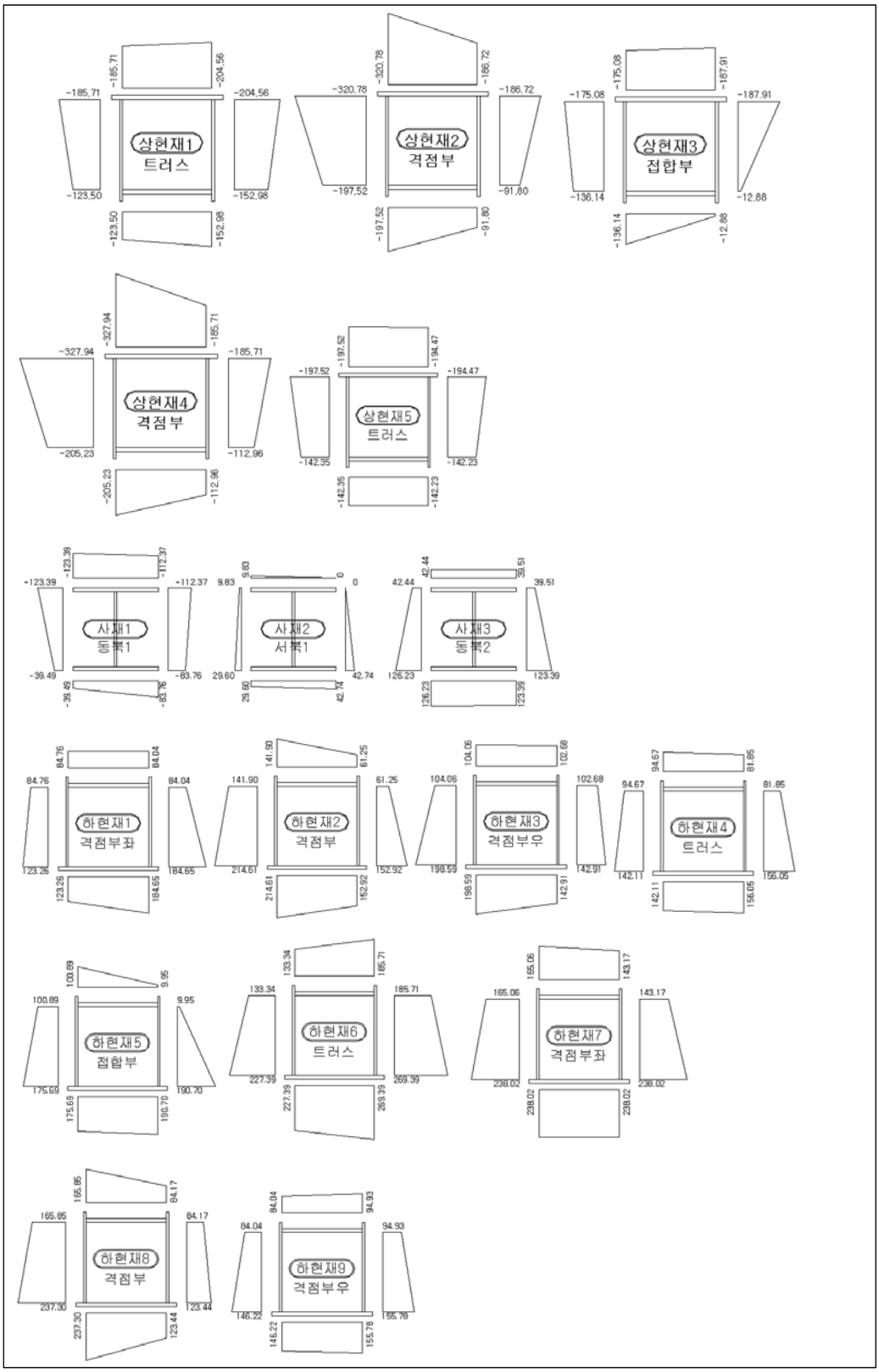
(가) 축방향성분비율



(나) 격점부 응력변화



(다) 현재별 응력분포도

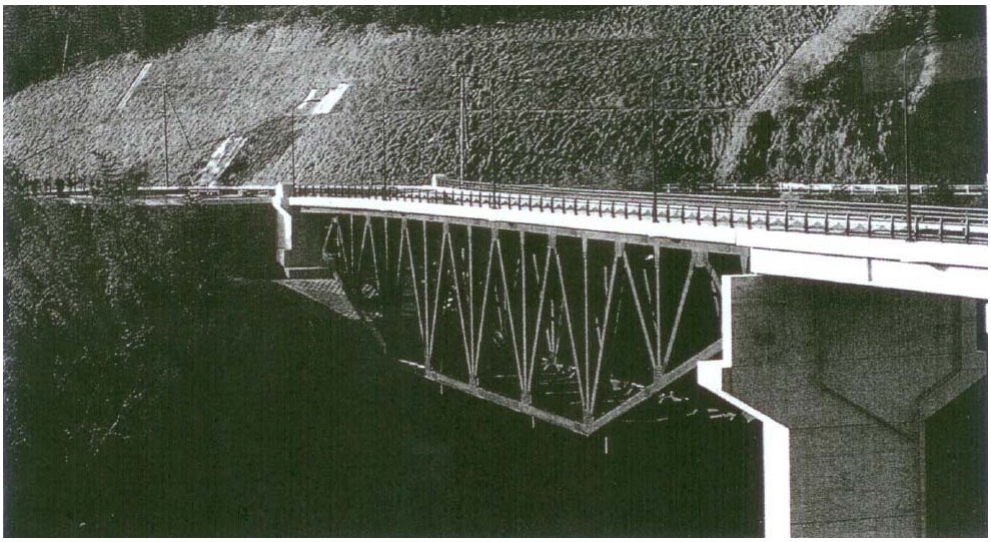
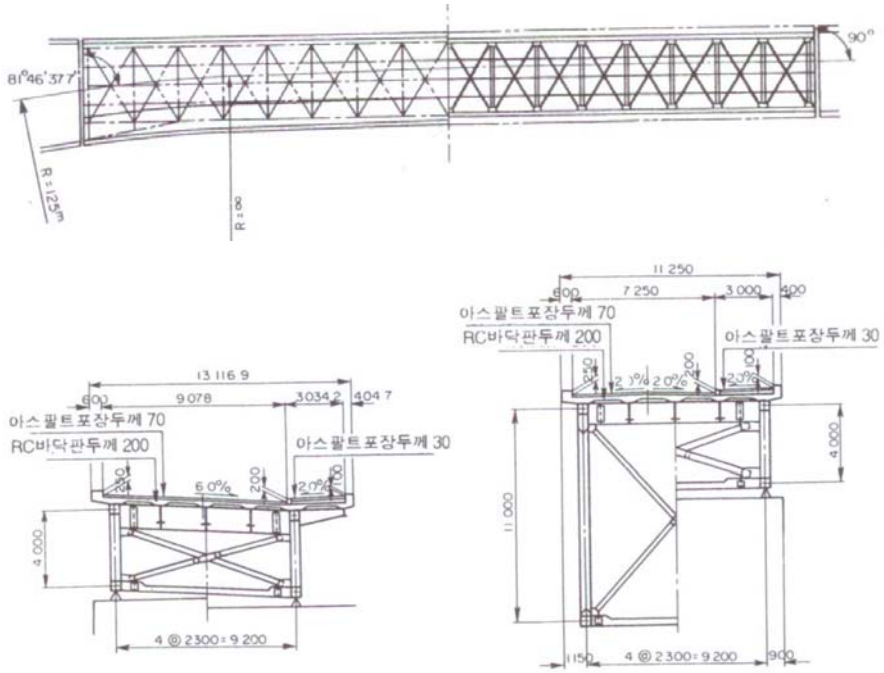

상현재1
트러스
상현재2
격점부
상현재3
접합부
상현재4
격점부
상현재5
트러스
사재1
동북1
사재2
서북1
사재3
동북2
하현재1
격점부좌
하현재2
격점부
하현재3
격점부우
하현재4
트러스
하현재5
접합부
하현재6
트러스
하현재7
격점부좌
하현재8
격점부
하현재9
격점부우

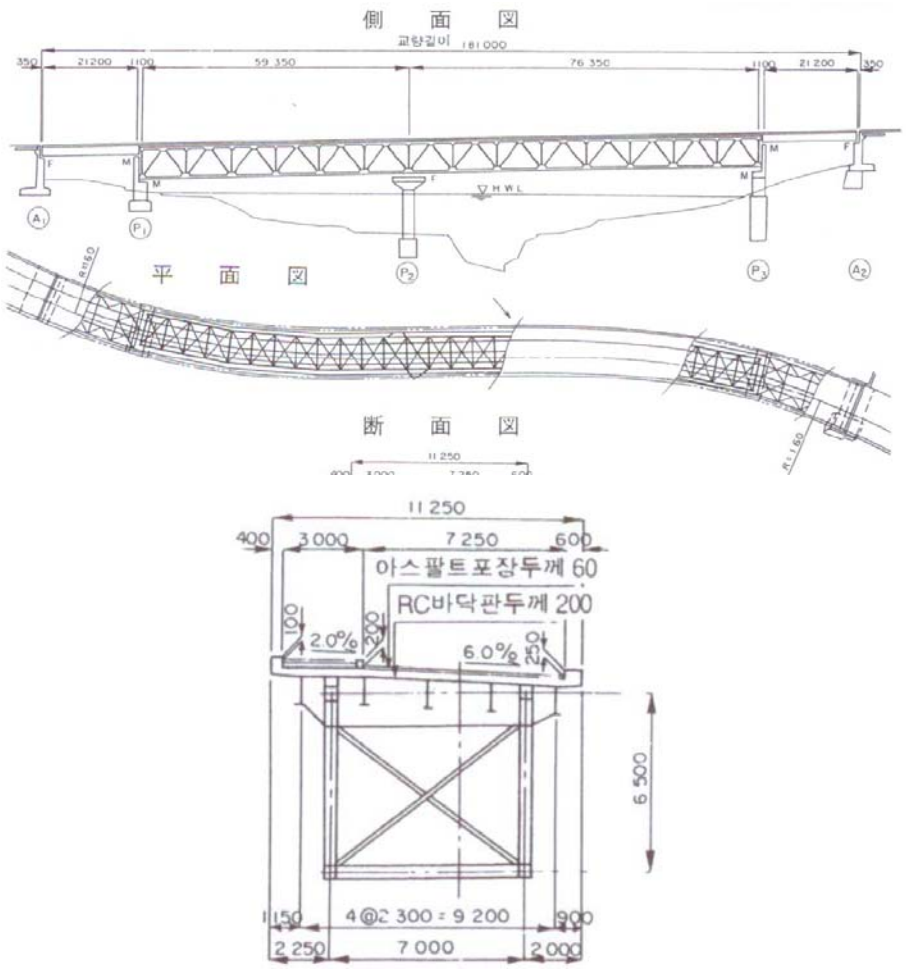
(라) 결과분석

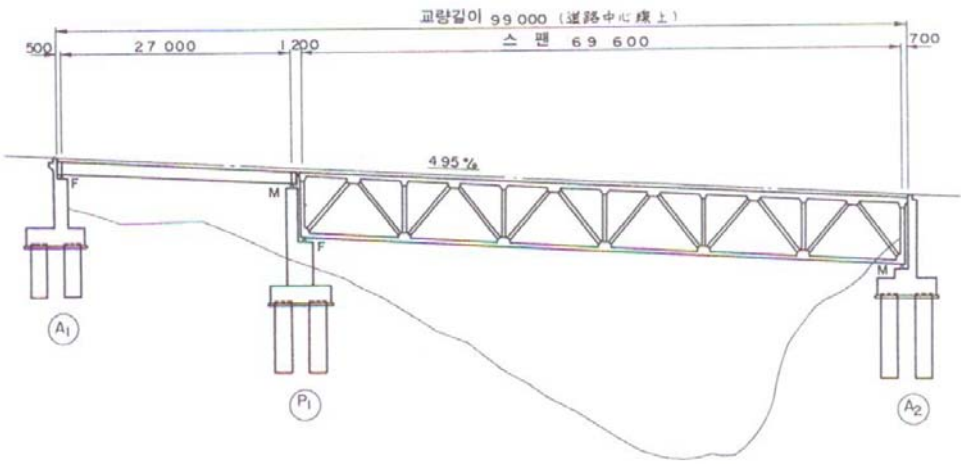
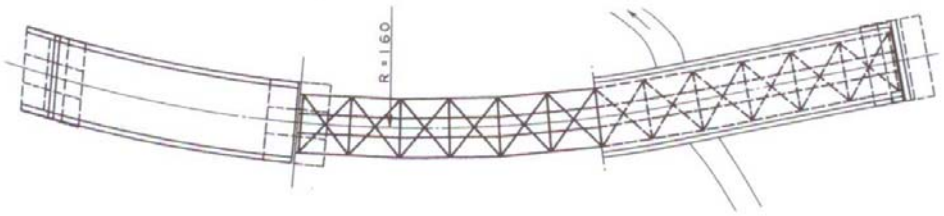
1) 최대응력대비 축방향성분의 비는 현재에서는 60%이상으로 나타났으며, 사재에서는 그 이하의 값을 나타냄을 알수 있다.
2) 현재의 경우 격점부에서는 축방향응력 성분비가 60%에 가까운 값을 나타내고, 트러스의 부재의 중앙부에서는 80%이상의 축력비중을 가지므로 트러스 설계에 있어서 보다 우수한 정확성을 확보하기 위해서는 트러스를 프레임부재로 고려하는 것이 적절한 것으로 판단된다.
3) 현재에서는 반복하중 재하에 따른 특별한 응력저하가 나타나지 않았으나, 사재에서는 반복하중을 재하하고 난 다음에는 사재2의 비중이 현저하게 줄어든다는 것을 파악할 수 있다.
4) 격점부는 응력의 분포가 급격하게 변하여 트러스부재로 넘어감에 따라 일정해지는 형상을 보이고 있다.
5) 연직방향 트러스 부재에서는 연직방향 휨성분이 거의 없지만, 격점부에서는 연직방향 휨성분이 존재하게 되는데, 이는 격점부마다 설치된 가보로의 영향인 것으로 판단된다.

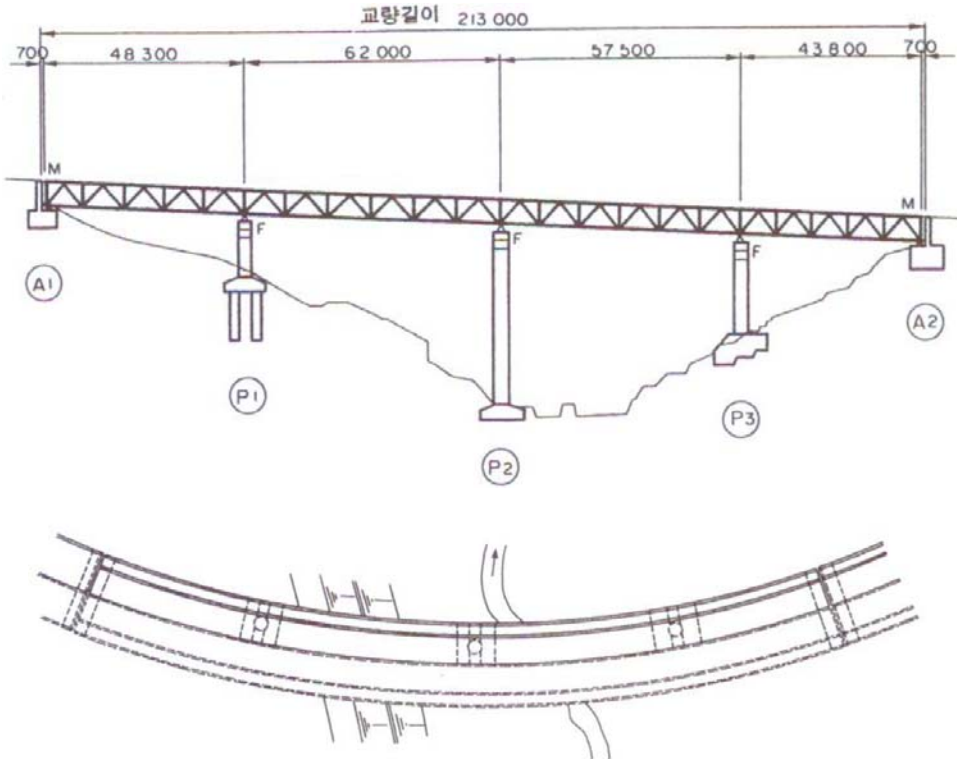
7. 곡선교적용성 연구(트러스교량의 곡선교 적용사례, 일본)

교량명	종류	도로/철도	교량 길이	스팬분할	교량 폭원	평면 곡률	설계 하중
쓰바키대교	단순교	도로	90.0	88.7	차도:7.25 보도:3.00	125	B 활하중
나카히라 2호교	연속교	도로	181.0	21.2+ (59.4+ 74.6)+ 21.2	차도:7.25 보도:3.00	160	B 활하중
나가스고가교	하로교	철도	61.4	60.0	철로	225	EA-17
에노쿠시강교	연속교	도로	400.0	(3@52.5)+ (4@60.0)	차도:2@ (9.25)		1등교(TL-20,TT-43)
제3치쿠마가와 강교	하로교	철도	557.1	(81.9+ 82.7+ 81.9) + (102.1+ 103.0+ 102.1)	철로	4000	P-16
코토메대교	연속교	도로	316.0	52.5+ (111.3+ 111.3) + 37.5	차도:6.25 보도:1.50	160	1등교 (TL-20)
오니가세가와교	연속교	도로	211.0	104.8+ 104.8	차도:12.49		B 활하중
사이카와 강교	하로교	철도	364.0	(68.0+ 88.0+ 68.0)+ (68.0+ 68.0)	철로	1500	P-16
류구교	단순교	도로	91.0	89.35	차도:5.0 ~10.14	12 20	2등교 (TL-14)
토노하라 2호교	단순교	도로	99.0	27.0+ 69.6	차도:8.0	160	1등교 (TL-20)
이시즈마교	연속교	도로	213.0	48.3+ 62.0+ 57.5+ 43.8	차도:7.50 보도:2.50		1등교 (TL-20)
OJ52공구 고가교	연속교	도로	308.0	81.2+ 111.5+ 113.7	차도:2@8.0		1등교 (TL-20)
카리사카대교	연속교	도로	250.5	4@59.0	차도:15.5		1등교 (TL-20)
아부라자가 3호교	연속교	도로	380.0	(2@32.5)+ (91.0+ 130.0+ 91.0)	차도:13.5		1등교(TL-20,TT-43)
미나미타와라이교	단순교	도로	169.0	95.4+ (35.5+ 35.5)	차도:9.0		1등교(TL-20,TT-43)
카미하카이머프교	단순교	도로	76.0	74.5(북해도)	차도:11.0 보도:3.0	400	-
세리조교	단순교	도로	50.0	49.0	차도:5.0	100	A 활하중
히매카와 중앙교	연속교	도로	211.3	70.0+ 70.0+ 70.0	차도:7.0		1등교 (TL-20)
유센교	연속교	도로	348.0	5@69.3	차도:10.5		1등교 (TL-20)

교량명	쓰바키대교(단순트러스)	체크 여부	
교량 사진			
도면			

교량명	나카히라2호교(연속트러스)	
교량 사진		
도면		

교량명	토노하라 2호교(단순트러스)	
교량 사진		
도면	 	

교량명	이시즈마교(연속트러스)	
교량 사진		
도면		

Ⅱ. 2차년도

1. 설계자동화 프로그램 알고리즘 개발

1.1 프로그램 개요

(1) 대상 구조인 하이브리드 교량(HiTAB)의 조건

1) 박스구조와 트러스구조가 조합된 교량 구조

2) 연속경간 구성

3) 박스거더 구간 및 트러스 구간의 적절한 비율은 구조성능에 많은 영향

4) 하중단계별 저항단면이 변화

5) 운반 및 가설을 위하여 적절한 현장이음부를 설정해야하는 등의 많은 제한조건을 만족시켜야 함.

(2) 프로그램 목표

1) 다양한 조건을 검토를 위한 자동화 프로그램이 개발

2) 개발언어: Visual C#(.net)

3) 운영체제: Windows

1.2 프로그램 특징

(1) 프로그램을 모듈화 하여 각 구조부의 설계가 독립적으로 수행

(2) 각 구조부의 설계가 완료되면 출력된 결과를 확인

(2) 바닥판의 설계에 있어서는 캔틸레버부의 구조형식(보도, 방호벽, 방음벽, 중분대 등)을 input에서 선택하여 다양한 설계조건을 반영

(3) 거더의 설계

1) 설계조건: 교량의 제원 및 사용재료, 설계기준, 구조해석의 방법 선택

2) 거더배치

- 박스구간 및 트러스 구간의 설정이 가능
- 구간 설정 후 차로폭에 적합한 주거더의 개수산정
- 경간 구성단계에 평면선형, 종단선형, 편구배를 고려한 거더의 배치

3) 단면가정: 주거더의 제원 검토, 주거더의 형상검토, 표준단면의 가정, 유효폭 계산

4) 하중횡분배계수: Guyon-Massonnet법 적용

5) 구조해석: 주거더와 가로보, 세로보를 격자형태로 모델링/평면곡선 및 사각효과를 고려한 3차원 모델링

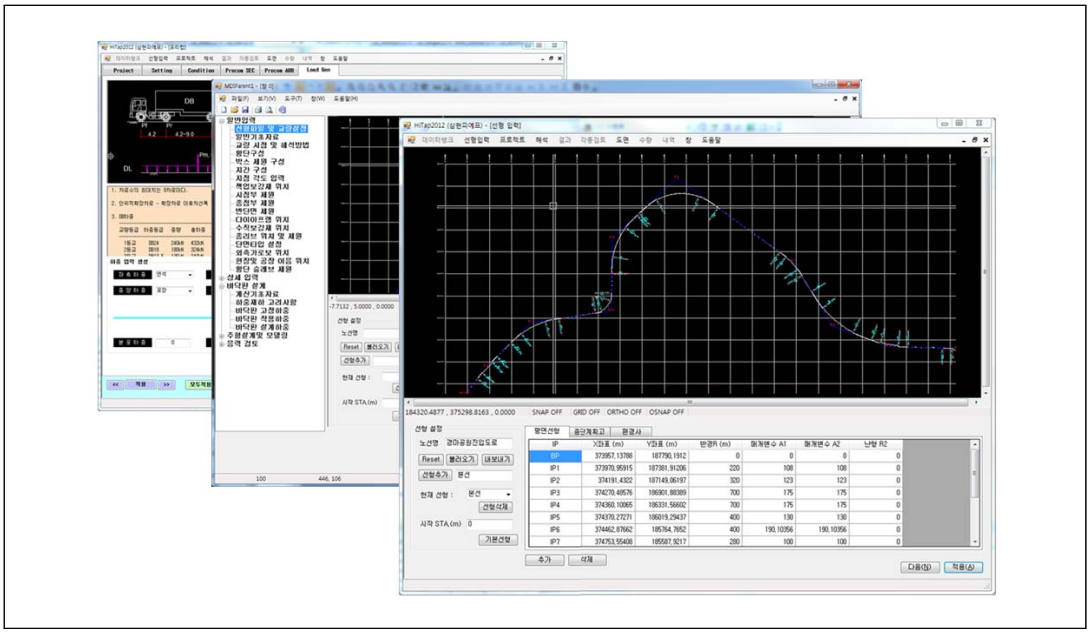
- 각 요소의 단면성질을 계산하여 해석에 반영

  ⇒ 거더가 일부 구간에 대해 변단면을 가질 때 단면의 변화로 인한 거더의 강성의 변화를 해석에 반영

- 활하중은 각 거더에 편심하중으로 재하

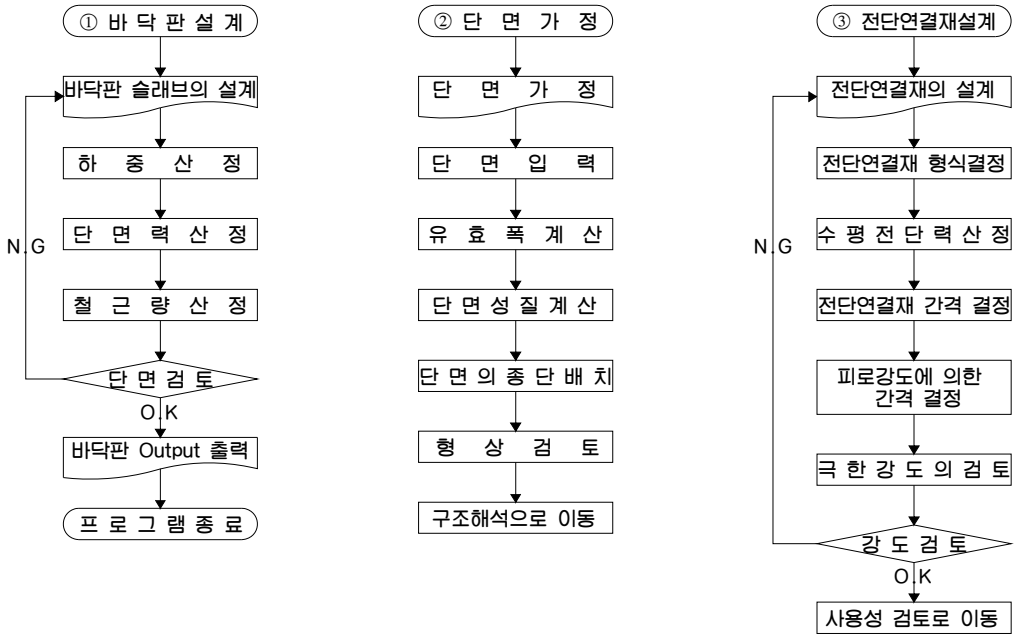
6) 응력계산: 단면의 응력검토는 주요 위치에서 수행되며, 각 위치에서의 단계별 누계응력과 허용응력을 비교 검토

- 합성전 및 합성후 응력 검토는 부재의 국부좌굴 발생 가능성을 고려하여 허용응력은 국부좌굴을 고려한 감소된 허용응력을 적용
- 2차 부정정력(크리프, 온도차, 건조수축)에 의해 산정된 응력을 추가하여 바닥판 콘크리트 및 강재 주거더의 응력검토
- 전단 및 비틀림에 의한 응력의 검토수행
- 휨응력과 전단응력의 합성응력에 대한 검토수행

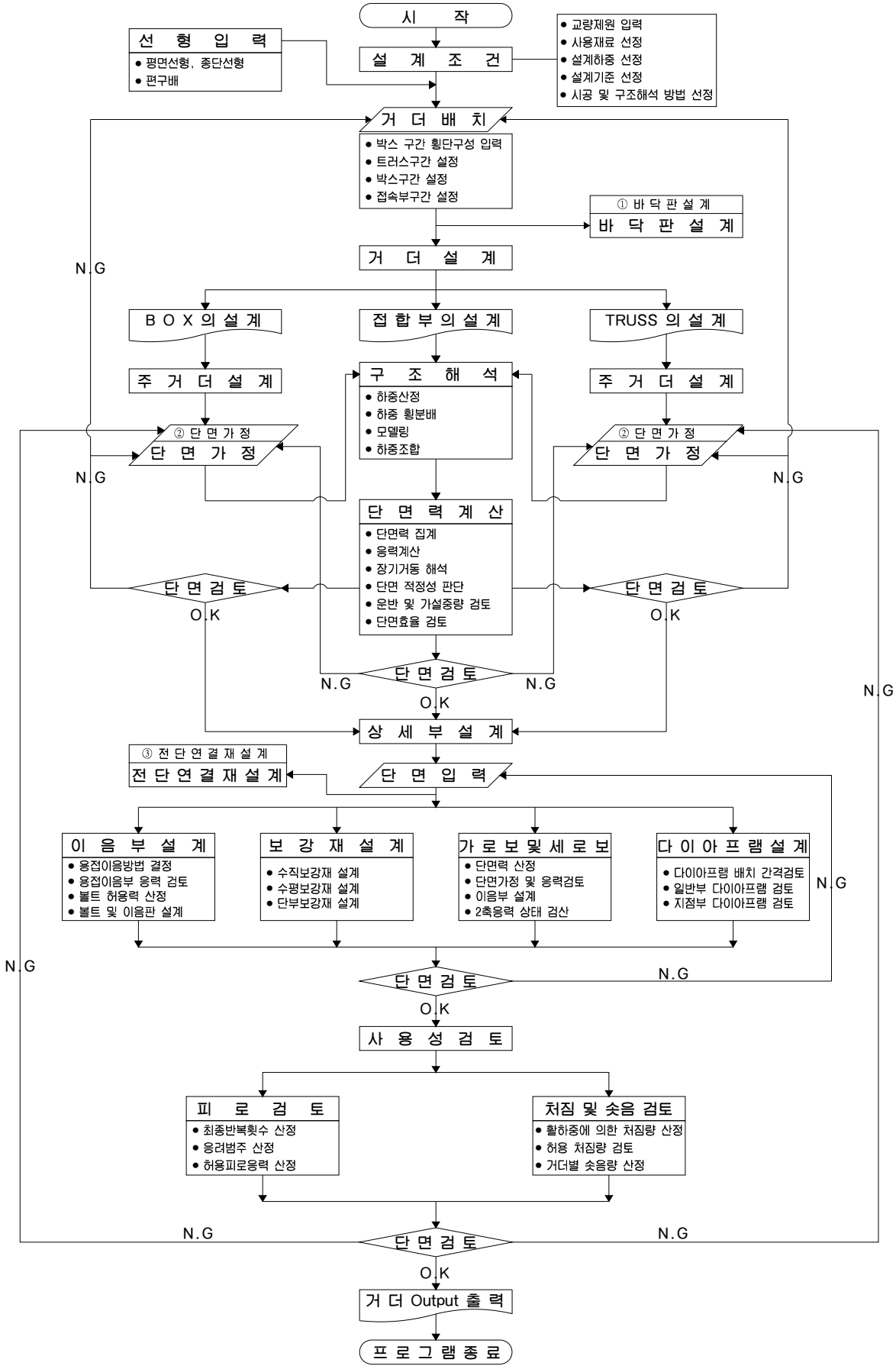


< 자동화 프로그램 GUI - 개발중 >

1.3 프로그램 알고리즘


① 바 닥 판 설 계
바닥판 슬래브의 설계
하 중 산 정
단 면 력 산 정
철 근 량 산 정
단 면 검 토
N.G
O.K
바닥판 Output 출력
프 로 그 램 종 료
② 단 면 가 정
단 면 가 정
단 면 입 력
유 효 폭 계 산
단 면 성 질 계 산
단 면 의 종 단 배 치
형 상 검 토
구조해석으로 이동
③ 전단연결재설계
전단연결재의 설계
전단연결재 형식결정
수 평 전 단 력 산 정
전단연결재 간격 결정
피로강도에 의한 간격 결정
극 한 강 도 의 검 토
강 도 검 토
N.G
O.K
사용성 검토로 이동

HiTAB 자동화 프로그램 알고리즘



2. 교량형식에 따른 비교검토 연구

2.1 설계

(1) 설계기준

1) 스틸박스부 : 생략

2) 트러스부

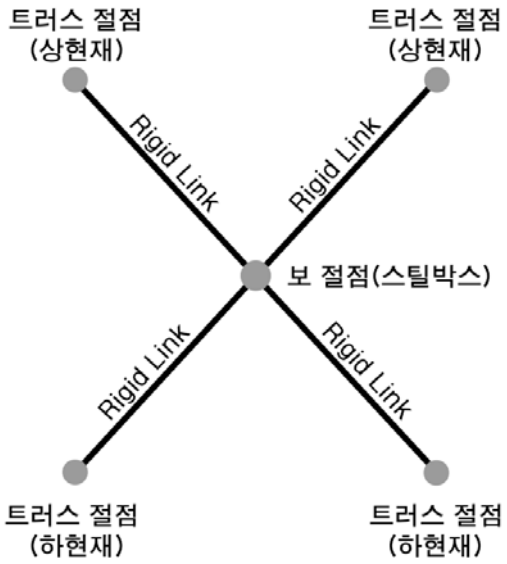
- 부재단면 구성 : 복부판의 단면적은 부재 총단면적의 40% 이상
- 부재단면 구성 : 수직축에 관한 단면회전반경에 대한 세장비는 수평축에 관한 것보다 작아야 함.
- 부재단면 구성 : 트러스 골조선은 단면의 도심과 가능한한 일치하도록 해야함.
- 트러스 부재의 길이는 골조 길이로 한다.

(2) 모델링

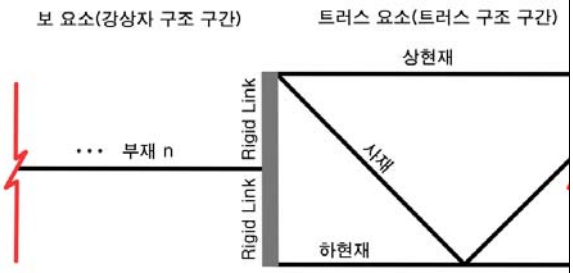
1) 스틸박스는 보요소로 모델링, 트러스는 트러스로 모델링

2) 스틸박스부와 트러스부의 접합은 교번구간에서 이루어지도록 함.

3) 보와 트러스의 접합부 절점은 Rigid link로 연결

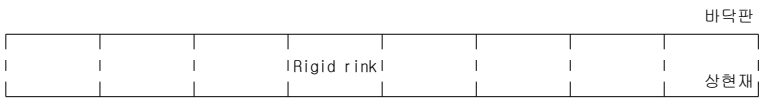


[보와 트러스의 연결]

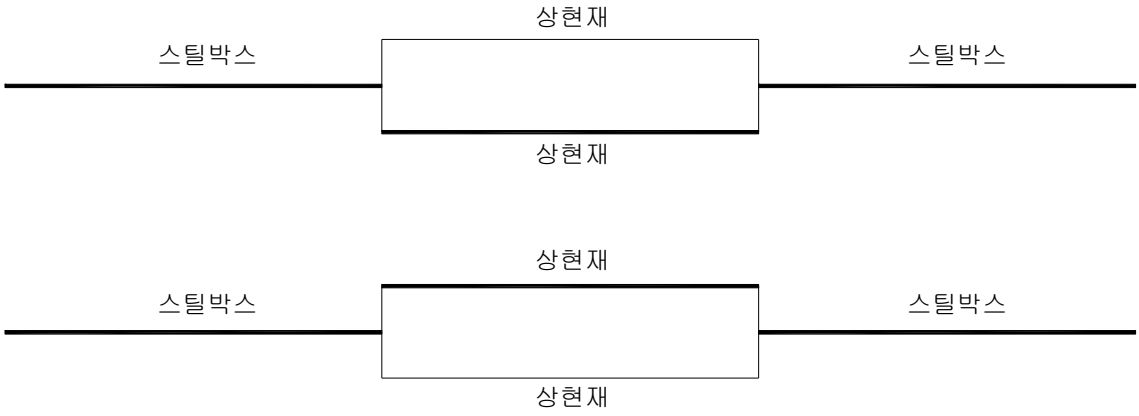


[보와 트러스의 연결]

4) 트러스 상현재와 바닥판을 별도 모델링하지 않고 합성에 의한 하나의 부재로 모델링

구분	바닥판 모델링 방법	적용
Case1		
Case2		○

5) 활하중 차선 재하시 기준 부재



(3) 구조계산

1) 계산서의 구성

- 절점 / 단면 / 횡분배 / 하중산정 / 해석결과정리/ 계산 / 응력검토 / 처짐검토 등
- 해석 : Sap 프로그램
- 매크로 : 약 42개 사용 (반자동화 프로그램)
- 직교, 2경간, 2거더(폭 12.5m 이내)의 경우 적용 가능

2) 스틸박스부

- 기존 스틸박스 계산서 + 축력의 영향을 고려

3) 트러스부

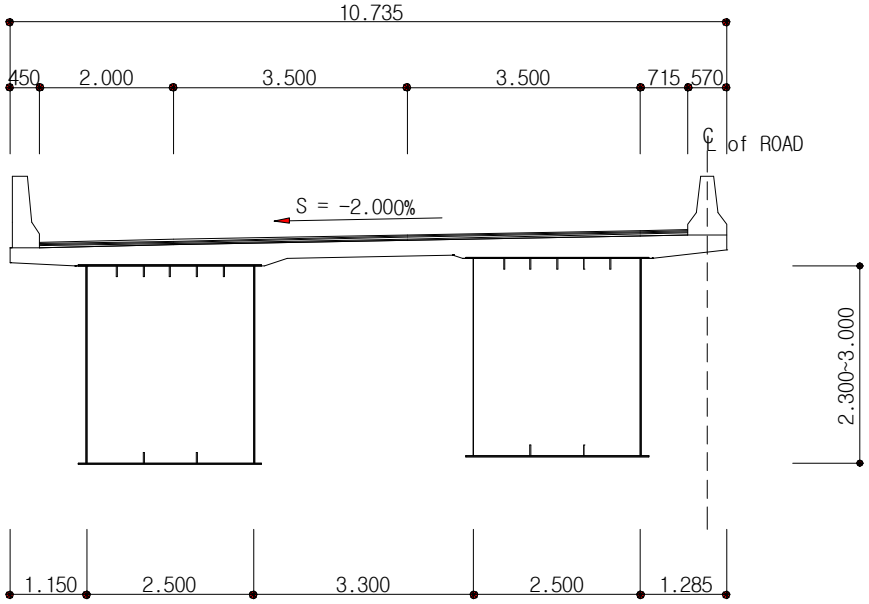
- 상현재, 하현재, 사재, 내측가로보, 가로보, 세로보 등
- 설계기준 사항을 고려하여 작성함.

4) 부모멘트부 주철근 : H22@125mm × 2단 배치

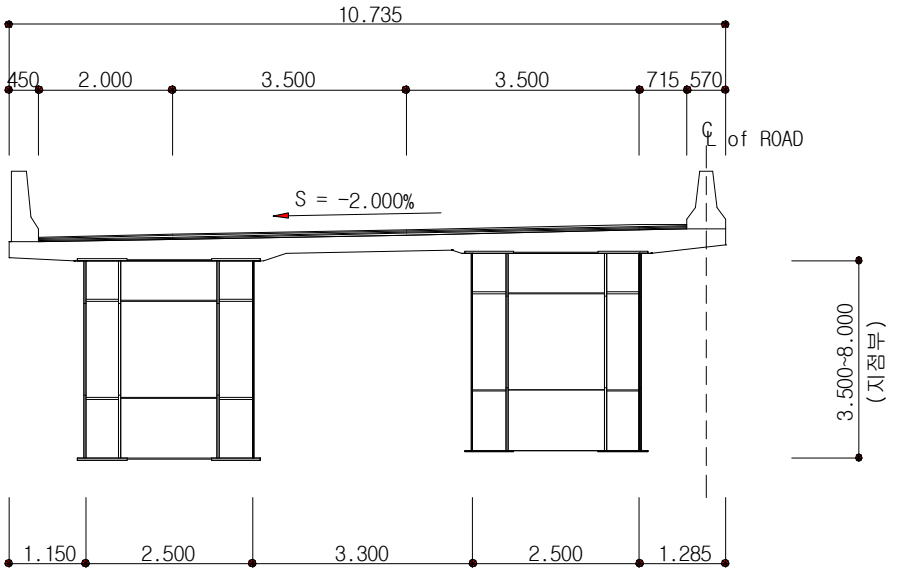
2.2 경간 구성 및 적용단면

(1) 횡단면도

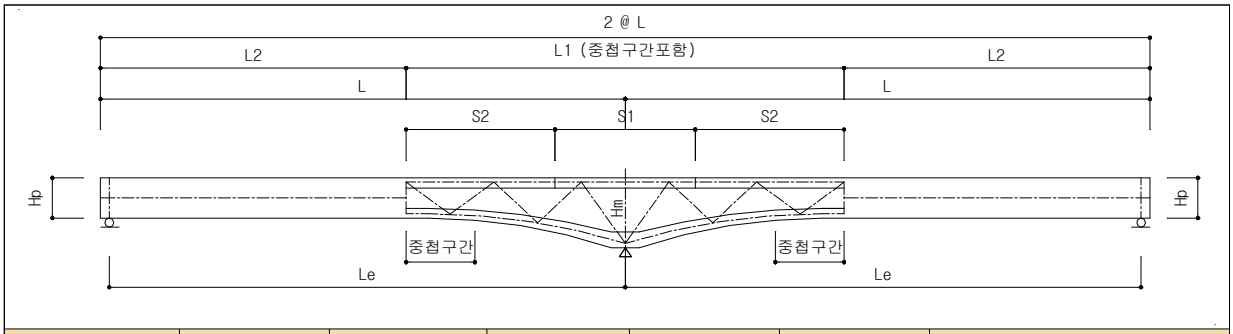
1) 스틸박스부



2) 트러스부

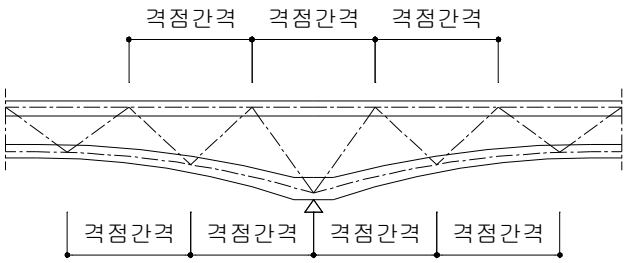


(2) 경간구성



경간	L	Le	L1 (트러스)	L2 (박스)	Hp	Hm	
						HiTAB	스틸박스
2@70m	70m	69.450m	35.0m	52.5m	2.3m	3.5m	3.0m
2@80m	80m	79.450m	45.0m	57.5m	2.5m	4.0m	3.5m
2@100m	100m	99.450m	65.0m	67.5m	3.0m	6.0m	5.5m
2@120m	120m	119.450m	78.0m	81.0m	3.0m	7.5m	7.0m
2@150m	150m	149.450m	105.0m	97.5m	3.0m	8.0m	8.0m

(3) 트러스부 격점 간격



경간	격점간격
2@70m	5.0m
2@80m	5.0m
2@100m	6.0m
2@120m	6.0m
2@150m	6.0m

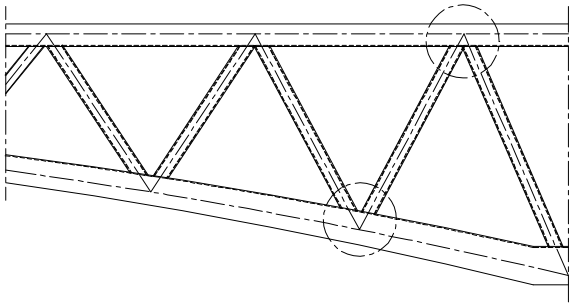
[격점 간격을 넓힌 이유]

정모멘트부 형고와 부모멘트 지점부 형고의 차가 커지면 사재의 기울기가 상당히 가파르게 형성되어 격점부에 사재 배치시 겹침 발생 가능성이 높아짐.

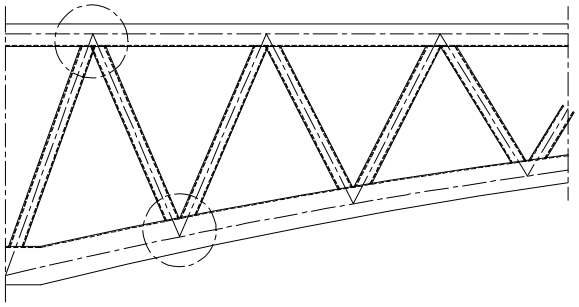
(예) 2@120m : 하부격점부는 만족하나 상부격점부는 사재 겹침 발생

(실제로 설계시에는 격점 간격을 6.0m보다 길게할 필요가 있음)

<격점 6.0m 간격>



<격점 5.0m 간격>



(4) 적용 강종 및 적용 단면

1) 적용강종

경간장	2@70m	2@80m	2@100m	2@120m	2@150m
적용강종	HSB500	HSB500	HSB500	HSB600	HSB800

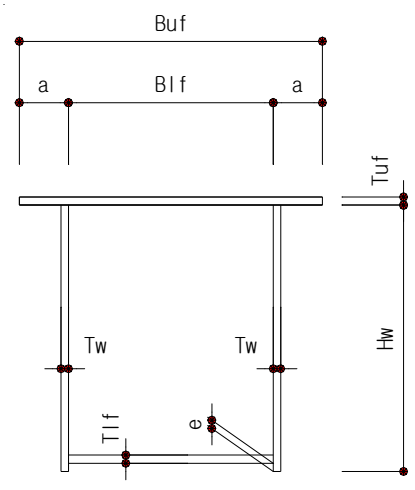
2) 스틸박스 부재

경간장	박스 폭원	형고	tu_max	tl_max	tw	트러스 접합부		
						tu	tl	tw
2@70m	2.50m	2.30m	14㎜	24㎜	12㎜	20㎜	20㎜	16㎜
2@80m	2.50m	2.50m	16㎜	30㎜	12㎜	20㎜	20㎜	16㎜
2@100m	2.50m	3.00m	16㎜	40㎜	12㎜	18㎜	18㎜	16㎜
2@120m	2.50m	3.00m	22㎜	50㎜	12㎜	22㎜	22㎜	18㎜
2@150m	2.50m	3.00m	28㎜	56㎜	15㎜	22㎜	24㎜	20㎜

3) 트러스 부재

• 상현재

단위:㎜

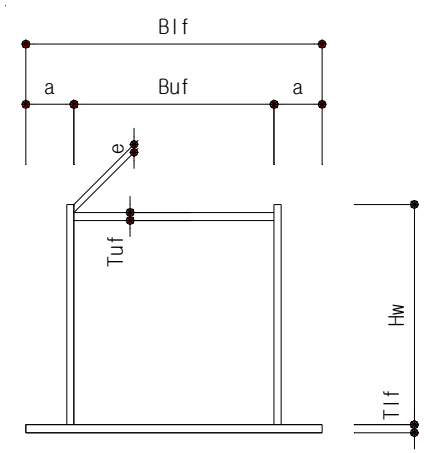
경간장	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	단면도
2@70m	740	36	500	36	600	32	
2@80m	740	38	500	38	600	34	
2@100m	740	40	500	40	600	36	
2@120m	740	44	500	44	650	40	
2@150m	790	48	550	48	700	44	

a=120㎜, e=25㎜ 적용

※ 참고 : 단면 두께는 Maximum 값임.

• 하현재

단위:㎜

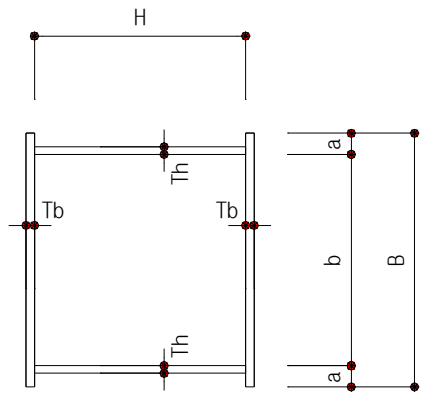
경간장	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	단면도
2@70m	500	30	740	30	550 ~ 900	26	
2@80m	500	32	740	32	550 ~ 1000	28	
2@100m	500	36	740	36	550 ~ 110	30	
2@120m	500	38	740	38	650 ~ 1100	34	
2@150m	550	38	790	38	650 ~ 1200	34	

a=120㎜, e=25㎜ 적용

※ 참고 : 단면 두께는 Maximum 값임.

• 사재

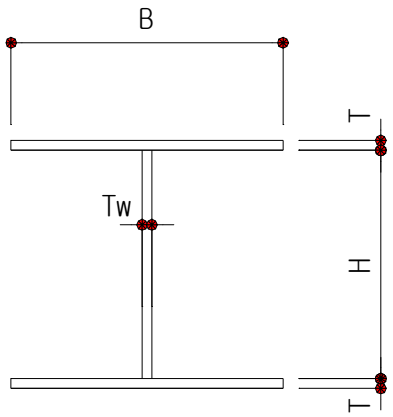
단위:㎜

경간장	B	Tb	H	Th	a	단면도
2@70m	400	18	500	20	40	
2@80m	400	18	500	20	40	
2@100m	400	18	500	20	40	
2@120m	400	20	500	23	40	
2@150m	400	20	550	23	40	

※ 참고 : 경간장 2@150m의 경우 사재 강종을 HSB600 또는 HSB500으로 적용.

• 가로보

단위:㎜

구분	경간장	B	T	H	Tw	단면도
상현 내측 가로보	2@70m	300	14	561	12	 • 강종 SM400B 적용 • 하현 내측가로보의 복부 높이는 격점부 하현재 복부 높이에 따라 변함. • 하현 가로보의 단면은 복부 높이를 제외하고 상현 가로보와 단면이 같음. (복부 높이는 하현 내측가로보와 동일)
	2@80m	300	14	561	12	
	2@100m	300	15	560	12	
	2@120m	300	16	609	12	
	2@150m	300	16	664	12	
하현 내측 가로보	2@70m	300	12	변	12	
	2@80m	300	12	변	12	
	2@100m	300	12	변	12	
	2@120m	300	12	변	12	
	2@150m	300	12	변	12	
가로보 (상현)	2@70m	300	12	563	12	
	2@80m	300	12	563	12	
	2@100m	300	12	563	12	
	2@120m	300	12	613	12	
	2@150m	300	12	668	12	

※ SM400B의 수직보강재가 필요없는 복부판 최소 두께 = 71t = 71 × 12 = 852㎜

∴ 상현 가로보는 수직보강재가 필요 없으며, 하현 가로보는 복부 높이에 따라 수직보강재가 필요함.

2.3 처짐결과 정리

단위:㎜

경간장		2@70m	2@80m	2@100m	2@120m
허용처짐 (L/500)		138.9	158.9	198.9	238.9
Steel Box	처짐	72.4	90.2	124.7	218.4
	검토	O.K	O.K	O.K	O.K
HiTAB	처짐	74.4	94.5	131.7	226.5
	검토	O.K	O.K	O.K	O.K
	비고 (솟음)	38.8	51.3	81.0	149.6

3. 부모멘트부 실험

3.1 실험개요

(1) 실험목적

1) 하이브리드 교량구조의 부모멘트부 바닥판 거동검증

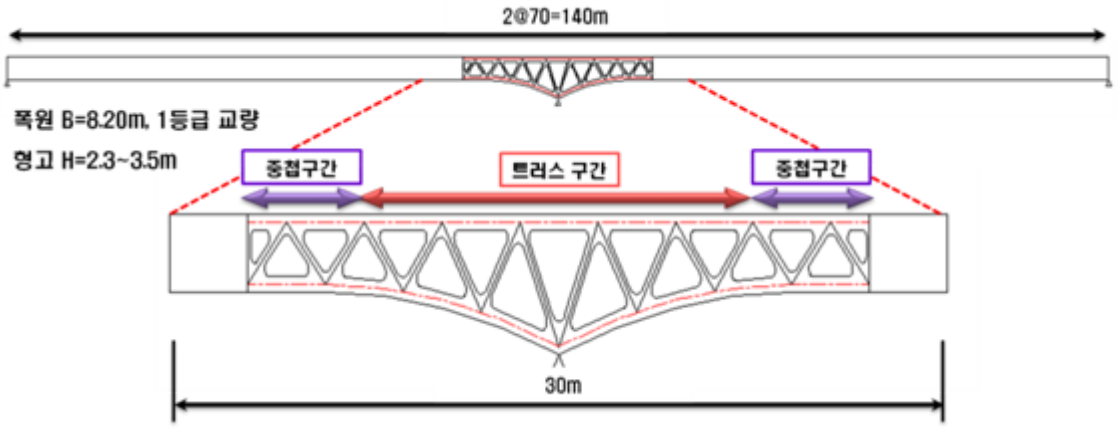
2) 하이브리드 교량구조의 이중합성효과 검증

3) 실제 트러스 형상의 제작성 검증

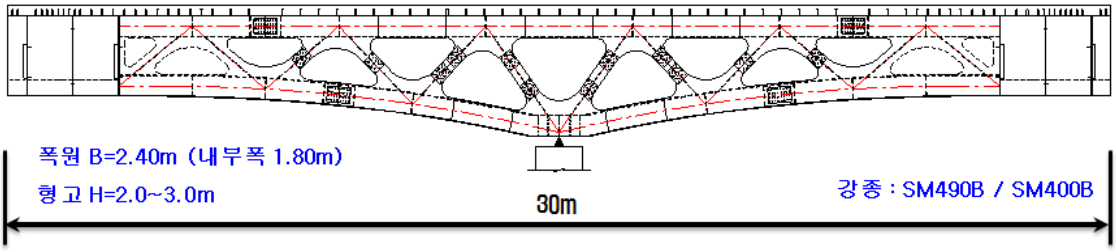
(2) 실험대상 개요

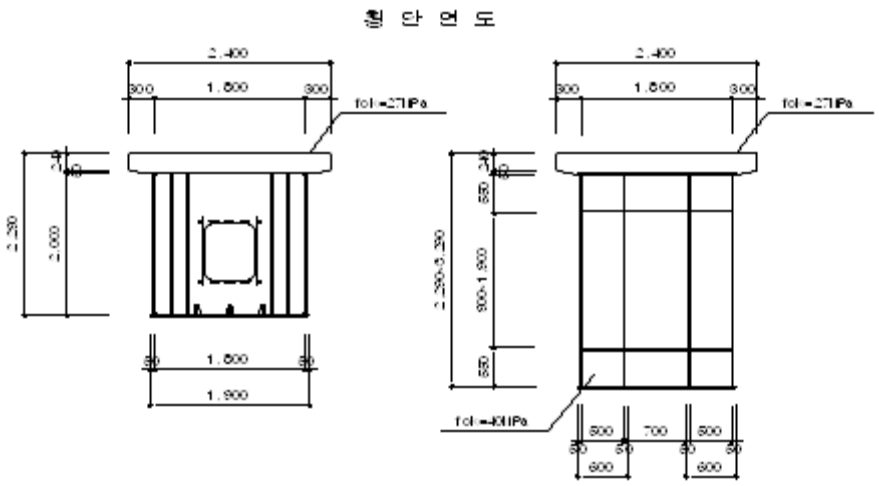
1) 2@70=140m인 하이브리드 교량구조의 부모멘트부 모사

2) 형고변화: 2.0~3.0m

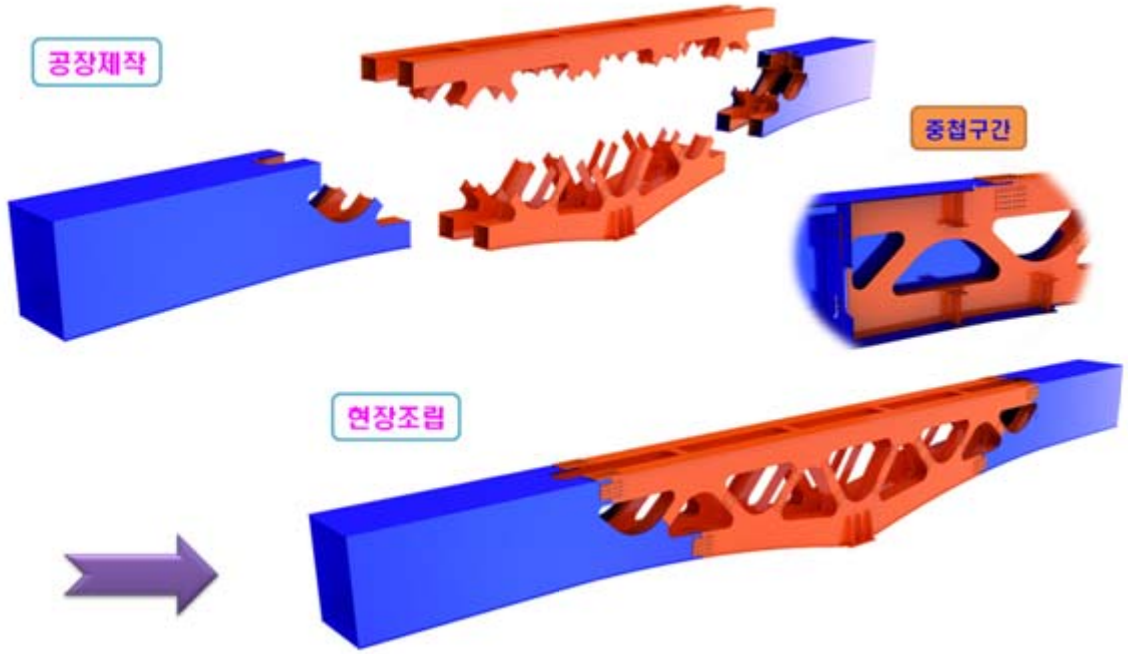


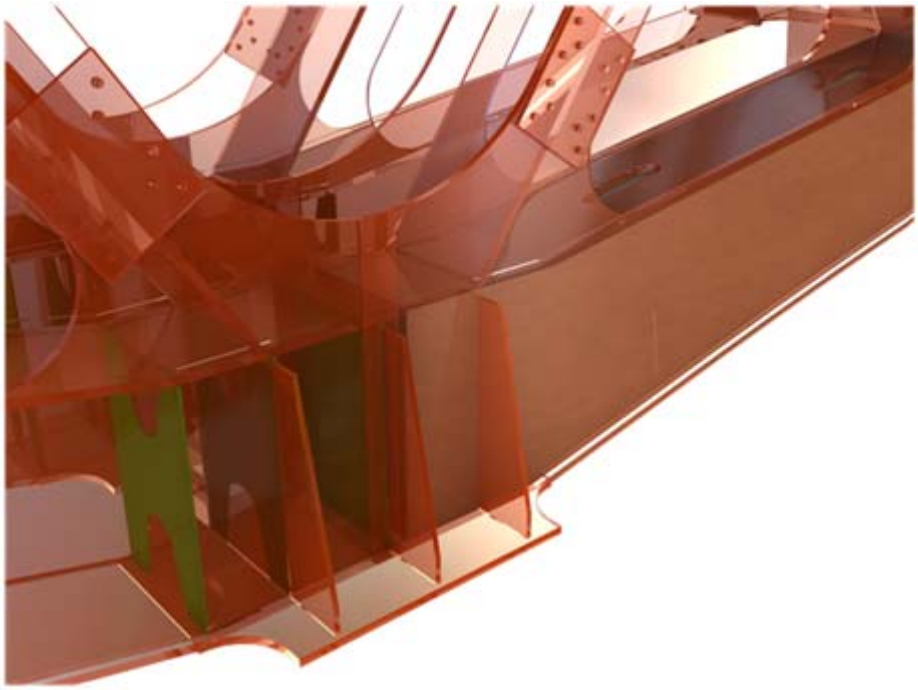
(3) 최종실험체 형상





(4) 실험체 개요 CG





(5) 실험일정

1) 실험체 제작: 2012년 1월~3월(흥화공업)

2) 실험동 세팅: 2012년 3월 13일

3) 게이지 및 가력프레임 설치: 2012년 3월 13일~ 2012년 3월 23일

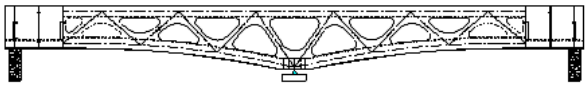
4) 실험진행: 1차가력(4월 5일), 2차가력(4월13일), 3차가력(5월8일)



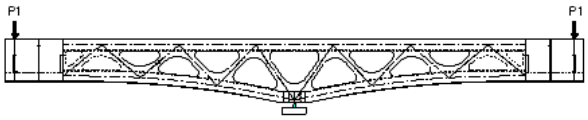
3.2 재하실험 개요

(1) 재하실험 순서

1. 강재거더 시험체 실험동 거치대 거치



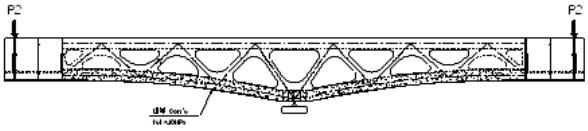
2. 강재거더 시험체 1차 정적재하 시험



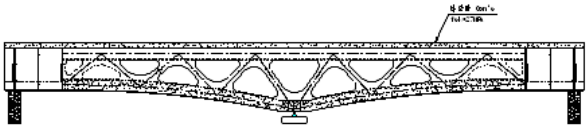
3. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 하현재 내부 콘크리트 타설



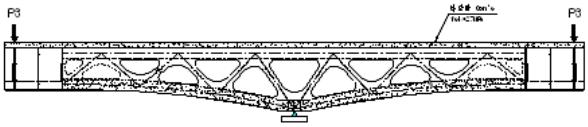
4. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 2차 정적재하 시험



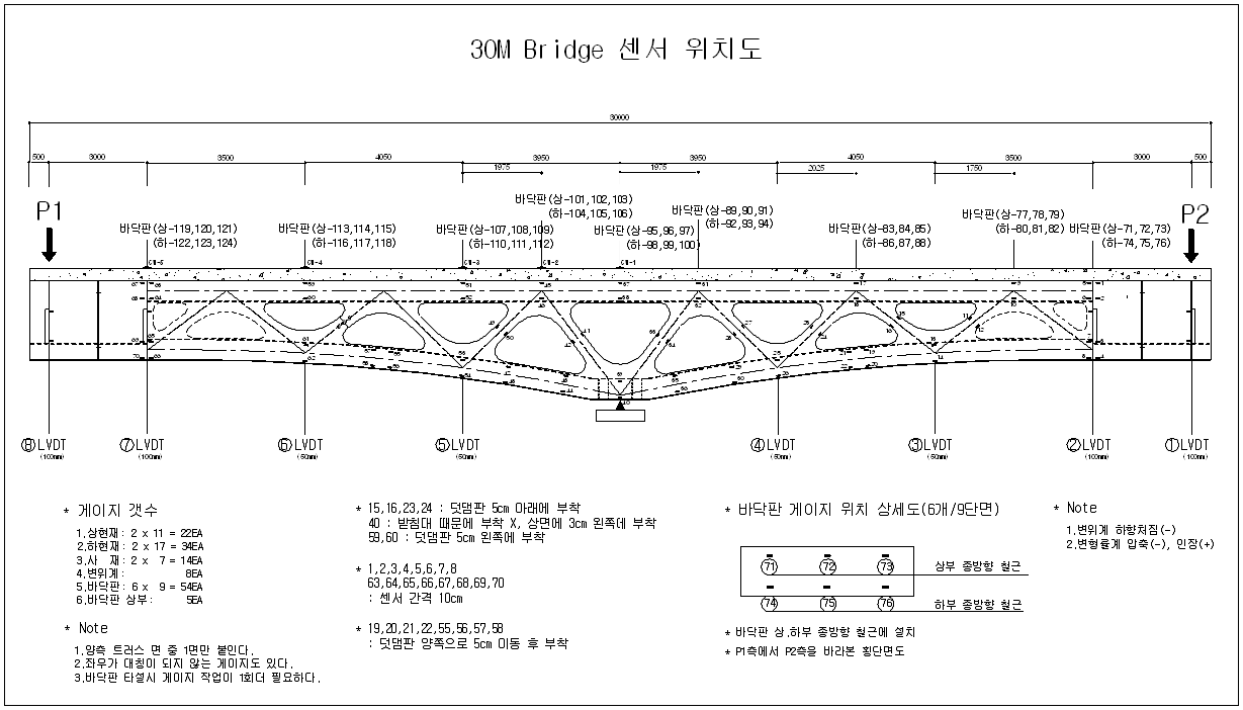
5. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 바닥판 콘크리트 타설



6. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 3차 정적재하 시험

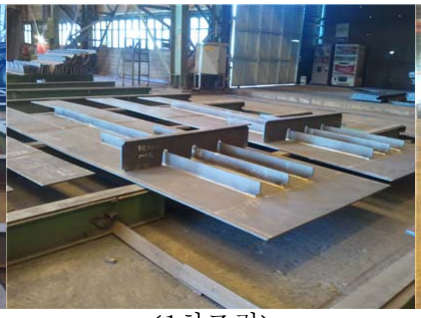


(2) 게이지 설치도



3.3 제작 및 실험사진


<원자재 반입,절단>


<1차조립>


<2차조립>


<2차조립(용접)>


<가조립>


<1차도장>


<도장완료>


<실험동반입>


<게이지부착>


<1차실험>


<2차실험>

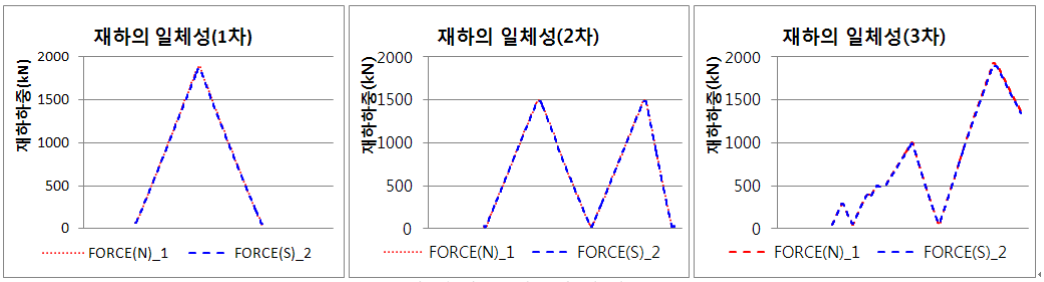

<3차실험, 공개실험>

3.4 실험결과

(1) 액츄에이터 재하의 일체성

1) 실험의 특성상 2개의 액츄에이터를 이용하여 동시에 가력하므로, 힘의 크기의 일체성이 중요

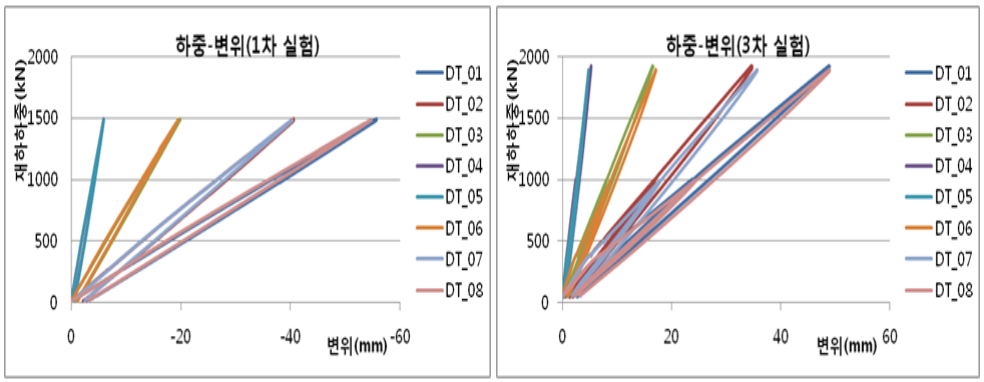
2) 본 실험에서 2개의 액츄에이터의 일체성은 아래의 그래프와 같이 잘 일치함



< 가력하중의 일체성 >

(2) 처짐

1) 하중별 실험체 처짐결과 그래프



2) 최대처짐값 비교

- 1차실험: 강재거더만 있는 경우

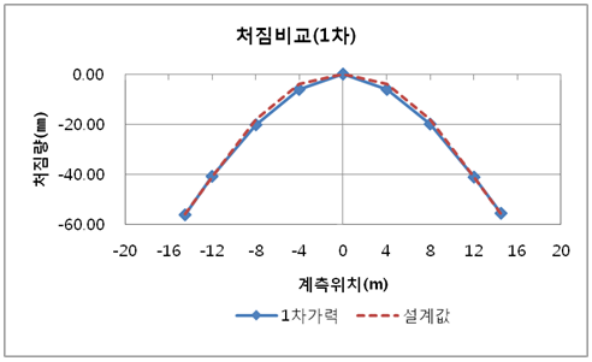
구분		DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
1차가력 (1500kN)	계측값(㎜)	-56.20	-40.97	-20.09	-5.94	-5.99	-19.86	-41.01	-55.68
	설계값(㎜)	-56.00	-41.00	-18.00	-4.00	-4.00	-18.00	-41.00	-56.00
	계측/설계(%)	100.4	99.9	111.6	148.4	149.7	110.3	100.0	99.4

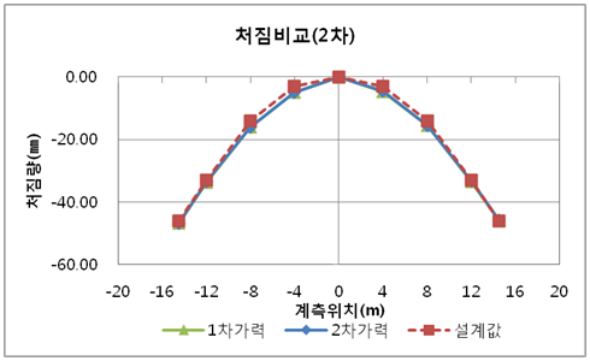
- 2차실험: 하현콘크리트 충전시

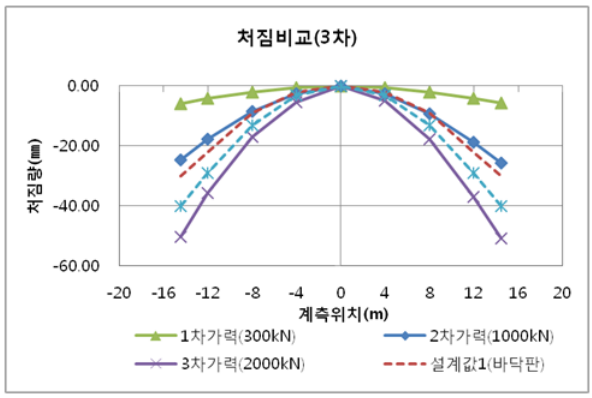
구분		DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
1차가력 (1500kN)	계측값(㎜)	-46.84	-33.63	-15.96	-4.98	-4.61	-15.62	-33.51	-46.15
	설계값(㎜)	-46.00	-33.00	-14.00	-3.00	-3.00	-14.00	-33.00	-46.00
	계측/설계(%)	101.8	101.9	114.0	165.9	153.7	111.5	101.6	100.3
2차가력 (1500kN)	계측값(㎜)	-46.72	-33.61	-15.94	-4.93	-4.58	-15.48	-33.33	-45.90
	설계값(㎜)	-46.00	-33.00	-14.00	-3.00	-3.00	-14.00	-33.00	-46.00
	계측/설계(%)	101.6	101.8	113.9	164.5	152.5	110.5	101.0	99.8

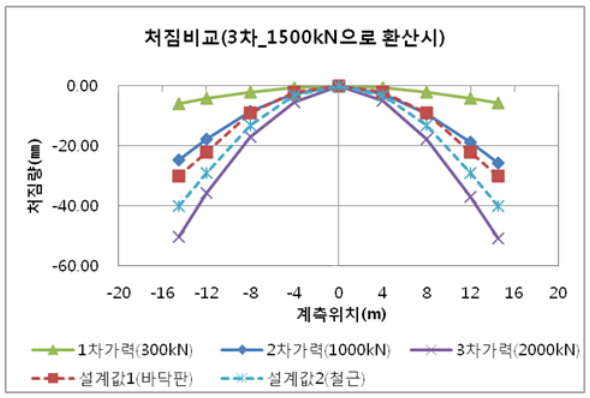
- 3차실험: 바닥판 합성시

구분		DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
1차가력 (300kN)	계측값(mm)	-5.93	-4.15	-2.08	-0.66	-0.61	-2.06	-4.09	-5.65
	설계값(mm)	-6.00	-4.40	-1.80	-0.40	-0.40	-1.80	-4.40	-6.00
	계측/설계(%)	98.8	94.4	115.3	163.9	153.2	114.4	93.1	94.2
2차가력 (1000kN)	계측값(mm)	-24.76	-17.63	-8.42	-2.54	-2.65	-9.26	-18.76	-25.62
	설계값(mm)	-26.67	-19.33	-8.67	-2.00	-2.00	-8.67	-19.33	-26.67
	계측/설계(%)	92.9	91.2	97.2	127.1	132.7	106.9	97.0	96.1
3차가력 (2000kN)	계측값(mm)	-50.25	-35.69	-16.97	-5.40	-4.83	-17.62	-36.92	-50.80
	설계값(mm)	-53.33	-38.67	-17.33	-4.00	-4.00	-17.33	-38.67	-53.33
	계측/설계(%)	94.2	92.3	97.9	134.9	120.6	101.6	95.5	95.2

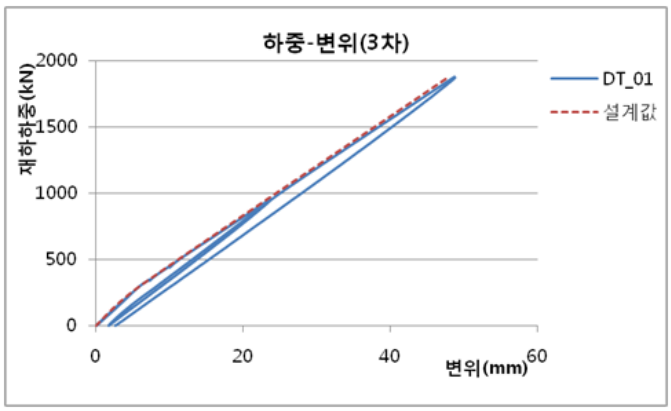








3) 부모멘트부 콘크리트 균열에 따른 처짐



4) 처짐결과 분석

① 1차실험(강재거더)

- 양단부의 처짐은 해석치와 거의 일치하며, 남측가력과 북측가력에서 약간 차이가 있으나 모두 1%이하의 오차를 나타냄
- 지점에서 가까운 쪽에서는 설계치보다 큰 처짐이 발생하지만 그 값의 절대치는 매우 작음

② 2차실험(강재거더+ 하현콘크리트)

- 하현 콘크리트 타설에 의해 단부처짐이 약 18%가량 감소함
- 철근 배근없이 콘크리트를 충전하는 것만으로도 하현콘크리트가 처짐과 응력에 큰 역할을 한다는 것을 확인

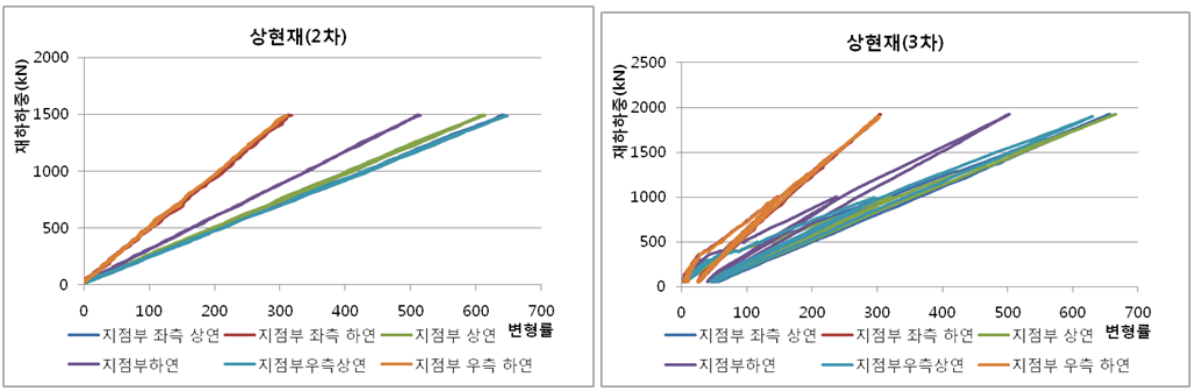
③ 3차실험(강재거더+ 하현콘크리트+ 바닥판 콘크리트)

- 3차 실험의 1차가력은 콘크리트가 균열하기 전단계인 300kN까지 가력을 하였는데, 이 경우 바닥판 콘크리트 전체를 유효로 한 계산의 결과와 잘 일치함
- 2차가력에서는 균열하중 이상인 1000kN을 가력한 경우, 콘크리트의 균열에 따른 처짐 기울기 변화가 선명하게 나타나며, 콘크리트 단면을 무시하고 철근을 유효로 한 처짐값보다는 작은 처짐이 발생
- 3차 가력에서는 2000kN을 가력하였으며, 콘크리트를 유효로 한 처짐보다는 많은 처짐이 발생하고, 철근을 유효로 한 처짐보다는 작은 처짐이 발생

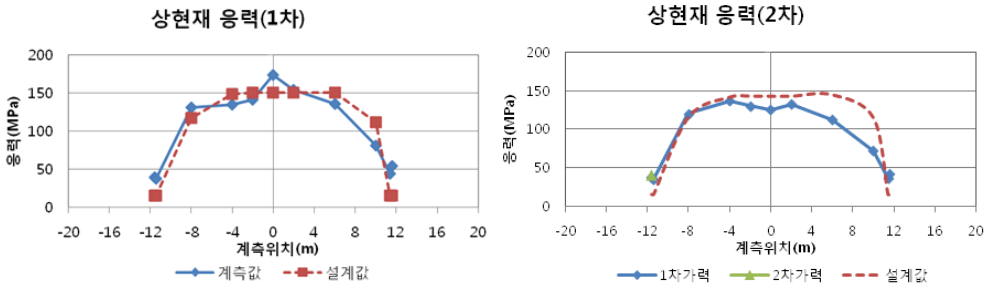
④ 이상의 결과로 보면, 부모멘트부를 설계함에 있어, 바닥판 콘크리트를 무시하고, 철근만 유효로 하는 것은 안전측 설계임을 확인할 수 있으나, 실제 설계하중의 크기가 작은 경우에는 바닥판을 완전히 무시하고 설계하는 것은 과설계의 우려가 있음

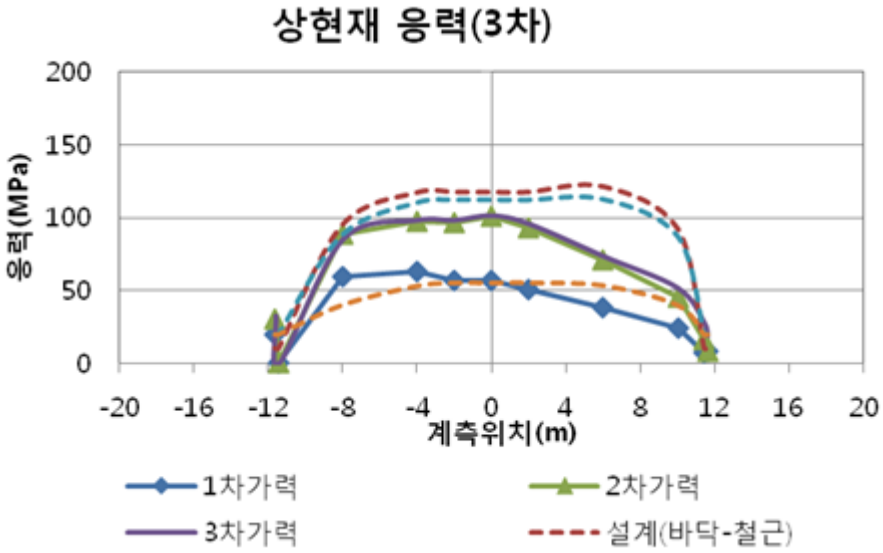
(3) 상현재

1) 상현재의 변형률 변화 그래프



2) 1500kN에서의 응력비교





3) 상현재 결과분석

① 상현재의 응력은 전반적으로 설계응력과 유사하게 나타나지만, 격점부에서의 응력은 설계값보다 좀더 작게 나타나는 경향이 있는데, 이는 격점부에는 거셋플레이트에 의해 보강되는 효과가 있기 때문임.

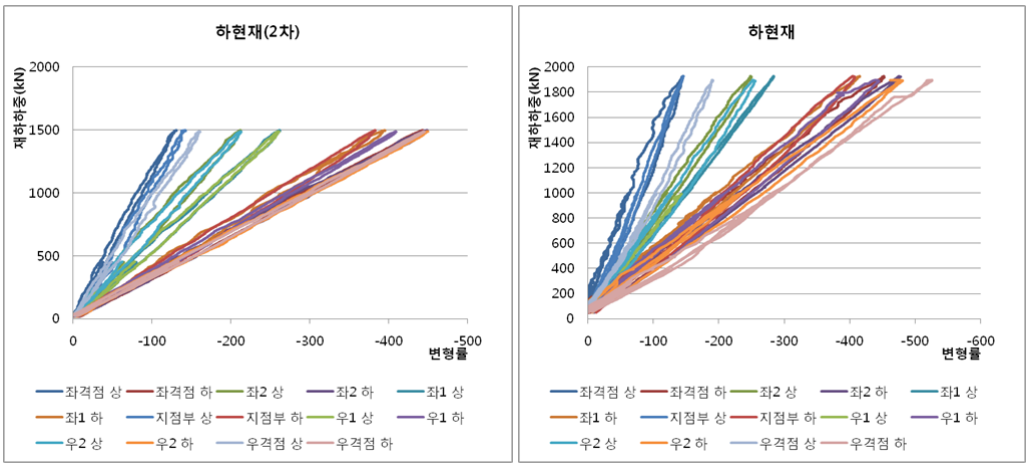
② 지점부 부모멘트부가 균열전에는 바닥판 강성을 유효하게 하는 것과 실험결과가 잘 일치하지만, 지점부 부모멘트부에 균열이 발생하여, 단면강성에

서 콘크리트를 무시하게 되면, 설계시 평가되는 응력은 계측되는 응력보다 크기 때문에 안전측 설계가 가능하지만, 재하되는 하중이 크지 않은 경우에는 과설계의 우려가 있음

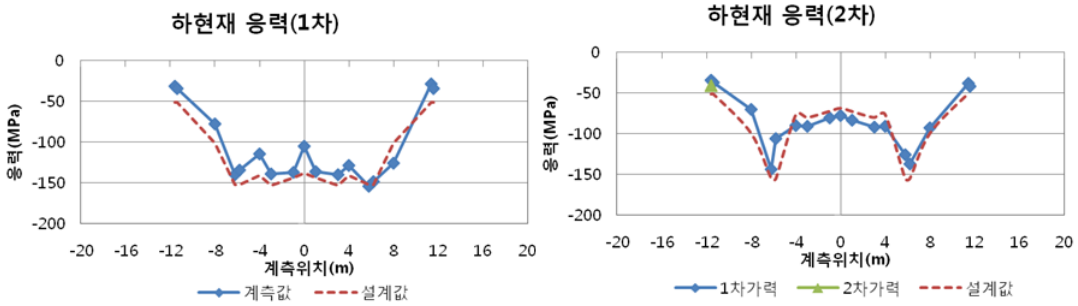
③ 하현재내부에 단순히 콘크리트를 충전함에 따른 하현재의 응력감소는 10% 이상의 감소효과가 있음.

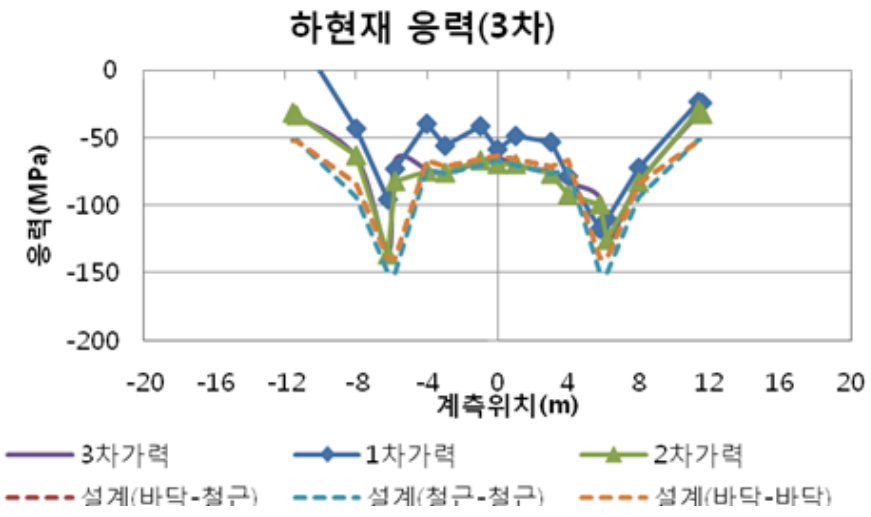
(4) 하현재

1) 하현재의 변형률 변화 그래프



2) 1500kN에서의 변형률 값





3) 하현재 결과분석

① 하현재의 응력은 전반적으로 설계응력과 유사

② 콘크리트가 충전된 부분은 응력이 40%가량 감소함을 확인할 수 있음.

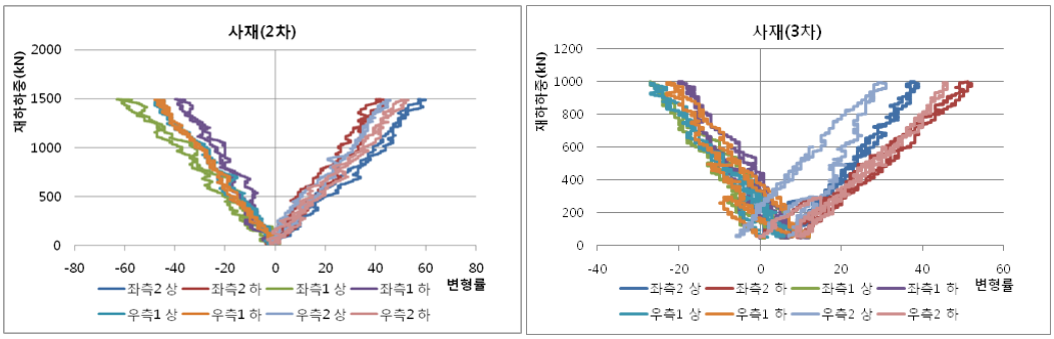
③ 강재만 있는 경우 설계값보다 작은 값이 계측되다가, 콘크리트가 충전된 경우 설계값보다 다소 큰 값이 계측되는 것은, 콘크리트가 100%의 강성을 발현하는 것은 아님을 보여주고 있음.

③ 하현재내부에 단순히 콘크리트를 충전함에 따른 하현재의 응력감소는 10% 이상의 감소효과가 있음.

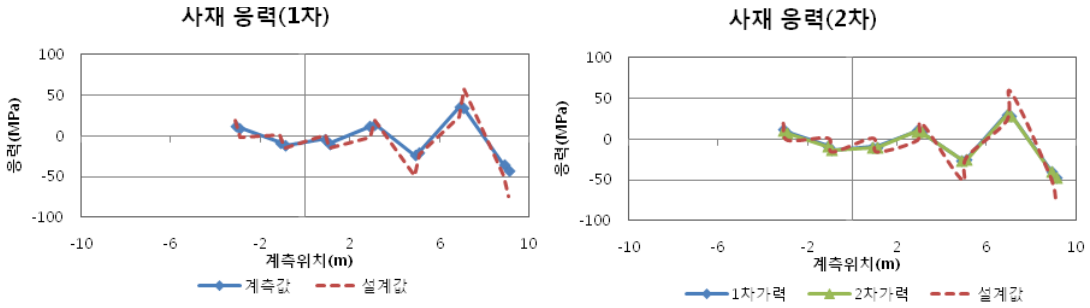
④ 충전콘크리트는 95%정도의 강성만 발현하고 있음이 확인됨

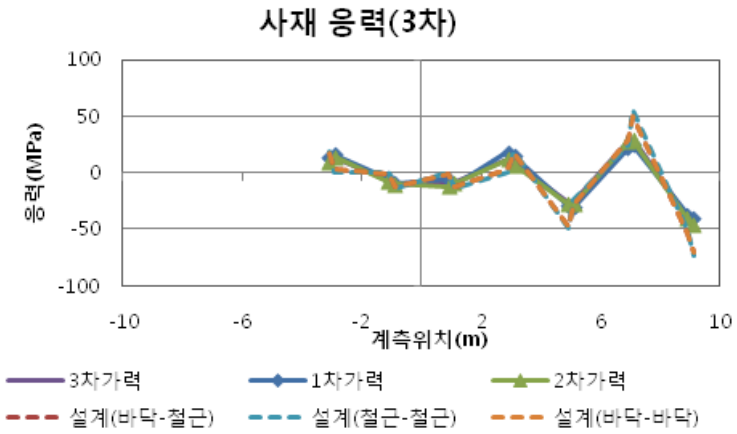
(5) 사재

1) 변형률 변화 그래프



2) 1500kN에서의 변형률 값





3) 사재 결과분석

① 트러스가 아닌 단순거더인 경우 전단면에 걸쳐서 전단력이 일정하므로, 전체형고가 변하지 않는 시험체인 경우, 사재의 응력은 시험체 전체에 걸쳐서 일정하여야 함.

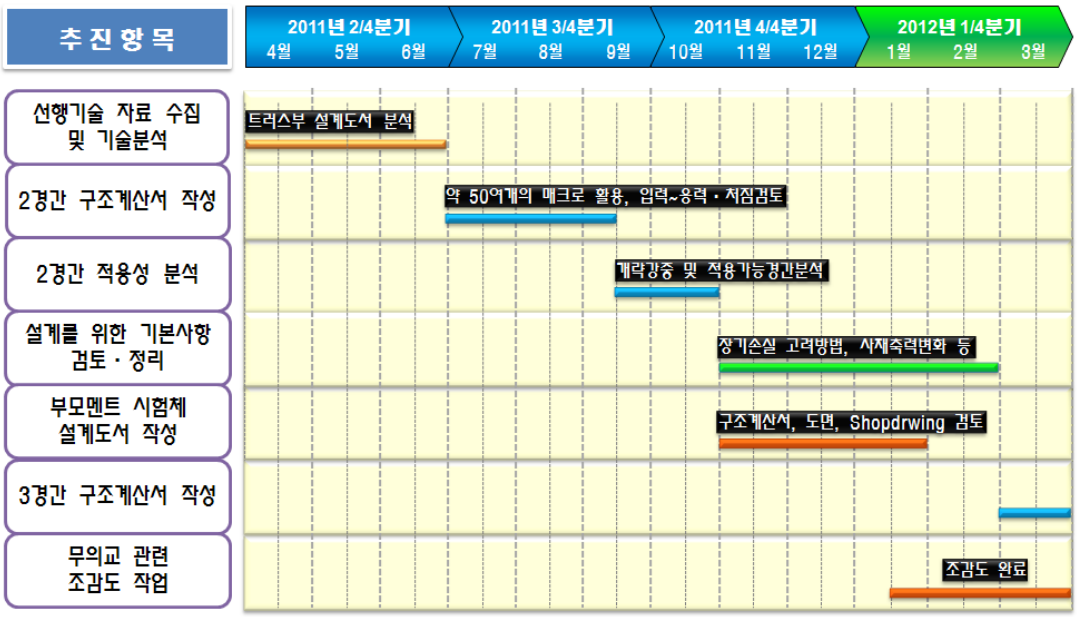
② 계측결과와 해석결과가 모두 지점으로 갈수록 사재의 응력이 작음을 보여주고 있는데, 이는 형고변화에 따라 하현재가 경사로 배치되어, 사재가 감당할 힘의 상당부분을 하현재가 감당하기 때문인 것으로 분석됨

③ 즉, 전체형고 변화에 따라 하현재가 경사로 배치되는 경우는 사재의 단면을 줄이는 것이 합리적임을 나타냄

4. 설계도서 작성

4.1 표준설계도서 작성

(1) 업무진행 일정



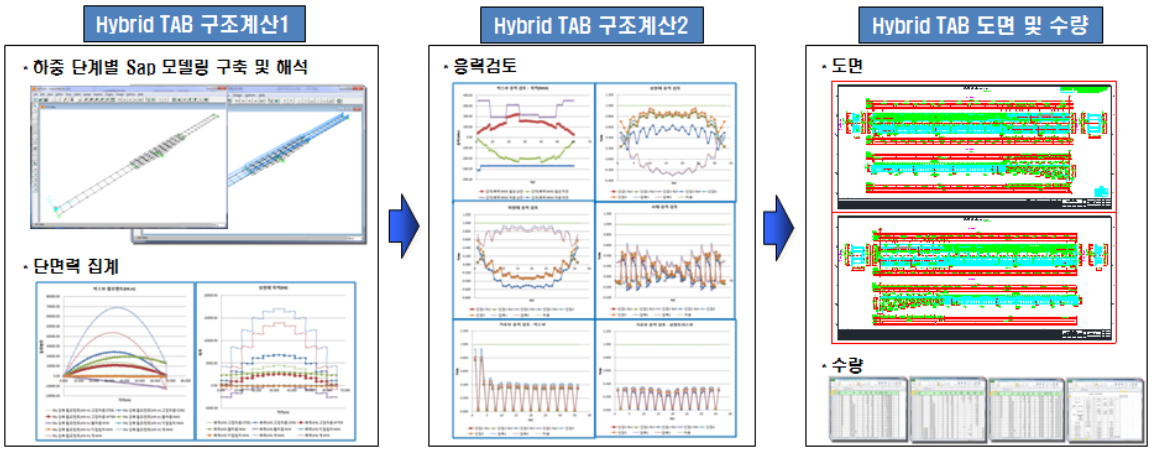
(2) 구조계산서 작성

1) 계산서 작성 형식: Excel(매크로 활용)

2) 계산서 범위: 2경간 교량 및 3경간 교량

3) 구조해석 프로그램: SAP2000활용

(3) 업무진행 순서

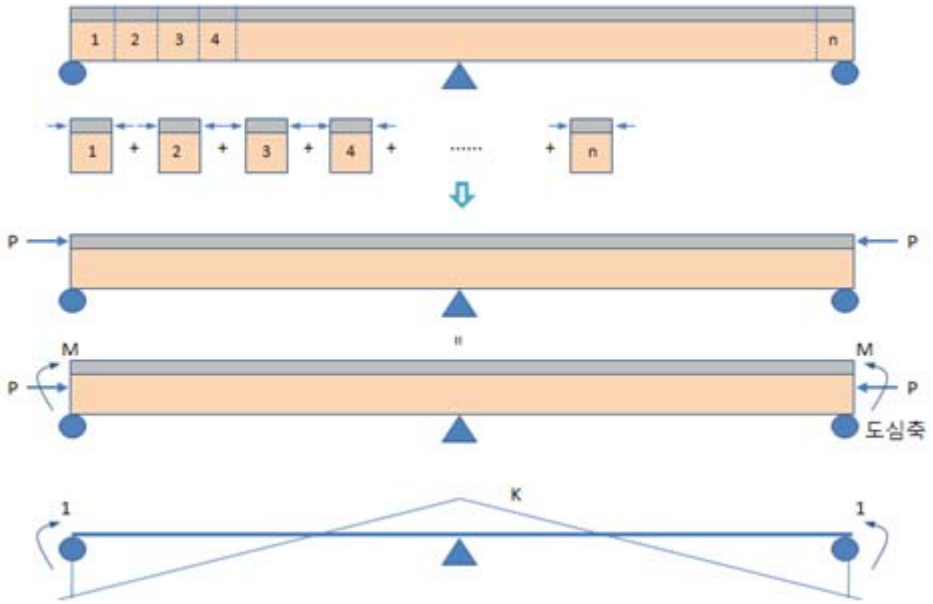


4.2 부정정력 고려법 연구

(1) 일반합성형 교량 적용법(k-factor법: 도로교 설계편람)

1) 전교량에 대해 등단면인 경우 가정

2) 작용하는 힘을 선형적으로 변화하여 입력하는 것으로 적용



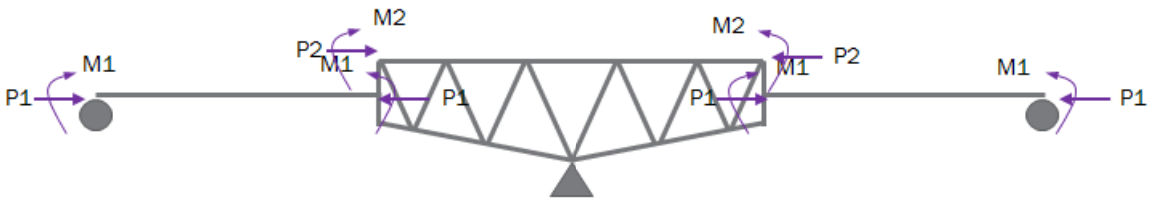
(2) HiTAB 교량의 설계적용(등가하중법: 도로교설계편람)

1) 거더단부에 축력과 모멘트를 산정하여 부과

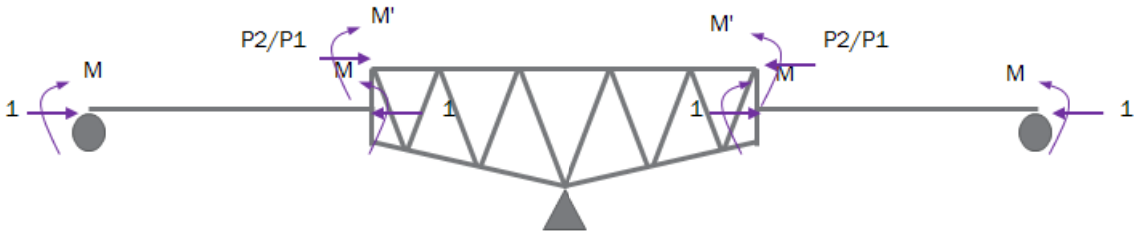
2) 박스부와 트러스 연결부에 축력과 모멘트를 산정하여 박스에 부과

3) 트러스 상현재 시점부 및 종점부에 부과

[P와 M의 직접입력]

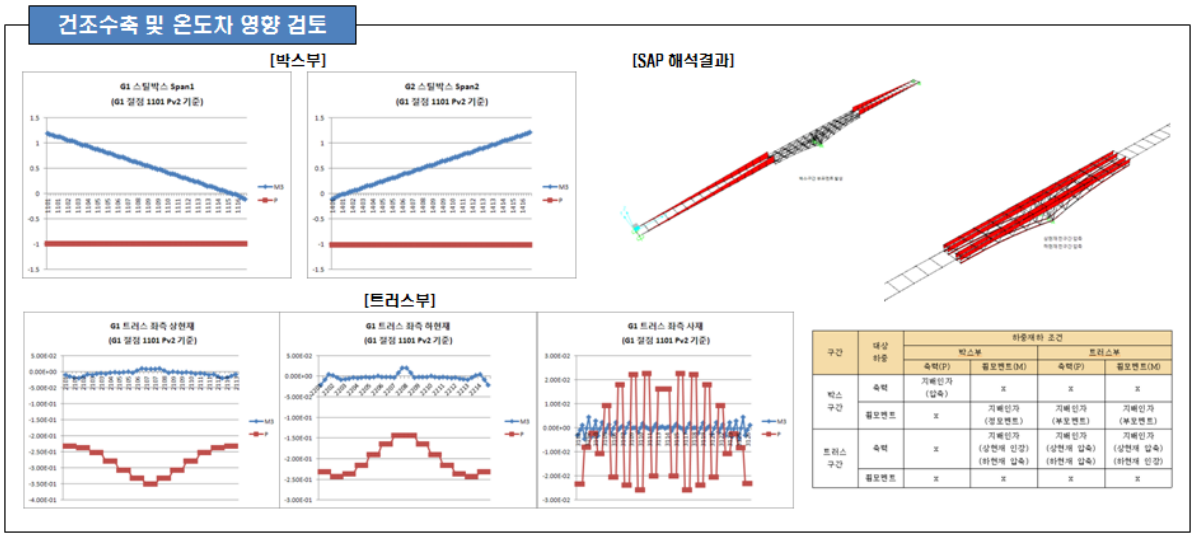


[양단 축력을 단위하중으로 치환한 P와 M의 직접입력 방법]



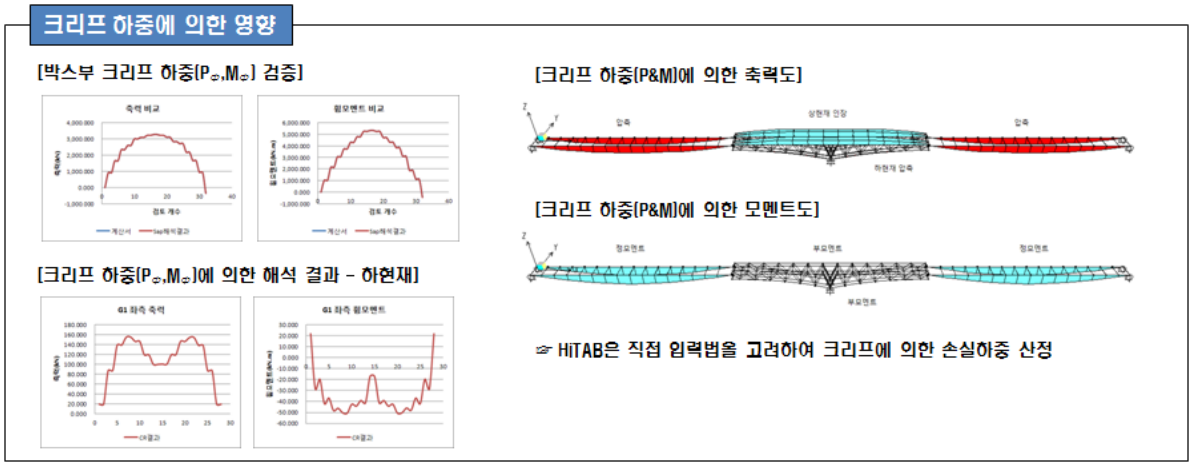
(3) 적용방법 검증

1) 건조수축 및 온도차



구간	대상 하중	하중재하 조건			
		박스부		트러스부	
		축력(P)	휨모멘트(M)	축력(P)	휨모멘트(M)
박스 구간	축력	지배인자 (압축)	x	x	x
	휨모멘트	x	지배인자 (정모멘트)	지배인자 (부모멘트)	지배인자 (부모멘트)
트러스 구간	축력	x	지배인자 (상현재 인장) (하현재 압축)	지배인자 (상현재 압축) (하현재 압축)	지배인자 (상현재 압축) (하현재 인장)
	휨모멘트	x	x	x	x

2) 크리프(등가하중법 고려)

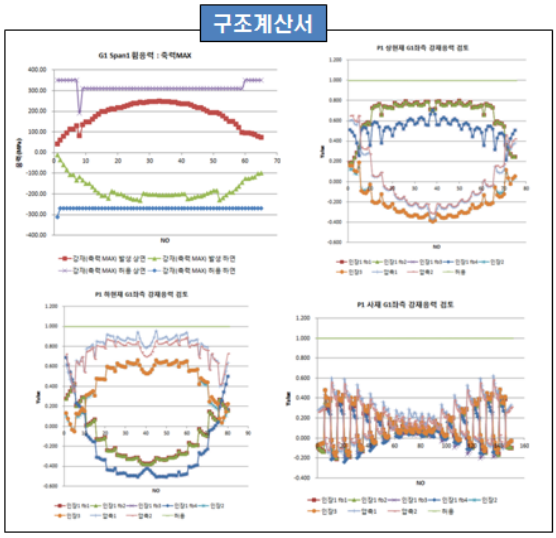


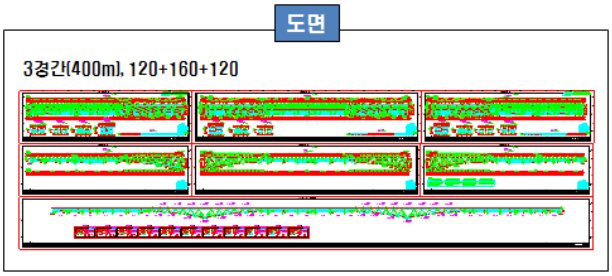
4.3 실교량 대상 설계: 120+ 160+ 120=400m, 폭원12.0m

(1) 조감도 및 투시도



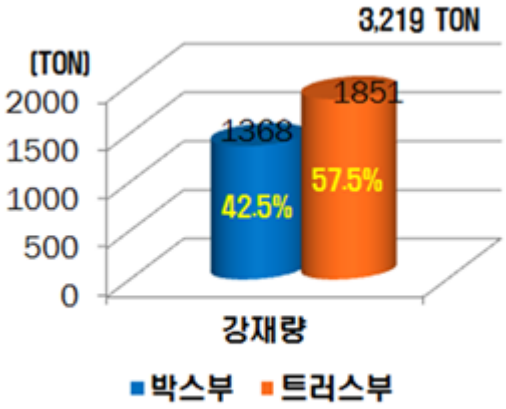
(2) 설계도서 작성

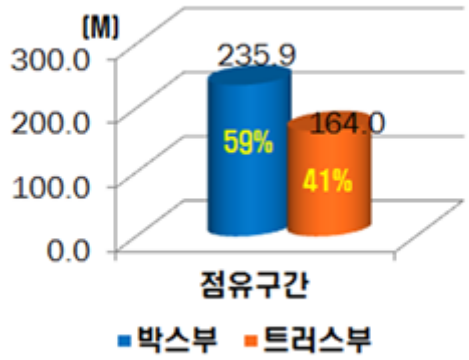


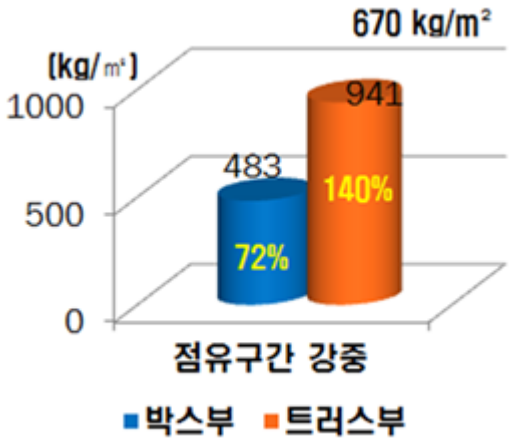


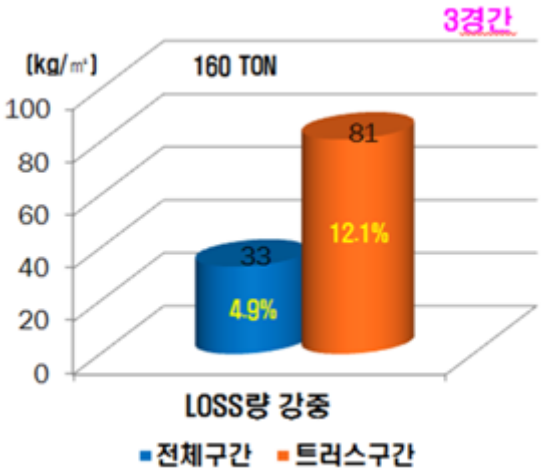


(3) 강재량 분석









5. 동적성능 검증

5.1 동적성능검증 개요

(1) 검토방향

1) 장경간 교량 건설에 따라 차량주행에 의해 유발되는 진동이 교량상의 사람에게 미치는 영향을 검토하여 보다 쾌적하고 안전한 환경을 조성하고자 인체감성을 고려한 Comfort Analysis를 수행

2) 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 검토

3) 주요검토항목

- 차량주행에 의해 유발되는 진동이 교량상의 사람에게 미치는 영향을 검토
- 설계 충격계수와 동적 재하에 의한 구조물의 동적증폭계수 산정

(2) 해석조건

1) DB-24 하중을 이동집중하중으로 재하

2) 주행차량의 속도: 80, 100, 120km/hr

3) 구조물의 감쇠비: 0.5% 적용

4) Beam 및 Shell 요소를 사용하여 전체구조계를 3차원으로 모델링

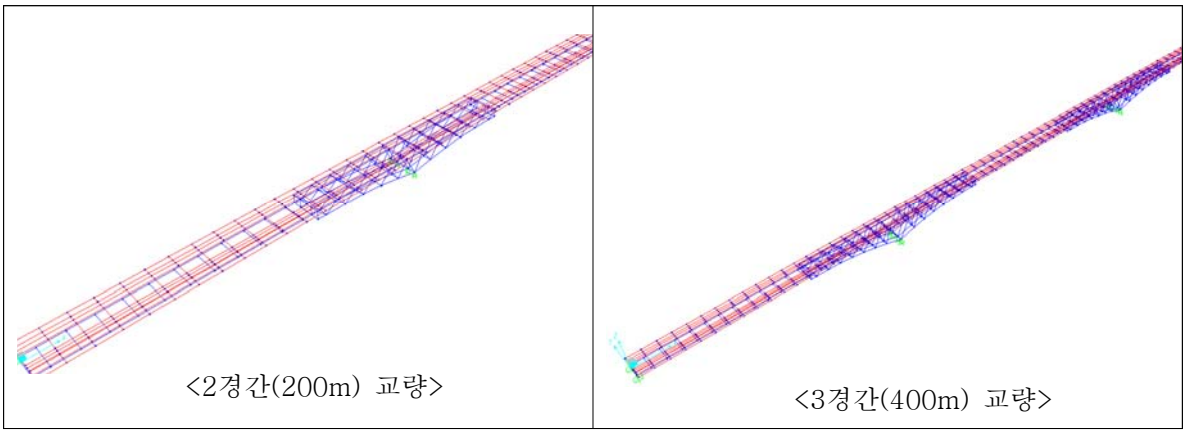
5) 차량하중은 주행속도에 대한 도달시간(Atrrival Time)을 달리하여 Impulse Load로 재하

6) 3대의 설계하중이 30m의 차두 간격을 유지하며 주행하는 경우에 대해 검토

(3) 해석교량

1) 교량연장 : 200m(=100+ 100), 400m(=120+ 160+ 120)

2) 모델링 형상



<2경간(200m) 교량>

<3경간(400m) 교량>

5.2 인체감성을 고려한 Comfort Analysis

(1) 검토방법: ISO 2631

1) 항공용·육상용·수상용의 수하물과 공업·농업용의 기계류에 대한 진동이 인간의 쾌적성이나 작업능률에 미치는 악영향을 평가

2) 물리적 인자

- 강도(intensity), 주파수(frequency), 방향(direction)
- 지속시간(duration), 또는 폭로시간(exposure time)

(2) 평가기준

- 피로 및 능률 감퇴 경계

  진동의 폭로가 피로 및 능률감퇴경계를 넘으면 작업능률이 떨어질 위험이 높으므로 피로에 의한 인간의 기능이 저하됨

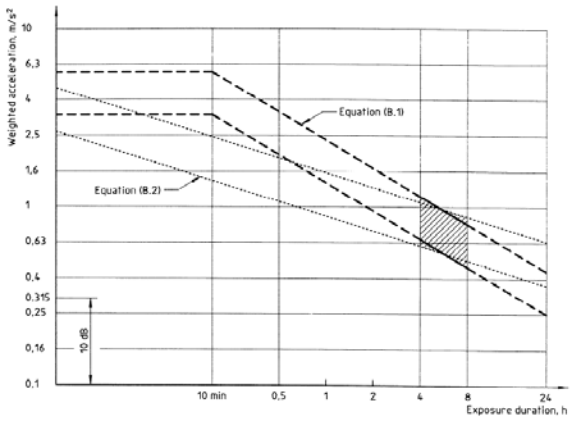
- 폭로한계(exposure limit)

  건강이나 안전의 유지는 피로 및 능률감퇴한계를 우선으로한 곡선과 동일한 진동가속도레벨보다 6dB 높게 정하고, 진동폭로에 의해 생긴 역치(threshold value)의 약 절반 정도

- 쾌감감퇴경계(reduced comfort boundary)

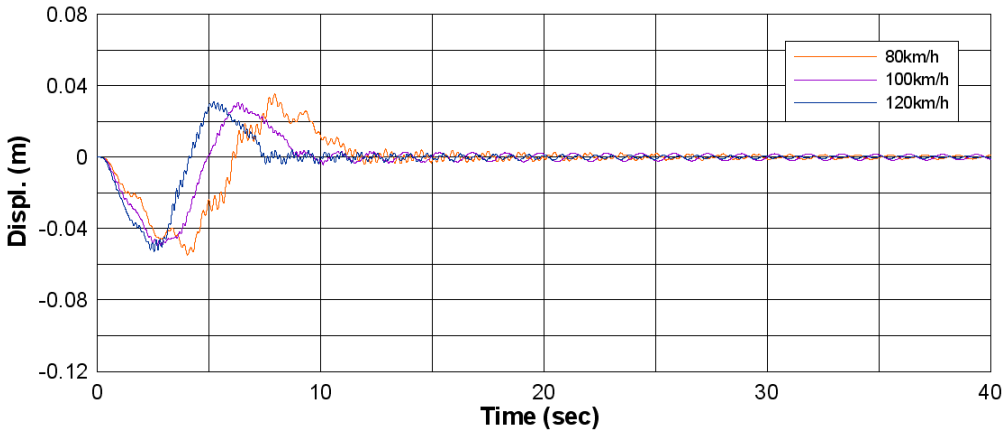
  쾌적성 유지가 목적인 쾌감감퇴경계는 피로 및 능률감퇴한계에서 10dB 감소시킨 값으로서 교량상의 보행자가 받는 영향을 검토하는 항목

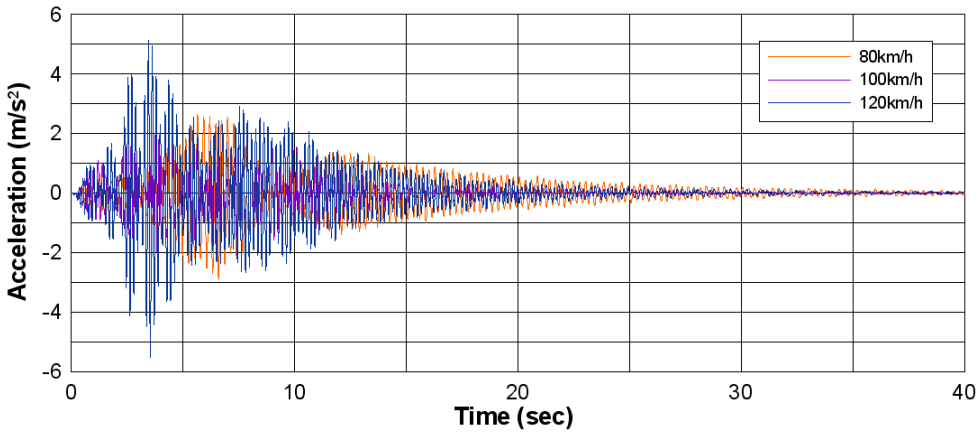
(3) 진동의 평가

건강 한계 지표 영역 (Health guidance caution zone)	판정 방법
	o 측정된 가속도 응답을 이용하여 주파수 가중 rms(root mean square)를 산정하거나, crest factor(amax/arms)가 9 이상이거나 진동신호의 변화가 큰 경우에는 주파수 가중 rmq(root mean quad)를 산정하여 평가 o 건강 한계 지표 영역에 의한 판정 - above : 인체건강에 대한 위험가능성 있음 - in : 진동에 대해 잠재적인 위험이 내재되어 있음 - below : 인체에 대한 어떠한 영향도 명확하게 보고되어지지 않았거나 객관적으로 관찰되어지지 않았음 o 산정된 가중 가속도 값은 ISO 2631및 BS6481에 제시된 사용성 한계(0.89m/s^2)와 비교판정

5.3 2경간 교량 검토

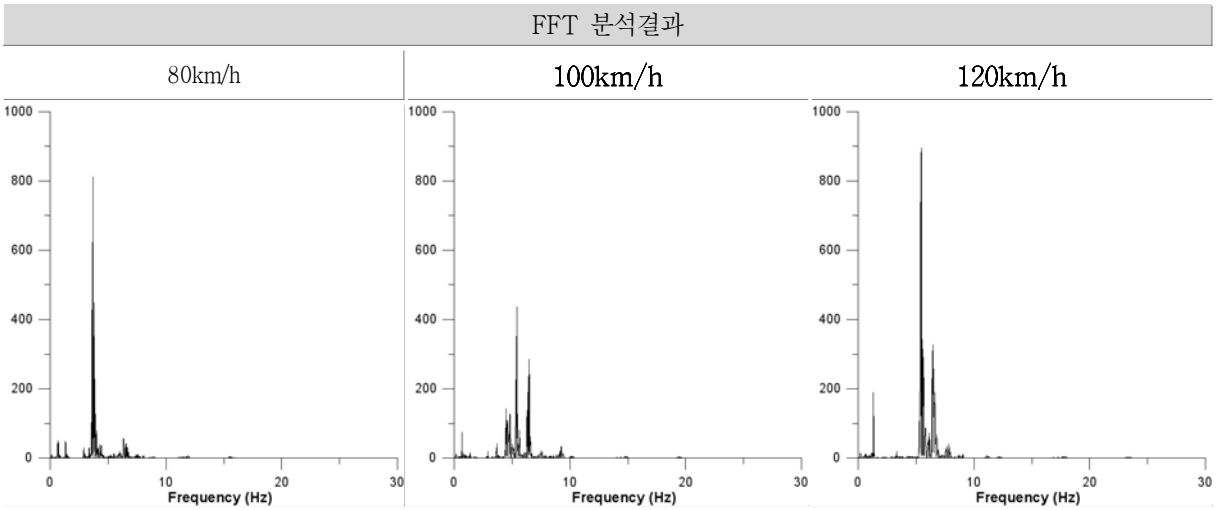
(1) 동적응답



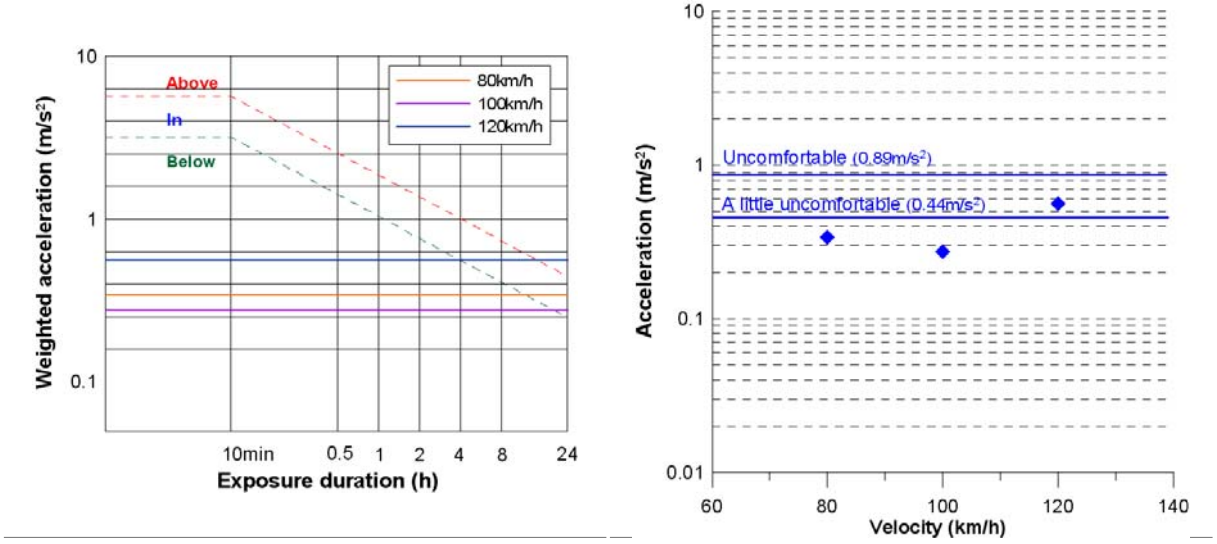


구분	동적처짐(mm)	가속도(m/s^2)	허용처짐기준 (167mm)
80km/h	54.8	2.9	만족
100km/h	49.7	2.1	만족
120km/h	52.9	5.5	만족

(2) Comfort Analysis



진동사용성 평가 결과



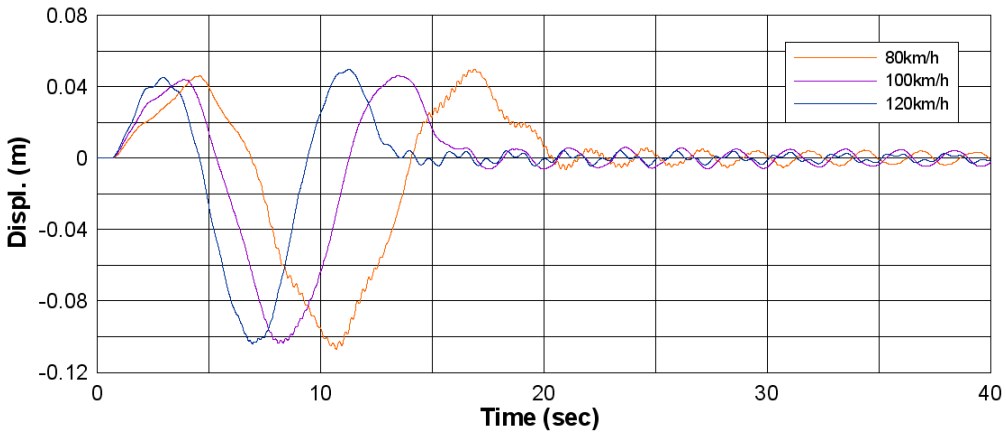
(3) 소결론

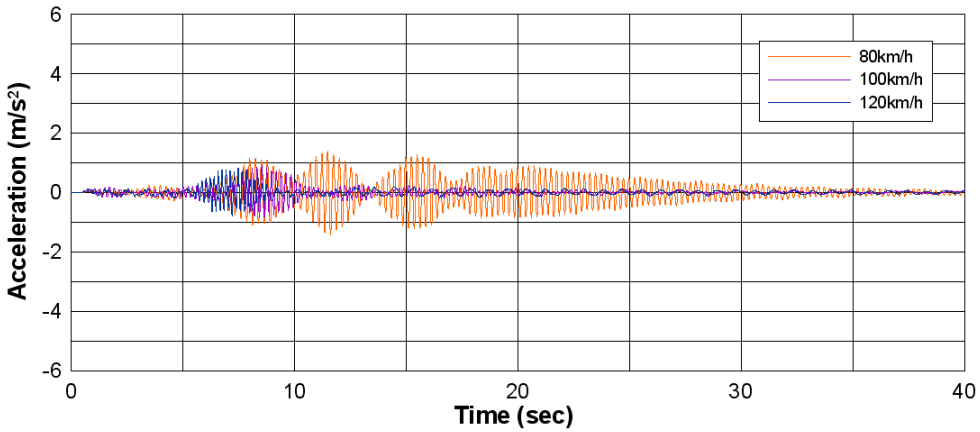
1) 주행속도 80, 100, 120km/h에 대해 노출시간이 각각 10시간, 23시간, 4시간이 초과하였을 때 불편함을 느끼는 것으로 나타남

2) 모든 주행속도에서 사용성 한계를 초과하지 않았으며, 속도가 120km/h인 경우에만 약간의 불편함을 느낄 수 있는 것으로 나타나, 대상교량은 충분한 진동사용성을 가지고 있는 것으로 판단됨

5.4 3경간 교량 검토

(1) 동적응답

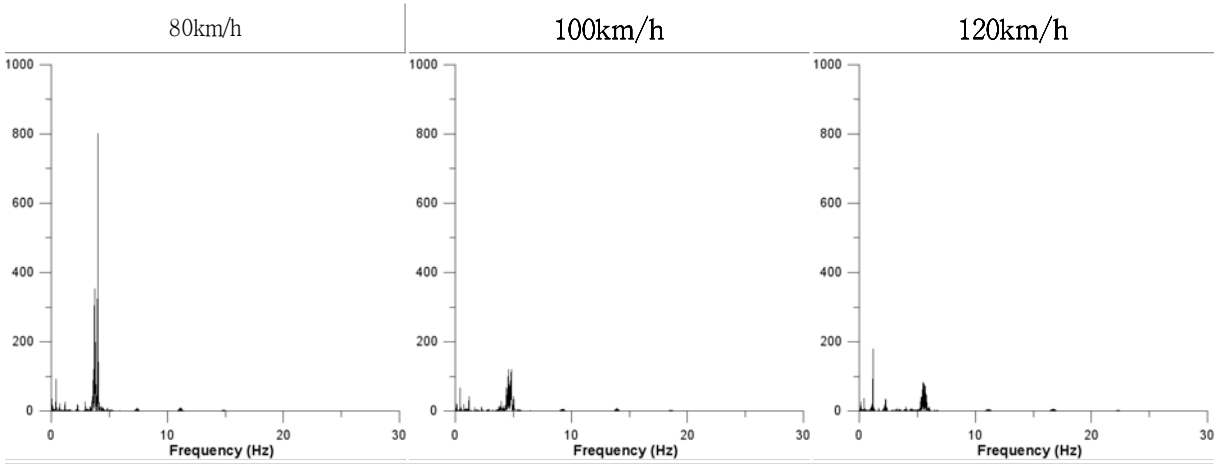




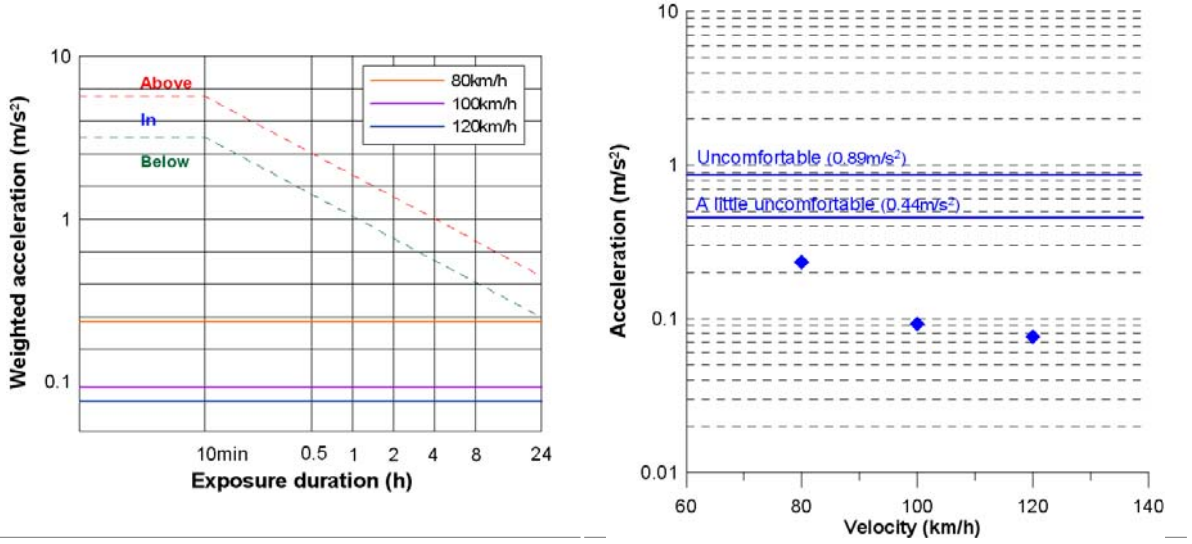
구분	동적처짐(㎜)	가속도(m/s^2)	허용처짐기준 (167㎜)
80km/h	107.0	1.4	만족
100km/h	103.7	0.9	만족
120km/h	104.0	0.8	만족

(2) Comfort Analysis

FFT 분석결과



진동사용성 평가 결과



(3) 소결론

1) 주행속도 80, 100, 120km/h에 대해 모두 노출시간이 24시간을 초과하였을 때 불편함을 느끼는 것으로 나타남

2) 모든 주행속도에서 사용성 한계를 초과하지 않았으므로 대상교량은 충분한 진동사용성을 가지고 있는 것으로 판단됨

5.5 동적증폭계수에 의한 설계충격계수 평가

(1) DMF(동적증폭계수) 정리

정적변위, 최대변위 및 동적증폭계수(DAF)의 값				
차량속도(km/h)	최대변위(mm)		DAF	
	2경간	3경간	2경간	3경간
정적변위	49.5	101.2	-	-
80	54.8	107.0	1.106	1.058
100	49.7	103.7	1.005	1.025
120	52.9	104.0	1.069	1.028

(2) 소결론

1) 동적증폭계수

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

2) 2경간 교량의 경우 최대 1.106, 3경간 교량의 경우 최대 1.058로 나타나, 도로교설계기준에 의한 충격계수에 1을 더한 값(2경간 : 1.107, 3경간 :1.075)을 초과하지 않음.

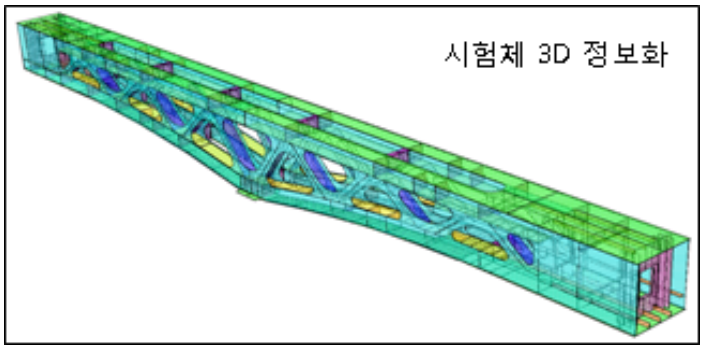
6. 유한요소해석

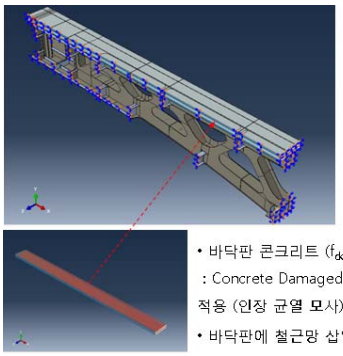
6.1 해석개요

(1) 해석목적 : 설계/실험결과 검증 및 극한강도평가

(2) 해석모델 : 전체 시험체의 1/4모델(경계조건 : 반침부 힌지, 경계부 대칭)

(3) 해석프로그램 : ABAQUS 재료비선형 및 기하 비선형 해석



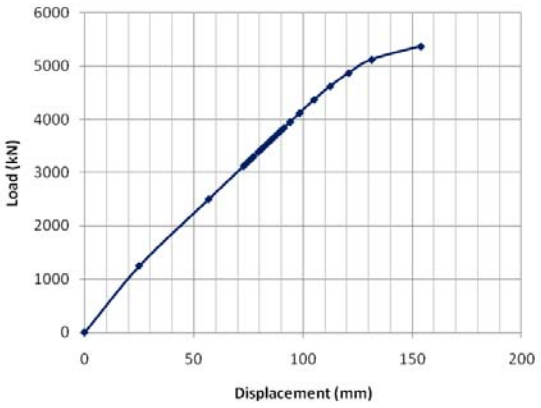


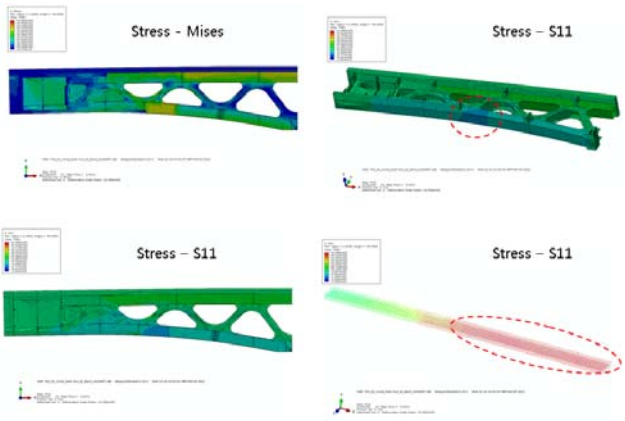
• 바닥판 콘크리트 (f_{ck}=27MPa)
: Concrete Damaged Plasticity
적용 (인장 균열 모사)
• 바닥판에 철근망 삽입

6.2 해석결과

(1) 극한하중 : 5,371kN(설계하중의 3.58배)

(2) 파괴모드 : 충전 콘크리트 단부에서 가장 높은 압축응력 발생 및 바닥판 철근 항복





7. 강상자-트러스 하이브리드 곡선교량 접합부 응력 분석

7.1 강상자-트러스 곡선교 3D모델 해석

(1) 해석개요

1) 곡선 교량은 고정하중만으로 비틀림(Torsion)이 발생

2) 각각의 운동성분이 연성(Coupling)작용

3) 직선교에 비해 복잡한 거동

4) 하이브리드 곡선교량의 접합부의 응력 집중 및 분포 확인필요

(2) 2@100m 표준설계도면 참고

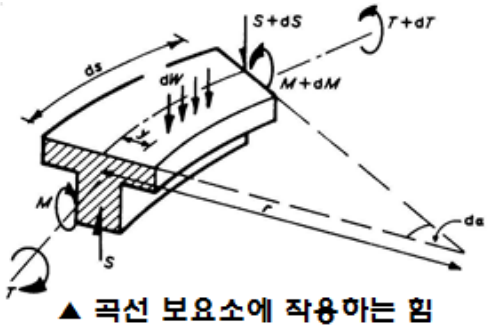
1) 곡률: 0.05rad~0.5rad (곡률반경 2000m~200m)

2) 외력: 합성 전 교량의 자중 (7.85 ton/m3)

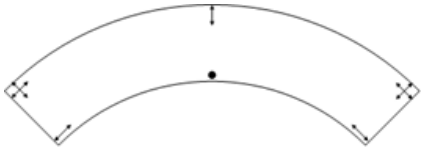
3) 강상자-트러스 접합부: 단순 용접 연결

4) 받침 방향: 접선방향 배치 (롤러-힌지-롤러)

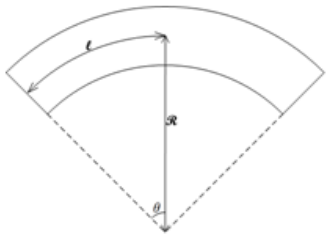
5) 재료 물성치: Elastic(210 GPa), Poisson비(0.3)



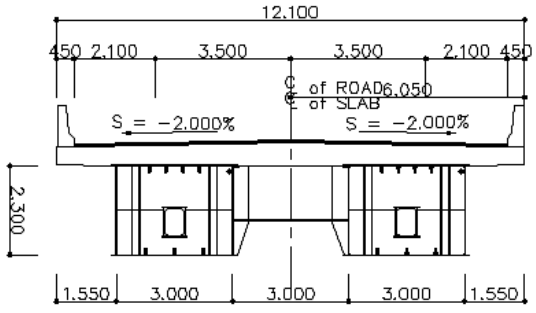
▲ 곡선 보요소에 작용하는 힘

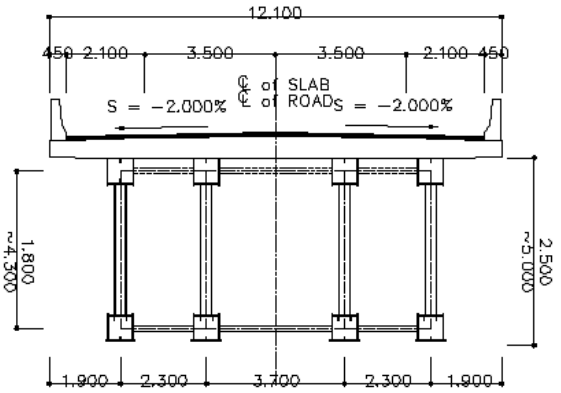


지점 배치 (접선방향)



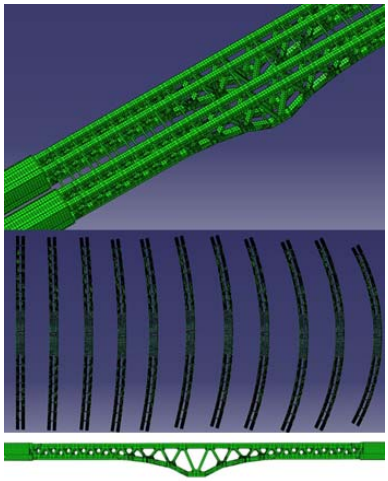
곡률중심각 정의

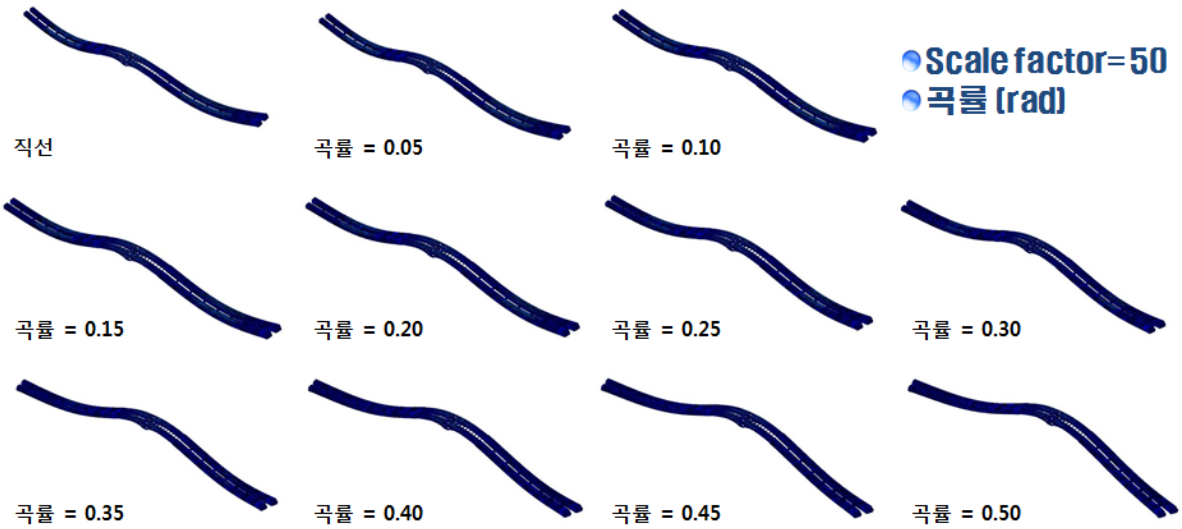




(3) 유한요소 해석

1) ABAQUS 6.10
2) 4절점/3절점 쉘요소 (S4R/S3R)
3) 선형탄성해석
4) Gravity Load

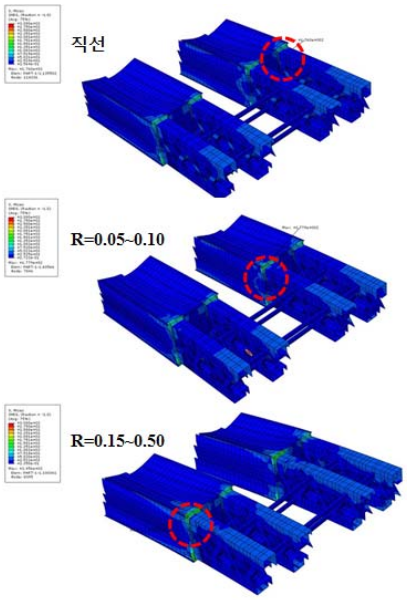




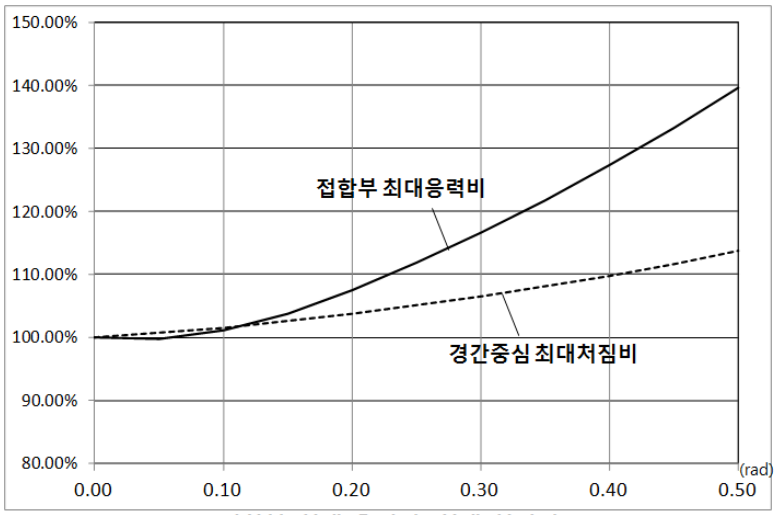
(4) 해석 결과

1) 곡률 중심각 0.10rad 이하에서 외측 거더 접합부에서 최대응력이 발생
2) 곡률 중심각 0.15rad 이상에서 내측 거더 접합부에서 최대응력이 발생
3) 곡률 중심각 0.5rad 교량의 접합부 최대응력(245.6MPa)은 직선 교량일 때의 접합부 최대응력(176.0MPa) 보다 39.55% 증가
4) 곡률이 커질수록 최대 처짐 비에 비해서 최대 응력 비가 크게 증가
5) 처짐보다 접합부의 응력이 곡률에 더 민감한 거동을 보임

중심각 (rad)	최대응력 (MPa)	최대응력비 (직선기준)
0.00	176.0	100.00%
0.05	175.5	99.72%
0.10	177.9	101.08%
0.15	182.6	103.75%
0.20	189.3	107.56%
0.25	196.9	111.88%
0.30	205.2	116.59%
0.35	214.3	121.76%
0.40	224.1	127.33%
0.45	234.6	133.30%
0.50	245.6	139.55%



접합부 최대응력 발생 지점



<접합부 최대 응력비, 최대 처짐비>

7.2 곡선 트러스 형식별 성능 분석

(1) 트러스교량의 곡선교 적용사례, 일본

교량명	종류	도로/철도	교량 길이	스팬분할	교량 폭원	평면 곡률	설계 하중
쓰바키대교	단순교	도로	90.0	88.7	차도:7.25 보도:3.00	125	B 활하중
나카히라 2호교	연속교	도로	181.0	21.2+ (59.4+ 74.6)+ 21.2	차도:7.25 보도:3.00	160	B 활하중
나가스고가교	하로교	철도	61.4	60.0	철로	225	EA-17
에노쿠시강교	연속교	도로	400.0	(3@52.5)+ (4@60.0)	차도:2@(9.25)		1등교(TL-20,TT-43)
제3치쿠마가와 강교	하로교	철도	557.1	(81.9+ 82.7+ 81.9) + (102.1+ 103.0+ 102.1)	철로	4000	P-16
코토메대교	연속교	도로	316.0	52.5+ (111.3+ 111.3) + 37.5	차도:6.25 보도:1.50	160	1등교 (TL-20)
오니가세가와교	연속교	도로	211.0	104.8+ 104.8	차도:12.49		B 활하중
사이카와강교	하로교	철도	364.0	(68.0+ 88.0+ 68.0)+ (68.0+ 68.0)	철로	1500	P-16
류구교	단순교	도로	91.0	89.35	차도:5.0 ~10.14	12 20	2등교 (TL-14)
토노하라 2호교	단순교	도로	99.0	27.0+ 69.6	차도:8.0	160	1등교 (TL-20)
이시즈마교	연속교	도로	213.0	48.3+ 62.0+ 57.5+ 43.8	차도:7.50 보도:2.50		1등교 (TL-20)
OJ52공구 고가교	연속교	도로	308.0	81.2+ 111.5+ 113.7	차도:2@8.0		1등교 (TL-20)
카리사카대교	연속교	도로	250.5	4@59.0	차도:15.5		1등교 (TL-20)
아부라자가 3호교	연속교	도로	380.0	(2@32.5)+ (91.0+ 130.0+ 91.0)	차도:13.5		1등교(TL-20,TT-43)
미나미타와라이교	단순교	도로	169.0	95.4+ (35.5+ 35.5)	차도:9.0		1등교(TL-20,TT-43)
카미하카이머프교	단순교	도로	76.0	74.5(북해도)	차도:11.0 보도:3.0	400	-
세리조교	단순교	도로	50.0	49.0	차도:5.0	100	A 활하중
히매카와 중앙교	연속교	도로	211.3	70.0+ 70.0+ 70.0	차도:7.0		1등교 (TL-20)
유센교	연속교	도로	348.0	5@69.3	차도:10.5		1등교 (TL-20)

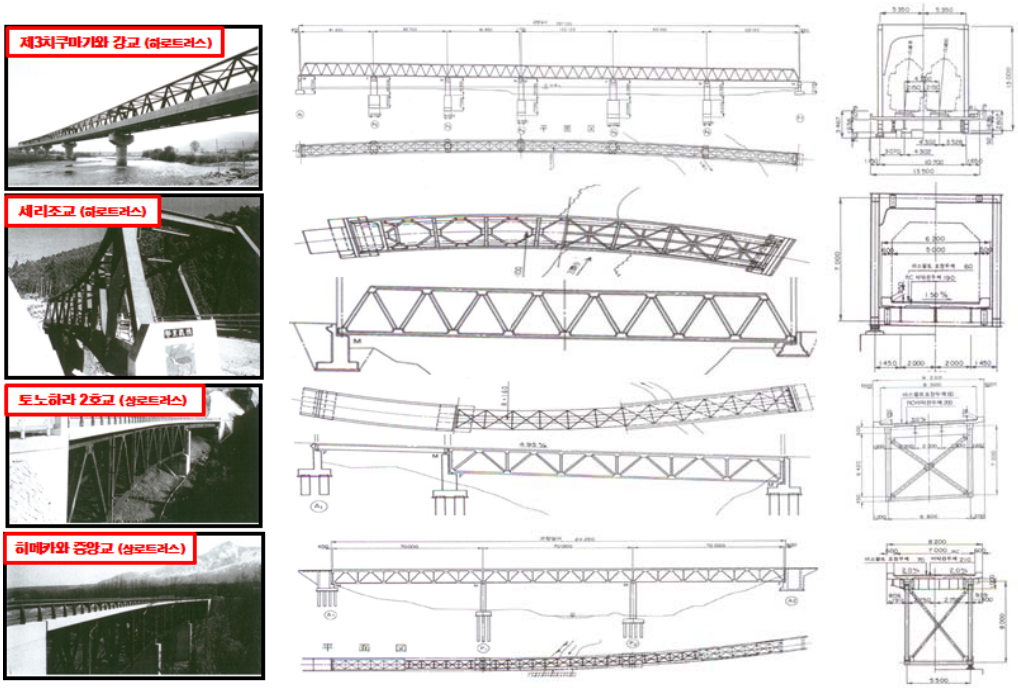
(2) 곡선트러스 교량의 대표적인 형식

1) 측면: 와렌 형식

2) 상·하면: X자 브레이싱

3) 단면 내부: X자 브레이싱 (상로트러스 경우)

4) 대부분 곡률이 매우 작음



7.3 사재 및 수직재의 배치에 따른 비틀림 저항 성능 평가

(1) 해석 조건

1) ABAQUS 6.10 선형탄성해석, 2절점 트러스 요소(T3D2) 사용

2) 탄성계수 = 205GPa, Poisson 비 = 0.3

3) 단일 거더, 순수 비틀림 하중 재하

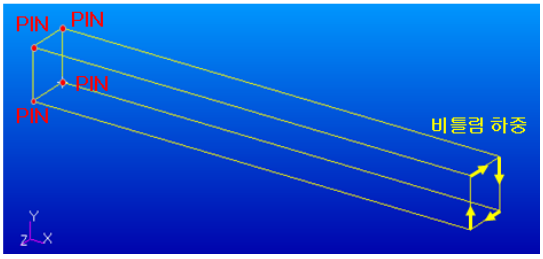
4) 경계 조건은 Pin 으로 모사: 1, 2, 3자유도 구속

(2) 해석 모델

1) 측면 및 상·하면 각각 4가지 형식

2) 모델 명명: 측면-상·하면'Ex) 'A4' (측면A형식-상·하면4형식)

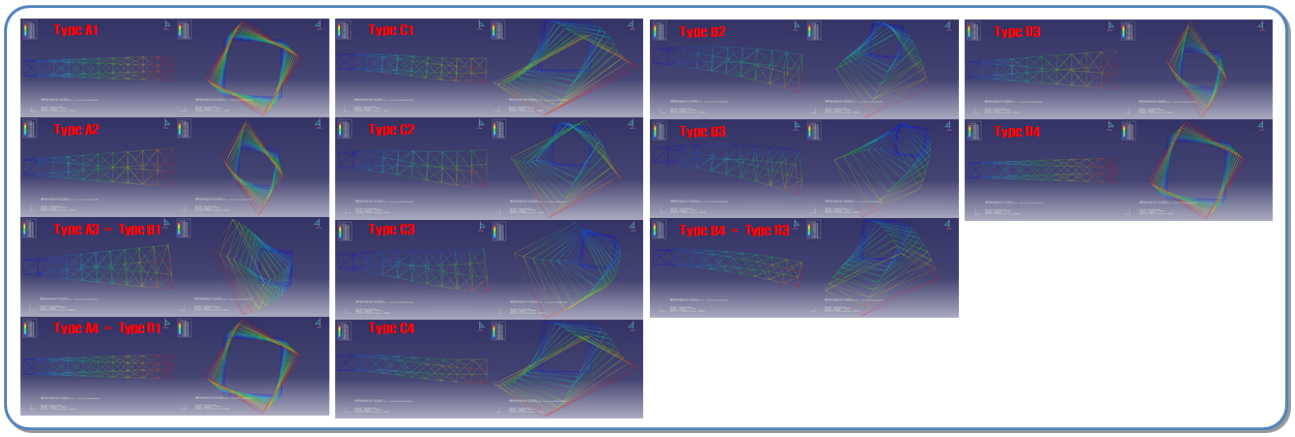
3) 총 13가지 타입 (중복되는 3가지 형식 제외)





(3) 각 형식 별 해석 결과

1) 측면형식 B와 C는 상하형식에 상관없이 Warping과 Distortion 발생
2) 측면형식 A가 측면형식 B보다 비틀림 저항 성능 우수
3) 측면형식 D가 측면형식 C보다 비틀림 저항 성능 우수
4) 'X자 브레이싱형식이 Warping Torsion 저항에 우수 (A와 D, 1과 4 형식)
5) '/ 브레이싱'은 배치형식에 따라 Warping 또는 Distortion 유발



(4) 상·하면 형식 변화에 따른 비교

1) A1(X 브레이싱)에 비해 사재의 개수가 적은 A2,A3(/브레이싱)은 비틀림 저항성능 저조 -> Warping 또는 Distortion 발생
2) 순수 비틀림 상태에서 수직재들의 응력은 매우 작음



(5) 소결

1) 순수 비틀림 해석 결과를 조합해 보면 [X브레이싱 > 와렌타입 > /타입] 순으로순수 비틀림 저항성능이 높은 형식이라 판단됨

2) 즉, 사재의 배치 및 개수가 비틀림 저항 성능에 큰 영향을 줌

2) 수직재는 순수 비틀림 저항에 큰 영향이 없었음

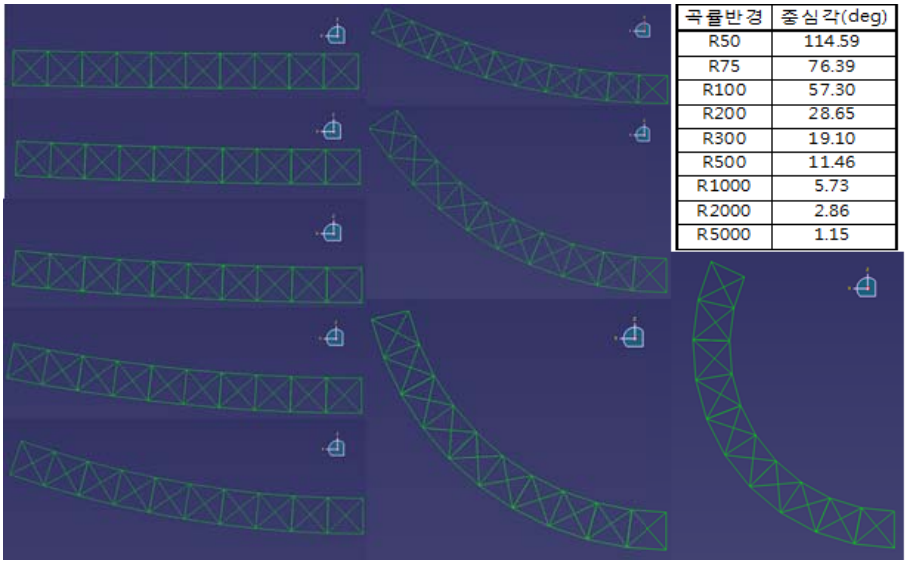
3) 직선 강상자-트러스 교량의 트러스 형식은 상·하면이 수직재로만 구성이 되어 있어 비틀림에 취약할 가능성이 높음

4) 곡률이 큰 곡선교량 적용을 위해서는 트러스 구조의 선택이 필요함

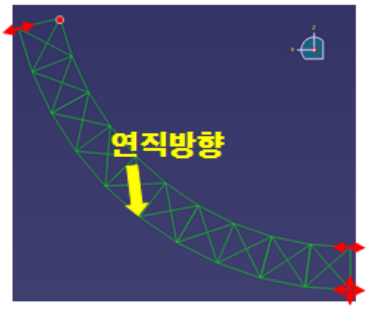
7.4 곡률 변화에 따른 곡선 트러스 거더의 축력 및 처짐 검토 – 선형 해석

(1) 유한요소 해석 모델

1) ABAQUS 6.10 선형탄성해석, 2절점 트러스 요소(T3D2) 사용
2) 순수 비틀림 해석에서의 TypeA1 트러스 모델
3) 탄성계수 = 205GPa, Poisson 비 = 0.3
4) 단순보 지지 조건
5) 중앙 지간 연직 편심 하중 재하 (외측 상현재)
6) 곡률 중심각 : 0~120° (9가지 모델)



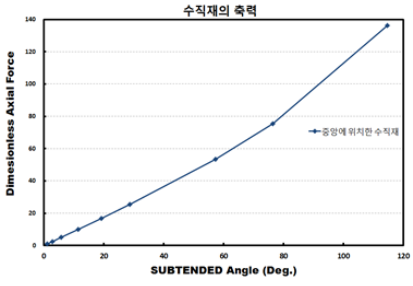
곡률반경	중심각(deg)
R50	114.59
R75	76.39
R100	57.30
R200	28.65
R300	19.10
R500	11.46
R1000	5.73
R2000	2.86
R5000	1.15

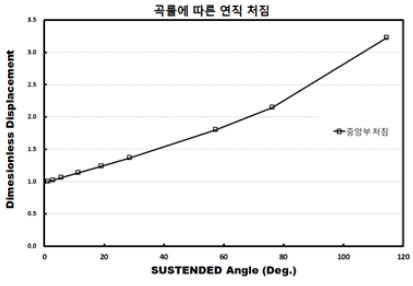


(2) 선형 해석 결과

1) 사재 축력 : 직선교의 축력 대비 곡률 중심각 115° 시 3.2배 증가
2) 수직재 축력 : 직선교의 축력 대비 곡률 중심각 115° 시 130배 이상 증가
3) 연직 처짐 : 직선교의 축력 대비 곡률 중심각 115° 시 3.3배 증가







(3) 소결

1) 곡률 증가에 따른 사재의 축력 및 연직 변위의 증가율에 비해 수직재 축력의 증가율이 매우 크게 나타남
2) 곡률 증가에 따른 수직재 부재에 대한 보강이 필요함
3) 대체적으로 곡률 중심각 60° 부근까지 선형적으로 증가하다가 이후 더욱

가파르게 증가하는 양상을 띔

4) 수직재의 경우 직선 거더 순수 비틀림에는 저항능력이 없는 것으로 나타났지만, 곡선 거더의 면외 방향 강성에 큰 기여를 하고 있는 것으로 판단됨

7.5 곡률 변화에 따른 곡선 트러스 거더의 축력 및 처짐 검토 - 비선형 해석

(1) 유한요소 해석 모델

1) ABAQUS 6.10, 2절점 트러스 요소(T3D2) 사용
2) 기하 비선형 해석 : Arc-Length Method (Riks 옵션, 후 좌굴 거동)
3) 재료 비선형 해석 : 항복응력 380MPa (HSB500, Elasto-Plastic 모델)
4) 탄성계수 = 205GPa, Poisson 비 = 0.3
5) 단순보 지지 조건
6) 중앙 지간 연직 편심 하중 재하 (외측 상현재)
7) 곡률 중심각 : 0~120° (9가지 모델)

(2) 비선형 해석 결과 (기하 비선형 해석)

1) 곡률이 심해질수록 하중-변위 곡선의 기울기 감소
2) 기하 비선형 해석을 통한 극한 내력 또한 곡률에 따라 감소

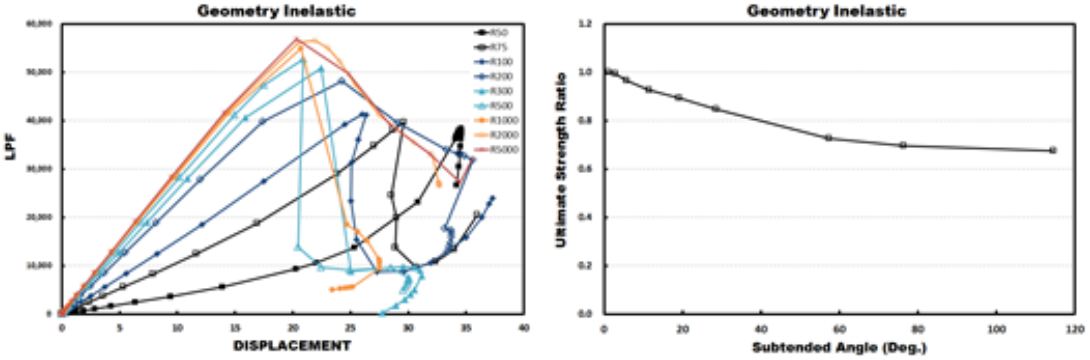
(3) 비선형 해석 결과 (기하·재료 비선형 해석)

1) 극한 내력은 곡률 중심각 30°를 기준으로 급격히 떨어지는 양상
   - 선형 해석에서는 60° 기준

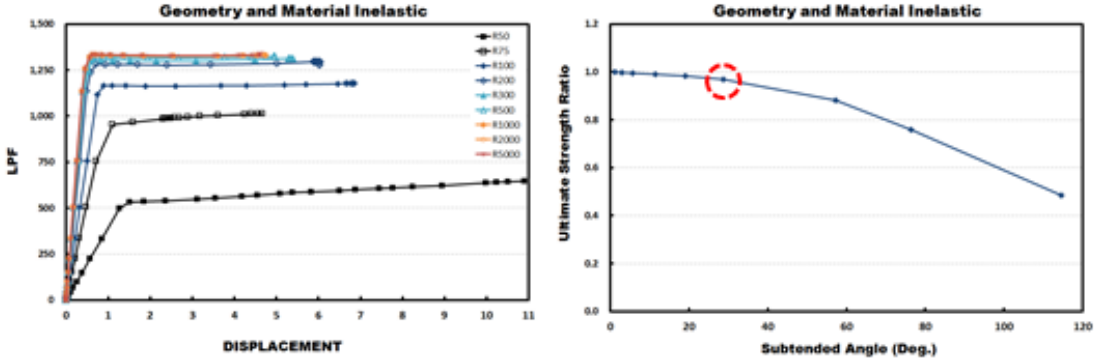
(4) 기하 비선형 해석과 기하·재료 비선형 해석 비교

1) 곡선 트러스 구조는 좌굴 보다는 항복이 지배하는 구조로 판단 됨

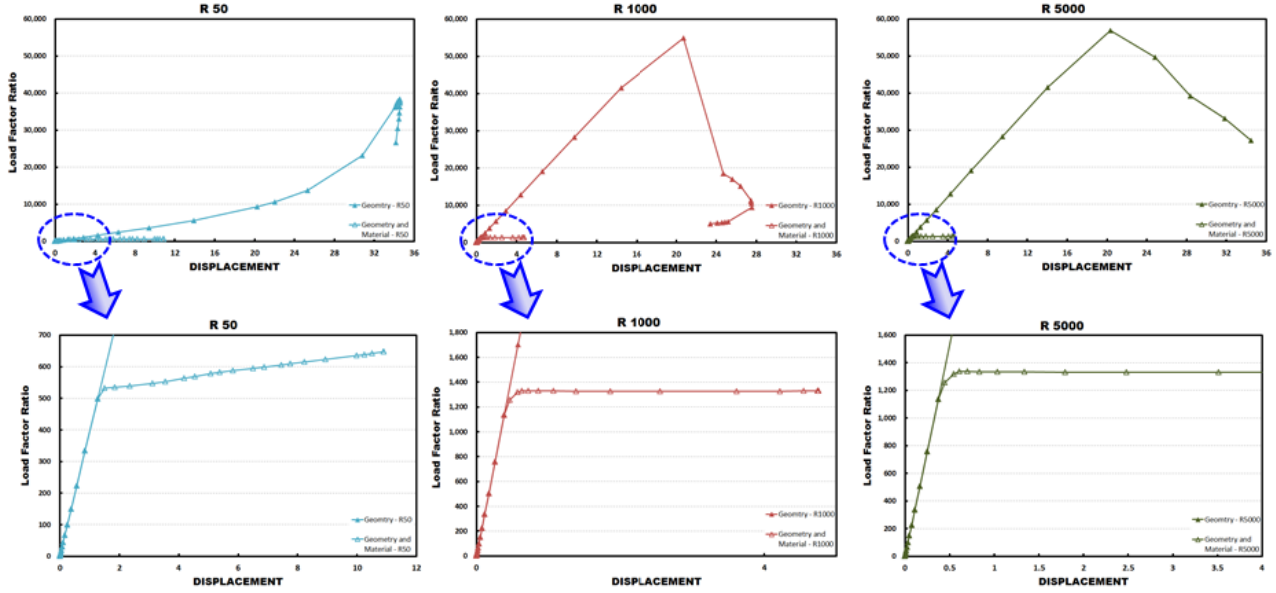
◆ 기하비선형 해석 결과



◆ 재료+기하비선형 해석 결과



◆ 기하 및 재료-기하 비선형 해석 결과 비교



7.6 강상자-트러스 하이브리드 곡선교량의 거동 평가

(1) 유한요소 해석 모델

1) 교량의 형식은 총 길이 200m인 2경간 연속 교량 (박스:135m, 트러스:65m)

2) 곡률 중심각은 3°~42°로 총 14가지 곡률의 모델

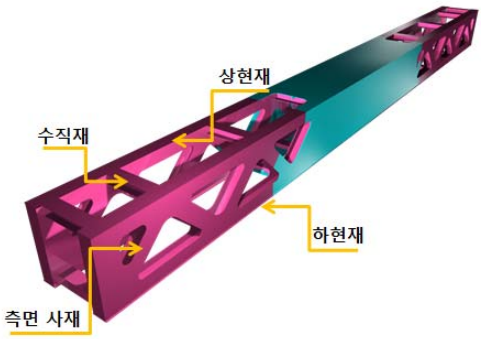
3) 해석 결과 정리를 위해 내측 거더를 G1, 외측 거더를 G2 그리고 트러스 부재를 곡률 내측으로부터 외측 순서로 G1I, G1O, G2I, G2O 라 정의

4) 상부 Slab 타설 전 교량의 자중만을 고려

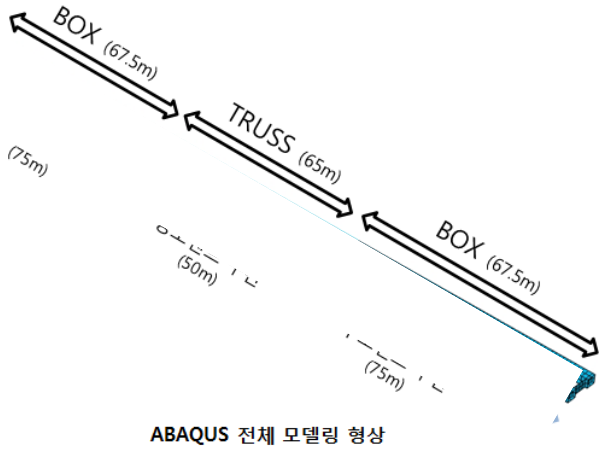
- 상부 Slab 타설 후 상부 면의 강성이 증대되며 2거더 거동이 합성 거동을 하게 되어 곡선교의 비틀림에 의한 단면 변형에 대한 저항성능이 증가하게 되기 때문에 합성 거동을 하기 전, 즉 상부 Slab 타설 전의 상태에 대한 해석을 수행함

각 부재의 단면 및 재료

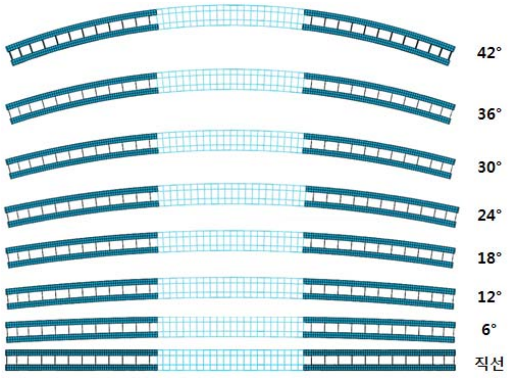
	단면적 (m^2)	단면 형식	폭 (mm)	높이 (mm)	두께 (mm) 상면	하면	측면	탄성계수 (GPa)	밀도 (ton/m^3)	Poisson 비
트러스 상현재	74,880	Box	600	600	36	36	30	205	7.85	0.3
트러스 하현재	94,080	Box	600	1,100	30	30	26	205	7.85	0.3
트러스 측면사재	40,000	Box	640	400	20	20	20	205	7.85	0.3
트러스 상하 수직재	21,132	I	300	1,089	14	14	12	205	7.85	0.3
트러스 Cross Beam	19,956	I	300	1,087	12	12	12	205	7.85	0.3
박스 주부재	122,448	Box	2,400	2,340	14	14	12	205	7.85	0.3
박스 다이아프램	5.616×10^6	Plate	2,400	2,340		12		205	7.85	0.3
박스 Cross Beam	9.594×10^6	Plate	4,100	2,340		10		205	7.85	0.3



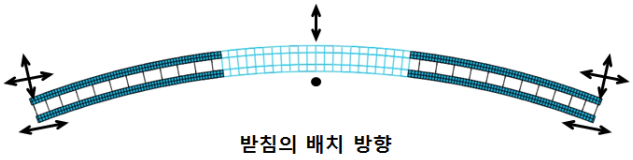
강상자-트러스 교량 부재 별 용어



ABAQUS 전체 모델링 형상



곡률 중심각 별 모델링 형상


받침의 배치 방향



트러스 내측·외측 부재 정의

(2) 해석 결과

1) 곡률 변화에 따른 트러스 상현재의 최대 축응력

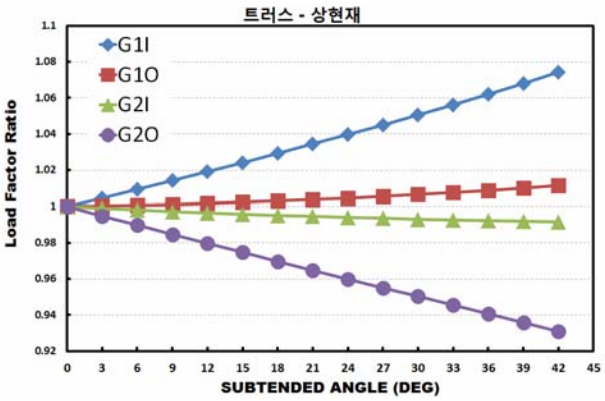
- 상현재에서는 부모멘트가 발생하는 구간으로 부모멘트가 가장 큰 중앙지

점 부분 상현재에서 최대 인장 응력이 발생

- 그래프는 직선의 축응력을 1이라 하였을 때 곡률에 따른 축응력의 비를 나타냄
- 내측 상현재의 경우 직선 응력 대비 곡률중심각 42° 일 때 축응력 7.4% 증가
- 외측 상현재의 경우 직선 응력 대비 곡률중심각 42° 일 때 축응력 6.9% 감소



트러스 상현재 최대 응력 지점

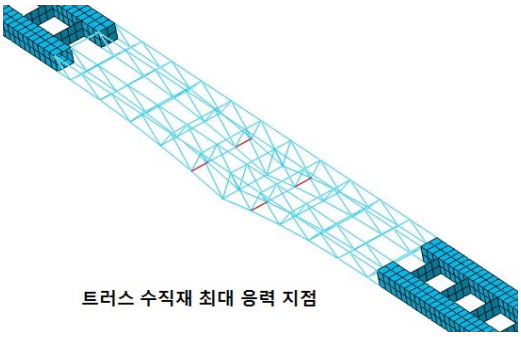


상현재	Girder (Mpa)			
	G1		G2	
중심각 (Deg)	in	out	in	out
42	15.297	14.424	14.134	13.237
39	15.210	14.405	14.138	13.306
36	15.126	14.387	14.143	13.375
33	15.043	14.370	14.149	13.444
30	14.963	14.354	14.154	13.513
27	14.884	14.340	14.161	13.582
24	14.806	14.326	14.168	13.651
21	14.731	14.314	14.176	13.721
18	14.657	14.303	14.184	13.790
15	14.584	14.294	14.194	13.861
12	14.513	14.285	14.204	13.931
9	14.443	14.277	14.214	14.002
6	14.375	14.271	14.226	14.074
3	14.307	14.265	14.239	14.147
직선	14.241	14.261	14.253	14.221

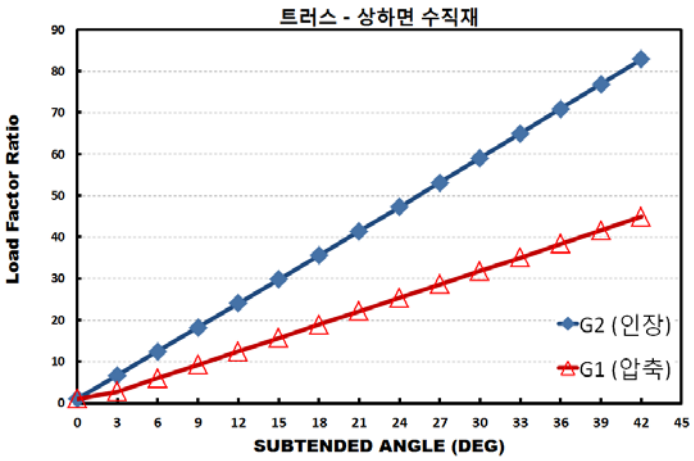
2) 곡률 변화에 따른 트러스 상·하면 수직재의 최대 축응력

- 그래프는 직선의 축응력을 1이라 하였을 때 곡률에 따른 축응력의 비를 나타냄
- 직선 교량일 때는 매우 작은 응력이 발생하던 수직재가 곡률이 생기면서 응력이 크게 증가 (인장응력 44.9배 증가, 압축응력 82.8배 증가)
- 내측 수직재(압축응력)에 비해 외측 수직재(인장응력)가 곡률의 변화에 대해 더 민감한 반응을 보임
- 교량의 중앙 지점에서 가까운 부분의 수직재에서 최대 축응력이 발생하였고, 박스 구간 부분으로 갈수록 수직재의 응력 변화가 줄어드는 것으로 보아 곡선화 되면서 발생하는 추가 비틀림 응력으로 인한 단면의 뒤틀림 영향으로 수직재의 응력이 증가하는 것으로 판단됨
- 직선 교량에서 부부재 역할을 하였던 수직재는 곡선 교량이 되면서 곡률에 따라 발생하는 추가 비틀림(면외 방향 힘)을 견디는 주요 부재가 됨
- 트러스 단면 내 X자 브레이싱등의 보강재를 추가 하여 단면의 뒤틀림을 예방 한다면 상·하면 수직재의 곡률에 따른 큰 응력 변화를 막을 수 있을

것으로 판단됨



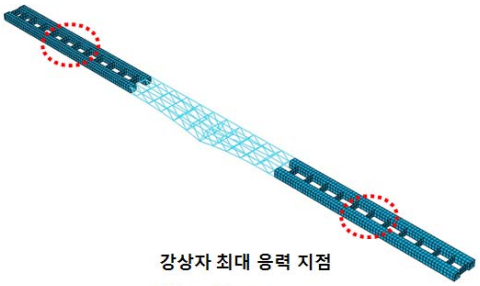
트러스 수직재 최대 응력 지점



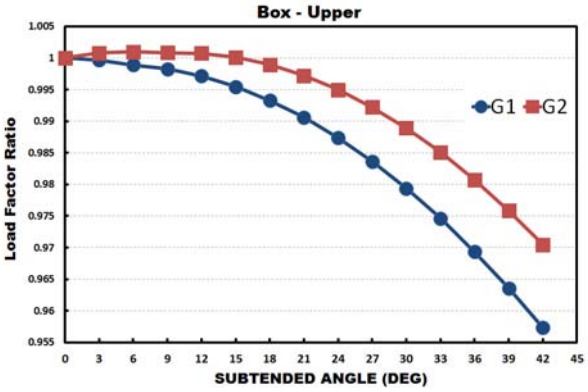
상·하면 수직재	Girder (Mpa)		
중심각 (Deg.)		G1	G2
42	Max.Com	-0.4393	
	Max.Ten		0.4543
39	Max.Com	-0.4071	
	Max.Ten		0.4214
36	Max.Com	-0.3750	
	Max.Ten		0.3887
33	Max.Com	-0.3431	
	Max.Ten		0.3562
30	Max.Com	-0.3113	
	Max.Ten		0.3238
27	Max.Com	-0.2795	
	Max.Ten		0.2915
24	Max.Com	-0.2479	
	Max.Ten		0.2593
21	Max.Com	-0.2163	
	Max.Ten		0.2273
18	Max.Com	-0.1848	
	Max.Ten		0.1953
15	Max.Com	-0.1533	
	Max.Ten		0.1635
12	Max.Com	-0.1219	
	Max.Ten		0.1317
9	Max.Com	-0.0904	
	Max.Ten		0.1001
6	Max.Com	-0.0590	
	Max.Ten		0.0685
3	Max.Com	-0.0276	
	Max.Ten		0.0370
직선	Max.Com	-0.0098	
	Max.Ten		0.0055

3) 곡률 변화에 따른 강상자의 최대 응력

- 강상자 구간에는 상면에 압축응력이 발생
- 그래프는 직선의 축응력이 1일 때 곡률에 따른 축응력의 비를 나타냄
- 직선 응력 대비 곡률중심각 42° 일 때 최대 응력 4.27% 감소



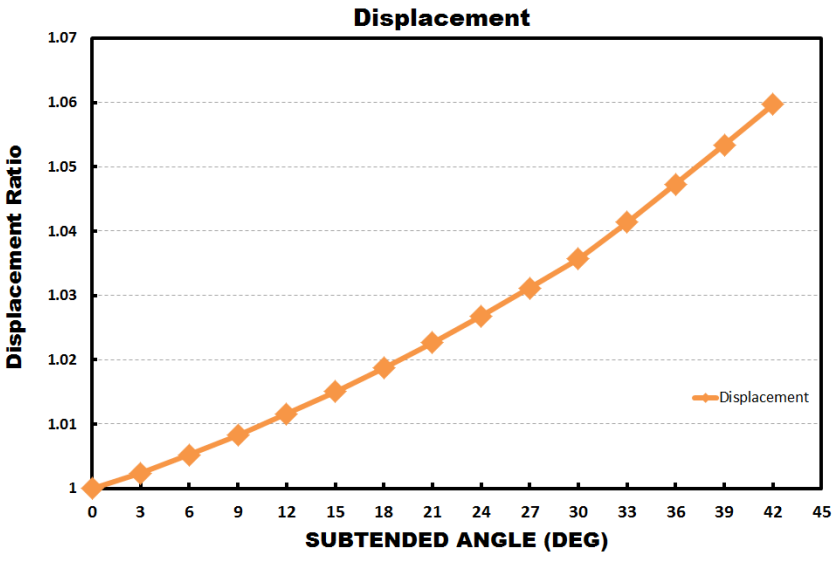
강상자 최대 응력 지점



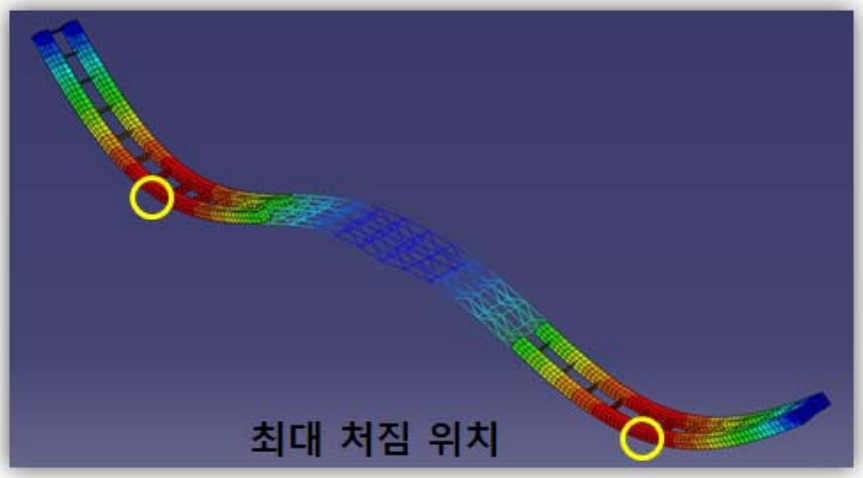
박스 상면	Girder (Mpa)	
중심각 (Deg.)	G1	G2
42	-6.043	-6.129
39	-6.083	-6.163
36	-6.120	-6.194
33	-6.153	-6.221
30	-6.183	-6.245
27	-6.210	-6.266
24	-6.233	-6.284
21	-6.254	-6.298
18	-6.271	-6.309
15	-6.284	-6.316
12	-6.295	-6.320
9	-6.302	-6.321
6	-6.306	-6.322
3	-6.311	-6.320
0	-6.313	-6.315

4) 곡률 변화에 따른 강상자-트러스 교량의 최대 처짐

- 그래프는 직선의 최대 처짐을 1이라 하였을 때 곡률에 따른 최대 처짐 비를 나타냄
- 곡률이 증가함에 따라 최대 처짐의 위치가 외측 거더로 옮겨짐
- 직선 교량의 최대 처짐 대비 곡률 중심각 42° 일 때 최대 처짐은 5.97% 증가



처짐	Girder (mm)
중심각 (Deg.)	G2
42	-17.766
39	-17.660
36	-17.557
33	-17.458
30	-17.363
27	-17.286
24	-17.214
21	-17.145
18	-17.079
15	-17.017
12	-16.959
9	-16.904
6	-16.852
3	-16.804
직선	-16.765



5) 소결

- 트러스 상·하면 수직재는 곡률에 따라 큰 응력 변화가 나타났지만, 곡률 중심각 42°일 때 수직재의 응력(0.454MPa)에 비해 상현재의 응력(15.3MPa)은 약 34배로 매우 큼
- 수직재를 제외하고 곡률에 따른 응력 변화가 가장 큰 부재는 트러스의 상현재 임
- 곡률에 따라 발생하는 추가 면외 방향의 저항을 해 줄 수 있는 부재를 설치하여 상·하면 수직재의 응력 변화를 제어하고 트러스 상현재의 응력을 기준으로 직선 교량 형식으로 적용 가능한 곡선교량의 기준을 잡는 것이 합리적임
- 상현재의 응력 변화를 기준으로 5%내외의 응력변화를 한계곡률로 설정한다면, 곡률 중심각 30°일때의 곡선교량을 직선 교량 형식으로 적용 가능한 '한계 곡률'이라 할 수 있음

Ⅲ. 3차년도

1. 한계상태 설계법 적용 설계도서

1.1 목적

(1) 2015년 1월 1일부터 국내 설계에 의무적으로 적용되는 한계상태설계법(Limit State Design)에 맞추어 강상자구조와 트러스구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조(HiTAB 거더교)의 도로교설계기준(한계상태설계법, 2012)에 의한 구조계산서를 작성.

(2) 현재 국내 도로교설계기준(한계상태설계법, 2012)을 HiTAB 교량에 적용시, 현황을 점검하고 부족한 부분에 대한 향후 대책 및 보완 방안 수립.

(3) 대상 교량[B=10.735m, L=200m(2@100)]을 선정하여 기존 허용응력설계법(ASD)을 적용한 구조계산 결과와 한계상태설계법(LSD)을 적용한 구조계산 결과를 비교·분석한다.

(4) HiTAB 교량에 한계상태설계법(LSD) 적용시 경제성을 파악한다.

1.2 허용응력설계법(ASD)과 한계상태설계법(LSD)의 설계기준 비교

본 설계법의 설계기준의 비교는 강교량인 HiTAB 거더교와 관련된 항목에 대하여 비교하는 것으로 한다.

(1) 하중 조합

1) 허용응력 설계법

[강교에서의 하중조합 및 증가계수]

	하 중 조 합	증가계수
1	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화의 영향	1.15
2	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중	1.25
3	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화의 영향+풍하중	1.35
4	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중+제동하중	1.25
5	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+충돌하중	1.70
6	풍하중만 고려할 때	1.20
7	제동하중만 고려할 때	1.20
8	활하중 및 충격 이외의 주하중+지진의 영향	1.50
9	가설시 하중	1.25

- 주하중 : 고정하중(D), 활하중(L), 충격(I), 프리스트레스(PS), 콘크리트 크리프의 영향(CR), 콘크리트 건조수축의 영향(SH), 토압(H), 수압(F), 부력 또는 양압력(B)
- 부하중 : 풍하중(W), 온도변화의 영향(T), 지진의 영향(E)
- 주하중에 상당하는 특수하중 : 설하중(SW), 지반변동의 영향(GD), 지점이동의 영향(SD), 파압(WP), 원심하중(CF)
- 부하중에 상당하는 특수하중 : 제동하중(BK), 가설시하중(ER), 충돌하중(CO), 기타

2) 한계상태 설계법

[하중조합과 하중계수]

하중 / 한계상태 하중조합	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS CF	WA BP WP	WS	WL	FR	TU	TG	GD SD	이 하중들은 한번에 한가지만 고려 γ_p			
										EQ	IC	CT	CV
극한 I	γ_p	1.80	1.00	–	–	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한 II	γ_p	1.40	1.00	–	–	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한 III	γ_p	–	1.00	1.40	–	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극한IV – EH, EV, ES, DW DC만 고려	γ_p	–	1.00	–	–	1.00	0.50/ 1.20	–	–	–	–	–	–
극한V	γ_p	1.40	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
극단상황 I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	–	–	1.00	–	–	–	1.00	–	–	–
극단상황 II	γ_p	0.50	1.00	–	–	1.00	–	–	–	–	1.00	1.00	1.00
사용 I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
사용 II	1.00	1.30	1.00	–	–	1.00	1.00/ 1.20	–	–	–	–	–	–
사용 III	1.00	0.80	1.00	–	–	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–
사용IV	1.00	–	1.00	0.70	–	1.00	1.00/ 1.20	–	1.0	–	–	–	–
피로 – LL, IM & CE만 고려	–	0.75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

- 지속하중 : 고정하중(구조부재와 비구조 부착물의 중량(DC), 포장과 설비의 고정하중(DW)), 프리스트레스힘(PS), 시공중 발생하는 구속응력(EL), 콘크리트 크리프의 영향(CR), 콘크리트 건조수축의 영향(SH), 토압(수평토압(EH),상재토하중(ES),수틱토압(EV),말뚝부마찰력(DD))
- 변동하는 하중 : 활하중(차량활하중(LL),상재활하중(LS),보도하중(PL)), 충력(IM), 풍하중(차량에 작용하는 풍하중(WL), 구조물에 작용하는 풍하중(WS)), 온도변화의 영향(단면평균온도(TU), 온도구배(TG)), 지진의 영향(EQ), 정수압과 유수압(WA), 부력 또는 양압력(BP), 설하중 및 빙하중(IC), 지반변동의 영향(GD), 지점이동의 영향(SD), 파압(WP), 원심하중(CF), 제동하중(BR), 가설시하중(ER), 충돌하중(CT), 마찰력(FR)

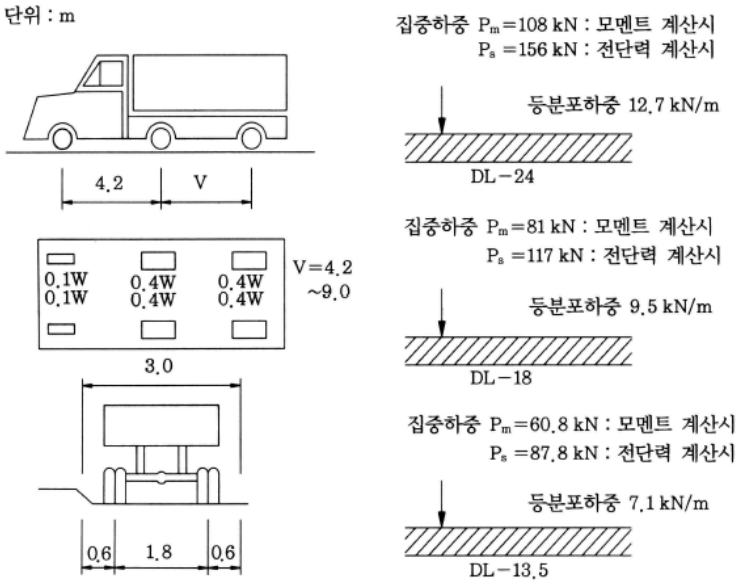
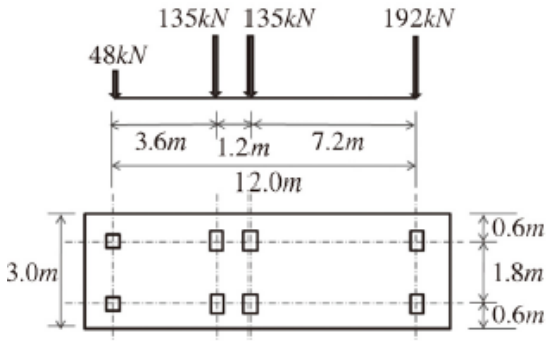
부재(단면) 설계식 : $Q = \sum \eta_i \gamma_i q_i \leq \Phi R$

여기서, Q : 설계하중, η_i : 하중수정계수, q_i : 하중 또는 하중효과

γ_i : 상기 표의 하중계수, Φ : 저항계수, R : 설계강도

(2) 활하중

1) 표준트럭 및 표준차로하중

<table>
<tr><th>구분</th><th>표준트럭 및 표준차로하중</th></tr>
<tr><td rowspan="3">ASD
(허용응력설계법)</td><td>[DB 및 DL하중]
 
</td></tr>
<tr><td>[DB하중]
<table>
<tr><th>교량등급</th><th>하중등급</th><th>중량
W(kN)</th><th>총하중
1.8W(kN)</th><th>전륜하중
0.1W(kN)</th><th>후륜하중
0.4W(kN)</th></tr>
<tr><td>1 등교</td><td>DB-24</td><td>240</td><td>432</td><td>24</td><td>96</td></tr>
<tr><td>2 등교</td><td>DB-18</td><td>180</td><td>324</td><td>18</td><td>72</td></tr>
<tr><td>3 등교</td><td>DB-13.5</td><td>135</td><td>243</td><td>13.5</td><td>54</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>LSD
(한계상태설계법)</td><td>[표준트럭하중(KL-510)]
 
</td></tr>
<tr><td>[표준차로하중]
<table>
<tr><td>$L \leq 60\,\mathrm{m}$</td><td>$\omega = 12.7 \quad (\mathrm{kN/m})$</td></tr>
<tr><td>$L > 60\,\mathrm{m}$</td><td>$\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18} \quad (\mathrm{kN/m})$</td></tr>
</table>
L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간</td></tr>
</table>

2) 주거더 설계시의 설계차량 활하중

ASD	LSD
교축방향으로 차로당 1대의 DB하중 또는 1차로분의 DL하중 가운데 설계부재에 불리한 응력을 주는 것을 재하	최대 하중의 영향은 다음의 경우 큰 값을 사용 (최대 하중 = MAX(Case1, Case2)) • Case1 : 표준트럭하중의 영향 • Case2 : 표준트럭하중의 영향 75% + 표준차로하중의 영향
차량점유폭 3.0m	차량점유폭 3.0m

3) 다차로재하 계수

재하차로의 수	ASD	LSD
1	1.0	1.0
2	1.0	0.9
3	0.9	0.8
4	0.75	0.7
5 이상	0.75	0.65

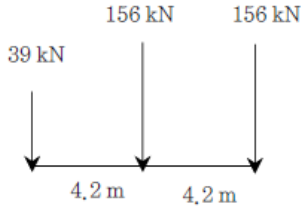
4) 보도 등에 재하하는 등분포하중

ASD, LSD 동일			
지간장 L(m)	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$L > 130$
등분포하중의 크기	3.5×10^{-3}	$(4.3-0.01L)\times10^{-3}$	3.0×10^{-3}

5) 상부구조의 충격계수

ASD	LSD
$I=\frac{15}{40+L}\leq 0.3$ L : 지간장(m)	• 피로한계상태를 제외한 모든 한계상태 : 25% • 피로한계상태 : 15%

6) 피로하중

ASD	LSD
-	• 총중량 351kN로 한산한 한 대의 설계트럭하중 

(3) 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향

구분	ASD	LSD
건조수축	바닥판 콘크리트의 인장력과 합성시의 구속력(압축력)에 따른 영향을 부재에 고려하여 계산 (건조수축 탄성계수비 사용)	건조수축 및 크리프에 의한 하중을 별도로 산정하지 않고, 합성후 고정하중에 의한 단면력에 강재와 콘크리트의 탄성계수비 n의 3배를 곱한 단면계수를 고려한 장기합성단면으로 계산
크리프	지속하중에 의한 영향을 부재에 고려하여 계산 (크리프 탄성계수비 사용)	

※ HiTAB 구조에서 허용응력설계법(ASD)으로 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향을 고려하기 위해서는, 각 부재들의 건조수축 및 크리프에 의한 내적부정정력을 구하고 이를 3D Frame 모델의 하중으로 치환하여 구조해석을 수행함으로써 최종적으로 건조수축 및 크리프에 의한 외적부정정력(부재력)를 구할 수 있었다. 그러나, 한계상태설계법(LSD)에서는 별도의 복잡한 해석없이 합성후 고정하중에 대하여 장기합성단면(탄성계수비 3n)을 사용함으로써 건조수축 및 크리프에 의한 영향을 고려하였다.

(4) 처짐기준

ASD	LSD
강교의 경우 $\frac{L}{500}$, L=지간길이	• 기본적으로 처짐의 평가는 하지 않음 • 다만, 발주자가 활하중에 대한 처짐의 허용기준을 요구할 경우 · 표준트럭하중만으로 얻은 처짐 · 표준차로하중과 표준트럭하중의 25%에 의한 처짐 중 큰 값을 사용

(5) 부재 설계

1) 강상자 구조 구간의 주거더 설계

ASD	LSD
• STEP1 : 단면의 단계별 응력산정 • STEP2 : 단면의 단계별 허용응력 산정 • STEP3 : 단면의 단계별 응력 판별(검토) • STEP4 : 단면의 항복에 대한 안전도 검사 • STEP5 : 단면의 피로검토 (필요시)	• STEP1 : 극한한계상태 검토 • STEP2 : 사용한계상태 검토 사용한계상태에 따른 영구처짐 검토 • STEP3 : 시공성 검토 시공단계에 따른 단면력 검토 • STEP4 : 피로한계상태 검토 피로하중 단면력으로 휨, 전단 검토

※ LSD STEP1 : 극한한계상태 검토에 대하여

- 단면의 소성모멘트 및 항복모멘트 계산(정모멘트부)
- 단면 조밀/비조밀 여부 결정
  · 강재의 항복강도가 480MPa을 넘지 않는가
  · 거더의 높이가 일정한가
  · 복부판에 수평보강재가 있는가
  · 인장플랜지에 구멍이 있는가
  · 복부판, 압축플랜지 세장비 검토, 상관관계 검토
- 조밀/비조밀에 따라 강도 및 응력 검토
  · 정모멘트 단면 : 합성조밀단면, 합성비조밀단면, 비합성조밀단면, 비합성비조밀단면
  · 부모멘트 단면 : 조밀단면, 비조밀단면
- 전단검토

2) 트러스 구조 구간의 주거더 설계

ASD	LSD
• STEP1 : 단면의 단계별 응력산정 • STEP2 : 단면의 단계별 허용응력 산정 • STEP3 : 단면의 단계별 응력 판별(검토) • STEP4 : 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재의 2축응력조합 검토 • STEP5 : 단면의 피로검토 (필요시)	• STEP1 : 극한한계상태 검토 · 축강도 검토, 휨강도 검토, 전단검토 · 축강도와 휨강도의 조합강도 검토 • STEP2 : 사용한계상태 검토 • STEP3 : 시공성 검토 • STEP4 : 피로한계상태 검토

ASD의 조합응력 검토	LSD의 조합강도 검토
(1) 축방향력이 인장인 경우 $f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$ $-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$ $-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$ (2) 축방향력이 압축인 경우 $\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}\left(1-\frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}\left(1-\frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \le 1$ $f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1-\frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1-\frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \le f_{cal}$	$\frac{P_u}{P_r} < 0.2$인 경우 : $\frac{P_u}{2.0P_r} + \left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}}\right) \le 1.0$ $\frac{P_u}{P_r} \ge 0.2$ 인 경우 : $\frac{P_u}{P_r} + \frac{8.0}{9.0}\left(\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}}\right) \le 1.0$

3) 가로보의 설계

ASD	LSD
• STEP1 : 단면의 단계별 응력산정 • STEP2 : 단면의 단계별 허용응력 산정 • STEP3 : 단면의 단계별 응력 판별(검토) • 기타 : 수직보강재, 수평보강재 설치 여부 및 강도 검토	• STEP1 : 극한한계상태 검토 · 축강도 검토, 휨강도 검토, 전단검토 · 축강도와 휨강도의 조합강도 검토 • STEP2 : 사용한계상태 검토 • STEP3 : 시공성 검토 • STEP4 : 피로한계상태 검토

※ LSD 극한한계상태 검토와 관련하여

- 강상자 구조 구간에 사용되는 가로보의 경우 축방향 압축부재의 폭-두께비 제한 검토 시 검토조건을 만족하지 못하는 경우가 발생함.
- 폭-두께비 규정을 만족시키 못할 경우 세장부재로 분류하여 세장부재 규정에 맞는 사항을 검토해야 하는데, 도로교설계기준(한계상태설계법)에서는 조밀단면 및 비조밀 단면에 대한 규정만 있지 세장단면에 대한 규정 사항이 없다.
- 따라서, 세장한 단면에 대한 검토를 수행하기 위하여, 세장 단면의 경우 「강구조설계기준(2009) 5.7항」을 참조하였다.
- 참고로, AASHTO LRFD에서는 세장단면일 경우 AISC 규정을 따라 설계하도록 규정하였다. 강구조설계기준(2009)는 AISC 규정을 따라 제정된 기준이므로 이를 바탕으로 HiTAB 거더교의 가로보 세장 단면 적용시 「강구조설계기준(2009)」의 해당요건 기준을 따라 설계하였다.

4) 기타 단면 설계에 관한 사항

ASD	LSD
도로교설계기준(2010) 제3장 강교 참조	도로교설계기준(한계상태설계법,2012) 제6장 강교 참조

1.3 HiTAB 한계상태설계법(LSD) 설계를 위한 한계 및 가정

「도로교설계기준(한계상태설계법,2012)」으로 HiTAB 거더교 설계시, 단면 검토에 필요한 기준(규정)들이 제시되어 있지 않은 사항이 많아 다음과 같이 설계사항들을 가정하여 구조계산을 수행하였다.

1) 도로교설계기준(한계상태설계법)에는 강교에 대하여 「휨을 받는 I형 단면」 및 「연결」에 대한 규정만 자세하게 실려 있으며, 휨을 받는 박스거더의 단면, 축력을 받는 단면 등의 구조에 대해서는 내용이 많이 부족한 상태이다.
2) 현재의 설계기준으로는 스틸플레이트거더교 또는 강합성 오픈박스거더교에 대해서만 설계를 충실하게 수행할 수 있을 것으로 보인다.
3) 현재의 도로교설계기준(한계상태설계법)에서는 단면 설계시 조밀 단면과 비조밀 단면만 허용하고 세장 단면을 허용하고 있지 않다. 즉, 조건을 두 가지 단면 사항에 맞추어 놓고 기준을 만족하지 못하면 재설계를 수행할 것을 제시하고 있으며, 세장 단면에 대한 규정은 별도로 규정하고 있지 않다.
4) 축방향력을 받는 부재의 경우 극한한계상태 검토에 필요한 사항만 규정되어 있고, 사용한계상태, 시공성검토, 피로한계상태 등에 대한 검토시 필요한 규정사항은 제시되어 있지 않은 것으로 판단된다.

1.4 설계비교 대상교량 제원 및 해석조건

(1) 교량 제원

교 량 명		HiTAB 교량	
교량등급		1등급 • 허용응력설계법 : DB24 & DL24 • 한계상태설계법 : KL-510 & 표준차로하중 & 피로하중	
교량형식		HiTAB(Hybrid truss and steel box) 거더교	
교량연장		200m (2@100m)	
교량폭원		10.735m	
형 고		정모멘트부 3.0m, 트러스 지점부 7.0m	
사용재료	강재	주부재 (HSB500)	상판, 하판, 복부판, 상현재, 하현재, 사재, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트
		부부재 (SM400B)	지점부외 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 일반부 가로보, 지점부 가로보
		탄성계수	Es = 205,000 MPa
		항복강도	HSB500 fy=380MPa, SM400B fy=235MPa
		허용응력	HSB500 fa=230MPa, SM400B fa=140MPa
	콘크리트	압축강도	바닥판 fck = 27 MPa
		탄성계수	바닥판 Ec = 28,693.4 MPa
		온도차	바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차 : 10℃
		선팽창계수	바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α = 0.000012
		건조수축률	εs = 0.00027
		크리프계수	Φ = 2.0
	철근	항복강도	fy = 400 MPa
		탄성계수	Es = 200,000 MPa

(2) 하중조건

1) 고정하중

철근 콘크리트	무근 콘크리트	강 재	아스팔트
25.000 kN/㎥	23.500 kN/㎥	78.500 kN/㎥	23.000 kN/㎥

2) 활하중

① 허용응력설계법(ASD)

DB-24	DL-24
전륜하중 Pf = 24.00 kN 후륜하중 Pr = 96.00 kN	차로당 등분포하중 wl = 12.70 kN/m 모멘트 계산시 집중하중 Pm = 108.0 kN 전단력 계산시 집중하중 Ps = 156.0 kN

설계 차로폭 = 9.715 / 3 = 3.230m < 3.6m ∴ w = 3.230m

② 한계상태설계법(LSD)

DB-24	DL-24
전륜하중 Pf = 24.00 kN 후륜하중 Pr = 96.00 kN	차로당 등분포하중 wl = 12.70 kN/m 모멘트 계산시 집중하중 Pm = 108.0 kN 전단력 계산시 집중하중 Ps = 156.0 kN

설계 차로폭 = 9.715 / 3 = 3.230m < 3.6m ∴ w = 3.230m

3) 충격계수

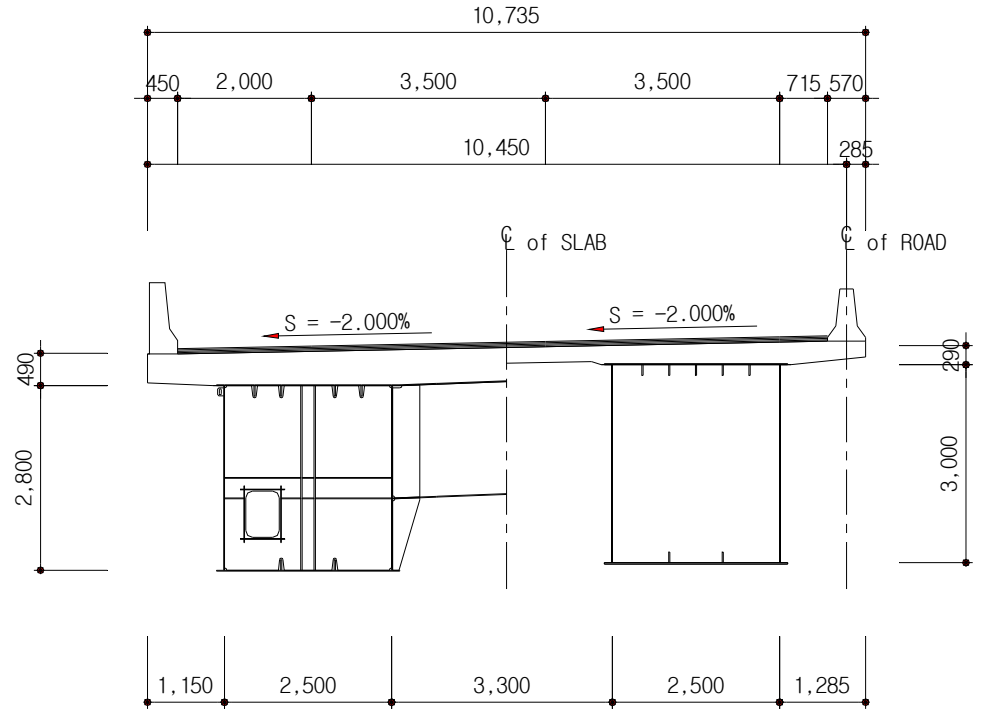
Span1 : 15/(40+Le) = 15/(40+99.45) = 0.108

Span2 : 15/(40+Le) = 15/(40+120.00) = 0.094

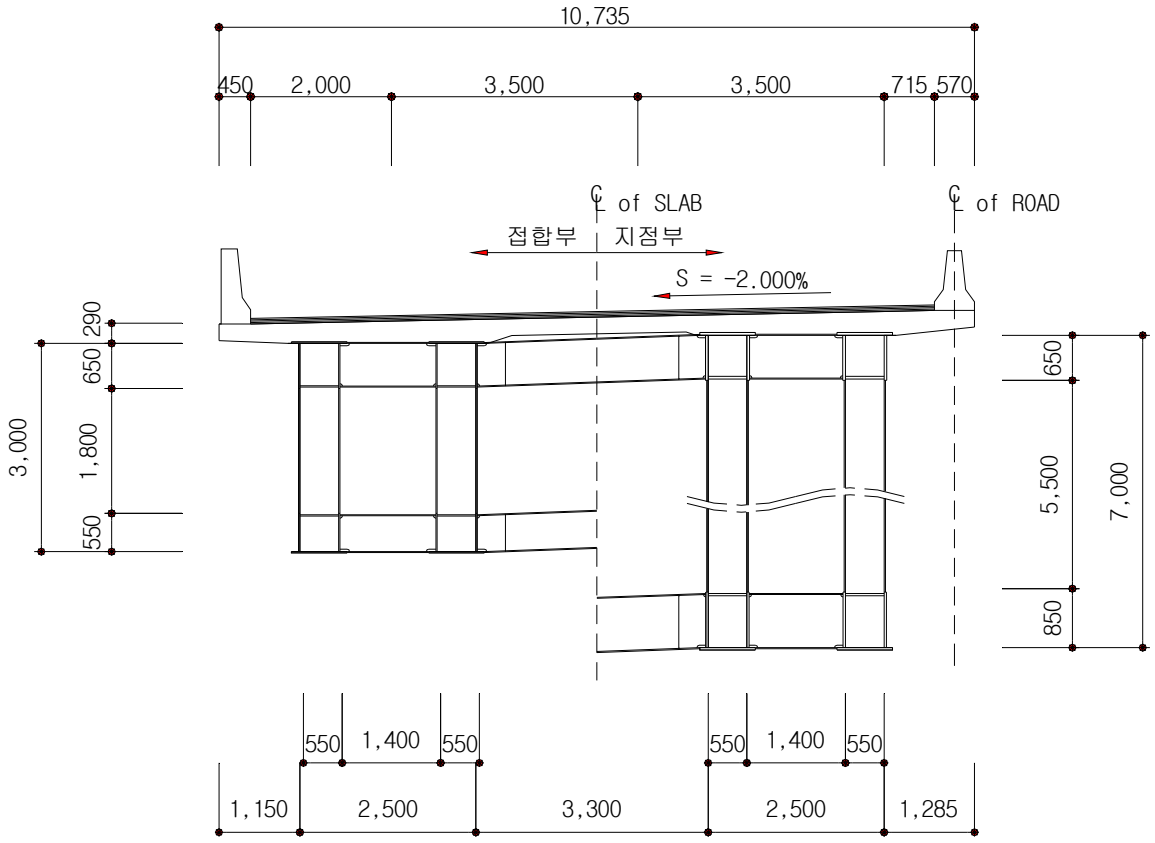
Span3 : 15/(40+Le) = 15/(40+99.45) = 0.108

(3) 경간 구성 및 적용단면

① 스틸박스부

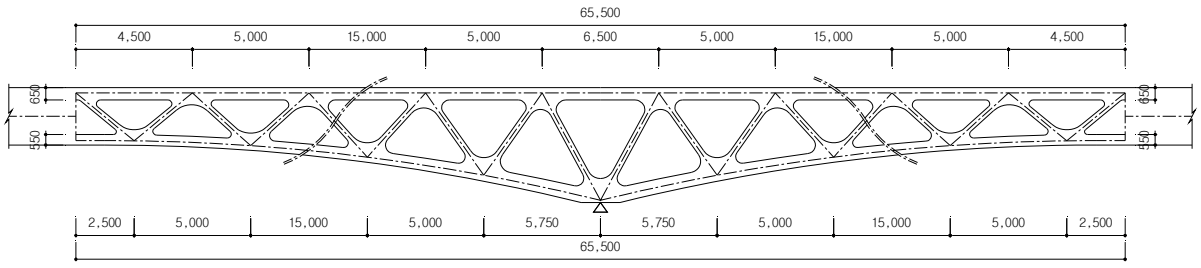


② 트러스부



경간구성	지간구성	형고	
		강상자 구조 일반부	트러스 구조 지점부
2@100	99.450+ 99.450	3.0m	7.0m

강상자 구간 길이		트러스 구간 길이
Span1	Span2	내측 P
67.200m	67.200m	65.50m



격점과 격점사이의 간격 5.0m로 설정

① 강상자구조 구간 부재

구분	박스 내부폭원	형고	상부 플랜지 두께(tu)	하부 플랜지 두께(tl)	복부두께 (tw)	트러스 접합부		
						tu	tl	tw
ASD	2.50m	3.0m	12~20㎜	12~40㎜	12㎜	18㎜	20㎜	18㎜
LSD	2.50m	3.0m	12~18㎜	12~38㎜	12㎜	18㎜	18㎜	18㎜

※ ASD : 허용응력설계법, LSD : 한계상태설계법

② 트러스구조 구간 부재

- 상현재

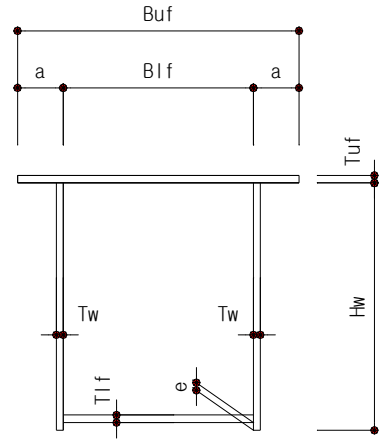
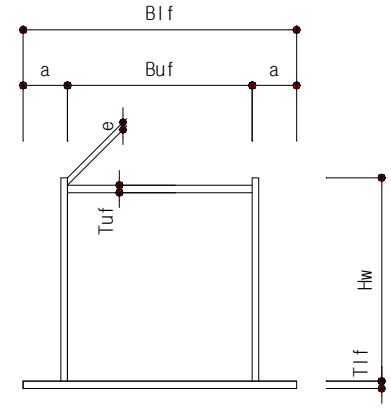
단위:mm

구분	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	a	e
ASD	790	18~40	550	18~40	650	18~36	120	20
LSD	790	18~32	550	18~32	650	18~30	120	20

• 하현재

단위:㎜

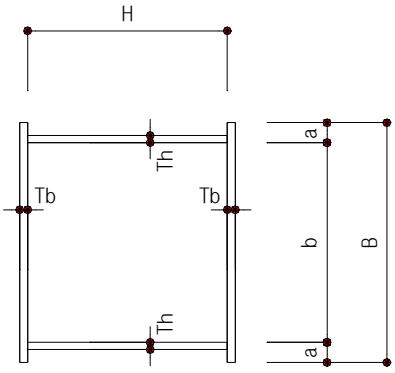
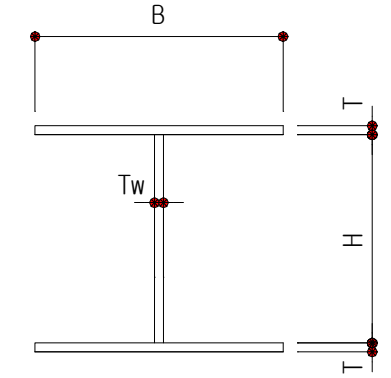
구분	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	a	e
ASD	550	20~32	790	20~32	550 ~850	18~32	120	20
LSD	550	18~28	790	18~28	550 ~850	18~28	120	20

상현재 단면	하현재 단면
	

• 사재 및 내측가로보

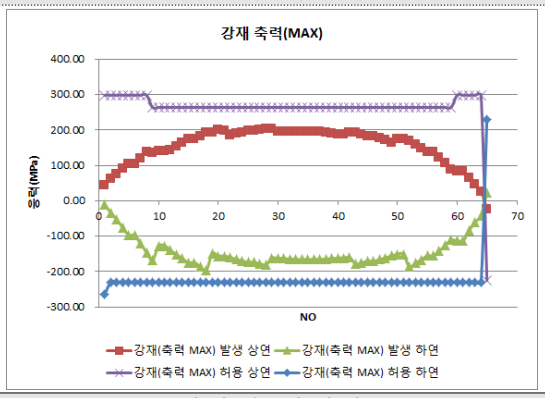
단위:㎜

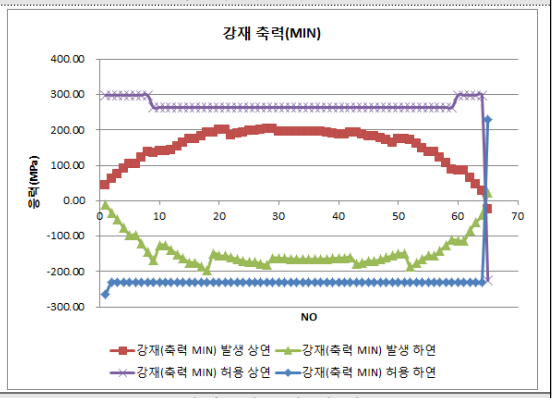
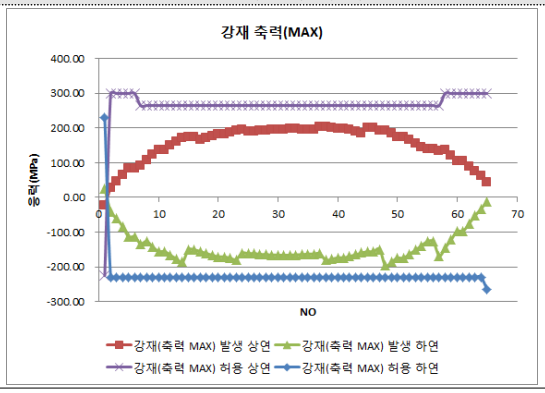
구분		B	Tb(T)	H	Th(Tw)	a
사재	ASD	330	16~18	550	16	35
	LSD	330	16~18	550	16	35
상현 내측가로보	ASD	300	14	616	12	-
	LSD	300	14	616	12	-
하현 내측가로보	ASD	300	14	518~816	12	-
	LSD	300	14	518~816	12	-

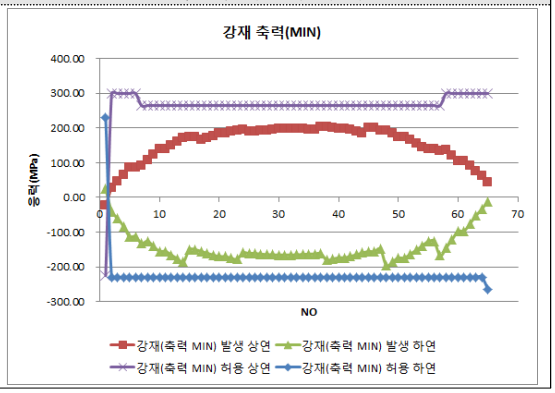
사재	내측가로보 및 가로보
	

1.5 허용응력설계법에 의한 검토결과

(1) 강상자 구조부

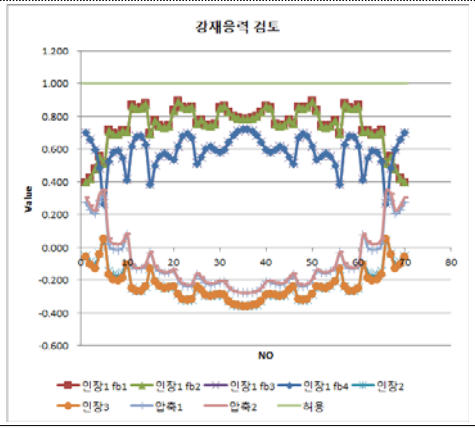
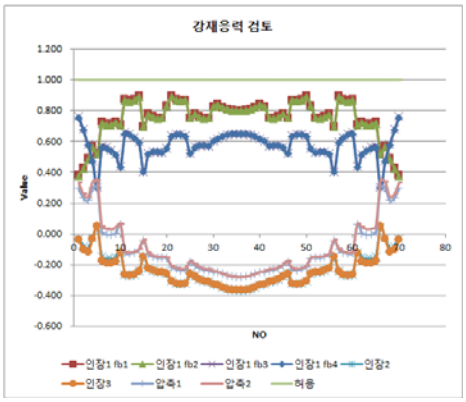
<table>
<tr><td rowspan="2">G1
Span1</td><td>인장력 최대시</td><td>압축력 최대시</td></tr>
<tr><td> 


</td></tr>
<tr><td>G1
Spna2</td><td>인장력 최대시</td><td>압축력 최대시</td></tr>
<tr><td> 

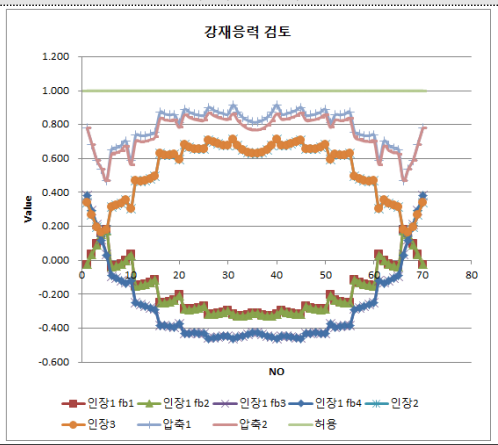
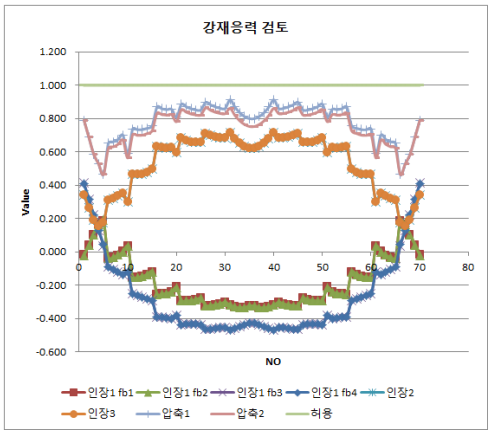

</td></tr>
</table>

(2) 트러스 구조부

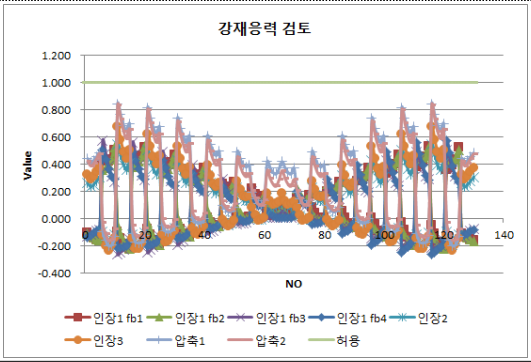
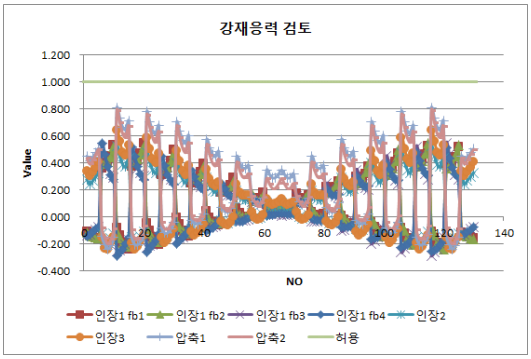
1) 상현재

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

2) 하현재

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

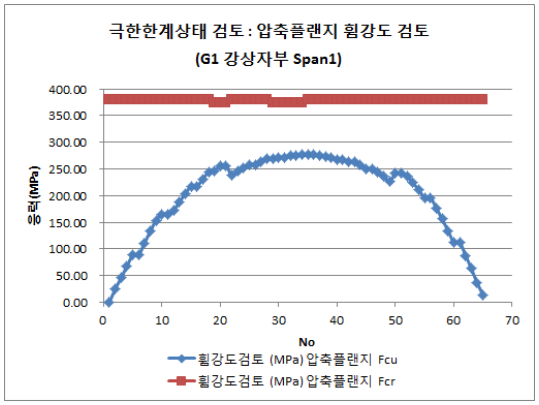
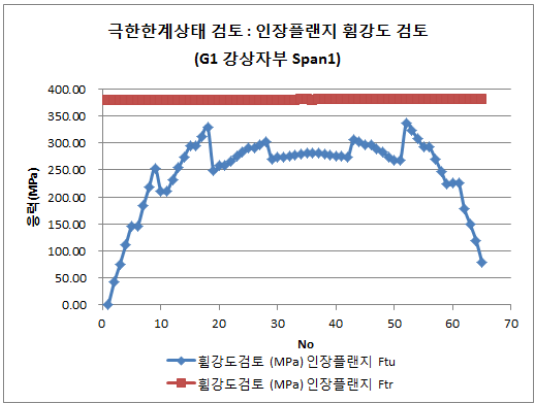
3) 사재

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

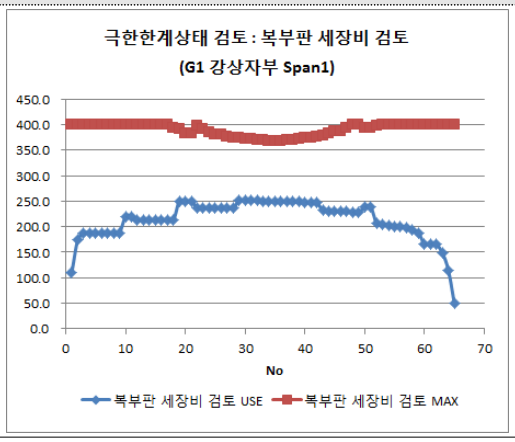
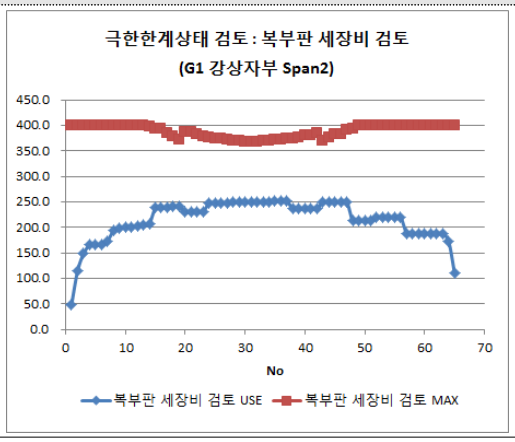
1.6 한계상태설계법(LSD)에 의한 검토 결과

(1) 강상자 구조부

1) 극한한계상태 검토

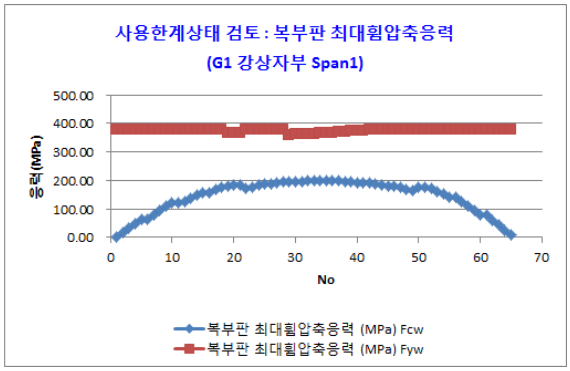
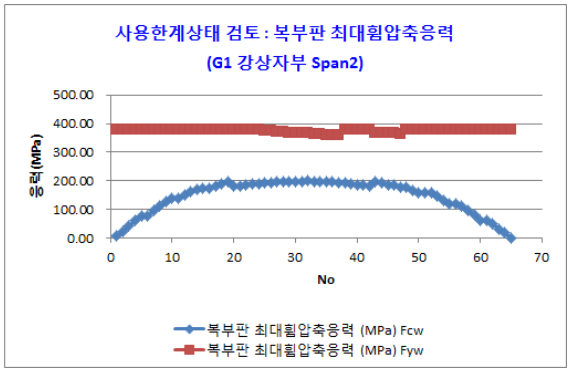
구분	압축플랜지 휨강도 검토	인장플랜지 휨강도 검토
G1 Span1		

- 복부판 세장비 검토

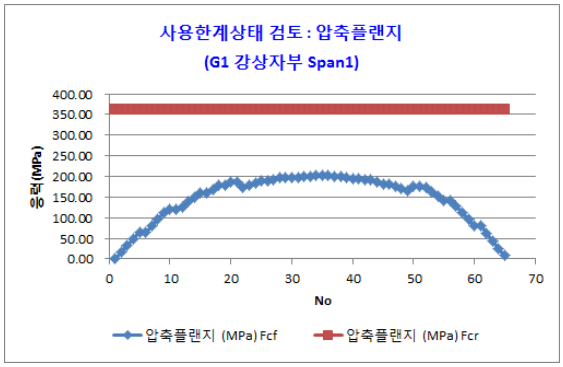
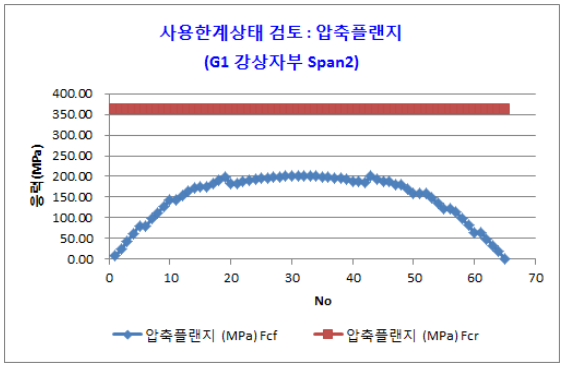
G1 Span1	G1 Span2
	

2) 사용한계상태 검토

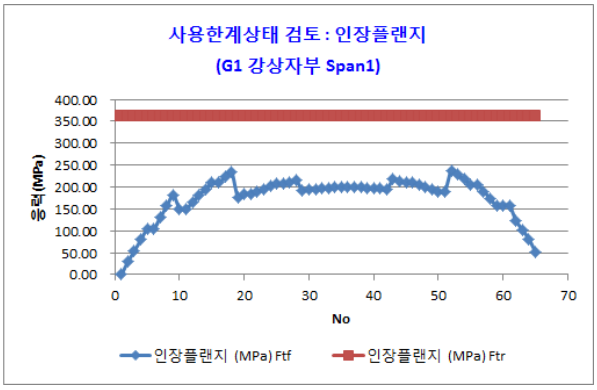
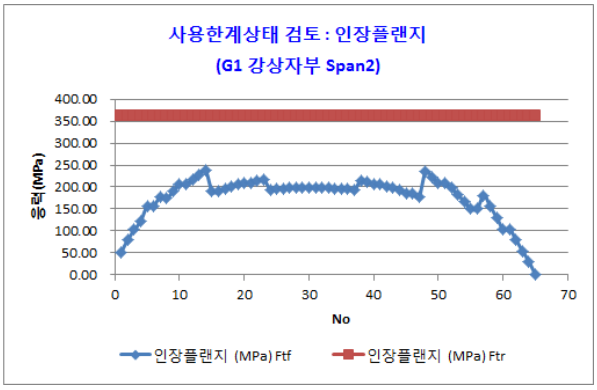
- 복부판 최대휨압축응력

G1 Span1	G1 Span2
	

- 압축플랜지 휨강도 검토

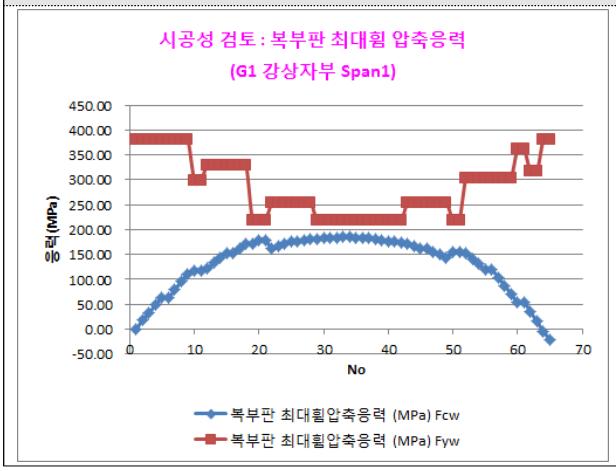
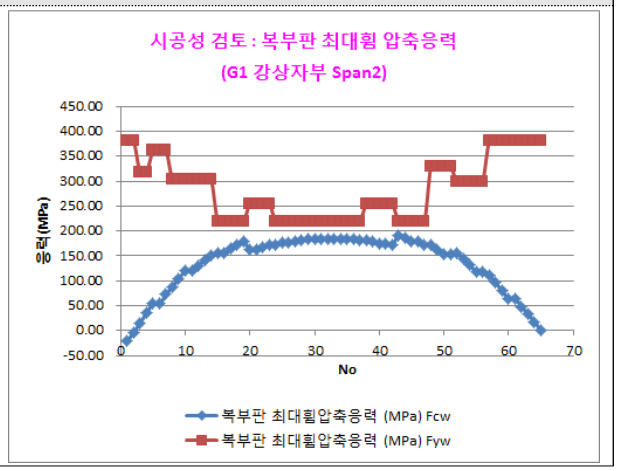
G1 Span1	G1 Span2
	

- 인장플랜지 휨강도 검토

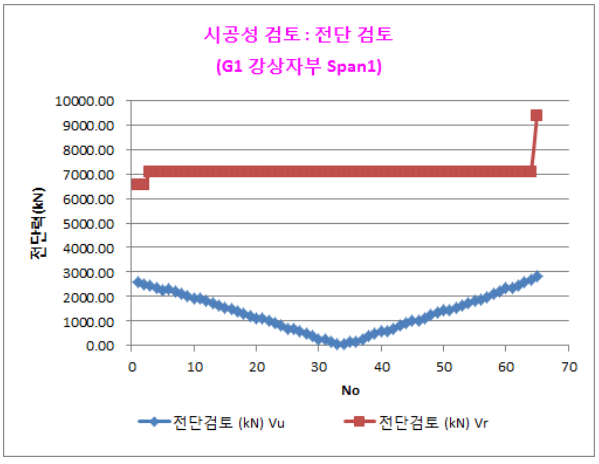
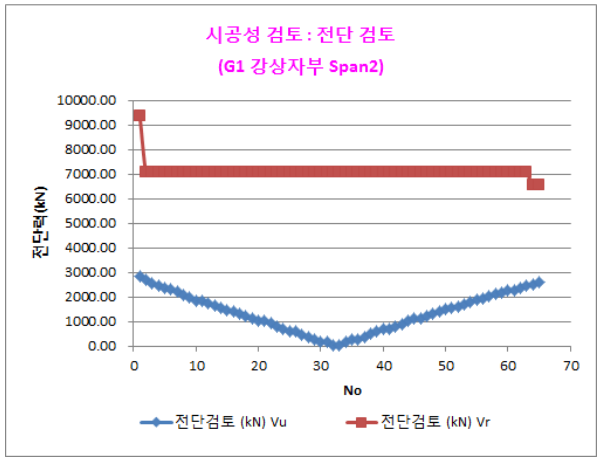
G1 Span1	G1 Span2
	

3) 시공성 검토

- 복부판 최대휨 압축응력

G1 Span1	G1 Span2
	

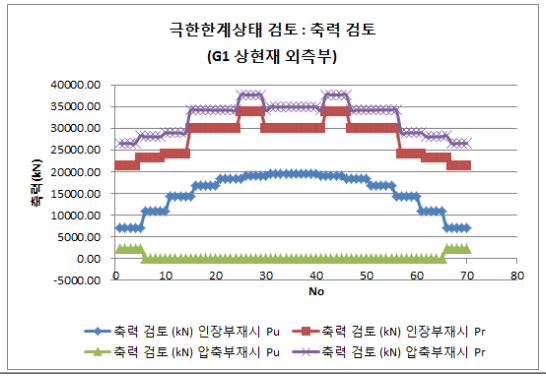
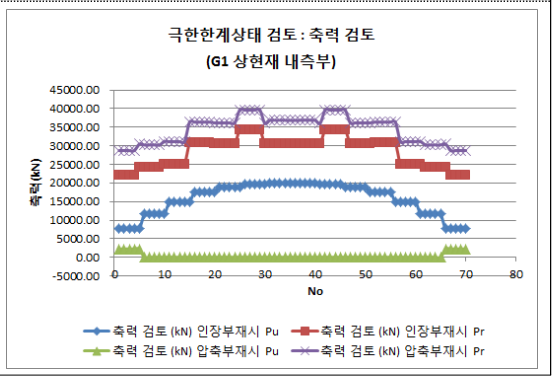
- 전단강도 검토

G1 Span1	G1 Span2
	

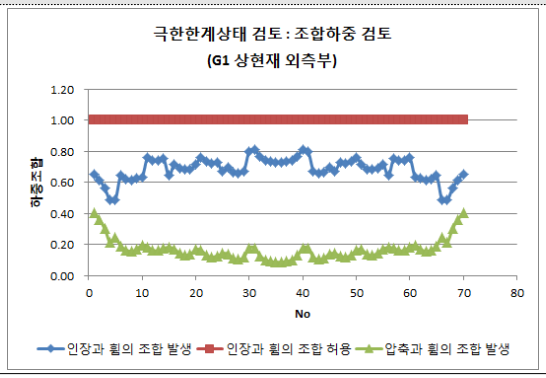
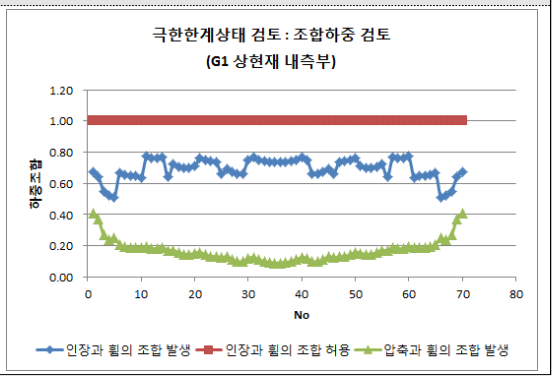
(2) 트러스 구조부 (극한한계상태 검토)

1) 상현재

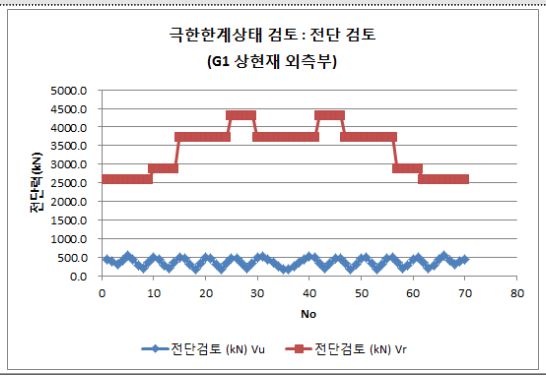
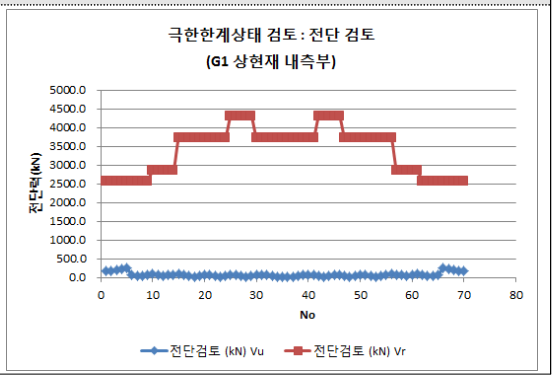
① 축강도 검토

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

② 축강도와 휨강도의 조합하중 검토

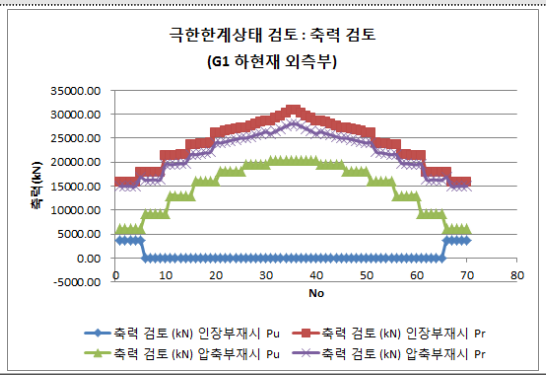
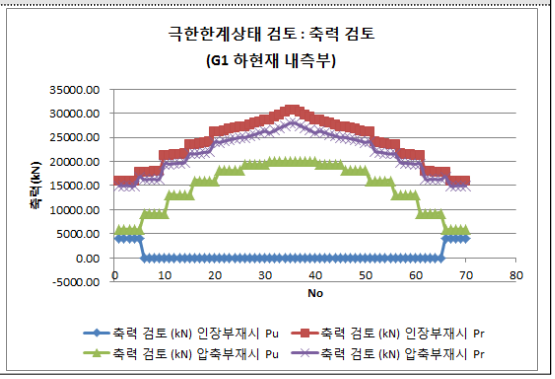
	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

③ 전단강도 검토

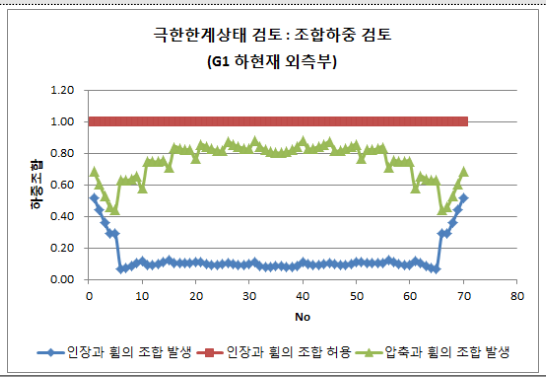
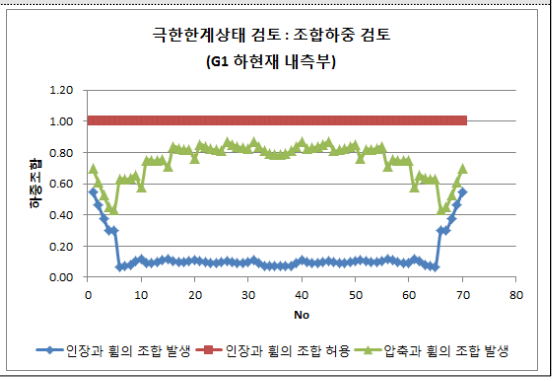
	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

2) 하현재

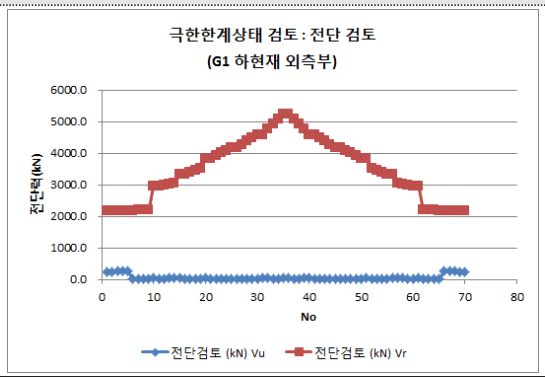
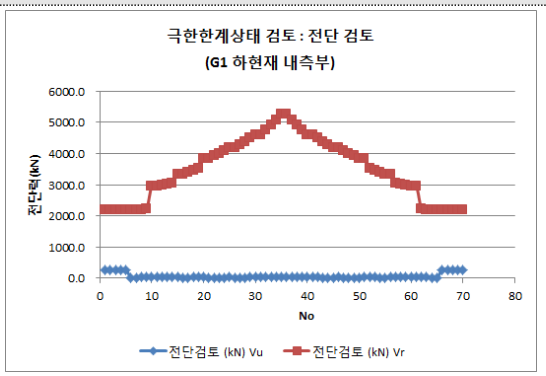
① 축강도 검토

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

② 축강도와 휨강도의 조합하중 검토

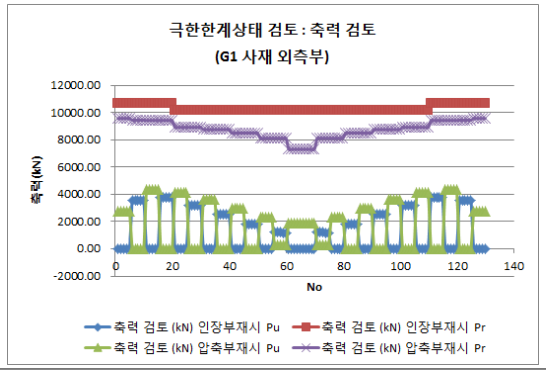
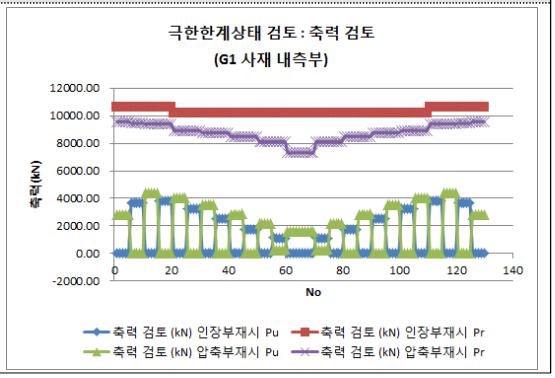
	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

③ 전단강도 검토

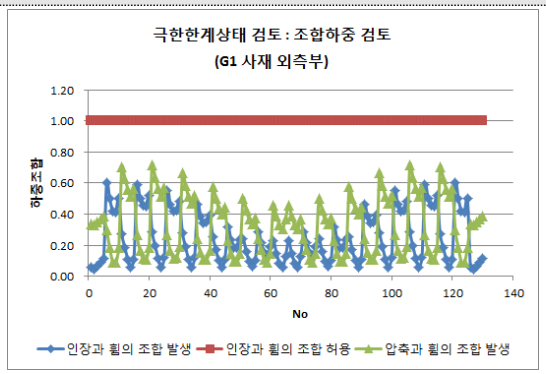
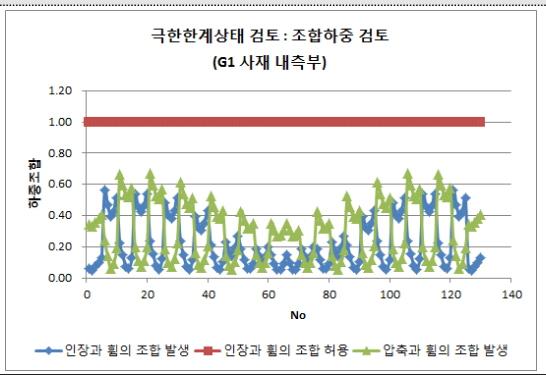
	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

3) 사재

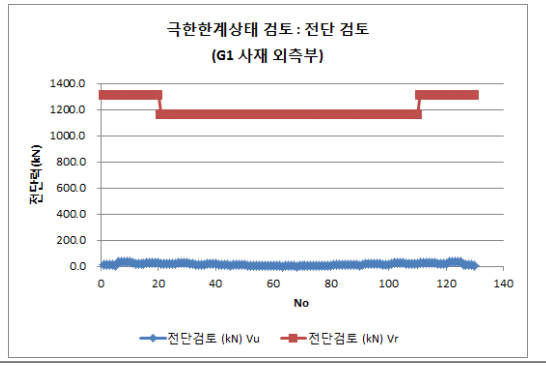
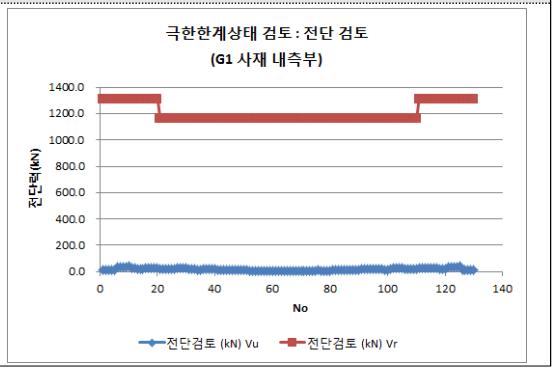
① 축강도 검토

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

② 축강도와 휨강도의 조합하중 검토

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

③ 전단강도 검토

	외측(좌측)	내측(우측)
G1		

1.7 검토 결과

(1) 강상자 구조 구간

1) 볼트 연결부의 휨강도를 공칭휨강도의 75% 수준으로 설계시, 주거더 단면의 경우 허용응력설계법이나 한계상태설계법이나 단면의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

2) 다만, 한계상태설계법으로 설계시 허용응력설계법의 설계시 보다 단면이 약간 줄어드는 경향이 있는 것으로 보인다.

3) 비조밀단면으로 해석시, 수직보강재의 간격과 플랜지의 응력이 복부판의 전단강도에 영향을 미쳐, 수직보강재의 간격이 너무 넓거나 플랜지의 응력이 $0.75\Phi_f F_y$를 초과하면 복부판의 전단강도가 급격히 줄어드는 현상이 나타났다.

(2) 보강재 설계

1) 압축플랜지의 종방향 보강재는 허용응력설계법에서 보강재의 개수가 허용응력에 영향을 주는 것처럼, 한계상태설계법에서도 휨강도 산정에 영향을 미침을 확인하였다.

2) 설계법에 따른 수직보강재의 규격 및 적용간격은 다음과 같다.

구분	강종	규격	간격
허용응력설계법	SM400B	160×14	1,250mm
한계상태설계법	HSB500	190×12	1,250mm

3) 설계법에 따른 수평보강재의 규격 및 사용단수는 다음과 같다.

구분	강종	규격	사용단수
허용응력설계법	SM400B	130×12	2단
한계상태설계법	HSB500	130×12	1단

- 허용응력설계법에서는 수평보강재를 2단 적용해야 복부판의 두께를 12mm 적용할 수 있으나, 한계상태설계법에서는 수평보강재 사용단수에 대한 특별한 규정은 없고 복부판 압축단에서 수평보강재 부착 위치 까지의 거리(d_s)에 따라 검토 산정식들이 변경되었다.

4) 보강재 설계시 특이한 사항은 허용응력설계법에서는 보강재(수직보강재, 수평보강재)의 응력이 보강재 설계에 영향을 미치지 않으나, 한계상태설계법에서는 보강재의 강종(항복강도)가 보강재 설계에 영향을 미친다는 사실이다. 따라서, 검토 결과 한계상태설계법에서 보강재는 주거더의 강종과 동종 강종을 적용하거나 적어도 SM490B 이상을 적용해야 설계가 만족됨을 확인할 수 있었다.

5) 한계상태설계법에서도 허용응력설계법과 마찬가지로 수직보강재의 간격이 좁을수록 필요한 단면이 증가되는 것으로 나타났다.

(3) 트러스 구조 구간

1) 한계상태설계법에서 극한한계상태 검토만 고려할 경우, 단면 검토 결과 허용응력설계법 보다 트러스 현재(상현재, 하현재)의 단면을 상당히 줄일 수 있는 것으로 나타났다. (상기 「5.(6).4)적용단면」 참조.)

2) 허용응력설계법에서는 압축부재시 양연지지판의 폭-두께비에 따라서 허용응력의 값이 설정(허용응력의 감소)되어 폭-두께 사용제한이 없었지만, 한계상태설계법에서는 폭-두께비의 제한을 두어 일정 폭 사용시 일정 두께 이상을 사용하도록 제한을 두었다.

1.8 강중 산정 결과

상기 허용응력설계법과 한계상태설계법에 의한 강중 산정 결과를 요약하면 다음과 같다.

강중(kgf/㎡)		비율 (LSD/ASD)	한계상태설계법 적용시 강중 감소율(%)
허용응력설계법	한계상태설계법		
576.4	535.9	0.930	7%

1.9 결론

(1) 도로교설계기준(한계상태설계법)으로 HiTAB 거더교를 설계하기에는 부족한 부분이 다소 있지만, 극한한계상태 검토에는 충분이 적용이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 보강재 설계시, 허용응력설계법에서는 수직보강재와 수평보강재의 강종을 SM400B로 적용하여도 문제가 없었으나, 한계상태설계법에서는 보강재의 강도 검토를 수행하도록 되어 있어 강도 규정에 적합한 강종을 사용해야 할 것으로 보인다.

(3) 트러스 구조의 압축 부재의 경우, 허용응력설계법에서는 부재의 폭-두께 제한이 없고 폭-두께비에 따라 감소된 허용응력을 적용하게 되어 있으나, 한계상태설계법에서는 부재의 폭-두께비를 제한하여 일정치 폭에 대해서는 기준치 이상의 두께를 사용하도록 규정하고 있다.

(4) 한계상태설계법으로 부재단면 검토결과, 강상자구조 구간은 허용응력설계법에 비하여 단면 감소가 크지 않았으나, 트러스구조 구간의 경우 허용응력설계법에 비하여 단면 감소가 크게 발생하였다. 한계상태설계법으로 HiTAB 설계시 허용응력설계법에 의한 설계시 보다 약 7%의 강중 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

(5) HiTAB 거더교를 한계상태설계법으로 보다 합리적으로 설계하기 위해서는, 향후 연결부의 설계, 트러스구조 구간의 사용한계상태·피로한계상태, 가로보의 사용한계상태·피로한계상태 등에 대한 검토가 추가로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 표준설계도서 작성

2.1 목적

(1) 사업화에 필요한 경간장 구성 및 제품 표준화

(2) 구조성능, 시공성 등을 고려한 종합적인 검토

2.2 검토조건

(1) 강박스 구간형고: 3.2m이하

(2) 운반폭원: 3.0m이하

(3) 운반길이: 15.0m이하

(4) 운반중량: 25.0tonf이하

(2) 박스구간 적용옵션

2.3 경간별 적용형고(현장여건 및 횡단조건에 따라 변경가능)

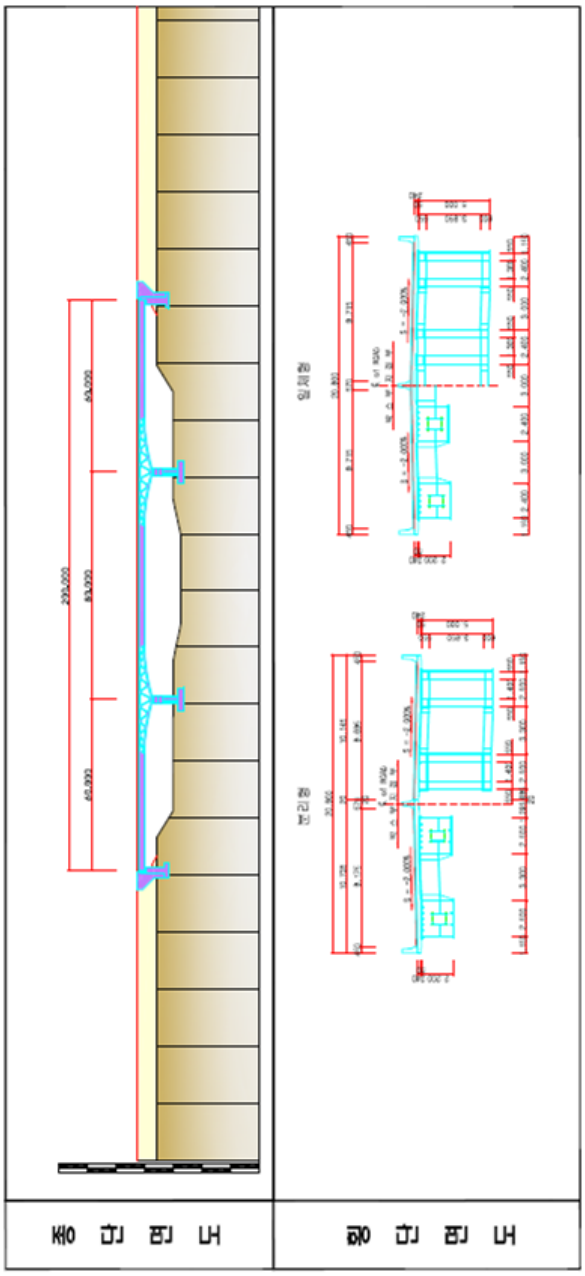
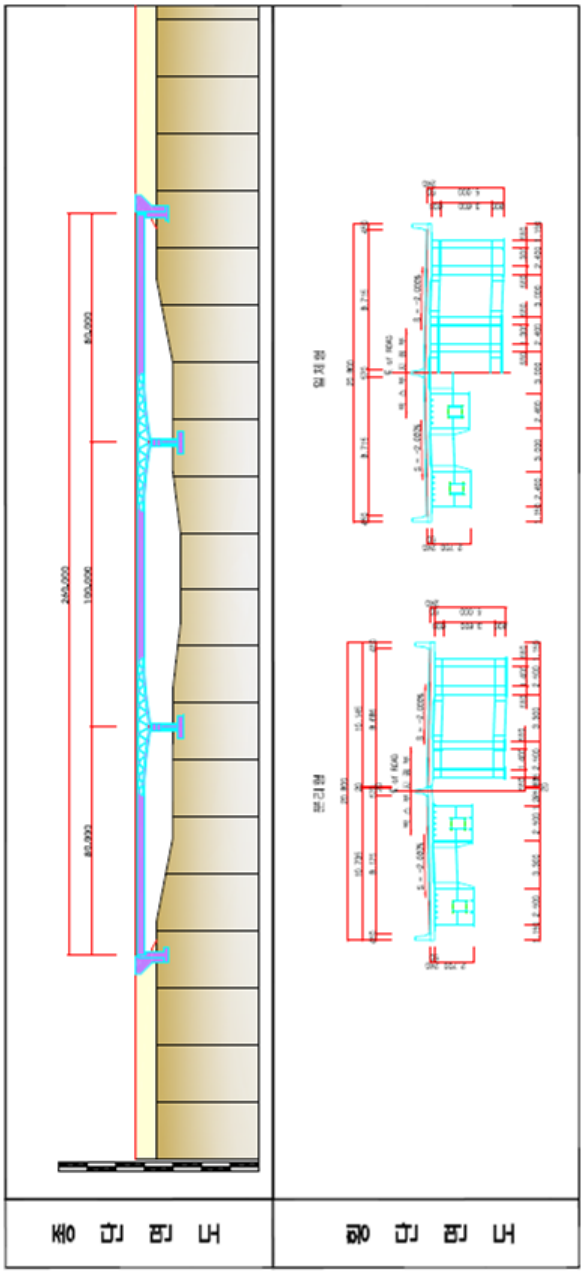
(1) 적정 경간구성

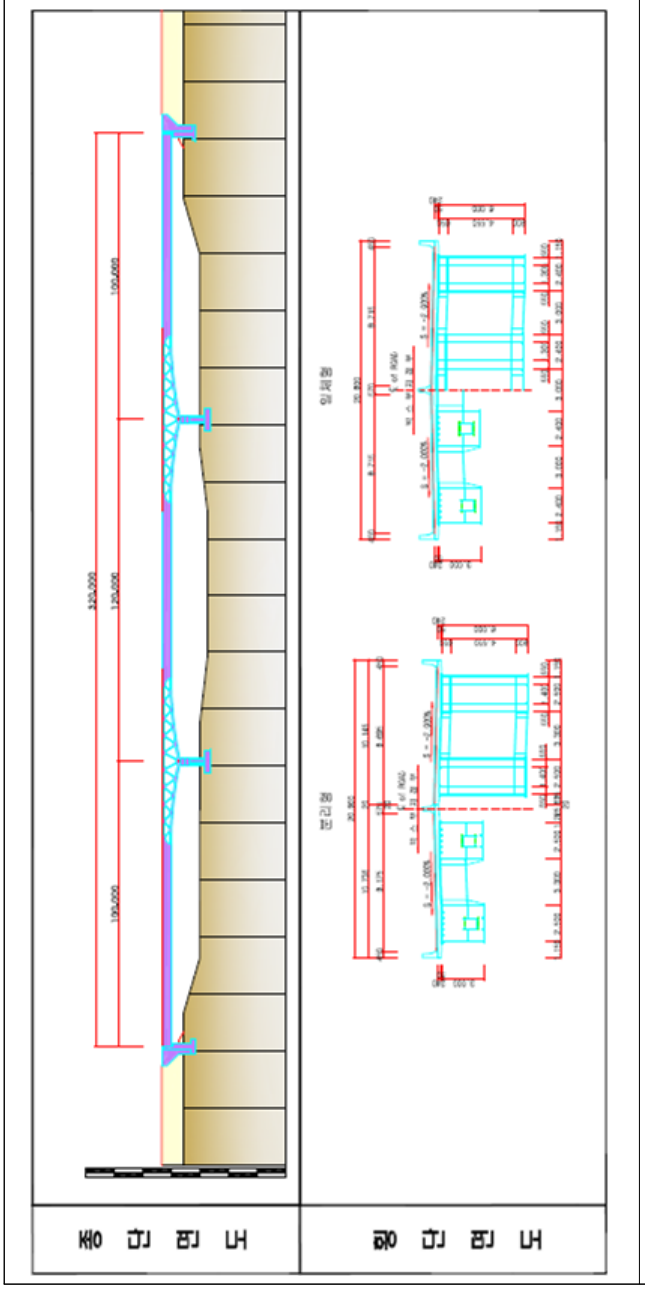
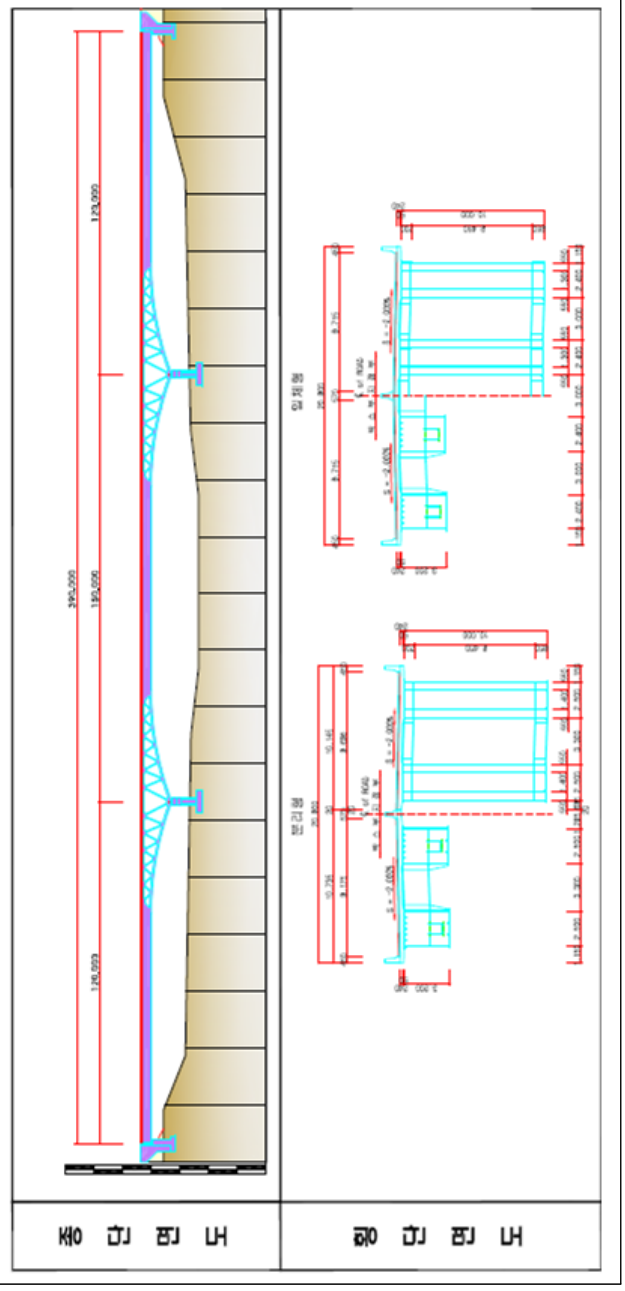
측경간장(m)	80	95	100	120
중앙경간장(m)	100	120	130	150
경간장 비(%)	80.0	79.2	76.9	80.0

(2) 적용형고

경간 구성	80/100	95/120	100/130	120/150
정모멘트부(m)	3.0	3.0	3.0	3.2
중앙지점부(m)	5.0	6.0	8.0	10.0

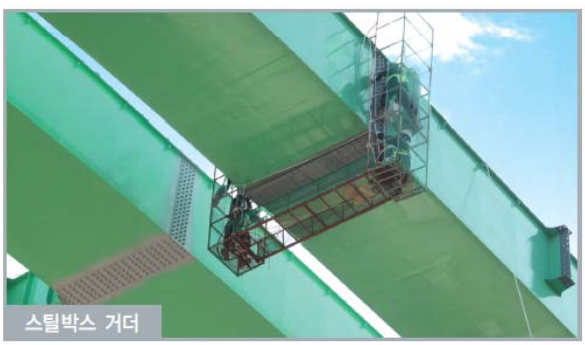
2.4 지간별 표준단면

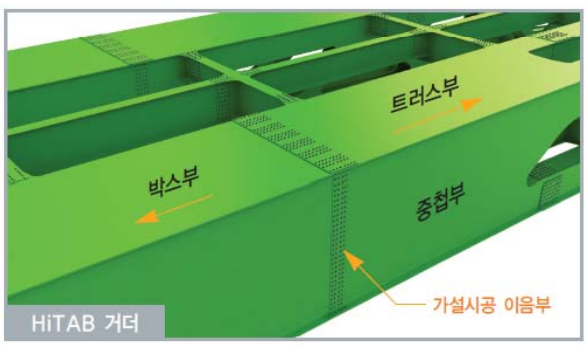
60+ 80+ 60	80+ 100+ 80
	

100+ 120+ 100	120+ 150+ 120
	

2.5 시공상세

(1) 트러스 구간과 강상자 구간의 연결부 위치: 강상자 구간에서 연결

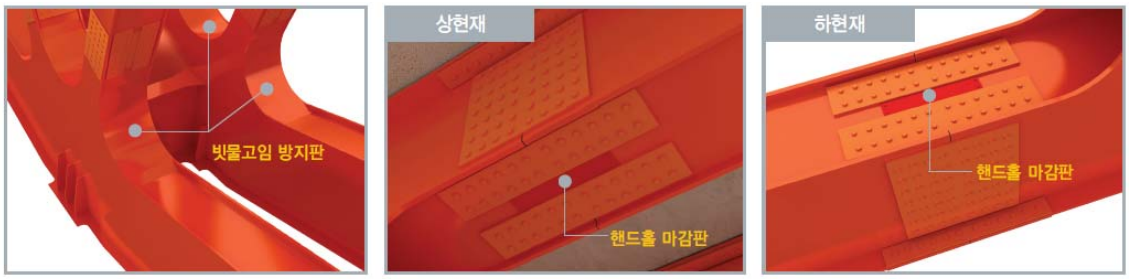




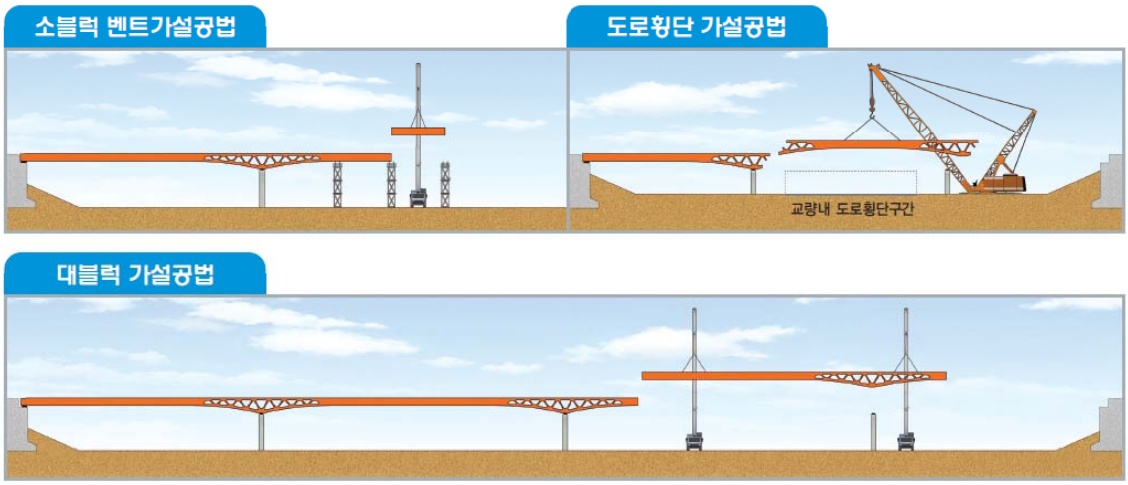
(2) 격점부 및 연결부

1) 격점부 빗물고임 방지판 설치

2) 볼트연결을 위한 핸드홀 마감판 설치

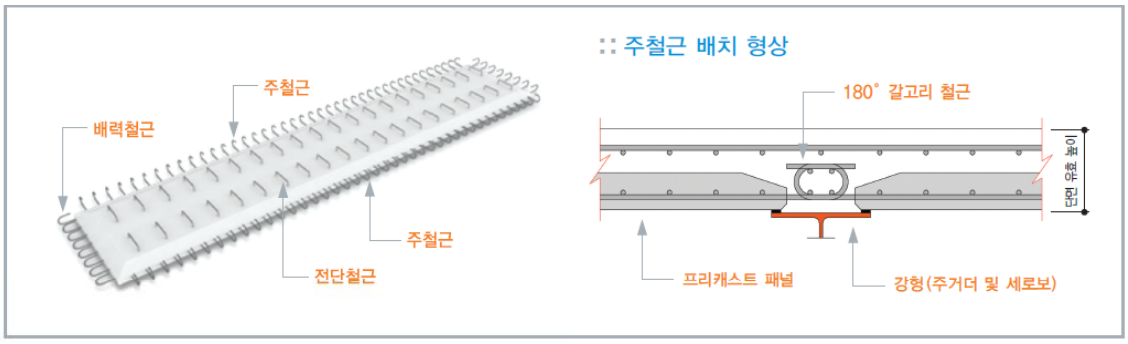


(3) 가설방법

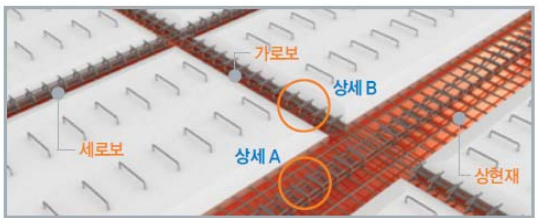


2.6 선택사항

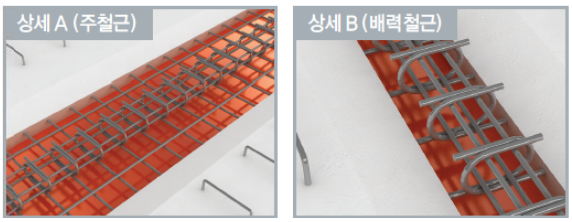
(1) 바닥판의 선택



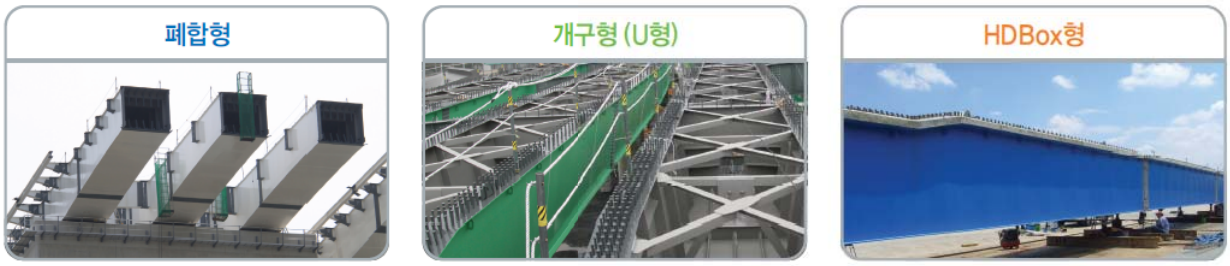
:: 패널 배치도



:: 철근 상세도



(2) 강박스거더 구간의 선택



2.6 현장제작공기

(1) 공장제작 및 현장반입 후, 현장에서 이루어지는 공사기간

(2) 대상교량: 120m+ 150m+ 120m

(3) 검증방법: 철구제작사(흥화공업)과의 협의 및 의견수렴

구분	HiTAB교량 상부 현장제작공기(B=10.6m, L=390m(120+ 150+ 120))													비고
공정	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
제품반입 (주·소부재)															
제품 조립 (주부재)															
제품 설치 (주부재)															6 BL.
가로보 설치															
고장력볼트 조임															
SHOESETTING 및용접															
내·외부볼트 및연결판도장															
거푸집설치 (P.C-Panel)															
철근 조립															
테크피니셔조립															
콘크리트타설 및 양생															타설1일 양생10일

예 정 공 정 표

경북 포항시 남구 괴동로 209번지
주식회사 흥 화
대표이사 이 충 규

공사명 : HITAB 거더 설치

2013. 07. 17.

구 분	착공일																비고
	2일	4일	6일	8일	10일	12일	14일	16일	18일	20일	22일	24일	26일	28일	30일	32일	34일	
제품 반입																		
제품 조립 (주부재)																		
제품 설치 (주부재)																		
가로,세로보 설치																		
고장력볼트 조임																		
SHOE SET'G 및 용접																		
내.외부 볼트 및 연결판 도장																		
비 고																		

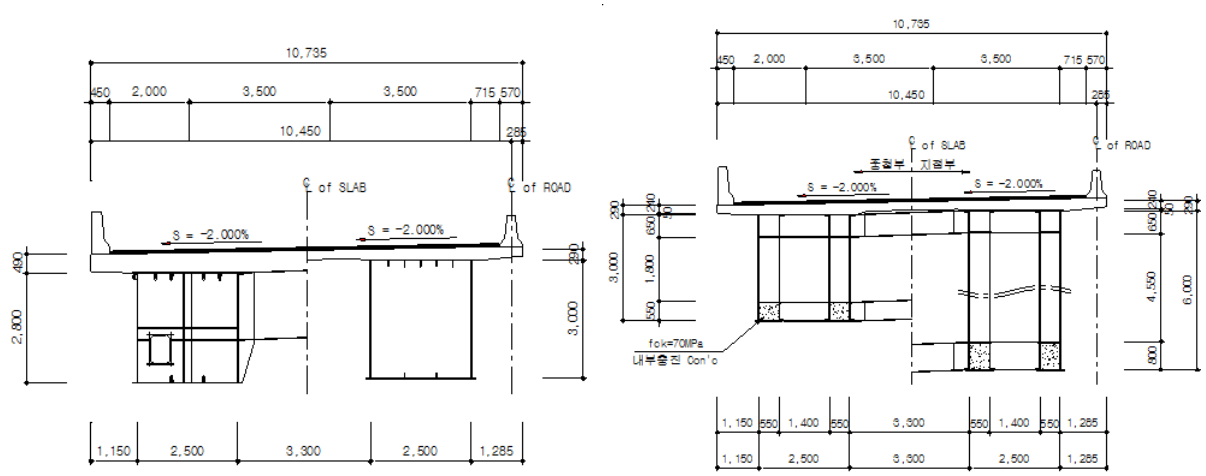
3. 이중합성을 고려한 표준설계도서 작성

3.1 설계 조건

(1) 교량제원

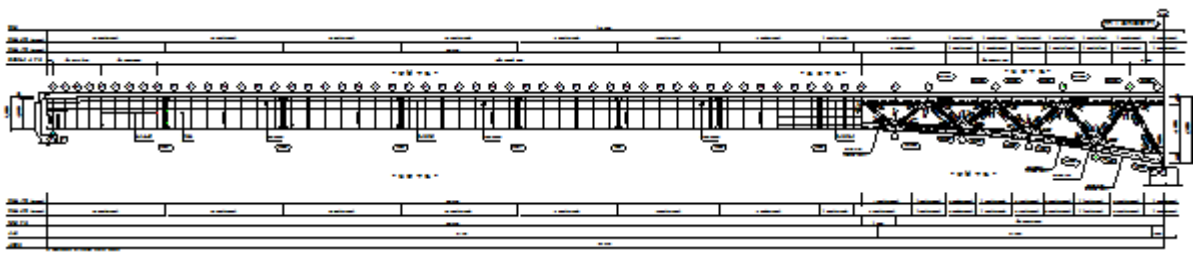
교량등급		1등급 (DB-24 및 DL-24 적용)	
교량형식		HiTAB(Hybrid truss and steel box) 거더교	
교량연장		320m (100+ 120+ 100)	
교량폭원		10.735m	
형 고		정모멘트부 3.0m, 트러스 지점부 6.0m	
사용재료	강재	주부재 (HSB600)	상판, 하판, 복부판, 상현재, 하현재, 사재, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트
		부부재 (SM400B)	지점부외 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 일반부 가로보, 지점부 가로보
	콘크리트	압축강도	바닥판 fck = 27 MPa 하현재 이중합성콘크리트 fck = 70MPa
	철근	항복강도	fy = 400 MPa
		탄성계수	Es = 200,000 MPa

(2) 횡단면도



(3) 횡단면도

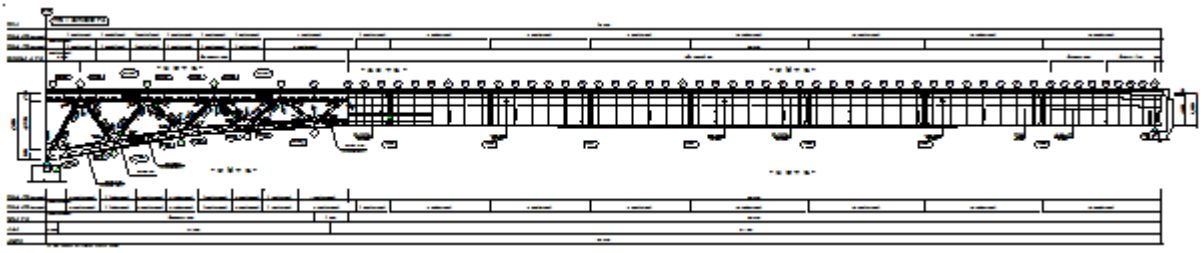
Span1

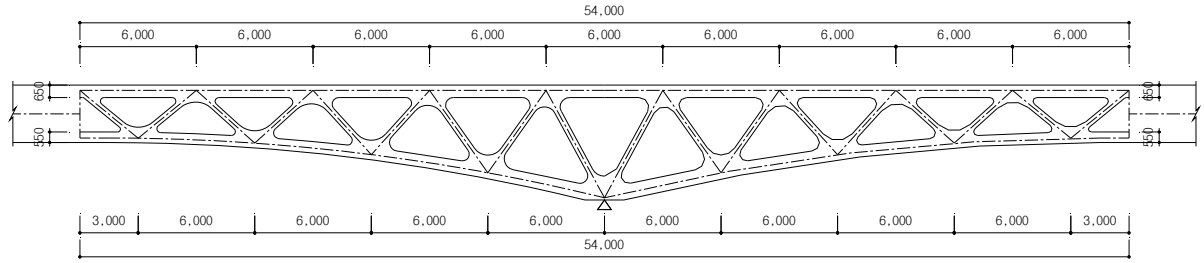


Span2



Span3





격점과 격점사이의 간격 6.0m로 설정

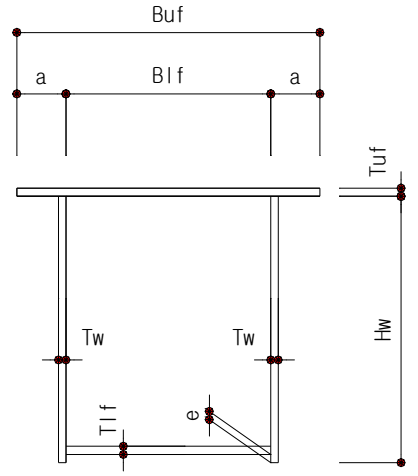
(4)적용 단면

박스 내부폭원	형고	상부플랜지 두께(tu)	하부플랜지 두께(tl)	복부두께 (tw)	트러스 접합부		
					tu	tl	tw
2.50m	3.0m	12~18㎜	14~40㎜	12㎜	16㎜	16㎜	20㎜

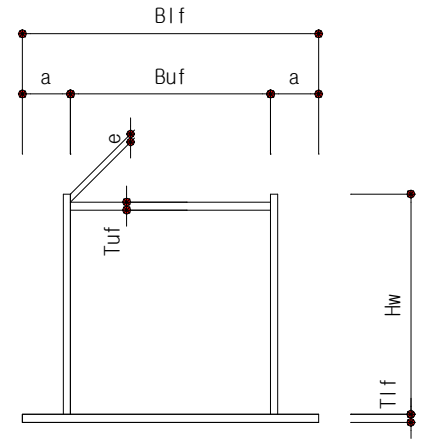
단위:㎜

구분	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	a	e
상현재	790	16~34	550	16~34	650	20~30	120	20
구분	Buf	Tuf	Blf	Tlf	Hw	Tw	a	e
하현재	550	16	790	16	550 ~800	20	120	20

상현재 단면

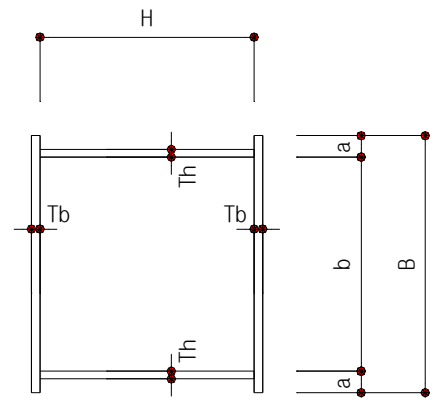
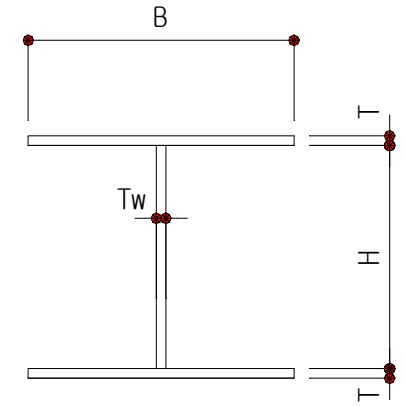


하현재 단면



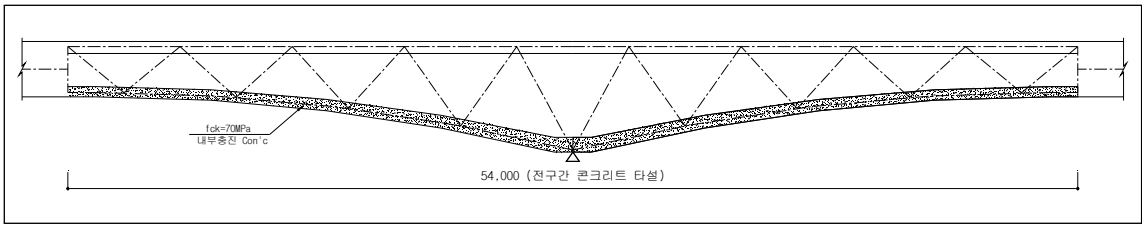
단위:㎜

구분	B	Tb(T)	H	Th(Tw)	a
사재	320	14~20	550	16	35
상현 내측가로보	320	14	616	12	-
하현 내측가로보	300	12	518~768	10	-

사재	내측가로보 및 가로보
	

- 바닥판 두께 240mm
- 트러스구조 구간 하현재 이중합성 콘크리트

  - 타설구간 : 트러스구조 구간 하현재 전구간



  - 타설위치 : 하현재 내부

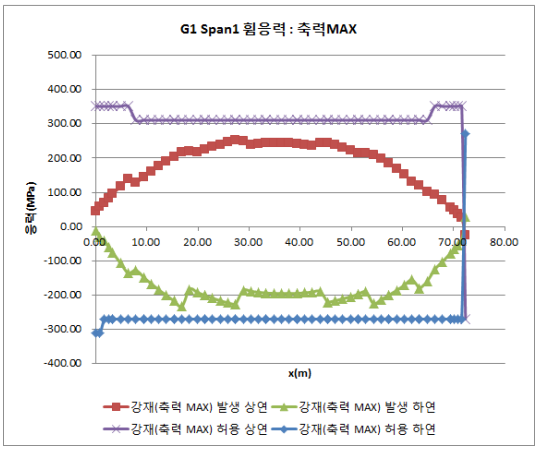
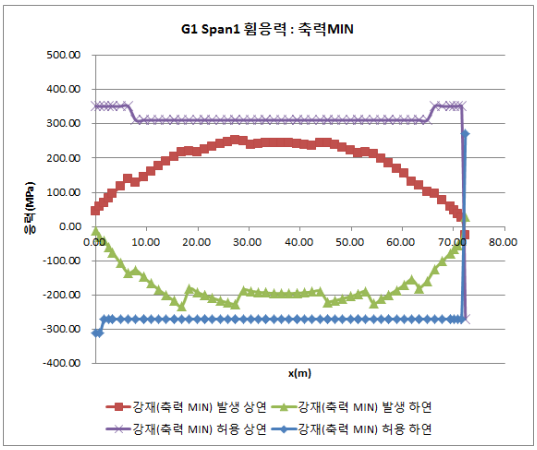
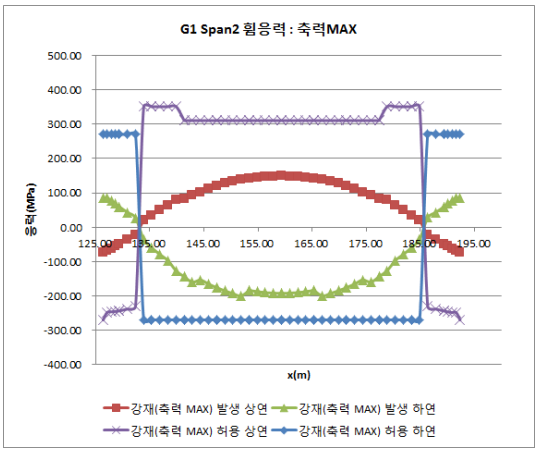
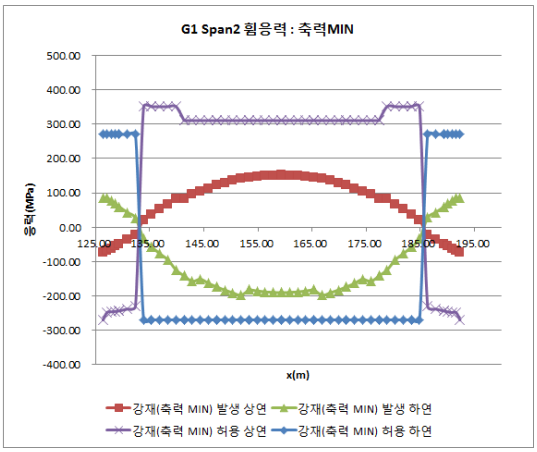
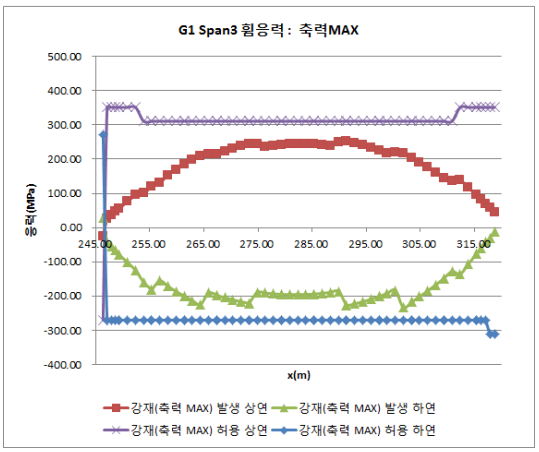
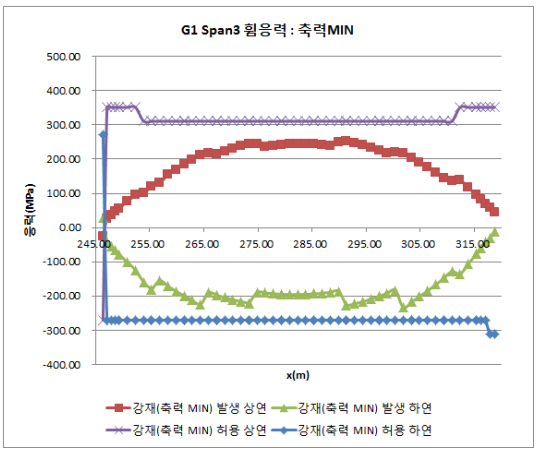
-

- 연속지점부 철근

항복강도	직경	간격	1EA 단면적
400 MPa	D19	125㎜	286.5㎟

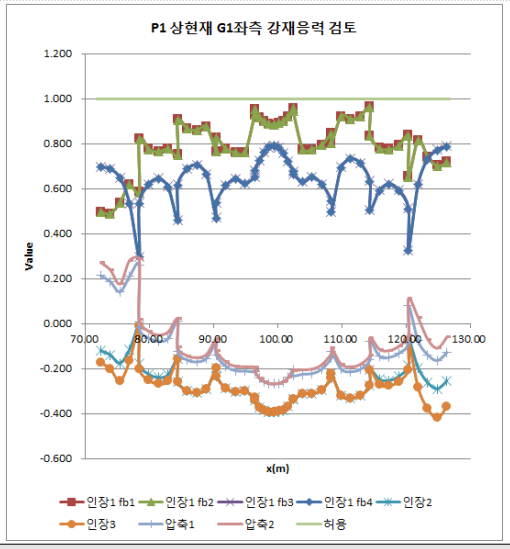
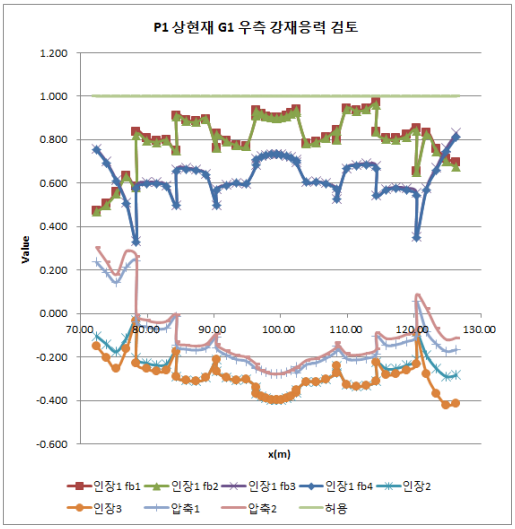
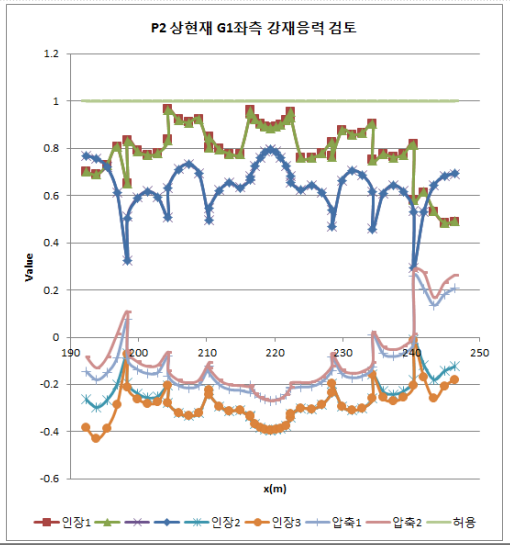
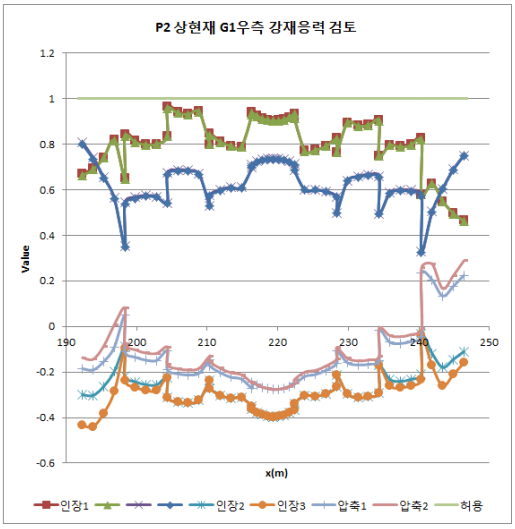
3.2 응력 검토 결과 요약

(1) 박스부

	인장력 최대시	압축력 최대시
G1 Span1		
G1 Spna2		
G1 Span3		

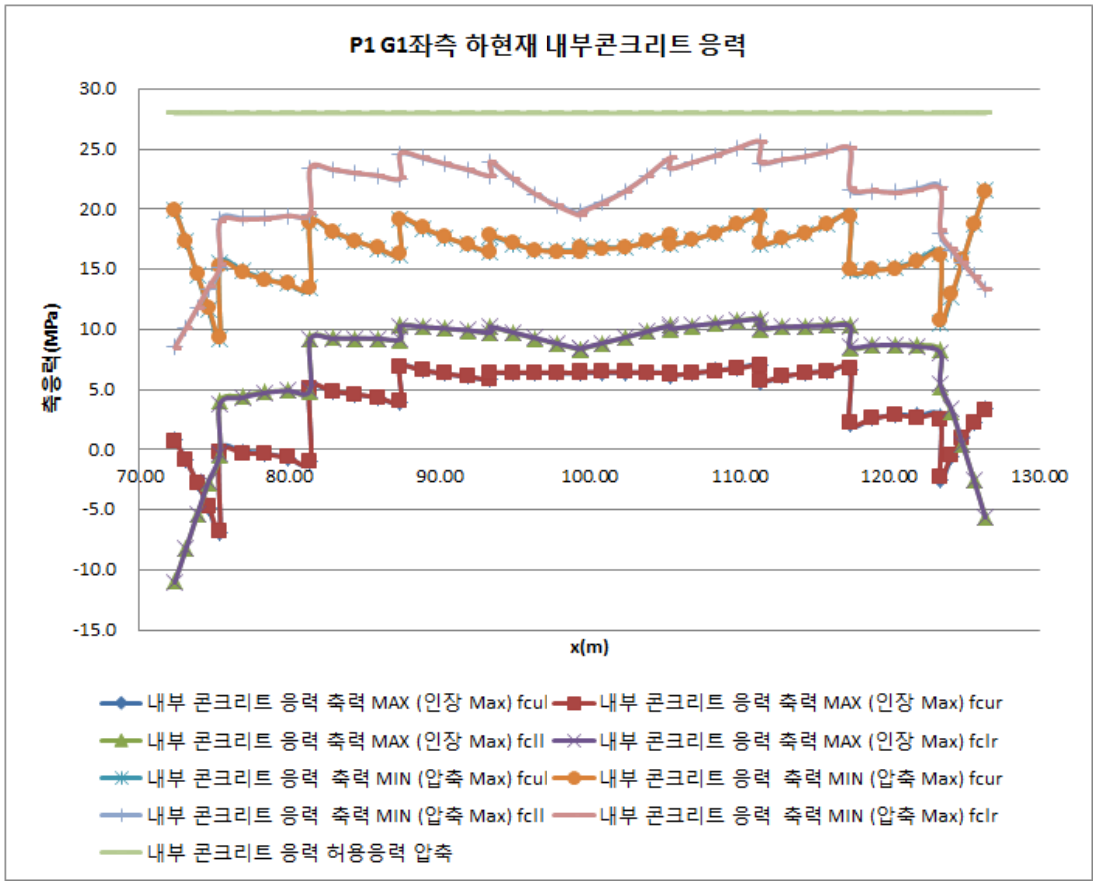
(2) 트러스부

1) 상현재

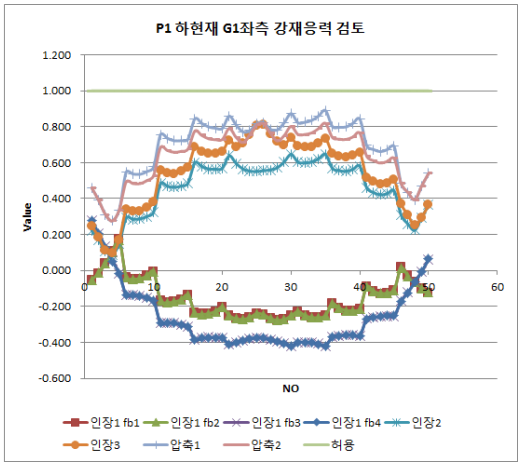
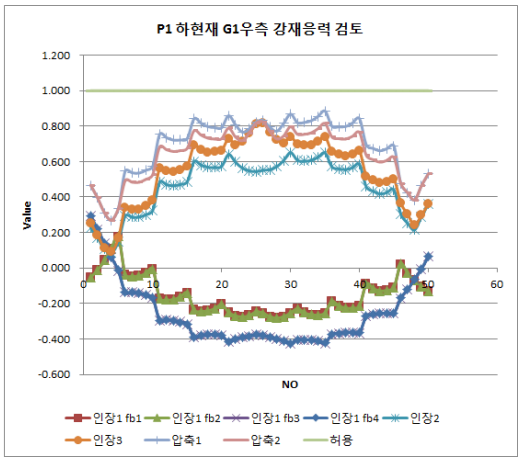
	외측(좌측)	내측(우측)
P1 G1		
P2 G1		

(2) 하현재

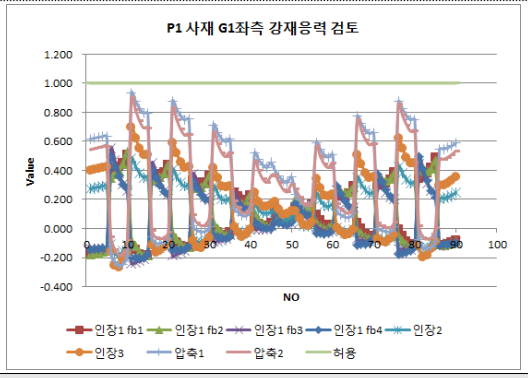
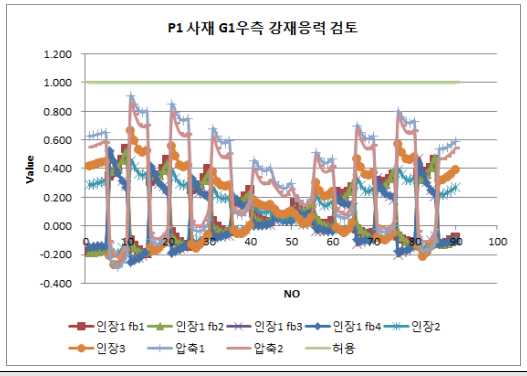
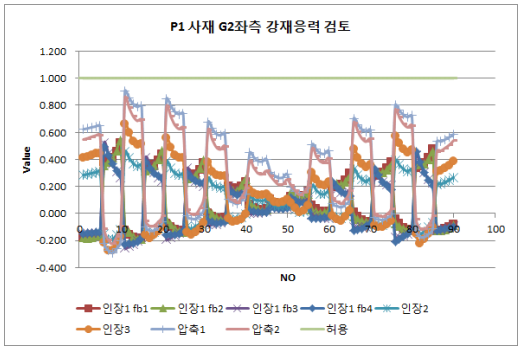
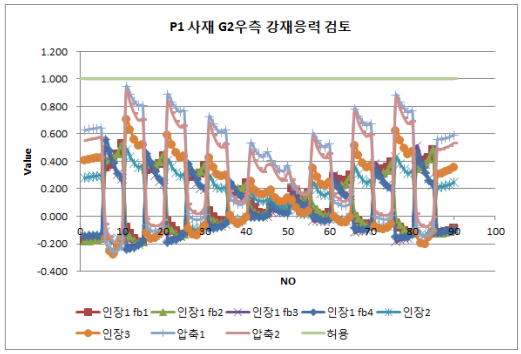
① 내부충전 콘크리트 응력

	외측(좌측)
P1 G1	

② 강재응력

	외측(좌측)	내측(우측)
P1 G1		

(3) 사재

	외측(좌측)	내측(우측)
P1 G1		
P1 G2	내측(좌측) 	외측(우측) 

3.3 상부 수량

(1) 주요자재 집계

강재량	철근량	콘크리트량	비고
1649.0 tonf	189.7	1218.6	NET 수량

(2) 강재집계(단위 : tonf)

HSB600	SM400B	볼트중량	기타 강재	합계
1382.5	194.5	56.4	15.7	1649.0

(3) 도장집계(단위 : m3)

교량외부(공장)	교량외부(현장)	교량내부(공장)	
8617.3	7827.2	12023.6	
연결판(공장)	외부볼트(현장)	내부볼트(현장)	외부포장면(공장)
3432.9	952.3	778.7	1998.4

(4) 상부수량 집계

공 종		규 격	단위	슬래브	방호벽	합 계	비 고
콘크리트 구입		25-27-15	㎥	1022.967		1022.967	
		19-24-15	㎥		195.689	195.689	
콘크리트 타 설	펌프카타설	H=0~15M	㎥	1022.967	195.689	1218.656	
		H=15M이상	㎥				
거푸집	매끈한 마감	수평면	㎡	851.153		851.153	
		경사면	㎡	954.249	820.773	1775.022	
		수직면	㎡	167.092	708.339	875.431	
신축이음장치		UCF-100S	m	9.785		9.785	
		UCF-200S	m	9.785		9.785	
무수축콘크리트		fck=600kgf/㎠	㎥	4.486		4.486	

공 종		규 격	단위	슬래브	방호벽	합 계	비 고
슬 래 브 양 생			㎡	3108.800		3108.800	
교 면 고 르 기			㎡	3108.800		3108.800	
교 면 방 수		도 막 식	㎡	3108.800		3108.800	
스페이서 설치		수 평	㎡	3435.200		3435.200	
아 스 콘 포 장		(t = 8.0 cm)	㎡	3108.800		3108.800	포장공사이월
덱 코 팅		(1.5 배)	㎡	4663.200		4663.200	
방호벽A1		H=1.080	m	332.000		332.000	
중분대2		H=0.790	m	332.000		332.000	
NOTCH		알루미늄판	m	640.000		640.000	
강 교		제 작	tonf	1649.011		1649.011	
		운반 및 가설	tonf	1649.011		1649.011	
강 교 도 장		교량 외부(공장)	㎡	8617.295		8617.295	
		교량 외부(현장)	㎡	7827.231		7827.231	
		교량 내부(공장)	㎡	12023.575		12023.575	
		연 결 판 (공장)	㎡	3432.922		3432.922	
		외부 볼트(현장)	㎡	952.283		952.283	
		내부 볼트(현장)	㎡	778.658		778.658	
		외부포장면(공장)	㎡	1998.355		1998.355	
		볼트 및 너트	tonf	56.371		56.371	
교면 물베기공			m	341.470		341.470	
낙하물 방지공		수 평	㎡	3755.200		3755.200	
		수 직	㎡	665.600		665.600	
		계	㎡	4420.800		4420.800	
철근가공 조 립	복 잡	직경13(고강)	tonf				
		직경16~25(고강)	tonf	173.583		173.583	
		직경29~35(고강)	tonf				
	보 통	직경13(연강)	tonf				
		직경16~25(연강)	tonf	15.616		15.616	
		직경29~35(연강)	tonf				
	간 단	직경13(고강)	tonf				
		직경16~25(고강)	tonf	0.480		0.480	
		직경29~35(고강)	tonf				
신축이음덮개		일반 방호벽	EA	1		1	
		중 분 대	EA	1		1	
동 바 리		목재 동바리	공/㎡	5371.699		5371.699	
		데크 퍼니셔	공/㎡	1028.333		1028.333	

공 종		규 격	단위	하현제		합 계	비 고
콘크리트 구입		19-70-15	㎥	141.214		141.214	
콘크리트 타설	펌프카타설	H=0~15M	㎥	141.214		141.214	

(5) 용접집계

용접형태	개선형태	적층방법	Size	용접번호	용접장 × 환산율 = 환산 용접 길이 (m)		
필릿 용접	개선하지 않음	양면용접	6	1	23357.472 ×	1.00	= 23357.472
필릿 용접	개선하지 않음	양면용접	8	1	8131.648 ×	1.78	= 14474.333
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	6	11	290.576 ×	1.24	= 360.314
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	8	11	2010.688 ×	2.02	= 4061.590
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	9	11	457.856 ×	2.48	= 1135.483
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	10	11	790.432 ×	2.98	= 2355.487
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	13	11	530.400 ×	4.78	= 2535.312
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	14	11	139.200 ×	5.46	= 760.032
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	16	11	357.600 ×	6.98	= 2496.048
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	17	11	283.200 ×	7.81	= 2211.792
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	18	11	17.600 ×	8.68	= 152.768
T이음 용접	L형 개선	부분용입용접	20	11	88.000 ×	10.60	= 932.800
필릿 용접 길이						**Σ**	**= 54833.432**
맞대기 용접	L형 개선	편면+백킹강판	10	3	94.800 ×	7.42	= 703.416
맞대기 용접	L형 개선	편면+백킹강판	12	3	67.200 ×	8.57	= 575.904
맞대기 용접	V형 개선	편면+백킹강판	12	4	89.760 ×	9.03	= 810.533
맞대기 용접	V형 개선	편면+백킹강판	14	4	43.840 ×	10.50	= 460.320
맞대기 용접	V형 개선	편면+백킹강판	16	4	32.880 ×	12.30	= 404.424
맞대기 용접	V형 개선	편면+백킹강판	18	4	41.440 ×	14.20	= 588.448
맞대기 용접	V형 개선	편면+백킹강판	20	4	10.720 ×	16.30	= 174.736
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	18	5	10.960 ×	14.60	= 160.016
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	20	5	98.144 ×	16.30	= 1599.747
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	22	5	78.512 ×	18.10	= 1421.067
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	24	5	10.960 ×	20.00	= 219.200
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	26	5	115.360 ×	22.10	= 2549.456
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	28	5	21.440 ×	24.20	= 518.848
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	30	5	10.960 ×	26.50	= 290.440
맞대기 용접	X형 개선	편면+백킹강판	32	5	10.960 ×	28.90	= 316.744
플래어 용접	개선하지 않음	양면용접	6	6	22.200 ×	5.87	= 130.314
맞댐 용접 길이						**Σ**	**= 10923.613**

3.4 설계 내역 요약

공사명: HiTAB 상부공사 교량명: HiTAB교(B=10.735m,L=320m(100+120+100)) 기준연월: 2012년06월

공 종		규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
▣ HiTAB교량 상부공 가설공사				식		3,504,331,010		2,322,621,094		3,875,971,896		9,702,924,000	
Ⅰ.	순공사비		1	식		3,504,331,010		2,322,621,094		1,994,106,675		7,821,058,779	
가.	직접공사비		1	식		3,504,331,010		2,138,693,457		1,170,713,343		6,813,737,810	
1.	HiTAB거더 제작 및 설치		1	식	3,107,091,987	3,107,091,987	1,762,199,418	1,762,199,418	1,167,472,045	1,167,472,045	6,036,763,450	6,036,763,450	
2.	HiTAB 슬래브		1	식	397,239,023	397,239,023	376,494,039	376,494,039	3,241,298	3,241,298	776,974,360	776,974,360	
나.	간접노무비	직접노무비×8.60%	1	식				183,927,637				183,927,637	
다.	산업재해보험료	노무비×3.70%	1	식						85,936,980		85,936,980	
라.	고용보험료	노무비×1.24%	1	식						28,800,501		28,800,501	
마.	건강보험료	직접노무비×1.70%	1	식						36,357,788		36,357,788	
바.	연금보험료	직접노무비×2.49%	1	식						53,253,467		53,253,467	
사.	노인장기요양보험료	건강보험료×6.55%	1	식						2,381,435		2,381,435	
아.	퇴직공제부금비	직접노무비×2.30%	1	식						49,189,949		49,189,949	
자.	산업안전보건관리비	(재료비+직노)×1.86%	1	식						106,088,859		106,088,859	
차.	환경보전비	직접공사비×0.90%	1	식						61,323,640		61,323,640	
카.	기타경비	(재료비+노무비)×6.60%	1	식						384,578,838		384,578,838	
타.	공사이행보증수수료	[직공×0.016%+4.8백만원]×2.0년	1	식						10,780,396		10,780,396	
파.	건설하도급대금지급보증서발급수수료	직접공사비×0.069%	1	식						4,701,479		4,701,479	
Ⅱ.	일반관리비	순공사비×5.5%	1	식						430,158,232		430,158,232	
Ⅲ.	이 윤	(순공-재료비+일반)×12.0%	1	식						569,626,320		569,626,320	
Ⅳ.	총원가		1	식		3,504,331,010		2,322,621,094		2,993,891,227		8,820,840,000	
Ⅴ.	공급가액	100.0%	1	식		3,504,331,010		2,322,621,094		2,993,891,227		8,820,840,000	
Ⅵ.	부가가치세	공급가액×10%	1	식						882,084,000		882,084,000	
	도급금액		1	식		3,504,331,010		2,322,621,094		3,875,971,896		9,702,924,000	
	㎡당 공사비	HiTAB : 1,757,325 원/㎡			직공비 : 1,983,505 원/㎡			총공사비 : 2,824,559 원/㎡					
		슬래브 : 226,180 원/㎡			간접비 : 841,053 원/㎡			직접공사비 대비 간접비 점유율 : 42.4%					

공사명: HiTAB 상부공사 교량명: HiTAB교(B=10.735m,L=320m(100+120+100)) 기준연월: 2012년06월

공 종		규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1.	HiTAB 거더 제작 및 설치	가설벤트공법	1	식		3,107,091,987		1,762,199,418		1,167,472,045		6,036,763,450	
2.	HiTAB 슬래브		1	식		397,239,023		376,494,039		3,241,298		776,974,360	
2.01.	거푸집	합판3회	3,502	m2	8,038	28,149,076	12,057	42,223,614			20,095	70,372,690	
2.02.	동바리					8,192,004		205,277,744				213,469,748	
	a. 목재동바리	4회	5,372	공/m3	992	5,329,024	32,083	172,349,876			33,075	177,678,900	
	b. 목재동바리	DECK FINISHER용	1,028	공/m3	2,785	2,862,980	32,031	32,927,868			34,816	35,790,848	
2.03.	철근가공 및 조립					2,178,708		70,446,290				72,624,998	
	a. 철근가공 및 조립	복잡	174.064	ton	11,628	2,024,016	375,979	65,444,408			387,607	67,468,424	
	b. 철근가공 및 조립	보통	15.616	ton	9,906	154,692	320,305	5,001,882			330,211	5,156,574	
	c. 철근가공 및 조립	간단	-	ton	6,012		294,575				300,587		
2.04.	스페이셔	슬라브 및 기초	3,435	m2	95	326,325	5	17,175			100	343,500	
2.05.	철근콘크리트타설	펌프카/H=0~15m	1,218	m3	1,071	1,304,478	7,314	8,908,452	1,634	1,990,212	10,019	12,203,142	
2.06.	표면처리공					1,374,178		864,302		391,734		2,630,214	
	a. 슬라브양생		3,109	m2	258	802,122	151	469,459			409	1,271,581	
	b. 슬라브면고르기	DECK FINISHER	3,109	m2	184	572,056	127	394,843	126	391,734	437	1,358,633	
2.07.	교면방수	도막식	3,109	m2	10,292	31,997,828	9,888	30,741,792			20,180	62,739,620	
2.08.	신축이음장치												
	a. 신축이음장치	UCF-150S	-	m	2,359,890		315,191		44,391		2,719,472		
	b. 신축이음장치	UCF-250S	-	m	2,359,890		315,191		44,391		2,719,472		
2.09.	무수축 콘크리트	fck=60MPa	4.49	m3	98,715	443,230	197,784	888,050			296,499	1,331,280	
2.10.	강재방호책	SB6등급	-	m	406,197		131,583				537,780		
2.11.	신축이음 COVER PLATE		2	개소	93,898	187,796	85,694	171,388	2,769	5,538	182,361	364,722	
2.12.	NOTCH 설치		640	m	2,815	1,801,600	140	89,600			2,955	1,891,200	
2.13.	교면물빼기공	유공관 Φ10mm	341	m	10,735	3,665,680	1,894	646,744			12,629	4,312,424	
2.14.	낙하물방지공	강관(12개월)	4,421	m2	5,108	22,582,468	3,266	14,438,986			8,374	37,021,454	

공사명: HiTAB 상부공사 교량명: HiTAB교(B=10.735m,L=320m(100+120+100)) 기준연월: 2012년06월

공 종		규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
2.15.	시멘트운반		68	포대					463	31,484	463	31,484	
2.16.	교면포장					59,366,355		1,779,902		822,330		61,968,587	
	a. 교면포장	T=8cm(개질)	3,109	m2	18,858	58,629,522	496	1,542,064	260	808,340	19,614	60,979,926	
	b. 택 코 팅	RSC-4	4,664	m2	158	736,833	51	237,838	3	13,990	212	988,661	
2.17.	주요자재비					235,669,297						235,669,297	
	a. 레미콘	25-27-15	1,230	m3	69,350	85,312,983					69,350	85,312,983	1%할증
	b. 철 근					160,200,775						160,200,775	
	b-1. 철근(고강)	H=13m/m	-	ton	825,000						825,000		
	b-2. 철근(고강)	H=16m/m이상	179.360	ton	820,000	147,075,200					820,000	147,075,200	
	b-3. 철근(연강)	D=13m/m	-	ton	820,000						820,000		
	b-4. 철근(연강)	D=16m/m이상	16.105	ton	815,000	13,125,575					815,000	13,125,575	
	c. 고재대		21.401	ton	-460,000	-9,844,461					-460,000	-9,844,461	

※ 슬래브 공사비 관련 사항

- 배수처리시설, 교량점검로, 신축이음장치, 강재방호책 등 공사비 별도 산정
- 연석, 방호벽에 사용되는 24MPa 콘크리트 비용은 25-27-15로 대체

공사명: HiTAB거더 제작 및 설치 교량명: HiTAB교(B=10.735m,L=320m(100+120+100)) 기준연월: 2012년06월

공 종		규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1.	**HiTAB 제작 및 설치**			식		3,107,091,987		1,762,199,418		1,167,472,045		6,036,763,450	101%
1.1	**강교 제작**	HSB600~SM400B	1,592.640	ton	144,980	230,900,947	690,712	1,100,055,559	381,552	607,674,977	1,217,244	1,938,631,483	32.1%
1.2	**강교 운반**		1,592.640	ton	46,057	73,352,220	44,381	70,682,955	23,094	36,780,428	113,532	180,815,603	3.0%
1.3	**강교 도장**		1	식		150,170,678		244,867,380		1,927,510		396,965,568	6.6%
1.3-1	강교외부도장/공장	내후성중방식	8,617	㎡	3,949	34,028,533	7,333	63,188,461			11,282	97,216,994	
1.3-2	강교외부도장/현장	내후성중방식	7,827	㎡	1,289	10,089,003	1,779	13,924,233			3,068	24,013,236	
1.3-3	강교내부도장/공장	에폭시마감	12,023	㎡	2,753	33,099,319	9,215	110,791,945			11,968	143,891,264	
1.3-4	외부볼트및연결판 도장/현장	내후성중방식	2,668	㎡	5,568	14,855,424	7,015	18,716,020	407	1,085,876	12,990	34,657,320	
1.3-5	내부볼트및연결판 도장/현장	에폭시마감	2,495	㎡	4,001	9,982,495	3,981	9,932,595	142	354,290	8,124	20,269,380	
1.3-6	강교외부포장면도장/공장	내후성중방식	1,998	㎡	3,949	7,890,102	7,333	14,651,334			11,282	22,541,436	
1.3-7	강교연결판도장/공장	내후성중방식	3,432	㎡	4,001	13,731,432	3,981	13,662,792	142	487,344	8,124	27,881,568	
1.3-8	강교볼트및너트도장/공장		56.371	ton	470,000	26,494,370					470,000	26,494,370	
1.4	**강교 가설**		1	식	151,673	241,560,484	216,325	344,527,846	326,896	520,627,643	694,894	1,106,715,973	18.3%
1.4-1	SEGMENT 가설	HiTAB 거더	1,592.640	ton	41,694	66,403,532	99,150	157,910,256	314,290	500,550,825	455,134	724,864,613	
1.4-2	가로보 및 기타부재 가설		1,592.640	ton	103	164,041	11,101	17,679,896	254	404,530	11,458	18,248,467	
1.4-3	작업용 비계	현장조립및도장용	1,592.640	ton	764	1,216,776	3,060	4,873,478			3,824	6,090,254	
1.4-4	고장력볼트 조이기		1,592.640	ton	96,287	153,350,527	32,137	51,182,671	1,476	2,350,736	129,900	206,883,934	
1.4-5	가설벤트 설치 및 해체	직접기초기준	1,592.640	ton	12,825	20,425,608	70,877	112,881,545	10,876	17,321,552	94,578	150,628,705	
1.5	**비파괴 검사**			식		42,187,000						42,187,000	0.7%
1.5-1	방사선투과 검사	R.T	608	매	15,000	9,120,000					15,000	9,120,000	
1.5-2	초음파탐상 검사	U.T	1,044.00	m	20,000	20,880,000					20,000	20,880,000	
1.5-3	자분탐상 검사	M.T	1,741.00	m	7,000	12,187,000					7,000	12,187,000	
1.6	**이종합성 콘크리트**		1	식		302,480		2,065,678		461,487		2,829,645	0.0%
1.6-1	콘크리트 타설	펌프카/H=0~15m	282	㎥	1,071	302,480	7,314	2,065,678	1,634	461,487	10,019	2,829,645	
	소 계			식		738,473,809		1,762,199,418		1,167,472,045		3,668,145,272	60.8%

공사명: HiTAB거더 제작 및 설치 교량명: HiTAB교(B=10.735m,L=320m(100+120+100)) 기준년월: 2012년06월

공 종		규 격	수 량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1.7	자재비					2,368,818,178						2,402,848,418	39.8%
1.6-1	강 판					2,357,373,016						2,357,373,016	39.1%
	HSB600	2.0≤t≤4.0		ton	1,097,300						1,097,300		6%할증
		4.0<t≤5.0		ton	1,094,100						1,094,100		
		6.0≤t≤7.0		ton	1,592,700						1,592,700		
		7.0<t≤8.0		ton	1,561,100						1,561,100		
		8.0<t≤9.0		ton	1,518,500						1,518,500		
		9.0<t≤12.0	412.370	ton	1,476,400	608,823,068					1,476,400	608,823,068	
		12.0<t≤20.0	672.403	ton	1,471,400	989,373,774					1,471,400	989,373,774	
		20.0<t≤25.0	43.156	ton	1,478,600	63,810,461					1,478,600	63,810,461	
		25.0<t≤30.0	195.253	ton	1,488,000	290,536,464					1,488,000	290,536,464	
		30.0<t≤38.0	82.051	ton	1,496,400	122,781,116					1,496,400	122,781,116	
		38.0<t≤40.0	60.191	ton	1,504,300	90,545,321					1,504,300	90,545,321	
		40.0<t≤50.0		ton	1,513,900						1,513,900		
	SM400B	2.0≤t≤4.0		ton	1,064,800						1,064,800		
		4.0<t≤5.0		ton	1,061,600						1,061,600		
		6.0≤t≤7.0	0.004	ton	1,257,400	5,029					1,257,400	5,029	
		7.0<t≤8.0		ton	1,225,800						1,225,800		
		8.0<t≤9.0		ton	1,183,200						1,183,200		
		9.0<t≤12.0	170.324	ton	1,141,100	194,356,716					1,141,100	194,356,716	
		12.0<t≤20.0	35.793	ton	1,136,100	40,664,427					1,136,100	40,664,427	
		20.0<t≤25.0		ton	1,143,300						1,143,300		
		25.0<t≤30.0		ton	1,143,300						1,143,300		
		30.0<t≤38.0		ton	1,151,700						1,151,700		
		38.0<t≤40.0		ton	1,166,900						1,166,900		
		40.0<t≤50.0		ton	1,176,500						1,176,500		
	공제대		94.616	ton	-460,000	-43,523,360						-43,523,360	
1.6-2	레미콘	25-24-15	168.064	㎥	66,910	11,245,162						11,245,162	1%할증
1.6-3	레미콘	25-70-15	285.252	㎥	120,000	34,230,240						34,230,240	1%할증

3.5 강중 및 설계 공사비 정리

강중	상부 구조 설계 직공비		
	HiTAB	바닥판	합계
481.6 kgf/㎡	175.7 만원/㎡	22.6 만원/㎡	198.3 만원/㎡

3.6 소결론

(1) HiTAB 상부구조의 모델링은 강상자구조 구간 부재의 경우 보 요소로 트러스구조 구간 부재의 경우 트러스 요소로 모델링하였으며, 강상자구조와 트러스구조가 중첩되는 접합 구간의 경우 구조계의 안전성을 고려하여 트러스 구조만을 적용하여 모델링화 하였다.

(2) B=10.735m, L=320m(100+ 120+ 100)의 HiTAB 이중합성 구조의 설계강재량은 1649.0tonf, 이 때의 ㎡당 상부구조의 설계직공비는 198.3만원/㎡으로 산출되었다.

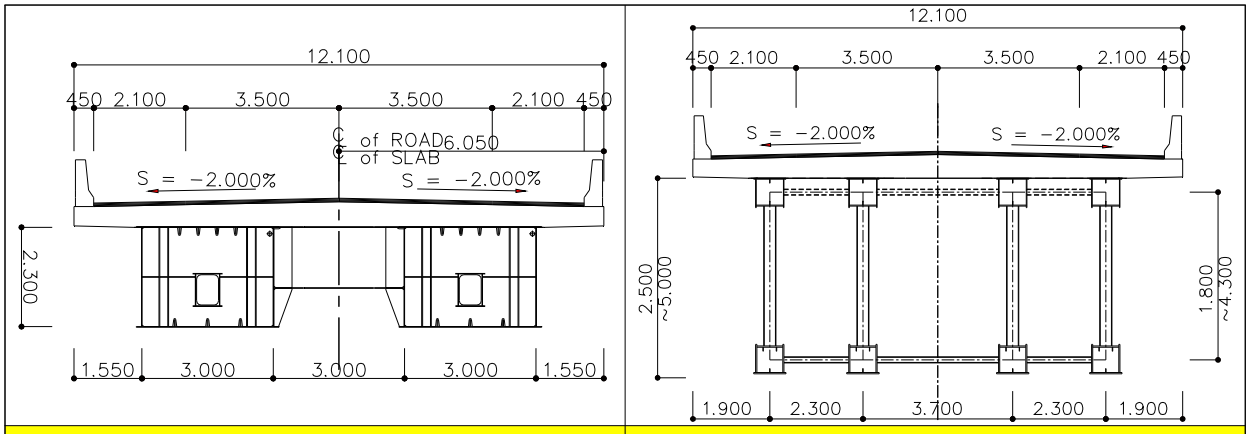
3.7 HiTAB 적용강중 종합결론

(1) 교량의 공사비는 비교대상 교량의 경간구성과 폭원 및 재하하중에 따라 편차가 클 수 밖에 없다.

(2) 총 3차년도에 걸쳐서 연구분석된 대상 교량의 경간구성 및 폭원에 대한 강중은 아래의 표와 같다. 2차년도의 경우 강아치교나 일반적인 트러스거더교에 비해서 사용강중과 적용상세 등을 고려한 공사비에서 경쟁력을 확보하는 것으로 분석되었다.

구분	경간구성(m)	폭원(m)	강중(kgf/m^2)	비고
1차년도	100+ 100	12.1	404	응력만 검토
2차년도	120+ 160+ 120	12.1	640	기준부합
3차년도	100+ 100	10.7	535(580)	한계상태설계
	100+ 120+ 100	10.7	480	이중합성
	65+ 80+ 65	20.1	380	실시설계

(3) 표에서 보는 바와 같이 1차년도에 응력만을 기준으로 검토한 단면에서는 응력만을 고려하는 경우 강중을 약 400kgf/m^{2}가 나타나는 것으로 분석되었으나, 국내설계기준의 강도확보규정 및 시공성을 고려한 단면구성, 격점부 상세적용 등을 적용하는 경우 강중이 많이 증가하는 것으로 나타났다.



박스구간 | 트러스 구간

<1차년도 적용단면>

(4) 한계상태설계법를 적용하는 경우에는 허용응력을 적용하는 경우와 비교할 때, 강중을 7%절감할 수 있는 것으로 분석되었으며, 이중합성을 적용하는 경우에는 강중을 더 많이 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

(5) 강박스거더교가 적용될 수 있는 중앙경간장 80m인 경우에는 380kgf/m^{2}으로 강박스거더교를 적용하는 경우인 355kgf/m^{2}에 비해서는 증가폭이 크지 않은 것으로 평가되었다.

4. 세로보가 있는 단면을 위한 설계검토

4.1 연구목적

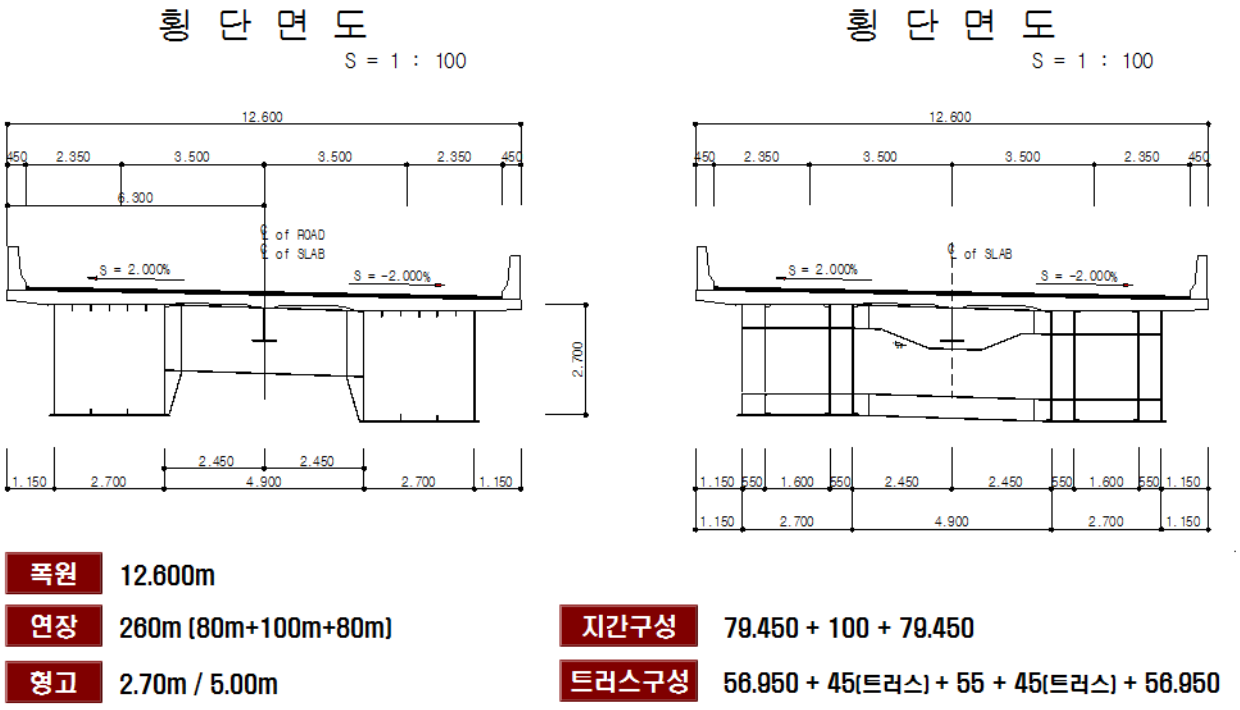
(1) HiTAB 구조에서 세로보의 위치를 교축방향으로 동일하게 설정시 발생하는 부재력과 응력을 『기본 HiTAB 구조』의 부재력 및 응력과 비교한다.

(2) 세로보 위치 동일하게 설정한 경우에 대하여 강성가로보가 필요한지 검토한다.

(3) 세로보 위치 동일하게 설정한 경우에 있어서 강성가로보에 의해 가로보의 응력 감축 효과가 있는지 파악한다. (강성가로보 효과 검토)

4.2 검토대상

(1) 횡단면도



폭원	12.600m
연장	260m (80m+100m+80m)
형고	2.70m / 5.00m

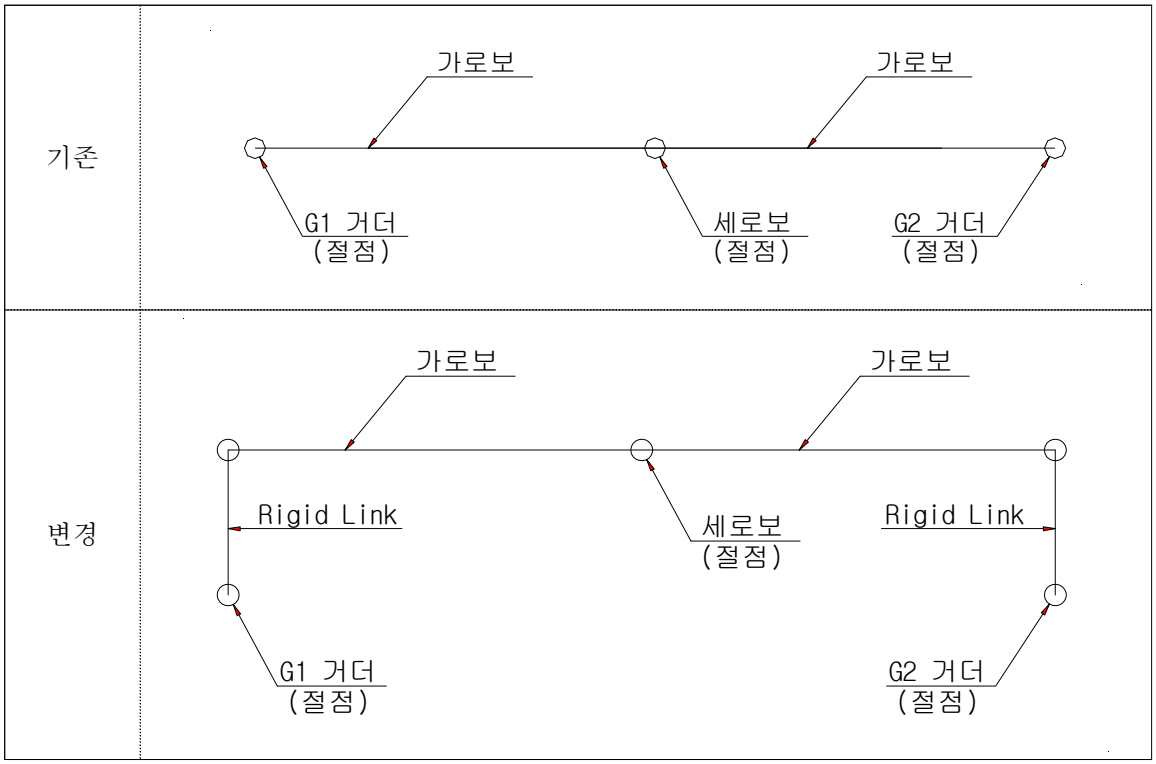
지간구성	79.450 + 100 + 79.450
트러스구성	56.950 + 45(트러스) + 55 + 45(트러스) + 56.950

(2) 세로모 및 가로보 제원

보강재	구분		규격	강종
세로보	강상자구조		350*12*800*12	SM400B
	트러스구조		350*14*800*12	
가로보	강상자 구조		350*12*1600*12	SM400B
	트러스 구조	단부	350*14*566*12	
		중앙부	350*14*1000*12	
강성 가로보	상·하플랜지		1500*14	SM400B
	복부		2700*12	

※ 강성가로보 : 트러스부 시·종점부에 위치

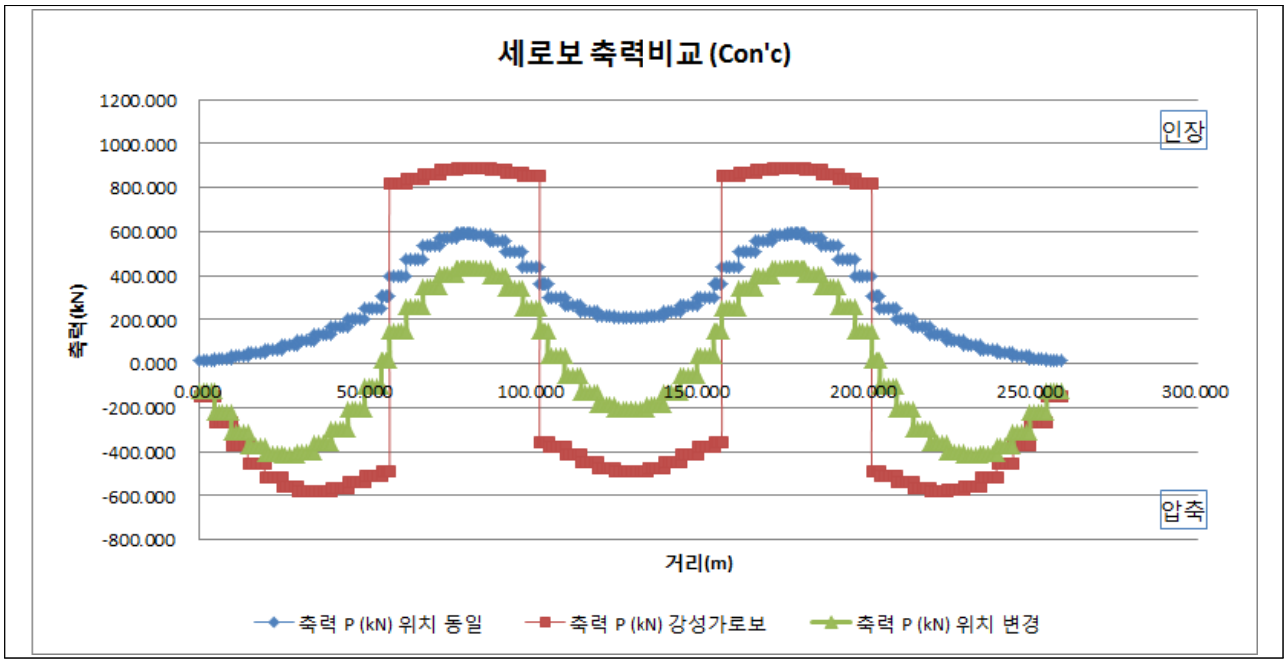
(3) 모델링에 따른 비교(박스부 모델링 변경)



- 기본 구조 : 교축방향으로 강상자(박스) 구조의 세로보는 강상자 구조 위치에, 트러스 구조의 세로보는 트러스 구조 위치에 적용한 구조.
- 세로보 위치 변경 구조 : 세로보의 실제 설치를 고려하여, 교축방향으로 세로보의 높이 위치를 일정하게 맞춘 구조.
- 강성가로보 구조 : 세로보 위치 변경 구조에서 트러스부 시·종점부 가로보 위치에 강성이 큰 가로브를 적용한 구조.

4.3 해석결과

(1) 세로보 축력비교



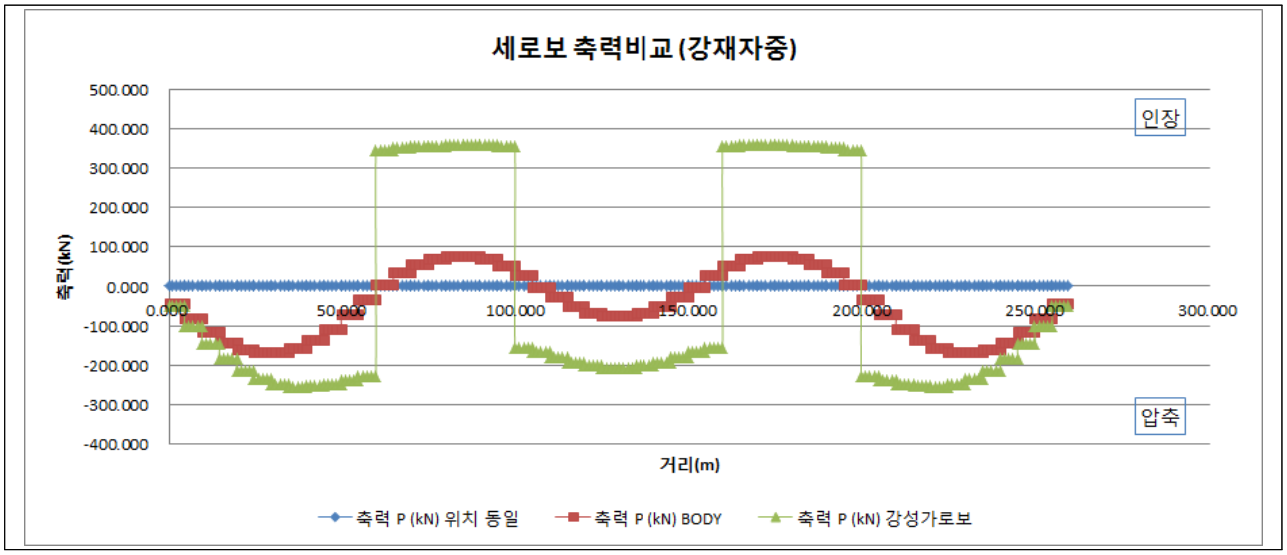
1) 세로보의 편심효과를 무시하면, 세로보의 축력의 방향은 바뀌지 않음

2) 그러나 세로보의 편심효과를 고려하면, 세로보의 축력방향이 모멘트 방향에 따라 변화

3) 강성가로보를 적용하면, 세로보간의 축력의 변화가 강성가로보부에 집중이 됨.

4) 박스거더나 트러스의 상하현재의 힘에는 큰 변화 없음

(2) 하이브리드 교량이 아닌 강상자 거더교량인 경우

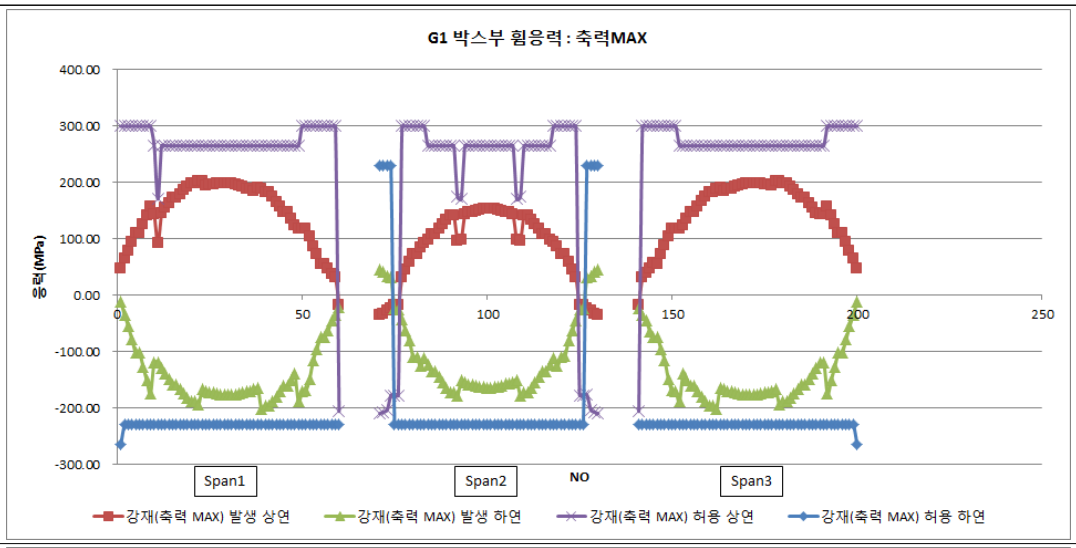
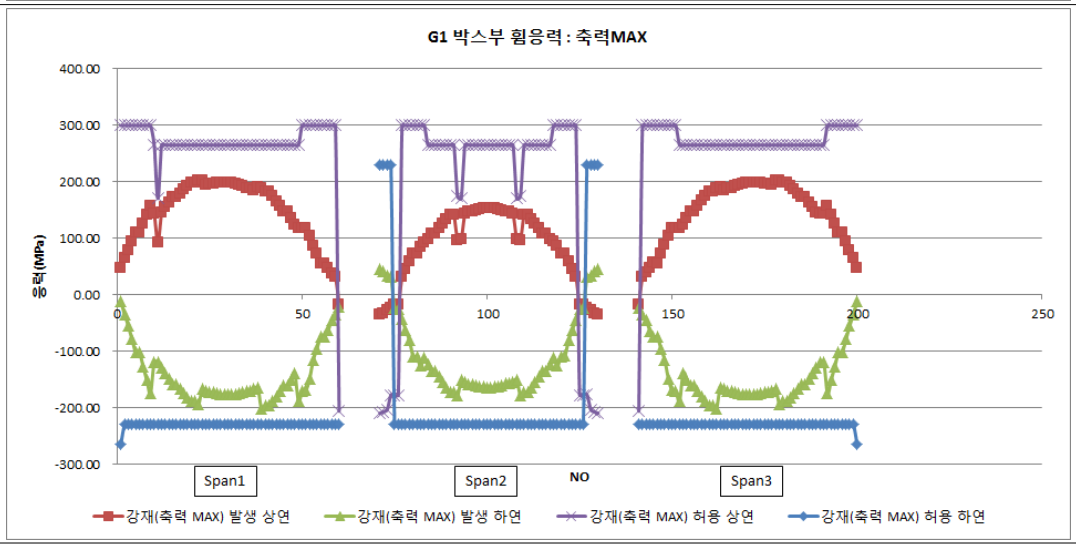
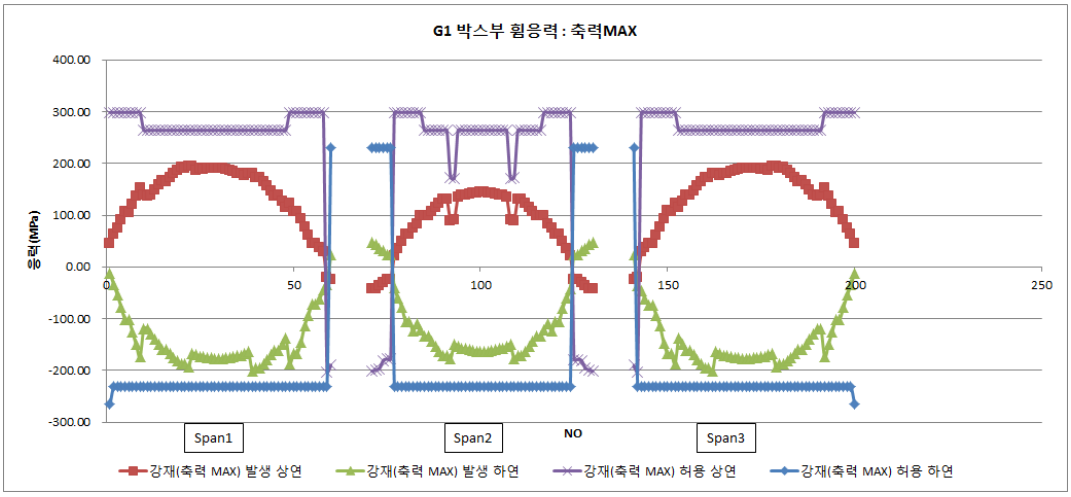


1) 강상자 거더교량에서는 세로보에 축력이 발생하지 않는 것으로 통상적인 설계적용.

2) 그러나 세로보의 편심을 고려하면 HiTAB과 유사한 결과가 나타나게 됨.

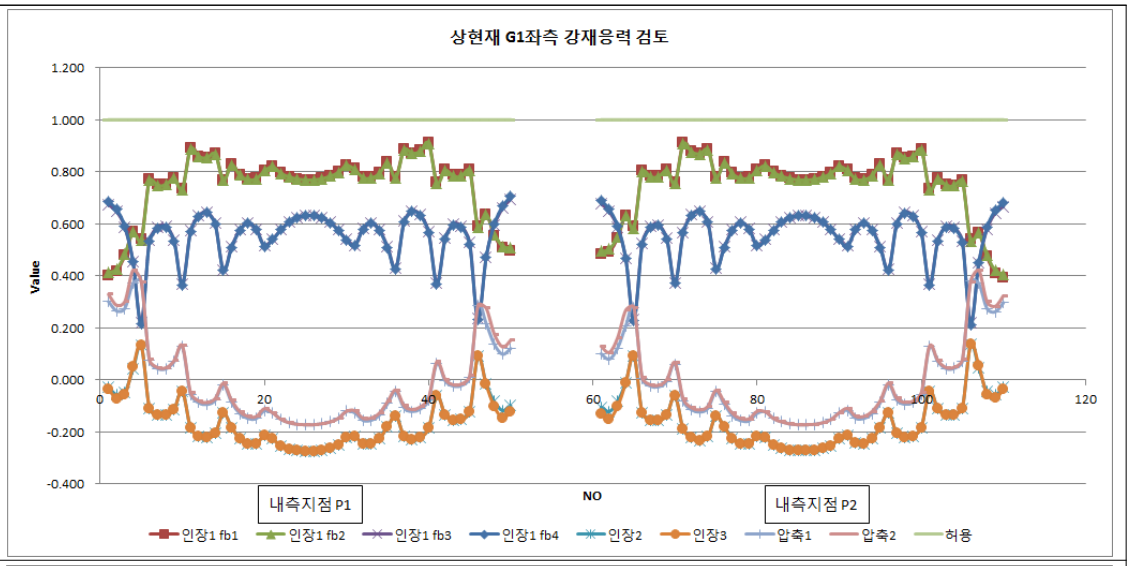
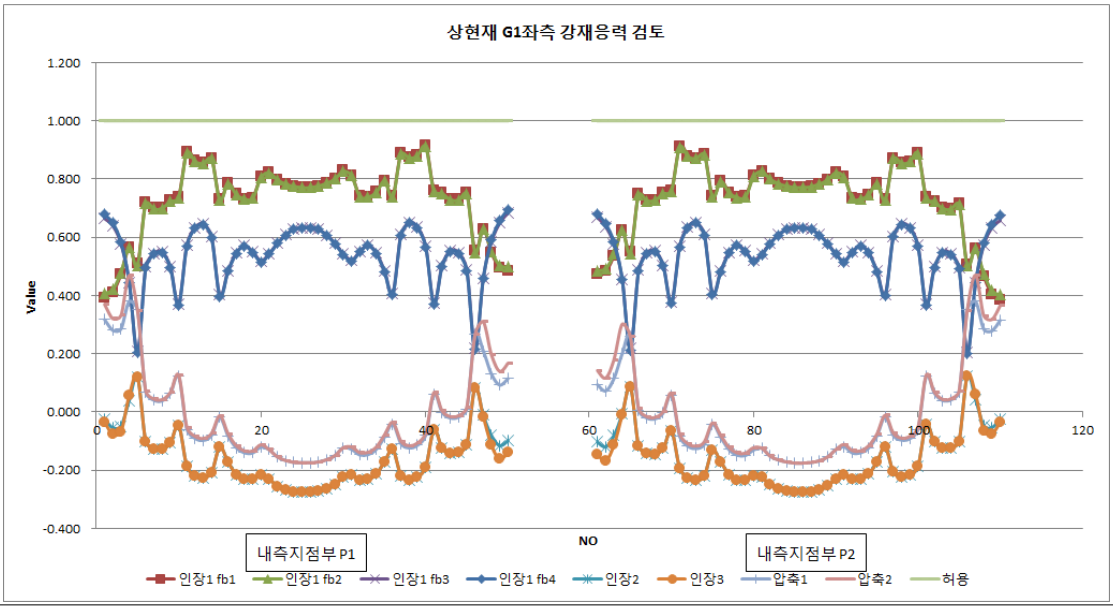
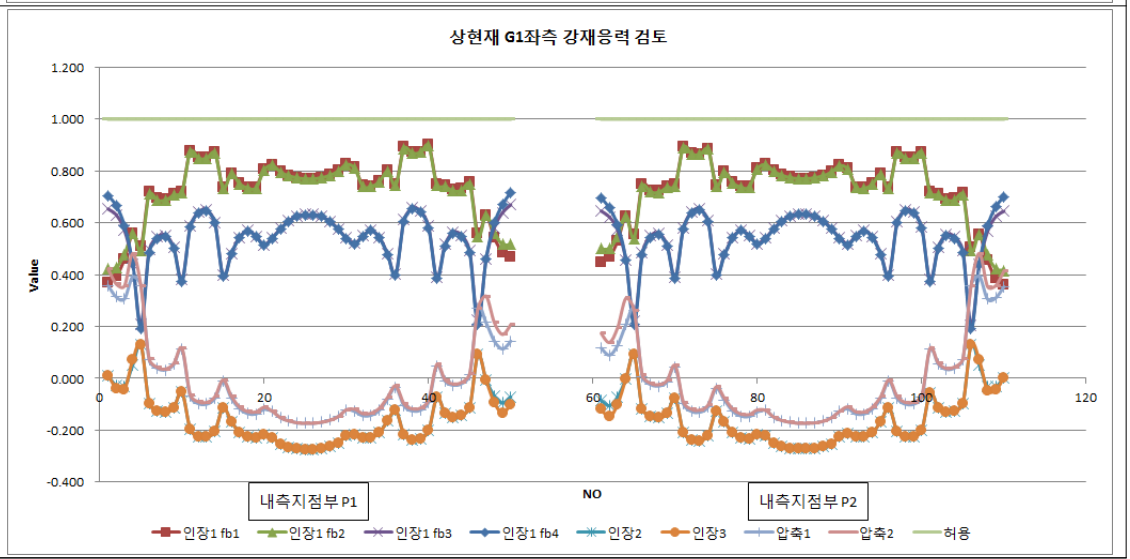
(3) 강박스부의 강재응력

1) 세로보의 위치변경이나 강성가로보를 적용하여도 강거더의 응력변화는 거의 없음

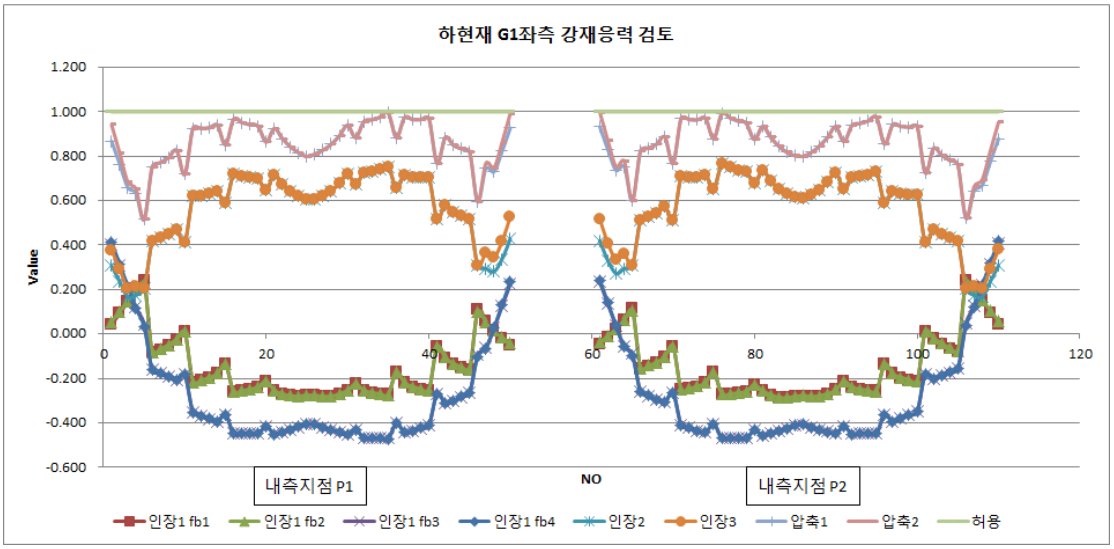
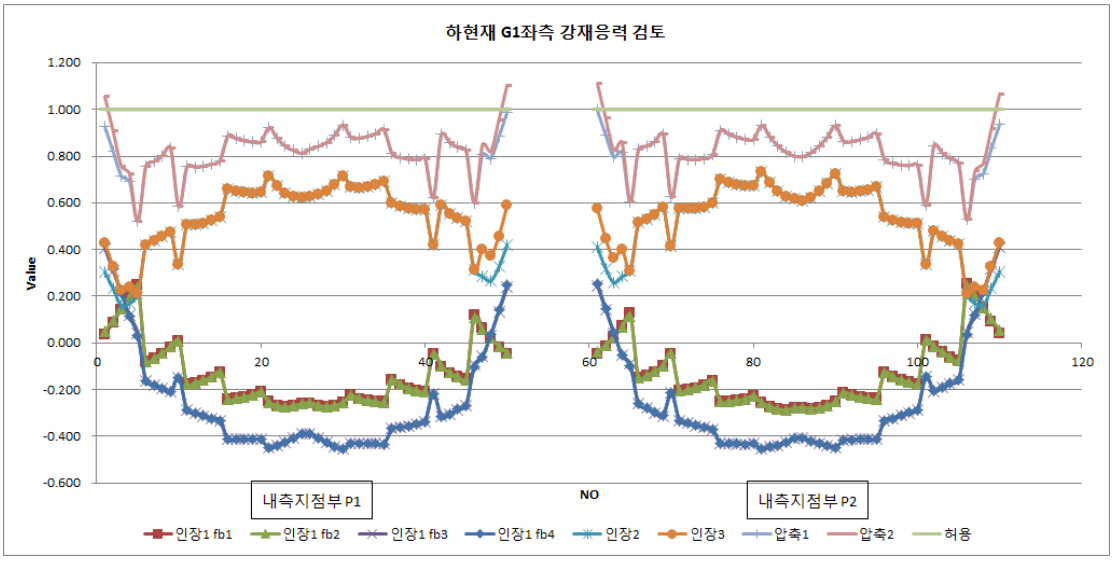
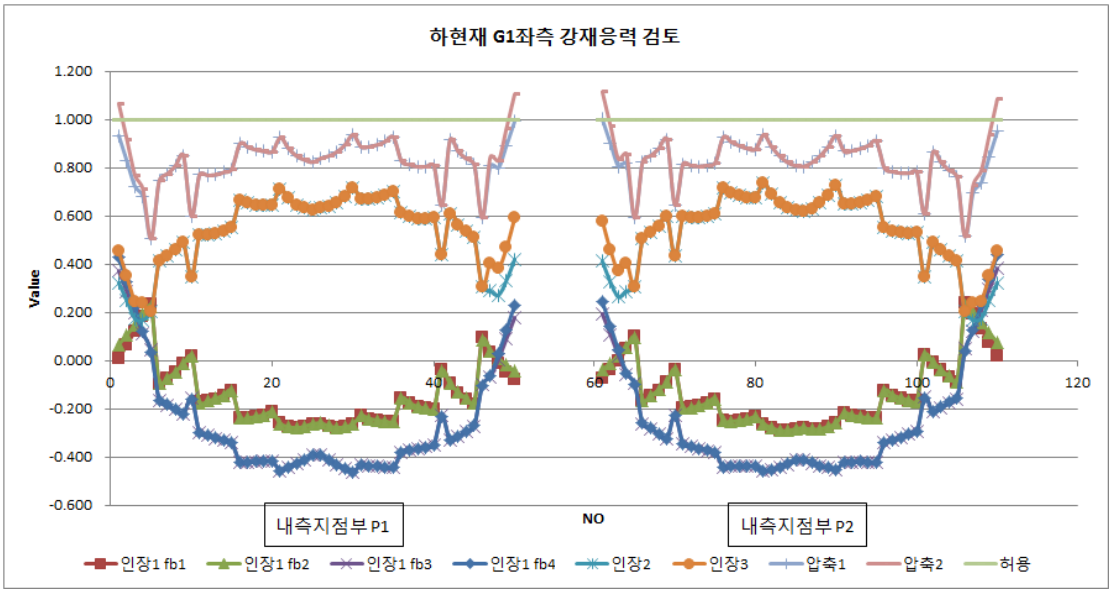
기본 구조	
세로보 위치 변경	
세로보 위치 변경 – 강성가로보 적용 –	

(4) 트러스부의 응력

1) 상현재

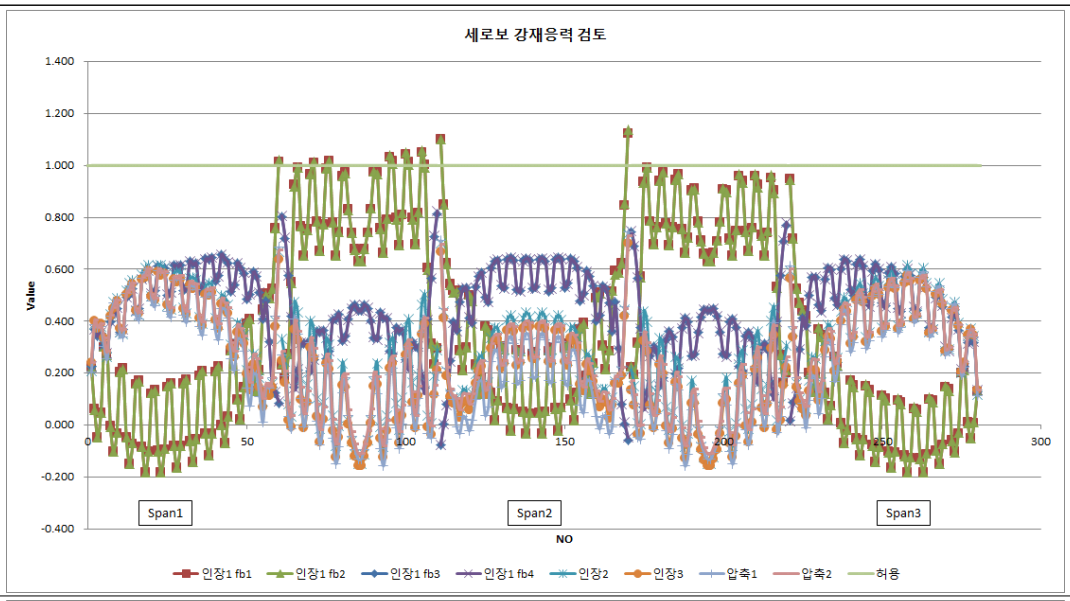
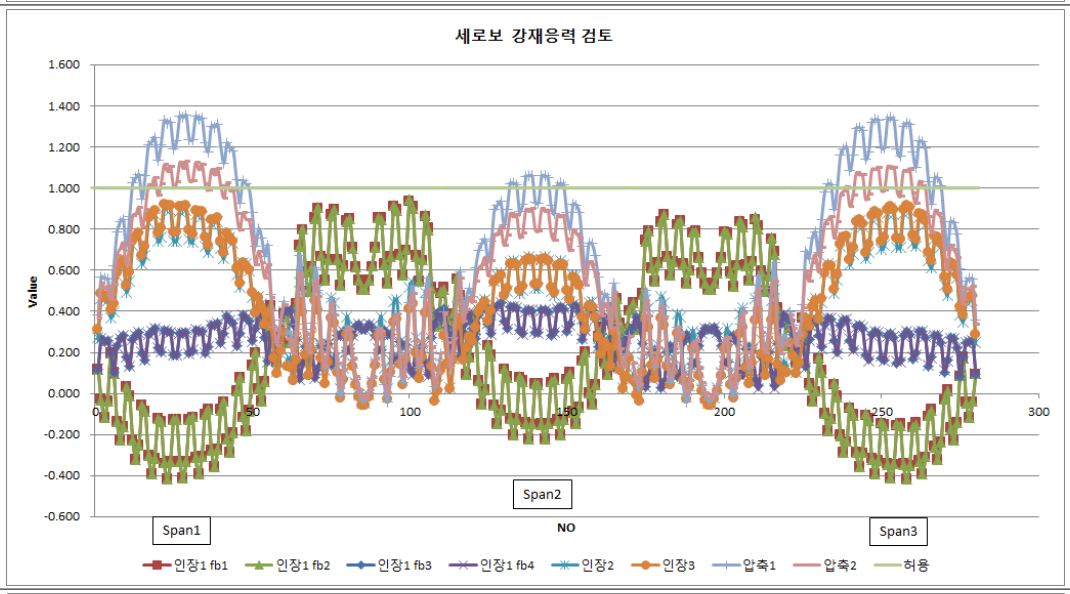
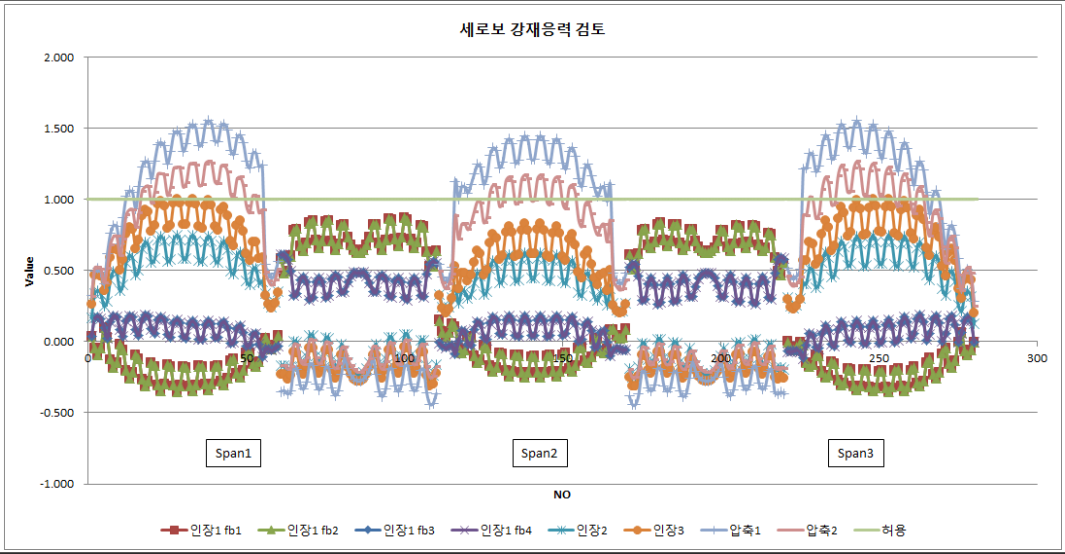
기본 구조	
세로보 위치 변경	
세로보 위치 변경 - 강성가로보 적용 -	

2) 하현재

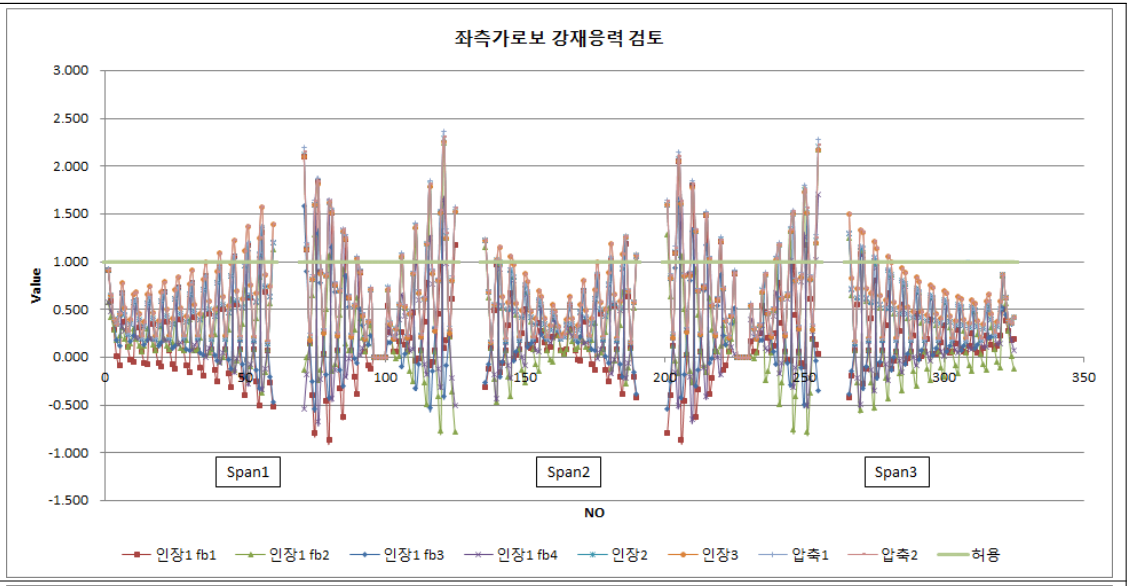
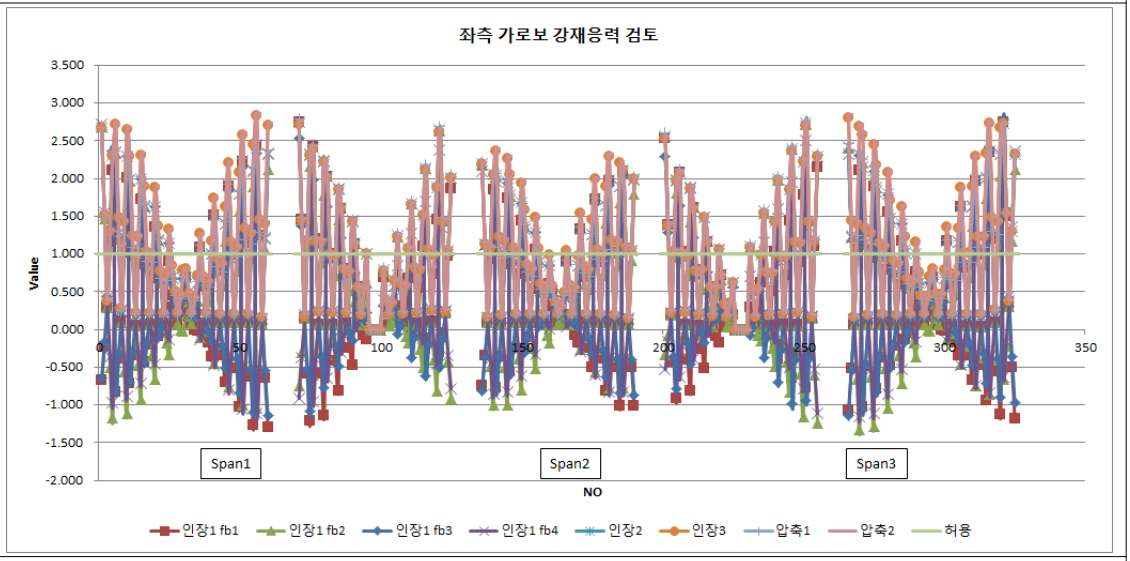
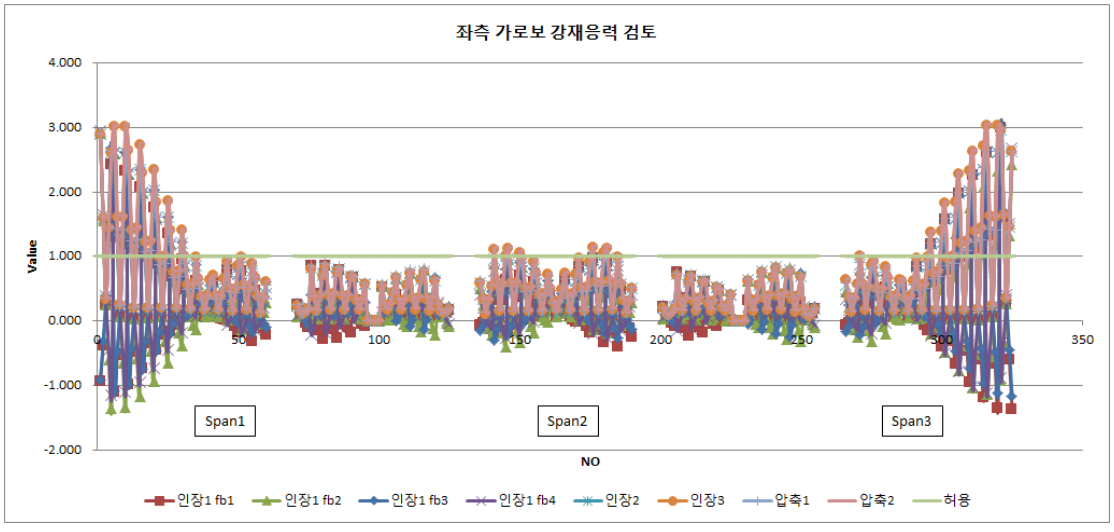
기본 구조	
세로보 위치 변경	
세로보 위치 변경 - 강성가로보 적용 -	

(5) 세로보의 응력

1) 모델에 따른 세로보의 응력의 변화는 크다.

기본 구조	
세로보 위치 변경	
세로보 위치 변경 – 강성가로보 적용 –	

(6) 가로보의 응력

기본 구조	
세로보 위치 변경	
세로보 위치 변경 – 강성가로보 적용 –	

4.4 해석결과분석

(1) 부재력 비교

1) 기존의 방법대로 모델링을 하는 경우 세로보는 축력이 발생하지 않거나 인장력만 발생하지만, 편심효과를 고려하면 모멘트의 방향에 따라 축력의 방향이 바뀐다.

구분	세로보 모델링위치(기존)	세로보 모델링위치(변경)
주거더 박스부	압축력 발생	인장력 발생
박스부 세로보	인장력 발생	압축력 발생
트러스부 세로보	인장력 발생	인장력 발생
트러스부 상현재	인장력 발생	인장력 발생 (값 기존과 유사)
트러스부 하현재	압축력 발생	압축력 발생 (값 기존과 유사)

2) 트러스 구간의 세로보는 현재와 동일한 위치이기 때문에 축방향력 발생이 불가피함

3) 가로보에서는 세로보의 축력 및 축력의 변화에 따라 면외방향 모멘트가 발생함

(2) 응력비교

1) 메인거더인 강상자 거더와 트러스의 현재 및 사재들의 응력변화는 크지 않음

2) 세로보의 축력에 따라 세로보는 보강이 필요한 것으로 나타남

3) 가로보에는 면외방향력이 발생하게 되어, 면외방향력을 줄이는 방법 혹은 가로보의 면외강성을 키울 수 있는 방법이 필요함

(3) 결과요약

1) 세로보의 편심효과가 부재의 응력에 미치는 영향

부재	영향정도	비고 (기본 구조에 비해)
거더 박스부	미미	
거더 트러스부 상현재	미미	
거더 트러스부 하현재	다소 있음	시·종점부 응력 큼 내측부 응력 작음
세로보	큼	박스부 응력 큼 트러스부 응력 작음
가로보	큼	발생응력 큼

2) 가로보에 발생하는 면외방향 단면력에 대한 대책이 필요.

4.5 강성가로보의 적용

(1) 강성가로보 개요

1) 세로보의 축력 변화에 의해 가로보에 발생하는 면외력을 해소하는 방법으로 가로보가 설치되는 적절한 위치에 강성가로보를 사용하여 세로보 내의 축력변화가 크지 않도록 제어하는 것

2) 강성가로보는 세로보의 축력변화가 가로보의 면외방향 변형을 유발하지 않도록 축력변화의 위치를 고정하는 것으로, 면외방향의 강성을 증대시킨 가로보를 의미

3) 강성가로보의 면외방향 강성은 가로보의 주(강축)강성보다 클 수도 있고, 가로보의 면외력을 제어할 수 있을 정도의 강성을 적용하여야 함.

4) 이러한 강성가로보를 적절한 위치에 설치하면 모든 가로보를 상자형으로 설치하지 않고도 경제적으로 가로보 면외방향력을 제어할 수 있다.



<강성가로보 개요도>

(2) 강성가로보에 따른 교량거동

1) 교량에 강성가로보를 적용하게 되면 세로보 축력의 변화폭을 줄여주지만, 세로보 부재의 축력의 크기는 강성가로보를 적용하지 않았을 경우에 비해 크게 증가

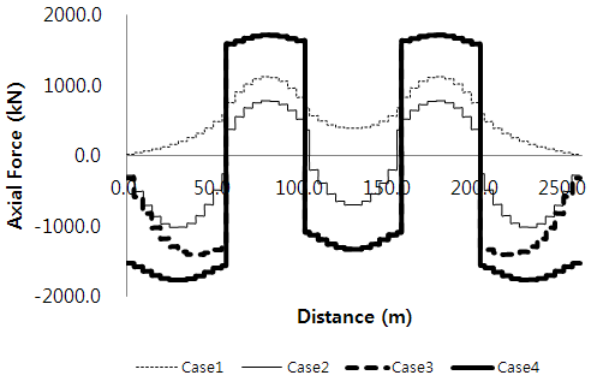
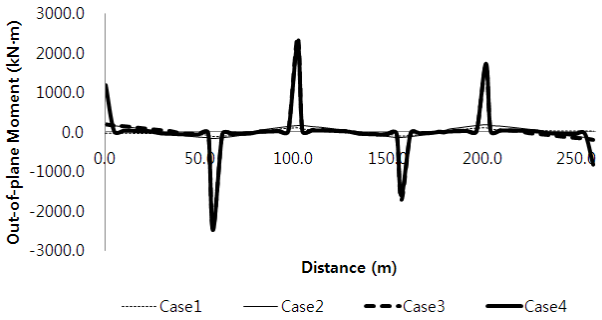


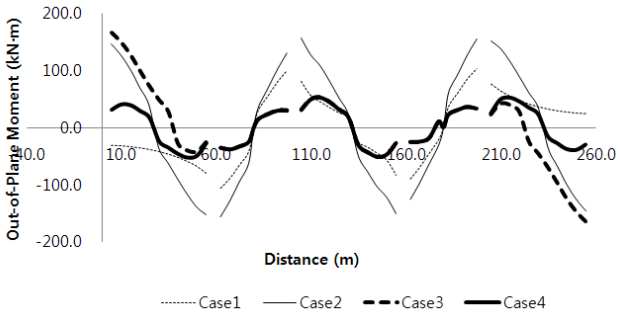
Fig.14. Axial Force of Stringer (Hybrid Bridge)

2) case1은 격자 해석을 위한 모델링시 강상자 구간의 세로보 도심을 고려하지 않은 경우를, case2는 강상자 구간의 세로보 도심을 고려한 경우를, case3은 case2에서 중첩구

간에 강성가로보를 적용한 경우를, case4는 case3에서 단부지점에 강성가로보를 적용한 경우를 나타내며, 축력값은 모든 하중을 고려한 합력의 절대치의 최대값이다.



(a) Including Strong Cross Beam

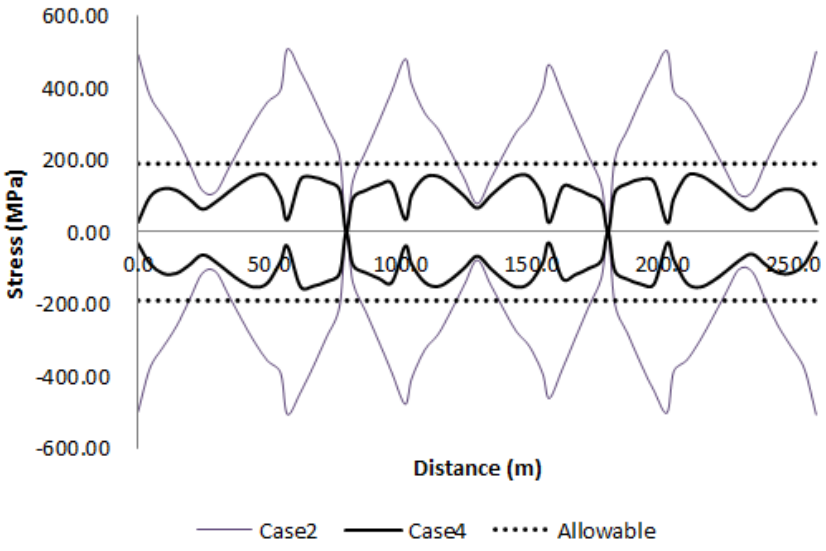


b) Excluding Strong Cross Beam

<강성가로보 적용에 따른 면외력>

3) 강성가로보를 사용하게 되면 사용전보다 세로보의 축력이 증가하므로 응력도 증가.

4) 가로보의 응력은 사용전보다 감소



<강성가로보 적용에 따른 가로보의 응력>

(3) 검토결과

1) 강상자 거더교에서 세로보의 도심을 고려하여 모델링할 경우, 설계실무에서 고려하고 있지 않은 주거더와 세로보에 축력이 발생하며, 세로보의 축력 변화폭에 의해 가로보에는 면외방향 단면력이 발생된다. 따라서 세로보를 적용하는 경우, 가로보에 대한 안전성 검토가 필요

2) 하이브리드 교량구조에서는 트러스 구간의 세로보가 현재의 역할을 하게 되므로 지점부 세로보의 도심위치를 반드시 고려하여야 하며, 이 때 강상자 구간의 세로보의 도심을 고려하지 않을 경우, 실구조와 반대방향으로 축력이 발생하므로 세로보의 도심변화를 고려하여야 함.

3) 세로보의 도심변화를 고려하는 경우 세로보에 발생하는 축력과 축력의 변화가 가로보의 면외방향 단면력을 유발하여, 가로보의 면외방향 단면력은 면외방향으로 약한 가로보를 사용하는 경우 허용응력을 초과하는 문제가 발생할 수 있음

4) 강성가로보를 이용하여 세로보의 축력을 전달하도록 하면 가로보의 면외방향력의 크기를 감소시킬 수 있고, 강성가로보의 면외강성은 세로보의 강축 단면2차모멘트의 약 3~4배 이상의 강성을 적용하는 것이 합리적임

5) 강성가로보의 과도한 면외방향 강성은 세로보 및 주거더의 축력을 증가시키고, 강성가로보의 과소한 면외방향 강성은 가로보 면외방향 단면력을 기대치만큼 감소시키지 못하므로 이 두 가지 사항을 고려하여 강성가로보를 선정하여야함

5. 곡선교 해석

5.1 해석방법

(1) 곡선반경 R외의 모든 조건들에 대하여 동일하게 적용하여 직선교, 곡선교를 설계

(2) 곡선반경 R에 의한 부재길이 이외의 모든 조건은 동일

(3) 교량해석 프로그램은 Sap2000을 사용

(4) 설계조건

1) 적용 폭원 및 경간 구성 : B=10.5m, L=200m(2@100m), Le=99.350+ 99.350

2) 곡선교 적용 : 교량 선형중심을 기준으로 반경 R=300m 적용

3) 적용 강종 : HSB600 / SM400B

4) 콘크리트 설계강도 : fck=27MPa

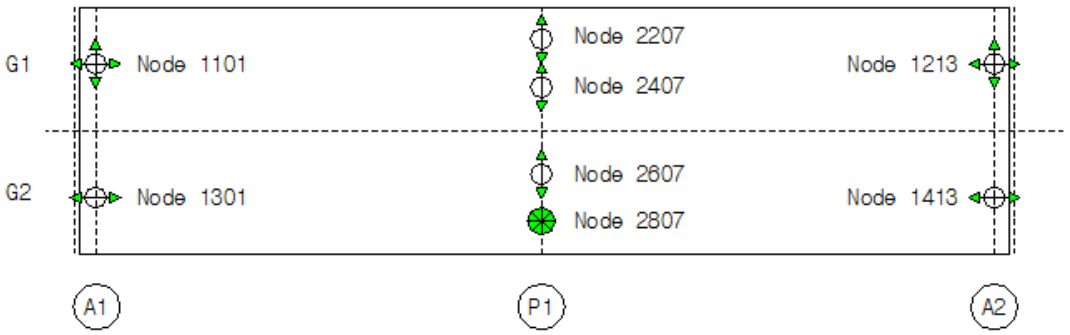
5) 적용형고 : 정모멘트부(박스부) 3.0m, 부모멘트부(지점부) 6.0m

6) 박스 및 트러스 길이 구성 : 67.350 + 64.000 + 67.350 = 198.700m

7) 트러스 격점 사이의 간격 : 6.000m

5.2 해석결과

(1) 반력결과

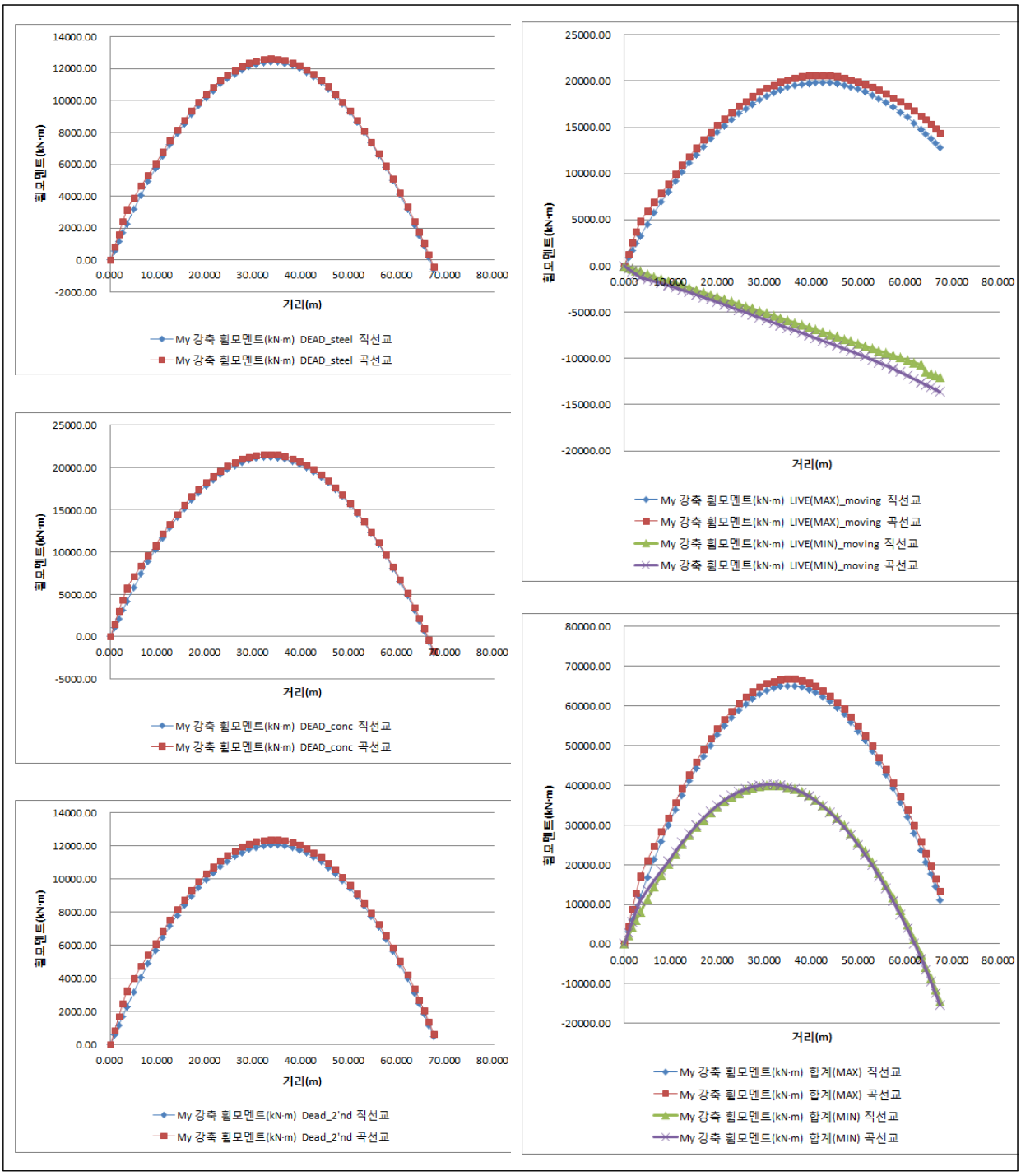


구분			반력 MAX			반력 MIN		
거더		Node	직선교	곡선교	직선-곡선	직선교	곡선교	직선-곡선
A1	G1	1101	4,077	6,267	-2,190	2,381	3,511	-1,130
	G2	1301	4,077	2,184	1,893	2,381	392	1,989
P1	G1	2207	**7,649**	4,868	2,781	**6,024**	3,483	2,541
		2407	7,293	7,756	-463	5,911	6,286	-375
	G2	2607	7,293	6,843	450	5,911	5,544	367
		2807	**7,650**	**10,531**	-2,881	**6,024**	**8,501**	-2,477
A2	G1	1213	4,077	6,267	-2,190	2,381	3,511	-1,130
	G2	1413	4,077	2,184	1,893	2,381	392	1,989
합계			46,193	46,900	-707	33,394	31,620	1,773

(2) 부재력비교

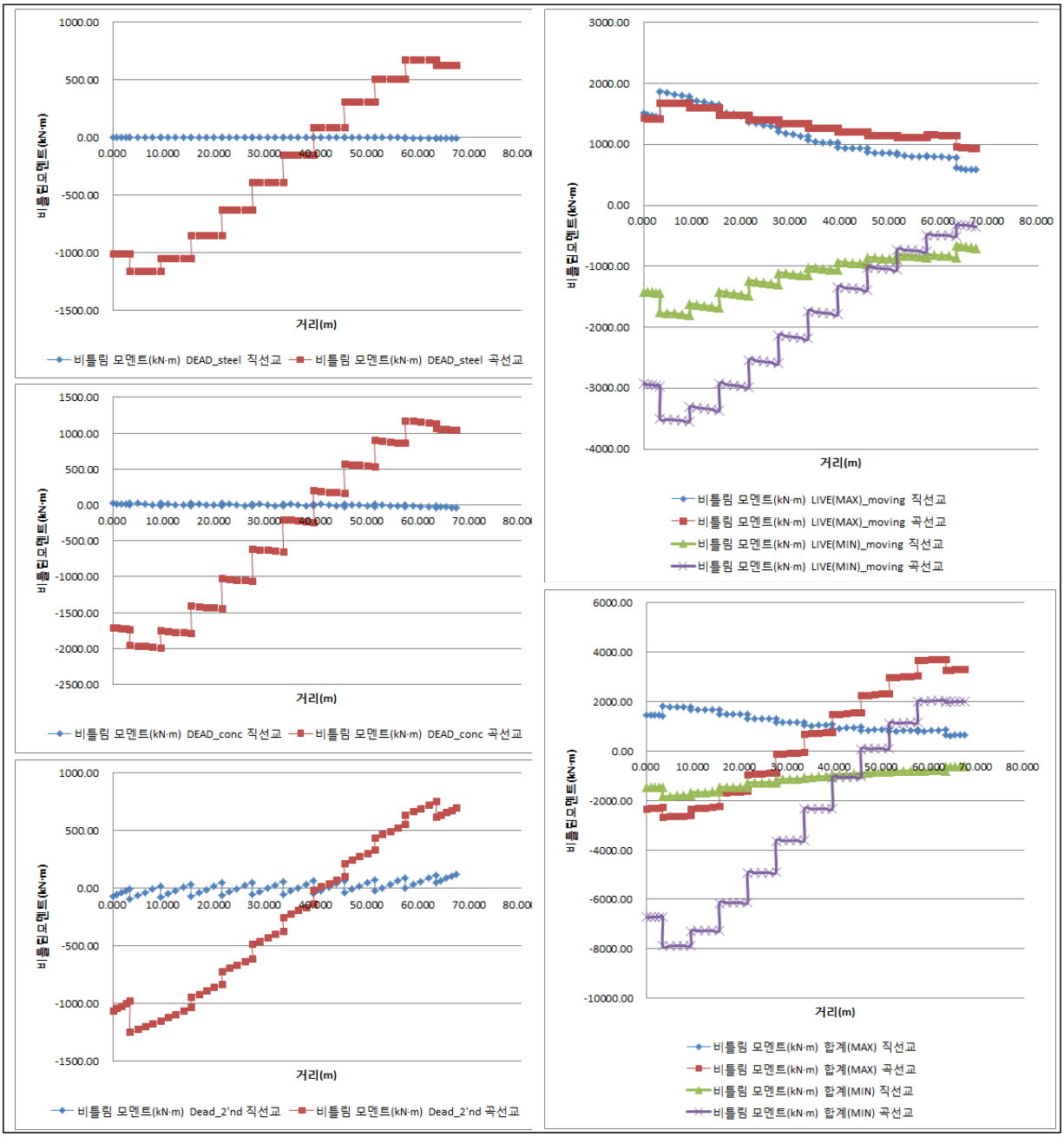
1) 박스부 휨모멘트

- 박스부의 모멘트에서는 큰 차이가 발생하지 않음

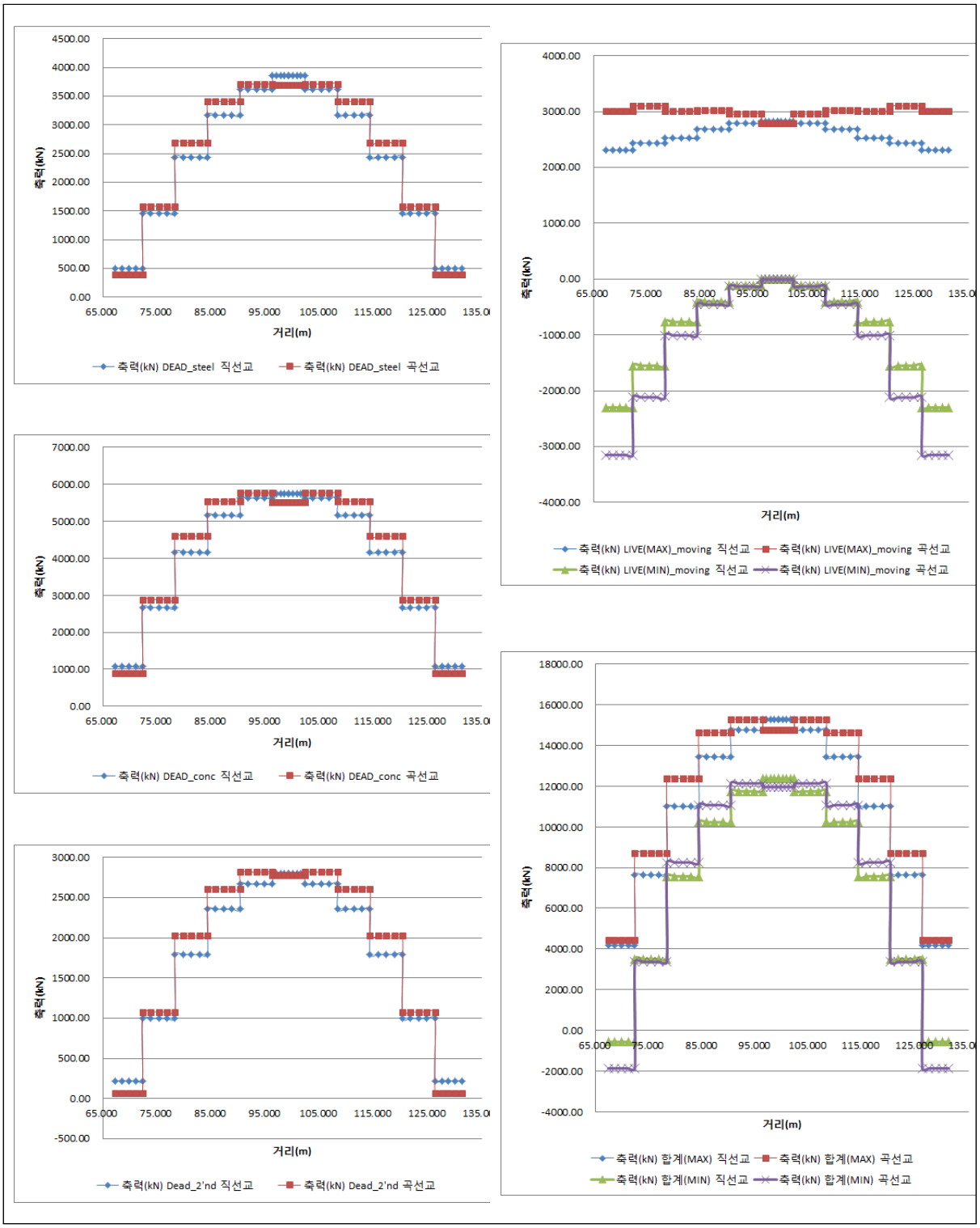


2) 박스부 비틀림 모멘트

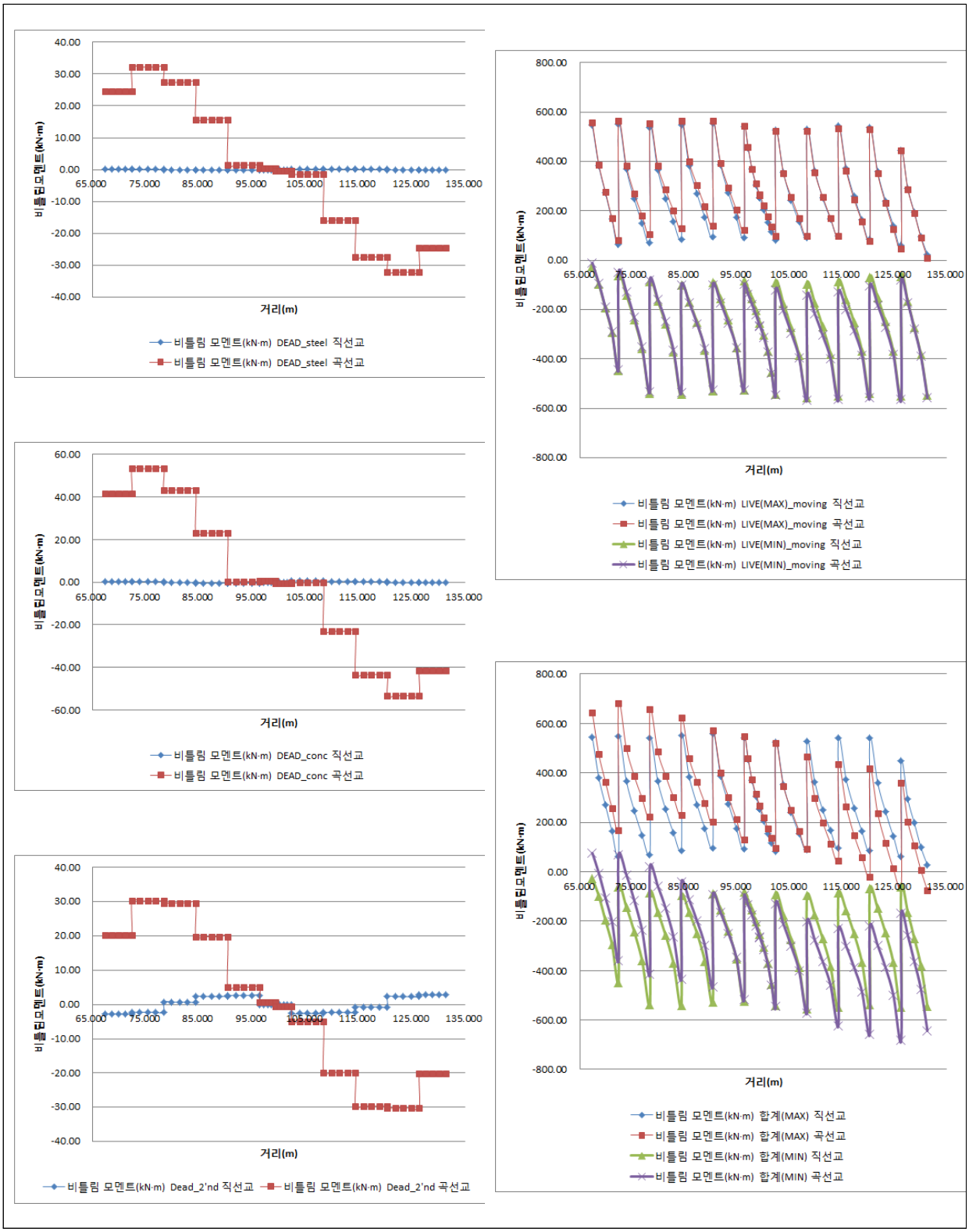
- 비틀림 모멘트에서는 차이가 발생



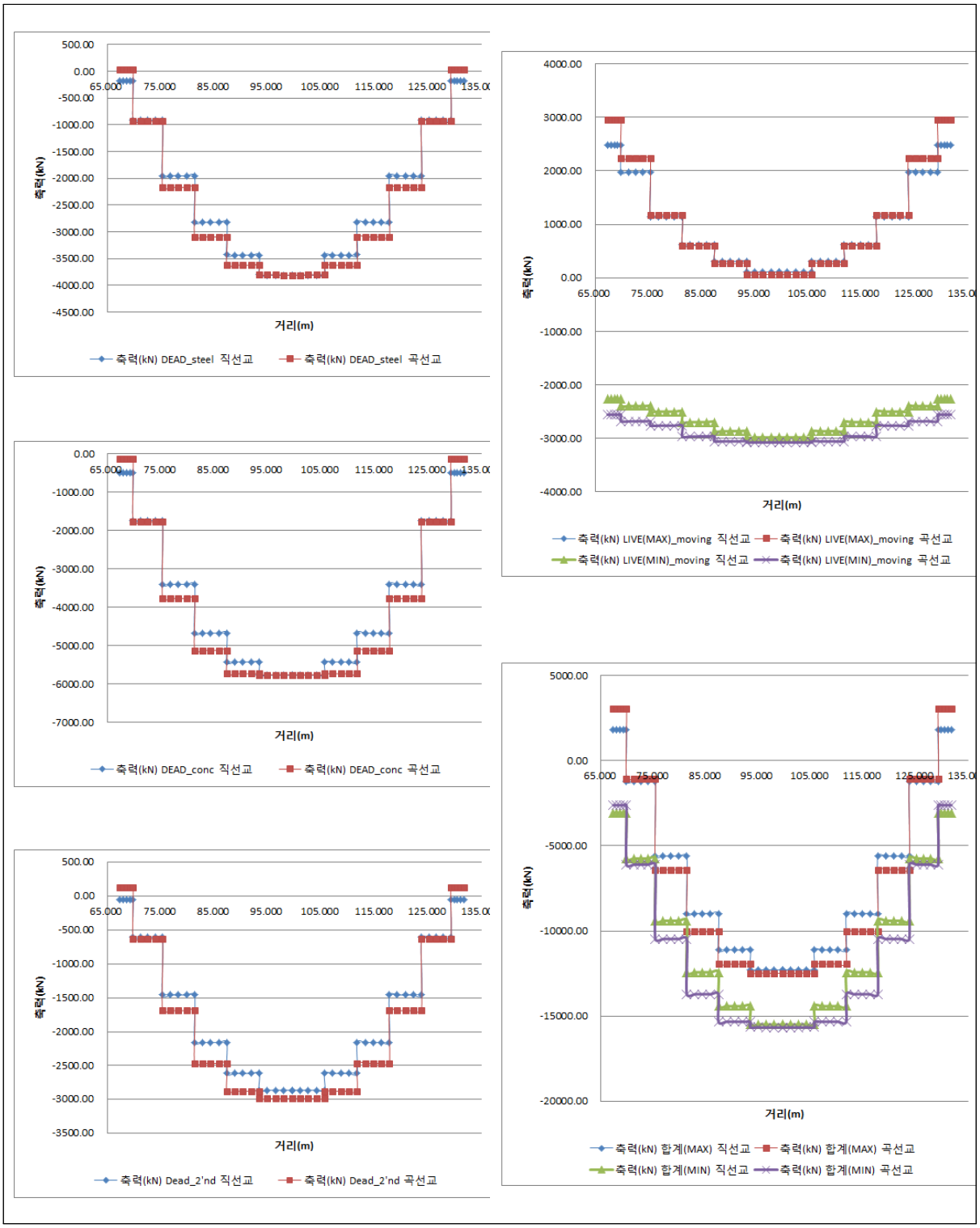
3) 트러스 상현재 축력(외측)



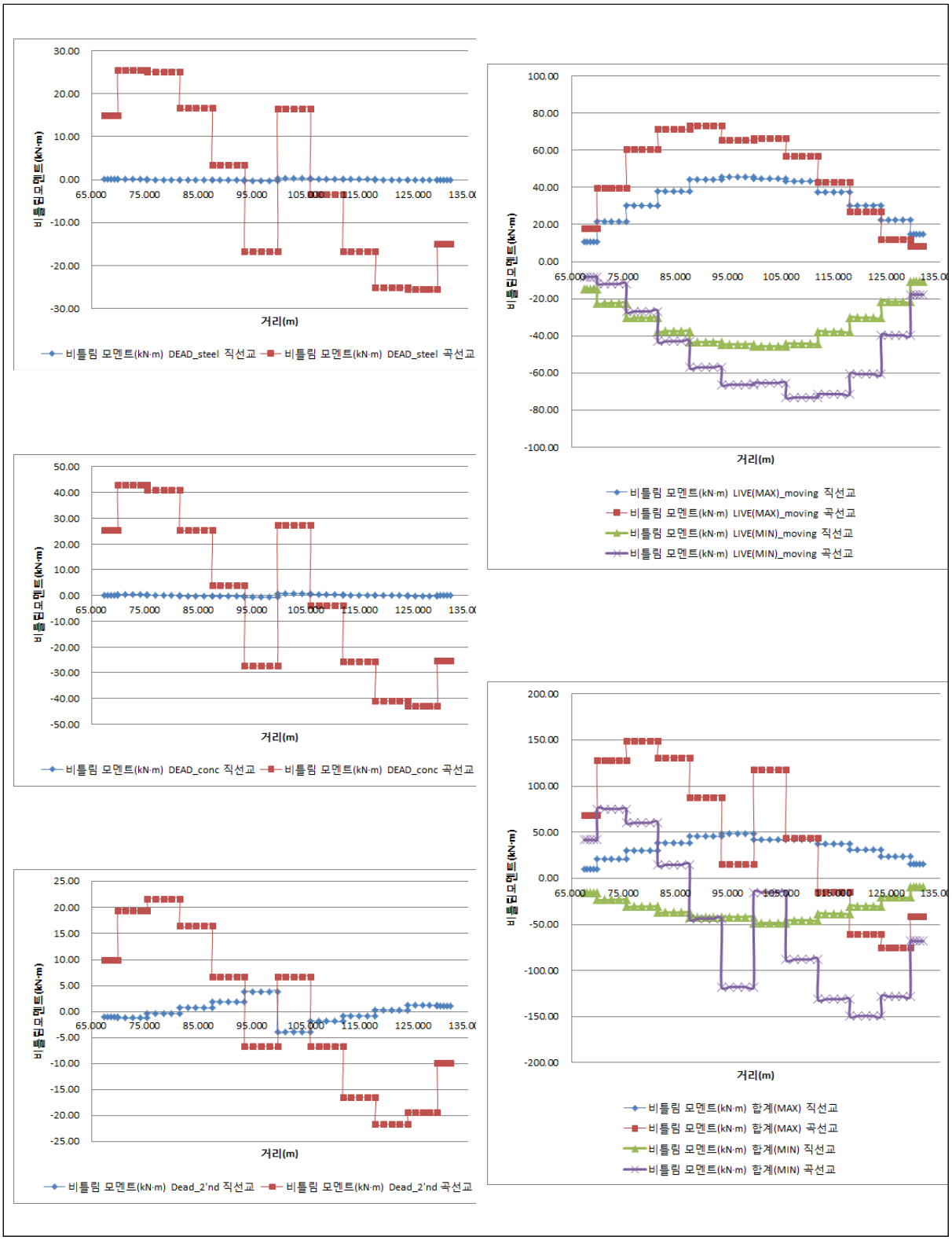
4) 트러스 상현재 비틀림모멘트(외측)



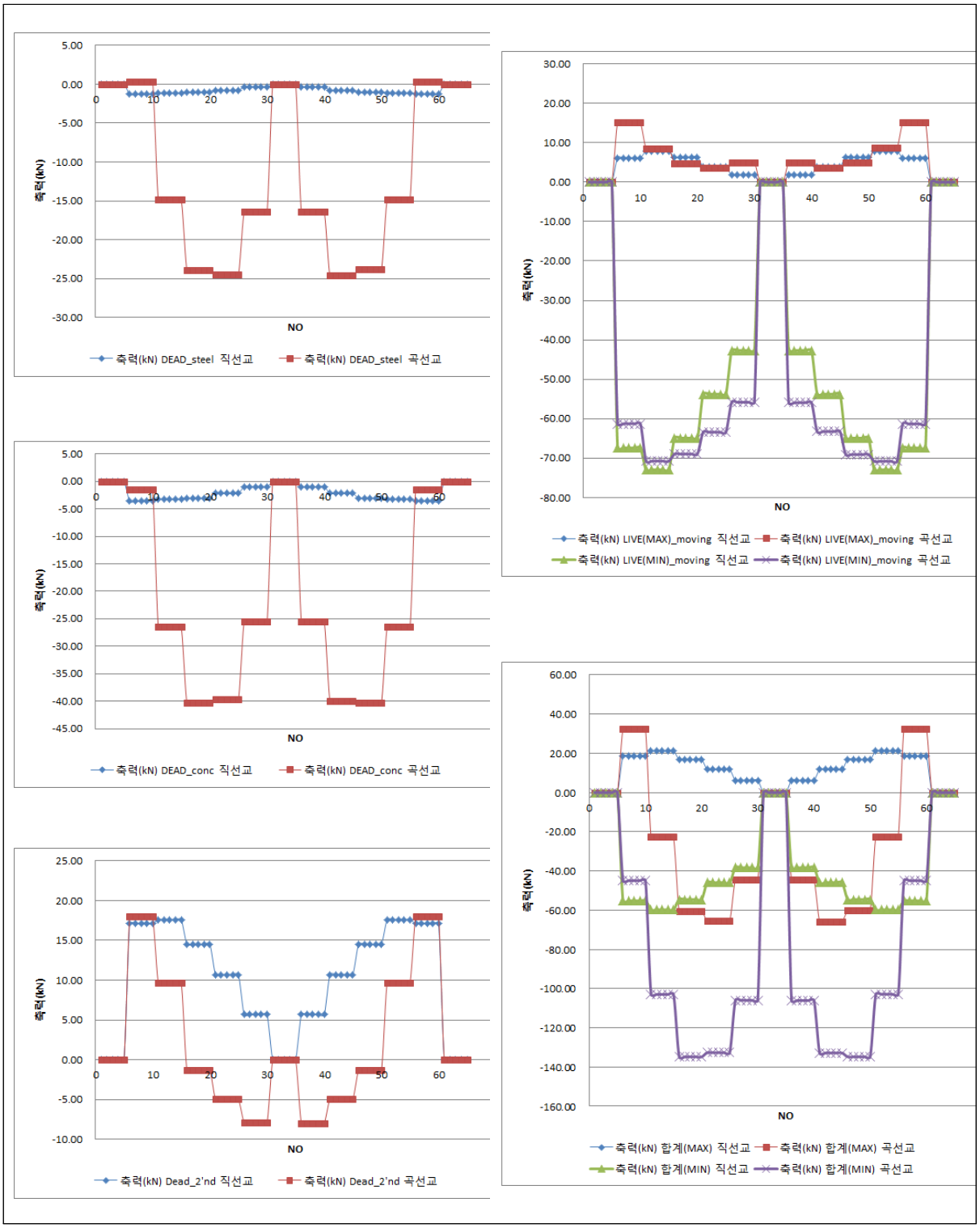
5) 트러스 하현재 축력(외측)



5) 트러스 하현재 비틀림모멘트(외측)

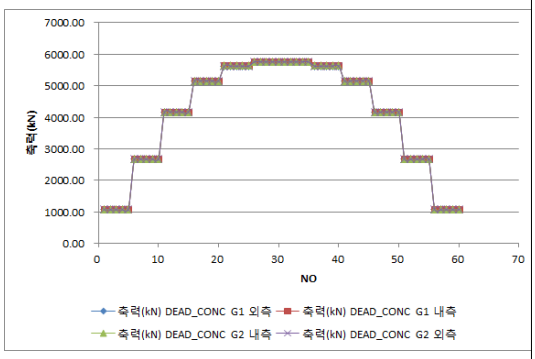
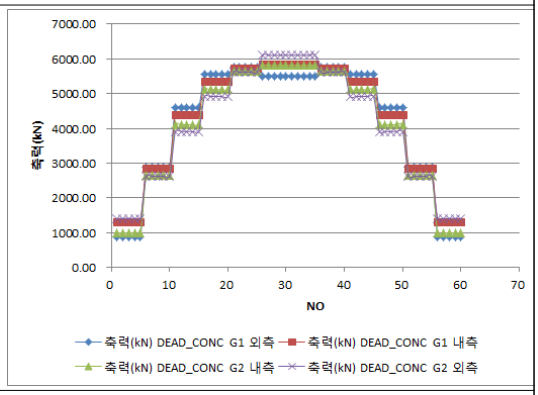
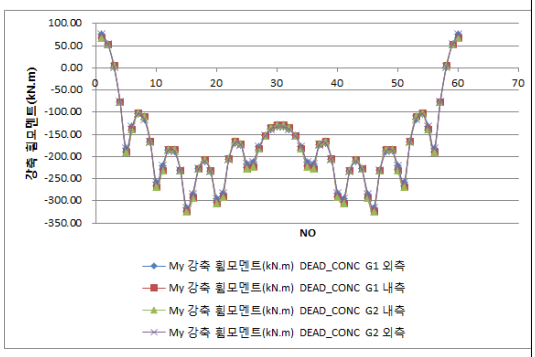
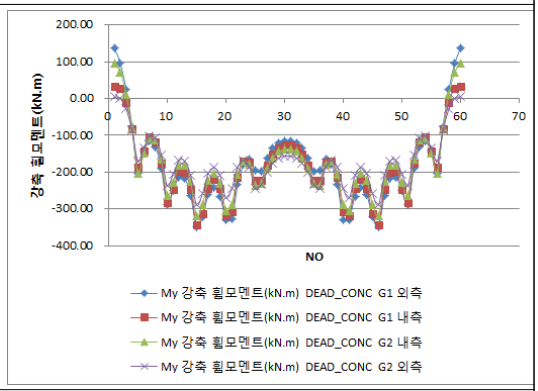
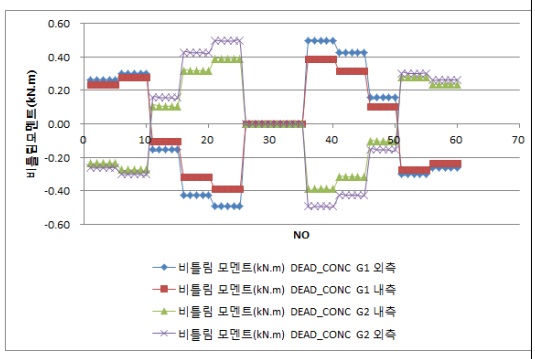
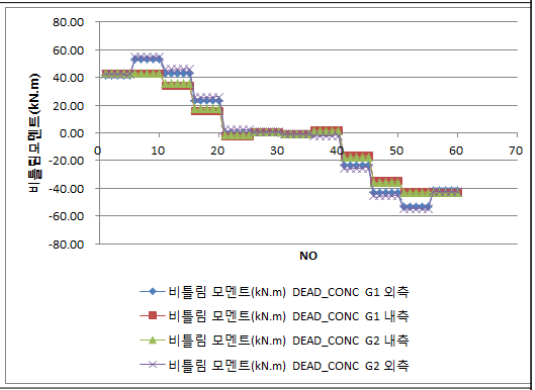
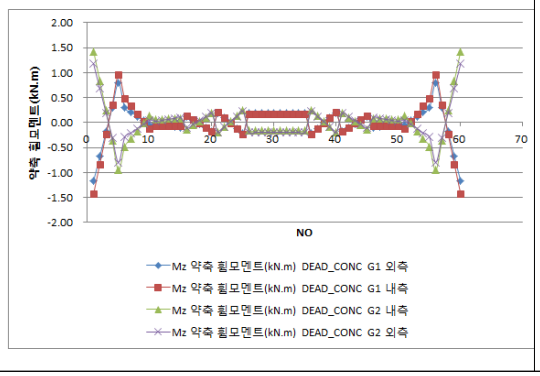
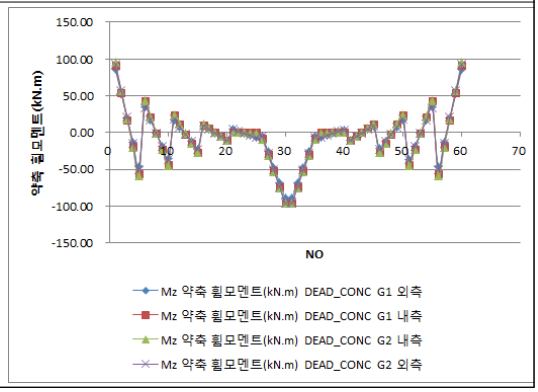


6) 트러스 가로보 축력(상현가로보)

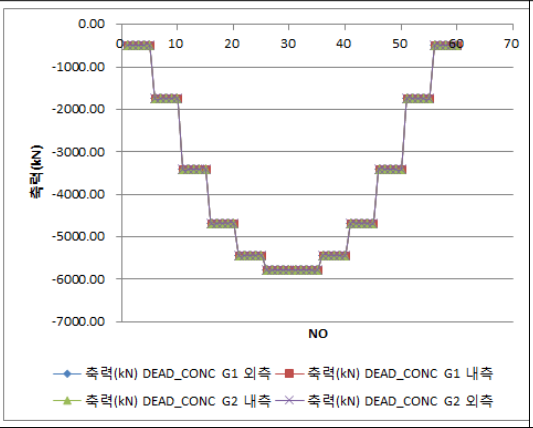
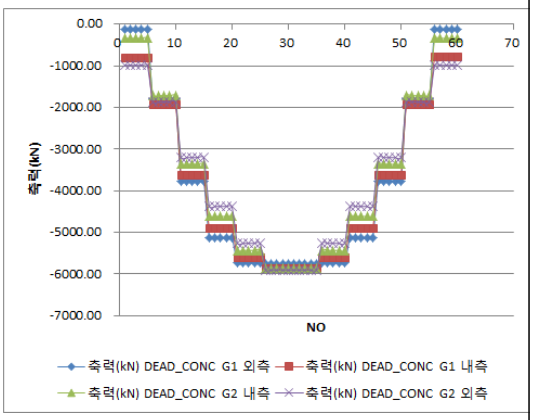
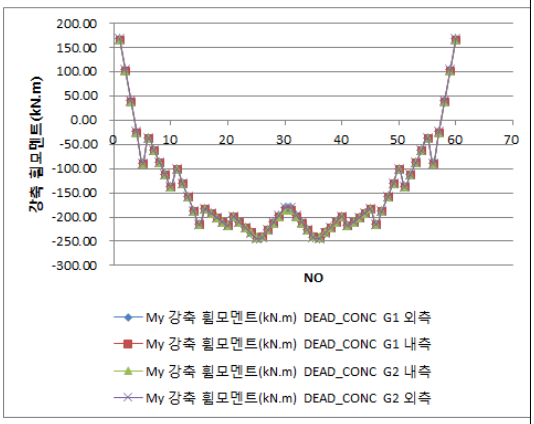
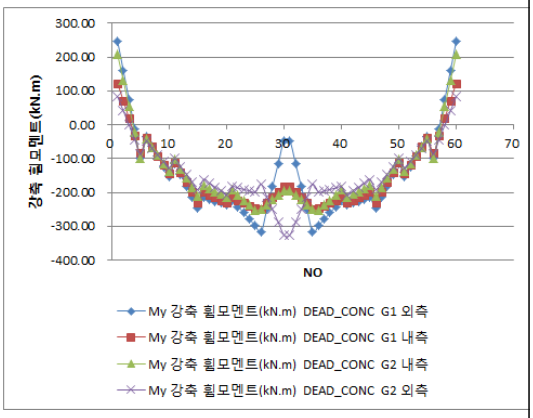
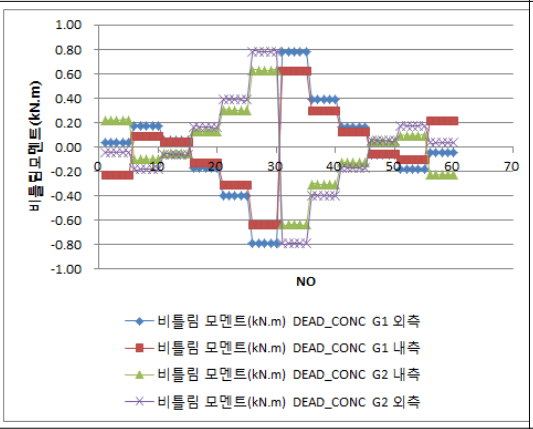
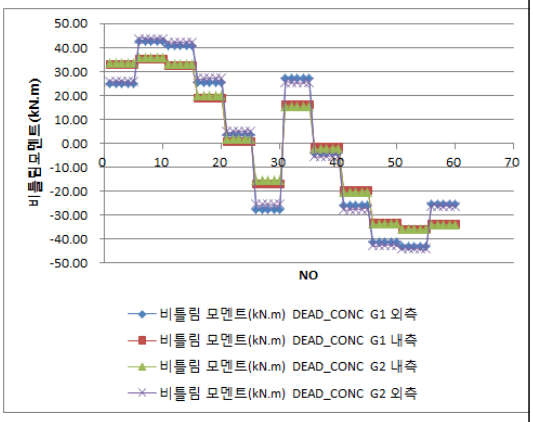
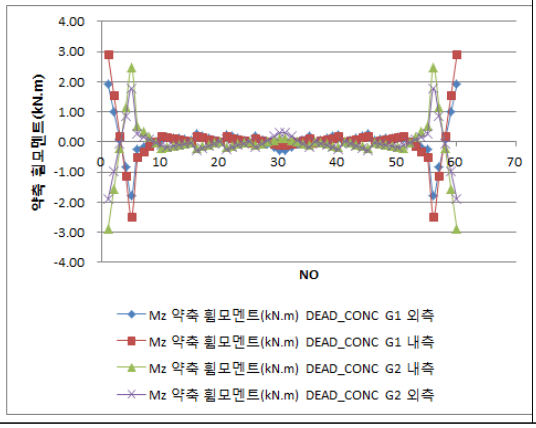
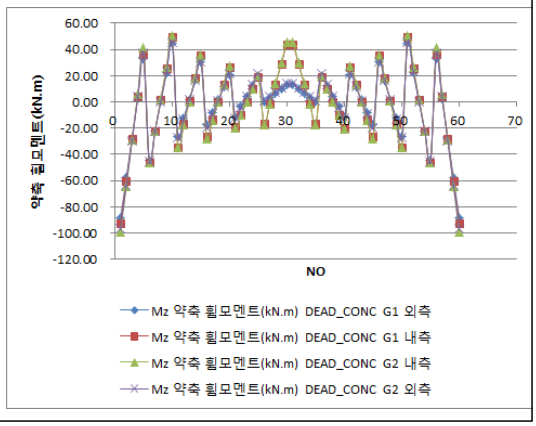


7) 트러스 부재력 비교(직선교 vs 곡선교)-합성전 고정하중

- 상현재

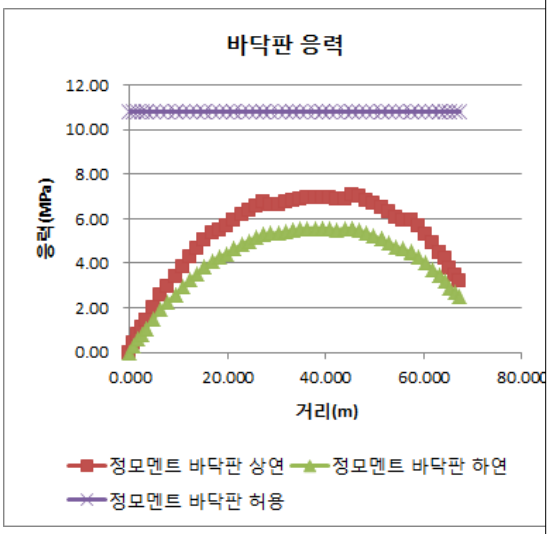
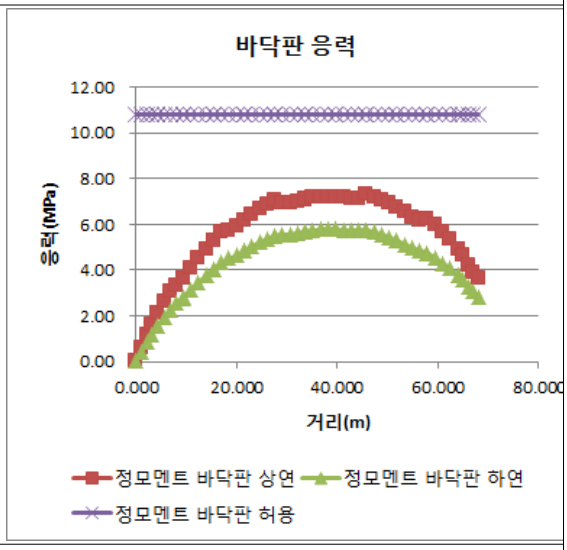
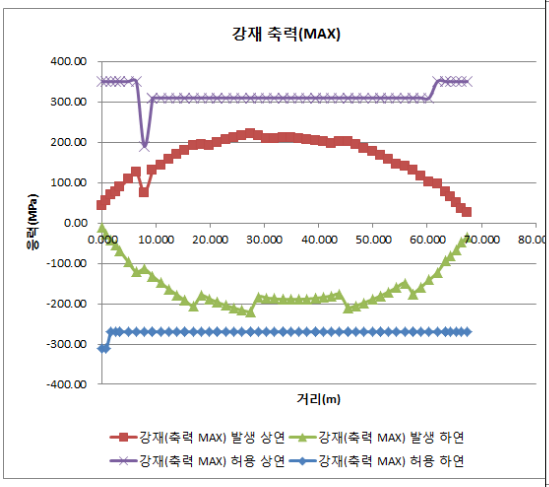
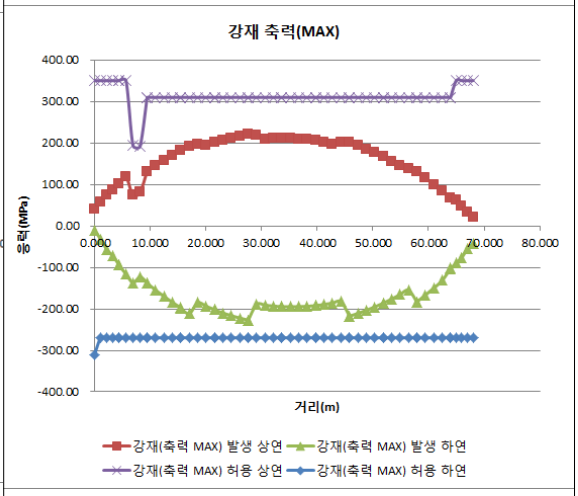
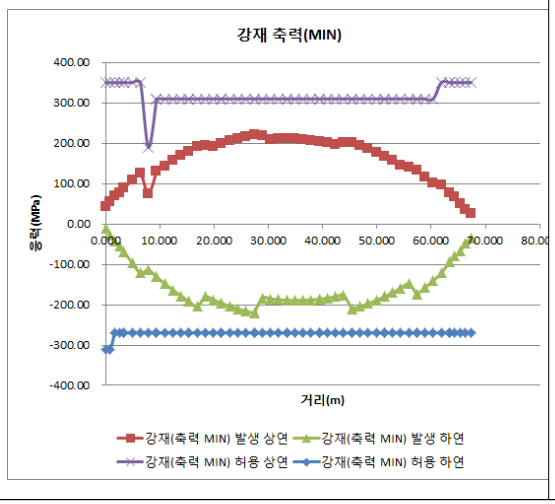
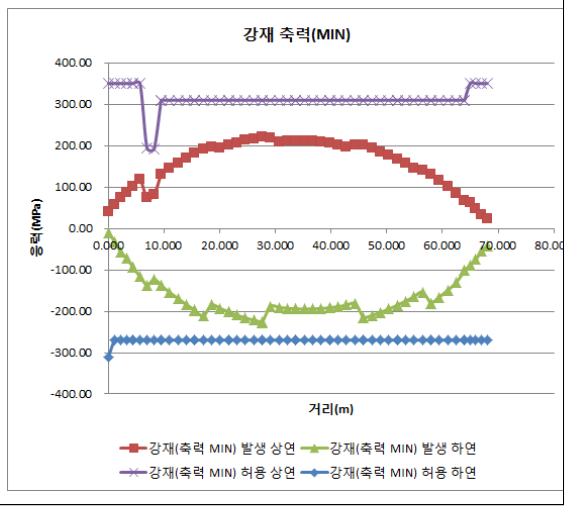
구분	직선교	곡선교
축력 (kN)		
강축 휨모멘트 (kN·m)		
비틀림 모멘트 (kN·m)		
약축 휨모멘트 (kN·m)		

- 하현재

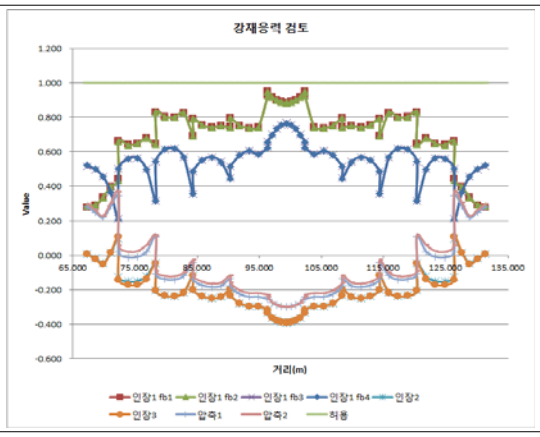
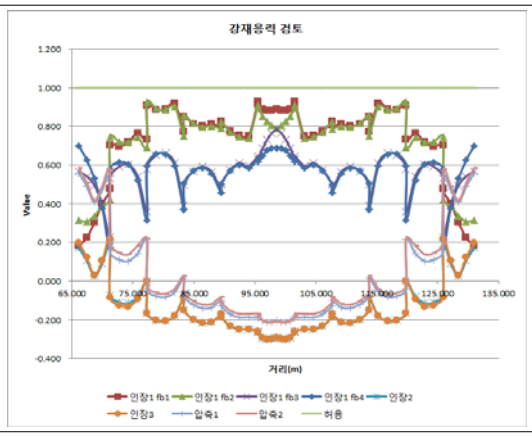
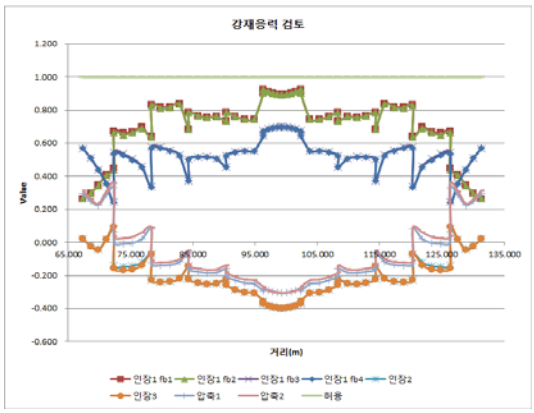
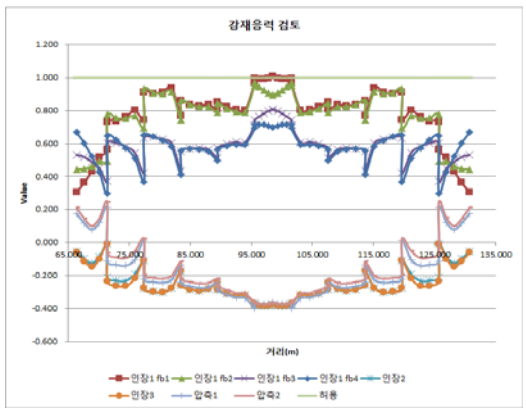
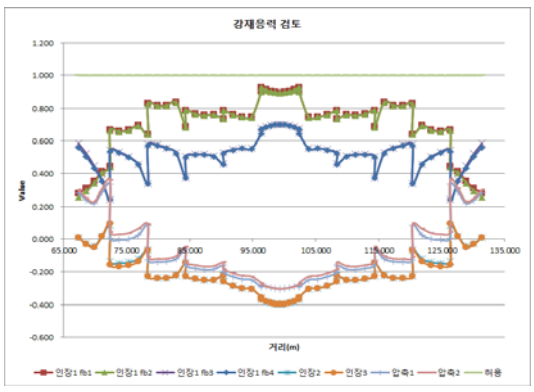
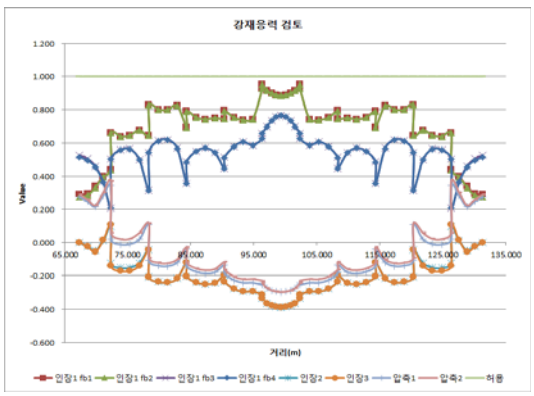
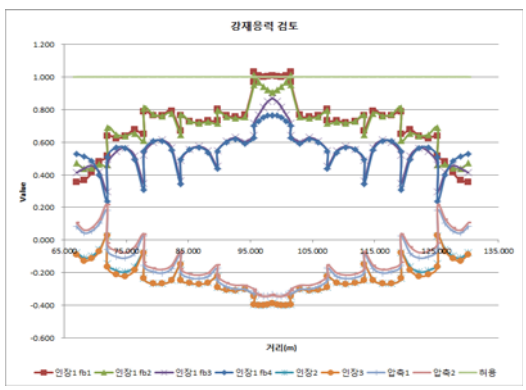
구분	직선교	곡선교
축력 (kN)		
강축 휨모멘트 (kN·m)		
비틀림 모멘트 (kN·m)		
약축 휨모멘트 (kN·m)		

(3) 응력비교

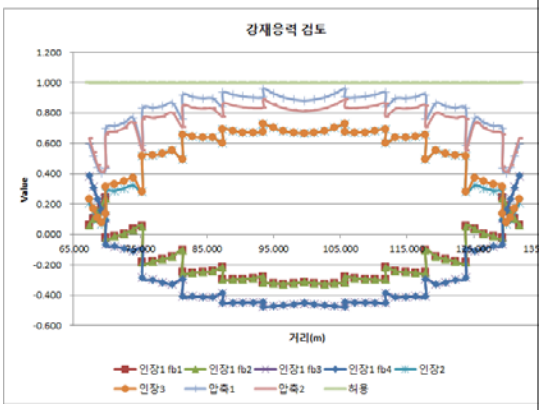
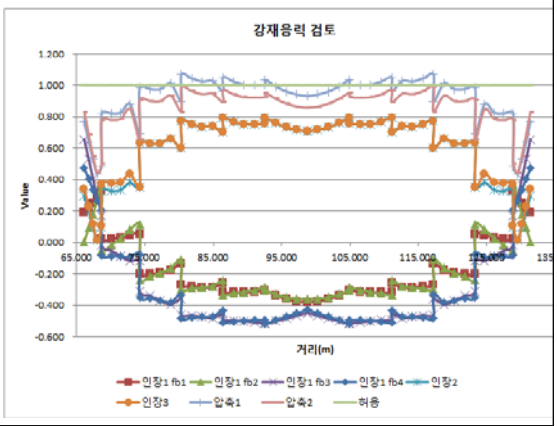
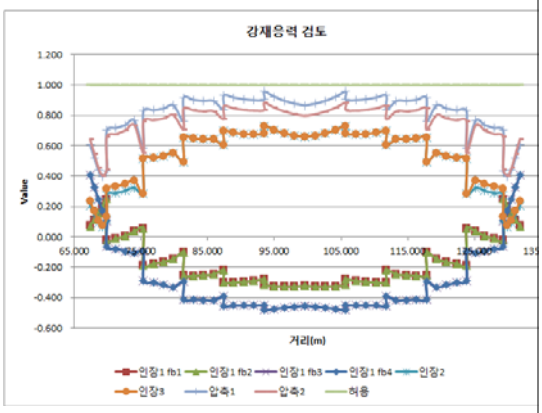
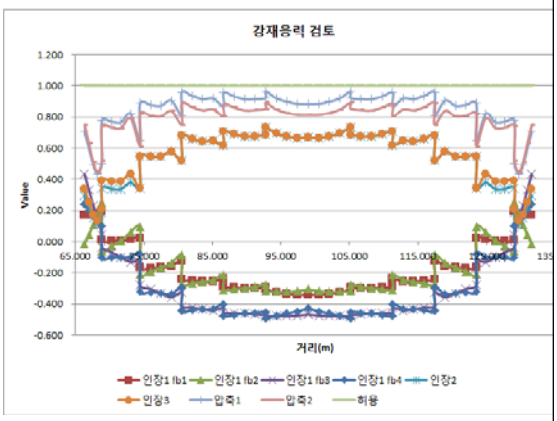
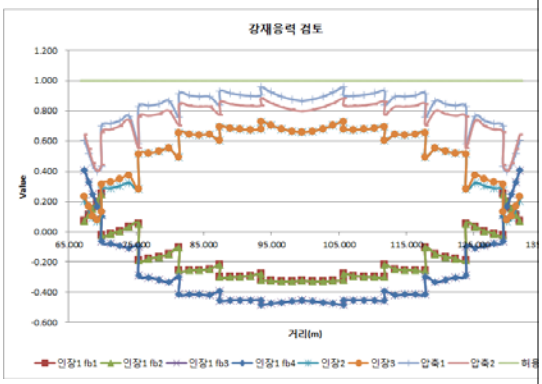
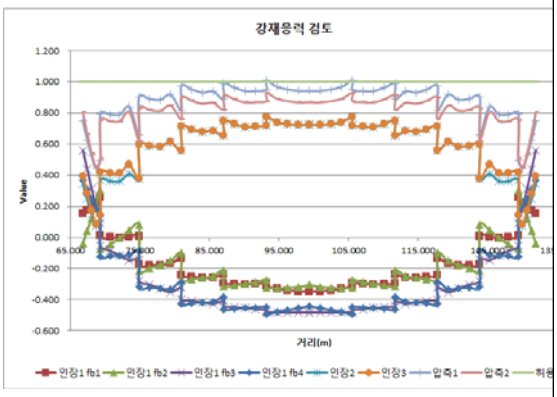
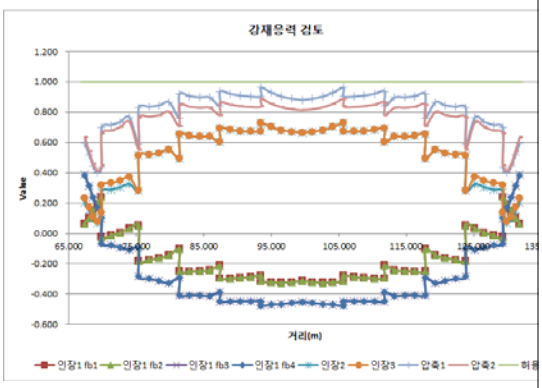
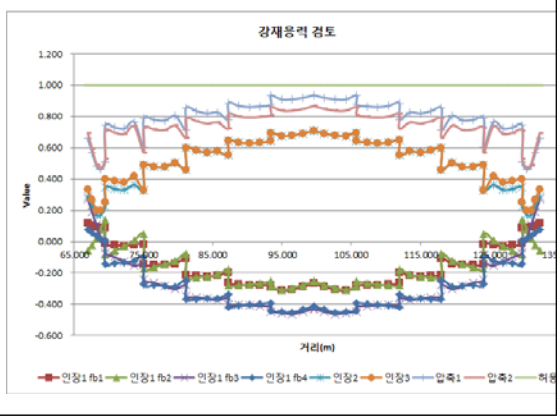
1) 박스부

구분	직선교	곡선교
바닥판 응력		
강재 축력 MAX (인장Max)		
강재 축력 MIN (압축Max)		

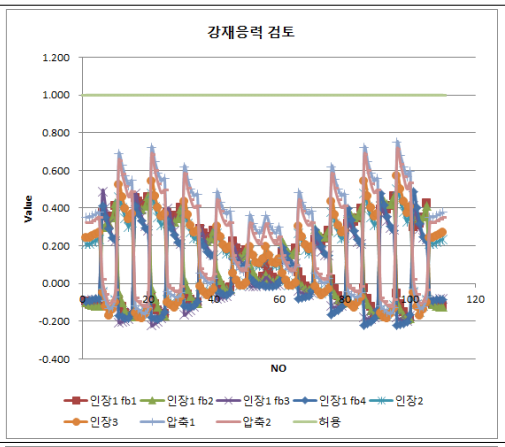
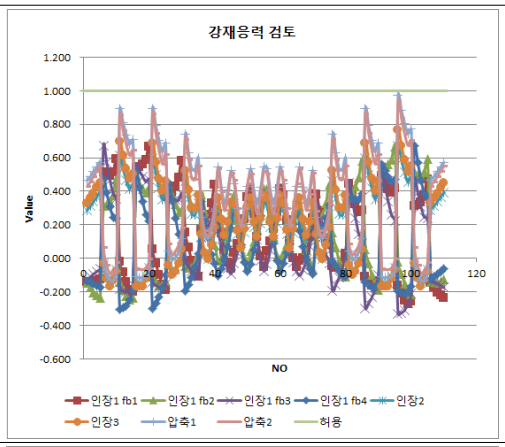
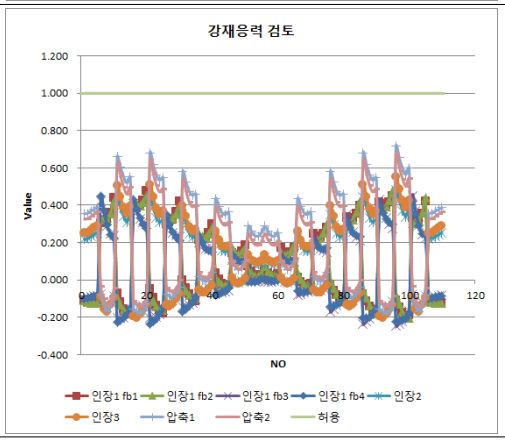
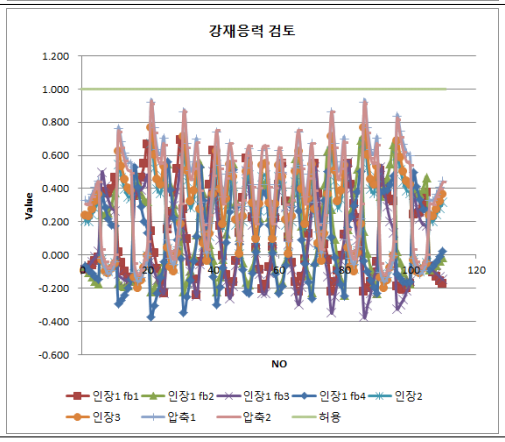
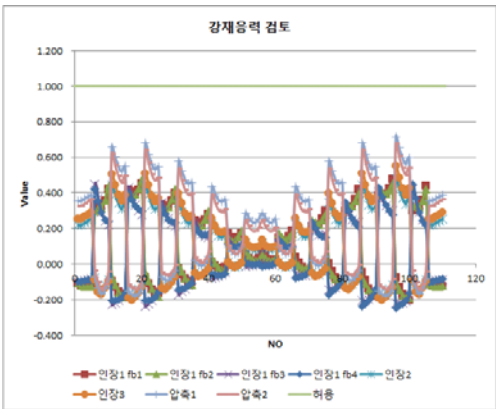
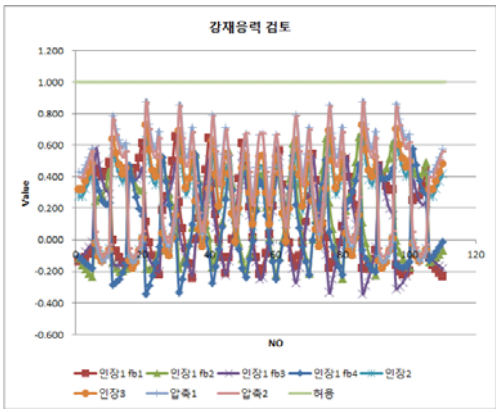
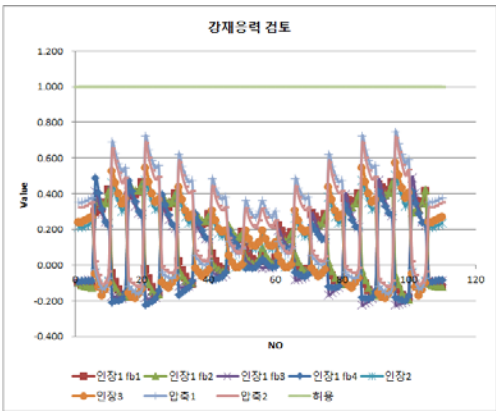
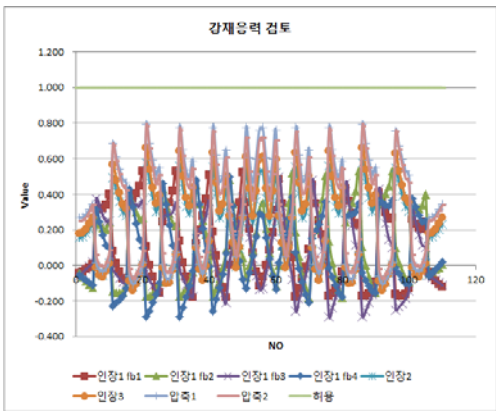
2) 트러스부 상현재

구분	직선교	곡선교
G1 외측		
G1 내측		
G2 내측		
G2 외측		

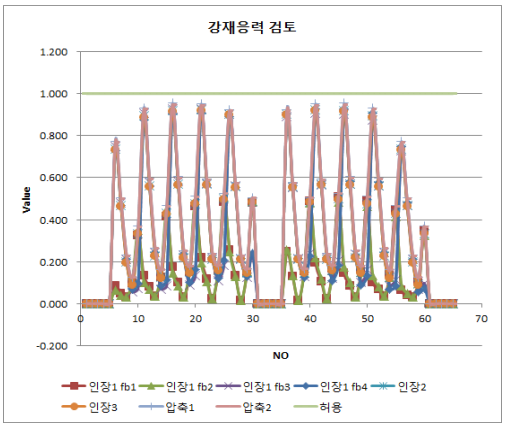
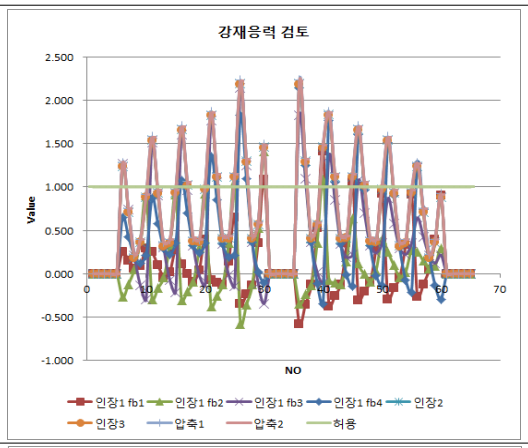
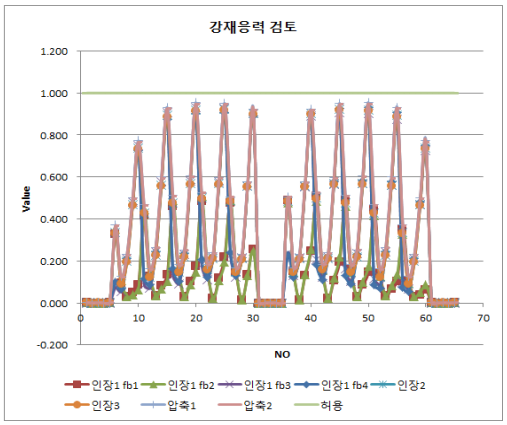
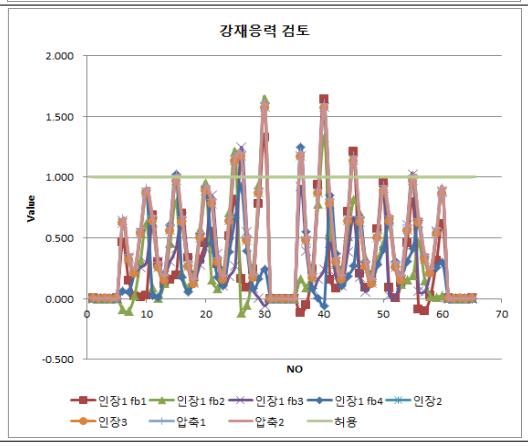
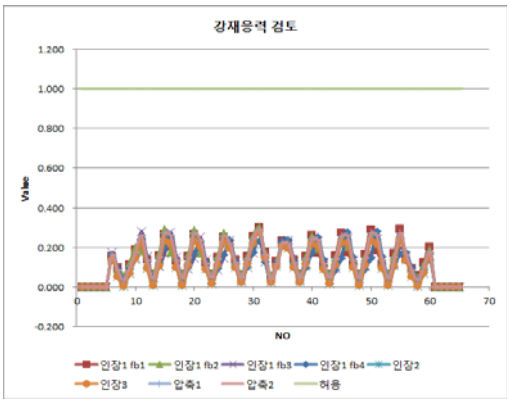
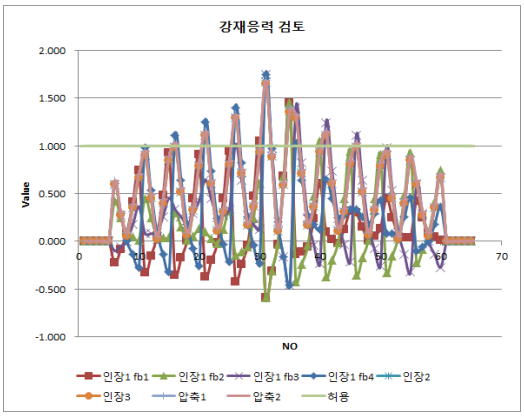
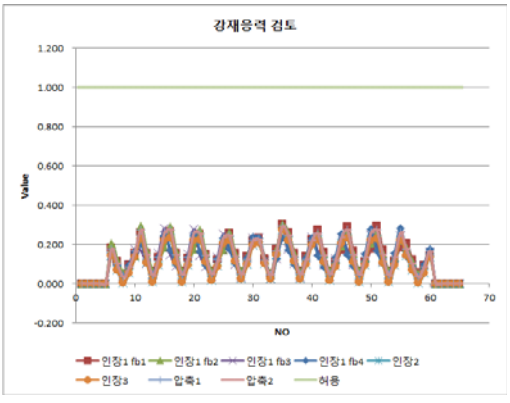
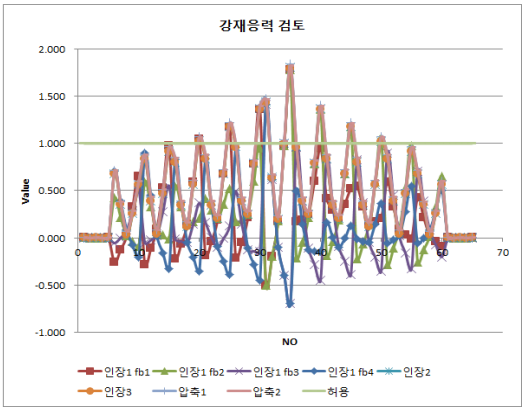
3) 트러스부 하현재

구분	직선교	곡선교
G1 외측		
G1 내측		
G2 내측		
G2 외측		

4) 트러스부 사재

구분	직선교	곡선교
G1 외측		
G1 내측		
G2 내측		
G2 외측		

5) 가로보

구분	직선교	곡선교
G1 상현		
G2 상현		
G1 하현		
G2 하현		

5.3 해석결과분석

(1) 반력분석

1) 폭원에 따라 다소 차이는 있겠지만, L=2@100m의 경우 곡선교 R=300m 적용시 교량 양단지점에 직접적인 부반력이 발생하지는 않음

2) 그러나 활하중에 의한 부반력을 2배로 검토하도록 된 설계기준에 의하면, 부반력에 대한 제어대책이 필요

(2) 박스부

1) 박스부 단면력은 G1거더의 경우 곡선교(R=300m)가 직선교에 비하여 부재의 휨모멘트가 크게 발생하였으나, G2거더의 경우 반대로 직선교의 부재 휨모멘트가 곡선교에 비하여 크게 발생하지만, 큰 차이를 나타내지는 않음

2) 직선교에서는 작던 비틀림 모멘트가 상대적으로 크게 발생

3) 그러나 응력분석 결과는 기존의 설계에 대한 것도 모두 만족함.

(3) 트러스부

1) 트러스부에서도 상하현재 모두에서 좌측과 우측의 거더에 축력의 차이가 발생하였으나 직선교와 동일한 단면으로도 허용응력 이내임을 확인

2) 트러스부의 경우 직선교에서는 허용응력을 만족하던 가로보가 허용응력을 초과하는 현상이 발생함.

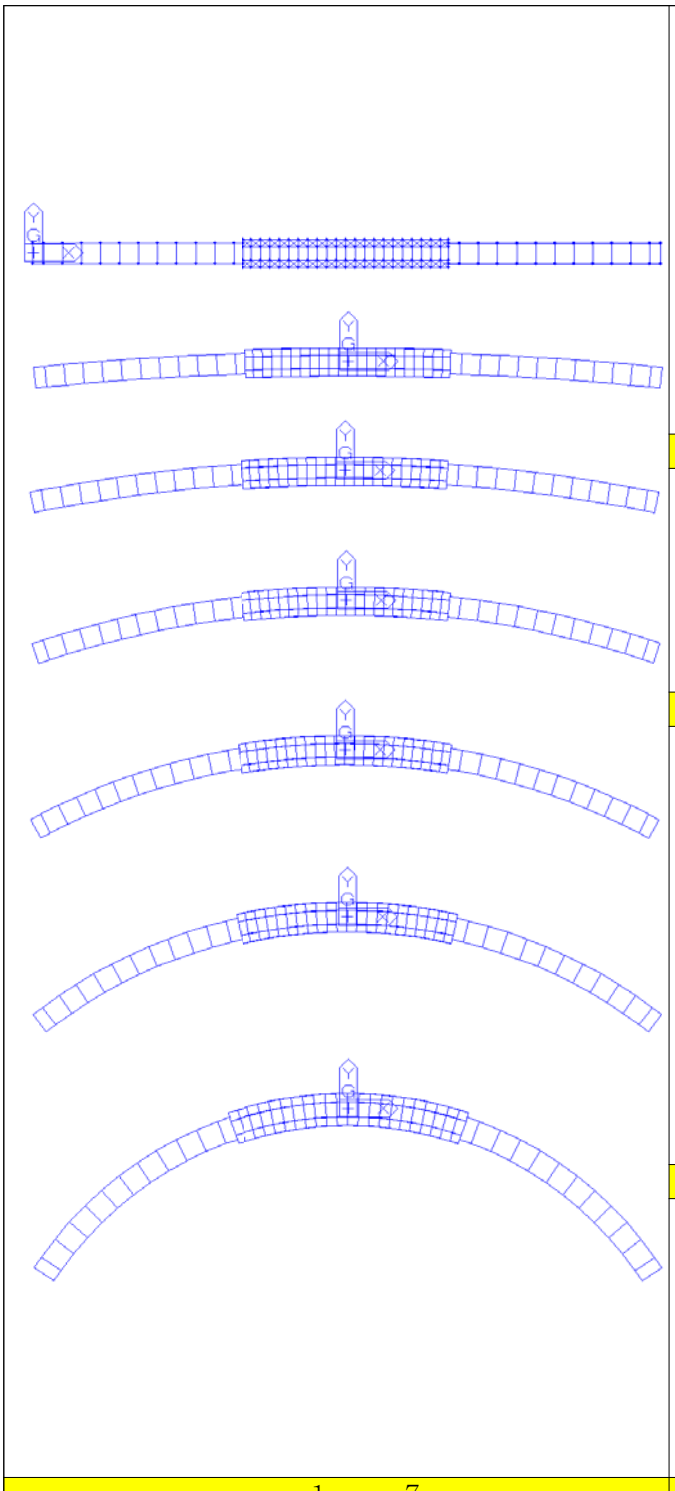
3) 곡선교를 설계하는 경우 트러스의 가로보를 보완하거나, 가보로에 발생하는 축력을 제어할 수 있는 상세에 대한 검토 필요

5.4 곡선교용 상세에 대한 비교검토

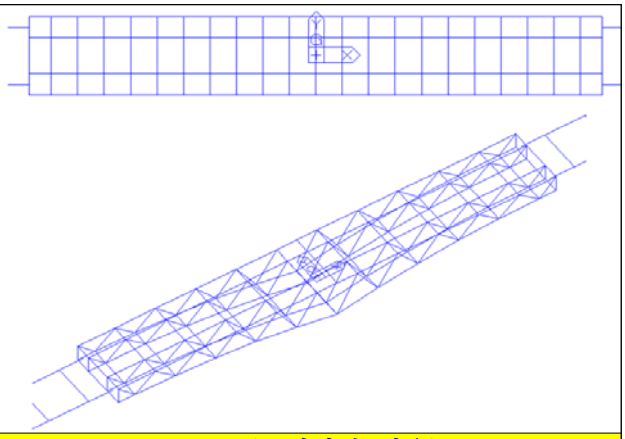
(1) 해석개요(MIDAS/CIVIL)

1) 7가지의 서로 다른 곡률의 교량에 대한 해석(직선, R1000, R500, R300, R200, R150, R100)

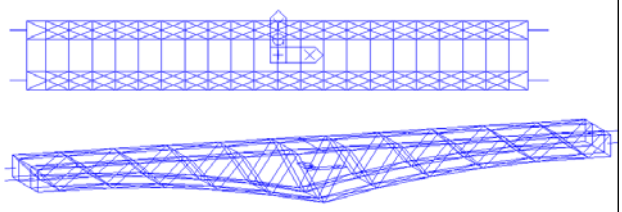
2) 브레이싱 적용상세별 해석(등분포하중 걱용)



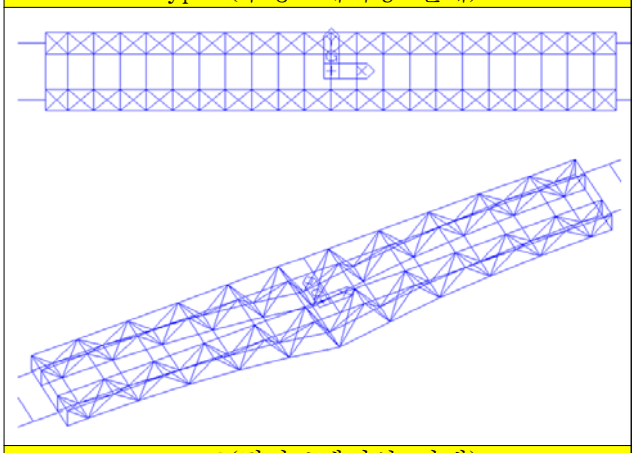
case1~case7



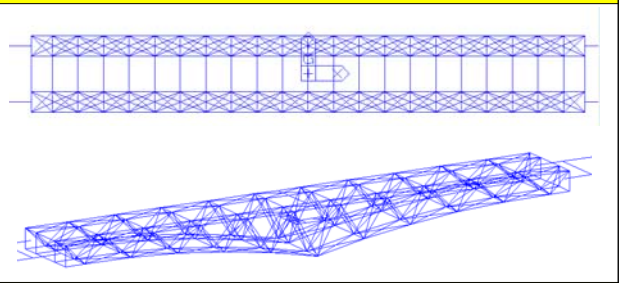
type1(브레이싱 없음)



type2(수평브레이싱-현재)



type3(경사브레이싱-사재)



type4(수평브레이싱+ 경사브레이싱)

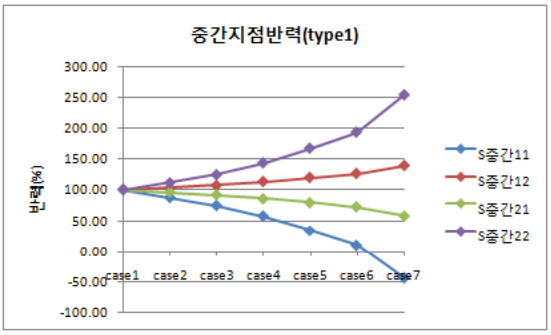
(2) 반력결과

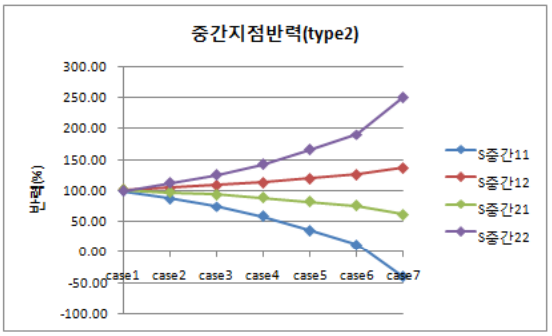
1) 브레이싱 타입에 따른 반력은 소소한 차이가 있을 뿐 큰 차이 없음

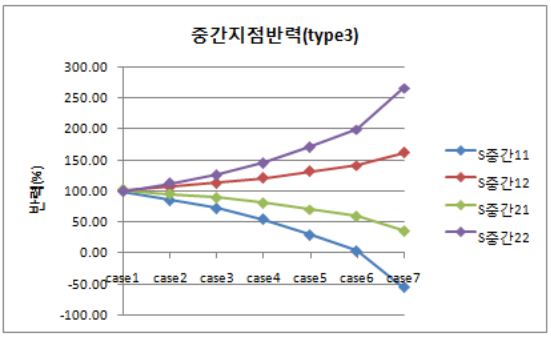
2) 수직브레이싱이 반력에 다소 영향을 주는 것으로 파악됨

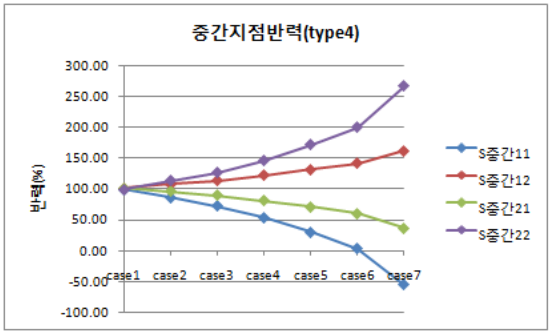
3) case6(R=200)에서는 반력이 50%이상 차이가 발생하고, case7(R=100)에서는 중간지점부에도 부반력이 발생함으로 이에 대한 주의 필요

4) 반력의 관점에서는 브레이싱이 없는 것이 오히려 유리

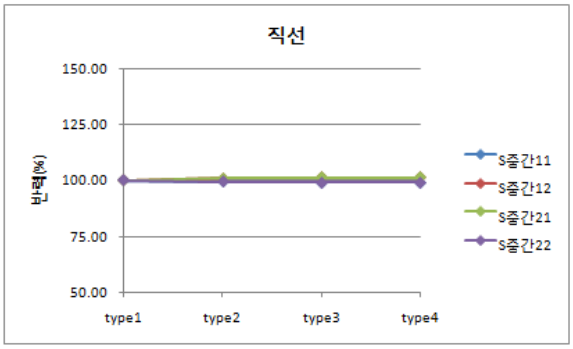


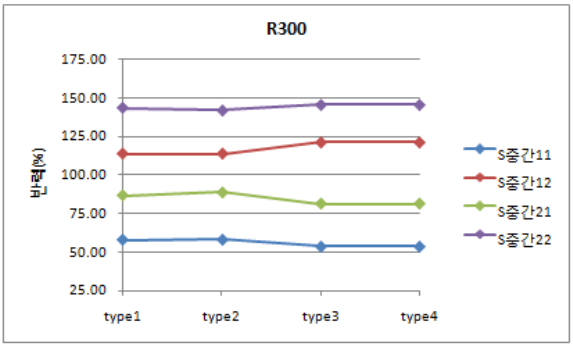






브레이싱이 없는 경우								
곡률		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7
반력 (kN)	중간11	66.62	58.30	49.92	38.47	23.43	7.27	-29.04
	중간12	66.62	69.30	71.99	75.57	80.02	84.40	92.62
	중간21	66.62	63.95	61.28	57.71	53.20	48.58	38.72
	중간22	66.62	75.00	83.56	95.42	111.34	128.80	169.33
백분율 (%)	중간11	100.00	87.51	74.93	57.75	35.17	10.92	-43.58
	중간12	100.00	104.02	108.05	113.43	120.12	126.68	139.03
	중간21	100.00	95.99	91.98	86.63	79.86	72.92	58.13
	중간22	100.00	112.58	125.42	143.23	167.12	193.33	254.16





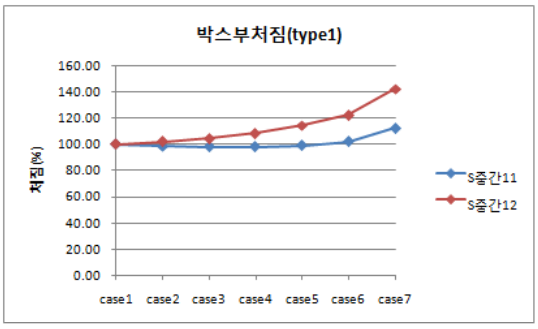
(3) 처짐결과

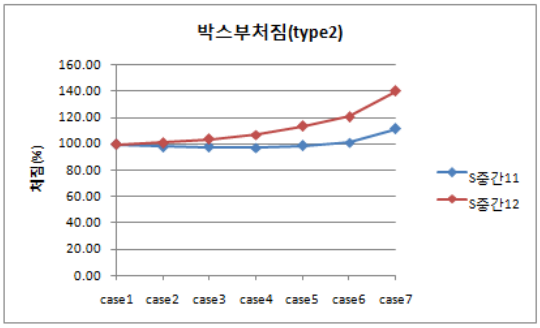
1) 곡률에 따른 박스부의 처짐은 점차로 증가

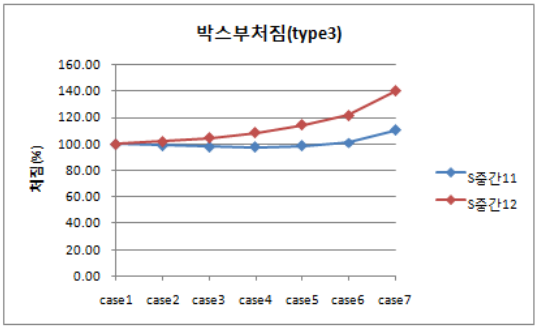
2) R=200이하인 경우는 직선의 처짐과 비교하여 10%이상의 처짐 증가

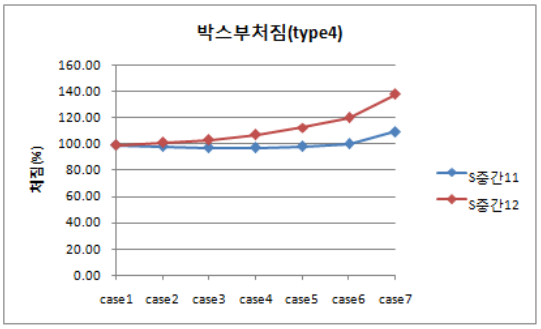
3) Type별로 보면 처짐의 차이가 크게 발생하지 않지만 수평브레이싱을 배치하는 경우 처짐이 감소

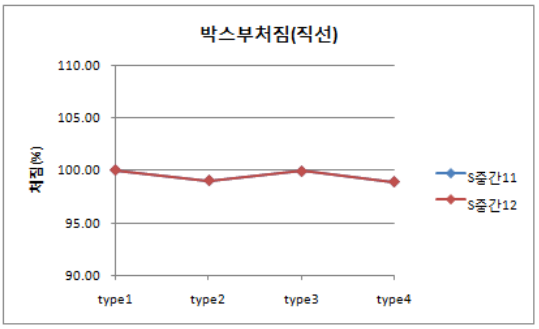
4) 이는 좌우측 수평브레이싱이 구조전체의 강성에 영향을 주기 때문임

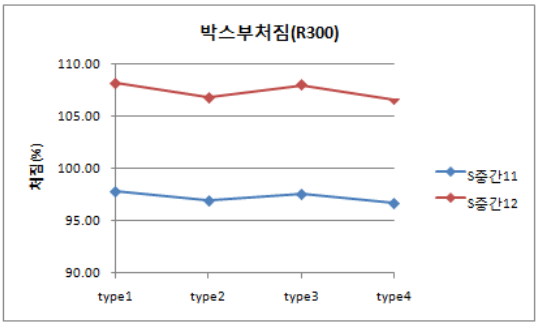












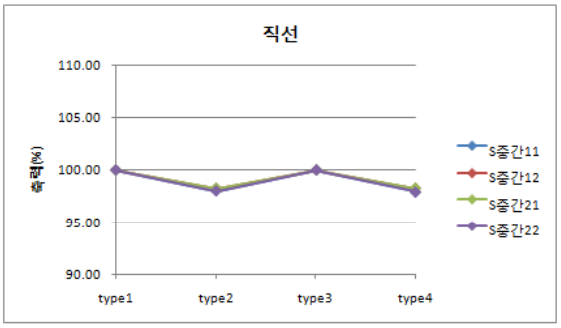
(4) 상현재 축력(하현재와 유사)

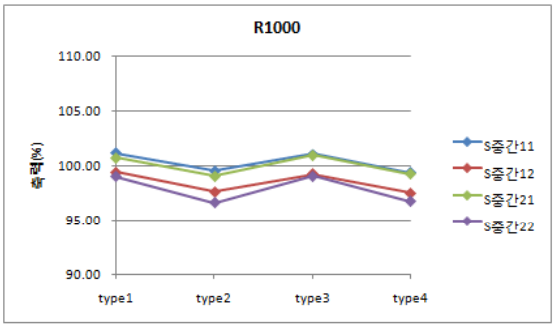
1) 현재의 축력증가나 감소의 비율은 반력보다는 작은 민감도

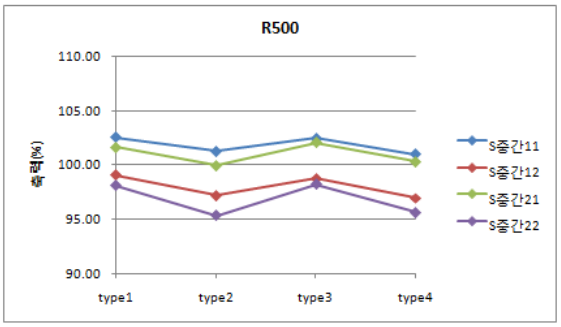
2) 그러나 곡률이 R=200이상인 경우 10%이의 차이가 발생

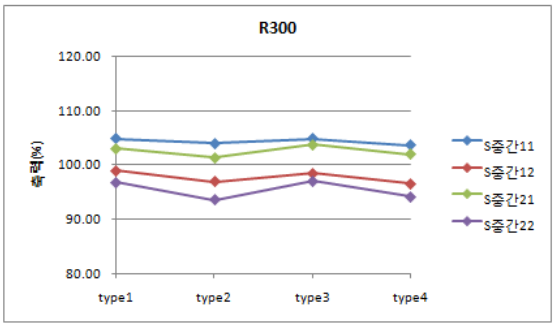
3) Type별로 보면 처짐의 차이가 크게 발생하지 않지만 수평브레이싱을 배치하는 경우 축력자체가 감소

4) 이는 수평브레이싱이 현재의 축력의 일부를 부담하기 때문









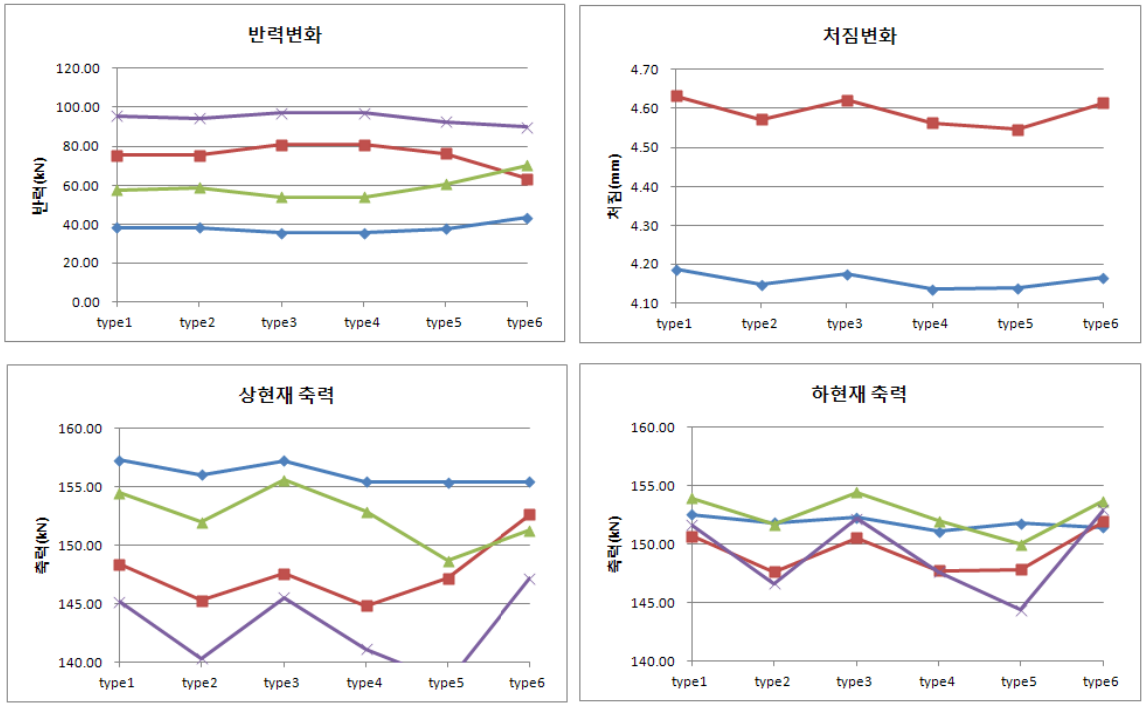
(5) 추가계산1: 거더 내측이 아닌 거더와 거더 사이에도 브레이싱 배치

1) type5: 거더사이의 수평브레이싱

2) type6: 거더사이의 대각브레이싱

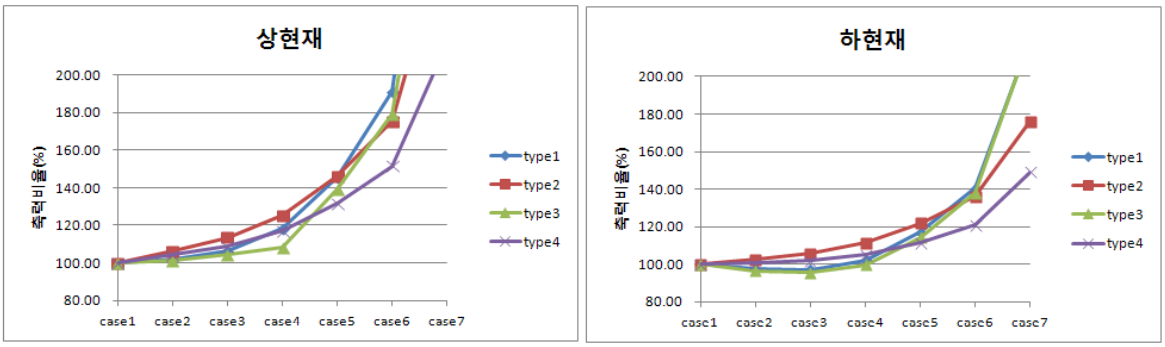
3) type6의 결과가 모든 부분에 있어서 효과가 좋음

4) 거더사이의 대각브레이싱 배치가 효율적임을 알 수 있다.



(6) 추가계산2: 1거더 교량에 대한 해석

1) case4이하(R=300이상)에서는 경사브레이싱(type3)의 효과가 상대적으로 좋음

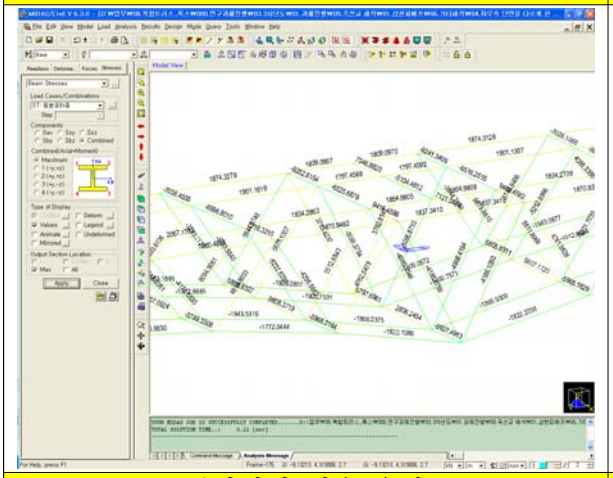
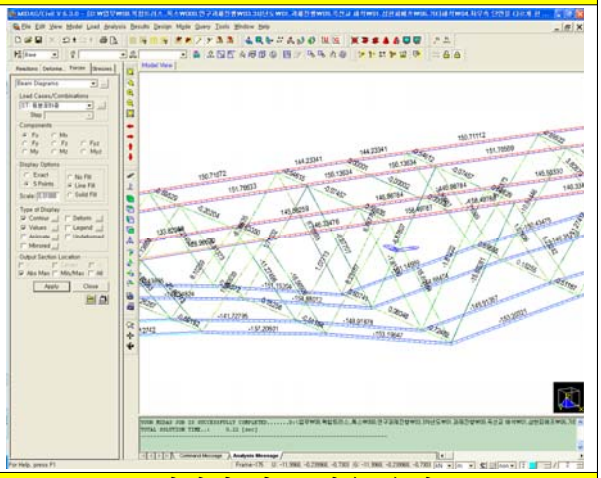
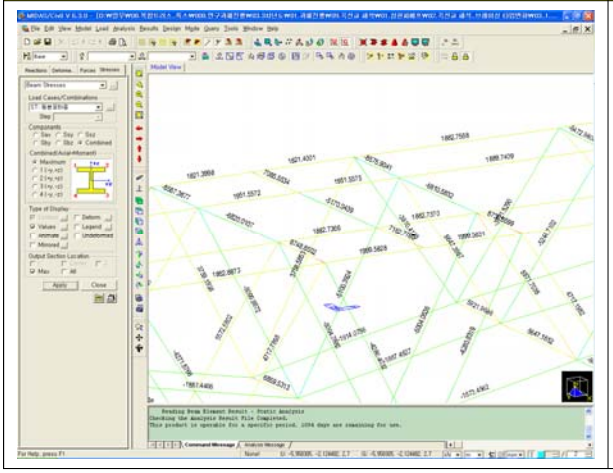
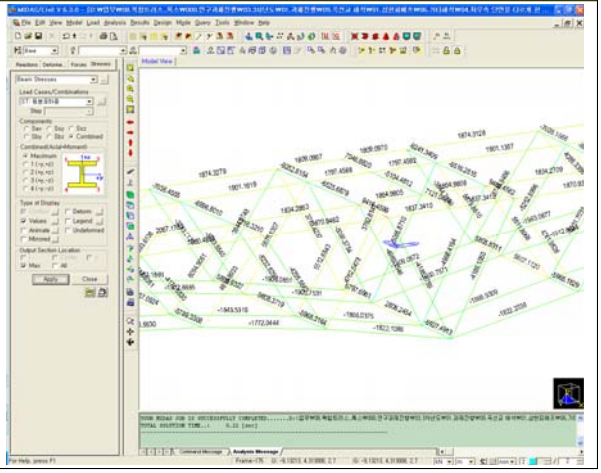


(7) 추가계산7

1) 좌우측 현재의 응력수준을 고려하여, 서로 다른 단면을 적용하는 경우에 대한 해석

2) 다른 단면을 적용하면 축력차이가 다소 증가하지만, 효율적인 단면제작이 가능함

구분	축력		응력	
	같은 단면	다른 단면	같은 단면	다른 단면
상현재11	145.2	144.2	1821.4	1809.1
상현재12	154.5	156.1	1951.6	1797.5
상현재21	148.4	147.0	1882.7	1865.0
상현재22	157.3	158.5	1999.6	1837.3

등단면인 경우 축력	단면이 다른 경우 축력
	
등단면인 경우 응력	단면이 다른 경우 응력
	

(8) 설계기준 검토(곡률효과를 무시할 수 있는 경우)

1) 설계기준1: 도로교설계기준 해설(2008)

- 위치: P.30
- 내용

① 폐단면의 경우 곡선지간의 중심각이 12도보다 큰 경우는 직선교로 설계

② 개단면인 경우 다음의 표를 이용

보의 수	단일지간	복수지간
2	2°	3°
3 또는 4	3°	4°
5 이상	4°	5°

2) 설계기준2: 도로교설계기준 해설(2012)

- 위치: P.4-12(4.6.1.2 곡선교)
- 내용: 곡률효과를 무시할 수 있는 경우

① 개단면 거더인 경우: 원호지간을 거더반지름으로 나눈 값이 0.06rad이하

② 폐단면 박스와 tub거더: 원호지간을 거더반지름으로 나눈 값이 0.3rad이하

3) 설계기준3: AASHTO LRFD Bridge(2010)

- 위치: P.4-17(4.6.1.2 Structure Curved in Plan)
- 내용(도로교설계기준 해설(2012와 동일)

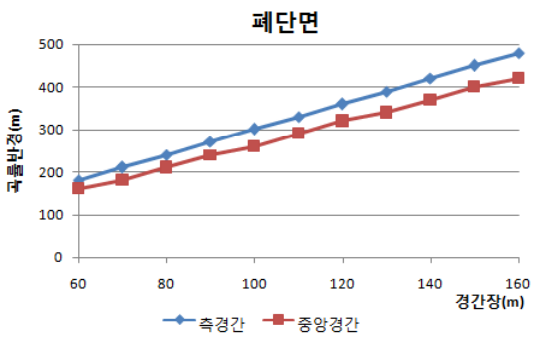
① 개단면 거더인 경우: 원호지간을 거더반지름으로 나눈 값이 0.06rad이하

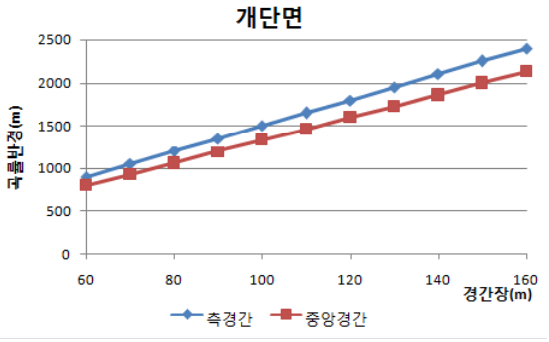
② 폐단면 박스와 tub거더: 원호지간을 거더반지름으로 나눈 값이 0.3rad이하

4) 설계기준에 따른 곡선효과 무시가능한 교량의 평면선형(설계기준2,3)

- 설계기준에 의한 곡률효과 무시

경간구성	폐단면	개단면
80+ 100+ 80	R=260m	R=1330m
100+ 120+ 100	R=320m	R=1600m
120+ 150+ 120	R=400m	R=2000m





- 다른 평면선형의 교량은 곡선의 효과를 고려하여 설계

(9) 종합결론

1) 곡선교에 있어서 브레이싱의 역할

- 수평브레이싱

① 현재의 축력을 분담하는 역할 ⇒ 현재의 축력 감소

② 좌우측 현재의 축력크기의 차를 증폭

- 대각브레이싱

① 비틀림을 감소시켜 좌우측 현재의 차이 감소

② 그러나 모든 현재 사이에 대각브레이싱을 설치하는 것이 성능이 좋다.

③ 하현재가 경사지게 배치된 경우 하현재의 축력의 일부를 분담하는 역할

2) 곡선교에 대한 의견

- 곡률이 작은 경우에는 브레이싱이 없는 것이 오히려 좋음
- R=300이상의 곡률에서는 거더내부가 아닌 거더와 거더사이의 브레이싱이 효과적
- 곡률이 커지면, 어떤 보강도 효과가 미미함.

3) 실험의 목표

- 곡선교 제작성
- 곡선교의 극한거동
- 곡선교에서 브레이싱의 역할
- 곡선교에서의 바닥판의 역할

6. 곡선교 실험

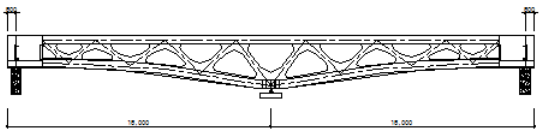
6.1 목적

(1) 트러스 구간 곡선교의 제작성 파악
(2) 곡선교 적용시 구조성능검증
(3) 곡선교에서 경사브레이싱의 역할 파악
(4) 바닥판의 합성이 곡선교에 미치는 영향 분석

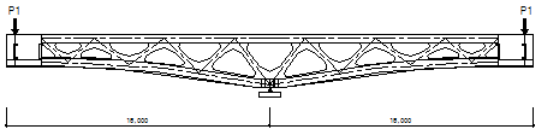
6.2 실험계획

(1) 재하실험계획

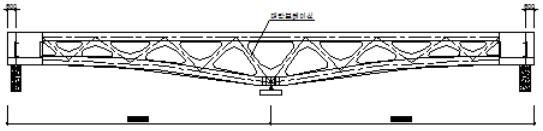
1. 강재거더 시험체 실험동 거치대 거치
(거더 사이의 대각브레이싱 미설치)



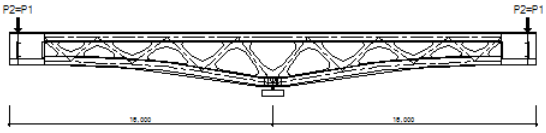
2. 강재거더 시험체 1차 정적재하 시험



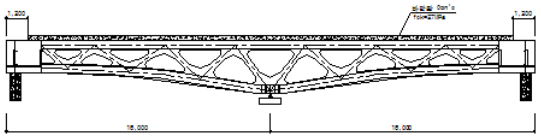
3. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 대각브레이싱 설치



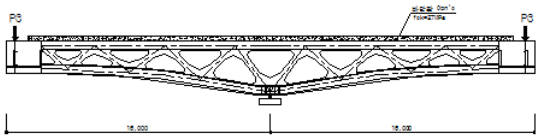
4. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 2차 정적재하 시험



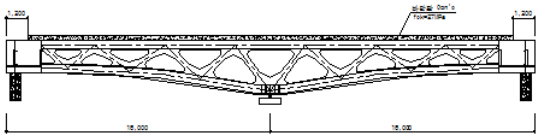
5. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 바닥판 콘크리트 타설



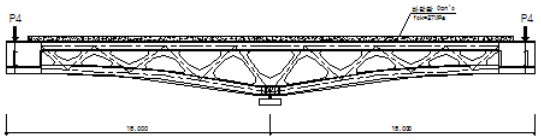
6. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 3차 정적재하 시험



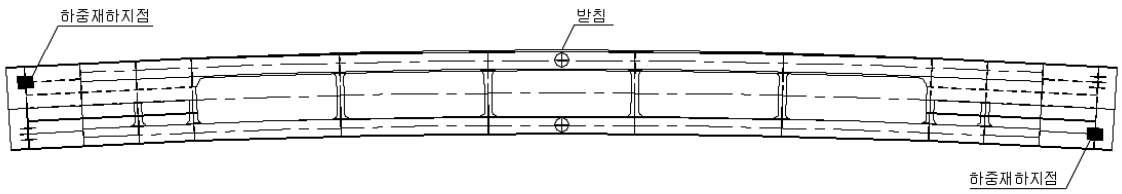
7. 단부 하중재하점 지지대 설치 후 대각브레이싱 설치



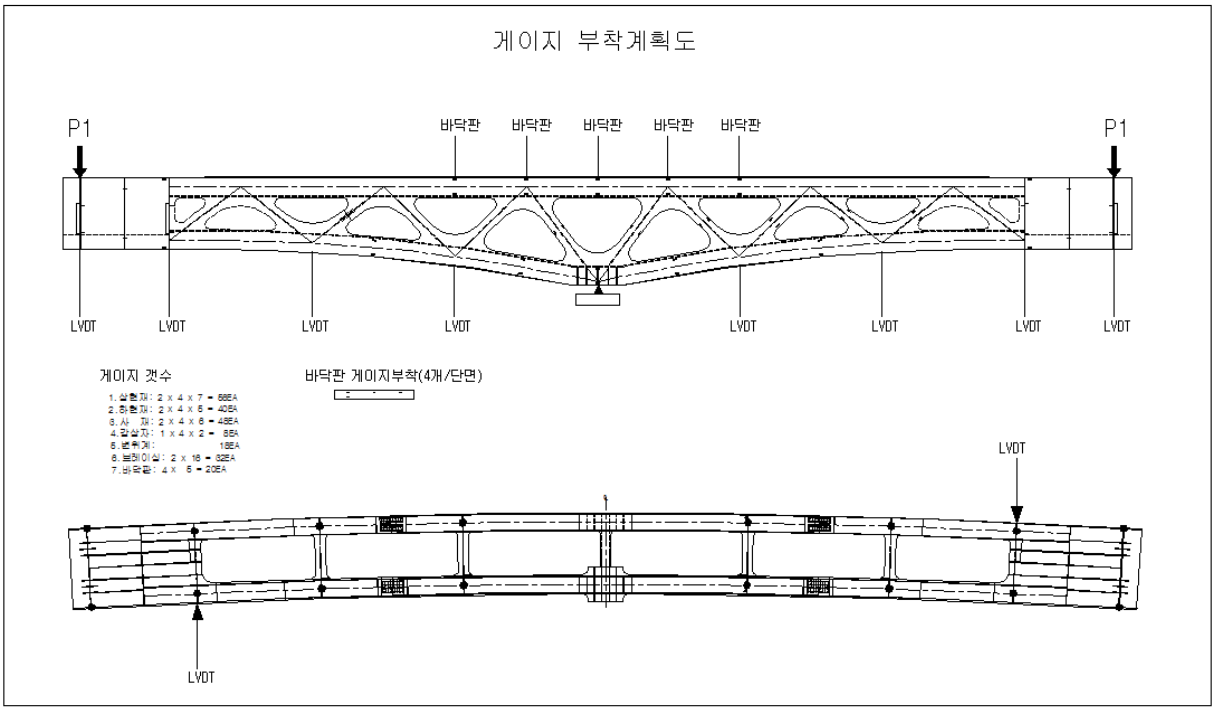
8. 단부 하중재하점 지지대 제거 후 4차 정적재하 시험



<하중재하 위치도>



(2) 게이지부착도



(3) 실험체 일정

1) 제작시작: 2013년 5월

2) 실험일정

7월, 8월, 9월						
일	월	화	수	목	금	토
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3
	실험체 반입 및 실험체 조립					
4	5	6	7	8	9	10
	게이지작업					
11	12	13	14	15	16	17
	가력프레임 작업			예비일		
18	19	20	21	22	23	24
	1차가력	브레이싱 설치	2차가력	바닥판 작업		
25	26	27	28	29	30	31
	바닥판 작업	콘크리트 타설	양생			
1	2	3	4	5	6	7
	3차실험	브레이싱 해체	4차실험	예비일		

6.3 실험체 제작

(1) 실험체 제작 사진

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>원자재 절단</td><td>1차조립</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>2차조립</td><td>용접</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>가조립</td><td>브레이싱 설치</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>실험체 세팅</td><td>실험체 세팅</td></tr>
</table>

6.4 실험체 해석

(1) 3D-Solid해석 개요

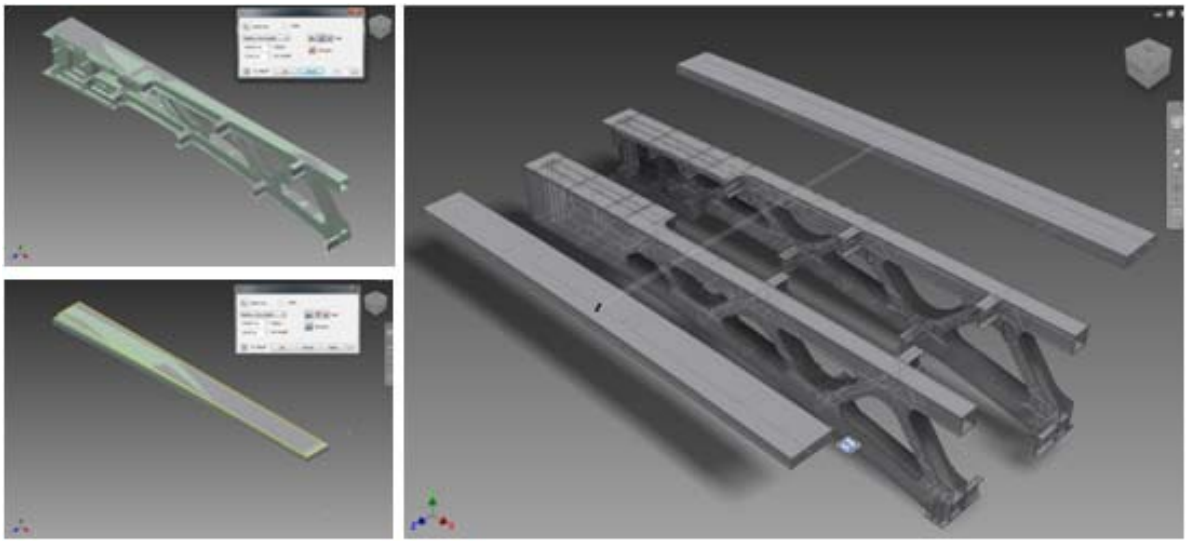
1) 요소 : 3D solid element (girder, deck) + beam element (x-bracing)

2) 경계조건 : 받침부 - hinge, roller / 경계부 - 축대칭

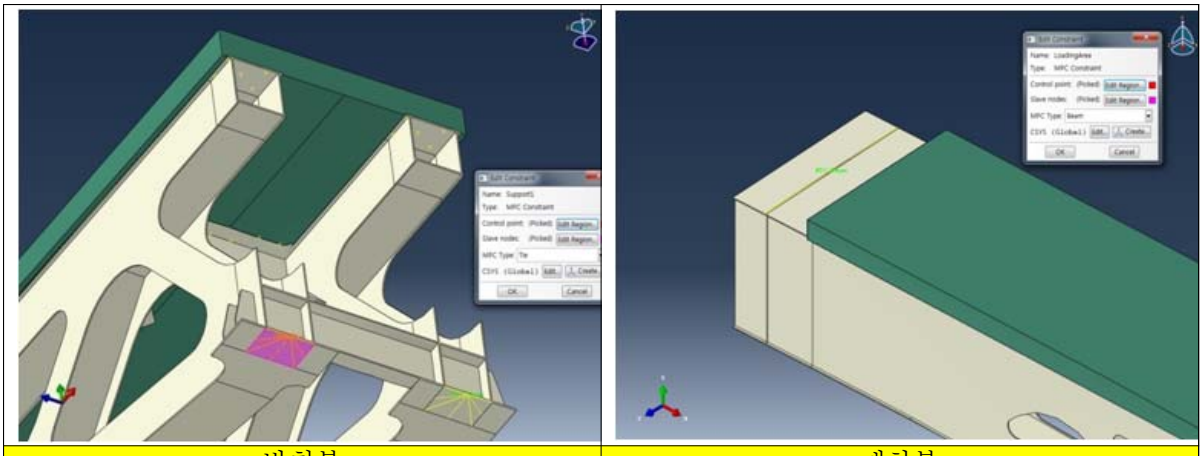
3) 하중 : 1차 - 300kN / 2차 - 1000kN / 3차 - 1500kN / 4차 - 2000kN

4) 재료 비선형 및 기하 비선형 해석

5) Geometry 작성 : ACAD Inventor → ABAQUS



6) 구속조건



받침부	재하부

7) 해석조건

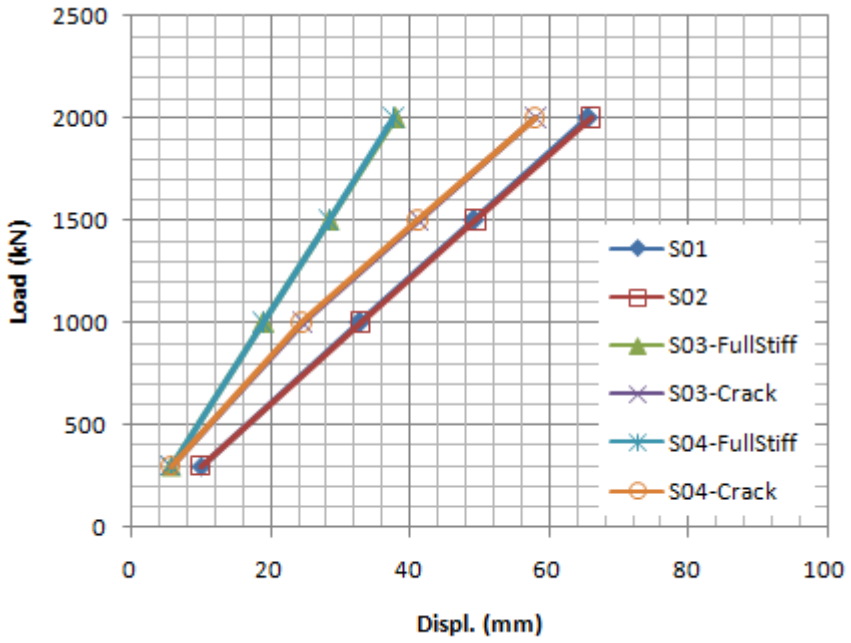
기호		S01	S02	S03 -FullStiff	S03 -Crack	S04 -FullStiff	S04 -Crack
시험하중	Load control (kN)	300	300	300	300	300	300
		1000	1000	1000	1000	1000	1000
		1500	1500	1500	1500	1500	1500
		2000	2000	2000	2000	2000	2000
극한하중	Displ. control (mm)	200	200	200	200	200	200

(2) 3D-Solid해석 결과

1) 처짐해석 결과

	Test I	Test II	Test III		Test IV	
Load(kN)	S01	S02	S03 -FullStiff	S03 -Crack	S04 -FullStiff	S04 -Crack
300	11.31	11.35	6.60	6.60	6.62	6.62
1000	37.72	37.83	22.00	27.75	22.06	27.81
1500	56.58	56.74	33.00	46.26	33.09	46.33
2000	75.44	75.66	44.00	64.91	44.12	65.00

- 대각 브레이싱 설치에 의한 거더의 수직 처짐이 미미하게 감소함: 0.05mm 내외
- 바닥판 타설 후의 처짐 감소폭이 강재 거더만 있을 경우보다 미미하게 큼
- 대각 브레이싱 설치에 의해 거더 전체의 처짐 감소량은 미미함
- 대각 브레이싱 설치에 의해 내외측 거더의 처짐 차이가 감소함 비틀림 감소
- 처짐 차이 약 8% 감소

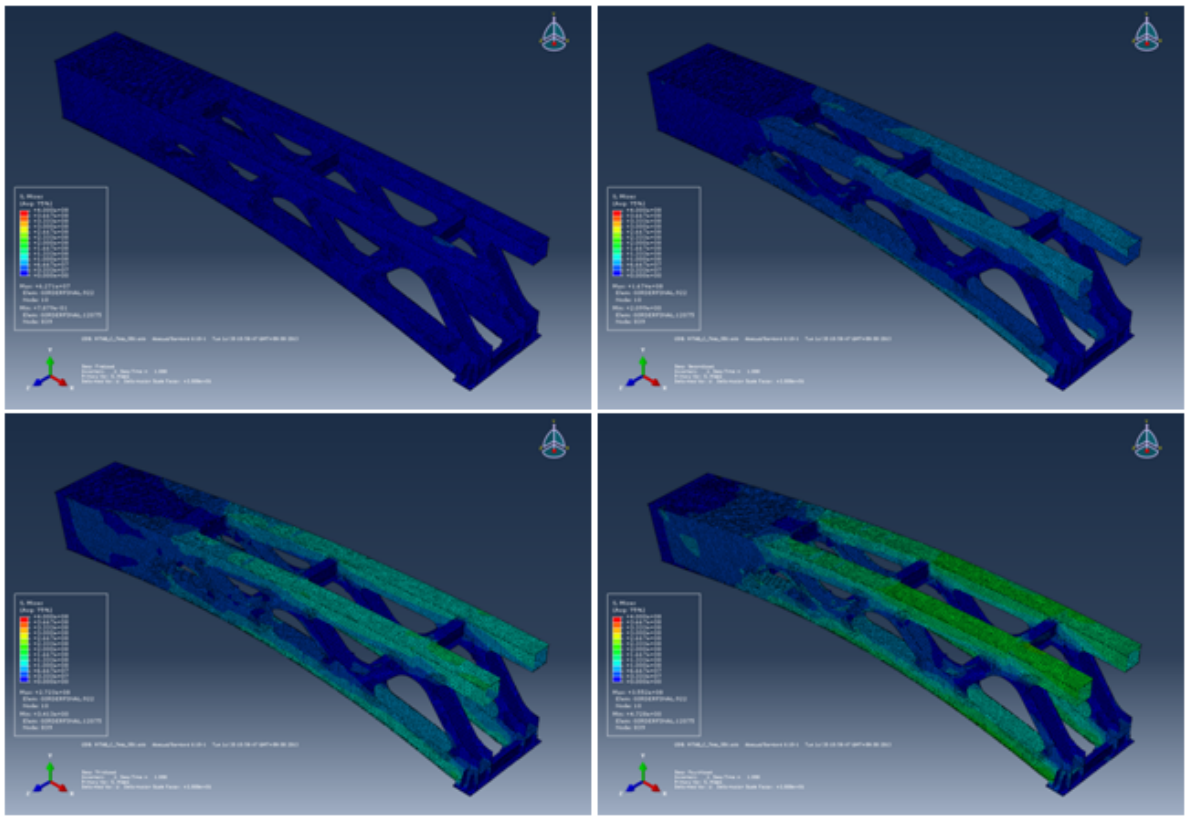


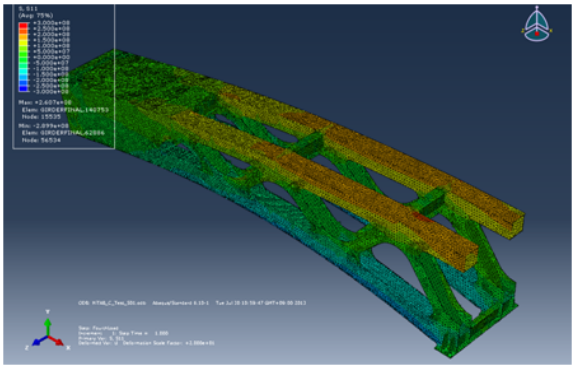
2) 응력해석 결과

- 곡선형에 의한 비틀림 발생: 내측 상현재 및 하현재의응력이 외측에 비해 높게 나타남
- 대각 브레이싱에 의한 비틀림 저감 효과는 거의 나타나지 않음

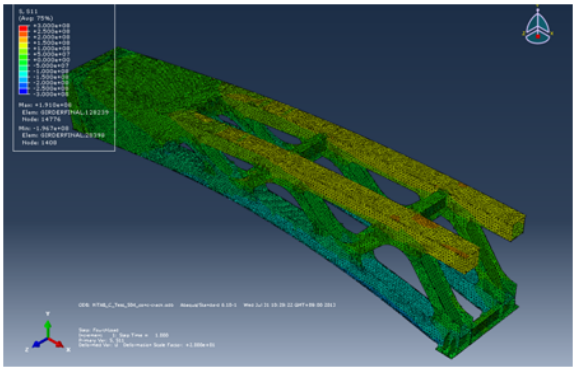
강재 거더만 고려했을 경우와 바닥판 콘크리트를 타설한 경우 모두에 해당함

- 바닥판 콘크리트 타설 효과
  ① 바닥판 콘크리트 타설 후 상현재의 응력 감소폭이 하현재의 응력 감소폭에 비해 높게 나타남
  ② 바닥판 콘크리트 타설 후 내외측 응력 차이가 감소함





S01-2000kN

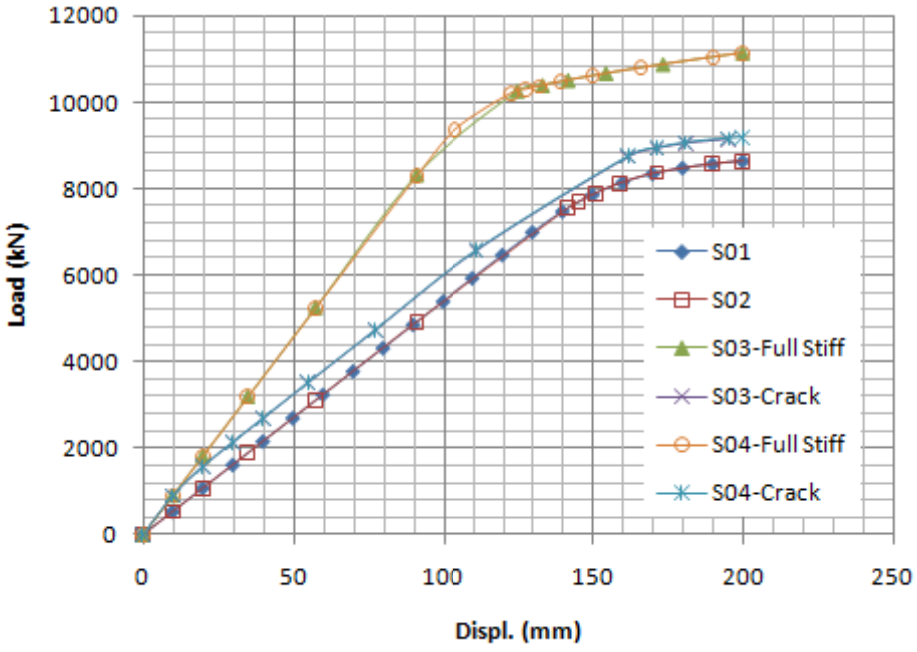


S04-Crack - 2000kN

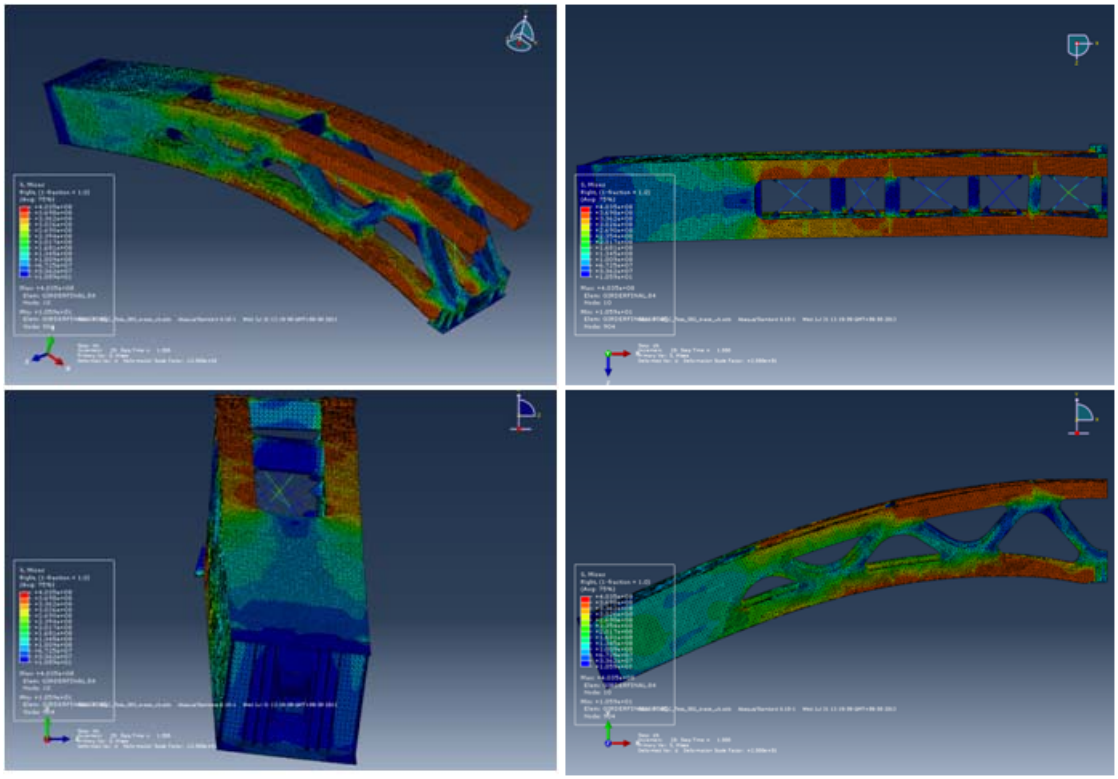
3) 극한하중해석 결과

- 대각 브레이싱 설치에 의한 효과가 거의 나타나지 않음
- 약 500kN의 하중에서 바닥판 균열 시작 예상
- 바닥판 균열 이후 주로 강재에 의한 하중 저항

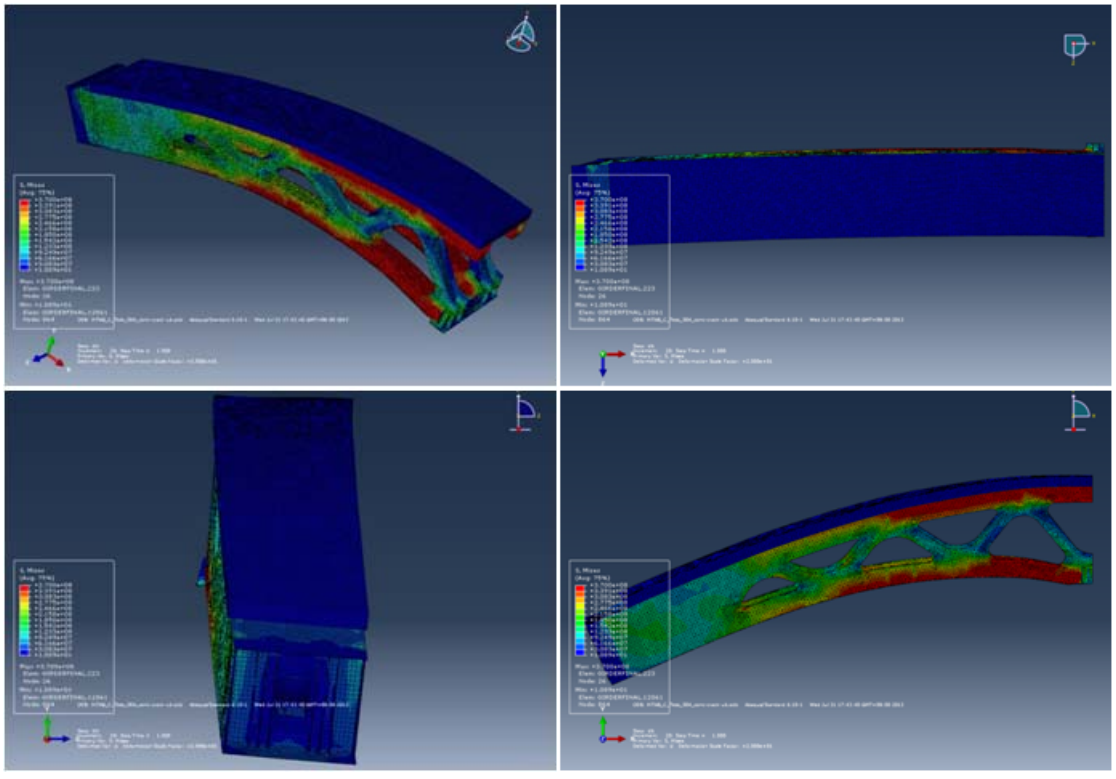
	Test I	Test II	Test III		Test IV	
Displ(mm)	S01	S02	S03 -FullStiff	S03 -Crack	S04 -FullStiff	S04 -Crack
200	8600	8600	11000	9200	11000	9200



- 강재단면



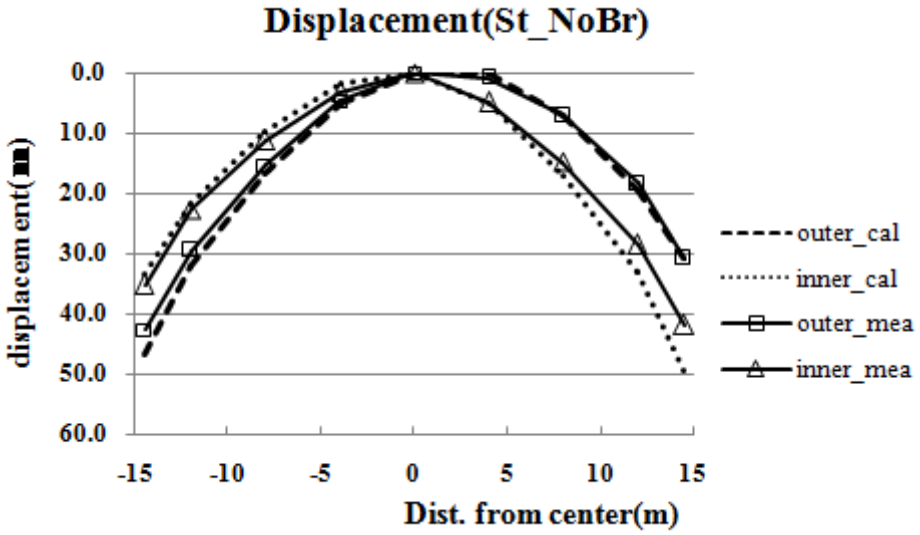
- 합성단면

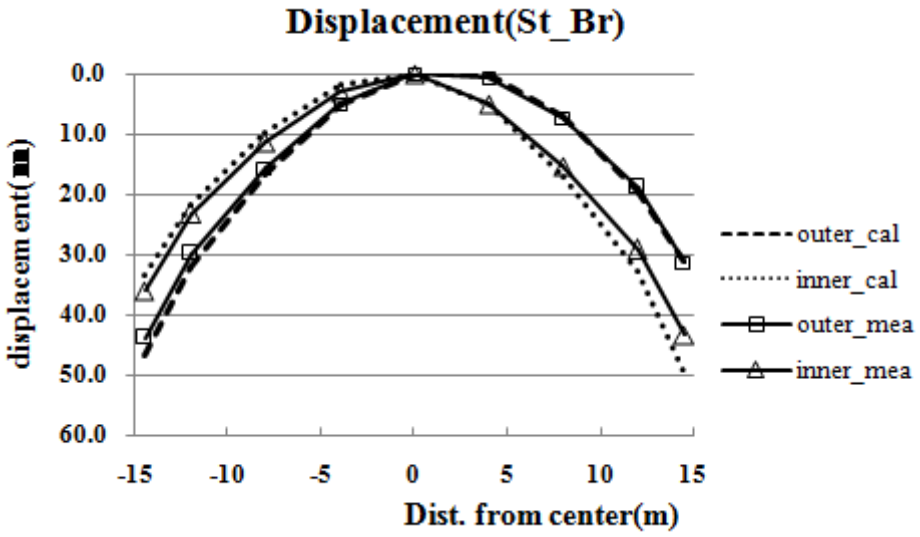


6.5 실험결과

(1) 처짐결과(mm)

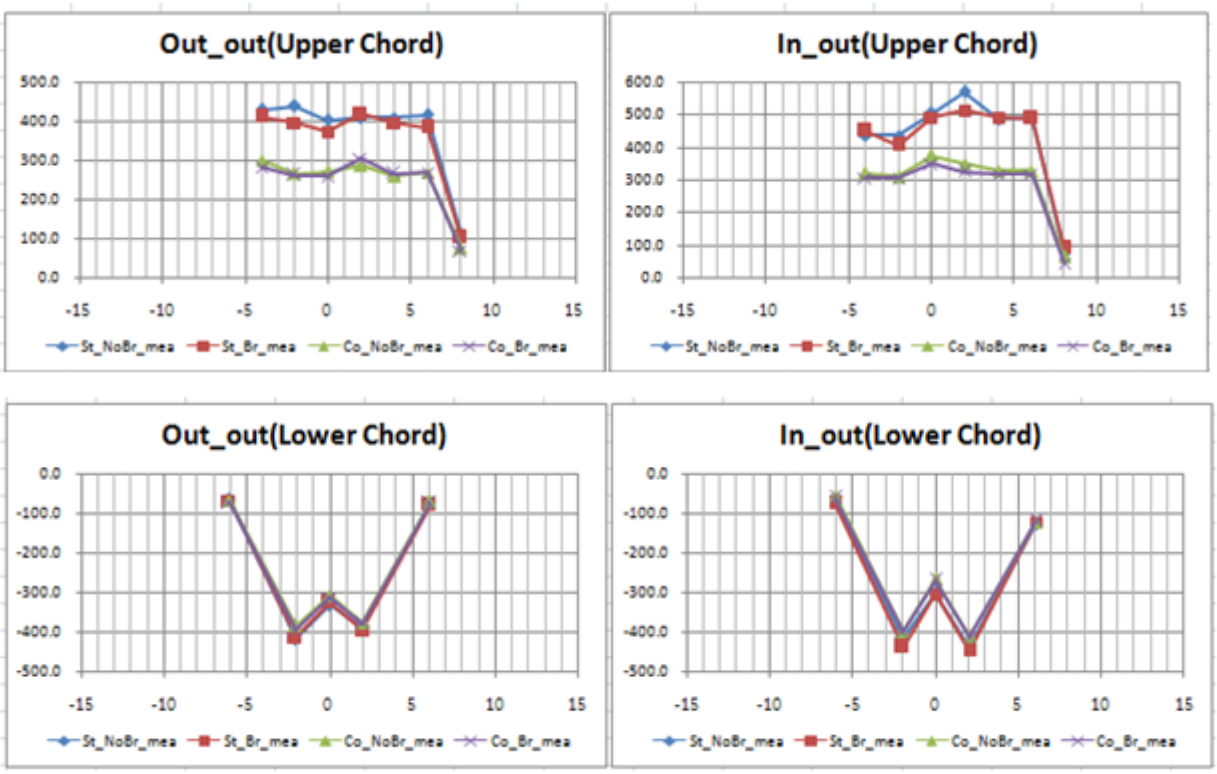
구분	위치	-14.5	-12	-8	-4	0	4	8	12	14.5
해석 (nobracing)	외측	46.8	32.0	16.7	5.0	0.0	0.2	7.2	19.4	30.9
	내측	33.6	21.9	9.7	1.8	0.0	5.3	17.2	33.0	49.5
해석 (bracing)	외측	46.9	32.0	16.7	5.0	0.0	0.3	7.2	19.5	31.0
	내측	33.5	21.9	9.7	1.8	0.0	5.2	17.1	32.9	49.4
실험 (nobracing)	외측	42.7	29.4	15.3	4.7	0.0	0.9	7.1	18.4	30.8
	내측	35.2	22.8	11.2	3.2	0.0	4.9	14.8	28.5	41.9
실험 (bracing)	외측	43.8	29.9	15.7	5.0	0.0	0.7	7.3	18.9	31.4
	내측	36.1	23.2	11.3	3.1	0.0	5.1	15.4	29.2	43.3



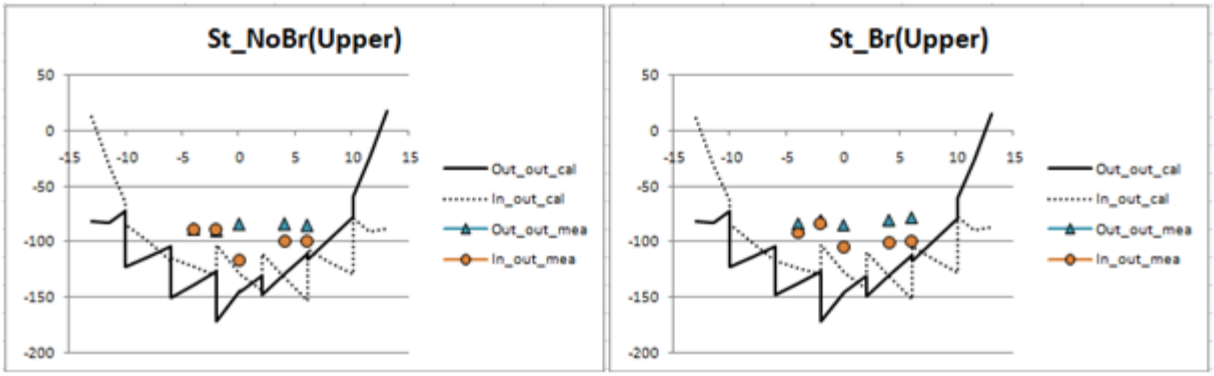


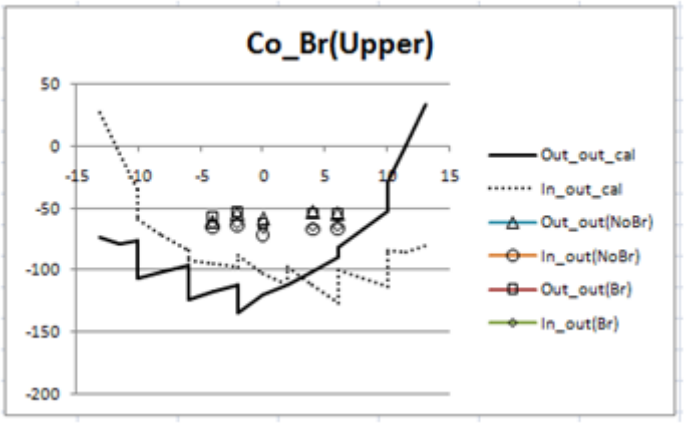
- 강재거더만 있는 경우의 처짐형상은 프레임 해석만으로 처짐을 적절하게 추정할 수 있음을 보여주고 있다.
- 전체적으로 계측값이 해석값보다 작은 값을 나타내므로 안전측 계산이 수행되는 것을 확인할 수 있다.
- 바닥판이 타설되고 난 뒤에는 계산값에서는 바닥판의 강성이 유효한 경우와 유사한 처짐이 발현되며, 철근으로 계산한 것보다는 작은 거동이 나타남을 확인할 수 있다.
- 브레이싱의 유무에 따라 발생하는 처짐의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 합성후 단면에서는 해석시의 내외측의 차이보다 실구조물의 차이가 적은 것으로 나타났다. 이는 프레임 해석을 적용하는 경우 바닥판의 횡방향 강성을 정확하게 고려할 수 없기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 현재의 변형률 계측결과

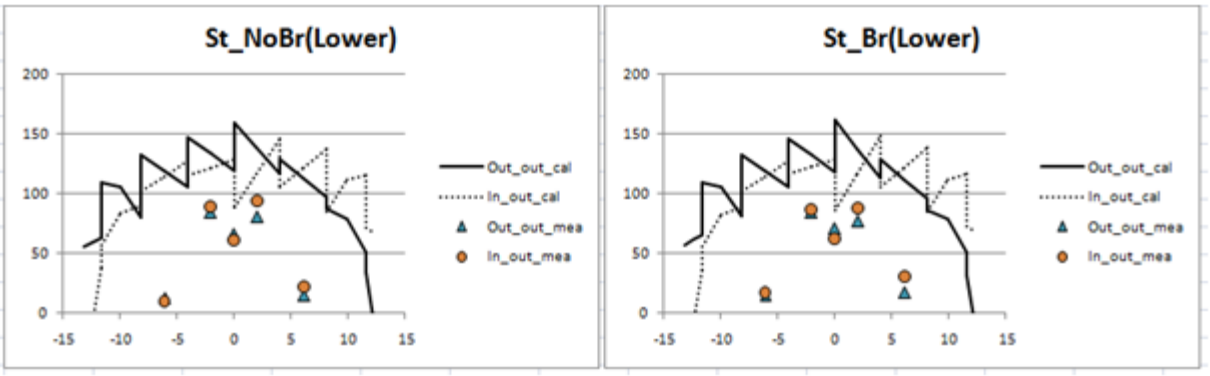


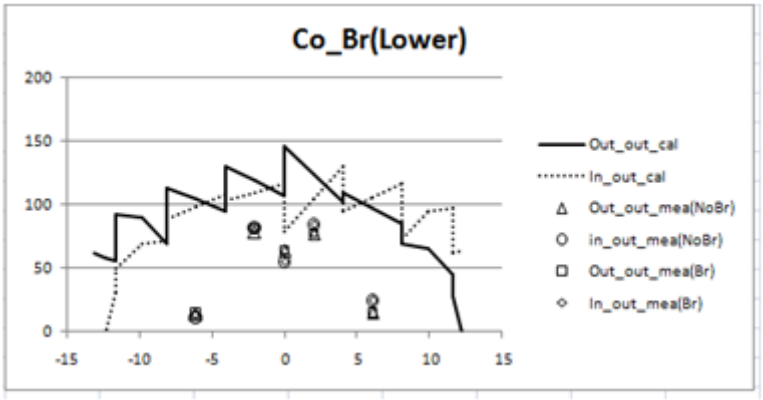
(3) 계산값과 계측값 비교(상현재 외측현재 외부와 내측현재 외부)



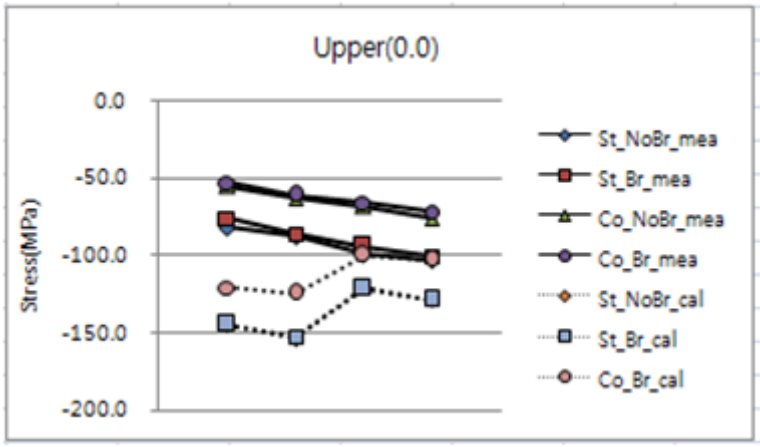


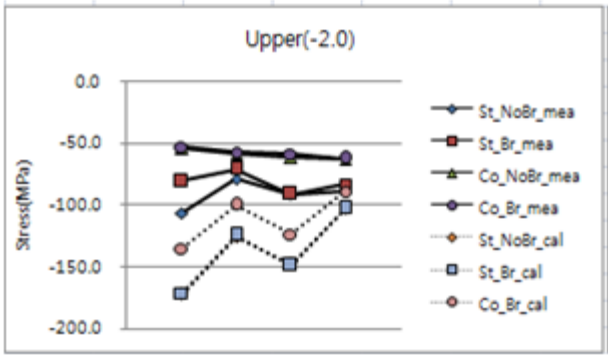
(4) 계산값과 계측값 비교(하현재 외측현재 외부와 내측현재 외부)

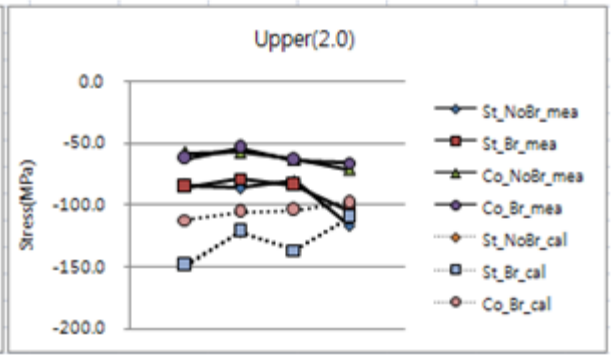


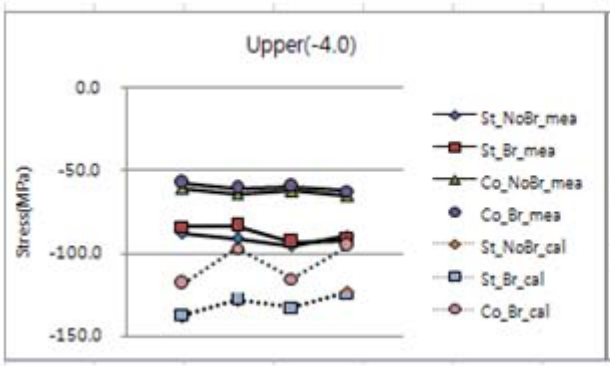


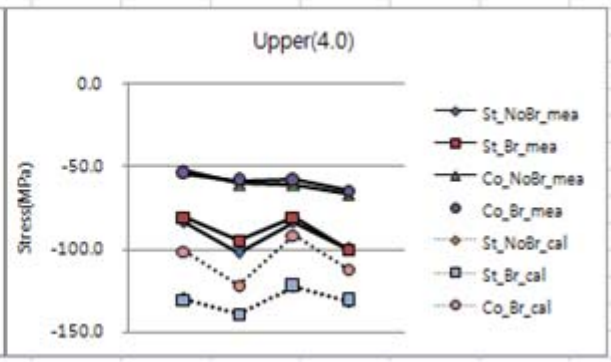
(5) 상현재의 위치별 응력비교

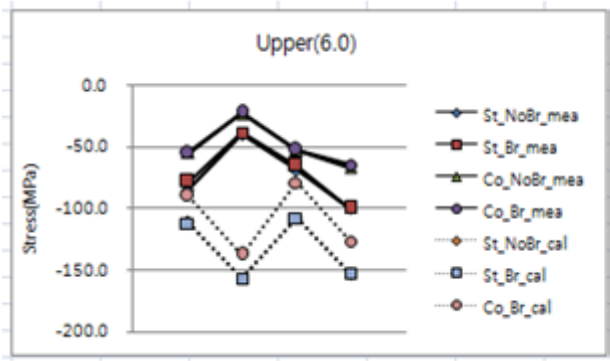


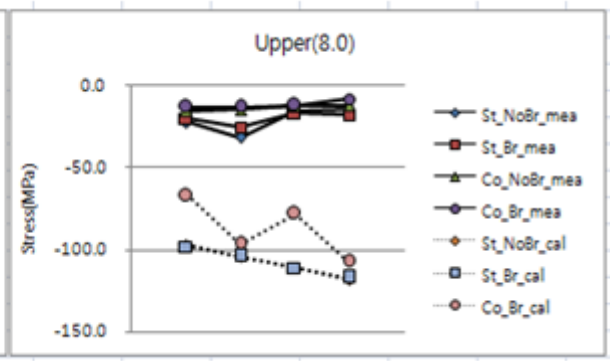




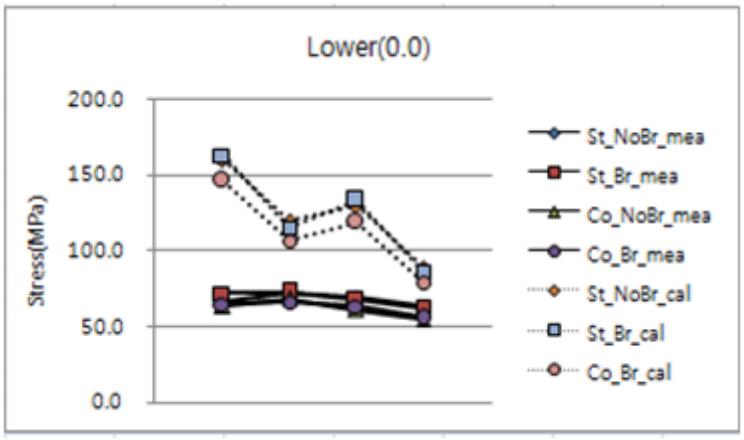


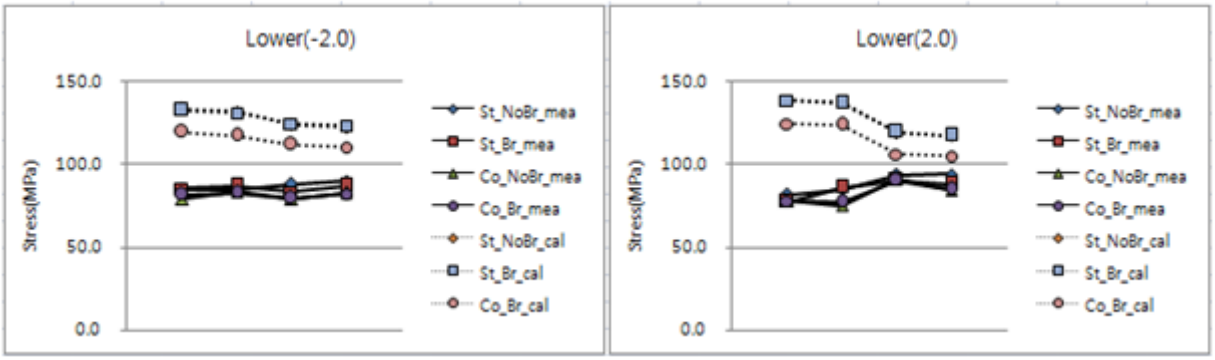


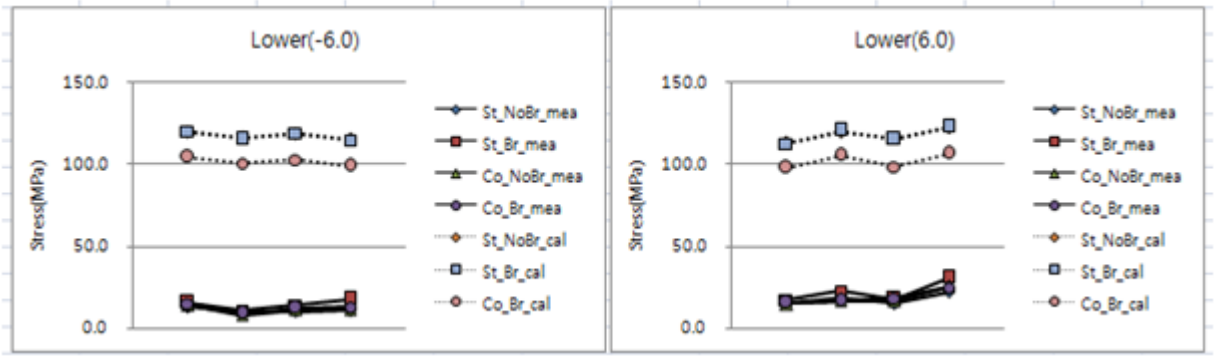




(6) 하현재의 위치별 응력비교







(7) 응력검토 결과

- 현재들의 응력을 보면, 접합부로 갈수록 계산값에 비해 응력값이 많이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 접합부를 트러스로 모델링하는 경우 안전측으로 응력을 평가할 수 있음을 보여주고 있다.
- 계산값에 비하여 실측값이 작게 나타나는 것을 알 수 있다.
- 브레이싱이 설치됨에 따른 거동변화는 미미한 것을 알 수 있으며, 바닥판이 타설되는 경우에는 내외측 현재에 있어서의 응력차이는 많이 감소하는 것을 확인할 수 있다.
- 곡선교에 있어서 프레임 해석결과는 실측값과 같은 경향을 나타내며, 곡선교 설계시에도 사용될 수 있음을 보여준다. 다만 바닥판의 합성에 따라 발생하는 양측현재의 거동의 차이를 개별 상현재에 합성하면, 이를 효율적으로 평가할 수 없음을 보여주고 있다. 그러나 이는 안전측 설계가 되기 때문에, 프레임해석을 그냥 적용하는 것은 적절한 설계방법이라고 할 수 있다.

6.7 결과분석

(1) 계산값과 실측값의 비교

- 곡선교 실험의 계산값과 실측값을 비교하면, 계산값이 실측값을 적합하게 평가함을 확인할 수 있다.
- 프레임을 해석한 결과가 실측값에 비해 안전측 설계임을 확인할 수 있다.
- 이에 따라 평면선형이 R=250m이상인 경우에 대해에서는 프레임 해석을 통한 설계적용이 가능한 것으로 판단된다.

(2) 브레이싱의 역할

- 브레이싱이 설치됨에 따라 실험체의 거동에는 미미한 변화가 발생하지만, 설계상으로 의미있는 변화가 나타나지는 않는다.
- 곡선의 영향으로 내외측 현재의 응력의 차이가 발생하지만, 바닥판이 합성되는 경우에는 계산값에 비해서, 곡률효과가 작게 나타난다.
- 이러한 것은 바닥판을 프레임으로 해석하는 계산값과 달리, 실재에서는 플레이트 거동을 하기 때문이다.

(3) 곡선교 적용성

- 곡선교 실험결과, 설계단계에서 예상할 수 업으면서, 구조성능에 영향을 줄 수 있는 거동은 나타나지 않았다.
- 거더 내부에 설치되는 프레임은 설치에 사용되는 비용대비 효과는 미미하며, 거더와 거더 상이에는 설치가 필요할 것으로 판단된다.
- 계산값과 실측값을 비교할 때, 현재 실험체의 평면선형인 R=250m이상에 대해서는 프레임 해석은 보수적인 결과를 제공함으로 설계적용이 가능한 것으로 판단된다.

7. 설계자동화 프로그램 등록(2차년도 연구성과 참조)

7.1 목적

(1) 강상자구조와 트러스 구조가 결합된 하이브리드 교량(HiTAB)을 계산하기 위한 자동화 프로그램

(2) 교량정보, 설계기초자료, 기본 배치, 단면, 하중등의 특징을 입력하면 해석을 위한 SAP 파일을 자동으로 생성하여 주고, 이에 의한 해석결과를 특정 엑셀 계산서에 자동으로 생성시켜 주는 프로그램

7.2 프로그램 개요

(1) 사용기종: IBM-PC호환기종

(2) 사용OS: windows XP

(3) 사용언어: 닷넷(.NET)

7.3 사용방법

(1) 프로그램 실행 후 교량정보, 설계기초자료, 거더의 단면, 배치, 하중, 특이사항 등을 입력한다.

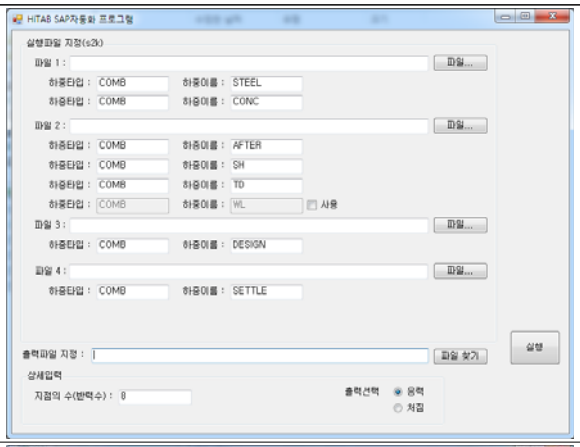
(2) 해석모델을 생성한다.

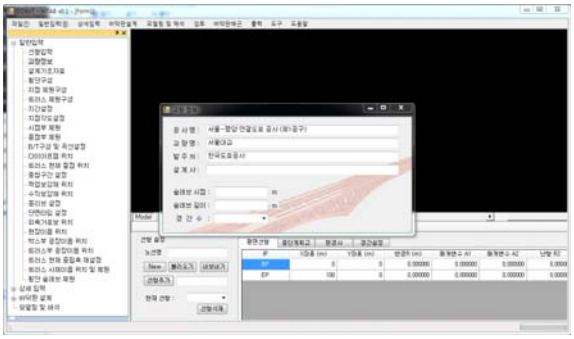
(3) SAP엔진을 이용하여 Input 파일을 실행한다.

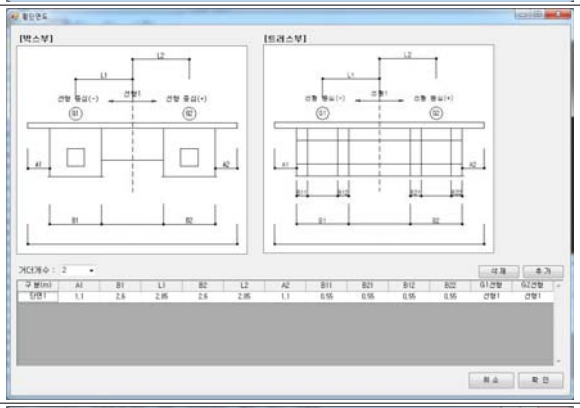
(4) 결과를 읽어 취합하고 특정 결과를 엑셀계산서의 지정된 시트에 자동으로 출력해준다.

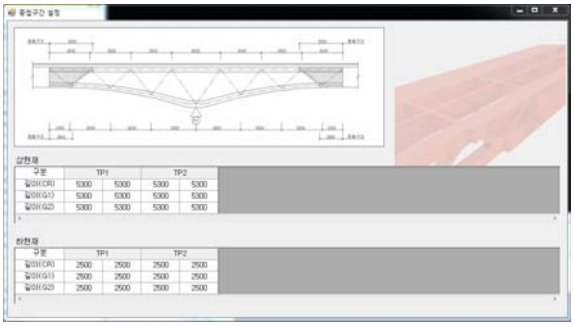
(5) 필요한 결과를 계산서 양식에 맞게 출력한다.

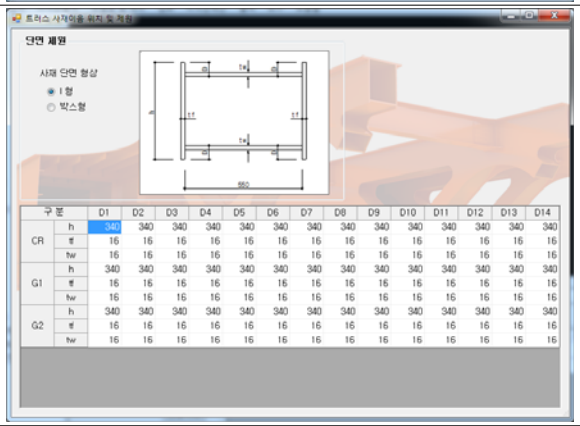
7.4 프로그램 스크린 샷 예시

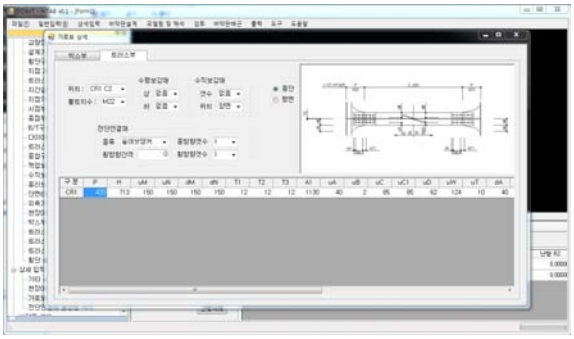




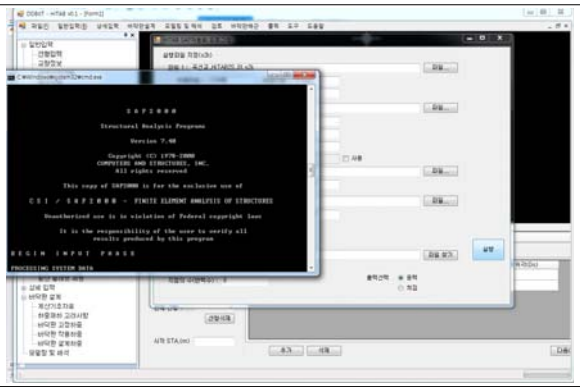








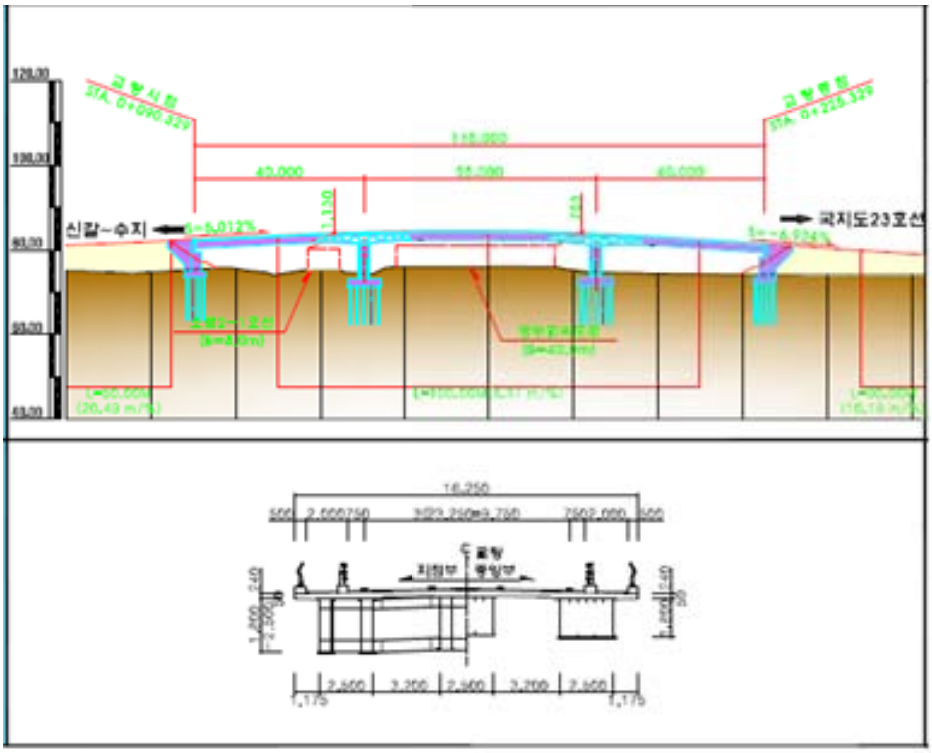




8. 설계 적용

8.1 과제진행 중 검토 프로젝트

구분	교량명	발주처	폭원(m)	경간구성(m)	비고
1	무의교	인천광역시	12.0	120+ 160+ 120	
2	남한강교	한국도로공사	20.9	115+ 150+ 115	
3	사양대교	고흥군	10.5	80+ 100+ 80	
4	삼산연륙교	인천광역시	12.0	120+ 150+ 120	
5	금호대교	한국도로공사	20.9	100+ 6@125+ 100	
6	보정교	용인시	16.25	40+ 55+ 40	◎
7	화도교	한국도로공사	24.3	95+ 3@130+ 95	
8	남한강교	한국도로공사	24.3	70+ 100+ 70	◎
9	OO교	한국도로공사	24.3	45+ 70+ 105+ 70+ 45	
10	OO교	한국도로공사	20.9	65+ 80+ 65	설계심의통과
11	OO교	웅진군청	8.5	120+ 145+ 120	



<종평면도 및 횡단면도 예시>

8.2 관계기관 의견조회

한국강구조학회

4. 결론

본 의견서는 국토교통부의 건설기술혁신사업(과제번호: 10-기술혁신 A04)으로 개발 중인 강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 하이브리드 교량에 대한 것이다. 검토대상 교량의 개별구조는 긴 시간에 걸쳐 다양한 검증이 이루어졌기 때문에 특별한 검증은 불필요하다. 다만 두 개별형식을 결합하는 구조에 대한 연결부에 대한 개념과 이에 대한 적절한 검증이 이루어졌는지를 중심으로 검토가 이루어 졌으며, 요약된 결론은 다음과 같다.

① 새로운 형식을 현장에 적용하는 경우에 있어, 막연한 두려움은 기술의 발전을 저해할 수 있으나 적합한 검증 없이 공공시설물인 교량에 활용된다면, 큰 사고를 초래할 수 있다. 따라서 새로운 교량형식을 현장에 적용하기 위해서는 구조 개념에 대한 기본 검증과 더불어 적절한 해석적 검증과 실험적 검증이 이루어져야 한다.

② 검토대상 교량구조에 있어서 가장 중요한 부분은 강박스거더 구조와 트러스 구조가 접합되는 부분으로서, 이에 대한 일련의 실험결과를 참조할 때 연구진에 의해 제안된 접합부의 시공방안 즉, 강상자 구조와 트러스 구조의 중첩부를 두는 방법은, 서로 다른 두 구조의 힘이 원활하게 전달되도록 하는 방법으로써 결합부를 보강하는 가장 명확한 방법이라고 할 수 있다. 또한 접합부의 위치를 힘이 크지 않은 곳에 위치하도록 구성하여 구조안전성을 높인 것으로 판단된다.

③ 검토대상 하이브리드 교량의 적정 경간장은 구조안전성 및 처짐/피로를 포함한 사용성능과 사용강중 등의 구조효율성을 고려하면, 80m~160m의 범위에서 경쟁력을 가질 수 있는 것으로 보인다.

④ 전반적인 구조해석과 응력검토는 도로교설계편람과 설계기준에서 제시하는 방법을 잘 활용하고 있으며, 구조해석 프로그램인 SAP2000을 사용하여 적절한 모델링 방법으로 단면력을 계산하고, 트러스 구조에 대하여 이축응력

사단법인 한국강구조학회

구조로 검토하고 있으므로 적합한 구조검토가 이루어고 있는 것으로 보인다. 특히, 중첩구간의 경우, 강박스거더 구조와 트러스 거더 구조가 중첩되어 있으나 구조해석에서는 트러스 구조만으로 모델링하고 있으며, 중첩구간에 충복식 다이아프램이 설치되어 있는 점으로 감안할 때 이러한 모델링 방법은 합리적이라 할 수 있다.

⑤ 기타 공사시방서 및 유지관리지침서는 일반 강교의 공사시방서 및 유지관리지침서에 준하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

상기한 내용을 종합하여 판단할 때, 검토대상 하이브리드 교량구조는 구조안전성과 구조효율성 및 미관을 감안할 때 경간장 80m에서 160m 사이의 교량에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

제작사: 주식회사 흥화공업

관계기관 의견서

기관명	(주)흥화	주요업태	강구조물제작
공법과 관련	강교제작관련업종 70년 실적 HiTAB 실험체 제작		

[의견내용]

당사는 강교제작 및 설치에 있어 70여년간의 실적을 가진 회사로 강교제작과 관련한 국내최고의 노하우와 실적을 보유하고 있습니다. 이러한 실적과 3회에 걸친 실험체 제작을 경험한 업체로서 HiTAB교량에 대한 의견은 다음과 같습니다.

강박스거더 구조와 트러스 구조는 제작성과 시공성이 검증된 구조입니다. HiTAB교량은 검증된 두 구조를 결합하고, 연결부를 중첩구간을 두는 구조입니다. 중첩부는 시공상세가 복잡하지 않고, 공장에서 제작되기 때문에 제작에 어려움이 없습니다. 기존 구조인 강박스 거더와 트러스뿐만 아니라 중첩구간 역시 강구조물로 제작하기에는 매우 용이하며, 이러한 점은 3차례의 실험체 제작을 통하여 확인하였습니다.

따라서 HiTAB 교량구조는 실제의 교량구조에 적용하기에 적합한 구조인 것으로 판단됩니다.

(주)흥화 포항공장장 성 기 현

강교감리회사: 코리아테크 인스펙션

관계기관 의견서

기관명	코리아테크인스펙션	주요업태	강교검사/감리
공법과 관련	강구조물 관련전문 검사기관		

[의견내용]

당사는 1991년에 설립되어, 검사기관의 선두주자로서 안전성확보, 품질 보증, 설계심사 등 각종 검사/감리 및 종합적 기술서비스를 제공하여 강교/철골/수문/선박 및 해양구조물 등의 강구조물분야에 전문성을 보유한 기업입니다.

국내의 장경간 교량 등 강구조물 분야에 많은 전문가를 보유한 기업으로서, 의견대상 교량구조인 HiTAB에 대한 의견을 다음과 같이 제시합니다.

검증된 구조를 활용한 HiTAB교량형식은 기존의 강교제작 및 검사기술을 통하여 안전하고 완성도 높은 제작/설치가 용이한 것으로 판단됩니다. 교번구간에 위치하는 연결부도 제작상세 및 구조상세가 명확하며, 품질검사도 용이하므로, HiTAB구조물의 제작/시공/유지관리는 용이하게 현장적용이 가능할 것으로 판단됩니다.

(주)코리아테크 인스펙션 하 만 석

8.3 유지관리 점검로

(1) 강박스거더의 유지관리 점검로

강박스거더교의 경우 하부구조인 교각에 설치하는 유지관리 점검시설과 더불어 박스거더 내부로 사람이 통과할 수 있도록, 출입구와 내부 다이아프램의 출입통로를 확보하여 유지관리를 실시한다.



하부구조의 유지관리시설

(2) 트러스 거더교의 유지관리 점검로

상로 트러스 거더교의 경우 하현재를 따라서 유지관리 점검로를 설치하며, 형고가 높은 경우에는 점검로를 2단으로 설치하여, 높은 곳의 유지관리를 실시할 수 있도록 하고 있다.



일반부 점검로



지점부 점검로

(3) HiTAB거더교의 유지관리 점검로

1) 강박스거더 구간

HiTAB거더교는 양쪽 교대부에서 교량으로 접근이 가능함으로 일반 강박스거더교량과 같이, 양쪽 교대부에 유지관리 점검로를 설치하고, 출입구를 통해서 개별 박스로의 이동이 가능하도록 하여 강박스거더 구간의 유지관리가 가능하도록 할 계획이다.

2) 중첩구간

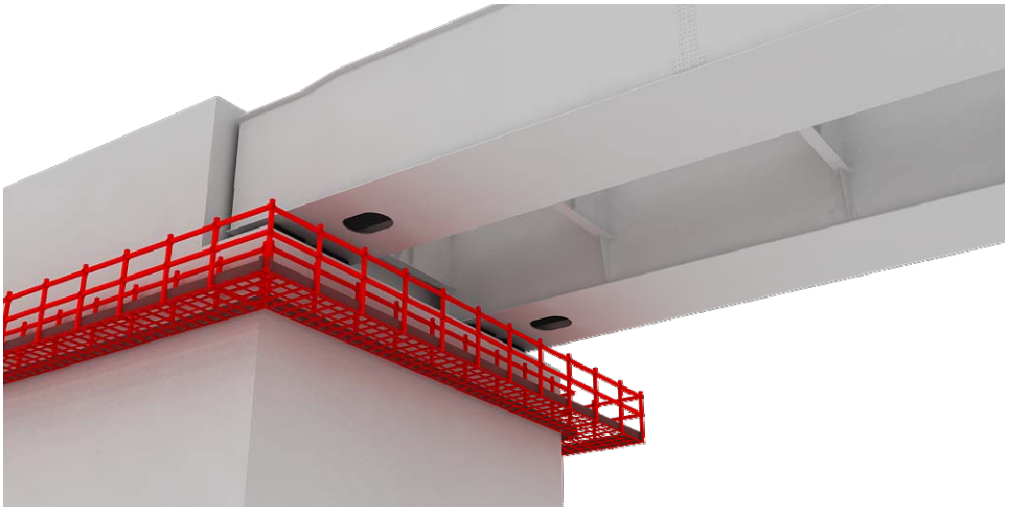
중첩구간도 강박스 구간이므로 점검시설은 강박스 거더교와 동일하다, 다만 일반 강박스 거더교량과 달리 중첩구간에 위치한 다이라프램에는 출입문을 설치하여, 불필요한 공기의 이동 등을 최소화 하며, 트러스 구간 유지관리 점검로가 시작된다.

3) 트러스구간

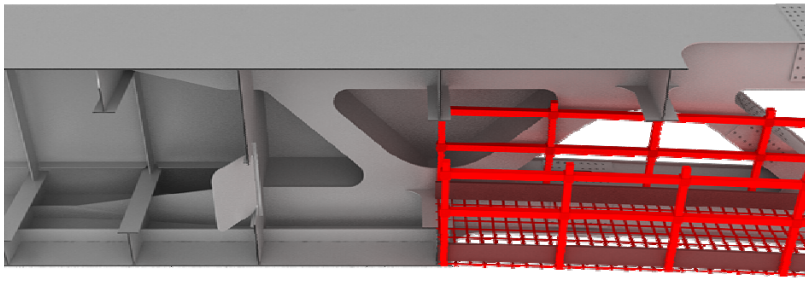
일반적인 트러스 구간과 같이 하현재를 따라 유지관리 점검로를 설치할 예정이며, 4m이상이 발생하지 않도록 점검로의 위치를 조정하거나 2단 점검로를 설치하여 원할한 유지관리 점검을 실시할 계획이다.

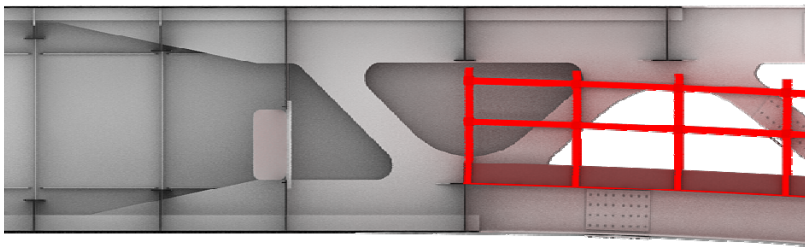
4) 개념도

- 교대부분 출입구

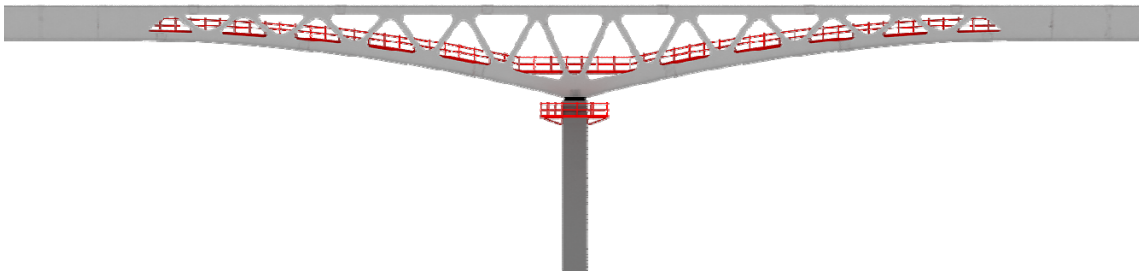


- 중첩구간

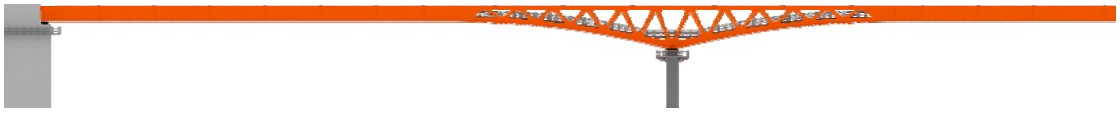




- 트러스 구간



- 전체 배치 형상



(4) 종합정리

HiTAB교량형식은 강박스거더 구조와 트러스 구조가 결합된 형식이므로 개별교량의 일반적인 유지관리법을 실시하되, 중첩구간에 있는 다이아프램에 출입문을 설치하고, 유지관리 점검로가 시작되도록 하여 교량의 전구간에 걸쳐 유지관리를 위한 통행이 편리하도록 할 계획이다.

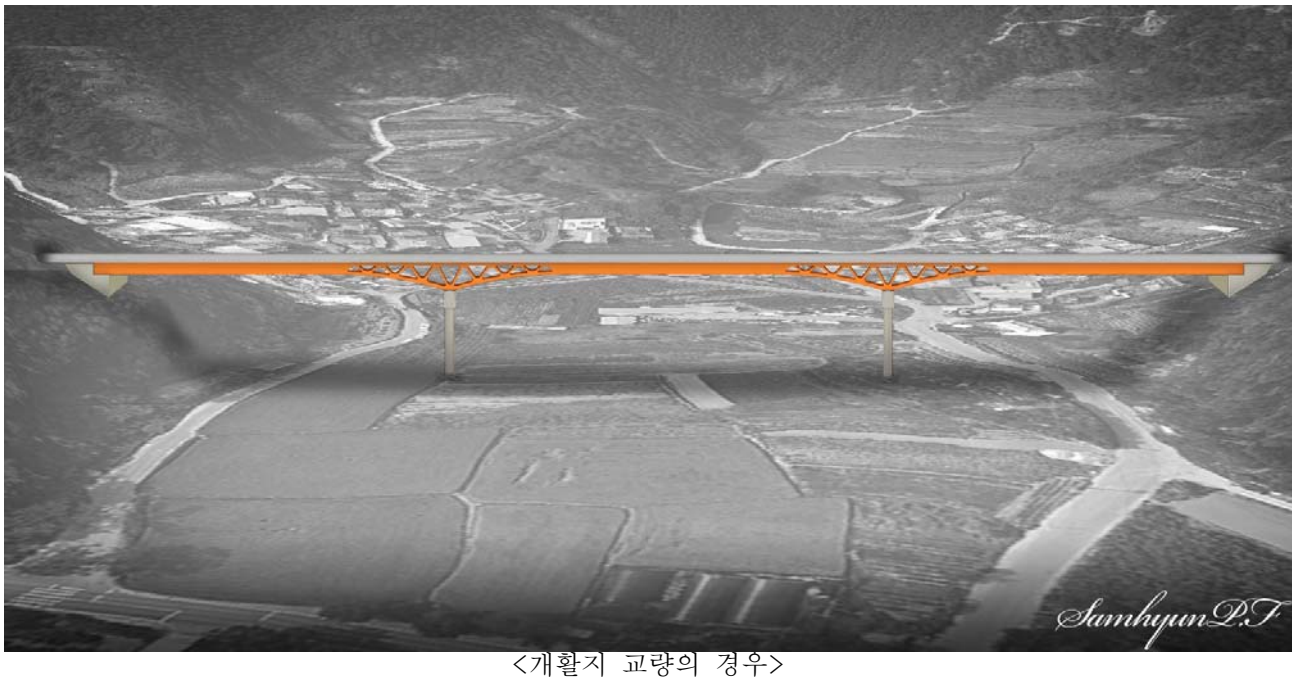
8.4 HiTAB의 경관



<도로횡단의 경우>



<해상교량의 경우>



<개활지 교량의 경우>

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표의 달성도

목 표	달성도 (%)	내 용
접합부 최적형상 도출	100	▶접합부 연결방식별 변수연구 (매개변수4개) ▶접합부 보강 최적상세 도출 -강박스단부 다이아프램 -상/하현재 L/4중첩 -상/하현재 다이아프램 관통 -복부&사재 연결 → 사재중첩 불필요 ▶접합부 상세 및 제작방법 특허출원 3건
고강도 재료 적용성 평가	100	▶HSB800강재 하이브리드 접합성능평가
연속지점부 설계 프로세스 개발	100	▶ 장경간 트러스 설계도서 수집 및 분석 -총5건, 경간장 80~480m ▶ 곡선트러스 기술자료수집 ▶ 콘크리트 바닥판 설계검토 방안 도출
접합부 설계방안 정립	100	▶트러스&접합부 강결모델 ▶설계예제작성
트러스 부재 제작 상세 개발	100	▶사재:I형, 현재:ㅁ형 ▶측면강판 일체제작
강상자 및 트러스 접합 프로세스 개발	100	▶접합부재의 제작 프로세스 개발 ▶세그부 연결방법에 대한 검토
접합부 제작성능 평가	100	▶접합부 시험체 제작 ▶강교 제작전문가 자문
접합부 상세 유한요소 해석	100	▶실험체에 대한 상세해석 적용 ▶접합방법별로 변수를 변경
접합부 피로성능평가	100	▶하이브리드구조 응력흐름/변형분석 ▶용접부 피로성능분석 ▶실험완료

목 표	달성도 (%)	내 용
설계자동화 프로그램 알고리즘 개발	100	▶ 설계자동화를 위한 알고리즘 개발 - 하이브리드 교량구조의 조건에 최적화 - 시공단계를 고려한 설계자동화 ▶ 객체지향 프로그램 기반으로 작성 - 모듈별 독립수행
교량형식에 따른 비교검토 연구	100	▶ 교량전체 구간을 강박스로 하는 경우에 대해 비교검토
설계지침 개발	100	▶ 하이브리드 구조용 설계지침 작성
시공 및 유지관리지침 개발	100	▶ 하이브리드 구조용 시공지침 작성 ▶ 하이브리드 구조용 유지관리지침 작성
30m 부모멘트부 시험체 제작성 평가	100	▶ 2@70=140m의 실교량 기반 실험체 제작 ▶ 실험체 제작성 평가 ▶ 이중합성 구조의 성능평가 ▶ 설계적용을 위한 결과도출
동적성능평가	100	▶ ISO기준의 의한 동적성능 및 진동평가 ▶ DMF검토를 통한 충격계수 검증
극한 내하력 평가	100	▶비선형 유한요소해석 평가 ▶극한하중 5,371kN(설계하중의 3.58배)
하이브리드 구조 곡선교량 상세분석	100	▶하이브리드 구조의 곡선교 적용시 구조거동해석 ▶하이브리드 곡선교량의 시공상세 선정을 위한 상세연구

목 표	달성도 (%)	내 용
경간장/형고별 설계표준화	100	▶ 설계표준화(80~150m) - 경간장별 표준 및 경제적 단면 도출 - 표준화 구조계산서 및 도면 작성
설계자동화 프로그램 개발	100	▶ 설계자동화 프로그램 : .net활용 - 구조계산서
경제성 분석	100	▶ 경제성 분석(80~150m) - 도로교 품셈 적용 설계공사비 산출 - 시험체 자료 근거 실행공사비 산출 ▶ 타공법 비교(FCM, ED교 등) - 실교량 적용실적 내역서 활용
Test Bed 적용	100	▶ 기존 교량 설계변경 및 신규설계 반영 ▶ 발주처/설계사/시공사 기술설명회
적용성 확대를 위한 시공상세개발 및 검증실험	100	▶ 곡선교 적용상세 실험 - 해석을 통한 곡선교 적용상세 선정 - 목표 곡률반경(R=300)의 실험체 제작 - 실험체의 비틀림 성능평가
한계상태 설계법 연구	100	▶ 개정설계기준 상세검토(2012.2) ▶ 하이브리드 교량구조와 관련된 설계항목 선정 및 검토법 결정 ▶ 설계도서 작성
선행기술조사	100	▶ 선행기술조사 - 국내외 유사특허 검토 - 국내외 유사기술 대비 경쟁력 분석

제 2 절 연구성과 및 관련분야 파급효과

1. 직접적 연구성과

과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준		
						목표수준		측정방법
						목표치	달성치	
1	강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조 개발	1-1	강상자 및 트러스 접합부 최적상세 개발	①	접합부 응력집중율	1.7 이하	1.6	접합부 집중응력 / 평균응력
				②	접합부 피로등급	C 이상	C	강상자 & 트러스(상/하현재) 및 보강재 용접부
		1-2	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계 프로세스 개발	①	장경간 교량 기술조사 건수	10건	27건	트러스(곡선교 포함) 교량 건수
				②	단위강중	400	480	2@100m 교면적당 강재중량(kgf/㎡)
		1-3	강상자 및 트러스 접합부 구조성능검증	①	접합부 피로성능	200만회	200만회	설계응력 반복회수 하중재하

사업연계지표	목표	목표건수	달성건수	증빙
	신소재/신공법	2건	2건	첨부4
	시제품제작	1건	1건	첨부4
	특허 출원/등록	2건	3건	첨부2

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준		
							목표수준		측정방법
							목표치	달성치	
성과 질적 목표 점검	1	강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조 개발	1-1	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 설계기술 개발	①	최대경간장	150m	160m	설계도서 및 성능검증서
					②	극한내하력검토	3배	3.58	부모멘트 실험결과 또는 비선형해석/설계강도
			1-2	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 시공기술 개발	①	비용절감효과	20%	10%	타 교량구조와 설계공사비 비교
					②	비틀림저항구조	R=400	R=300	비틀림저항구조 검토서
			1-3	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 구조성능검증	①	이중합성 강성기여도	10%	10%	부모멘트부 이중합성 전/후 트러스 상현재 응력감소비율
					②	부모멘트 바닥판 강성기여도	10%	10%	부모멘트부 바닥판 합성 전/후 트러스 상현재 응력감소비율
					③	동적성능	18분	24시간	2@150m ISO 쾌감감퇴경계곡선 만족 노출시간 (120km/h주행시)

양적 지표 점검	사업연계지표	목표	목표 건수	달성 건수	증빙
		지침/메뉴얼	2건	2	첨부6
		시제품제작	1건	1	첨부4
		국내외 학술지 논문게재 건수	2건	1	첨부1
		특허출원/등록	1건	3	첨부2

	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준		
							목표수준		측정방법
							목표치	달성치	
성과 질적 목표 점검	1	강상자 구조와 트러스 구조가 결합된 장경간 하이브리드 교량구조 개발	1-1	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화기술 개발	①	3-1 제작 공기	60일	60일	현장제작 제작공기 (120+150+120)
					②	3-2 단위공사비	200	200	100+120+100m 교면적당 공사비(만원/㎡)
					③	3-3 설계 합리화율	5	7	허용응력설계 강중 대비 한계상태설계 강중 절감율(%)
					④	3-4 곡률반경	300	300	곡선교 시험체 설계하중 저항 최소곡률반경(m)

	목표	목표 건수	달성 건수	증빙
양적 지표 점검	3-5 기술이전	1건	(1건)	
	3-6 Test Bed 설계적용	1건		
	3-7 프로그램 등록	1건	1건	첨부3
	3-8 시작품 제작(곡선교량)	1건	1건	첨부4
	3-9 사업화/제품화	1건	1건	첨부5
	3-10 국내외 학술지 논문게재 건수	1건	1건 (1건)	첨부1
	3-11 특허 출원	1건	3건	첨부2

사업연계지표

2. 파급 효과

가. 기술적 측면

강상자 및 트러스 접합부의 최적구조를 개발하고, 기존설계도서의 분석 등을 통하여 목표인 설계 및 시공기술개발을 위한 필요한 준비를 시행하였다.강상자 및 트러스의 기본 구조를 개발하고 구조물 적용성 평가부터 최종적인 하이브리드 교량 구조물 시스템 개발까지 실용화 기술이 확립된다면 기술개발 완료시 선진 수준 이상의 기술을 보유할 수 있다. 국제건설시장이 전면 개방이 될 경우, 현지 여건상 사회간접자본 시설 중 각종 도로나 지하철 등의 교통시설이 미흡한 동남아 및 중동의 여러 나라에 본 기술을 적용하여 해외수주가능. 특히 베트남 말레이시아와 같은 삼림이 많은 지역이나 산간지역에 진출가능하다.

본 기술이 보다 더 진보가 되고 발전이 된다면, 본 기술을 해외에 특허로 지정하여 제품의 생산이 아닌 기술력을 수출하는 새로운 고부가가치 창출가능 및 국제적으로 나아가는 발판 제공할 수 있다.

구조물 분야	개발 기술명	비교항목	현재수준 (2010)		연구종료시점 (2013)
교량	강상자 및 트러스 하이브리드 교량 상용화 기술	장경간화	-	→	80~150m
		공사기간 (강상형가설)	60일	→	40일
		교량상부 건설비용	240만원/m^2	→	200만원/m^2
선진수준과의 기술 격차			**-1년**	→	**+3년**

나. 사회·경제적 측면

강상자 및 트러스 하이브리드 교량은 80~150m까지 장경간화가 가능하여 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.

앞서 분석된 결과에서 80~150m 장경간 교량 적용시장은 연간 3,600억원 수준으로 강상자 및 트러스 하이브리드 교량은 기존 거더 대비 공사비를 20%이상 감소시켜 전체시장의 50%를 대치할 경우 약 360억원/년의 건설비용 절감 가능하다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 활용방안

1. 연구성과의 활용방안

본 개발기술은 80~150m 장경간에 적용 가능한 구조형식개발로 기존 강박스거더 및 PSC박스거더, 특수교량(아치, 트러스) 형식에 비해 제작공정이 단순하여 공사비를 20% 이상 절감할 수 있는 기술로, 설계표준화 및 설계 자동화 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반기술자도 쉽게 활용할 수 있도록 할 예정이다.



<고속도로 및 하천 횡단 장경간 교량 적용 예>

연구개발성과는 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 연구기간 내에 자연스럽게 활용될 수 있을 것으로 예상하며 건설신기술 획득으로 보급을 확대할 것이며, 계획 중인 사업에 Test Bed가 될 수 있도록 도로, 구조설계, 시공 경험을 다수 확보하고 있는 설계사와 건설사가 참여하여 핵심기술의 Test Bed가 될 수 있도록 할 예정이다. 연구성과의 현장적용을 위하여 다양한 프로젝트에 대한 검토가 진행중이며, 이 중 일부는 가시적인 성과가 나타나고 있다. 참여기업의 토목현장에 대하여도 설계변경을 통한 적용할 수 있도록 할 예정이다.

국내 건설사에 기술이전을 통한 해외사업 진출 지원이 될 수 있도록 기술 제공하고, 정기적인 기술 세미나, Web Site를 이용한 연구결과 홍보, 연구 성과물 특히 각종 Guide류의 배포 등 각종 기술홍보 활동을 통해 연구 참여업체 이외의 관련업체와도 공유할 계획이다.

2. 연구결과의 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

번호	기업명	업종	매출액 (2009)	고용현황	연구결과 활용 발전전망
1	삼현피에프	제작	350억원	57명	국내외 신형식 거더 제작
2	도화엔지니어링	엔지니어링	3,087억원	1,851명	국내외 신형식 거더 설계
3	한라건설	건설/시공	16,159억원	946 명	국내외 신형식 거더 시공
4	선구엔지니어링	엔지니어링	147억원	78명	국내외 신형식 거더 설계

주관연구기관이자 참여기업인 삼현피에프는 주로 교량관련사업을 수행하고 있으며, 대규모의 철구공장을 포항에 설립하여, 운영하고 있으며 최근 5년내에 7건의 국책과제에 참여한 실적이 있고, 주관연구기관으로도 연구를 수행한 경험이 있을 뿐만 아니라 2건의 신제품을 개발하여 실용화에 성공하는 등 활발한 기술개발을 진행하고 있어, 지속적인 발전을 이룰 수 있는 기업인 것으로 평가된다. 더욱이 2013년 국토교통술 테크놀로지 페어에서는 그 동안의 연구성과 실용화에 대한 우수기업으로 표창을 수상하였다. 공동연구기관이자 참여기업인 도화엔지니어링은 설계분야의 선두주자로, 도로/철도 등 다양한 분양의 설계업무를 진행하고 있으며, 초장대 사업단 등 다양한 연구과제도 수행하고 있어, 설계성과품 및 설계프로세스 개발에 최적인 연구기관으로 평가된다. 또한, 참여기업인 (주)선구엔지니어링은 최근 5년내에 국책과제 및 BK21 연구과제에 참여한 실적이 있으며, 자체 기술부설연구소 보유로 새로운 기술개발을 통한 지속적인 발전을 이룰 수 있는 기업인 것으로 평가되고, 참여기업인 한라건설은 최근 3년간 평균 성장률 24%로 괄목할만한 성장을 이루었고, 당사 시가총액 2,580억원(6월말 기준), 계열사인 (주)만도 등과 함께 미래 성장동력 마련을 위한 사업다각화 준비작업에 착수하였으며, 우량건설사로 도약할 수 있는 기반을 갖추고 있다.

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 예정이다.

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	협력방안								
			기업활용	장비활용	교육연계	기술상담	정보제공	기술지도	기술이전	공동연구	창업지원
1	삼현피에프	경쟁력 우위 신제품 개발/시공	V	V		V	V	V	V	V	
2	도화엔지니어링	공동연구 및 신기술 적용	V		V	V	V	V	V	V	
3	한라건설	공동연구 및 신기술 적용	V	V		V	V	V	V	V	
4	선구엔지니어링	공동연구 및 신기술 적용	V		V	V	V	V	V	V	
합계			4	2	2	4	4	4	4	4	0

3. 타 산업에 미치는 효과

공법 아이디어 개발, 적용성 평가 및 구조시스템 개발이라는 근본적인 기술공통성을 갖는 연구부문에서 기술적인 교류가 가능할 것으로 판단되며, 이번 연구의 성공사례는 건설 산업분야에 발전적 경쟁의식을 고취하도록 유도하여 건설산업 전반의 고부가가치화를 위한 공동개발로 연계될 가능성이 높다.

4. 정부 정책과의 연계 방안

신공법의 원활한 실용화를 위해서는 4년마다 개정되는 도로/철도교 설계기준 및 표준시방서 집필 및 심의위원들로부터 연구결과의 자문을 얻어 기준개정시 적극 반영할 예정이고, 신기술의 진보성, 구조안전성, 현장 적용성, 보급성 등을 검증하는 국토교통부 제정 건설신기술을 획득하여 실용화에 박차를 가할 예정이며 정부과제를 통한 연구결과의 공신력을 통한 표준화 기틀을 확립할 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음.

제 7 장 참고문헌

(1) 국토교통부, 제4차 건설기술진흥기본계획('08~'12) 수정안, 09.7 국토교통부 공보
(2) 국토교통부, 2008 국토교통부 도로교량 및 터널현황, 2009
(3) 국토교통부, 건설표준품셈, 2010
(4) 신성장동력 비젼 및 발전전략 공보, 2009.1, 국가과학기술위원회
(5) 차세대 시설물용 신재료 활용기술 연구보고서, 2009, 건설기술혁신사업 제 4차년도 중간보고서 (05건설핵심D09-01), 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원.
(6) S. Echigo et. al., 2008, Environmental load by CO2 gas shielded arc welding, Kawada Co. Technical Paper
(7) D. Schrank, T. Lomax, The 2007 urban mobility report, 2007.9, Texas Transportation Institute
(8) J.Widman, 1998, Environmental impact assessment of steel bridges, The 2nd World conf. on steel in construction
(9) E. Yonezawa et al., 2001, Environmental impact of steel bridges considering CO2 emission, JSCE structural engineering
(10) ASCE, 2010, FHWA Report card for American Infrastructure
(11) Bureau of transportation statics, 2008
(12) FHWA National Bridge Inventory (NBI 2008), 2009
(13) Reducing CO2 Emissions in the Global road transport sector, 2009, Japan automobile manufacturers association Inc.
(14) U.S. Department of Transportation, State Transportation Statics, 2006
(15) 미국 미시간대학, www.engineerdcomposites.com
(16) 미국 연방도로국(FHWA), http://www.fhwa.dot.gov
(17) 미국 철강협회(AISI), http://www.steel.org
(18) 미국 CERF, http://www.cerf.org/conmat
(19) 일본 건축연구소, http://www.kenken.go.jp
(20) 일본 국토기술정책총합연구소, http://www.nilim.go.jp
(21) 일본 토목연구소, http://www.pwri.go.jp
(22) 정보통신진흥연구원 중복방지지원시스템(N@RIS), http://www.naris.re.kr/
(23) 국토교통과학기술진흥원, http://www.kaia.re.kr

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.