건설기술혁신사업

R&D-11기술혁신B02

2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발 최종보고서

2014. 9. 28

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / ㈜포스코
공동연구기관 / ㈜포스코건설
/ ㈜동성엔지니어링
/ ㈜혜동브릿지

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발"과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 9 . 28

주관연구기관명 : ㈜포스코
주관연구책임자 : 이필구
연 구 원 : 김진국
" : 조광일
" : 양준모

공동연구기관명 : 포스코건설
공동연구책임자 : 전진택

공동연구기관명 : 동성엔지니어링
공동연구책임자 : 신재철

공동연구기관명 : 혜동브릿지
공동연구책임자 : 원용석

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술혁신
B02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.9.29.~
2014.9.28</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="3">단위과제명</td><td colspan="4">(공동/포스코건설) 단일 정착 PSC거더 시공기술개발</td></tr>
<tr><td colspan="4">(공동/동성Eng.) 단일 정착 PSC거더 설계기술개발</td></tr>
<tr><td colspan="4">(공동/혜동브릿지) 단일 정착 PSC거더 제작기술개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>이필구</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 51명
내부 : 51명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부: 841,000천원
기업: 558,271천원
계: 1,399,271천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">㈜포스코
철강솔루션센터</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">포스코건설, 동성Eng.,
혜동브릿지</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발
○2400MPa급 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발
○2400MPa급 모노텐던용 고정 정착시스템 사양 개발
○실물구조 대응 시험체 제작을 통한 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가
모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발
○시공단계를 고려한 설계 프로세스 개발 및 구조계산서 작성
○실규모 모노텐던 프리스트레스트 콘크리트 교량거더 제작 및 정/동적 구조성능평가
모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발
○설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비)
○설계단면 최적화 변수연구 및 설계자동화 프로그램 개발
○설계/시공/유지관리 가이드라인 개발
○실규모 시제품 제작 현장재하시험
○국토부 건설 신기술 신청 예정('14.12)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">모노텐던, PSC, 2160MPa, 단일정착, 교량거더</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Mono tendon, PSC, 2160MPa, Mono anchorage, Bridge girder</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

○ 최근 PSC거더교의 장경간화 추세에 따라 50m 이상의 교량이 제작되고 현장에 적용되고 있으나, 거더 단면내 강연선 배치가 3차원 형상을 가지면서 긴장 도중 거더의 교축 수직방향 횡변위가 발생하여 거더 제작, 가설 중 좌굴에 대한 문제가 제기되고 있다.
→ 텐던의 배치를 전 단면에 걸쳐 중심에 있게 하여 제작시 발생하는 횡변위 최소화

○ 최근 개발되는 고강도 콘크리트와 고강도 강연선을 적극적으로 활용하여 보다 합리적이고 경제적인 교량개발이 요구되고 있다.

○ 20~50m의 단경간 규모의 교량에서 가장 저렴한 구조형식인 PSC거더교에 2160MPa 이상(2160MPa 또는 2400MPa) 고강도 PS강선을 활용한 모노텐던(Mono Tendon)과 단일 정착시스템을 개발·적용하여 (1) 고성능 소재에 적합한 최적 구조시스템 개발을 통한 CO2 10% 절감; (2) 기존 PSC거더 대비 공사비 증가 없이 형고 20% 저감 및 미관향상; (3) 강연선에 균등인장력 도입을 통한 시공품질 및 내구성 향상할 수 있는 기술개발 및 개발제품의 사업화를 목적으로 하였다.

○ 이를 달성하기 위해서 이 연구과제에서는 연구범위를 다음과 같이 설정하였다.

- 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발
- 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발
- 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발

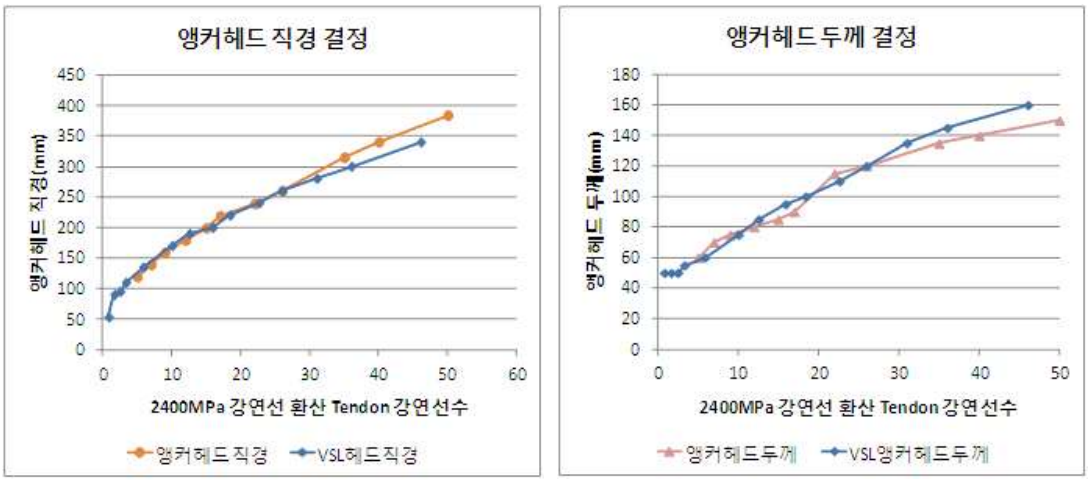
Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

1. 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발

가. 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발

(1) 기존 정착시스템 조사 및 분석

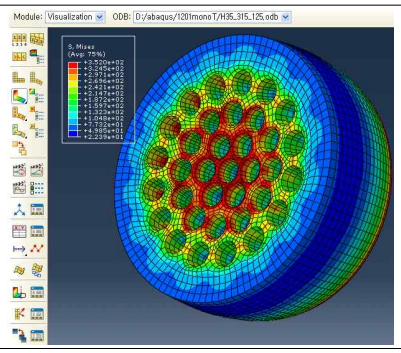
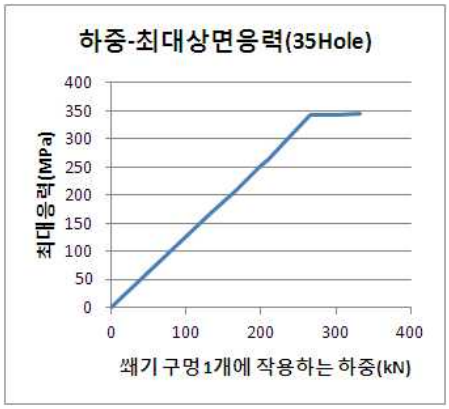
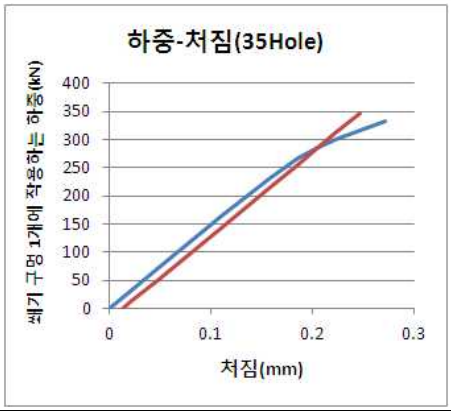
(2) 모노텐던과 정착구 제원 도출



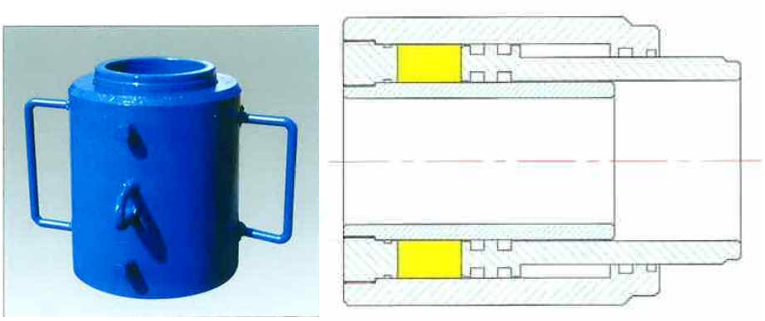
<그림 0.1 앵커헤드 제원결정>

(3) 정착구 유한요소해석: 변형/응력 검토 (구조해석)

<표 0.1 앵커헤드 해석결과>

35Hole 앵커헤드 해석결과	
	70%GUTS에서의 최대휨응력 : 264MPa (77%*fy) 95%GUTS에서의 변형 및 잔류변형 - 변형: 0.205mm - 잔류변형: 0.014mm - L/600: 0.4mm *강선1개당 GUTS=300kN(2160MPa)
	

(4) 전용 인장잭 설계 검토



<그림 0.2 인장잭 설계안>

<표 0.2 인장잭 설계안 비교>

분류		개별인장	52선 동시 인장	4분할 인장
앵커	앵커블록(정착장치)	52선용	52선용	13선용 x 4
	웨찌 수	52	52	52
유압실린더	용량(tf)	30	1,500	500
	스크로크(mm)	450	450	450
	내부홀 직경(mm)	20	300	160

나. 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가

(1) 모노텐던 정착장치 시제품 제작

<표 0.3 모노텐던 시제품 제작 프로세스>



(1) 강연선 절단



(2) 강연선 피복제거



(3) 정착 가이드부 설치



(4) 35Hole 앵커헤드 준비



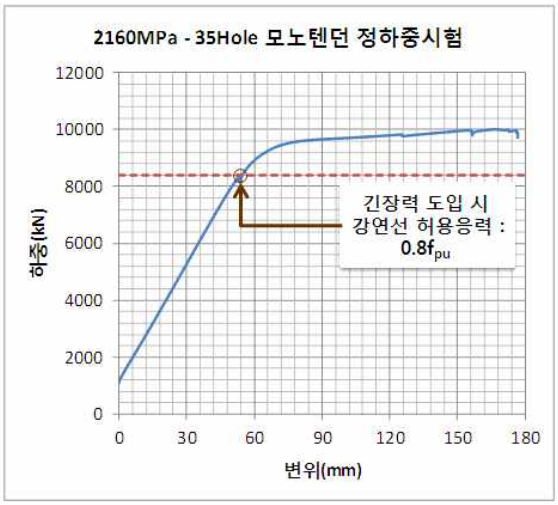
(5) 강연선 설치



(6) 강연선 다발 묶음

(2) 모노텐던 정착장치 성능평가





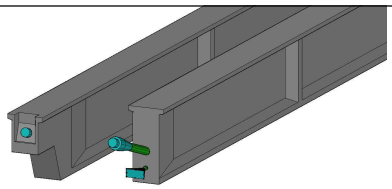
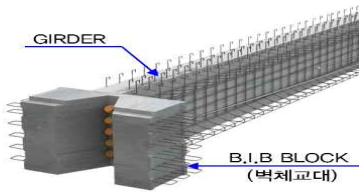
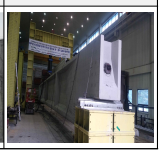
〈시험체 설치 전경〉 〈시험결과〉

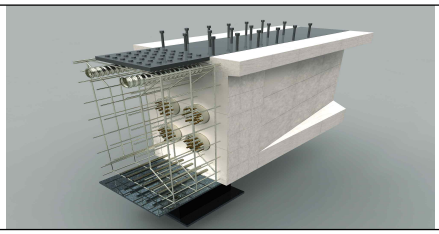
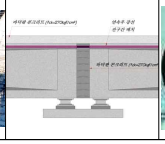
<그림 0.3 모노텐던 시제품 성능평가>

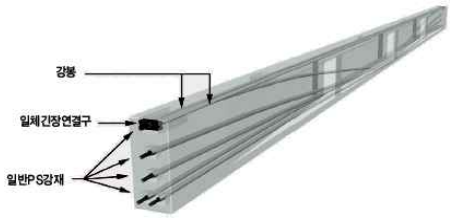
다. 국내외 PSC거더 공법 분석

(1) PSC거더 공법 비교

<표 0.4 PSC거더 공법 비교>

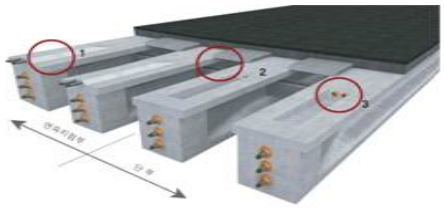
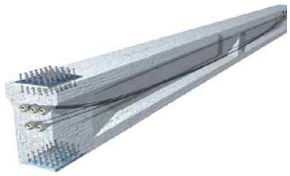
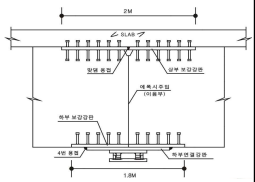
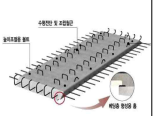
<table>
<tr><th>구 분</th><th>MPC GIRDER교</th><th>EX-B.I.B 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>단부거더 절취로 무게중심을 하향시켜 전도저항을 증대하고 전도방지시설 미설치에 따른 공기단축과 모노텐던 강연선을 멀티로 긴장시켜 균등한 인장력을 도입. 강연선 신뢰성을 확보하여 구조 안전성 확보 및 경제성을 추구하는 PSC공법</td><td>프리스트레스 콘크리트 거더와 벽체교대를 일체형으로 제작 후, 바닥판과 벽체 교대를 일체화한 반일체식 교대 교량에 적용하는 거더로, 시공효율성 및 기계적 신축이음장치 제거를 통하여 경제성, 주행성 및 유지관리 향상을 추구한 공법임.</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m^2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.64</td><td>69</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.84</td><td>70</td></tr>
<tr><td>40</td><td>2.14</td><td>71</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.44</td><td>73</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>70</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>71</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>73</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.8</td><td>75</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>정착구 및
강연선설치</th><th>강연선
1회 긴장</th><th>단면형상</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 모노텐던 강연선을 멀티로 긴장하여 균등한 인장력을 도입함으로써 강연선의 구조적 안전성 확보
◆ 고강도 Mono tendon을 이용하여 최소긴장
◆ 비부착 강연선 사용으로 마찰손실 최소화</td><td>
<table>
<tr><th>거더와벽체교대
일괄제작 및 거치</th><th>무다짐 뒤채움</th><th>신축조절장치
(채움재)</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 벽체교대 프리캐스트 제작·거치로 급속 시공 및 후속공정 최소화로 시공성 및 내구성 향상
◆ 신축이음장치 배체 및 포장 연속화로 주행성 및 사용성 증대
◆ 지진시 벽체교대와 뒤채움재 상호거동으로 내진성능향상</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◆ 무게중심 하향으로 전도가 발생하지 않고 전도방지시설(와이어로프/지지철근/턴버클 등) 미설치로 시공성이 용이
◆ 현장에서 발생하는 어떠한 외기의 하중에도 전도 미발생
◆ 쉬스관 및 그라우팅을 배제하여 강연선의 시공품질을 확보할 수 있어 경제성과 신뢰성이 확보됨
◆ 단부거더 절취로 종단 선형이 하향됨으로써 성토량 절감 및 편입용지가 축소됨으로써 여유공간 확보가 유리
◆ 전도방지시설이 필요 없어 거더 운반 및 설치 시 공사기간 감소효과</td><td>◆ 1회 긴장방식의 PSC Beam을 활용한 공법으로, 공법 적용이 용이
◆ 거더와 벽체교대를 일괄 제작 거치함으로, 시공성 및 내구성 향상과 후속 공정 최소화
◆ 신축이음장치 미설치 및 교대 효율화에 따른 초기공사비 절감으로 경제성 향상
◆ 신축이음장치 미설치로 인한 주행성 향상, 소음감소
◆ 거더 단부의 BIB BLOCK설치로 거더 가설 및 바닥판 시공시 전도위험 배제
◆ 지진시 벽체교대와 뒤채움재료의 상호거동으로 Damping효과 발생으로 내진성능향상
◆ 시공실적 보통</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-1325154호/ 국토교통과학기술진흥원 R&D연구과제(2011.9~2014.9)</td><td>특허 제 10-1034013 호</td></tr>
</table>

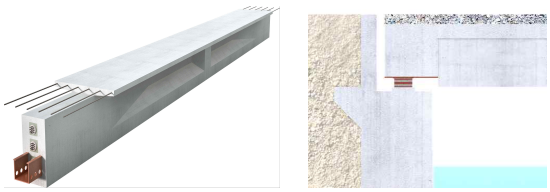
<table>
<tr><th>구 분</th><th>IPC GIRDER교</th><th>PSC e-BEAM교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>시공단계별 하중상태를 고려하여 긴장력을 단계적으로 도입함으로써 단면효율을 극대화하여 형고와 자중을 줄임으로써 장경간이 가능하도록 한 공법</td><td>상부플랜지에 강판을 합성시켜 편심효율성을 증대시키고 연속지점부를 강판+철근+PS긴장재로 일체화시키며 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입하는 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m^2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>72</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>77</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>82</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>84</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.4</td><td>72</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.7</td><td>78</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>82</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.3</td><td>85</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>2차강선
삽입/긴장</th><th>연속지점부</th><th>유지관리</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력 도입
◆ 2차 정착구에 같이 매설된 비부착강선이 추후 유지관리강선 역할
◆ 측면 정착구를 이용한 2차 인장으로 연속 지점부 연결
</td><td>
<table>
<tr><th>빔현장제작</th><th>연속부
1shoe적용</th><th>유지관리
정착구설치</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 구조적 연속화(강판+철근+PS강연선)로슬래브 균열억제
◆ 연속지점부 완전연속화(1Shoe)로 슬래브 균열 발생방지
◆ 유지보수용 쉬스관이 별도 내장되어 유지관리 효율 매우 높음
</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◆ 기존 PSC 빔과 유사한 공정으로 제작 및 거치가 간단함
◆ 시공단계의 하중증가 및 슬래브와의 합성유무를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입한 효율적인 단면 설계 가능
◆ 전단면 압축응력으로 인장응력이 발생치 않아 균열 안전성이 우수함
◆ 2차 연속강선 및 거더간 철근 강결로 연속지점부에 대한 구조적 안정성확보
◆ 보수·보강을 고려한 설계로 유지관리 편리, 비용 저렴
◆ 설계(약2,000여 개소) 및 시공(약900여 개소) 실적 다수</td><td>◆ 중앙부 상부플랜지 강재배치로 PS긴장재의 편심효율성증대
◆ 사용하중하에서 Full Prestressing하므로 인장균열 미발생
◆ 일반적인 PSC빔과 유사한 제작공정으로 시공이 용이함
◆ 기존 PSC빔대비 형고가 낮아 가설시 전도위험이 낮음
◆ PF빔교 수준의 낮은 형고로 형하공간 확보가 용이하고 성토고를 줄일 수 있음
◆ 일반적인 PSC빔수준의 공사비로 경제성우수
◆ 시공실적 다수</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제0301431호</td><td>신기술 제517호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>TOP GIRDER교</th><th>BICON GIRDER교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>한쌍의 CFT(Concrete FilledSteel Tube System) 버팀대를 이용하여 제작되는 프리텐션 방식의 PSC 거더로서 지점별 단면을 최적화 하여 기 존 포스트텐션공법에 비해 정착구,쉬스관 등의 제작공정 생략으로 공사비를 절감하는 프리텐션 공법</td><td>역T형의 고강도 콘크리트 단면 상연에 강봉을 삽입하여 PS강선 긴장시 발생하는 압축력을 강봉이 부담하고 콘크리트 단면에는 대편심 휨 모멘트만을 발생시켜 거더 상연의 과압축을 피하면서 단1회의 긴장만으로 저형고화 할 수 있는 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td><table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>73</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>79</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>85</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>87</td></tr>
</table></td><td><table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m²)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.55</td><td>71</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.75</td><td>75</td></tr>
<tr><td>40</td><td>2.05</td><td>81</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.35</td><td>83</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td><table>
<tr><th>이동식 프리텐션
제작시스템</th><th>거더가설</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

이동식프리텐션 제작시스템을 적용하 여 현장 Prestressing의 도입이 가능
최적의 단면형상을 적용하여 거더 효 율 극대화
정착구, 쉬스관 및 그라우팅의 공사비 절 감
</td><td><table>
<tr><th>빔제작</th><th>역T형단면</th><th>일체긴장부</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

단 1회의 긴장만으로 저형고화 할 수 있는 프리스트레스 콘크리트공법
거더상연의 단면이 작아 배수계획에 유리하고 전도위험이 낮다
역T형 단면으로 완공 후 동일 형고 대비 처짐 및 진동에 대한 사용성이 유리
</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>
콘크리트 단면내 PS강선의 대칭배치로 좌굴에 대한 위험성 감소
고강도 콘크리트(fck=45~60MPa) 사용으로 공기단축
Long-Line 방식 적용으로 시공성우수
철근과 쉬스관의 간섭문제 해결
단부 정착부 불필요 및 철근 가공, 조립이 단순
정착구, 쉬스관, 그라우팅의 공사비 절감
Long-Line 공법의 대량생산으로 공사비 절감
유지관리비용 매우 저렴
이동식 프리텐션 제작장치의 반복 활용으로 공사비 절감
시공실적 보통
</td><td>
다단계 긴장배제와 공정 간소화로 시공성 우수
강합성 계열에 비해 형고가 높으므로 처짐 및 진동에 대한 사용성에 유리
빔 운반 및 가설시 무게중심이 낮아 전도 위험이 대폭 감소
거더 단면만으로 공용하중에 저항하므로 별도의 추가 공정 없이 바닥판 교체가 가능
비부착강선(정착구당 2가닥)을 이용한 유지 보수가능
BiCon거더 우수조달제품선정(국내최초)
시공실적 다수
</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제1080942호</td><td>특허 제10-0589797호/신기술 제603호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>DR GIRDER교</th><th>UDPSC 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>PSC 빔단면과 반단면 프리캐스트 바닥판을 이용하여 비합성 상태에서 긴장력을 도입하여 강선의 도입효율을 높이고, 연속화 강선의 편심량을 극대화하여 구조적 효율성 및 경제성을 추구한 공법</td><td>빔을 거치 연결 시킨 후 상승. 하강과정을 통해 슬래브 바닥판 콘크리트에 압축응력을 도입한 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>   </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td><table><tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr><tr><td>30</td><td>1.1</td><td>72</td></tr><tr><td>35</td><td>1.4</td><td>79</td></tr><tr><td>37.5</td><td>1.7</td><td>84</td></tr><tr><td>40</td><td>1.7</td><td>86</td></tr></table></td><td><table><tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr><tr><td>30</td><td>1.55</td><td>72</td></tr><tr><td>35</td><td>1.75</td><td>73</td></tr><tr><td>37.5</td><td>1.95</td><td>74</td></tr><tr><td>40</td><td>2.05</td><td>75</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td><table><tr><th>빔제작</th><th>Precas
부재사용</th><th>2차긴장/
유지관리</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr></table>◆ 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력 도입
◆ 전경간 연속배치된 2차강선이 연속부강선역할 겸용
◆ 조립식가로보 적용으로 시공성 및 안전성향상</td><td><table><tr><th>빔제작</th><th>빔 연결</th><th>up-down</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr></table>◆ 슬래브 압축력도입을 위한 빔상승하강 공정추가
◆ 내측 지점부 바닥판에 도입된 압축력으로 내하력을 증가 시키고 주장률 철근 불필요
◆ 연결부(교각) 위치에서 1 shoe 사용</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◆ 프리캐스트 바닥판 적용으로 거더 효율성 및 시공성 향상, 공기단축 가능
◆ 슬래브설치에 따른 고공작업 생략으로 작업환경 개선 및 안전성 증진
◆ 교상면에서 2차긴장작업 시행으로 긴장작업 효율성 및 품질 관리에 유리
◆ 장경간 연속화로 국내 55M 실적 보유
◆ 거더단면이 곡선형이고 복부에 마디가 없어 미관성 매우 우수
◆ 낮은형고와 효율적인단면으로 주자재량이 감소하여 경제성 우수
◆ 시공실적 다수</td><td>◆ 사용하중하에서 Full Prestressing으로 인장균열 미발생
◆ 슬래브 콘크리트 강도가 높아 내구성 높음
◆ 일반 PSC빔 보다 형고가 낮아 SLENDER한 미관
◆ 교각부 1 shoe 사용으로 인하여 shoe 교체비용 감소
◆ 공사비 저렴
◆ 시공실적 다수</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-0724739호/신기술582호</td><td>특허 0283603호, 신기술 270호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>S-PSC 거더교</th><th>SOC 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>거더단부에 단차를 두어 거더 하단과 받침 하면을 일치시켜 도로 계획고를 감소시키며 긴장력 1회 도입으로 공사비를 절감시킨 PSC 공법</td><td>거더 중앙 상부 일부구간에 돌출된 콘크리트 블록을 설치하여 단면 강성증진을 통한 초기긴장력 극대화 및 강선의 긴장력 효율성을 극대화하여 장경간 저형고가 가능한 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.24</td><td>73</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.44</td><td>74</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.74</td><td>75</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.74</td><td>75</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>70</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.5</td><td>72</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.7</td><td>73</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.0</td><td>75</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>거더제작</th><th>강연선 긴장</th><th>프리캐스트
거푸집설치</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

거더하단과 받침하면을 일치시켜 거더형고 감소효과로 하천적용성(통수단면 확보) 우수
단면 최적화로 강성을 증가시켜 거더 형고 감소
거더 중앙부 PSC거더, 단부는 돌출강재 적용한 효율적 합성부재

</td><td>
<table>
<tr><th>거더및블럭제작</th><th>Ps강선긴장</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

거더단면이 곡선형이고 복부에 마디가 없어 미관성 매우 우수
1회의 긴장으로 시공의 편의성 도모 및 기존 저형고 PSC 거더에 비해 15~20% 공사비 절감

</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>

교량 중앙부 콘크리트 프리캐스트 거푸집 도입으로 동바리 불필요하여 시공안전성 향상
다단계 긴장 불필요로 추가 공사비 절감
연속 지점부를 슬래브로 연결처리 (철근 보강)
돌출강재에 철근삽입으로 가로보 일체화 및 구조안전성 향상
낮은형고와 효율적인 단면으로 주자재량이 감소하여 경제성 우수
시공실적 없음

</td><td>

거더 상면 콘크리트 블록 설치로 단면 강성 증가 및 PS 효율 증대
콘크리트 블록 바닥판 매립으로 형고 감소
2차긴장 공정 생략 및 강재, 강봉 등의 부재 미설치로 시공성 및 경제성 우수
낮은형고와 효율적인단면으로 주 자재량이 감소하여 경제성 우수
시공실적 작음

</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-1314854호</td><td>특허 제 10-1012402호</td></tr>
</table>

(2) 모노텐던 단일 정착 PSC거더의 시공프로세스 정립

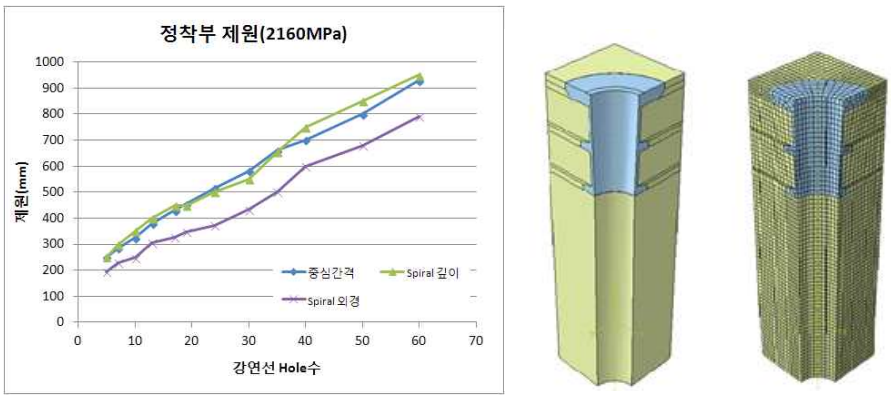
<표 0.5 모노텐던 단일 정착 PSC거더와 일반 PSC거더의 시공프로세스 비교>

NO.	작업명	일반 PSC거더 세부 작업 내용	모노텐던과 단일정착 PSC거더 세부 작업 내용
1	제작대 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치 · 솔플레이트 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치 · 솔플레이트 설치
2	철근 가공 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · 철근조립 · 쉬스(Sheath)관 설치 · 인양고리 설치 · 정착구 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · 모노텐던 설치 · 철근 조립 · 모노텐던 보호캡 설치 · 인양고리 설치 · 정착구 조립
3	강재 거푸집 설치	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립 · P.E관 삽입	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립
4	콘크리트 타설	· 레미콘 타설	· 레미콘 타설
5	양생 및 거푸집 해체	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생 · 거푸집 해체 · 자연양생	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생 · 거푸집 해체 · 자연양생
6	긴장 및 그라우팅	· PS강선 삽입 · 헤드 및 웨찌 설치 · 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 그라우팅 유입 파이프 설치 · 정착장치 몰탈처리 · 그라우팅 작업 · 그라우팅 양생	· 헤드 및 웨찌 설치 · 모노텐던 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 정착장치 몰탈처리
7	작업 종료	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설

2. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발

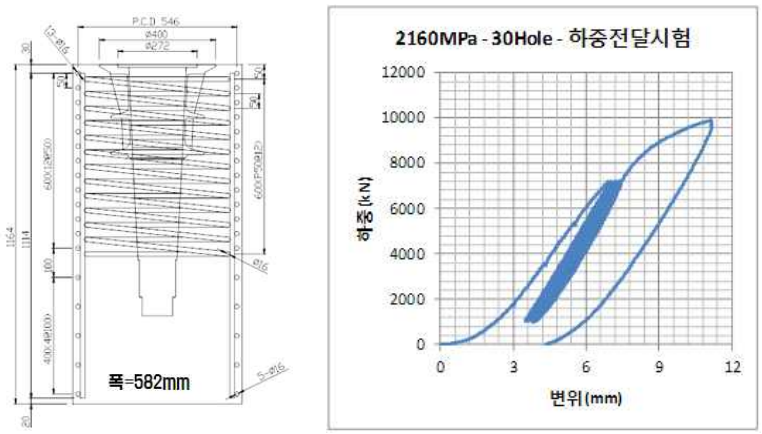
가. 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 적용성 평가

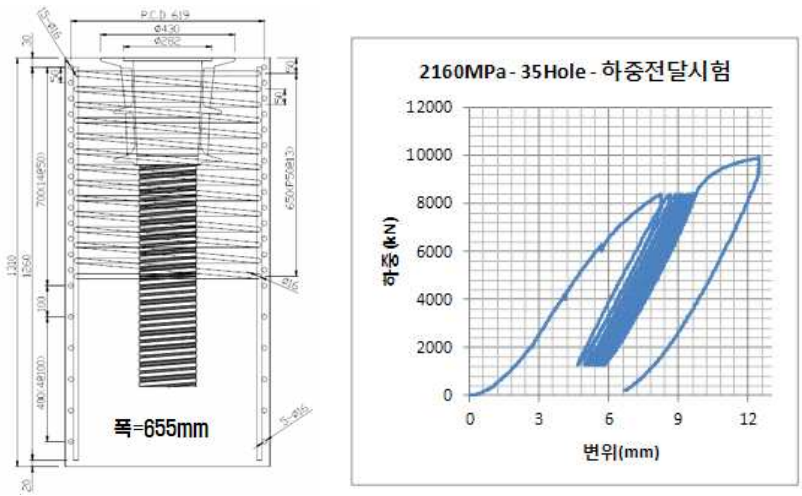
(1) 단일 정착시스템 정착부 상세 개발



<그림 0.5 정착부 제원결정>

(2) 모노텐던 단일정착시스템 구조성능평가





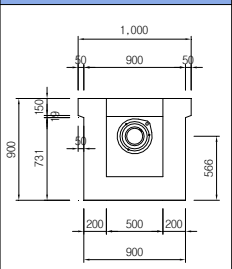
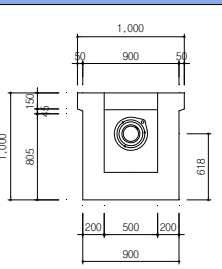
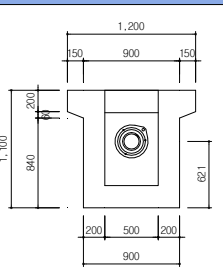
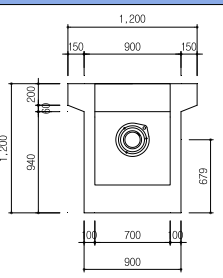
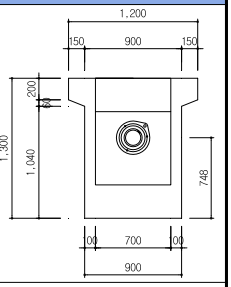
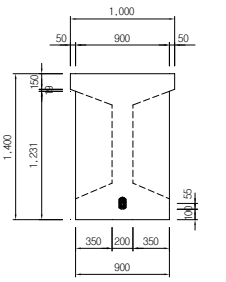
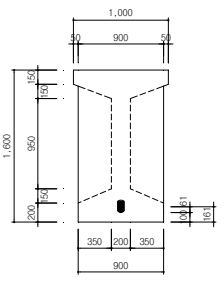
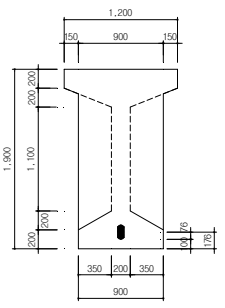
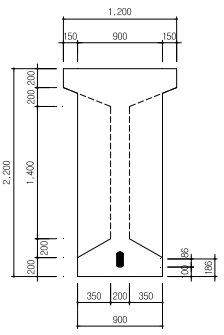
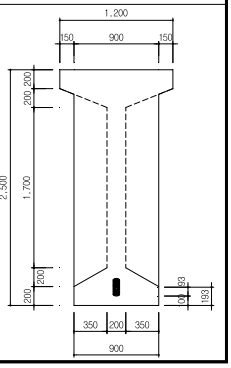
<그림 0.6 모노텐던 단일 정착시스템 하중전달시험>

나. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 정립

(1) 모노텐던 단일정착 PSC거더 설계법 정립 및 표준단면 설계

: 거더 단면을 최적화 할 수 있는 설계변수 중 재료강도 측면에서 효율적으로 사용할 수 있는 콘크리트 강도 45MPa, 강연선 강도 2400MPa로 결정하였다.

<표 0.6 모노텐던 단일 정착 PSC거더 표준도 - 도로교>

구분	30m 단면	35m 단면	40m 단면	45m 단면	50m 단면
검토단면 (단부)					
검토단면 (중앙부)					

(2) 모노텐던 단일정착 PSC거더 시공성 및 경제성 평가

<표 0.7 모노텐던 단일 정착 PSC거더와 일반 PSC거더의 시공성 비교>

<기존 PSC거더와 모노텐던 거더의 시공성 비교평가 - 3@30.0=90.0m (3경간 × 8본 = 24본), 거푸집 4조 투입조건>

공 종	소요일정	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
장비 및 인력 투입	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
거푸집 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
철근 가공 조립	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
쉬스관 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
강연선 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
콘크리트 타설	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
거푸집 조립 및 해체	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
콘크리트 양생 및 탈형	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
강연선 긴장	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
그라우팅 및 마무리	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
가 설	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
● 소요일정	기존PSC	소요 공기 : 73일																																					
	모노텐던PSC	소요 공기 : 58일																																					

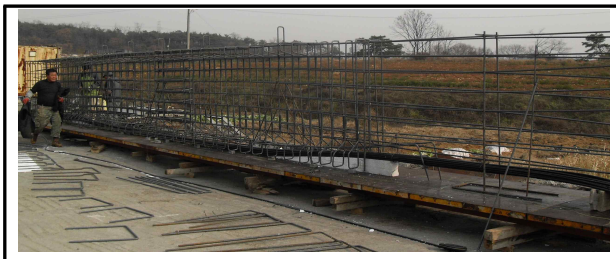
<표 0.8 모노텐던 단일 정착 PSC거더와 개량형 PSC거더의 경제성 비교>

구 분	연장(L) = 30.0m	연장(L) = 40.0m	연장(L) = 50.0m
모노텐던 PSC거더	22,488,878 원/본	34,265,362 원/본	47,380,095 원/본
IPC 거더	24,292,946 원/본	36,421,045 원/본	54,688,244 원/본
PSC e-Beam	25,873,591 원/본	41,753,834 원/본	62,630,689 원/본

다. 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 제작 및 제작성 평가

(1) 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 제작 및 제작성 평가

<표 0.9 모노텐던 단일 정착 PSC거더 제작성 평가>



하면거푸집 설치 및 철근조립





정착구 설치



거푸집 설치 및 콘크리트 타설



거푸집 탈영 및 양생





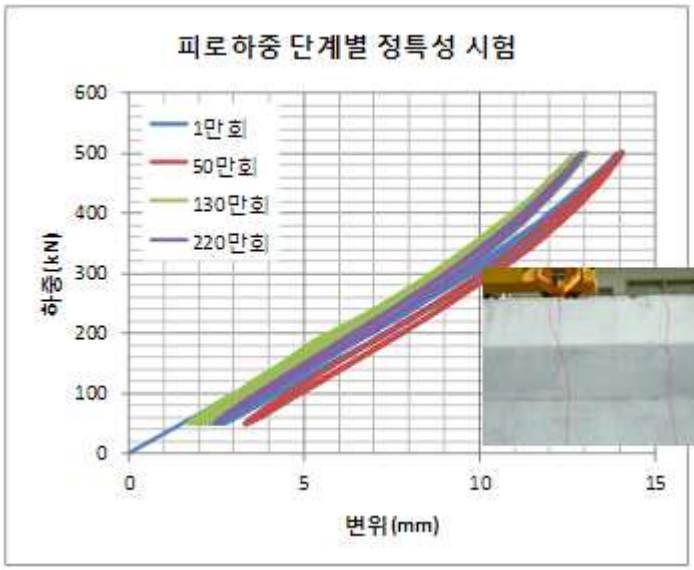
강연선 긴장 (1회)



거더 시험체 운반

(2) 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 정/동적 성능평가



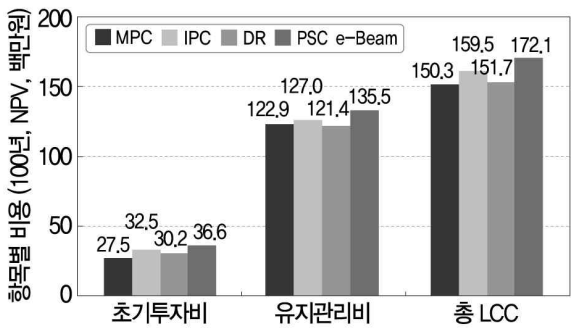
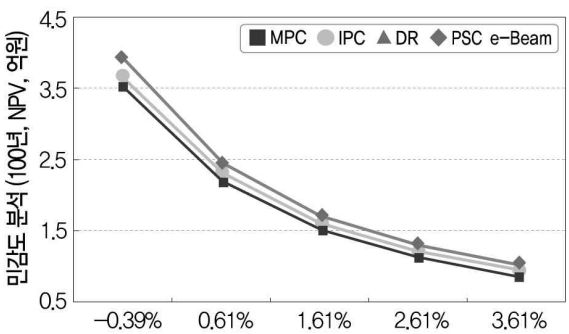


<그림 0.7 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 정/동적 성능평가>

3. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발

가. 단일정착 PSC BEAM교 LCC 분석

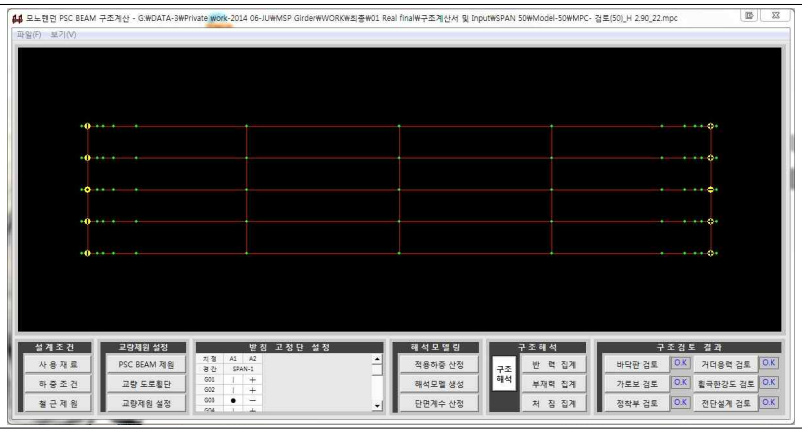
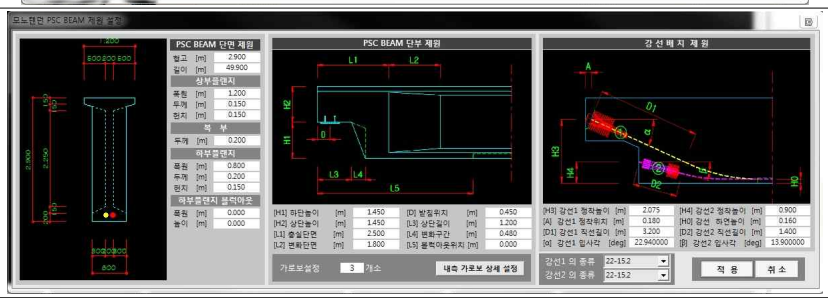
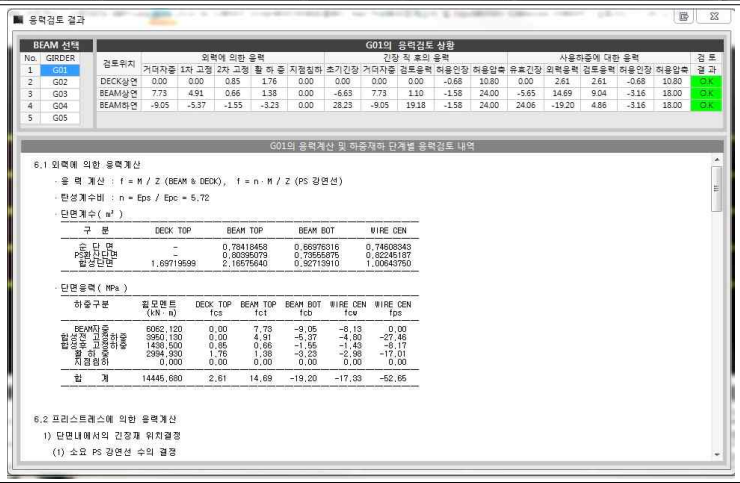
<표 0.11 단일정착 PSC BEAM교 LCC 비교>

비용항목별 분석결과	할인율 민감도분석
	
총LCC(현재가) = 초기투자비 + 유지관리비(현재가) MPC 거더의 LCC가 비교안 중 최소값임	기준할인율(1.61%) ± 2.0% 분석 -0.39% ~ 3.61% 범위 내에서는 결과값 변동없음

나. 설계자동화 프로그램 개발

(1) 설계자동화 프로그램 개발

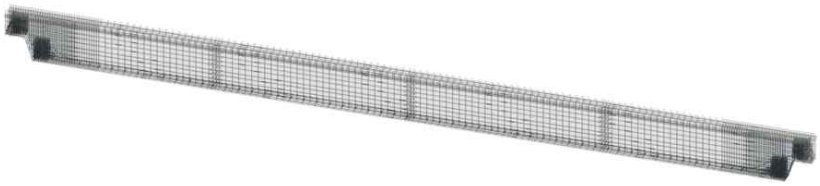
<표 0.12 단일정착 PSC BEAM교 설계자동화 프로그램>

	프로그램
	거더제원 설정
	거더응력검토

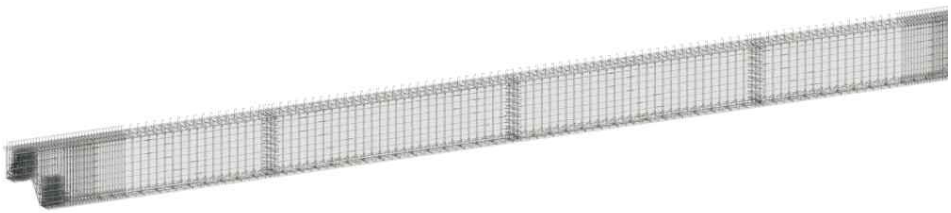
(2) 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 개발 BIM 기반 모델링

<표 0.13 단일정착 PSC BEAM교의 BIM 적용 시공성 평가>

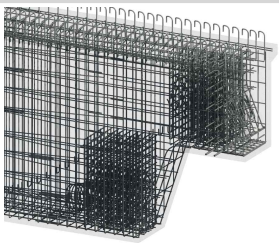
1) 3D View



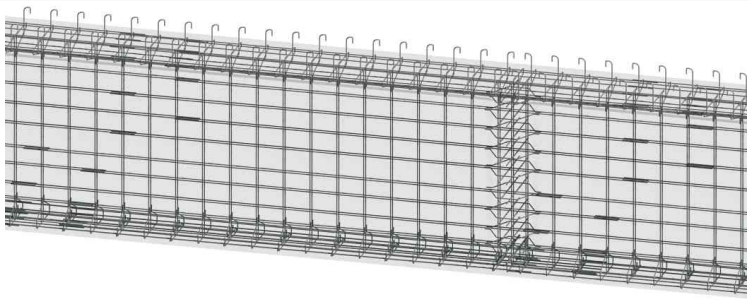
2) 3D View



3) 단부



4) 중앙부



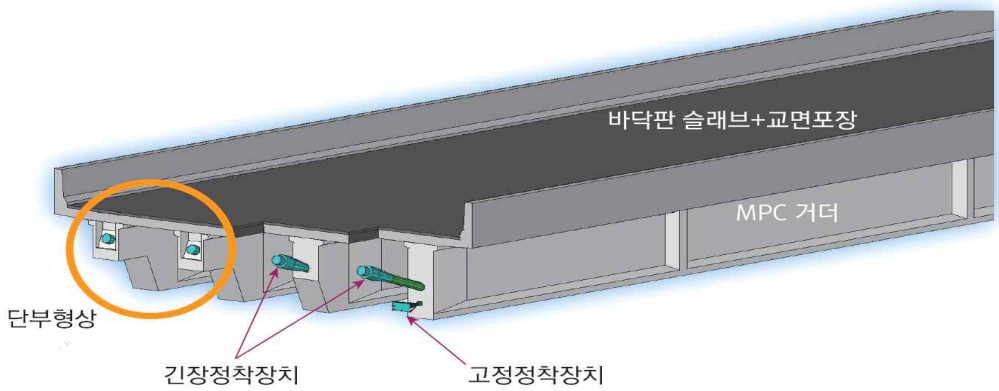
다. 설계/시공/유지관리 가이드라인 개발

(1) MPC거더의 제작 및 가설공사에 대한 공사시방서 개발

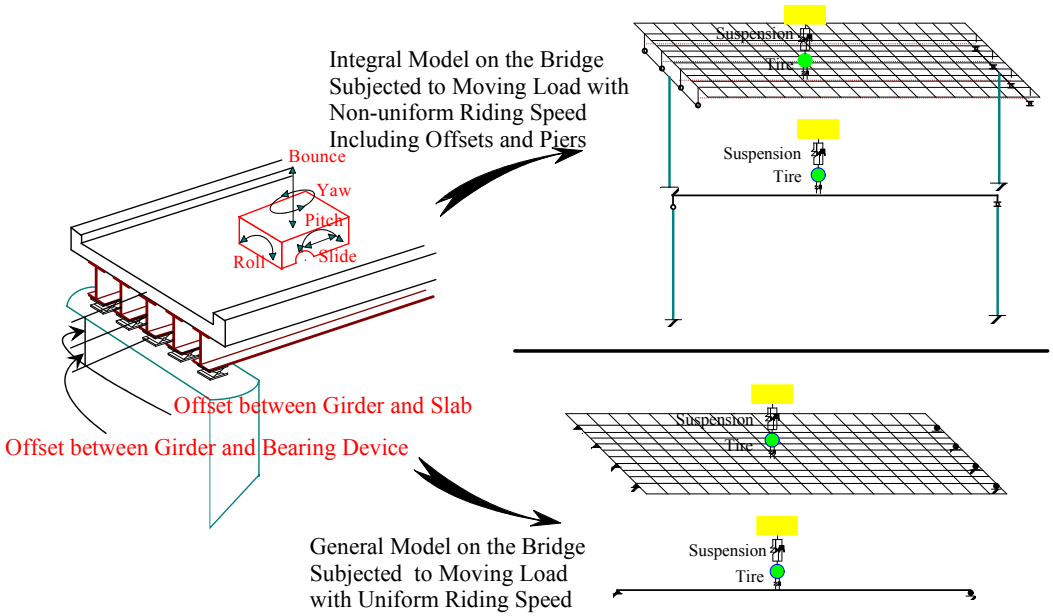
(2) MPC거더의 공용중 유지관리에 대한 지침서 개발

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

1. Test Bed 적용을 위한 철도교 동특성 해석



<MPC거더 교량>



<그림 0.8 교량 동특성평가 해석모델>

- 25m 경간의 경우 일반열차 운행 시의 연직처짐, 연직가속도, 면틀림 기준을 모두 만족하나, 고속열차의 경우엔 연직변위 기준에 대해 HEMU-430X 440km/h 주행 시 승차감 확보를 위한 제한 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 가속도 기준은 25m 단선 콘크리트궤도 교량의 경우 KTX 350km/h 이상 주행 시, HEMU-430X 400km/h 이상 주행 시 제한기준을 초과하며, 25m 단선 자갈궤도 교량의 경우 KTX 320km/h 이상 주행 시, HEMU-430X 340km/h 이상 주행 시 제한기준을 초과한다. 복선 교량의 경우엔 단선 교량보다는 최대값이 작게 산출되며, 25m 복선 콘크리트궤도 교량의 경우 KTX 350km/h 이상 주행 시에만, HEMU-430X 450km/h 이상 주행 시에만 제한기준을 초과하며, 이는 KTX와 HEMU-430X의 실 운행속도를 고려하면 문제가 없다고 판단된다. 25m 복선 자갈궤도 교량의 경우 KTX 320km/h 이상 주행 시에만, HEMU-430X 400km/h 이상 주

행 시 제한기준을 초과한다.

- 30m 경간의 경우 단선과 복선 철도교량 모두 일반/고속열차 주행 시 연직처짐과 면틀림 기준을 모두 만족하나, 가속도 기준 일부 초과하는 경우가 나타났다. KTX에 대해서는 공진소멸 지간과의 근접 효과에 의해 모든 동적응답이 안정적으로 나타나나, HEMU-430X의 경우 공진 부근에서 급격한 응답의 증폭이 나타나, 단선의 경우 최대 0.93g, 복선의 경우 최대 0.85g의 기준값을 초과하는 응답이 나타났다. 30m 단선 콘크리트궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해서는 380km/h 이상의 운행이 제한되어야 하며, 30m 단선 자갈궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해서는 340km/h 이상의 운행이 제한되어야 한다고 판단된다. 30m 복선 콘크리트궤도 교량의 경우에는 전 속도대역에서 제한 기준을 만족하며, 30m 복선 자갈궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해 350~360km/h 운행이 제한되어야 한다고 판단된다.
- 35m 경간의 경우에도 연직처짐과 면틀림 기준은 모든 열차 주행 시에 대하여 단/복선 철도교량 모두 만족하나, 가속도 응답에 대해서는 KTX 주행 시 임계속도 대역에서 일부 제한값을 초과하는 것으로 나타났다. KTX의 경우에도 복선 교량과 단선 콘크리트교량의 경우에는 제한 기준을 모두 만족하고 있으나, 단선 자갈궤도 교량의 경우 250km/h 대역 주행 시 최대 0.47g(KTX 250km/h 주행시)의 응답이 나타나 이 근처 속도대역의 주행이 제한되어야하는 것으로 나타났다.

2. 철도교용 35m MPC거더의 실내재하시험



① 철근조립



② 거푸집 설치



③ 콘크리트 타설



④ 제작완료 전경

<그림 0.9 철도교용 실규모 시험체 제작>

정적 재하 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 실험에서는 설계 시 계산된 계수하중 2,550kN의 116% 해당하는 2,950kN까지 재하 하였으며 최대재하하중 기준 경간중앙 처짐값은 136.88mm으로 나타났다.

(2) 실험체의 균열하중은 2,300kN으로 설계 계산값 2,072kN 대비 11%를 상회하는 결과를 나타내었다. 또한 구조계산에서 검토된 균열 하중에 해당되는 처짐은 80.06mm이며 이에 해당하는 실험상의 처짐은 82.96mm로 양호한 결과를 나타내었다.

(3) 단부의 구조적 안전성을 평가하기 위해 단부 1.5m위치에 1666kN을 재하하였으며 이때, 이상거동이나 균열은 발생하지 않았다.

<표 0.14 하중-처짐 결과 비교>

하중단계	하중(kN)		처짐(mm)	
	설계값	실험값	설계값	실험값
균열하중	2,072	2,300	80.06	82.96
최종 재하하중	2,550	2,950	-	136.88

동적 재하 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Quick-Release 실험을 통해 산출된 고유진동수는 3.88Hz로 사전 검토된 수치해석상의 고유진동수 3.97Hz와 유사한 것으로 나타났다 이는 해당 지간장에 대한 철도설계기준 고유진동수 허용범위인 2.65~6.0Hz를 만족한다.

(2) Quick-Release 실험으로부터 추출된 자유진동신호를 이용하여 Logarithmic decrement에 의한 감쇠율 산정 방법을 적용한 결과 감쇠율은 1.00~1.08%로 산출되었다. 따라서 현행 규정의 하한치인 1%이상의 감쇠율을 확보한 것으로 판단된다.

나. 국토부 건설 신기술 인증 추진

(1) 선행기술 조사

(2) 원가분석

(3) 홍보용 브로셔

다. Test Bed 추진계획

3. 각 공법별 CO2 발생량

여기서 산정한 CO2배출 산정방법은 산업연관분석법에 의해 배출계수를 이용한 산정방법이며 위 표 0.15와 같이 경쟁공법인 IPC거더를 기준으로 8.9%의 CO2발생 저감효과가 있었으며, PSC e-BEAM의 경우는 18.3%의 높은 저감효과를 나타내고 있어 연구초기 CO2저감 목표치 10%를 평균적으로 상회하는 것으로 나타났다.

<표 0.15 각 공법별 CO2 발생량 비교>

공 종	MPC거더	IPC거더	PSC e-BEAM
레미콘	11.161	11.897	13.416
철근	1.252	1.224	1.799
강연선	1.175	1.750	1.418
CO2 발생량 총계	13.588	14.871	16.633
절감량(%)		8.9% 절감	18.3%절감

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

1. 연구개발 최종목표 달성도

가. 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발 완료
- 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발
- 2160MPa 이상 모노텐던용 고정 정착시스템 사양 개발
- 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가

→ 개발된 사양에 대한 요소시험과 더불어 실규모 교량시험을 통해 구조성능을 검증하였다.

나. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발 완료
- 설계 및 시공기술 개발
  ·시공상세 개발: 정착부 및 강연선 배치 상세, 거푸집 상세
- 모노텐던과 단일 정착구 구조성능평가
- PSC거더 시공단계별 제작성 및 정/동적 성능평가

→ 실규모 교량에 대한 설계 및 제작/시공시험을 거쳐 설계/시공 프로세스를 구축하였다.

다. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발 완료
- 설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비)
- 설계자동화 프로그램 개발
- 설계/시공/유지관리 가이드라인 개발
- 실규모 시제품 제작 현장재하시험
- 국토부 건설 신기술 인증 추진

→ 상용화를 위한 설계표준화 및 경제성 분석을 완료하였으며, 현장적용 및 신기술 인증을 추진중이다.

2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

- PSC거더교에서 강연선에 의한 프리스트레싱은 구조물의 수명, 신뢰성 등에 가장 큰 영향을 미치며 설계된 것과 동일한 수준의 구조성능과 장기 내구성을 확보하기 위해서는 강연선에 균등한 장력이 되입되어야 하고 부분적으로라도 쉬스관 내에 그라우팅이 채워지지 않는 부분이 생기지 않도록 하여 부식에 대한 가능성을 제거해야 한다.
- 모노텐던과 단일 정착시스템은 텐던을 일정 길이로 하여 공장에서 제작하여 현장에서는 거치 후 긴장만을 하기 때문에 강선에 균등인장력 도입이 가능하고 비부착식 강연선을 사용함으로써 유지관리에 용이하다.
- 사장교/현수교의 PWS(Parallel Wire Strand) 개념을 PSC거더에 도입하는 것으로 PSC거더의 품질을 사장교/현수교 수준으로 끌어올릴 수 있다.
- PSC거더교는 가장 저렴한 거더교량 형식이나 장경간화할 경우 형고가 높아져 콘크리트 치기 및 다짐 불량, 횡좌굴, 전도 등의 시공성 저하로 35m 이하 경간에 국한 적용
- PSC거더교의 저형고 및 장경간 구현을 위해 강재의 휨변형에 의해 콘크리트에 압축응력을 도입하는 강합성거더(Preflex) 및 거더 제작시 지상에서 1차긴장하고 바닥판 콘크리트 타설 후 2차 긴장하는 다단계 프리스트레싱 거더(IPC) 상용화
- 단면합리화에 따라 형고는 저감되나 단면이 작아져 기존 강연선(1860MPa)으로 충분한 프리스트레스 도입 어려움(단부 정착단면 부족 및 복부 강연선 배치 어려움)
- 강연선 재료의 고강도화로 2160MPa 및 2400MPa 고강도 강연선 KS기준 등재로 PSC거더 소요 강연선 개수 감소 가능
- 고강도 비부착 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 및 지간 중앙부 개방형 덕트 적용시 편심극대화로 인한 프리스트레스 도입 효율 증가로 20% 이상 형고 절감 가능
- 단일 정착시스템 적용 비부착 강연선 사용시 쉬스관 설치, 강연선 삽입 및 그라우팅 공정 불필요로 공기단축 및 탄성수축손실 저감 가능

3. 연구개발 성과의 경제·산업적 효과분석

- 고강도 강연선과 친환경 콘크리트 등의 고성능 소재를 사용하는데 있어서 최적의 구조시스템을 개발함으로써 PSC거더 공사에서의 탄소배출을 10%이상 절감 가능하다.
- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 교량은 기존 PSC 교량 대비 20%이상의 형고저감 및 정착구 개수 감소로 거더자중 절감, 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 공정이 축소(강선삽입, 그라우팅 생략)되어 현장작업량이 크게 감소되므로 약 5% 공사비절감 효과를 얻을 수 있다.
- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템은 PSC거더교 뿐만 큰 힘의 프리스

트레스를 도입하는 다양한 PSC구조물 형태에 활용도가 높다.

- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC교량은 단순공정으로 저형고를 구현할 수 있기 때문에 접속도로의 선형계획에 유리하게 작용하며 기타 하부건축한계에 제약을 받는 현장에 효율적으로 사용가능하다.
- 핵심기술인 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착 PSC거더 교량은 구조적 성능뿐만 아니라 경관 및 쾌적성 등 다양한 요소를 고려하여 개발되었다.
- 사회적 요구가 주변환경과 관련 여유와 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시키는 것은 시대의 보편적 요청이다.
- 경관적인 요소를 대폭 보강하여 최소형고 구현을 통해 주변의 자연환경 및 인공시설물 등과의 조화와 그 지역의 Landmark 역할을 수행할 수 있도록 한다.
- 주기적인 도장이 필요한 강교량과는 달리 유지관리가 용이하여 환경오염의 최소화라는 친환경적인 요소도 포함하였다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

- 본 개발기술은 기존 PSC거더교량의 문제점을 해소할 수 있는 대안으로 공정이 단순할 뿐만 아니라 공사비 증가 없이 교량 형고를 20%이상 낮출 수 있다.
- 표준도와 자동화 구조계산 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반 기술자도 쉽게 활용할 수 있다.
- 연구개발 성과는 연구과제 3차년도 연구단계에서 참여기업인 혜동브릿지에 기술이전 계약을 실시하였다.
- 연구개발성과는 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 연구기간 내에 자연스럽게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.
- 정기적인 기술 세미나, 언론매체를 이용한 연구결과 홍보, 연구 성과물 특히 각종 Guide류의 배포 등 각종 기술홍보 활동을 통해 연구 참여업체 이외의 관련업체와도 공유할 계획이다.
- 고강도 강연선과 모노텐던 및 단일정착시스템 기술은 차후 LNG 탱크나 원자력 격납구조물 등에 적용될 경우 큰 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 이를 위해서는 관련 연구개발과 더불어 제도개선 등의 과정이 요구된다.

SUMMARY

The objective of this research is to develop a economic PSC beam by mono tendon using 2160MPa high strength strands and mono anchor block, consequently, following three can be achieved, (1) 10% reduction of CO2 by developing an optimized PSC beam using high strength material; (2) 20% reduction in height of the girder and improvement in aesthetics; (3) Improvement in construction quality and durability. In order to achieve the goals, a new concept of PSC beam using unbonded mono tendon and mono anchor block is devised. Then verification in terms of strength, design, fabrication, and site construction is conducted. From the research, the followings will be obtained as an research output, (1) PSC beam system using unbonded high strength mono tendon; (2) 35Hole, 40Hole, 50Hole anchor block; (3) Design/Fabrication/Maintenance guideline; (4) Design example of 30m, 40m, 50m PSC beams; (5) Automated design program; (6) Report on structural performance; (7) Report on economic feasibility; (8) Test bed application; (9) Preparation and submission of NET(New Excellent Technology) to KAIA.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction ····· 1

1.1 Objective and Needs of the Research ····· 1

1.2 Contents and Importance of the Research ····· 2

1.3 Previous Researches ····· 6

Chapter 2 Substances & Results ····· 8

2.1 Development of 2160MPa Mono Tendon Anchorage ····· 8

2.2 Development of Design and Construction Technology of Mono Tendon Prestressed Concrete Girder ····· 43

2.3 Development of Commercialization Technology of Mono Tendon Prestressed Concrete Girder ····· 92

Chapter 3 Attainment and Applications ····· 196

3.1 Full Scale Specimen Fabrication and Performance Test ····· 196

3.2 Application to NET of KAIA ····· 268

3.3 Test Bed Application Plan ····· 286

3.4 Estimation of CO2 Emission ····· 289

Chapter 4 Degree of the Attainment&Contribution ····· 290

4.1 Degree of the Attainment ····· 290

4.2 Technical Effect of Research Results ····· 291

4.3 Economic and Industrial Effect of Research Results ····· 293

Chapter 5 Plan to use results ····· 294

References ····· 295

Appendix ····· 297

목 차

제 1 장 연구개발과제 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발 목적 및 필요성 ····· 1

제 2 절 연구개발 범위 및 중요성 ····· 2

제 3 절 국내외 기술개발 현황 ····· 6

제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 8

제 1 절 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발 ····· 8

1. 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발 ····· 8

2. 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가 ····· 18

3. 국내외 PSC거더 공법 분석 ····· 25

제 2 절 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발 ····· 43

1. 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 적용성 평가 ····· 43

2. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 정립 ····· 63

3. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 구조성능평가 ····· 78

제 3 절 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발 ····· 92

1. 설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비) ····· 92

2. 설계자동화 프로그램 개발 ····· 130

3. 설계/시공/유지관리 가이드라인 개발 ····· 162

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 196

제 1 절 실규모 시제품 제작 현장재하시험 ····· 196

1. Test Bed 적용을 위한 철도교 동특성 해석 ····· 196

2. 철도교용 35m MPC거더의 실내재하시험 ····· 233

제 2 절 국토부 건설 신기술 인증 추진 ····· 268

제 3 절 Test Bed 추진계획 ····· 286

제 4 절 각 공법별 CO2 발생량 ····· 289

제 4 장 연구목표 달성 및 효과 ····· 290

제 1 절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 290
1. 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발 완료 ····· 290
2. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발 완료 ····· 290
3. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발 완료 ····· 290
제 2 절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 291
제 3 절 연구개발 성과의 경제·산업적 효과분석 ····· 293

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 294

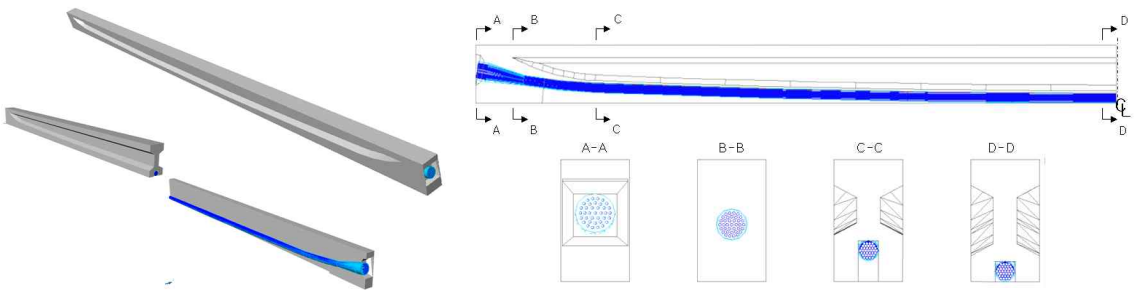
참고문헌 ····· 295

부 록 : 실적목록 ····· 297

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 목적 및 필요성

최 종 목 표	세 부 목 표
2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발	○ 모노텐던과 단일 정착시스템 제품화 - 35, 40, 50 hole 강연선용 모노텐던과 단일 정착구 제품화
	○ 모노텐던 과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발 : 공기 50% 절감(강연선 설치/긴장 공기단축)
	○ 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 제품화 - 형고 저감(동일경간: 30m) : 2.0 → 1.6m - 장경간화(동일형고: 2.0m) : 30 → 40m



<그림 1.1.1 개요도>

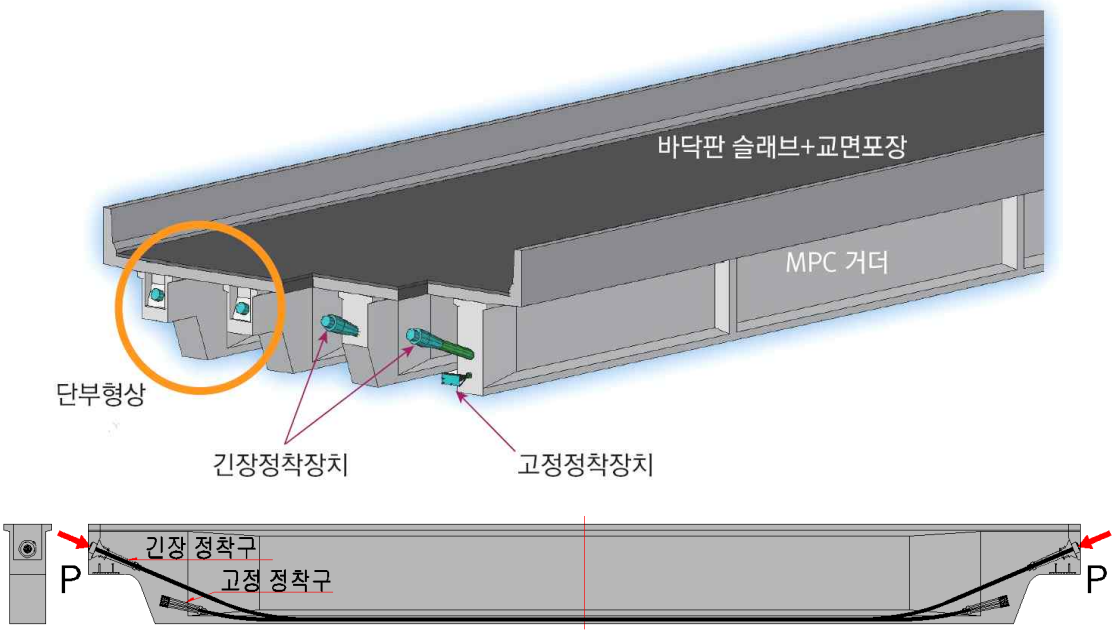


<그림 1.1.2 제작공정도>

○ 최근 PSC거더교의 장경간화 추세에 따라 50m 이상의 교량이 제작되고 현장에 적용되고 있으나, 거더 단면내 강연선 배치가 3차원 형상을 가지면서 긴장 도중 거더의 교축 수직방향 횡변위가 발생하여 거더 제작, 가설 중 좌굴에 대한 문제가 제기되고 있다.
→ 텐던의 배치를 전 단면에 걸쳐 중심에 있게 하여 제작시 발생하는 횡변위 최소화

○ 최근 개발되는 고강도 콘크리트와 고강도 강연선을 적극적으로 활용하여 보다 합리적이고 경제적인 교량개발이 요구된다.

○ 이 연구는 20~50m의 단경간 규모의 교량에서 가장 저렴한 구조형식인 PSC거더교에 2160MPa 이상(2160MPa 또는 2400MPa) 고강도 PS강선을 활용한 모노텐던(Mono Tendon)과 단일 정착시스템을 개발·적용하여 (1) 고성능 소재에 적합한 최적 구조시스템 개발을 통한 CO2 10% 절감; (2) 기존 PSC거더 대비 공사비 증가 없이 형고 20% 저감 및 미관향상; (3) 강연선에 균등인장력 도입을 통한 시공품질 및 내구성 향상할 수 있는 기술개발 및 개발제품의 사업화를 목적으로 하였다.



<그림 1.1.3 모노텐던 프리스트레스트 콘크리트 거더 (MPC)>

제2절 연구개발 범위 및 중요성

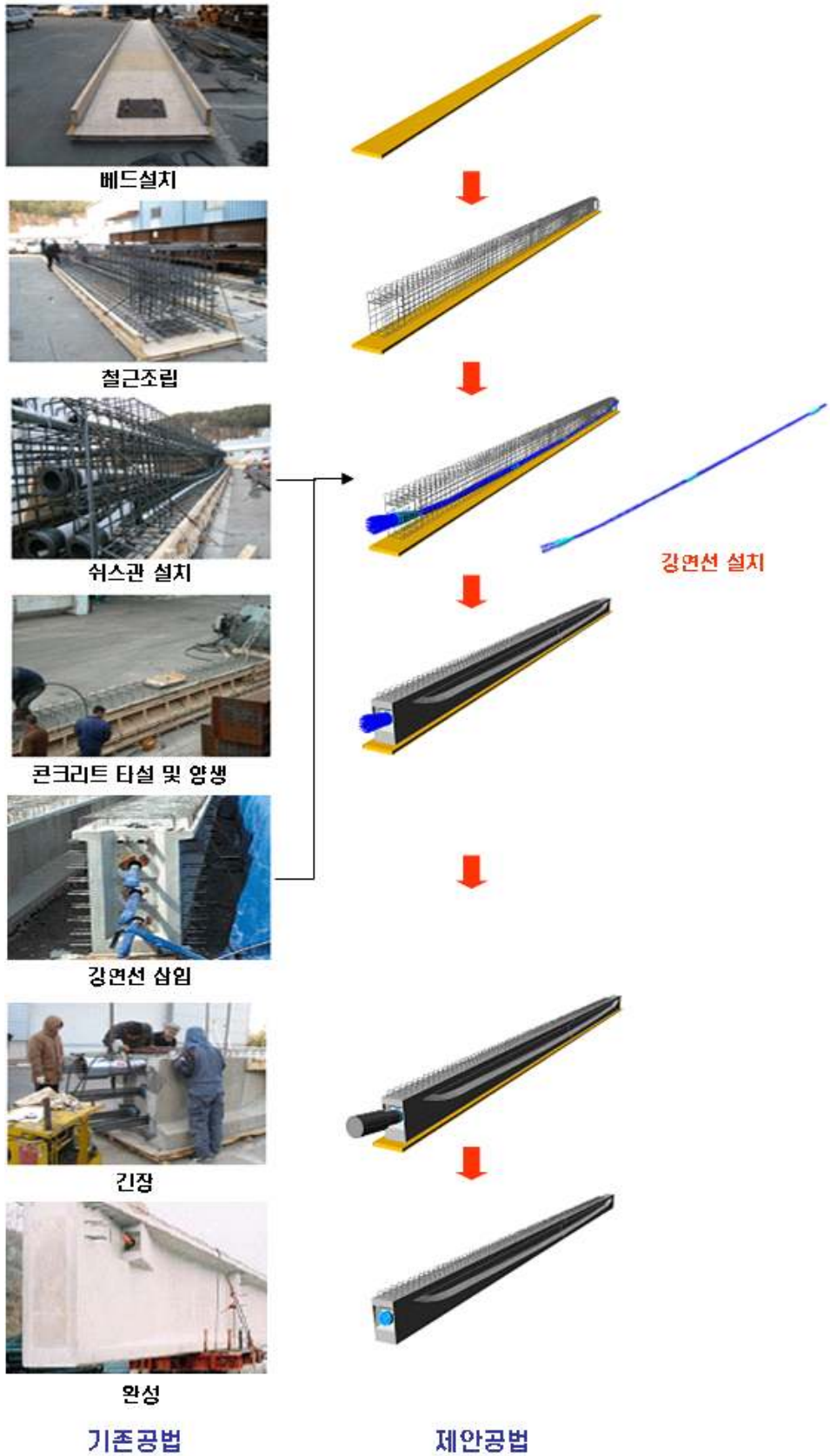
○ 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발
- 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발
- 2160MPa 이상 모노텐던용 고정 정착시스템 사양 개발
- 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가

○ 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발
- 설계 및 시공기술 개발
  · 시공상세 개발: 정착부 및 강연선 배치 상세, 거푸집 상세
- 모노텐던과 단일 정착구 구조성능평가

- PSC거더 시공단계별 제작성 및 정/동적 성능평가

○ 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발
- 설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비)
- 설계단면 최적화 변수연구 및 설계자동화 프로그램 개발
- 설계/시공/유지관리 가이드라인 개발
- 실규모 시제품 제작 현장재하시험
- 국토부 건설 신기술 인증 추진

○ 기술적 측면 연구개발 중요성
- PSC거더교에서 강연선에 의한 프리스트레싱은 구조물의 수명, 신뢰성 등에 가장 큰 영향을 미치며 설계된 것과 동일한 수준의 구조성능과 장기 내구성을 확보하기 위해서는 강연선에 균등한 장력이 되입되어야 하고 부분적으로라도 쉬스관 내에 그라우팅이 채워지지 않는 부분이 생기지 않도록 하여 부식에 대한 가능성을 제거해야 하였다.
- 모노텐던과 단일 정착시스템은 텐던을 일정 길이로 하여 공장에서 제작하여 현장에서는 거치 후 긴장만을 하기 때문에 강선에 균등인장력 도입이 가능하고 비부착식 강연선을 사용함으로써 유지관리에 용이함
- 사장교/현수교의 PWS(Parallel Wire Strand) 개념을 PSC거더에 도입하는 것으로 PSC거더의 품질을 사장교/현수교 수준으로 끌어올릴 수 있다.
- PSC거더교는 가장 저렴한 거더교량 형식이나 장경간화할 경우 형고가 높아져 콘크리트 치기 및 다짐 불량, 횡좌굴, 전도 등의 시공성 저하로 35m 이하 경간에 국한 적용
- PSC거더교의 저형고 및 장경간 구현을 위해 강재의 휨변형에 의해 콘크리트에 압축응력을 도입하는 강합성거더(Preflex) 및 거더 제작시 지상에서 1차긴장하고 바닥판 콘크리트 타설 후 2차 긴장하는 다단계 프리스트레싱 거더(IPC) 상용화
- 단면합리화에 따라 형고는 저감되나 단면이 작아져 기존 강연선(1860MPa)으로 충분한 프리스트레스 도입 어려움(단부 정착단면 부족 및 복부 강연선 배치 어려움)
- 강연선 재료의 고강도화로 2160MPa 및 2400MPa 고강도 강연선 KS기준 등재로 PSC거더 소요 강연선 개수 감소 가능하다
- 고강도 비부착 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 및 지간 중앙부 개방형 덕트 적용시 편심극대화로 인한 프리스트레스 도입 효율 증가로 20% 이상 형고 절감 가능하다
- 단일 정착시스템 적용 비부착 강연선 사용시 쉬스관 설치, 강연선 삽입 및 그라우팅 공정 불필요로 공기단축 및 탄성수축손실 저감 가능하다



<그림 1.2.1 기존 PSC거더와 모노텐던 단일정착 PSC거더(제안공법) 제작공정 비교>

○ 경제·.산업적 측면 연구개발 중요성

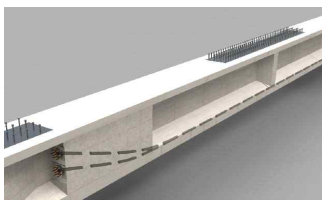
- 고강도 강연선과 친환경 콘크리트 등의 고성능 소재를 사용하는데 있어서 최적의 구조시스템을 개발함으로써 PSC거더 공사에서의 탄소배출을 10%이상 절감 가능하다

- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 교량은 기존 PSC교량 대비 20%이상의 형고저감 및 정착구 개수 감소로 거더자중 절감, 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 공정이 축소(강선삽입, 그라우팅 생략)되어 현장작업량이 크게 감소되므로 약 5% 공사비절감 효과를 얻을 수 있다.
- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템은 PSC거더교 뿐만 큰 힘의 프리스트레스를 도입하는 다양한 PSC구조물 형태에 활용도가 높다.
- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC교량은 단순공정으로 저형고를 구현할 수 있기 때문에 접속도로의 선형계획에 유리하게 작용하며 기타 하부건축한계에 제약을 받는 현장에 효율적으로 사용가능하다.

○ 사회·문화적 측면 연구개발 중요성
- 핵심기술인 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착 PSC거더 교량은 구조적 성능뿐만 아니라 경관 및 쾌적성 등 다양한 요소를 고려하여 개발되었다.
- 사회적 요구가 주변환경과 관련 여유와 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시키는 것은 시대의 보편적 요청하였다.
- 경관적인 요소를 대폭 보강하여 최소형고 구현을 통해 주변의 자연환경 및 인공시설물 등과의 조화와 그 지역의 Landmark 역할을 수행할 수 있도록 하였다.
- 주기적인 도장이 필요한 강교량과는 달리 유지관리가 용이하여 환경오염의 최소화라는 친환경적인 요소도 포함하였다.

제3절 국내외 기술개발 현황

○ PSC 거더교량은 강합성 교량을 포함하여 국내 약 10여개 이상의 교량이 제품화하여 개발되었다. 기존 교량의 특징은 효과적으로 프리스트레싱을 도입하는 방법에 있다.



(a) PSC e-beam



(b) IPC 거더



(c) UDPC



(d) PPC 거더



(e) Precom 거더



(f) Bicon 거더

<그림 1.3.1 국내 PSC/PS강합성 거더>

○ 프리스트레스트 콘크리트 교량의 정착시스템 관련 기술은 얼마전까지만 하더라도 VSL, DSI, Freyssinet 등의 해외기술에 거의 의존하거나 해외제품을 모방한 제품을 사용하였다. 국토교통부 초장대교량사업단을 통해 2160MPa급 이상의 세계 최고강도 강연선이 개발되었으며, 이와 더불어 고강도 포스트텐셔닝 강연선에 적합한 정착시스템이 개발되었다.



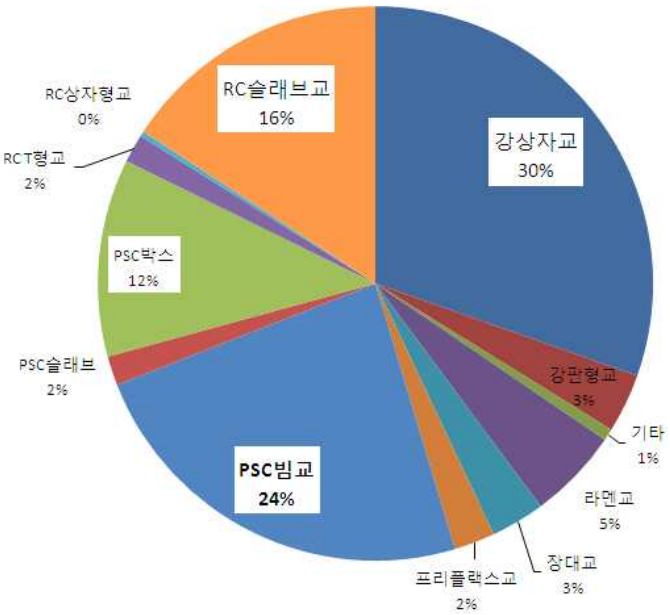
<그림 1.3.2 초장대교량사업단 개발 2400MPa 포스트텐셔닝 시스템>

○ 텐던과 관련한 최근 연구동향을 살펴보면 PSC 텐던의 긴장력 추정과, 인장관리 등에 중점을 두고 있다. 이는 텐던에 발생하는 긴장력이 크리프, 건조수축에 의해 지속적으로 변화할 뿐만 아니라 초기 설치단계에서부터 균등한 긴장력 도입의 어려움 등으로 인해 텐던에 불확실성 요소가 크게 나타나기 때문임. 모노 텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더는 텐던에서 발생할 수 있는 불확실성 요소를 제거함으로써 PSC거더의 품질을 한층 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

○ 시장 동향

- 현재 국내 공용중인 PSC거더교는 4,257개소, 총 연장 561.7km에 적용되어 도로교 전체 연

장 중 23.7%, 철도교 38.6%를 점유하는 가장 보편화된 교량형식임. 교량 통계산정 시 1900년대 초반의 자료를 모두 고려한 것으로, 20세기 초중반에 기술적인 한계로 RC 교량이 대세였다는 점을 고려할 때 실제로 최근 통계자료를 기준으로 한다면 그 점유율이 24% 이상 수준으로 증가한 것으로 나타났다.



<그림 1.3.3 상부구조 형식별 교량 점유율 분포 (교량 연장 기준)>

○ 정책 동향

- 우리나라는 2009년 기준으로 세계 8위 (OECD 국가 중 6위)의 CO2 다 배출 국가이며, 교토의정서 2차 공약기간 (2013-2017년)에는 매년 3.7억 톤의 온실가스를 감축해야만 하는 의무국에 지정될 가능성이 높기 때문에 이를 대비한 CO2 감축 노력이 필요하다.
  → 고강도 소재 적극적 활용을 통한 탄소배출 저감노력 필요하다.
- 국토교통부는 VC-10 연구개발사업의 일환으로 초장대교량사업단 연구과제를 수행하였으며, 그 연구결과물 중 하나인 2400MPa (2160MPa 이상) 초고강도 강연선의 활성화를 위한 후속 연구가 필요하다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발

1. 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발

가. 기존 정착시스템 조사 및 분석

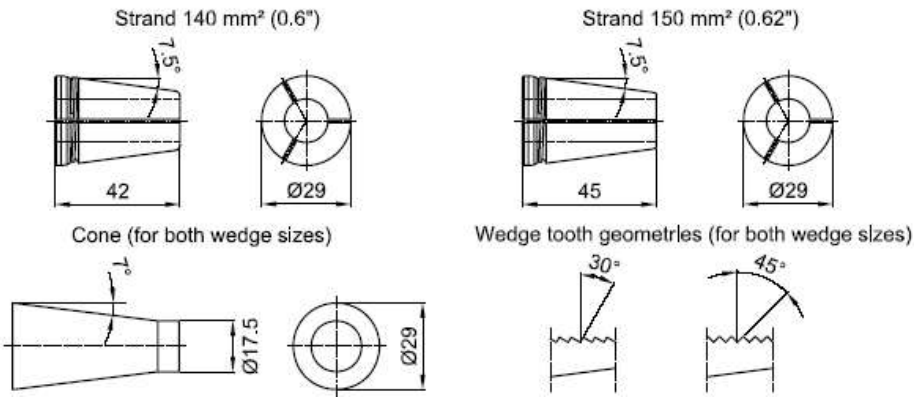
- 국내 Post-tensioning 관련 업체 : KTA(케이티에이), 신성피씨, 삼진콘, 대한피씨 등
- 외국계 Post-tensioning 관련 업체 : VSL(스위스), DSI(독일), Freyssinet(프랑스) 등
- 국내 기업체 중 KTA는 초장대교량사업단 제2핵심 연구과제인 고성능 전략소재 및 이용기술개발 연구과제에 참여하여 2160MPa (공칭강도 300kN) 와 2400MPa (공칭강도 333kN) 강연선에 대응할 수 있는 포스트텐셔닝 시스템을 개발하였다. 그러나 여기서 개발한 정착시스템은 현재 일반적으로 사용되고 있는 1860MPa (공칭강도 261kN) 강연선용 정착시스템을 대체하는 기술로 정착장치의 최대 규모는 2400MPa 강연선용 26Hole 제품에 한정되어 있다.
- 타 국내 업체의 경우 2160MPa 강연선에 대응하여 12Hole용 앵커헤드에 한정하여 정하중 성능검증을 완료한 상태임
- 해외 기업체의 경우 2160MPa 강연선 이상의 정착시스템에 대한 정착장치를 보유하고 있지 않은 실정임

<표 2.1.1 기존 정착시스템 분석>

DSI 앵커헤드



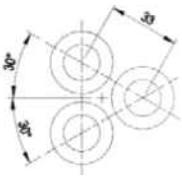
- 강연선 최대 강도: 1860MPa
- 소재: Quenched and tempered steel (EN 10083-1:2006, EN 10083-2:2006)
- 배열: 원형 배열
- 장점
  : 단조 제작을 통한 고강도화
  : 타사대비 두께가 얇음
  : 원형배치를 통해 홀 간격 확장
  : 앵커헤드 테두리에 단을 주어 정착구 중앙에 쉽게 위치할 수 있음
- 단점: 원형배열 현장 조립성이 떨어짐



Tendon size		6803	6804	6805	6807	6809	6812	6815	6819	6822	6827	6831	6837
No. of strands		03	04	05	07	09	12	15	19	22	27	31	37
Spacer	c	–	–	40	40	40	40	40	60	60	60	60	60
Wedge keeper plate	Øp	80	80	90	100	115	135	155	170	185	195	215	215
Pitch circles	f	–	–	–	0	0	–	–	0	–	–	0	0
	f*	44	50	60	70	86	40	60	70	86	38	–	65
	f**	–	–	–	–	–	105	125	136	152	100	126	126
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	165	190	190
Duct (min. values): Outer diameter		50	50	63	75	75	90	110	110	125	125	140	140
PE80, PN6 (cement gr. injection): min. wall thickness		2.4	2.4	3.0	3.6	3.6	4.3	5.3	5.3	6.0	6.0	6.7	6.7
PE100, PN10 (wax or cement gr. inj.): min. wall thickness		3.0	3.0	3.8	4.5	4.5	5.4	6.6	6.6	7.4	7.4	8.3	8.3

VSL 앵커헤드

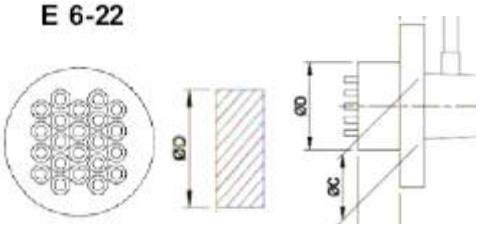




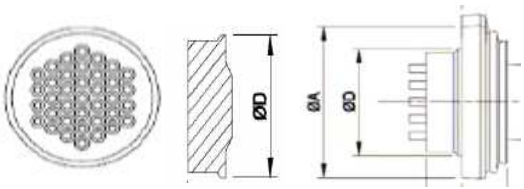
- 강연선 최대 강도: 1860MPa
- 소재: 보통 SM45C를 사용
: "E" 모델: EN 10083-2에 따른 환봉
: "CS" 모델: quenching and tempering 환봉 (Standard EN 10083-1), 절삭 또는 단조 가공을 통해 두께 확보
- 배열: 층배열
- 장점
  : 일반적으로 사용되는 배열 및 형태
  : 원형배열 대비 시공성 우수
- 단점: 홀 간격이 비교적 좁아짐

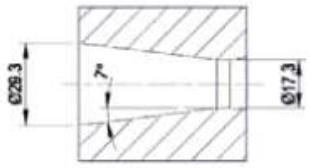
"E" 모델

E 6-22

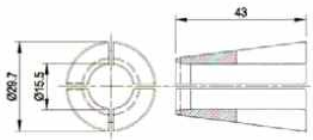


"CS" 모델

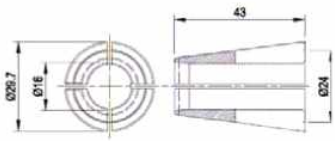




Wedge W6N



Wedge W6S



"E" 모델:

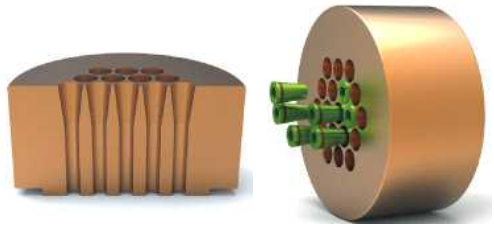
Unit	□A	ØC	ØD
6-1	70	18	53
6-2	100	50	90
6-3	125	56	95
6-4	145	65	110
6-7	175	84	135
6-12	230	118	170
6-15	265	143	190
6-19	290	150	200
6-22	320	172	220
6-27	350	185	240
6-31	370	192	260
6-37	410	215	280
6-43	450	248	300
6-55	500	255	340

"CS" 모델:

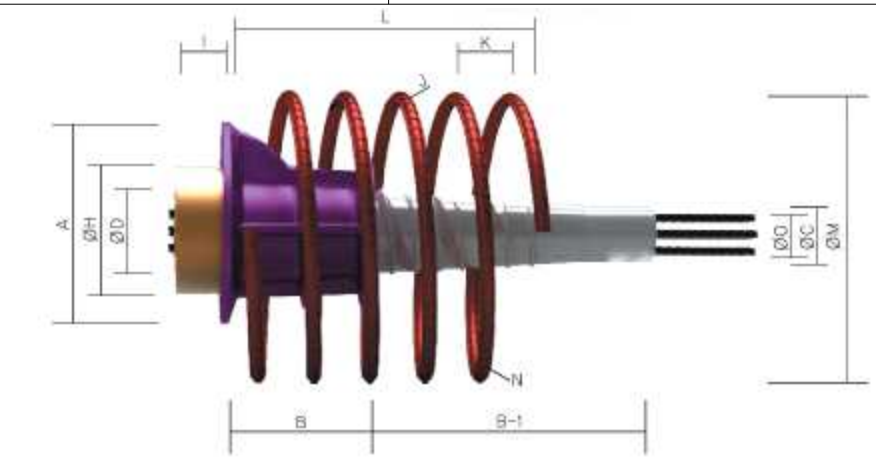
Unit	ØA	B	C	ØD
6-7	222	136	85	143
6-12	258	149	117	178
6-19	300	170	148	210
6-22	320	180	165	228
6-27	360	203	181	256
6-31	390	217	188	274
6-37	420	236	211	300

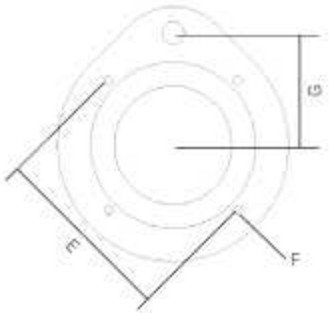
(C: 헤드두께)

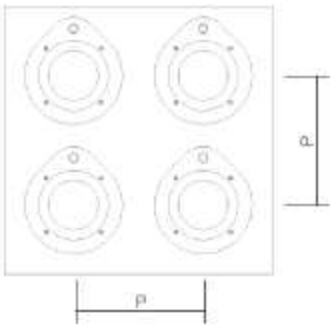
KTA(케이티에이)



- 강연선 최대 강도: 2160MPa / 2400MPa
- 소재: 보통 SM45C를 사용
- 배열: 층배열 / 원형배열
- 장점
  : 일반적으로 사용되는 배열 및 형태
  : 원형배열 대비 시공성 우수
- 단점: 2160MPa 이상의 고강도 제품을 보유하고 있으나 26Hole(2400MPa)에 한정됨



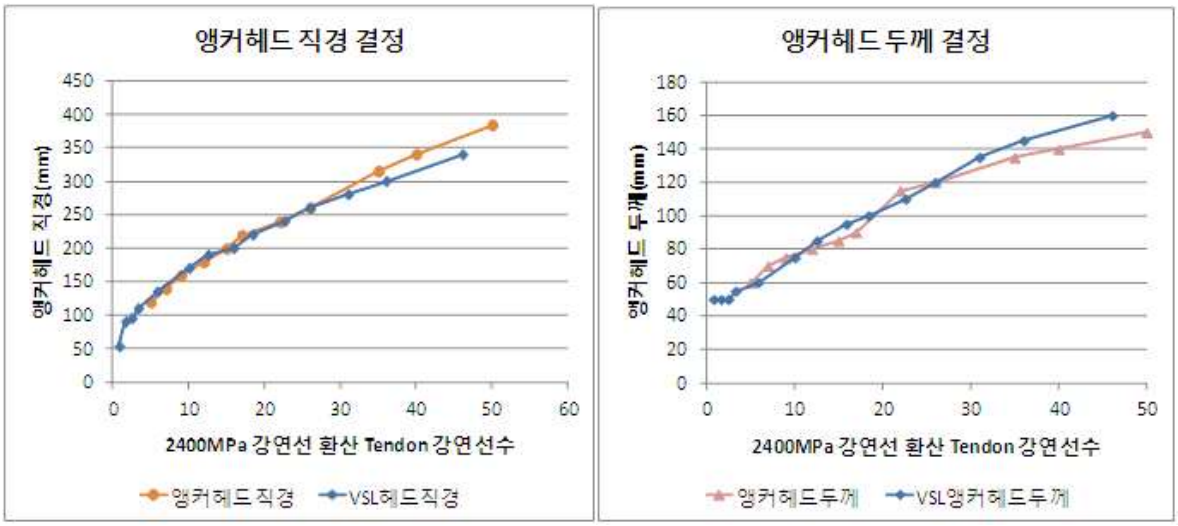




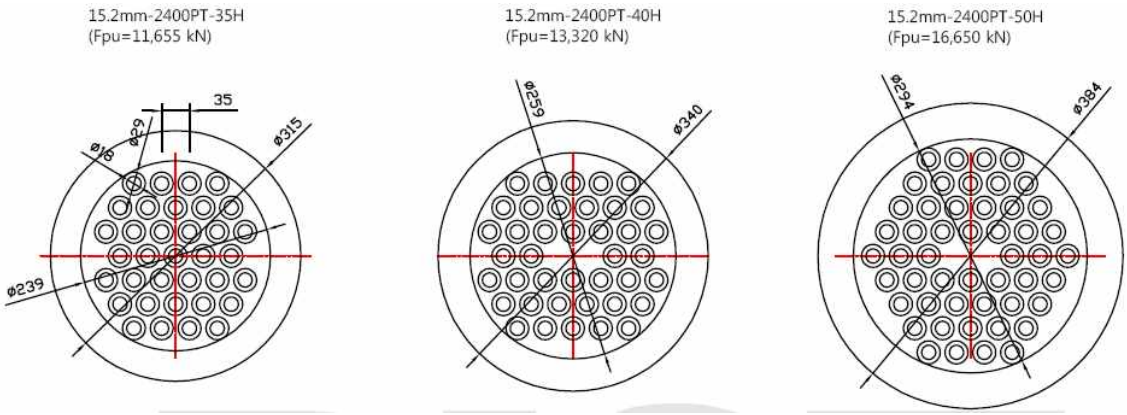
Model	Strand	정착구								헹커헤드		나선형 보강 철근					Duct	배치
		A	B	B-1	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
		(mm)			(Ø)		(mm)	(M)	(mm)	(Ø)	(mm)	(Ø)	(mm)			(Ø)	ea	(Ø)	(mm)
KTA-C-7H	0.6"	190	160	288	79	90	170	8	87.5	149	55	16	55	270	208	5	60	270
KTA-C-12H	0.6"	250	200	416	114	127	205	8	120	179	65	16	50	360	298	7	75	360
KTA-C-14H	0.6"	275	220	475	130	144	225	8	135	199	70	16	50	390	328	8	80	390
KTA-C-19H	0.6"	Ø310	248	517	141	158	245	8	150	219	85	19	50	460	365	9	100	455
KTA-C-24H	0.6"	Ø360	288	628	172	192	265	8	170	239	90	19	50	520	445	10	110	515
KTA-C-31H	0.6"	Ø390	312	628	174	195	305	8	190	279	100	19	50	550	480	11	130	550

나. 모노텐던과 정착구 제원 도출

- 앞 장에서 살펴본 바와 같이 기존의 포스트텐셔닝 정착 앵커헤드는 단조방식을 적용하여 고강도화 하는 방식과 충분한 두께를 확보하는 방식으로 나누어질 수 있다.
- 단조를 적용하는 경우 앵커헤드의 경량화를 이룰 수 있는 장점이 있기는 하지만, 모노텐던의 경우 35Hole 이상의 큰 정착구가 요구되어 어차피 인부가 들고 설치하는 데에는 한계가 있다. 따라서 제작의 용이성을 고려하여 일반 기계구조용 탄소강인 SM45C를 사용하는 것을 전제로 제원을 도출하였다.
- 이를 위해 해외제품 중 VSL 정착장치의 크기를 비교하여 그 앵커헤드의 직경 및 제원을 도출하였다. 우선, 2160MPa 강연선에 대응하는 것을 목표로 하기는 하지만 2400MPa까지 적용이 가능하도록 목표치를 설정하였다.

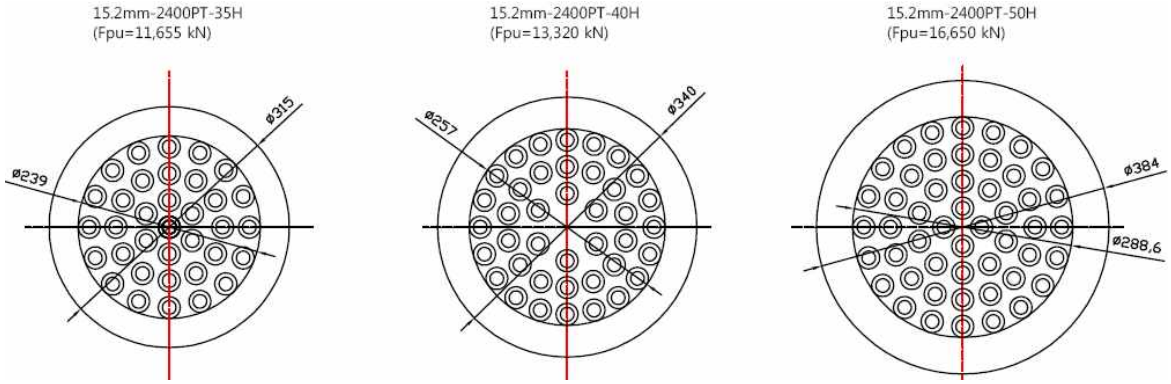


<그림 2.1.1 해외제품과의 비교를 통한 정착장치 제원 도출>



<그림 2.1.2 층배열 정착 앵커헤드(안)>

- 상기 그래프로부터 35Hole, 40Hole, 50Hole 정착장치의 직경을 315mm, 340mm, 384mm로, 두께를 135mm, 140mm, 150mm로 각각 도출하였다.
- 이를 토대로 도출한 앵커헤드의 도면은 아래와 같다. 층배열과 원형배열에 대해서 각각 도출하였다.



<그림 2.1.3 원형배열 정착 앵커헤드(안)>

다. 정착구 유한요소해석: 변형/응력 검토 (구조해석)

- 앵커헤드에 대한 성능규격은 미국의 PTI와 유럽의 ETAG013에 명시되어 있으나 이는 실험에 기반을 하고 있다. 국내에서는 콘크리트표준시방서에서 KCI-PS101로 시험기준을 명시하고 있으며 이는 유럽의 ETAG013 기준과 동일함
- 기본적인 요구사항은 다다과 같다.

  (가) PTI 기준: 텐던 공칭강도의 95% 수준으로 하중이 작용 후 하중을 제거하였을 때 잔류변형은 앵커헤드 지지거리의 1/600 이내이어야 함. 앵커헤드는 텐던 공칭강도(GUTS)의 120% 수준까지 하중이 도입되어도 파괴되지 않아야함

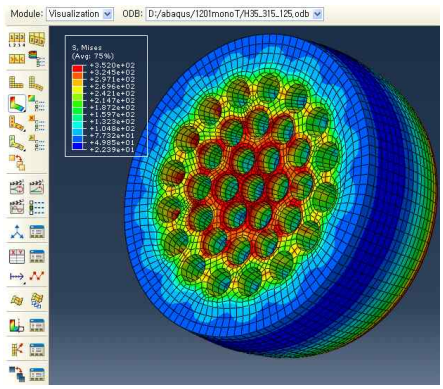
  (나) ETAG013: 텐던 실제강도(AUTS)의 95% 수준으로 하중이 작용하였을 때 앵커헤드가 파괴되지 않아야함
- 여기서는 PTI 기준 중 앵커헤드의 '① 잔류변형 조건'을 기존조건으로 하였다.
- 정착장치의 일차 상용화 목표는 2160MPa 강연선에 대응한 시스템으로 2160MPa (300kN) 강연선에 대응하는 하중을 앵커헤드에 하중으로 작용하여 성능을 검토하되, 앵커헤드에 발생하는 '② 휨응력이 항복강도의 80% 수준 이내에 들어오도록 조건'을 부여하여 향후 2160MPa 강연선 대비 강도가 약 10% 큰 2400MPa 강연선 하중이 작용하더라도 충분히 저항할 수 있도록 하였다.
- 앵커헤드의 두께에 대한 변수해석을 수행하여 35Hole, 40Hole, 50Hole 앵커헤드의 두께를 125mm, 135mm, 145mm로 결정하였다.
- 앵커헤드 소재인 SM45C의 공칭 항복강도는 343MPa이고, 공칭 인장강도는 520MPa임
- 35Hole 앵커헤드의 경우, 지점부와 상면 웨지홀 사이 얇은 띠 등에서 발생하는 국부응력을 제외하고 최대 휨응력은 264MPa로 항복응력 대비 77%수준으로 나타났다. 또한 잔류변형은 0.014mm 수준으로 허용기준(0.4mm) 대비 충분히 안전성을 확보하고 있다.
- 지점부와 웨지홀 주위에서 일부 항복이 발생하기는 하지만 하중-처짐관계를 보면 전체거동이 거의 선형거동에 가깝게 나타나기 때문에 소재의 인장강도만 초과하지 않는다면 문제가 될 소지는 없을 것으로 판단된다.
- 이는 실제로 정착장치의 실험에서도 보여지는 것으로 앵커헤드가 텐던 항복강도의

80~90% 수준에서 국부적으로 항복에 도달하더라도 추가적으로 텐던 공칭강도 이상의 수준까지도 하중에 저항할 수 있는 것으로 나타나기 때문임

- 40Hole 앵커헤드는, 35Hole과 유사한 특징이 나타나기는 하지만 강연선의 배치형상이 달라 응력분포 형상은 다르게 나타났다. 국부응력을 제외하고 최대 휨응력은 183MPa로 항복응력 대비 53.4%수준으로 나타났다. 또한 잔류변형은 0.012mm 수준으로 허용기준(0.43mm) 대비 충분히 안전성을 확보하고 있다.
- 50Hole 앵커헤드 역시, 35Hole과 유사한 특징이 나타나기는 하지만 강연선의 배치형상이 달라 응력분포 형상은 다르게 나타났다. 국부응력을 제외하고 최대 휨응력은 233MPa로 항복응력 대비 67.9%수준으로 나타났다. 또한 잔류변형은 0.022mm 수준으로 허용기준(0.48mm) 대비 충분히 안전성을 확보하고 있다.
- 추가실험을 통해서 성능을 재검증해야 할 것으로 보임. 현재 해석결과만을 두고 본다면 충분히 안전성을 확보하고 있어 두께 등의 감소 여지가 충분이 있는 것으로 판단된다.. 이는 2차년도 연구에서 추가해석과 성능검증을 통해 최적 제원을 도출할 필요가 있다.

<표 2.1.2 앵커헤드 해석결과>

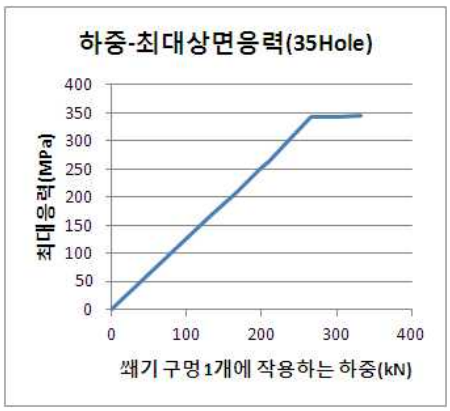
35Hole 앵커헤드 해석결과

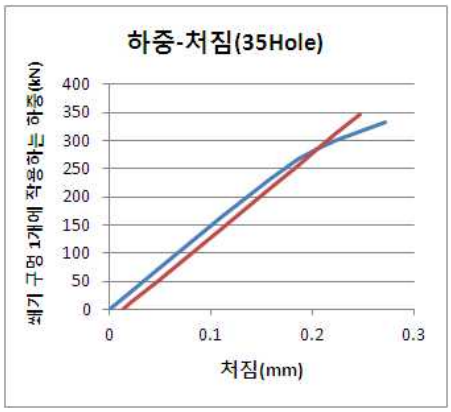


70%GUTS에서의 최대휨응력
: 264MPa (77%*fy)

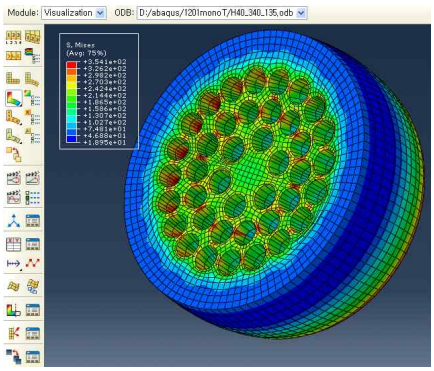
95%GUTS에서의 변형 및 잔류변형
- 변형: 0.205mm
- 잔류변형: 0.014mm
- L/600: 0.4mm

*강선1개당 GUTS=300kN(2160MPa)





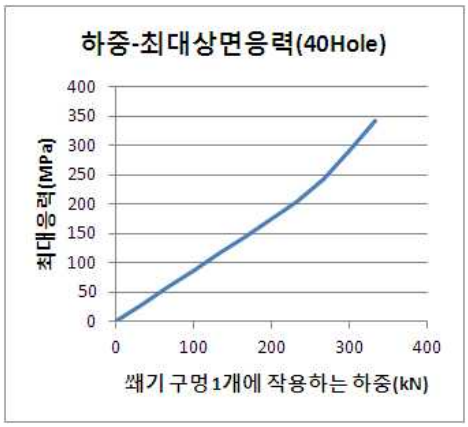
40Hole 앵커헤드 해석결과

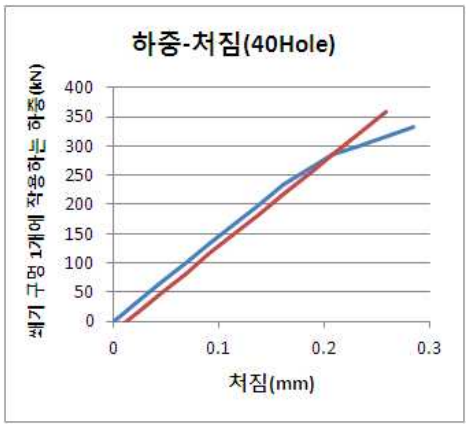


70%GUTS에서의 최대휨응력
: 183MPa (53.4%*fy)

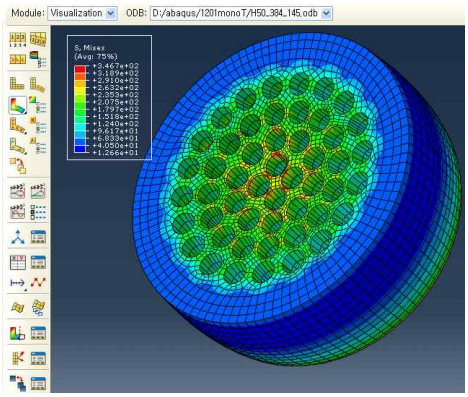
95%GUTS에서의 변형 및 잔류변형
- 변형: 0.208mm
- 잔류변형: 0.012mm
- L/600: 0.43mm

*강선1개당 GUTS=300kN(2160MPa)





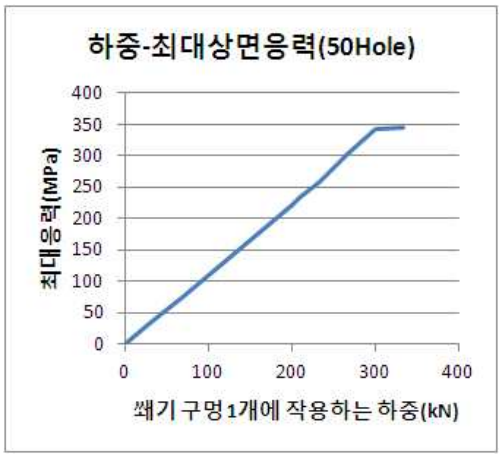
50Hole 앵커헤드 해석결과

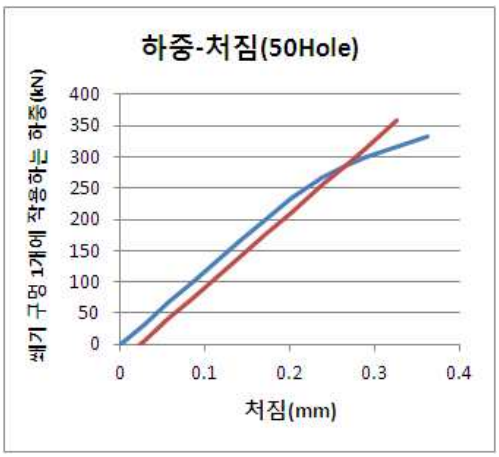


70%GUTS에서의 최대휨응력
: 233MPa (67.9%*fy)

95%GUTS에서의 변형 및 잔류변형
- 변형: 0.243mm
- 잔류변형: 0.022mm
- L/600: 0.48mm

*강선1개당 GUTS=300kN(2160MPa)





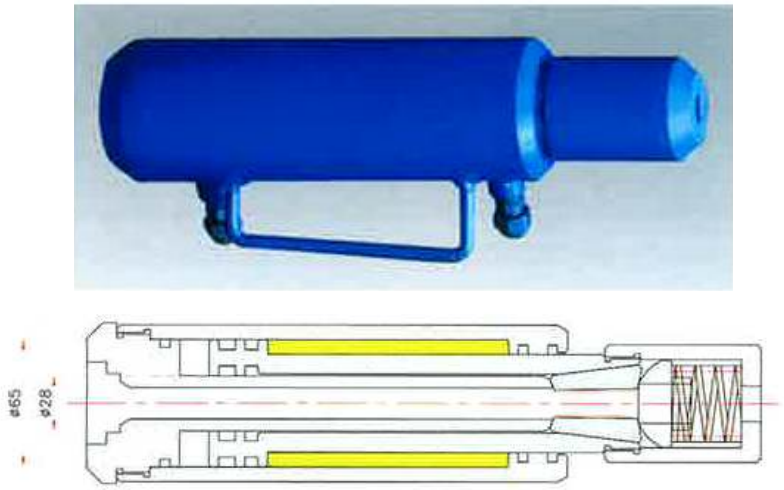
라. 전용 인장잭 설계 검토

- 2160Mpa이상 고강도 강연선을 활용한 모노텐던과 단일정착시스템을 갖는 PSC거더 개발을 위하여, 35,40,50홀의 강연선을 인장할 수 있는 최대 1500TON을 인장할 수 있는 전용 인장잭을 설계하고자함
- 교량시공의 적용을 위하여 이와 같은 특성에 부합하며 그 장점을 최대한 활용할 수 있는 설계 및 시공을 위한 장비의 개발이 요구된다. 당해 연구과제에서는 최대 1500TON을 인장할 수 있는 전용인장잭을 개발하기 위한 방법을 3가지로 검토하였다.
  (가) 1. 50m 52선에 대하여 각각의 강연선을 순차적으로 개별하중을 적용하여 총 1,200tf하중 적용하여 긴장 정착
  (나) 50m, 52선 1,200tf 하중 1회 긴장하여 정착
  (다) 50m, 52선을 4분할 하여 각각의 13선에 대하여 300tf의 하중을 적용하여 총 1,200tf의 하중을 적용하여 긴장 정착

<표 2.1.3 강연선의 특성>

강연선 종류(Strand Type)	1860MPa	2160MPa
공칭직경(㎜)	15.2	15.2
공칭단면적(㎠)	1.387	1.387
무게(Kg/Km)	1101	1101
파단하중(tf)	22.6	26
항복하중(tf)	26.6	30.6
탄성계수(Kg/㎠)	2,000,000	2,000,000
릴렉세이션(%)	3.5이상	3.5이상

- 강연선 각각의 강연선을 순차적으로 개별 하중을 적용하는 방법
  : 강연선 52선에 대하여 1,200 tf의 하중을 적용하는 경우이므로, 각각의 개별 강연선에 걸리는 하중은 균등하게 23tf이어야 한다. 고강도 강연선 긴장은 긴장 중에 파단하중의 90%를 넘지 않아야 하므로 23.4tf 이하의 하중을 적용하여야 한다. 따라서, 52선을 순차적으로 인발하여 정착하는 경우 선 정착된 앵커의 하중은 후 인발 정착되는 앵커로 인하여 하중이 감소하므로 이를 감안하여 설치하여야 한다. 요구되는 실린더의 사양은 내부 홀 크기가 20mm이상이며 스트로크는 450mm이상이고 용량은 26tf이상 필요하다. 이러한 사양의 인장잭(실린더)는 이미 사용되고 있는 장비이므로 별도의 전용 인장잭을 개발할 필요가 없을 것으로 판단됨에 따라 기존에 개발된 인장잭을 준용하여 사용하는 것으로 한다.



<그림 2.1.4 모노잭 설계>

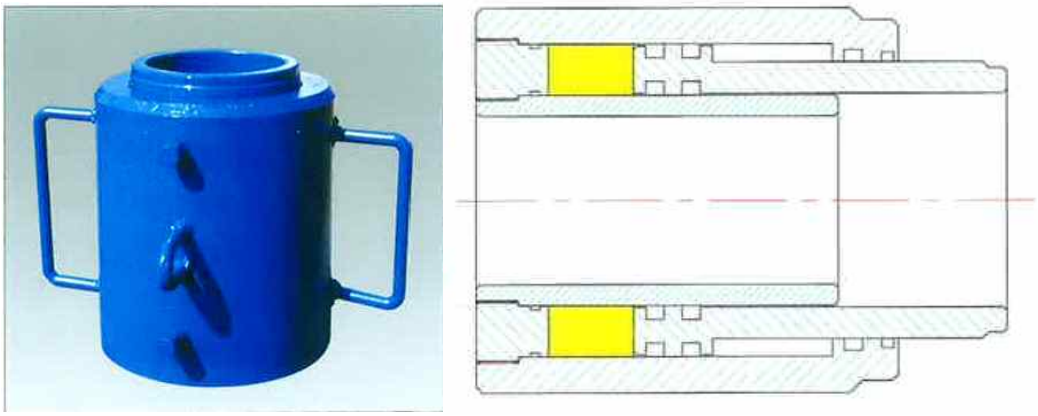
- 강연선 52선에 대하여 1,200tf의 하중을 1회에 인장하는 방법
  : 강연선의 총 길이는 50m, 52선에 1,200tf의 하중을 적용하는 경우이므로, 늘음량 (elongation)을 산출하면 41.495cm이다.

  늘음량 = (1,200tf x 50m) / (2,000,000kg/㎠ x 1.387㎠ x 52)
  = (1,200,000kg x 5,000 cm) / (2,000,000 kg/㎠ x 1.387 ㎠ x 52)
  = 41.595 cm

  따라서, 위와 같이 산출된 늘음량 이상의 스트로크 길이를 가진 유압 실린더의 개발이 필요하며 적정 스트로크의 길이는 450mm이상이다. 또한 강연선 52선의 통과할 수 있도록 실린더의 내부 홀 직경이 300mm이상이며, 용량은 1,200tf이상이 필요할 것이다.
- 강연선 52선을 4분할 하여 각각의 13선에 대하여 300tf의 하중을 적용하는 방법
  : 강연선의 총 길이는 50m, 13선에 300tf의 하중을 적용하는 경우이므로, 늘음량을 산출하면 41.495cm이다

  늘음량 = (300tf x 50m) / (2,000,000kg/㎠ x 1.387㎠ x 13)
  = (300,000kg x 5,000 cm) / (2,000,000 kg/㎠ x 1.387 ㎠ x 13)
  = 41.595 cm

  따라서, 실린더 13선이 통과할 수 있도록 내부 홀 직경이 160mm이상이며, 스크로크 길이는 450mm이상이고 용량은 400tf이상의 유압 실린더 개발이 필요하다. 또한, 4분할로 하중을 가하는 경우이므로 각각의 앵커 블록에 하중이 균등하게 분포할 수 있도록 유압시스템이 별도로 필요하다.



<그림 2.1.5 하중 분할 잭>

- 이상에서 살펴본 바와 같이 초고하중, 장 스크로크를 가진 인장잭(유압실린더)의 개발이 필요하며, 이를 정리하면 아래의 표와 같다.

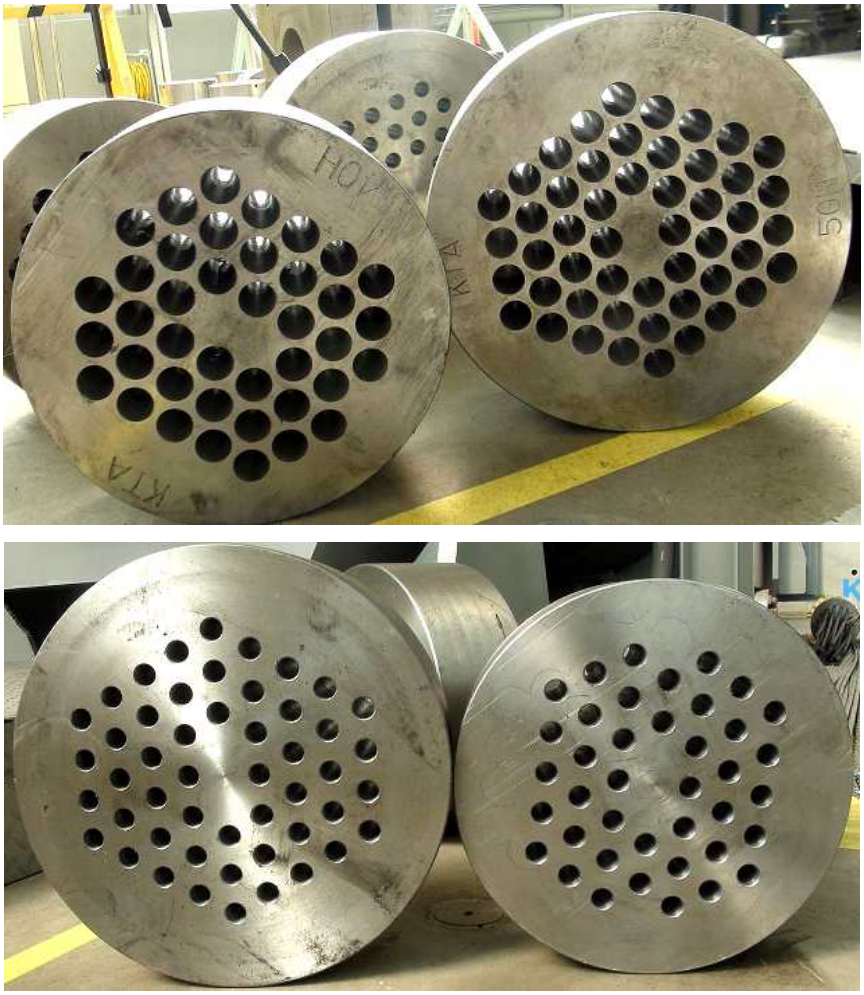
<표 2.1.4 긴장잭 설계>

분류		개별인장	52선 동시 인장	4분할 인장
앵커	앵커블록(정착장치)	52선용	52선용	13선용 x 4
	웨찌 수	52	52	52
유압실린더	용량(tf)	30	1,500	500
	스크로크(㎜)	450	450	450
	내부홀 직경(㎜)	20	300	160

2. 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가

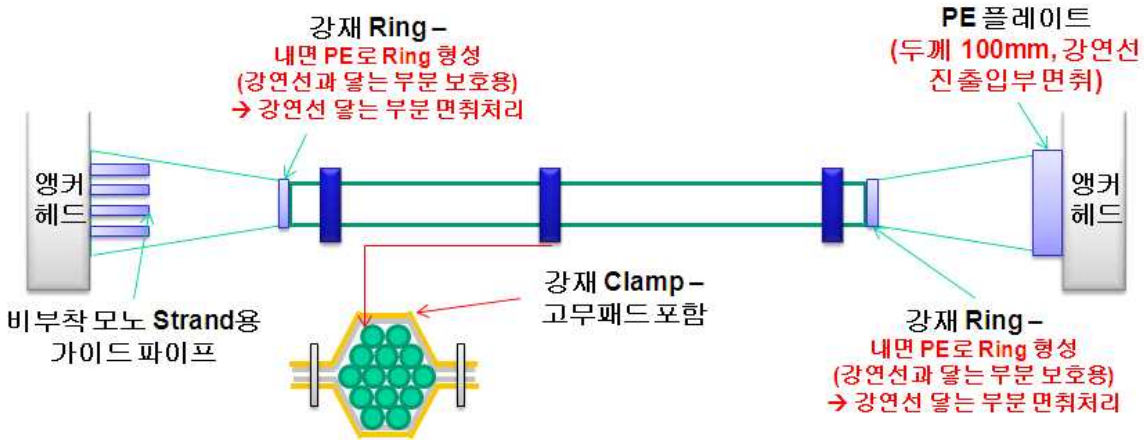
가. 모노텐던 정착장치 시제품 제작

- 앞 장에서 언급한 바와 같이 앵커헤드의 웨지홀(Wedge Hole)은 원형배열과 층배열이 일반적으로 사용되는데, 모노텐던의 경우 하나의 앵커헤드에 다수의 강연선이 정착되기 때문에 설치 작업성이 작은 것 대비 다소 떨어질 수 밖에 없다.
- 따라서 작업성을 우선시 하여 층배열을 선택하였다.
- 1차년도 연구과제에서는 35Hole, 40Hole, 50Hole 앵커헤드 시작품을 제작하여 시제품의 제작성과 실구조물로의 구현 가능성능 평가하였다. -> 기존 작은 크기의 앵커헤드와 비교하여 제작성에 특별한 차이는 없었으며, 제작결과도 우수하였다.



<그림 2.1.6 앵커헤드 시작품 - 40Hole, 50Hole>

- 35Hole에 대해서는 앵커헤드와 더불어 케이블 시스템의 제작성과 실구조물로의 구현성을 검증하였다.. 시험체 제작계획 및 제작 프로세스는 다음과 같다.



<그림 2.1.7 35Hole 모노텐던 시험체 제작 계획>

<표 2.1.5 모노텐던 시제품 제작>



(1) 강연선 절단



(2) 강연선 피복제거



(3) 정착 가이드부 설치



(4) 35Hole 앵커헤드 준비









(5) 강연선 설치





(6) 강연선 다발 묶음

- 35Hole 모노텐던의 구조성능 평가를 위해 상기와 같이 만들어진 모노텐던 시스템을 케이블 전용시험기 (3000톤 CFTM)에 설치하였으며, 강연선 각각에 균등한 장력이 도입될 수 있도록 모노잭을 이용하여 강연선에 균등장력이 도입될 수 있도록 하였다.



<그림 2.1.8 케이블 시험기에 모노텐던 시험체 삽입>

- 모노잭을 이용하여 강연선에 7~8톤의 장력을 도입하였으며, 쐐기가 안착(6mm)되면서 약 3톤의 손실이 발생하여 강연선 각각에는 약 4~5톤의 긴장력이 도입되도록 하였다.

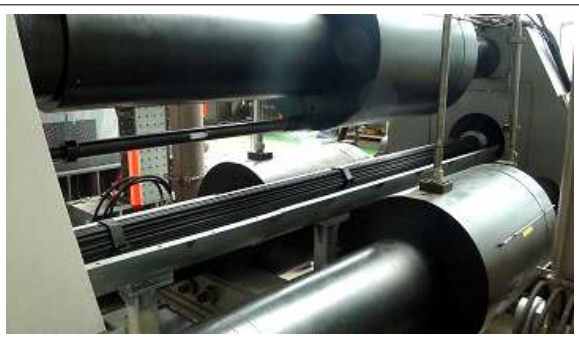
<표 2.1.6 모노텐던 시제품 성능평가를 위한 설치>



(1) 모노잭 이용 긴장력 도입

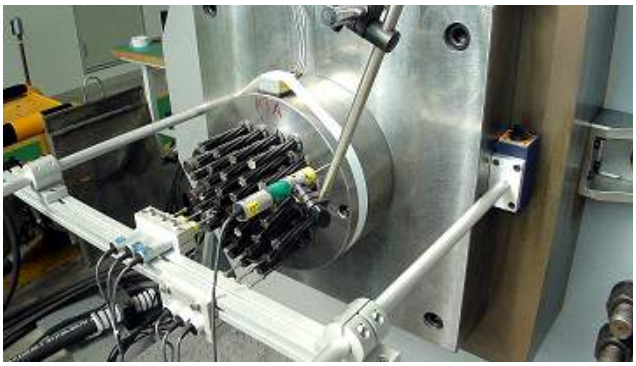


(2) 긴장력 도입 단계





(3) 모노잭 이용 긴장력 도입 완료

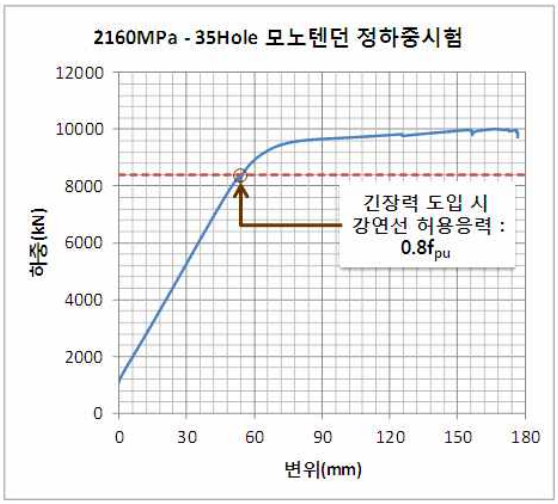


(4) 웨지 슬립 및 강선의 상대변위 계측장비 설치



(5) 시험체 최종 설치 형상 및 케이블시험기(CFTM)



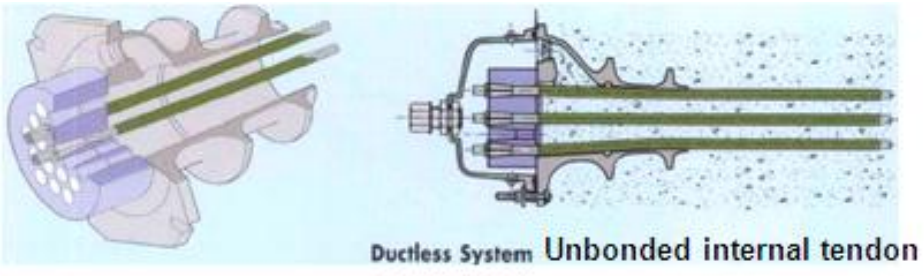


〈시험체 설치 전경〉 〈시험결과〉

<그림 2.1.9 모노텐던 시제품 성능평가>

- 비부착 강연선은 정착부에서 피복을 벗겨내야 하는데 이로 인해 강연선은 부식환경에 노출
- 따라서 기존의 비부착 강연선은 아래와 같이 단일 강연선을 사용하는 경우 플라스틱 파이프를 이용하는 보호구역을 형성하기도 함. 다발로 사용하는 경우 보통 강연선을 보호하는 별도의 장치를 갖지 않다.. 이는 콘크리트 타설 후 통상적으로 강연선이 콘크리트에 전부 매입되기 때문임





<그림 2.1.10 기존 비부착 강연선의 정착부>

- 그러나 강연선 다발을 비부착에서 사용할 경우 강연선 사이의 간격이 비교적 좁아 콘크리트의 충전에 한계가 있으며, 이로 인해 피복이 벗겨진 부분에 대한 보호가 명확하지 않다.
- 따라서 모노텐던 시험체에서는 아래 그림과 같이 두가지 안을 모두 도입하여 시험체의 양측에 각각 다른 비부착 강연선 보호장치를 적용하여 시험체를 제작하였다.. 제작 결과 PE 블록을 이용한 비부착 강연선 보호장치가 보다 제작성에 있어서 유리함을 확인하였다.
- 나아가 정착장치 뒷부분 콘크리트의 충전성은 향후 2차년도 연구에서 거더시험체를 제작하여 평가할 것이며, 필요시 개선사항을 도출할 것임



<그림 2.1.11 기존 비부착 강연선 보호장치 활용 정착장치>

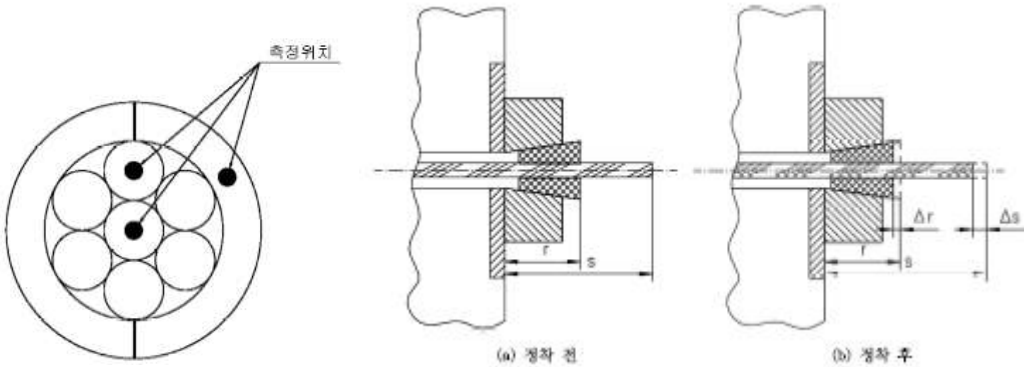


<그림 2.1.12 PE 블록을 이용한 비부착 강연선 보호장치>

나. 정적성능평가 시 강연선 포함, 웨지 슬립 측정방안

- ETAG-013 정하중 시험에서는 아래 그림과 같이 시험중에 강선과 쐐기, 앵커헤드의 상대변위를 계측하도록 하고 있다.
- 계측장비는 일반적인 LVDT를 사용하되, 측정점 간격이 좁아 별도의 지그를 제작하여 LVDT에 부착후 사용함





<그림 2.1.13 강선-강선, 강선-쐐기의 상대변위 측정>

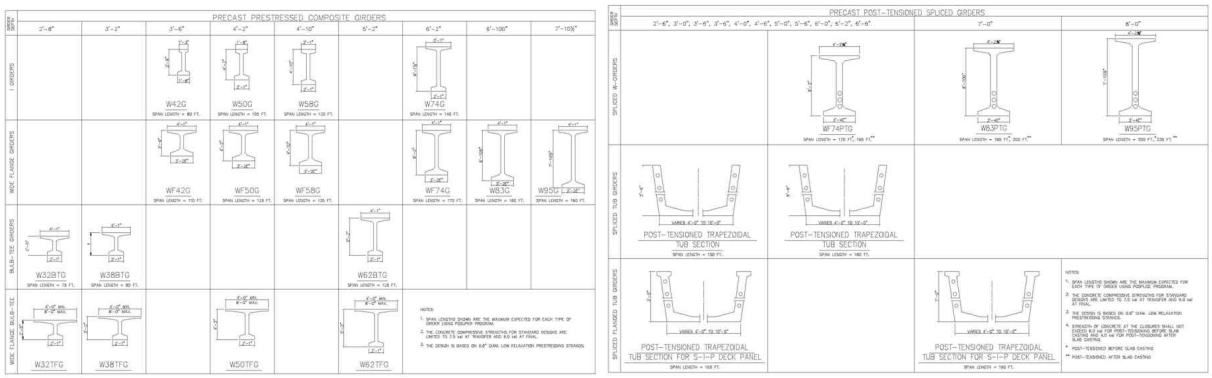
3. 국내외 PSC거더 공법 분석

가. PSC거더 공법 비교

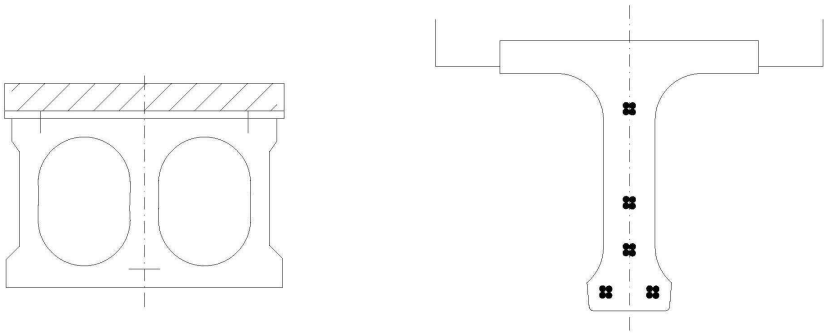
이 연구에서는 프리스트레스가 적용되는 거더들에 대해 검토하여 모노텐던이 적용된 PSC 거더를 개발하고자 한다. 국내외 PSC 계열 거더들은 매우 다양하게 나타나 있다. 특히 국내의 경우, 단면형식, 긴장횟수, 긴장재의 종류에 따라 분류가 되어 있는데, 다음과 같이 현황조사를 통해 모노텐던 PSC 거더에 적용하기 위한 단면의 기본 형태를 정하였다.

(1) 국외 PSC거더 공법

미국, 카자흐스탄의 공법의 경우 프리스트레스 방식 중 프리텐션방식과 포스트텐션 방식에 대한 각각의 표준단면들을 사용하며, 경간별로 표준화 된 거더를 사용하고 있다.



<그림 2.1.14 미국에서 사용 중인 프리텐션 및 포스트텐션 방식의 표준거더>

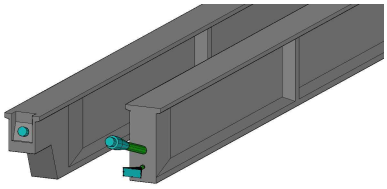
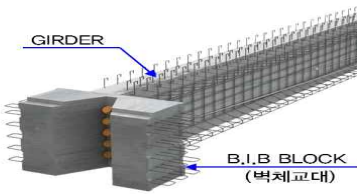
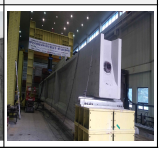


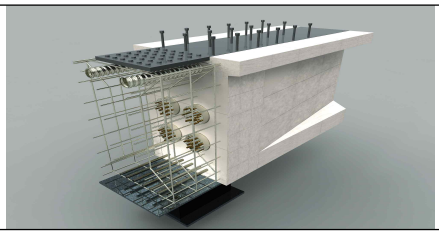
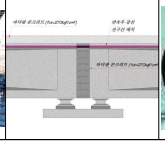
<그림 2.1.15 카자흐스탄 거더 표준단면>

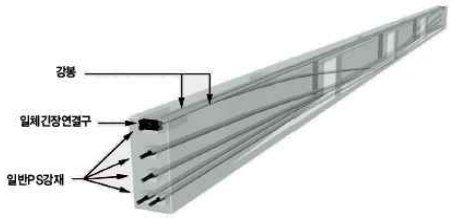
(2) 국내 PSC거더 공법

- 비교표를 분석한 결과 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 교량은 기존 PSC교량 대비 20%이상의 형고저감 및 정착구 개수 감소로 거더자중 절감, 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 공정이 축소(강선삽입, 그라우팅 생략)되어 현장작업량이 크게 감소되므로 약 5% 공사비절감 효과를 얻을 수 있었으며, 현재 설계사에 제공되고 있는 여러 개량형 PSC거더의 비교표를 정리한 결과 MPC거더의 경제성에 대한 경쟁력은 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났다.

<표 2.1.7 PSC거더 공법 비교>

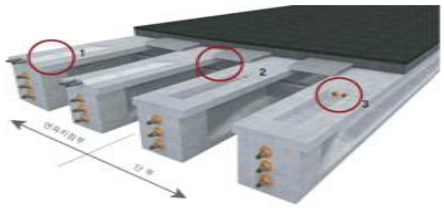
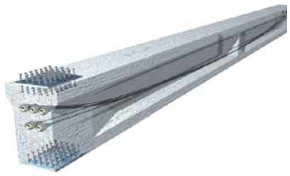
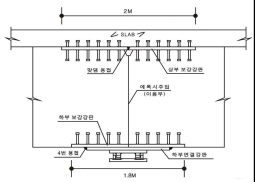
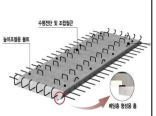
<table>
<tr><th>구 분</th><th>MPC GIRDER교</th><th>EX-B.I.B 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>단부거더 절취로 무게중심을 하향시켜 전도저항을 증대하고 전도방지시설 미설치에 따른 공기단축과 모노텐던 강연선을 멀티로 긴장시켜 균등한 인장력을 도입. 강연선 신뢰성을 확보하여 구조 안전성 확보 및 경제성을 추구하는 PSC공법</td><td>프리스트레스 콘크리트 거더와 벽체교대를 일체형으로 제작 후, 바닥판과 벽체 교대를 일체화한 반일체식 교대 교량에 적용하는 거더로, 시공효율성 및 기계적 신축이음장치 제거를 통하여 경제성, 주행성 및 유지관리 향상을 추구한 공법임.</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m²)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.64</td><td>69</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.84</td><td>70</td></tr>
<tr><td>40</td><td>2.14</td><td>71</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.44</td><td>73</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>70</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>71</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>73</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.8</td><td>75</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>정착구 및
강연선설치</th><th>강연선
1회 긴장</th><th>단면형상</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 모노텐던 강연선을 멀티로 긴장하여 균등한 인장력을 도입함으로써 강연선의 구조적 안전성 확보
◆ 고강도 Mono tendon을 이용하여 최소긴장
◆ 비부착 강연선 사용으로 마찰손실 최소화
</td><td>
<table>
<tr><th>거더와벽체교대
일괄제작 및 거치</th><th>무다짐 뒤채움</th><th>신축조절장치
(채움재)</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 벽체교대 프리캐스트 제작·거치로 급속 시공 및 후속공정 최소화로 시공성 및 내구성 향상
◆ 신축이음장치 배체 및 포장 연속화로 주행성 및 사용성 증대
◆ 지진시 벽체교대와 뒤채움재 상호거동으로 내진성능향상
</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◆ 무게중심 하향으로 전도가 발생하지 않고 전도방지시설(와이어로프/지지철근/턴버클 등) 미설치로 시공성이 용이
◆ 현장에서 발생하는 어떠한 외기의 하중에도 전도 미발생
◆ 쉬스관 및 그라우팅을 배제하여 강연선의 시공품질을 확보할 수 있어 경제성과 신뢰성이 확보됨
◆ 단부거더 절취로 종단 선형이 하향됨으로써 성토량 절감 및 편입용지가 축소됨으로써 여유공간 확보가 유리
◆ 전도방지시설이 필요 없어 거더 운반 및 설치 시 공사기간 감소효과</td><td>◆ 1회 긴장방식의 PSC Beam을 활용한 공법으로, 공법 적용이 용이
◆ 거더와 벽체교대를 일괄 제작 거치함으로, 시공성 및 내구성 향상과 후속 공정 최소화
◆ 신축이음장치 미설치 및 교대 효율화에 따른 초기공사비 절감으로 경제성 향상
◆ 신축이음장치 미설치로 인한 주행성 향상, 소음감소
◆ 거더 단부의 BIB BLOCK설치로 거더 가설 및 바닥판 시공시 전도위험 배제
◆ 지진시 벽체교대와 뒤채움재료의 상호거동으로 Damping효과 발생으로 내진성능향상
◆ 시공실적 보통</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-1325154호/ 국토교통과학기술진흥원 R&D연구과제(2011.9~2014.9)</td><td>특허 제 10-1034013 호</td></tr>
</table>

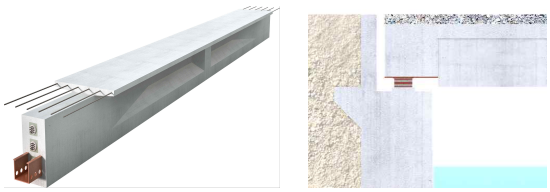
<table>
<tr><th>구 분</th><th>IPC GIRDER교</th><th>PSC e-BEAM교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>시공단계별 하중상태를 고려하여 긴장력을 단계적으로 도입함으로써 단면효율을 극대화하여 형고와 자중을 줄임으로써 장경간이 가능하도록 한 공법</td><td>상부플랜지에 강판을 합성시켜 편심효율성을 증대시키고 연속지점부를 강판+철근+PS긴장재로 일체화시키며 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입하는 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m^2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>72</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>77</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>82</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>84</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.4</td><td>72</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.7</td><td>78</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>82</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.3</td><td>85</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>2차강선
삽입/긴장</th><th>연속지점부</th><th>유지관리</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력 도입
◆ 2차 정착구에 같이 매설된 비부착강선이 추후 유지관리강선 역할
◆ 측면 정착구를 이용한 2차 인장으로 연속 지점부 연결
</td><td>
<table>
<tr><th>빔현장제작</th><th>연속부
1shoe적용</th><th>유지관리
정착구설치</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
◆ 구조적 연속화(강판+철근+PS강연선)로슬래브 균열억제
◆ 연속지점부 완전연속화(1Shoe)로 슬래브 균열 발생방지
◆ 유지보수용 쉬스관이 별도 내장되어 유지관리 효율 매우 높음
</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◆ 기존 PSC 빔과 유사한 공정으로 제작 및 거치가 간단함
◆ 시공단계의 하중증가 및 슬래브와의 합성유무를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입한 효율적인 단면 설계 가능
◆ 전단면 압축응력으로 인장응력이 발생치 않아 균열 안전성이 우수함
◆ 2차 연속강선 및 거더간 철근 강결로 연속지점부에 대한 구조적 안정성확보
◆ 보수·보강을 고려한 설계로 유지관리 편리, 비용 저렴
◆ 설계(약2,000여 개소) 및 시공(약900여 개소) 실적 다수</td><td>◆ 중앙부 상부플랜지 강재배치로 PS긴장재의 편심효율성증대
◆ 사용하중하에서 Full Prestressing하므로 인장균열 미발생
◆ 일반적인 PSC빔과 유사한 제작공정으로 시공이 용이함
◆ 기존 PSC빔대비 형고가 낮아 가설시 전도위험이 낮음
◆ PF빔교 수준의 낮은 형고로 형하공간 확보가 용이하고 성토고를 줄일 수 있음
◆ 일반적인 PSC빔수준의 공사비로 경제성우수
◆ 시공실적 다수</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제0301431호</td><td>신기술 제517호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>TOP GIRDER교</th><th>BICON GIRDER교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>한쌍의 CFT(Concrete FilledSteel Tube System) 버팀대를 이용하여 제작되는 프리텐션 방식의 PSC 거더로서 지점별 단면을 최적화 하여 기 존 포스트텐션공법에 비해 정착구,쉬스관 등의 제작공정 생략으로 공사비를 절감하는 프리텐션 공법</td><td>역T형의 고강도 콘크리트 단면 상연에 강봉을 삽입하여 PS강선 긴장시 발생하는 압축력을 강봉이 부담하고 콘크리트 단면에는 대편심 휨모멘트만을 발생시켜 거더 상연의 과압축을 피하면서 단1회의 긴장만으로 저형고화 할 수 있는 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td><table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>73</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.6</td><td>79</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.8</td><td>85</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.9</td><td>87</td></tr>
</table></td><td><table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m²)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.55</td><td>71</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.75</td><td>75</td></tr>
<tr><td>40</td><td>2.05</td><td>81</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.35</td><td>83</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td><table>
<tr><th>이동식 프리텐션
제작시스템</th><th>거더가설</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

이동식프리텐션 제작시스템을 적용하 여 현장 Prestressing의 도입이 가능
최적의 단면형상을 적용하여 거더 효 율 극대화
정착구, 쉬스관 및 그라우팅의 공사비 절 감
</td><td><table>
<tr><th>빔제작</th><th>역T형단면</th><th>일체긴장부</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

단 1회의 긴장만으로 저형고화 할 수 있는 프리스트레스 콘크리트공법
거더상연의 단면이 작아 배수계획에 유리하고 전도위험이 낮다
역T형 단면으로 완공 후 동일 형고 대비 처짐 및 진동에 대한 사용성이 유리
</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>
콘크리트 단면내 PS강선의 대칭배치로 좌굴에 대한 위험성 감소
고강도 콘크리트(fck=45~60MPa) 사용으로 공기단축
Long-Line 방식 적용으로 시공성우수
철근과 쉬스관의 간섭문제 해결
단부 정착부 불필요 및 철근 가공, 조립이 단순
정착구, 쉬스관, 그라우팅의 공사비 절감
Long-Line 공법의 대량생산으로 공사비 절감
유지관리비용 매우 저렴
이동식 프리텐션 제작장치의 반복 활용으로 공사비 절감
시공실적 보통
</td><td>
다단계 긴장배제와 공정 간소화로 시공성 우수
강합성 계열에 비해 형고가 높으므로 처짐 및 진동에 대한 사용성에 유리
빔 운반 및 가설시 무게중심이 낮아 전도 위험이 대폭 감소
거더 단면만으로 공용하중에 저항하므로 별도의 추가 공정 없이 바닥판 교체가 가능
비부착강선(정착구당 2가닥)을 이용한 유지 보수가능
BiCon거더 우수조달제품선정(국내최초)
시공실적 다수
</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제1080942호</td><td>특허 제10-0589797호/신기술 제603호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>DR GIRDER교</th><th>UDPSC 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>PSC 빔단면과 반단면 프리캐스트 바닥판을 이용하여 비합성 상태에서 긴장력을 도입하여 강선의 도입효율을 높이고, 연속화 강선의 편심량을 극대화하여 구조적 효율성 및 경제성을 추구한 공법</td><td>빔을 거치 연결 시킨 후 상승. 하강과정을 통해 슬래브 바닥판 콘크리트에 압축응력을 도입한 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>   </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td><table><tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr><tr><td>30</td><td>1.1</td><td>72</td></tr><tr><td>35</td><td>1.4</td><td>79</td></tr><tr><td>37.5</td><td>1.7</td><td>84</td></tr><tr><td>40</td><td>1.7</td><td>86</td></tr></table></td><td><table><tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr><tr><td>30</td><td>1.55</td><td>72</td></tr><tr><td>35</td><td>1.75</td><td>73</td></tr><tr><td>37.5</td><td>1.95</td><td>74</td></tr><tr><td>40</td><td>2.05</td><td>75</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td><table><tr><th>빔제작</th><th>Precas
부재사용</th><th>2차긴장/
유지관리</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr></table>◙ 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력 도입
◙ 전경간 연속배치된 2차강선이 연속부강선역할 겸용
◙ 조립식가로보 적용으로 시공성 및 안전성향상</td><td><table><tr><th>빔제작</th><th>빔 연결</th><th>up-down</th></tr><tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr></table>◙ 슬래브 압축력도입을 위한 빔상승하강 공정추가
◙ 내측 지점부 바닥판에 도입된 압축력으로 내하력을 증가 시키고 주장률 철근 불필요
◙ 연결부(교각) 위치에서 1 shoe 사용</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>◙ 프리캐스트 바닥판 적용으로 거더 효율성 및 시공성 향상, 공기단축 가능
◙ 슬래브설치에 따른 고공작업 생략으로 작업환경 개선 및 안전성 증진
◙ 교상면에서 2차긴장작업 시행으로 긴장작업 효율성 및 품질 관리에 유리
◙ 장경간 연속화로 국내 55M 실적 보유
◙ 거더단면이 곡선형이고 복부에 마디가 없어 미관성 매우 우수
◙ 낮은형고와 효율적인단면으로 주자재량이 감소하여 경제성 우수
◙ 시공실적 다수</td><td>◙ 사용하중하에서 Full Prestressing으로 인장균열 미발생
◙ 슬래브 콘크리트 강도가 높아 내구성 높음
◙ 일반 PSC빔 보다 형고가 낮아 SLENDER한 미관
◙ 교각부 1 shoe 사용으로 인하여 shoe 교체비용 감소
◙ 공사비 저렴
◙ 시공실적 다수</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-0724739호/신기술582호</td><td>특허 0283603호, 신기술 270호</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>S-PSC 거더교</th><th>SOC 거더교</th></tr>
<tr><td>공법개요</td><td>거더단부에 단차를 두어 거더 하단과 받침 하면을 일치시켜 도로 계획고를 감소시키며 긴장력 1회 도입으로 공사비를 절감시킨 PSC 공법</td><td>거더 중앙 상부 일부구간에 돌출된 콘크리트 블록을 설치하여 단면 강성증진을 통한 초기긴장력 극대화 및 강선의 긴장력 효율성을 극대화하여 장경간 저형고가 가능한 공법</td></tr>
<tr><td>단 면 도</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>형 고
및
상부직접
공사비</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.24</td><td>73</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.44</td><td>74</td></tr>
<tr><td>37.5</td><td>1.74</td><td>75</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.74</td><td>75</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th>지간(m)</th><th>형고(m)
(슬래브 포함)</th><th>공사비
(만원/m2)</th></tr>
<tr><td>30</td><td>1.3</td><td>70</td></tr>
<tr><td>35</td><td>1.5</td><td>72</td></tr>
<tr><td>40</td><td>1.7</td><td>73</td></tr>
<tr><td>45</td><td>2.0</td><td>75</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>공법특징</td><td>
<table>
<tr><th>거더제작</th><th>강연선 긴장</th><th>프리캐스트
거푸집설치</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

거더하단과 받침하면을 일치시켜 거더형고 감소효과로 하천적용성(통수단면 확보) 우수
단면 최적화로 강성을 증가시켜 거더 형고 감소
거더 중앙부 PSC거더, 단부는 돌출강재 적용한 효율적 합성부재

</td><td>
<table>
<tr><th>거더및블럭제작</th><th>Ps강선긴장</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

거더단면이 곡선형이고 복부에 마디가 없어 미관성 매우 우수
1회의 긴장으로 시공의 편의성 도모 및 기존 저형고 PSC 거더에 비해 15~20% 공사비 절감

</td></tr>
<tr><td>특 성</td><td>

교량 중앙부 콘크리트 프리캐스트 거푸집 도입으로 동바리 불필요하여 시공안전성 향상
다단계 긴장 불필요로 추가 공사비 절감
연속 지점부를 슬래브로 연결처리 (철근 보강)
돌출강재에 철근삽입으로 가로보 일체화 및 구조안전성 향상
낮은형고와 효율적인 단면으로 주자재량이 감소하여 경제성 우수
시공실적 없음

</td><td>

거더 상면 콘크리트 블록 설치로 단면 강성 증가 및 PS 효율 증대
콘크리트 블록 바닥판 매립으로 형고 감소
2차긴장 공정 생략 및 강재, 강봉 등의 부재 미설치로 시공성 및 경제성 우수
낮은형고와 효율적인단면으로 주 자재량이 감소하여 경제성 우수
시공실적 작음

</td></tr>
<tr><td>특허/신기술</td><td>특허 제10-1314854호</td><td>특허 제 10-1012402호</td></tr>
</table>

나. 모노텐던 단일 정착 PSC거더의 시공프로세스 정립

20~50m의 단경간 규모의 교량에서 가장 저렴한 구조형식인 PSC거더교에 2,160MPa 이상(2,160MPa 또는 2,400MPa) 고강도 PS강연선을 활용한 모노텐던(Mono Tendon)과 단일 정착시스템을 적용한 거더의 시공프로세스를 정립하는데 있어 일반 PSC거더의 시공프로세스를 분석하고 모노텐던 단일 정착 PSC거더의 시공프로세스 안과 비교·분석하여 최종적으로 모노텐던 단일 정착 PSC거더에 적합하고 현실성 있는 시공공정을 정립하였다.

(1) 일반 PSC거더 시공프로세스

국내 다양한 PSC거더 형식의 교량이 개발되어 시공되고 있으나 그 중 가장 많이 보급되어 건설되어진 IPC 거더를 대상으로 시공프로세스를 분석하고자 한다. IPC 거더의 경우 1차 긴장 단계와 2차 긴장 단계가 존재하게 되는데 본 연구차년도의 범위는 단경간 모노텐던 단일 정착 PSC거더를 대상으로 하고 있으므로 거더를 교대, 교각에 거치하는 공정 전까지를 분석하였다.

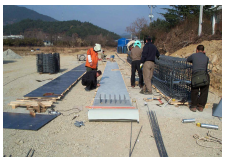
일반 PSC거더의 시공단계는 아래 그림과 같이 크게 제작대 설치, 철근 가공 조립, 강재 거푸집 설치, 콘크리트 타설, 양생 및 거푸집 해체, 긴장 및 그라우팅 그리고 작업종료의 7단계로 구분할 수 있다.



<그림 2.1.16 일반 PSC거더 시공 순서도>

각 단계별 세부 단위 작업을 아래 표에 나타내었다. 긴장 및 그라우팅 단계에 속해 있는 PS강선 삽입 작업은 2단계 철근 가공 조립에 포함되기도 한다. 즉 쉬스(sheath)관을 설치하고 PS강선을 삽입하여 공사를 진행하는 사례도 있다.

<표 2.1.8 일반 PSC거더의 제작순서 및 세부 작업 내용>

NO	작업명	세부 작업 내용		
1	제작대 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치	· 솔플레이트 설치	
2	철근 가공 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · 철근조립	· 쉬스(Sheath)관 설치 · 인양고리 설치 · 정착구 조립	
3	강재 거푸집 설치	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립	· P.E관 삽입	
4	콘크리트 타설	· 레미콘 타설		
5	양생 및 거푸집 해체	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생	· 거푸집 해체 · 자연양생	
6	긴장 및 그라우팅	· PS강선 삽입 · 헤드 및 웨찌 설치 · 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 그라우팅 유입 파이프 설치	· 정착장치 몰탈처리 · 그라우팅 작업 · 그라우팅 양생	 
7	작업 종료	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설		

각 시공단계별 세부 시공 상세를 살펴보면 다음과 같다.

(가) 제작대 설치

① 제작대는 제작장 지면 보다 높게 하여 우천 시 배수가 잘되도록 하여야 한다.

② 제작대와 제작대의 간격은 거더 횡 방향으로 1.2m이상 종 방향으로 5m이상 충분한 간격을 유지하여 작업에 장애가 없도록 하여야 한다.

③ 거더 거치 순서를 고려하여 제작대 설치 순서를 정하고 제작된 순서대로 반출할 수 있도록 한다.

④ 석분으로 수평을 맞추고 받침목을 일정 간격으로 설치하여 빔 자중과 거푸집 등의 중량으로 변형이 가지 않도록 하여야 한다.

⑤ 받침용 철판은 이음매가 벌어지지 않도록 설치하여야 한다.
⑥ 장판은 고르게 펴 빔 하단이 평평하게 되도록 하여야 한다.
⑦ 샘플한 Soleplate의 스터드 볼트를 햄머로 5회 정도 때려 부착 상태를 점검하여야 한다. 이 때 스터드 볼트가 휘어지면 정상적인 부착으로 본다.
⑧ Soleplate 철판의 휨 여부를 육안으로 검사 후 설치한다.
⑨ Solepate 설치 시 상부면을 바닥판과 수평을 유지하여 하부면의 구배가 맞도록 한다.



(a) 기초목재 설치



(b) 철판 및 장판설치



(c) 철판 및 장판설치



(d) Soleplate 설치

<그림 2.1.17 제작대 설치 단계 시공전경>

(나) 철근 가공 및 조립
① 철근 가공은 설계도에 나타난 형상 및 치수에 일치하도록 가공한다.
② 조립 전에 철근에 묻은 흙 등을 깨끗이 청소하고 특히 철근 가조립 후 녹 방지제를 상부 노출철근 부위에 도포하여 녹 발생을 억제한다.
③ 조립 작업시 결속은 빠짐없이 견고히 하고 철근에 묻은 이물질과 녹은 헝겊이나 물로 제거 후 조립한다.
④ 장 철근을 한쪽에서 밀어 넣어 설치하고 세워둔 철근은 장판에 미리 표시해 둔 위치로 이동하여 조립한다.
⑤ 단부 보강철근은 정착장치와 쉬스관의 설치 후 조립한다.
⑥ 야적되어 있는 쉬스관을 설치 위치까지 이동하여 운반한다.
⑦ 정확한 쉬스관 위치 확보를 위하여 일정 길이 마다 보완용 철근을 추가 배치하고 결속선으로 견고히 묶어준다.
⑧ 정착장치는 단부 거푸집에 설치하고 정착장치와 쉬스관의 이음부는 몰탈이 새지 않도록 테이프로 완전 밀봉한다.



(a) 철근 가공



(b) 노출철근 방청처리



(c) 철근 조립



(d) 쉬스관 설치



(e) 쉬스관 설치



(f) 정착구 설치

<그림 2.1.18 철근가공 및 조립 단계 시공전경>

(다) 강재 거푸집 설치

① 강재 거푸집은 조립 전 표면을 점검하고 깨끗이 청소해야 한다.

② 거푸집은 설계도에 표시된 형상과 치수가 일치되어야 하며 조립, 탈형, 콘크리트 타설시 변형이 오지 않는 강도를 유지하여야 한다.

③ 거푸집은 반드시 뒤틀림 등 변형 유무를 검측한 후 불량 거푸집은 즉시 반출해야 한다.

④ 거푸집 조립 후 철근 피복이 일정하게 유지되도록 Spacer를 설치 한다.

⑤ 강선을 삽입하지 않고 레미콘 타설 시에는 P.E관을 쉬스관에 삽입하여 레미콘 타설 충격으로 쉬스관이 변형되지 않도록 해야 한다.



(a) 거푸집 박리제 도포



(b) 거푸집 조립



(c) 거푸집 조립



(d) 거푸집 조립



(e) 상부철근 오염 방지호스 설치



(f) P.E관 삽입

<그림 2.1.19 강재 거푸집 설치 단계 시공전경>

(라) 콘크리트 타설

① 콘크리트 타설 이전에 Batch Plant와 제작장과의 거리, 운반시간, 타설방법, 타설시간 등을 검토하여 유동화제 투입장소, 사용량을 결정하고 연속적인 콘크리트 타설이 되도록 계획 수립하여야 한다.

② 콘크리트의 타설 방향은 단부부터 중앙부 쪽으로 이동하며 작업한다.

③ 단부는 철근이 복잡하여 동공이 발생할 염려가 있으므로 충분한 다짐을 실시한다.

④ 콘크리트를 적당한 위치에 배분, 투입하여 골재분리를 막는다.

⑤ 바이브레이터를 사용시 콘크리트 속에 주입하여 3~4초 정도 머물다가 천천히 수직으로 뽑아내야만(인입 속도와 인출 속도가 같게) 공기가 밖으로 빠져 나온다. 이때 콘크리트면에 공기가 분화구처럼 많이 발생되어야만 면에 물기포가 적게 발생되어 좋은 제품이 된다.

(마) 양생 및 거푸집 해체

① 증기 양생 시작전에 보일러의 사전 점검과 연료 및 용수 등을 확인한다.

② 콘크리트를 친 후 2~3시간 후부터 증기를 가하기 시작하여야하며 1시간 내에 상승 및 하강 온도가 20℃를 넘지 않게 보일러 압력계를 확인하여 압력밸브로 조정한다.

③ 증기는 충분한 수분을 공급하기위해 상대습도 100%가 되어야하며 이를 위해 천막을 빈틈없이 설치한다.

④ 온도 하강시 천막을 서서히 걷어 올려 대기온도보다 10℃ 높을 때까지 온도를 서서히 하강시킨다.

⑤ 강재 거푸집 해체 시 콘크리트의 면에 손상이 가지 않게 목재를 이용 거푸집을 이격시킨다.

⑥ 분리된 거푸집은 백호를 이용하여 분리 해체한다. 또한 거푸집 탈형 시 콘크리트에 진동 및 충격이 가해지지 않도록 주의해야 한다.



(a) 콘크리트 타설 (b) 콘크리트 타설

(c) 콘크리트 타설 (d) 바이브레이터 이용 다짐

<그림 2.1.20 콘크리트 타설 단계 시공전경>

(바) 긴장 및 그라우팅

a. 긴장 작업

① 12가닥을 동시에 밀어넣어 설치하며 운반시 단부가 지면에 닿지 ㅇㅏㅎ도록 전 인원을 투입하여 운반 및 삽입한다.

② 압력게이지 calibration을 확인하고 긴장력이 PS강재의 항복점 이하임을 확인한다.

③ PSC Beam 정착 단부의 주변을 깨끗이 손질하여 이물질이 없도록 하고 강선의 배열을 꼬이지 않게 정리한 후 헤드(head)를 끼우고 지압판에 밀착시킨 다음 정착쐐기(wedge)를 1차 정착한다.

④ 인장기를 헤드에 밀착시킨 후 강선 유도판을 강연선 끝에 끼우고 인장기 배열과 강선 배열

에 일치시킨 다음 인장기를 정착한다. 이때 인장기를 정착판에 최대로 밀착시켜 강선의 늘어짐을 최소화 한다.

⑤ 펌프를 작동하여 지시 압력가지 긴장을 시작한다. 신장량의 측정은 압력계기 10MPa 마다 인장기 피스톤의 stroke를 체크하여 기록한다.

⑥ 긴장 지시 압력까지 도달 후 펌핑을 중단하고 인장측 밸브를 잠그고 긴장상태를 유지 시킨다.

⑦ 신장량을 검토하고 설계 신장량과 비교한다. 정착 후 인장측 쐐기를 탈영하고 인장기를 이탈한다. 그리고 인장 후 헤드 밖으로 나온 강선을 20mm정도 남기고 cutter기로 절단한다.



(a) 증기양생



(b) 증기양생



(c) 증기양생



(d) 거푸집 해체

<그림 2.1.21 양생 및 거푸집 해체 단계 시공전경>

b. 그라우팅 작업

① 그라우팅 전에 주입호스를 설치하고 정착단부의 헤드와 정착 웨찌 사이의 공간을 시멘트 풀이나 석고를 잘개어 그라우트 압력이상에도 새지 않게 잘 매운다. 이때 그라우트 홀은 막히지 않도록 주의한다.

② 돔모양의 시멘트 풀이 충분히 굳은 후 믹싱작업을 시작하여 설계량의 물-시멘트-팽창제를 순서대로 투입하고 잘 섞어 5이상의 압력으로 주입시킨다.

③ 그라우트 재료를 정지시켜 두면 재료 분리등의 원인에 의하여 유동성의 악화 도는 다른 악영향을 주므로 주입은 천천히 하되 연속적인 주입작업을 실시하여야 한다.

④ 반대편 배출구에서 그라우팅 밀크가 배출되기 시작하고 케이블내에 밀크가 충분히 포화상태가 되었다고 판단되면 밀크 주입을 중단하고 주입구와 배출구를 단단히 막는다.

(사) 작업종료

① 그라우팅 작업이 끝나면 단부를 1:3 몰탈로 마감처리 한다.

② 단부마감 거푸집은 합판을 사용한다.
③ 합판을 양단부에 벤딩용 철띠를 이용하여 단단히 고정한다.
④ 몰탈 양생을 거친 후 거푸집을 해체하여 몰탈 표면 상태를 점검한다.



(a) PS강선 삽입



(b) 헤드 및 웨찌 설치



(c) 긴장 작업



(d) 강선 절단

<그림 2.1.22 그라우팅 작업 단계 시공전경>



(a) 마구리 거푸집 작업



(b) 마구리 거푸집 작업



(c) 몰탈 타설



(d) 몰탈 타설

<그림 2.1.23 작업종료>

(2) 모노텐던과 단일 정착 PSC거더 시공프로세스

모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 특성에 적합한 시공프로세스의 정립은 중요하다. 시공프로세스 정립을 위해 고려되어야 하는 특성으로는 다음과 같은 사항들이 있다.

- 모노텐던을 구성하는 강연선은 비부착 강연선을 사용함.
- 거더 중앙부 하단에서 모노텐던이 외부로 노출됨.
- 단일정착 시스템이므로 긴장 방식이 일반 PSC거더와 다름.

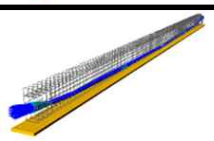
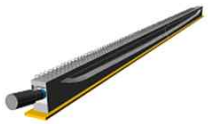
아래 그림은 위에서 언급한 특성을 고려한 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 시공순서도를 나타내고 있고 다음 표는 각 단계별 세부 단위 작업을 나타내고 있다. 큰 작업 단계로 살펴보면 일반 PSC거더와 유사한 시공프로세스를 나타내지만 위에서 언급한 특성에 의해 세부 단위 작업에는 차이를 보이고 있다.



<그림 2.1.24 모노텐던과 단일 정착 PSC거더 시공 순서도>

모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 시공프로세스에서 특이사항으로는 비부착 강연선으로 모노텐던이 구성되기 때문에 긴장 후 그라우팅에 관련된 공정이 생략되고 또한 모노텐던을 철근 조립 전에 설계도서에서 제시한 위치에 고정되도록 먼저 설치한 후 철근 조립이 이루어져야 한다. 그리고 모노텐던의 편심효과를 극대화하기 위해 거더 중앙부 하면에는 모노텐던이 외부로 노출되기 때문에 철근 조립 시 소정의 위치에 모노텐던 보호캡을 미리 설치하고 콘크리트를 타설하도록 한다.

<표 2.1.9 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 제작순서 및 세부 작업 내용>

NO.	작업명	세부 작업 내용	
1	제작대 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치 · 솔플레이트 설치	
2	철근 가공 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · **모노텐던 설치** · 철근 조립 · **모노텐던 보호캡 설치** · 인양고리 설치 · 정착구 조립	
3	강재 거푸집 설치	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립	
4	콘크리트 타설	· 레미콘 타설	
5	양생 및 거푸집 해체	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생 · 거푸집 해체 · 자연양생	
6	모노텐던 긴장	· 헤드 및 웨지 설치 · 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 정착장치 몰탈처리	
7	작업 종료	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설	

(가) 전체 시공 순서 비교

일반 PSC거더와 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 시공 순서를 개략적으로 나타내면 다음 그림과 같다. 일반 PSC거더의 제작에는 부착 강연선을 사용하고 모노텐던과 단일 정착 PSC거더에는 비부착 강연선을 사용한다. 이러한 이유로 일반 PSC거더의 시공과정에 강연선을 부착시키기 위해 그라우팅 공정이 필요하게 되지만 모노텐던과 단일 정착 PSC거더에는 그라우팅 공정이 생략된다. 더욱 세부적인 작업단위의 시공 순서의 비교는 아래 표와 같다.

앞의 표에서 보듯이 단위 작업의 측면에서 크게 철근 가공 조립 단계와 긴장 작업 단계에서 차이를 보이고 있다. 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 경우 비부착 강연선을 사용하기 때문에 쉬스관이 필요하지 않고 또한 P.E관 삽입과 PS강선 삽입의 작업이 필요하지 않게 된다. 또한 그라우팅 작업이 필요하지 않기 때문에 그라우팅 유입 파이프 설치 및 그라우팅 밀크 주입 등의 그라라우팅에 관계된 작업이 생략된다. 대신 철근 가공 조립 단계에서 철근 조립 전에 모노텐던을 소정의 위치에 고정을 해둔 상태에서 철근 조립이 이루어져야 한다. 그리고 모노텐던의 편심 효과를 최대화하기 위해 거더 중앙부 하면에는 모노텐던이 노출됨으로 해서 노출된 텐던의 부식이나 손상을 막기위한 목적으로 모노텐던 보호캡을 철근 가공 조립단계에 미리 소정의 위치에 설치하게 된다.

결론적으로 일반 PSC거더에 비해 쉬스관 설치, P.E관 삽입, PS강연선 삽입, 그라우팅 유입

파이프 설치, 그라우팅 밀크 주입 등의 단위 작업이 생략이 됨으로 시공작업의 효율성은 우수하다 판단된다.



(a) 일반 PSC거더 시공 순서 (b) 모노텐던 단일 정착 PSC거더 시공 순서

<그림 2.1.25 시공 순서 개략도>

<표 2.1.10 일반 PSC거더와 모노텐던과 단일정착 PSC거더 제작 작업 내용>

NO.	작업명	일반 PSC거더 세부 작업 내용	모노텐던과 단일정착 PSC거더 세부 작업 내용
1	제작대 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치 · 솔플레이트 설치	· 기초목재 설치 · 철판설치 및 장판설치 · 솔플레이트 설치
2	철근 가공 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · 철근조립 · 쉬스(Sheath)관 설치 · 인양고리 설치 · 정착구 조립	· 철근가공 및 가조립 · 노출철근 방청처리 · 모노텐던 설치 · 철근 조립 · 모노텐던 보호캡 설치 · 인양고리 설치 · 정착구 조립
3	강재 거푸집 설치	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립 · P.E관 삽입	· 거푸집 박리제 도포 · 거푸집 조립
4	콘크리트 타설	· 레미콘 타설	· 레미콘 타설
5	양생 및 거푸집 해체	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생 · 거푸집 해체 · 자연양생	· 증기양생용 보일러 설치 · 증기양생 · 거푸집 해체 · 자연양생
6	긴장 및 그라우팅	· PS강선 삽입 · 헤드 및 웨찌 설치 · 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 그라우팅 유입 파이프 설치 · 정착장치 몰탈처리 · 그라우팅 작업 · 그라우팅 양생	· 헤드 및 웨찌 설치 · 모노텐던 긴장 작업 실시 · 강선 절단 · 정착장치 몰탈처리
7	작업 종료	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설	· 마구리 거푸집 설치 · 몰탈 타설

(나) 전체 시공 공기 비교

아래 그림은 PSC거더 20본을 가상으로 제작한다고 계획했을 때 일반 PSC거더와 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 제작 공기를 보여주고 있다. 일반적으로 긴장 작업이전의 시공작업은 연속공정으로 거푸집 1조가 2일에 긴장 작업 이전까지의 거더 1개분을 완성하게 됨으로 단위 작업에서는 차이가 나지만 전체적인 공정으로 보았을 때는 거더 20본을 제작하는데 있어 40일이 소요되는 것은 일반 PSC거더와 모노텐던과 단일 정착 PSC거더가 동일하다 할 수 있다.

긴장 작업에 있어서는 모노텐던과 단일 정착 PSC거더에 적용되는 모노텐던 소선별 균등긴장 방법이 소선을 한 가닥씩 긴장해야되는 단점이 있지만 인장장비의 경량화로 인해 장비의 운반이나 작업의 난이도를 고려하였을 때 일반 PSC거더의 긴장작업과 크게 작업의 시간에 차이가 나지 않을 것으로 판단됨으로 일반 PSC거더의 긴장 작업 소요시간인 1일 10본 긴장으로 보아도 무방하다 하겠다.

따라서 그라우팅에 관계된 공정만 차이가 나게 됨으로 모노텐던과 단일 정착 PSC거더가 일반 PSC거더의 제작 소요일 보다 15일(그라우팅 양생기간) 적게 소요됨을 알 수 있다.

(다) 시공프로세스 차이에 따른 비용 분석

일반 PSC거더(UD PSC거더) 40m를 기준으로 시공프로세스의 차이에 따른 비용의 증감에 대해 살펴보기로 한다. 모노텐던과 단일 정착 PSC거더를 기준으로 분석한다면 일반 PSC거더에 비해 생략되는 비용은 크게 쉬스관 설치와 그라우팅 작업이고 이에 반해 추가되는 비용은 비부착 강연선을 사용하는 모노텐던 재료비와 거더 중앙부 하면에 모노텐던의 노출방지를 위해 설치되는 보호캡 설치 비용이 추가된다. 거더 길이 40m인 PSC거더의 상부내역서를 바탕으로 시공프로세스의 차이에 따른 비용 증감을 간략히 정리한 것이다. 결과 40m 거더 1본 제작 시 모노텐던과 단일 정착 PSC거더의 시공 비용이 약 210만원이 감소하는 것으로 분석되었다. 빔 150본 제작의 대규모 공사에서는 약 3.2억원의 공사비 절감의 효과를 가져 올 것으로 분석된다.

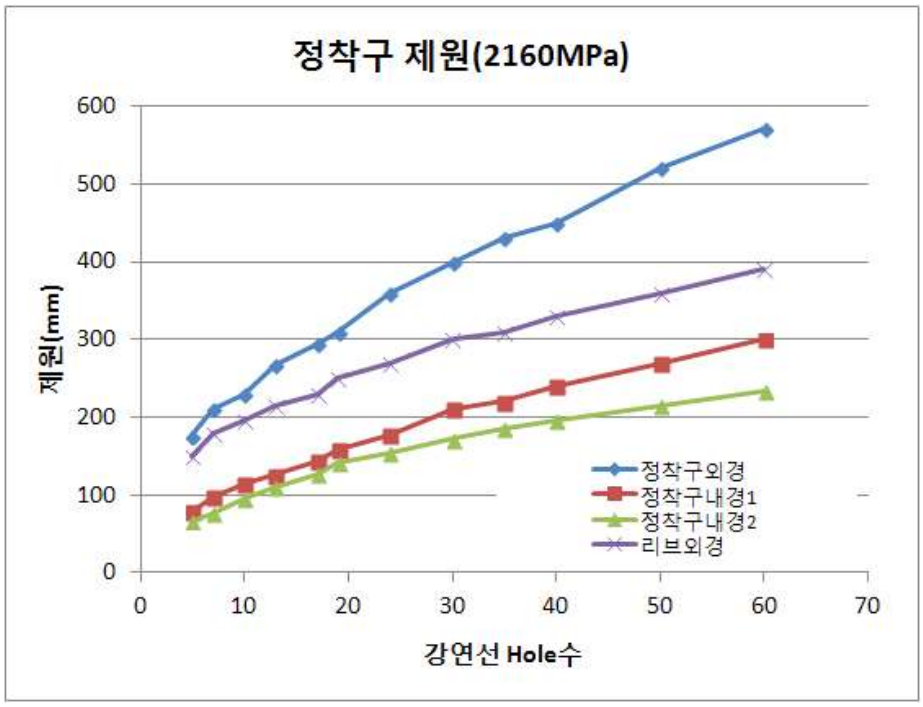
제2절 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발

1. 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 적용성 평가

가. 단일 정착시스템 정착부 상세 개발

(1) 정착구 및 보강철근 설계(안) 도출

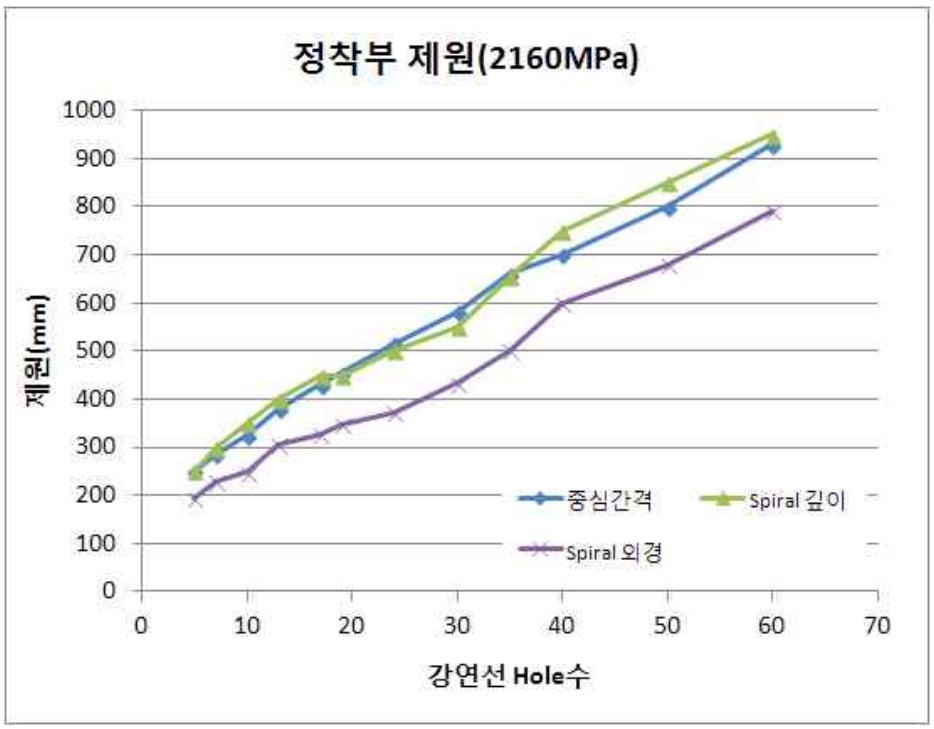
- 정착구와 보강철근의 설계는 도로교설계기준에서 제시하는 기준에 따르는 방법과 기존 정착장치에서 제시하고 있는 기준을 확대적용하는 방법이 있다. 이 연구에서는 2가지 방법을 모두 적용하여 모노텐던 정착장치와 보강철근 설계(안)을 도출하였다.
- 인장강도 2160MPa 이상의 강도를 갖는 강연선에 대한 정착장치는 (재)포항산업과학연구원(RIST)이 초장대교량사업단 연구과제를 통해서 개발한 정착장치가 유일하기 때문에 그것을 기준으로 우선 Extrapolation을 해보았다. 참고로, 일반적인 PSC구조물에서 단위 텐던의 크기는 1860MPa 강도 기준으로 33Hole까지 사용되고 있다. RIST에서 개발한 제품 또한 2160MPa 기준으로 29Hole까지 성능검증이 되어있다.
- 기존 작은 제원의 정착장치에 대한 Extrapolation 검토결과 아래 그림과 같이 30Hole 이상의 정착구와 철근배근을 포함한 정착부에 대한 제원을 도출할 수 있었다.



<그림 2.2.1 정착장치 제원결정>

- 설계측면의 검토에서는 정착부의 지압응력과 파열응력을 검토할 수 있다. 통상적으로 제품화된 정착장치 측면에서는 나선철근과 스터럽 철근의 보강을 일반 배근부 보다 과도하게 도입하여 정착부의 면적을 줄이는 노력을 하고 있다. 이 경우 파열력에 대해서는 요구 철근량 대비 큰 수준의 철근이 배근된다.

- 한편, 이러한 철근의 배근은 정착구와 맞닿는 콘크리트에 구속효과를 도입하여 콘크리트에 있어 추가 강도를 유발하고 지압강도의 상승효과를 이끌어낸다. 그러나 설계기준에서는 이를 반영하지 않고 있다. 따라서 일부 정착장치의 경우 하중전달시험을 통과하더라도 지압강도 기준식을 만족하지 못하는 경우가 종종 있다.
- 정착장치가 하중전달시험을 통과할 경우 추가적인 설계검토를 하지 않아도 되기는 하지만 이 연구에서는 정착구의 제원설정 검토단계에서 설계검토를 하여 보다 여유있는 정착구 설계가 될 수 있도록 하였다. 도로교설계기준에서 제시하고 있는 지압 허용응력은 다음 설계식과 같다.
- 다음 표에서 볼 수 있는 바와 같이 설계식과 비교할 때 정착장치의 지압응력은 허용수준 이내로 발생하는 것으로 평가되었다. 따라서, 여기서 도출된 정착장치 제원을 기준으로 시험체를 제작하여 구조성능을 검증하였다.
- 여기서, 스파이럴과 스터럽 철근의 직경은 가공성을 고려하여 16mm까지를 사용하였다.



<그림 2.2.2 정착장치 제원결정>

<도로교설계기준 4.6.3.3 허용응력>

⑥ 정착부의 지압 응력

포스트텐션 부재의 정착장치는 국제적으로 통용되는 정착장치 인증시험을 거치는 경우 별도의 지압검토를 하지 않아도 무방하나, 시험으로 증명되지 않은 정착장치에 의해 발생되는 콘크리트의 지압응력은 다음 값 이하로 하여야 한다.

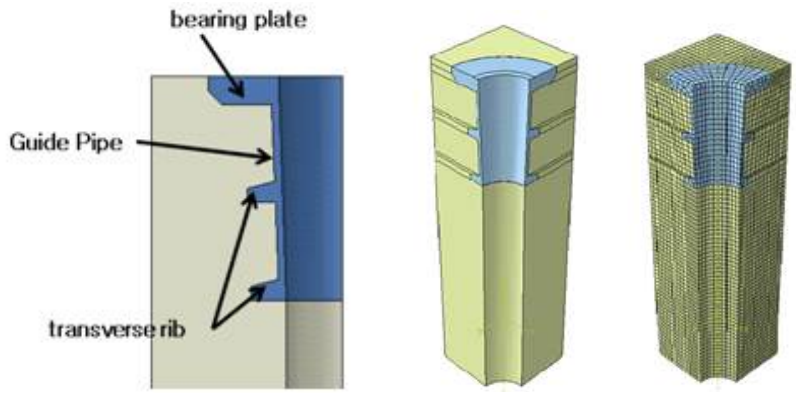
(가) 긴장재 정착 직후 : $0.70 f_{ci} \sqrt{\frac{A_b'}{A_b}} - 0.2 \le 1.10 f_{ci}$

<표 2.2.1 설계기준에 따른 정착부 지압강도 검토>

홀수	공칭강도 (kN)	정착구 외경	정착구 내경1 (상면)	정착구 내경2 (하면)	리브 외경	중심 간격	Spiral 외경	Spiral 깊이	지압 응력	판정
5	1,500	176	78	67	150	250	195	250	20.8	O.K
7	2,100	210	97	77	180	285	230	300	19.6	O.K
10	3,000	230	115	96	195	325	248	350	21.2	O.K
13	3,900	268	126	111	215	380	305	400	22.2	O.K
17	5,100	295	143	127	230	430	328	450	23.6	O.K
19	5,700	310	159	142	250	455	348	450	23.6	O.K
24	7,200	360	177	154	270	515	373	500	23.7	O.K
30	9,000	400	210	172	300	582	433	550	24.2	O.K
35	10,500	430	220	185	310	660	502	655	26.3	O.K
40	12,000	450	240	196	330	700	600	750	26.4	O.K
50	15,000	520	270	215	360	800	680	850	26.7	O.K
60	18,000	570	300	233	390	900	765	950	27.5	O.K

(2) 정착부 상세 해석을 통한 거동분석

- 지압응력은 지압판에 의한 지압면적과 주위 콘크리트의 면적의 함수로 구성되고, 지압면적이 넓을수록 지압응력은 감소하게 된다. 정착구 내에 설치된 리브는 지압면적의 증가를 유도하나 설계기준에서는 이를 인정하지 않고 있는 것 또한 사실이다.
- 앞의 설계식 검토에서는 지압면적 계산시 리브의 면적을 고려하여 계산되었는데 이는 리브의 영향이 충분하다는 가정에서 이루어진 것이다. 이 연구에서는 리브에 대한 영향을 보다 효과적으로 검토하기 위해 다양한 변수해석을 수행하였다. 해석에 사용된 모델은 아래 그림과 같으며, 해석변수는 총 32개로 아래 표와 같다.



<그림 2.2.3 정착부 구조해석을 위한 FEM 모델링>

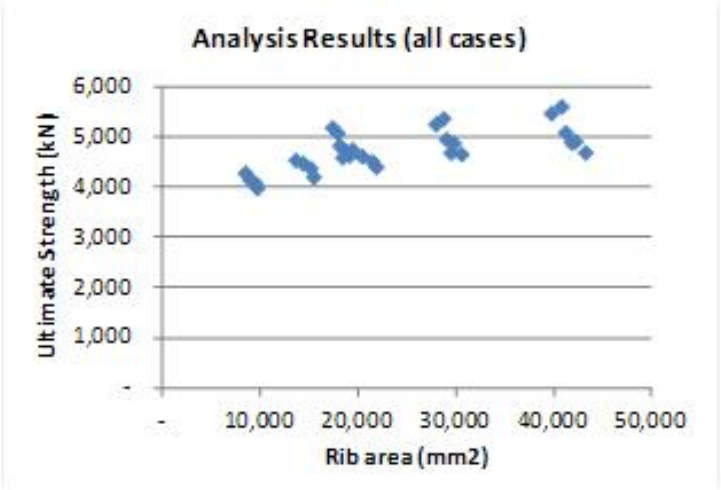
- 다음 페이지의 그래프에 결과를 도식화 하였다. 해석결과, 리브의 면적은 정착장치의 극한강도와 비례적인 관계를 갖고 있는 것으로 나타났다.

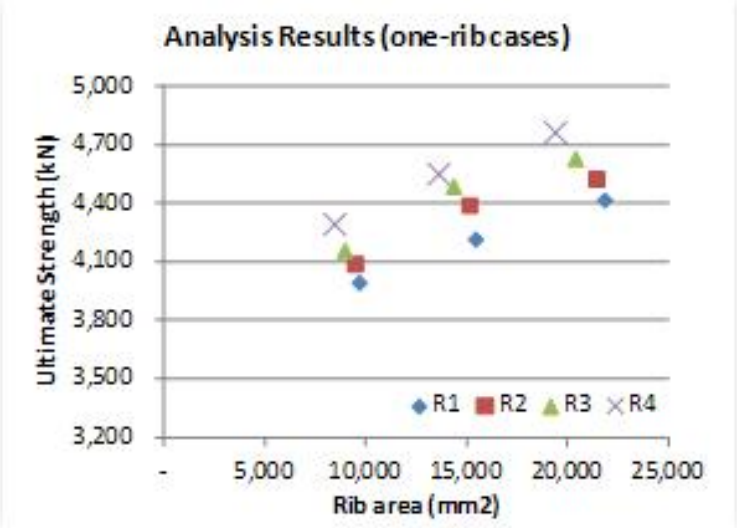
- 이러한 특성은 리브가 한 개 또는 두 개 달려있는 경우 모두에 대해서 동일하게 나타났다.
- 한편 리브가 두 개 달린 경우 리브간 간격이 좁거나 지압판과 인근하여 설치될 경우 리브의 효과가 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다.
- 해석결과로부터 리브를 설치하고 리브간격을 충분히 이격할 경우 리브에 의한 지압판 면적 증가효과는 유효한 것으로 평가된다. 따라서, 기존 일반 PSC 거더용 정착장치를 기반으로 모노텐던용으로 정착장치를 대형화 할 때에도 리브를 설치하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

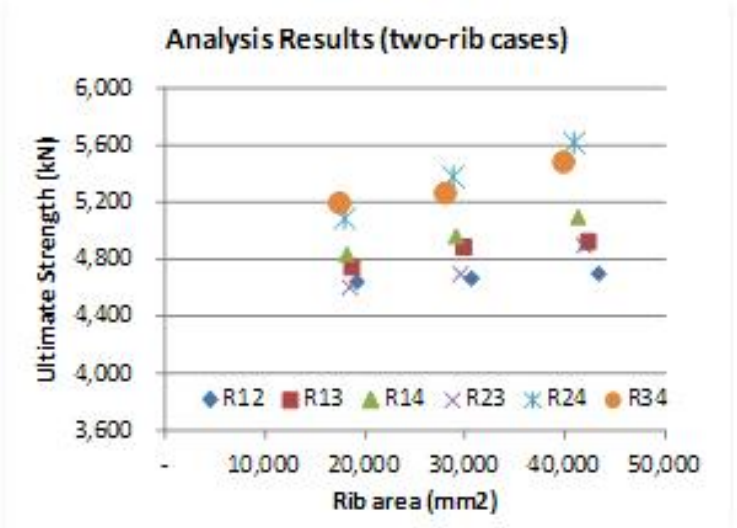
<표 2.2.2 리브 변화에 따른 구조해석 Cases>

No.	Name	Length of Rib (mm)	Relative Location ($h_{rib}/h_{anchorage}$)		No.	Name	Length of Rib (mm)	Relative Location ($h_{rib}/h_{anchorage}$)	
			Rib 1	Rib 2				Rib 1	Rib 2
1	NR	-	-	-	15	R12-20	20-20	1/4	1/2
2	R0	0	-	-	16	R13-20	20-20	1/4	3/4
3	R1-20	20	1/4	-	17	R14-20	20-20	1/4	1
4	R2-20	20	1/2	-	18	R23-20	20-20	1/2	3/4
5	R3-20	20	3/4	-	19	R24-20	20-20	1/2	1
6	R4-20	20	1	-	20	R34-20	20-20	3/4	1
7	R1-30	30	1/4	-	21	R12-30	30-30	1/4	1/2
8	R2-30	30	1/2	-	22	R13-30	30-30	1/4	3/4
9	R3-30	30	3/4	-	23	R14-30	30-30	1/4	1
10	R4-30	30	1	-	24	R23-30	30-30	1/2	3/4
11	R1-40	40	1/4	-	25	R24-30	30-30	1/2	1
12	R2-40	40	1/2	-	26	R34-30	30-30	3/4	1
13	R3-40	40	3/4	-	27	R12-40	40-40	1/4	1/2
14	R4-40	40	1	-	28	R13-40	40-40	1/4	3/4
RXY-Z Length of Rib(mm) Location of Rib					29	R14-40	40-40	1/4	1
					30	R23-40	40-40	1/2	3/4
					31	R24-40	40-40	1/2	1
					32	R34-40	40-40	3/4	1

- NR denotes the basic anchorage with only bearing plate, as in Figure 1(a)
- R0 denotes the conventional anchorage without transverse rib





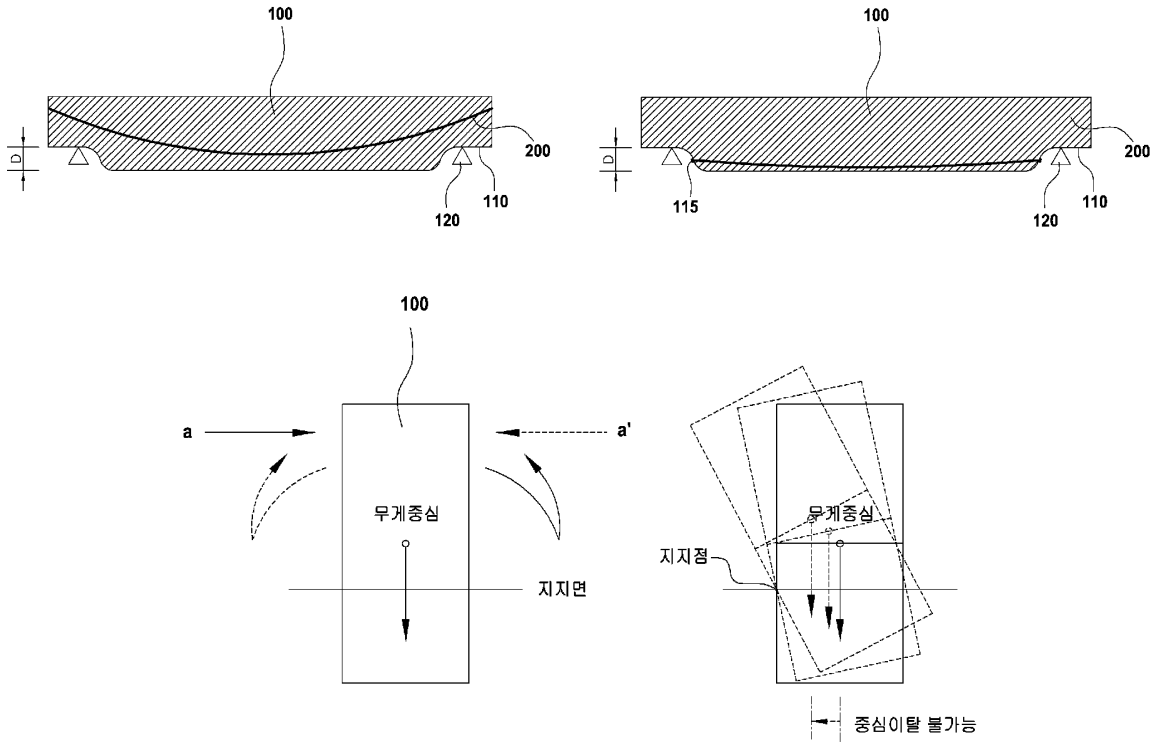


<그림 2.2.4 구조해석결과>

(3) 특허 출원

(가) 특허1, 전도방지용 교량거더, 혜동브릿지, 10-2013-0004018

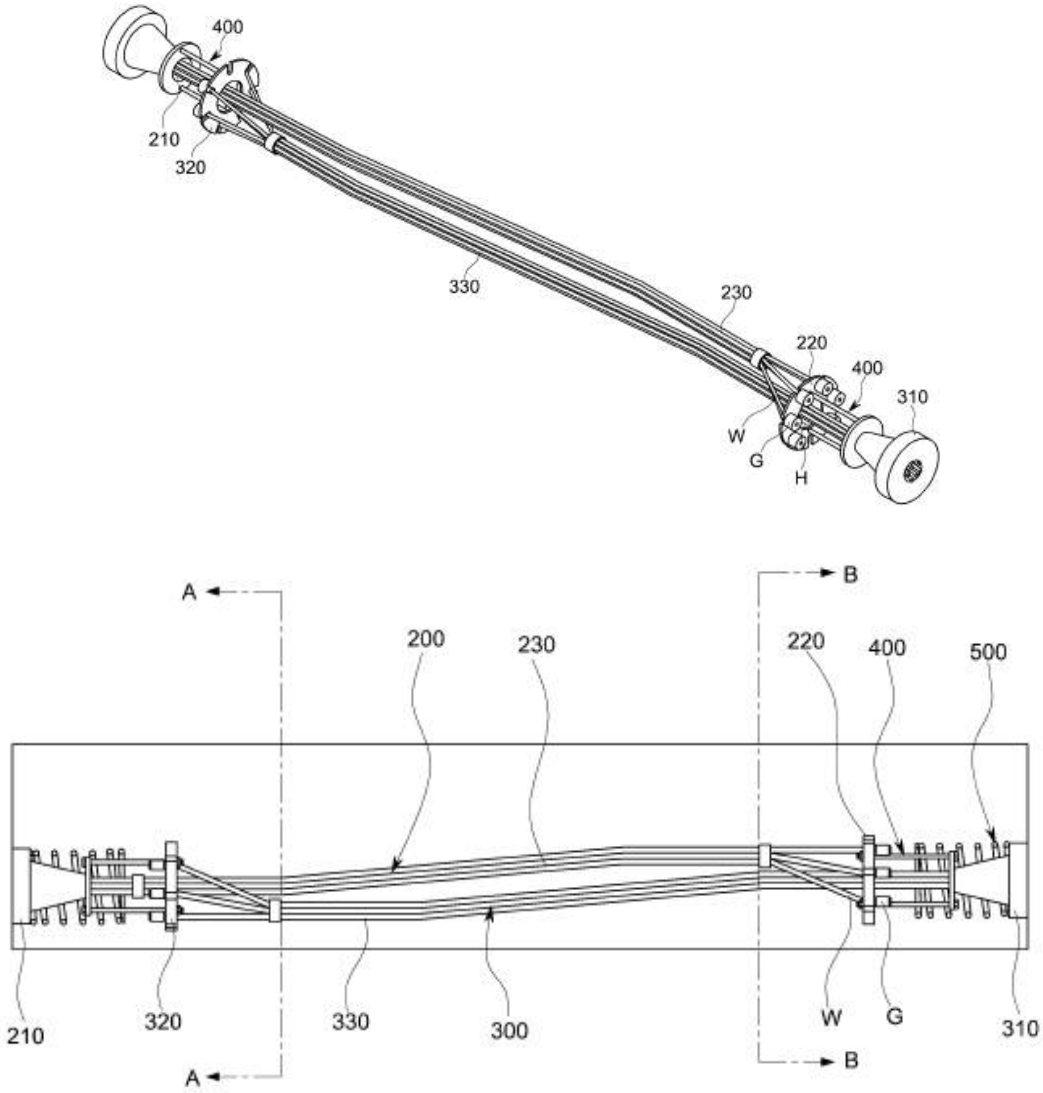
- 본 발명은 전도방지용 교량거더에 관한 것으로, 보다 상세하게는 거더의 제작, 운반, 설치 과정에서 전도위험을 없애고, 거더 형고를 낮추어 계획고를 줄임으로써 토공물량을 줄이며, 교량이 높아지는 것을 최소화시킬 수 있도록 개선된 전도방지용 교량거더에 관한 것이다.
- 본 발명에 의한 전도방지용 교량거더는 양단 하부에 바닥면으로부터 높이차를 두고 단차(D)를 가진 지지대가 접촉 지지되는 단차면(110)이 형성되어 있는 것을 특징으로 한다.
- 본 발명에 따르면, 거더의 양단 일부를 배제함으로써 지지면이 무게중심과 인접하게 되어 무게중심이 항상 상기 콘크리트부재의 폭 내부에 있게 되고 이로 인해 쉽게 전도되지 않으며, 무게가 감소되는 효과가 있어 중량물 시공시 안전성을 더욱 향상시킬 수 있다.



<그림 2.2.5 특허1 대표도>

(나) 특허2, 프리스트레스트 거더, (재)포항산업과학연구원, 10-2013-0038133

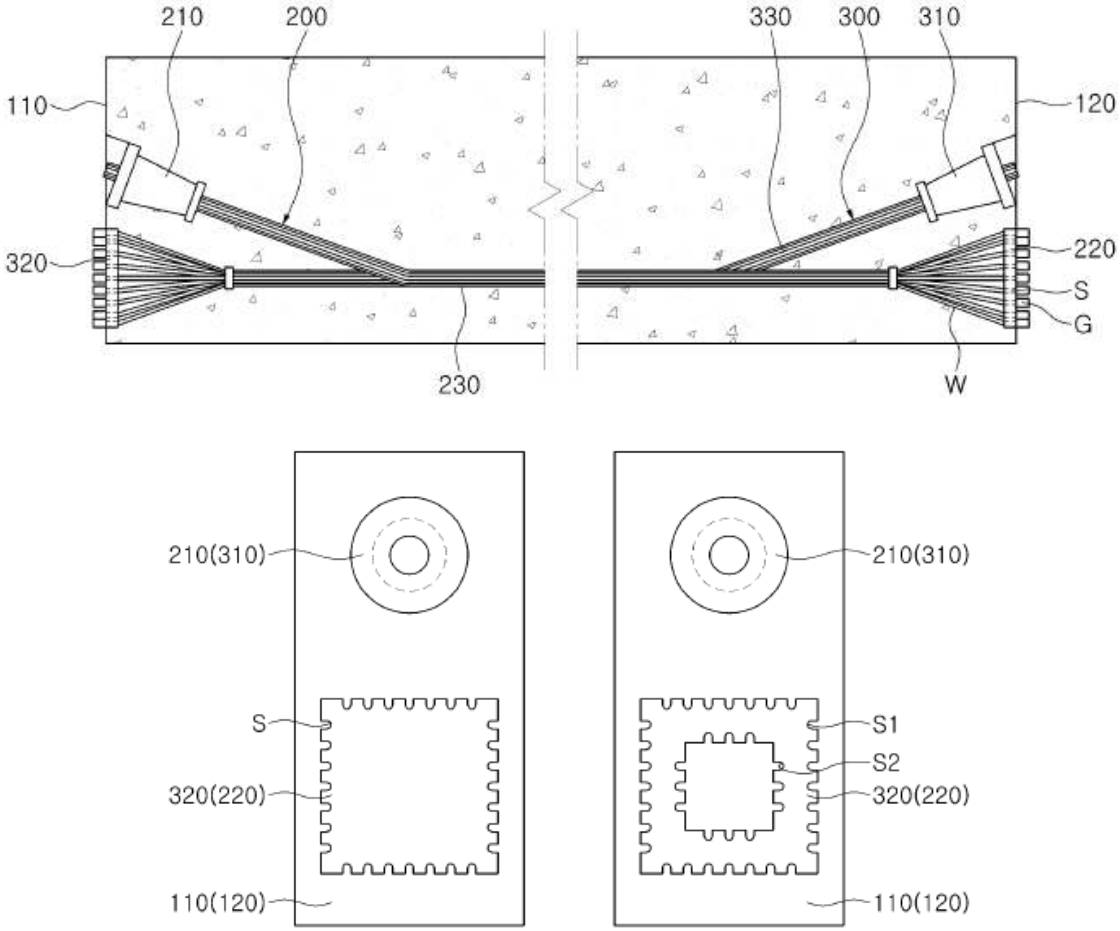
- 모노텐던 거더는 대형 정착장치의 사용이 요구된다. 그러나 대형 정착장치를 사용할 경우 대형 긴장잭이 요구되고, 그로인해 시공성의 저하가 야기될 수 있다. 따라서 거더 내에 단일 텐던을 유지하고, 단부에 정착장치를 여러개 설치함으로써 발생하는 복잡한 철근배근을 피할 수 있는 특허를 고안하였다.
- 이 특허에서는 총 강연선의 요구 개수가 80개일 경우 40개는 정착장치에 고정하고 나머지 40개는 정착장치 앞에 형성된 고정정착장치에 고정함으로써 시공성을 향상하고자 하였다.



<그림 2.2.6 특허2 대표도>

(다) 특허3, 프리스트레스트 거더, (재)포항산업과학연구원, 10-2013-0038134

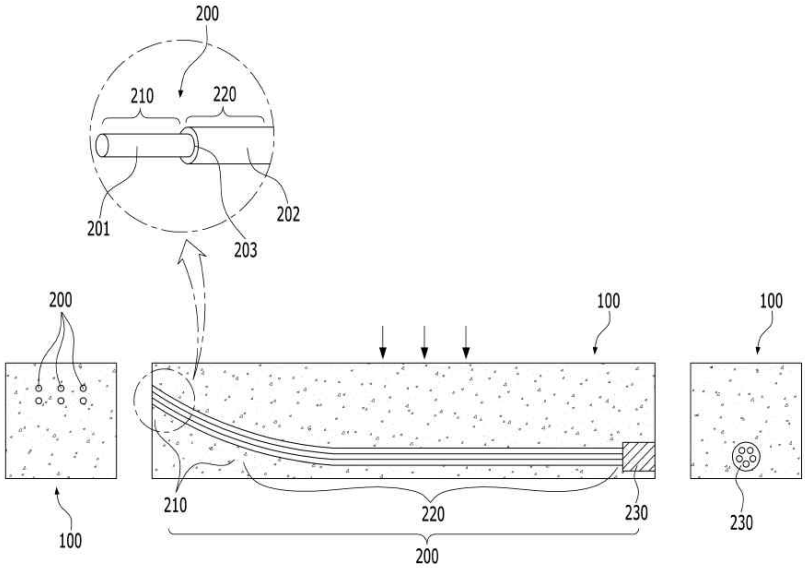
- 특허2와 동일한 목적으로 고안된 특허로 고정정착장치의 형성을 다르게 하고 있다.
- 고정정착장치를 설치하더라도 강연선을 쉽게 고정할 수 있어야 하고, 나아가 충분한 지압면적을 확보하도록 하여 시공이 쉽도록 하는 것을 목적을 두고 고안되었다.
- 고정정착판은 거푸집 단부에 정착구와 함께 설치되는데 이때 강판에는 그립이 달린 강연선이 고정될 수 있도록 홈이 형성되어 있다. 홈은 정착판의 테두리를 따라 형성되어 있어서 강연선의 고정이 용이하고, 충분한 면적을 확보하도록 하고 있어 효과적인 하중전달을 유도한다.



<그림 2.2.7 특허3 대표도>

(라) 특허4, 하이브리드 텐던 구조를 갖는 콘크리트 구조체 및 이의 제작 방법, 포스코건설, 10-2013-0039999

- 본 특허는 하이브리드 텐던 구조를 갖는 콘크리트 구조체 및 이의 제작 방법에 관한 것으로, 콘크리트 구조체의 제작 시에 일부에서 구조체와 일체와되는 텐던을 제공하고, 콘크리트 구조체의 양생 이후 그 텐션에 텐셔닝을 가할 수 있는 하이브리드 방식의 텐던 구조를 구현함으로써 현장에서의 제작성과 콘크리트 구조체의 단부 공간활용성을 극대화하여 더욱 많은 텐던의 적용이 가능함과 동시에 현장에서의 거더 제작자의 간소화 및 시공성 제고를 향상시킬 수 있는 하이브리드 텐던 구조를 갖는 콘크리트 구조체 및 제작 방법에 대한 기술이다.
- 본 특허기술은 프리텐션 방식과 함께 포스트텐션 방식을 동시에 적용하여 현장에서 인장잭을 활용하며, 긴장력의 도입이 가능하므로 시공성이 뛰어나다. 그리고 기존의 포스트텐션 공법에서와 같이 양단부에서 동일한 텐던을 지지할 경우와 비교하여 약 두 배의 텐던 배치가 가능한 장점이 있다.
- 고강도 텐던과 피복 부재 사이에 윤활 충전재가 충전된 비부착 텐던 유닛을 활용함으로써 기존의 포스트텐션 공법의 단점인 쉬스관의 삽입, 텐던의 삽입, 긴장력 도입 이후 모르타르 충전 등 일련의 공정을 생략할 수 있고, 쉬스관과 고강도 텐던의 마찰력 손실도 최소화할 수 있는 장점이 있다.

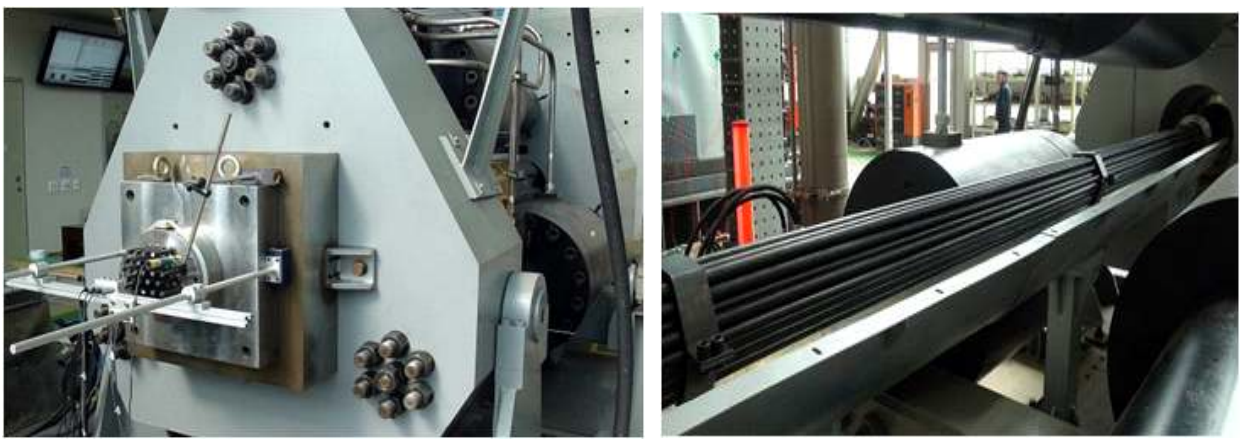


<그림 2.2.7 특허4 대표도>

나. 모노텐던 단일정착시스템 구조성능평가

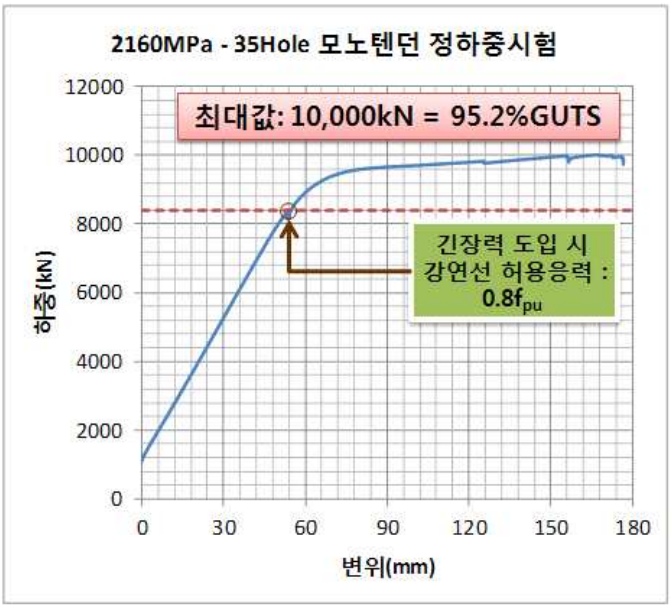
(1) 모노텐던의 정하중 성능평가

- 모노텐던 거더에서는 일반적인 PSC거더 사용되는 22Hole 이하의 정착장치보다 텐던 강도가 최소 50% 이상 큰 정착장치를 사용하기 때문에 케이블과 이와 연결된 정착장치의 구조성능 검증이 필수적으로 요구된다.



<그림 2.2.8 2160MPa 35Hole 모노텐던 정하중 시험체>

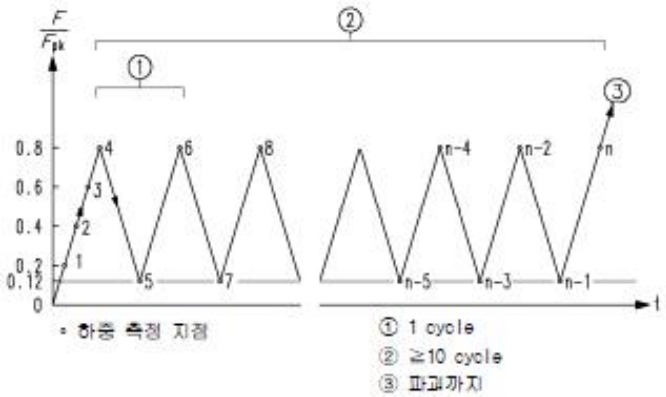
- 케이블과 정착장치를 포함하는 포스트텐셔닝 시스템에 대한 시험은 콘크리트표준시방서내 지침인 KCI-PS101에 따라 수행하였으며, 시험체 설치 세팅은 위의 그림과 같다.
- 시험에 대한 허용기준은 인장시험을 실시하여 최대 인장강도가 공칭강도의 95% 이상이어야 한다. 2160MPa 강연선 35Hole의 경우 공칭 인장강도는 10,500kN이다. 시험결과는 10,000kN으로 나타났다. 따라서 공칭 인장강도 대비 시험결과는 95.2%로 허용기준을 만족하는 것으로 평가되었다.



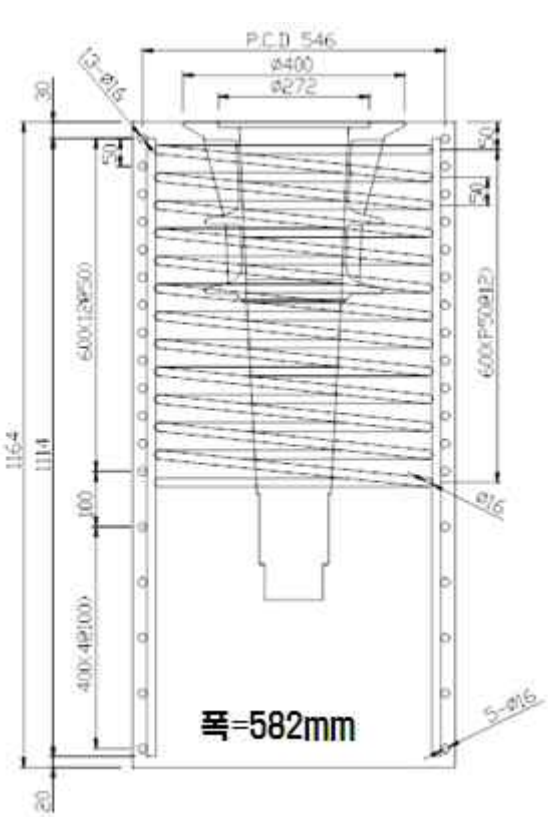
<그림 2.2.9 2160MPa 35Hole 모노텐던 정하중 시험결과>

(2) 모노텐던 거더 긴장 정착구 하중전달성능 평가

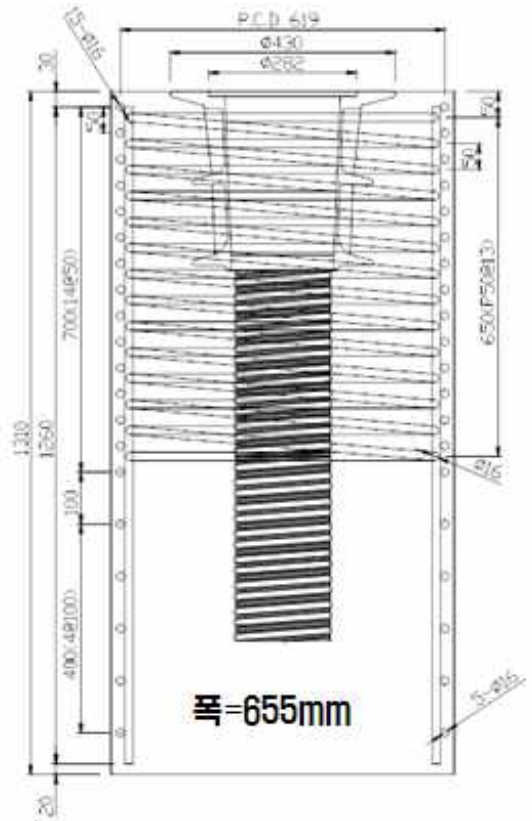
- 모노텐던 거더에 대한 설계결과 30m 이상의 교량에서 요구되는 강연선의 수는 60~70개 이상이 요구된다. 그 용량에 맞도록 정착장치를 제작할 경우 긴장잭의 한계가 있을 뿐만 아니라 국내에 있는 시험장비로 성능검증 또한 불가능하다.
- 따라서, 이 연구에서는 국내 최대 규모의 UTM인 10,000kN 시험기의 용량이 감당할 수 있는 수준에서 시험체를 30~40Hole로 설정하였다.
- 앞서 결정한 정착장치의 제원을 기준으로 30Hole, 35Hole, 40Hole 시험체를 설계하였다.
- 이 연구에서는 이 시험결과를 토대로 작은 사이즈로부터 Extrapolation 하여 결정한 정착장치의 유효성을 검증하고, 더 큰 사이즈로도 확대 적용할 수 있는 기초자료로 활용하고자 한다.
- 시험방법은 앞선 정하중 시험과 마찬가지로 KCI-PS101 시험기준에 따라 실시하였다.
- 하중가력은 아래 그림과 같이 텐던 공칭강도의 12~80% 하중으로 10회 반복가력하고 각 하중단계에서 시험체 표면에 발생하는 균열폭을 기록하고, 최종적으로는 극한하중까지 하중을 가력한다.



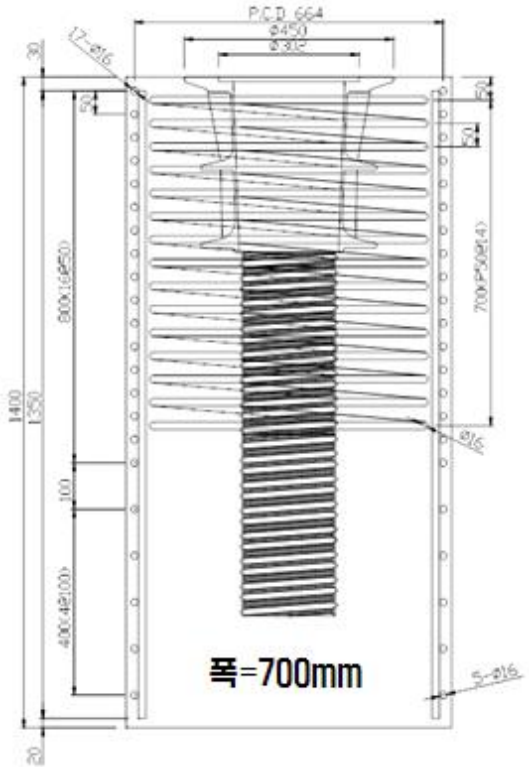
<그림 2.2.10 하중전달시험 하중가력 곡선>



(a) 2160MPa - 30Hole 시험체



(b) 2160MPa - 35Hole 시험체



(c) 2160MPa - 40Hole 시험체

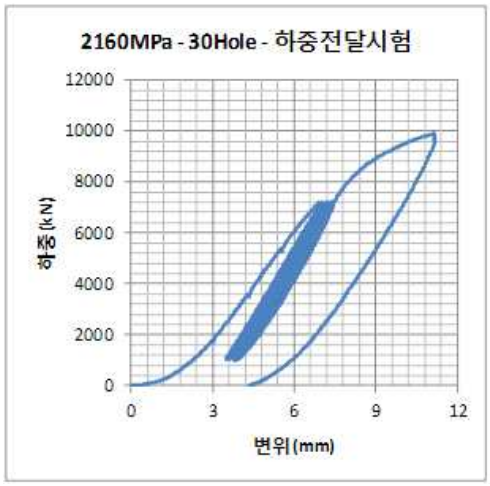
<그림 2.2.11 시험체 설계>

- 시험 허용조건은 최대하중을 기준으로 할 때 텐던 공칭강도의 110% 이상에 도달해야하며, 각 하중단계에서 계측한 균열폭은 0.25mm 이하로 나타나야 한다.

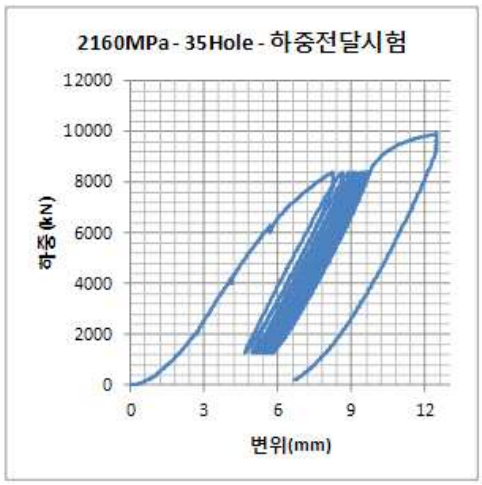
- 시험결과는 다음 표에 정리된 바와 같다.
- 모든 시험체는 시험기의 용량한계로 9,900kN까지 시험 후 종료되었다.
- 30Hole 시험체의 경우 허용강도가 9,900kN이기 때문에 강도 측면에서 기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다. 균열폭 측면에서 역시 최대 균열폭은 0.05mm로 허용기준 이내로 나타났다.
- 35Hole 시험체와 40Hole 시험체의 경우 허용기준에 도달하기 전에 시험이 종료되기는 했지만 최대 균열폭은 허용기준보다 훨씬 작은 수준인 0.05~0.15mm 수준으로 나타났다.

<표 2.2.3 긴장 정착장치 하중전달시험결과>

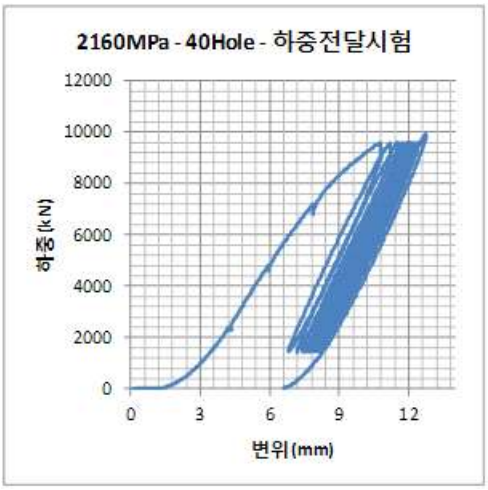
시험체 종류	110%*Fpu (kN)	실험결과 (kN)	최대 균열폭 (mm)
2160-30Hole	9,900	9,900	0.05
2160-35Hole	11,550	9,900	0.15
2160-40Hole	13,200	9,900	0.05
*시험기 용량 한계로 시험체 모두 9,900kN에서 하중가력 종료			



(a) 2160MPa-30Hole

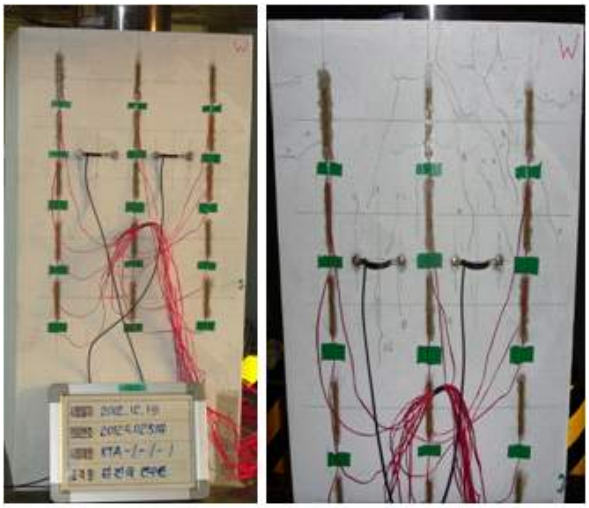


(b) 2160MPa-35Hole



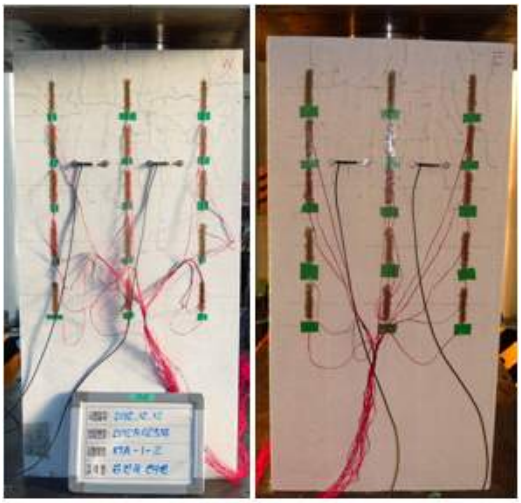
(c) 2160MPa-40Hole

<그림 2.2.12 시험결과 - 하중변위 곡선>



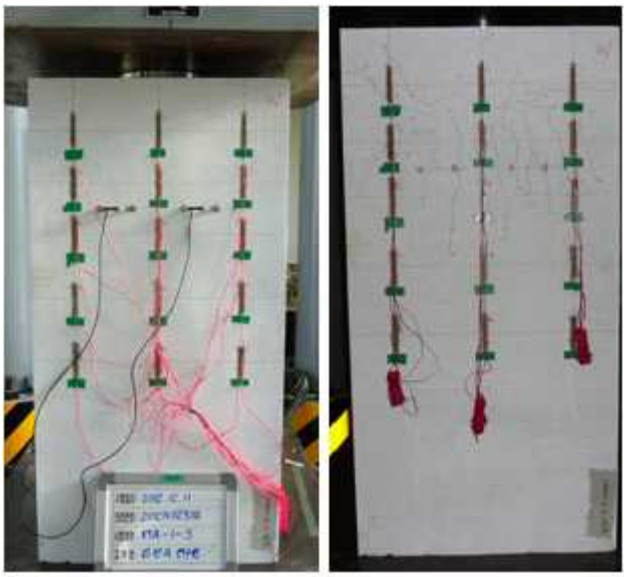
시험전 시험후

(a) 2160MPa-30Hole



시험전 시험후

(b) 2160MPa-35Hole



시험전 시험후

(c) 2160MPa-40Hole

<그림 2.2.13 시험결과 - 시험전후 시험체 사진>

KTA-1-1-1-**k2160-30H**-35MPa-582mm-AD400mm-50mm*D16-50mm*D16

[가력 단계별 균열폭 변화]

Cycles	가력단계	가력하중(kN)	균열폭(mm)
1	1	1800.00	0
	2	3600.00	0
	3	5400.00	E : 0.05 W : 0
	4	7200.00	E : 0.05 W : 0
	5	1080.00	
2	6	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	7	1080.00	
3	8	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	9	1080.00	
4	10	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	11	1080.00	
5	12	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	13	1080.00	
6	14	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	15	1080.00	
7	16	7200.00	E : 0.05 W : 0.05
	17	1080.00	
8	18	7200	E : 0.05 W : 0.05
	19	1080.00	
9	20	7200	E : 0.05 W : 0.05
	21	1080.00	
10	22	7200	E : 0.05 W : 0.05
	23	1080.00	
11	24		
파괴	24	7200	
까지Fpk	25	9000.0	
가력Fpk	26	9900.0	9900kN에서 시험 종료
시험결과	27		

가력속도 0.023 mm/sec

정착구 제원

N : S :

N-S :

W : E :

W-S :

시험일지

12/13

<그림 2.2.14 시험결과 - 균열폭 시험기록지 - 30Hole>

KTA-1-2-**k2160-35H**-35MPa-655mm-AD430mm-50mm*D16-50mm*D16

[가력 단계별 균열폭 변화]

Cycles	가력단계	가력하중(kN)	균열폭(mm)
1	1	2100.00	
	2	4200.00	
	3	6300.00	
	4	8400.00	E:0.01 W:0.05
	5	1260.00	
2	6	8400.00	E:0.05 W:0.05
	7	1260.00	
3	8	8400.00	E:0.05 W:0.1
	9	1260.00	
4	10	8400.00	E:0.05 W:0.1
	11	1260.00	
5	12	8400.00	E:0.05 W:0.1
	13	1260.00	
6	14	8400.00	E:0.01 W:0.1
	15	1260.00	
7	16	8400.00	E:0.05 W:0.1
	17	1260.00	
8	18	8400	E:0.01 W:0.1
	19	1260.00	
9	20	8400	E:0.05 W:0.15
	21	1260.00	
10	22	8400	E:0.05 W:0.15
	23	1260.00	
11	24		
파괴	24	8400	
까지Fpk	25	10500.0	9900kN에서 시험 종료 E:0.05 W:0.15
가력Fpk	26	11550.0	
시험결과	27		

가력속도 0.025 mm/sec

정착구 제원

N : S :

N-S :

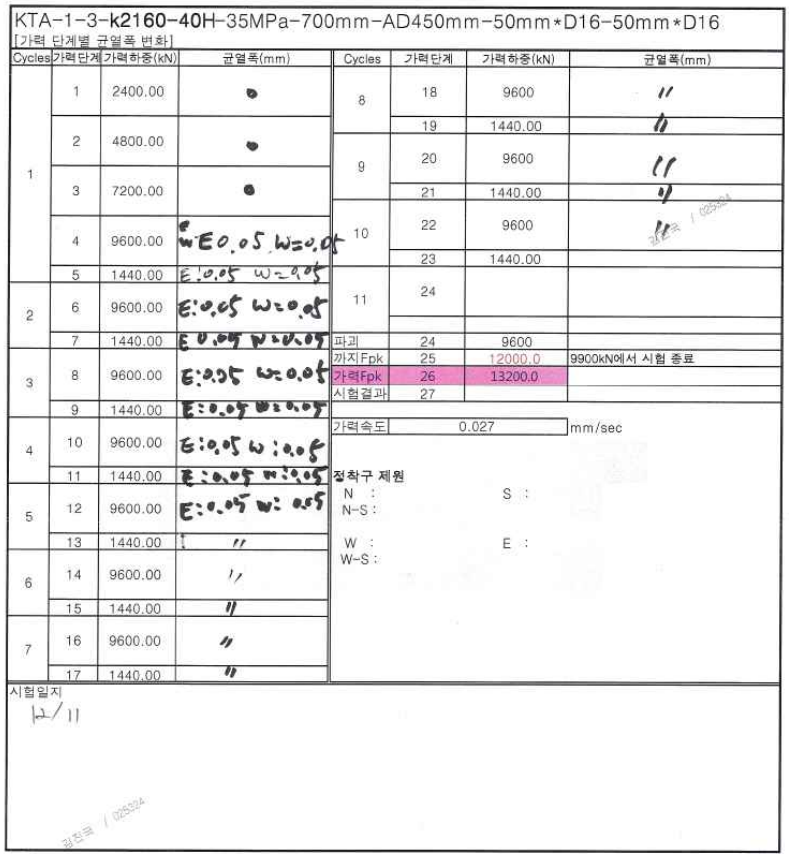
W : E :

W-S :

시험일지

12/12

<그림 2.2.15 시험결과 - 균열폭 시험기록지 - 35Hole>



KTA-1-3-k2160-40H-35MPa-700mm-AD450mm-50mm*D16-50mm*D16

[가력 단계별 균열폭 변화]

Cycles	가력단계	가력하중(kN)	균열폭(mm)
1	1	2400.00	●
	2	4800.00	●
	3	7200.00	●
	4	9600.00	E 0.05 W=0.05
	5	1440.00	E 0.05 W=0.05
2	6	9600.00	E:0.05 W=0.05
	7	1440.00	E 0.05 W=0.05
3	8	9600.00	E:0.05 W=0.05
	9	1440.00	E:0.05 W=0.05
4	10	9600.00	E:0.05 W:0.05
	11	1440.00	E:0.05 W:0.05
5	12	9600.00	E:0.05 W: 0.05
	13	1440.00	〃
6	14	9600.00	〃
	15	1440.00	〃
7	16	9600.00	〃
	17	1440.00	〃

Cycles	가력단계	가력하중(kN)	균열폭(mm)
8	18	9600	〃
	19	1440.00	〃
9	20	9600	〃
	21	1440.00	〃
10	22	9600	〃
	23	1440.00	
11	24		
파괴	24	9600	
끼지Fpk	25	12000.0	9900kN에서 시험 종료
가력Fpk	26	13200.0	
시험결과	27		

가력속도 0.027 mm/sec

정착구 제원

N : S :

N-S :

W : E :

W-S :

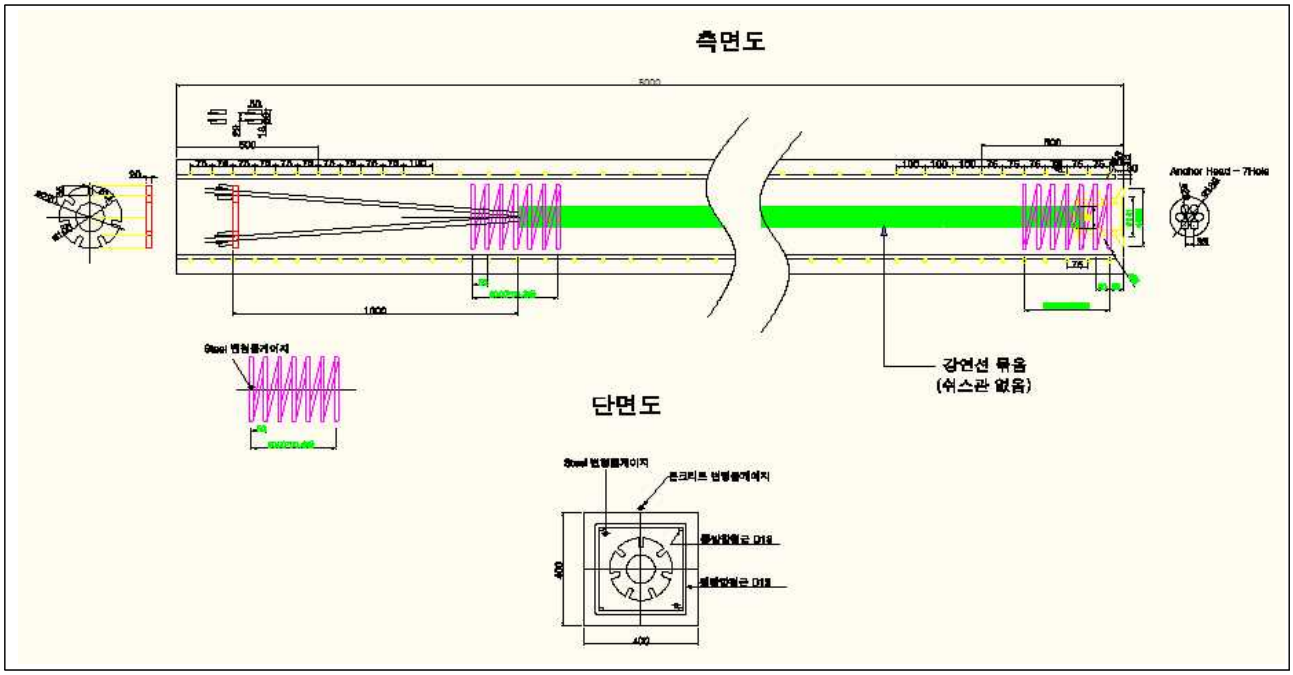
시험일지

12/11

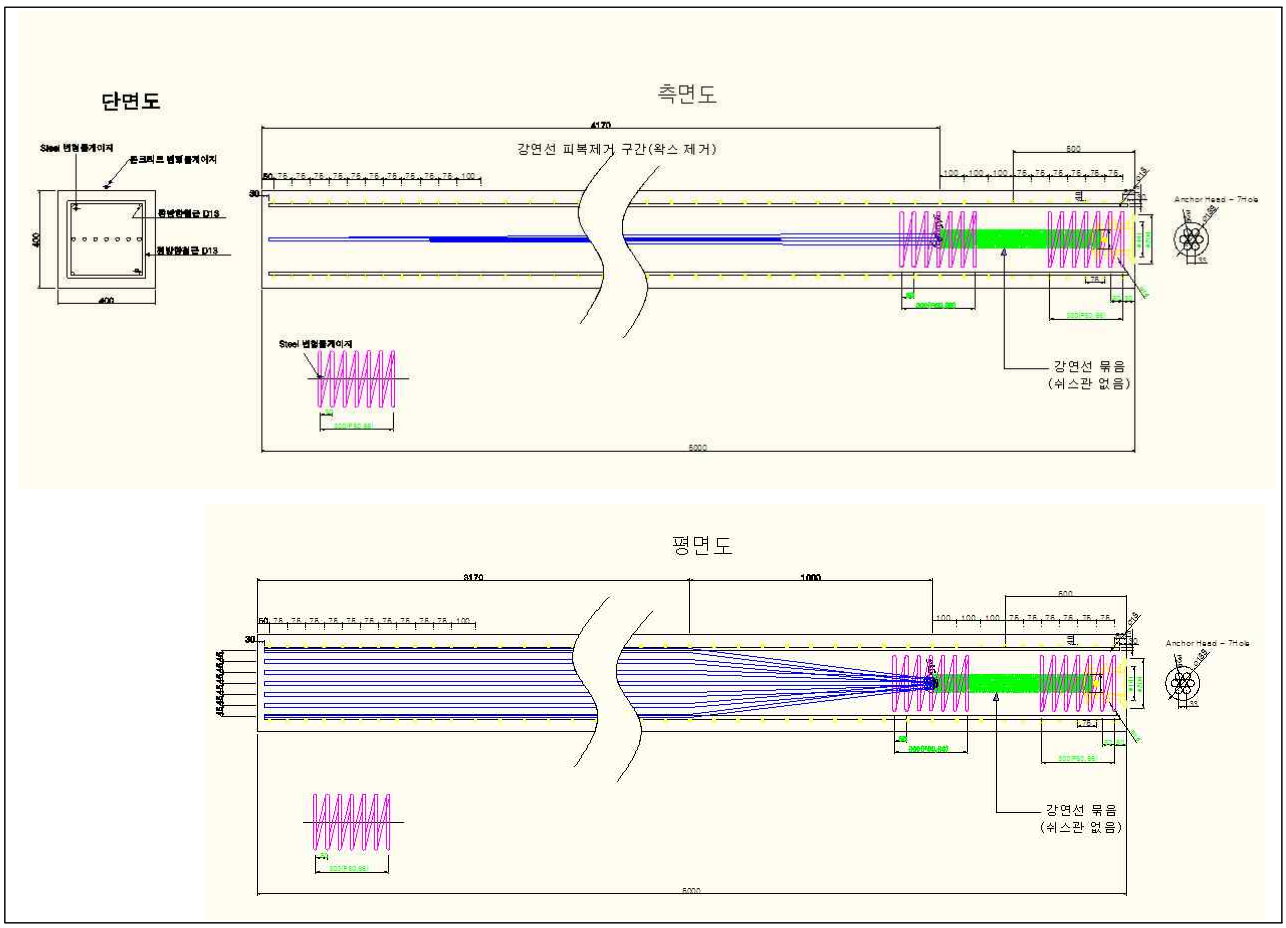
<그림 2.2.16 시험결과 - 균열폭 시험기록지 - 40Hole>

(3) 모노텐던 거더 고정 정착구 하중전달성능 평가

- 모노텐던 거더에서는 상향 배치 텐던과 단위 텐던의 크기가 커서 대형 정착장치가 필요하다. 이러한 사항을 개선하기 위한 방안으로 고정정착장치를 적용하는 방법을 제시하고 시험을 통해 타당성을 검증하였다.
- 고정정착장치는 두 가지 타입으로 설계하였다. 시험체 1의 경우 원환의 정착판을 사용하여 고정하는 방식으로 설계하였고 시험체 2는 강연선 피복을 제거하여 강연선 자체의 부착 길이로 고정하는 방식으로 설계하였다.
- 2400MPa 고강도 강연선 7연선을 배치하였고, 콘크리트 설계기준강도 를 적용하고 콘크리트 단면은 로 설계하였다. 철근의 배치는 아래 그림과 같이 종방향으로, 철근을 4개 배치하고 스트럽을 배치하였고 정착부 부근과 강연선이 분할되는 부분에 나선철근을 설치하였다.
- 시험방법은 KCI-PS101 하중전달 시험방법을 응용하여 실시하였다.
- 상하부 종방향 철근에 steel strain gauge, 콘크리트 상부면 concrete strain gauge를 부착하고 앞의 하중전달시험 하중가력 곡선과 같이 텐던 공칭강도의 80% 하중으로 10회 반복가력하여 하중단계에서 변형률을 기록하고, 최종적으로는 극한하중까지 하중을 가력한다.



<그림 2.2.17 시험체 1 설계도>



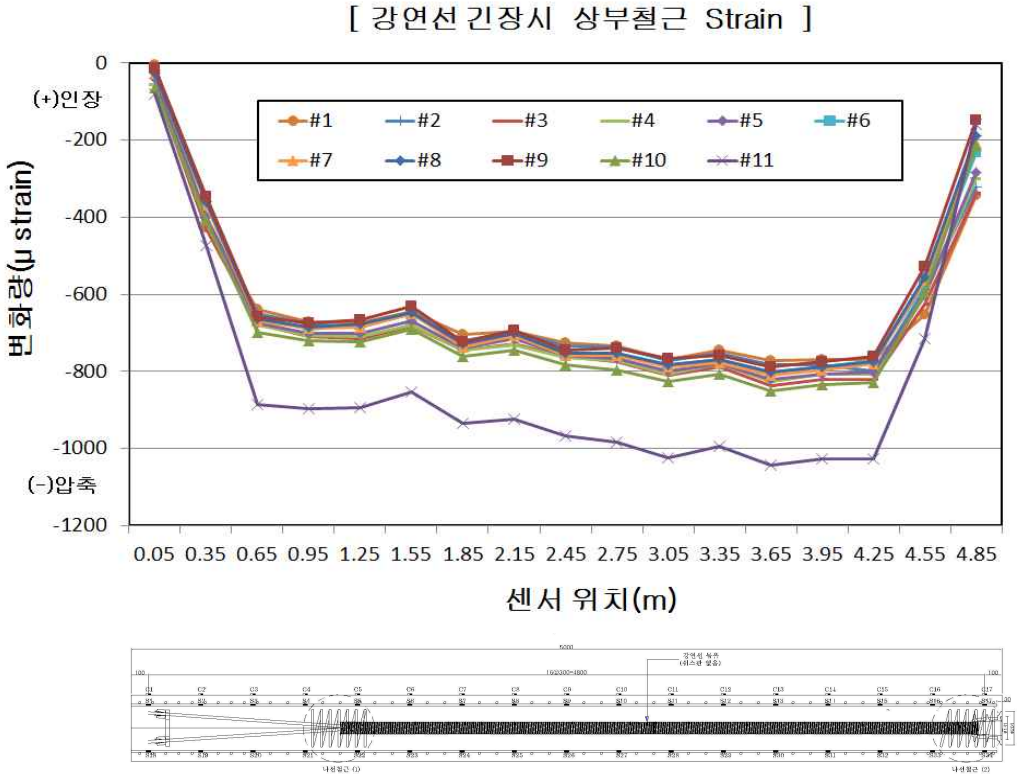
<그림 2.2.18 시험체 2 설계도>



시험체1 정착장치 설치 및 철근배근	시험체2 정착장치 설치 및 철근배근	시험체1 정착장치 설치 및 철근배근
시험체2 정착장치 설치 및 철근배근	시험체 콘크리트 타설 전 형상	시험체 콘크리트 타설 후 형상

<그림 2.2.19 고정정착장치 시험체 제작 및 게이지 설치>

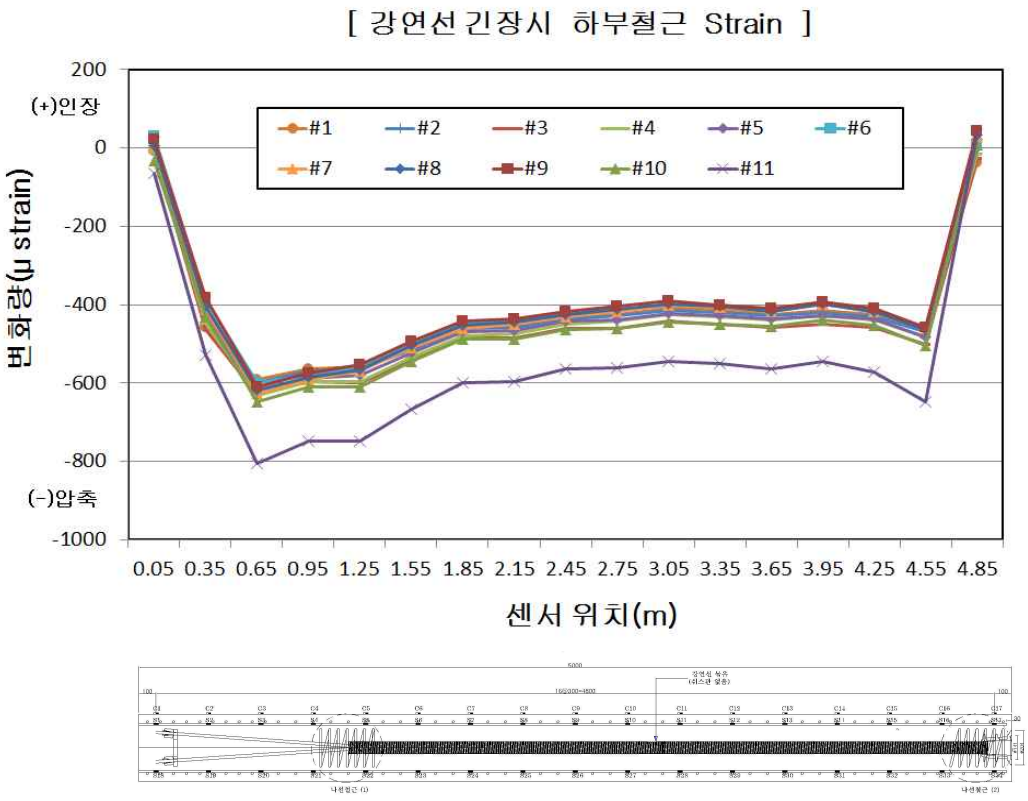
- 시험체 1의 시험결과는 아래의 철근 상하부 변형률 그래프, 콘크리트 상부 표면 변형률 그래프와 같이 양 단부 620mm 지나서 압축력이 균일하게 도입되는 것으로 나타났고 강연선 파단까지 하중을 재하 한 결과 아래 사진과 같이 시험체 콘크리트에는 균열이나 파쇠 등의 문제는 발생하지 않았다.



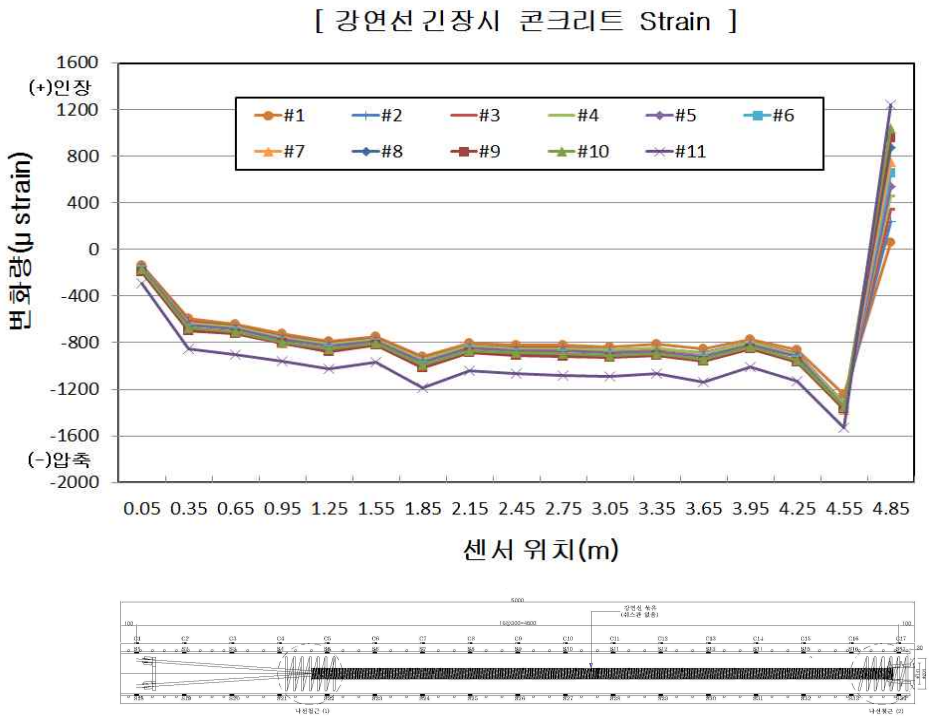
<그림 2.2.20 시험체 1 강연선 긴장시 상부철근 변형률 결과>



<시험체 1 강연선 파단시 시험체 형상>

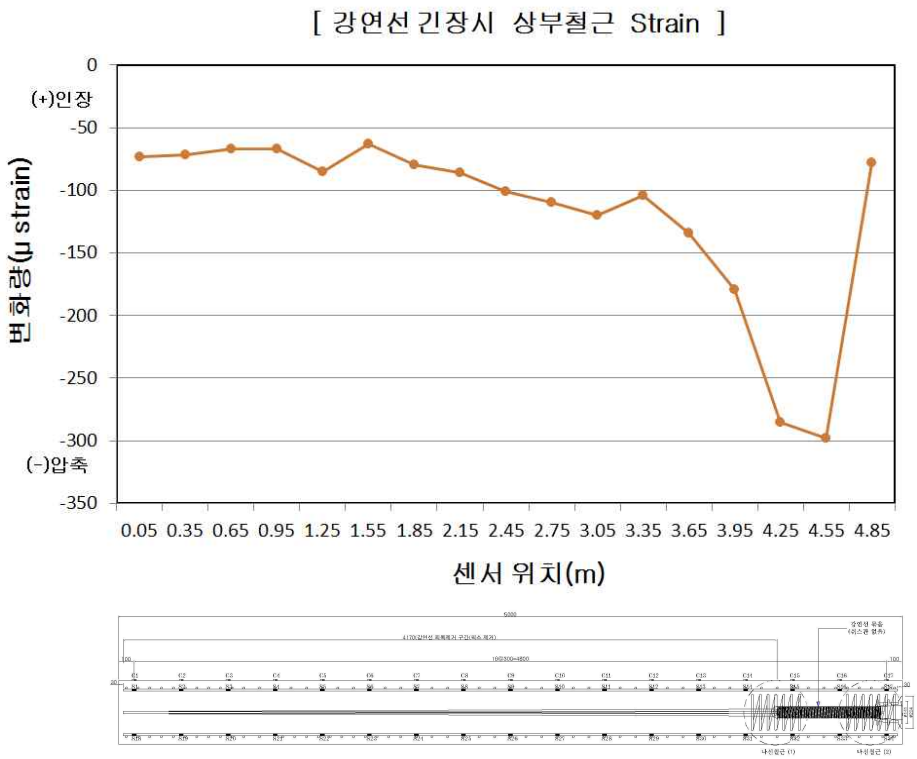


<그림 2.2.21 시험체 1 강연선 긴장시 하부철근 변형률 결과>

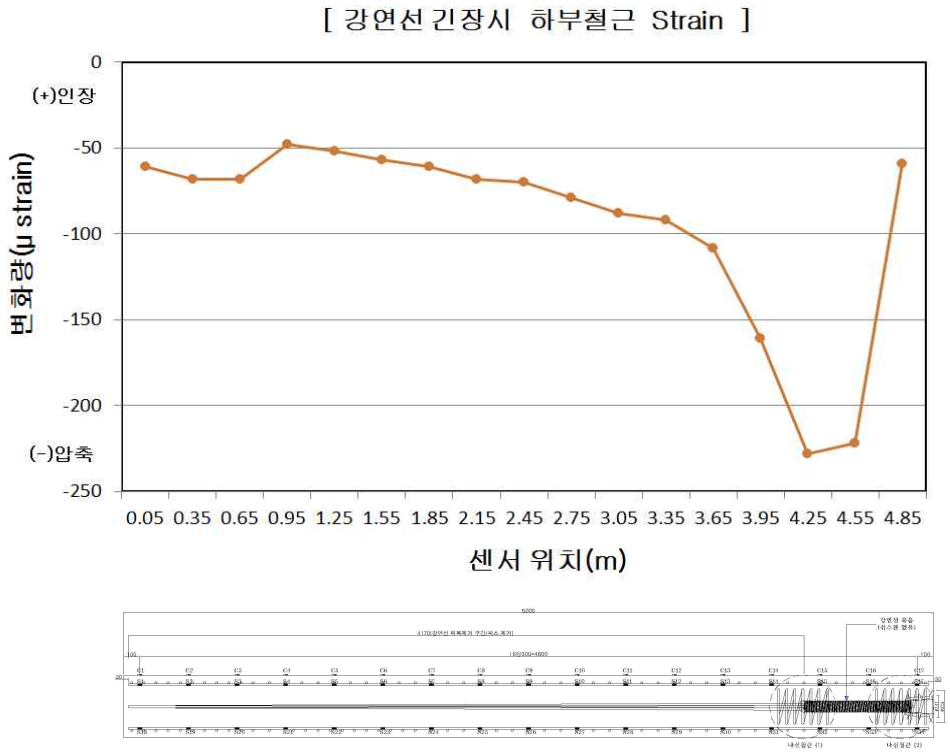


<그림 2.2.22 시험체 1 강연선 긴장시 콘크리트 변형률 결과>

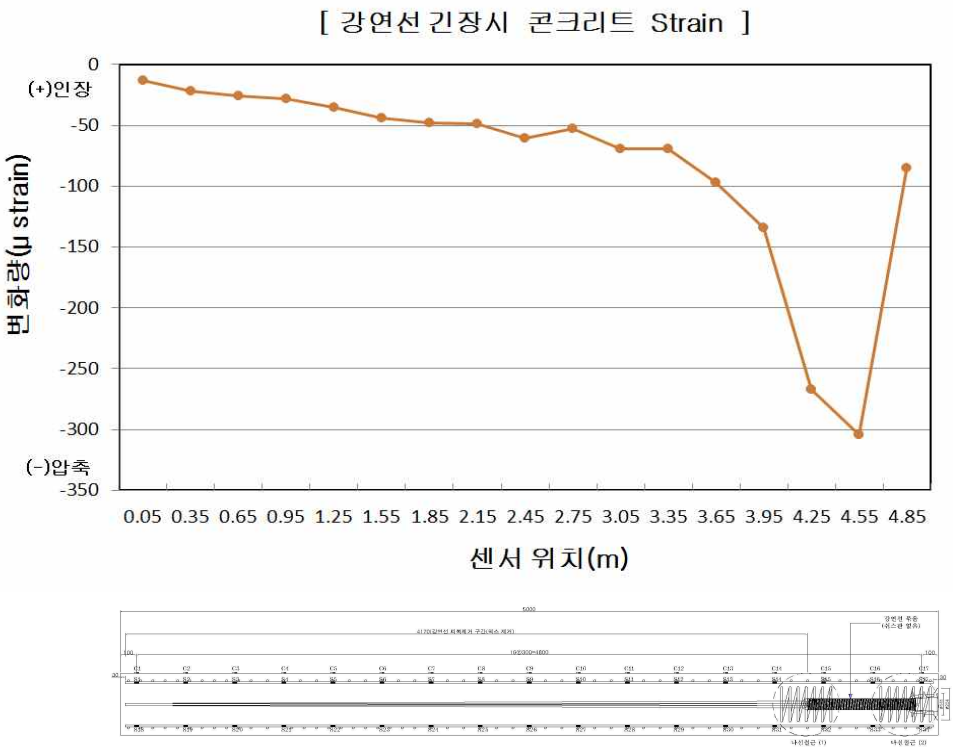
- 시험체 2는 첫 번째 긴장력 도입시 공칭강도의 80%수준에 도달하기 전에 강연선이 뽑혀 실험이 중단되었다. 피복을 벗겨 강연선표면에 있는 왁스를 닦아내는 작업을 통하여 부착력을 높이려고 하였으나 잔류왁스로 인해 부착이 발현되지 않은 것으로 분석되었다. 차 후에는 피복을 벗겨내는 방식이 아닌 기존 강연선에 피복을 입히는 방법을 적용하여 검증할 예정이다.



<그림 2.2.23 시험체 2 강연선 긴장시 상부철근 변형률 결과>



<그림 2.2.24 시험체 2 강연선 긴장시 하부철근 변형률 결과>



<그림 2.2.25 시험체 2 강연선 긴장시 콘크리트 변형률 결과>

2. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 정립

가. 모노텐던 단일정착 PSC거더 설계법 정립 및 표준단면 설계

(1) 간이 구조계산서 개발 (변수연구용)

- 일반적으로 PSC 거더교는 포스트텐션 방식으로 구조계산은 대부분이 강연선이 쉬스관을 통과하고 양단을 정착하여 쉬스관 내부를 경화재(그라우팅)등 으로 채움으로서 부착된 상태로 구조계산을 수행하고 있다.
- 본 연구과제의 단일정착 PSC거더교의 특징은 고강도 강연선을 사용하고 쉬스관 내부를 비경화재(그리스)등 으로 채움으로서 비부착 상태의 PSC거더의 구조계산을 수행하였으며 각 계산방법의 차이와 고려할 사항들을 아래의 표에 정리하였다.

<표 2.2.4 부착과 비부착 구조물의 계산차이>

구 분	부착 긴장재를 가진 부재	비부착 긴장재를 가진 부재
특 징	·포스트 텐션 방식의 강연선을 쉬스관 내로 통과시켜 쉬스관 내부를 경화재로 채워 부착시킨 형식의 거더	·포스트 텐션 방식의 강연선을 쉬스관 내로 통과시켜 쉬스관 내부를 비경화재로 채워 비부착시킨 형식의 거더
PS강재의 응력	·압축철근 고려시 ·인장철근 무시 $f_{ps} = f_{pu}\left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \frac{\rho_p f_{pu}}{f_{ck}}\right)$	·깊이에 대한 경간 비 35이하 $f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{100\rho_p}$ 여기서, fps는 fpy또한 (fpe+420)MPa이하 ·깊이에 대한 경간 비 35이상 $f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{300\rho_p}$ 여기서, fps는 fpy또한 (fpe+210)MPa이하
프리스트레싱 직후의 손실	·탄성수축에 의한 손실 고려	·탄성수축에 의한 손실 미고려
시간에 따른 손실	모두 고려	모두 고려
휨강도 검토	·인장철근이 없거나, 배치했더라도 그 영향을 무시할 수 있는 경우	
최소 부착철근량	해당사항 없음	$A_s = 0.004A_{ct}$
검토의견	·본 연구에서는 비부착 긴장재를 가진 부재와 관련된 도로교 설계기준(2010)의 내용을 적극 반영하여 PS강재의 응력과 프리스트레싱 직후의 손실등을 반영하여 검토하였다.	

- 위 표에서와 같이 PS강재의 응력 산정시 부착과 비부착으로 구분하여 산정하도록 도로교 설계기준(2010)에 명시되어 있으며 대부분의 교량용 포스트 텐션 방식의 구조물의 깊이에 대한 경간 비가 35이하로 아래의 식 1을 적용하였다.

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{100\rho_p} \qquad \text{(식 1)}$$

여기서, f_{ps}는 f_{py}또한 (f_{pe}+420)MPa이하여야 한다.

- 프리스트레스의 손실에 대한 부분은 프리스트레싱 직후의 손실과 시간에 따른 손실로 나뉘는데 프리스트레싱 직후의 손실중 정착장치에서의 활동에 의한 손실량은 정착장치에서의 활동에 의한 긴장재의 인장력 감소는 프리스트레싱 공법에 따라 다르며, 정착장치의 형식에 따라 상당한 차이가 난다. 따라서 정착장치 별 활동량을 과거의 실적 등을 고려하여 미리 정해 놓아야 한다. 다음은 긴장재와 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실로 포스트텐션되는 긴장재의 마찰에 의한 손실은 시험에 의해 결정된 PS강재의 파상 및 곡률마찰계수에 의해 산정하였다.

$$P_x = P_o e^{(\kappa l_x + \mu\alpha)} \qquad \text{(식 2)}$$

$(\kappa l_x + \mu\alpha)$가 0.3보다 크지 않으면, 다음의 근사식을 사용해도 좋다.

$$P_x = P_o(1 - \kappa l_x - \mu\alpha) \qquad \text{(식 3)}$$

- 사용재료에 대한 상수 κ와 μ의 실험값이 없을 때에는 다음 표의 값을 사용할 수 있다.

<표 2.2.5 파상마찰계수(κ)와 곡률마찰계수(μ)>

구분		PS강재의 종류	파상마찰계수 (κ/m)	곡률마찰계수 (μ/rad)
금속쉬스 내에 부착된 긴장재		PS강선 PS강봉 PS강연선	0.0033~0.0050 0.0003~0.0020 0.0015~0.0066	0.15~0.25 0.08~0.30 0.15~0.25
부착되지않은 긴장재	수지 방수 피복	PS강선 PS강연선	0.0033~0.0066 0.0033~0.0066	0.05~0.15 0.05~0.15
	그리스로 미리 도포된 경우	PS강선 PS강연선	0.0010~0.0066 0.0010~0.0066	0.05~0.15 0.05~0.15

- 다만, 표는 일반적으로 예측할 수 있는 값의 범위를 제시한 것으로서 특수한 긴장재와 쉬스를 사용하는 경우에는 이들 계수의 값을 제작자로부터 구하여야 하지만 상용화 단계가 아니므로 일반적인 값을 적용하여 구조계산을 수행하였다.
- 프리스트레싱 후 시간에 따라 발생하는 손실은 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 손실량, PS강재의 릴랙세이션에 의한 손실량이 있으며 모든 항목의 손실은 기존의 부착 구조물 산정방법과 동일하게 적용하였다.

(2) 한계상태설계법(LSD)에 의한 구조계산서 작성

(가) 도입배경 및 경과

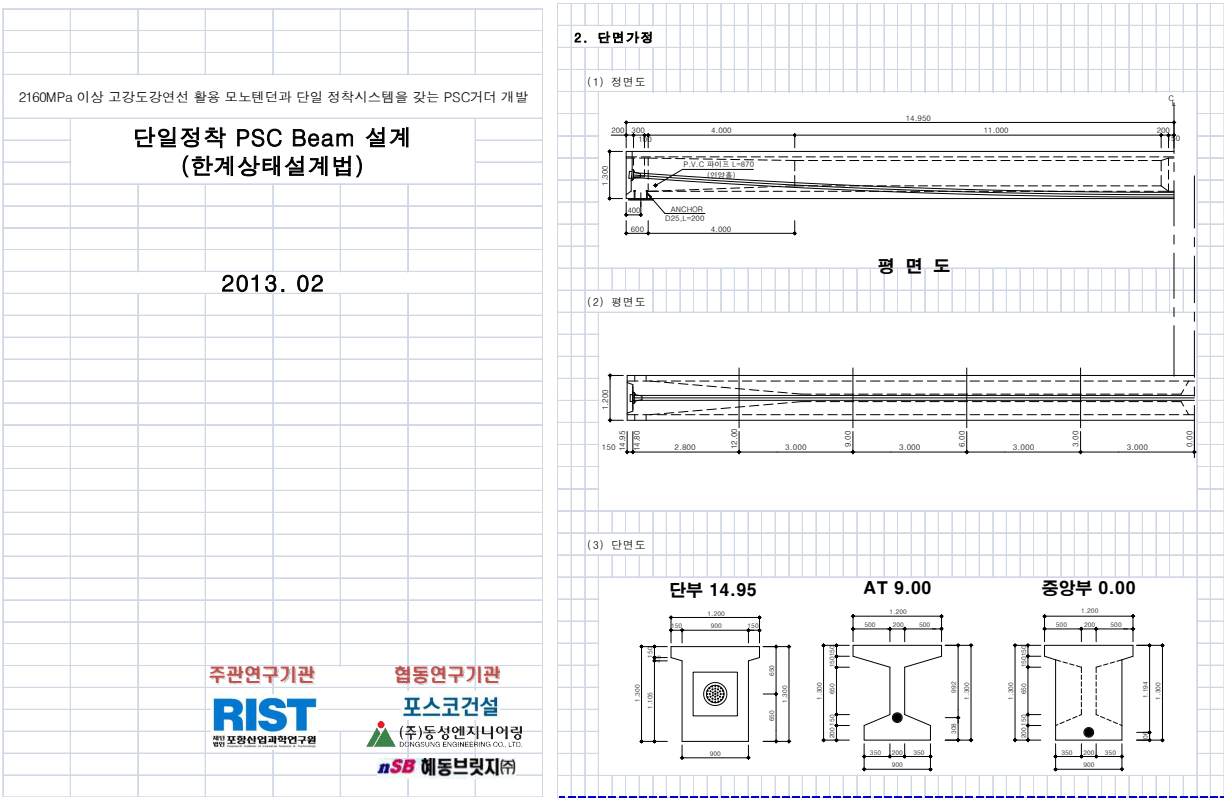
- 기존의 도로교설계기준은 허용응력설계법, 강도설계법을 기본으로 한 설계기준을 사용하여 왔으나 단면의 비효율, 내구성, 경제성등 문제가 제기되어 왔다. 미국의 LRFD Bridge Design Specifications, 유럽의 Eurocodes 등 전 세계적으로 교량의 안전성, 내구성, 경제성 등을 확보하기 위해 신뢰성(Reliability) 기반의 한계상태설계법(Limit State Design)의 교량 설계기준을 제정하여 적용하고 있는 실정이다.
- 국내에도 2009.6~2011.8에 도로교통협회에서 한계상태설계법 기반의 도로교설계기준 작성과 관련한 연구용역을 수행하였으며, 2011.12 도로교설계기준(한계상태설계법)이 중앙건설기술설계심의를 통과하여 2012.1 국토해양부 공고 “제2012-61호”로 도로교설계기준(한계상태설계법)을 제정 고시하였다.
- 한계상태설계법의 적용시기는 2015년 1월1일부터 전면시행하고 발주처에서 원할 경우 적용하도록 명시되어있지만 현재는 적용이 매우 낮은 상황이며 몇몇 연구기관 및 관공서에서 별도로 설계가이드라인을 개발중에 있다.

(나) 구조계산서 초안작성

- 한계상태설계법 구조계산서 작성전에 신뢰성 기반의 설계기준의 이해가 필요하며 항목은 다음과 같다.

  ① 하중, 저항의 변동성, 불확실성이 고려
  ② 다양한 한계상태에 대한 균일한 안전도의 확보
  ③ 새로운 설계개념
  ④ 확률 등에 대한 기본적인 이해 필요
  ⑤ 충분한 통계 데이터의 확보 필요

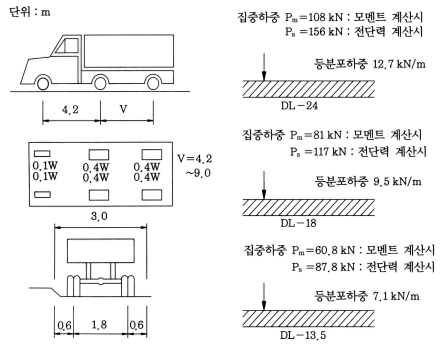
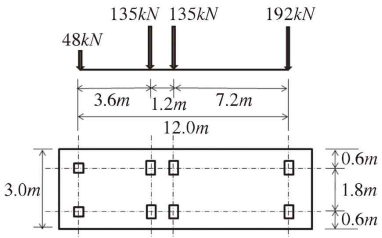
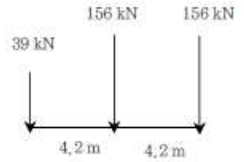
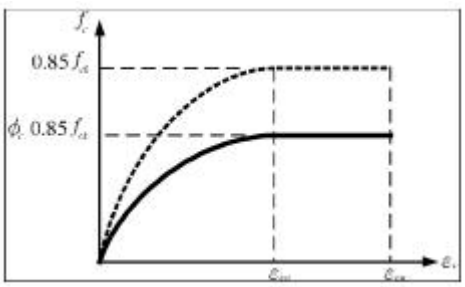
- 국토해양부에서 제정한 도로교설계기준(한계상태설계법)을 토대로 한국도로공사에서 현재 시험설계를 적용하고 있으며 본 연구가 끝나는 2014년 9월에는 한계상태설계법이 도입되어야 하는 시기이므로 설계자동화 프로그램 개발시 적용 가능하도록 준비가 필요하여 2차년도에 기초작업을 수행하였다.



<그림 2.2.26 한계상태설계법 구조계산서(초안)>

- 한계상태설계법 구조계산서 작성시 가장 큰 변화는 하중조합이며 하중조합에 따른 하중계수적용이 중요하다. 또한 기존의 활하중인 DB-24, DL-24하중이 KL-510의 차량활하중으로 변경된 것이며 피로설계에 필요한 차량하중을 따로 규정하였다.
- 구조해석과 관련한 내용은 보-슬래브교 근사해법 적용조건을 제시하여 적용하도록 한 것과 그에 따른 활하중 분배계수를 적용한 내측거더 휨모멘트 계산방법이다.
- 보다 자세한 사항들은 구조계산서에 반영하여 적용하였으며 특히 내구성과 관련한 사항은 반영하였으며 주요변수로는 구조물의 용도, 설계수명 및 주변환경, 콘크리트 강도, 피복두께, 물과 시멘트 비율, 시멘트량 등이 있다. 또한 환경조건에 따른 노출등급 산정내용도 반영하였다.
- 설계조건은 시험설계 교량과 동일하게 적용하였으며 부수적으로 바닥판 캔틸레버, 기타 철근량산정, 신축량 계산은 향후 보완할 계획이며 이번 한계상태설계 검토내용은 거더본체에 대한 검토만 수행하였다.

<표 2.2.6 기존 설계법(ASD)과 한계상태설계법(LSD) 비교표>

구 분	기존 설계법	한계상태설계법
허용응력	·휨 압축응력 : $0.60f_{ci}{}'$	·휨 응력한계 : $0.60f_{ck}(t)$
설계하중	·하중계수 및 증가계수 적용	·하중조합별 하중계수(γ_p)적용
활하중	 <DB 및 DL하중>	 <표준트럭하중(KL-510)>  <피로설계트럭하중>
상부구조해석	·격자해석 또는 유한요소해석 - 하중별 횡방향 해석 - 횡방향 반력을 거더하중 재하 - 활하중 분배계수 산정	·보-슬래브 교량의 근사적 해석 - 적용조건 제시 - 적용가능단면 제시 - 활하중 분배계수 제시
내구성	콘크리트구조설계기준 준용	·사용한계상태 - 환경조건에 따른 노출등급 - 최소 콘크리트강도 제시 - 콘크리트 피복두께 제시
단면설계	·휨 강도 $\varnothing M_n = \varnothing\left\{A_p f_{ps} d_p\left(1-0.59\frac{\rho_p f_{ps}}{f_{ck}}\right)\right\}$ ·휨 부재의 보강 $\varnothing M_n \geq 1.2M_{cr}^*$ 여기서 $M_{cr}^* = (f_{ru} + f_{pcc})Z_c$	·응력-변형률 곡선  <단면설계를 위한 응력-변형률 곡선>

(다) 검토결과

① 콘크리트 허용 휨 응력 검토

- 검토한 거더는 외측거더를 기준으로 검토하였으며 사용한계상태Ⅲ 조합과 지속하중조합 모두 허용응력 이내로 안전한 것으로 검토되었으며 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.2.7 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(사용한계상태 Ⅲ 외측)>

(외측) 단위 : MPa

구 분		프리스트레스 도입 직후			사용한계상태 Ⅲ 작용시			(+ : 압축 - : 인장)
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총하중	계	
거더	상연	-7.863	7.810	-0.053	-7.005	18.955	11.951	
	하연	32.764	-8.069	24.694	29.190	-27.344	1.846	
거더 응력 검토	인장 강도	-3.430	< 계 <	36.000	-3.430	< 계 <	36.000	
바닥판							5.038	
바닥판 콘크리트 허용응력					-2.072	< 계 <	16.200	

<표 2.2.8 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(지속하중조합 외측)>

(외측) 단위 : MPa

구 분		프리스트레스 도입 직후			지속하중조합 작용시			(+ : 압축 - : 인장)
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총하중	계	
거더	상연	-7.863	7.810	-0.053	-7.005	17.061	10.056	
	하연	32.764	-8.069	24.694	29.190	-20.029	9.161	
거더 응력 검토	인장 강도	-3.430	< 계 <	36.000	-3.430	< 계 <	36.000	
	영응력				0.000	< 계 <	27.000	
바닥판						1.443	1.443	
바닥판 콘크리트 허용응력					-2.072	< 계 <	16.200	

② 휨 극한 안정성 검토

- 휨강도 검토의 경우 극한휨모멘트가 12111kN·m이며 극한저항모멘트는 12763kN·m로 안전하며 내측거더는 극한휨모멘트가 9635kN·m이며 극한저항모멘트는 12782kN·m로 안전율은 각각 1.05, 1.33로 안정성은 확보하였다.

<표 2.2.9 휨 강도 검토결과>

휨강도 검토 - Flanged Sec			
구 분		외측 거더	내측 거더
PS 강재	F_s (kN)	9445	9445
	d - c (mm)	1179	1184
	M_{R1} (kNm)	11135	11185
슬래브	f_{cd1} (MPa)	14.04	14.04
	a_1 (mm)	240	240
	B_1 (mm)	2700	2750
	F_{cd1} (kN)	9097.9	9266.4
	c - a_1 / 2	173	168
	M_{R2} (kNm)	1575	1555
거더	f_{cd2} (MPa)	31.20	31.20
	a_2 (mm)	53	52
	B_2 (mm)	1200	1200
	F_{cd2} (kN)	1975.5	1939.5
	c - a_1 - a_2 / 2	27	22
	M_{R3} (kNm)	53	42
M_R (kNm)		12763	12782
극한 - M_u (kNm)		12111	9635
S.F		1.05	1.33

<표 2.2.10 설계결과 요약>

구 분	기존 설계법	한계상태설계법	비 고
거더높이	1.3m		
사용 강선수	1-∅15.2 × 39ea		2160MPa
콘크리트 휨응력	11.933MPa	11.951MPa	설계하중
콘크리트 허용 휨응력	27.00MPa	36.00MPa	
발생극한모멘트	12265kN · m	12111kN · m	
극한저항모멘트	12471kN · m	12763kN · m	
검토결과	O.K	O.K	

나. 모노텐던 단일정착 PSC거더 시공성 및 경제성 평가

(1) 개방형 덕트 포함 거푸집 제작성 평가

<표 2.2.11 개방형 덕트 포함 거푸집 제작성 평가>

기존 PSC거더	모노텐던 PSC거더
 철근 조립 후 거더 내부 철근에 메달아 쉬스관을 배치하므로 공정이 다소 복잡함	 철근 조립시 강연선을 하면거푸집에 놓은상태로 제작하므로 공정이 용이함

- 기존 PSC거더의 쉬스관 배치 및 강연선 삽입 공정이 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더에서는 철근 조립시 정착구 및 강연선 설치공정을 병행하여 작업하므로 현장제작 공정이 단축되고, 쉬스관이 배제 되기 때문에 쉬스관과 철근의 간섭으로 인한 시공오차가 발생하지 않으며, 콘크리트 타설시 쉬스관 이탈 등의 문제가 발생하지 않으므로 시공상 품질관리가 양호한 것으로 평가된다.

(2) 강연선 / 정착구 설치 시공성 평가

- 기존 PSC거더는 강연선 인장작업 후 쉬스관 내 그라우팅이 필요하나 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더는 쉬스관 배제 및 그라우팅 주입공정이 배제되어 현장제작 공정이 단축되고 인장작업이 단 1회이므로 제작이 용이한 것으로 평가된다.

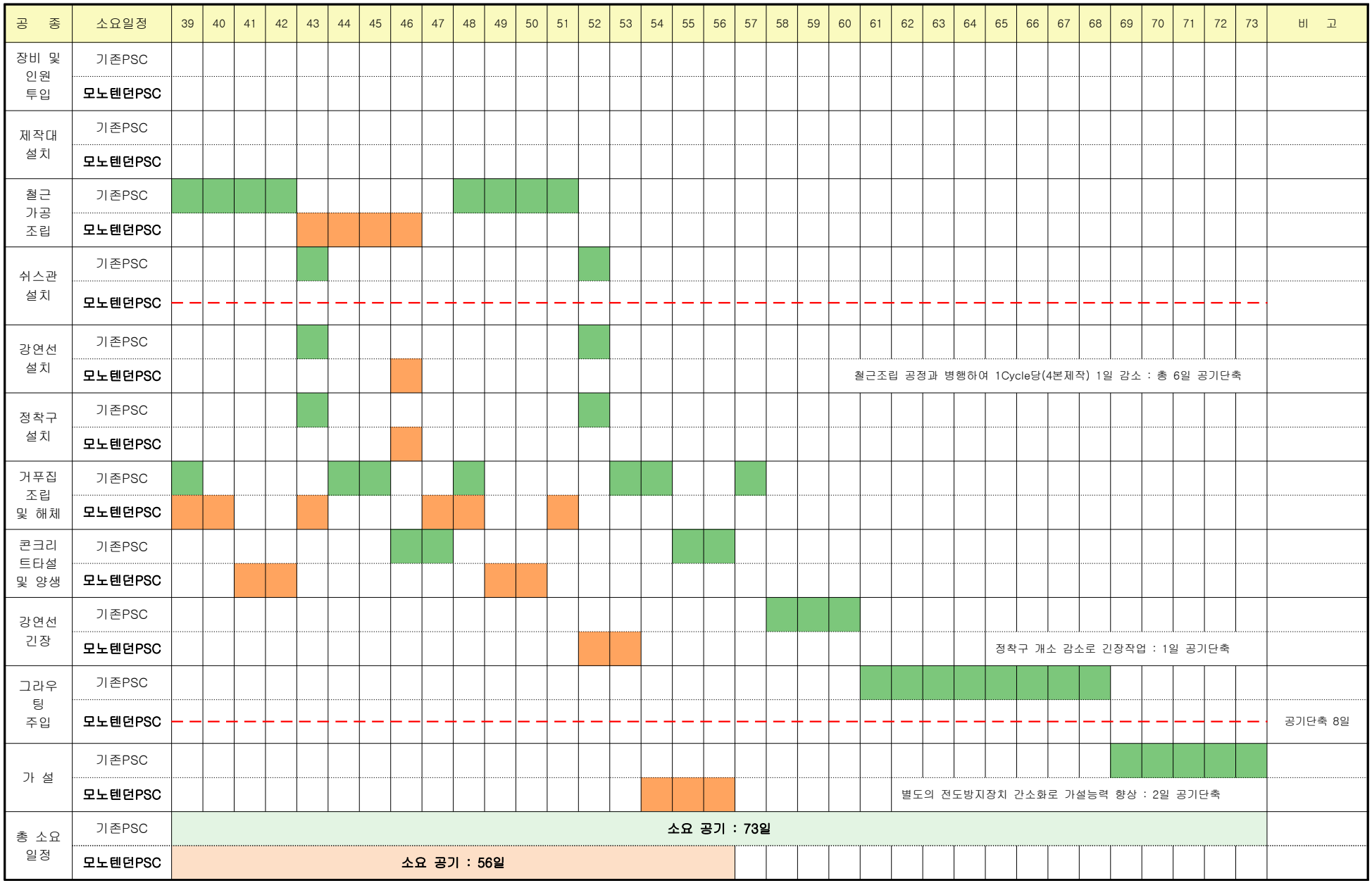
<표 2.2.12 강연선 / 정착구 설치 시공성 평가>

기존 PSC거더	모노텐던 PSC거더
 철근 조립 후 쉬스관 배치 및 강연선 삽입공정 정착구 개소 8EA	  철근 조립시 강연선 미리 배치 정착구 개소 2EA
  거더 양생 후 인장작업 4회 그라우팅 필요	 거더 양생 후 인장작업 1회 그라우팅 필요 없음

- 기존 PSC거더는 철근 조립 후 정착구 및 쉬스관 설치 다음 강연선을 매입하나, 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더에서는 철근조립시 정착구 및 강연선 설치를 병행하여 작업하므로 제작 1Cycle(4본 제작)당 1일의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가된다.
- 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더 정착구 개소의 감소로 인장작업에 필요한 시간이 기존 PSC거더에 비해 1일의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가된다.
- 기존 PSC거더는 강연선 긴장 후 그라우팅 주입을 필요로 하지만 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더는 그라우팅 주입 공정이 배제되어 8일의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가된다.
- 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더는 별도의 전도방지장치의 간소화로 가설능력이 향상되어 기존PSC거더에 비해 가설시 2일의 공기단축 효과가 있는 것으로 평가된다.
- 강연선 설치 및 긴장작업에 소요되는 일수는 기존 PSC거더는 17일, 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더는 8일로 과제 제안시 목표했던 강연선 설치 및 긴장작업의 공기단축 50%를 상회하는 약 9일 공기 단축이 되며, 전체 소요공기는 기존PSC거더에 비해 17일의 공기가 단축되는 것으로 평가된다.

<표 2.2.13 PSC거더와 모노텐던 거더의 시공성 비교평가 - 3@30.0=90.0m (3경간 × 8본 = 24본), 거푸집 4조 투입조건>

공 종	소요일정	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
장비 및 인원 투입	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
제작대 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
철근 가공 조립	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
쉬스관 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
강연선 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
정착구 설치	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
거푸집 조립 및 해체	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
콘크리트타설 및 양생	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
강연선 긴장	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
그라우팅 주입	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
가 설	기존PSC																																						
	모노텐던PSC																																						
총 소요 일정	기존PSC	**소요 공기 : 73일**																																					
	모노텐던PSC	**소요 공기 : 56일**																																					


공 종
소요일정
39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73
비 고
장비 및 인원 투입
제작대 설치
철근 가공 조립
쉬스관 설치
강연선 설치
정착구 설치
거푸집 조립 및 해체
콘크리트타설 및 양생
강연선 긴장
그라우팅 주입
가 설
총 소요 일정
기존PSC
모노텐던PSC
철근조립 공정과 병행하여 1Cycle당(4본제작) 1일 감소 : 총 6일 공기단축
정착구 개소 감소로 긴장작업 : 1일 공기단축
공기단축 8일
별도의 전도방지장치 간소화로 가설능력 향상 : 2일 공기단축
소요 공기 : 73일
소요 공기 : 56일

<표 2.2.14 모노텐던 PSC 거더의 본당 공사비 분석 - 30m>

공 종		규 격	단위	수 량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계	비 고
					단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
NO.1	모노텐던 PSC거더 제작대	B=0.9m	본	1	993,319	993,319	988,122	988,122	-	-	1,981,441	
NO.2	강재거푸집	T=3.2mm	m^2	132.228	2,894	400,032	32,514	4,494,345	2,045	282,676	5,177,053	
NO.3	철근가공조립	복잡	ton	3.187	11,360	36,204	466,566	1,486,946	4,011	12,783	1,535,933	
NO.4	콘크리트 타설	19-60-18	m^3	23.373	226	5,282	24,481	572,194	43	1,005	578,481	
NO.5	증기양생		본	1	1,201,260	1,201,260	89,899	89,899	77,376	77,376	1,368,535	
NO.6	PC강연선 가공조립	ϕ 15.2mm	ton	1.332	1,616,071	2,152,783	-	-	23,512	31,321	2,184,104	
NO.7	PS정착공		EA	2	850,000	1,700,000	145,557	291,144	-	-	1,991,114	
NO.8	인장작업	ϕ 15.2mm	EA	1	-	-	267,771	267,771	13,389	13,389	281,160	
NO.9	몰탈	1 : 3	m^3	0.183	94,325	17,261	81,443	14,904	-	-	32,165	
NO.10	P.V.C PIPE	D=100mm	m	1.740	-	-	219	381	4,166	7,249	7,630	
NO.11	Sole Plate 제작 및 설치	640×680×22	본	1	149,859	149,859	412,077	412,077	1,248	1,248	563,184	
NO.12	배수공	BASIC	EA	2	12,012	21,900	255,259	465,374	834	1,521	488,795	
NO.13	거더가설	L=30.0m	본	1	109,598	109,598	232,612	232,612	725,729	725,729	1,067,939	
모노텐던 PSC거더 제작 및 가설		L=30.0m	본	1							17,257,534	
NO.14	철근	SD30	ton	3.378	710,000	2,398,536	-	-	-	-	2,398,536	
NO.15	레미콘	19-60-18	m^3	23.607	120,000	2,832,808	-	-	-	-	2,832,808	
자재비											5,231,344	
총 공사비 / 본											**22,488,878**	

* 제작장 별도, 단위 : 원

<표 2.2.15 모노텐던 PSC 거더의 본당 공사비 분석 - 40m>

공 종		규 격	단위	수 량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계	비 고
					단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
NO.1	모노텐던 PSC거더 제작대	B=0.9m	본	1	1,325,533	1,325,533	1,649,073	1,649,073	-	-	2,974,606	
NO.2	강재거푸집	T=3.2mm	m^2	236.025	2,894	683,056	32,514	7,674,117	2,045	482,671	8,839,844	
NO.3	철근가공조립	복잡	ton	5.099	11,360	57,925	466,566	2,379,020	4,011	20,452	2,457,397	
NO.4	콘크리트 타설	19-60-18	m^3	37.222	226	8,412	24,481	911,232	43	1,601	921,245	
NO.5	증기양생		본	1	1,501,575	1,501,575	122,374	112,374	96,720	96,720	1,710,669	
NO.6	PC강연선 가공조립	ϕ 15.2mm	ton	2.286	1,616,071	3,694,482	-	-	23,512	53,751	3,748,233	
NO.7	PS정착공		EA	2	850,000	1,700,000	145,567	291,114	-	-	1,991,114	
NO.8	인장작업	ϕ 15.2mm	EA	1	-	-	267,771	267,771	13,389	13,389	281,160	
NO.9	몰탈	1 : 3	m^3	0.183	94,325	17,261	81,443	14,904	-	-	32,165	
NO.10	P.V.C PIPE	D=100mm	m	1.740	-	-	219	381	4,166	7,249	7,630	
NO.11	Sole Plate 제작 및 설치	640×680×22	본	1	149,859	149,859	412,077	412,077	1,248	1,248	563,184	
NO.12	배수공	BASIC	EA	2	12,012	21,900	255,259	465,374	834	1,521	488,795	
NO.13	거더가설	L=40.0m	본	1	133,964	133,964	306,466	306,466	1,460,077	1,460,077	1,900,507	
모노텐던 PSC거더 제작 및 가설		L=40.0m	본								25,916,549	
NO.14	철근	SD30	ton	5.405	710,000	3,837,507	-	-	-	-	3,837,507	
NO.15	레미콘	19-60-18	m^3	37.594	120,000	4,511,306	-	-	-	-	4,511,306	
자재비											8,348,813	
총 공사비 / 본											**34,265,362**	

* 제작장 별도, 단위 : 원

<표 2.2.16 모노텐던 PSC 거더의 본당 공사비 분석 - 50m>

공 종		규 격	단위	수 량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계	비 고
					단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액		
NO.1	모노텐던 PSC거더 제작대	B=0.9m	본	1	1,657,748	1,657,748	1,649,073	1,649,073	-	-	3,306,821	
NO.2	강재거푸집	T=3.2mm	m^2	367.952	2,894	1,064,853	32,514	11,963,591	2,045	752,462	13,780,906	
NO.3	철근가공조립	복잡	ton	6.789	11,360	77,123	466,566	3,167,517	4,011	27,231	3,271,871	
NO.4	콘크리트 타설	19-60-18	m^3	55.139	226	12,461	24,481	1,349,858	43	2,371	1,364,690	
NO.5	증기양생		본	1	2,006,104	2,006,104	150,131	150,131	129,218	129,218	2,285,453	
NO.6	PC강연선 가공조립	ϕ 15.2mm	ton	3.208	1,616,071	5,184,045	-	-	23,512	75,422	5,259,467	
NO.7	PS정착공		EA	2	850,000	1,700,000	145,557	291,114	-	-	1,991,114	
NO.8	인장작업	ϕ 15.2mm	EA	1	-	-	267,771	267,771	13,389	13,389	281,160	
NO.9	몰탈	1 : 3	m^3	0.183	94,325	17,261	81,443	14,904	-	-	32,165	
NO.10	P.V.C PIPE	D=100mm	m	1.740	-	-	219	381	4,166	7,249	7,630	
NO.11	Sole Plate 제작 및 설치	640×680×22	본	1	334,603	334,603	797,243	797,243	26,932	26,932	1,158,778	
NO.12	배수공	BASIC	EA	2	12,012	21,900	255,259	465,374	834	1,521	488,795	
NO.13	거더가설	L=50.0m	본	1	165,184	165,184	441,721	441,721	1,752,092	1,752,092	2,358,997	
모노텐던 PSC거더 제작 및 가설		L=50.0m	본								35,587,847	
NO.14	철근	SD30	ton	7.196	710,000	5,109,401					5,109,401	
NO.15	레미콘	19-60-18	m^3	55.690	120,000	6,682,847					6,682,847	
자재비											11,792,248	
총 공사비 / 본											**47,380,095**	

* 제작장 별도, 단위 : 원

(3) 경제성 평가

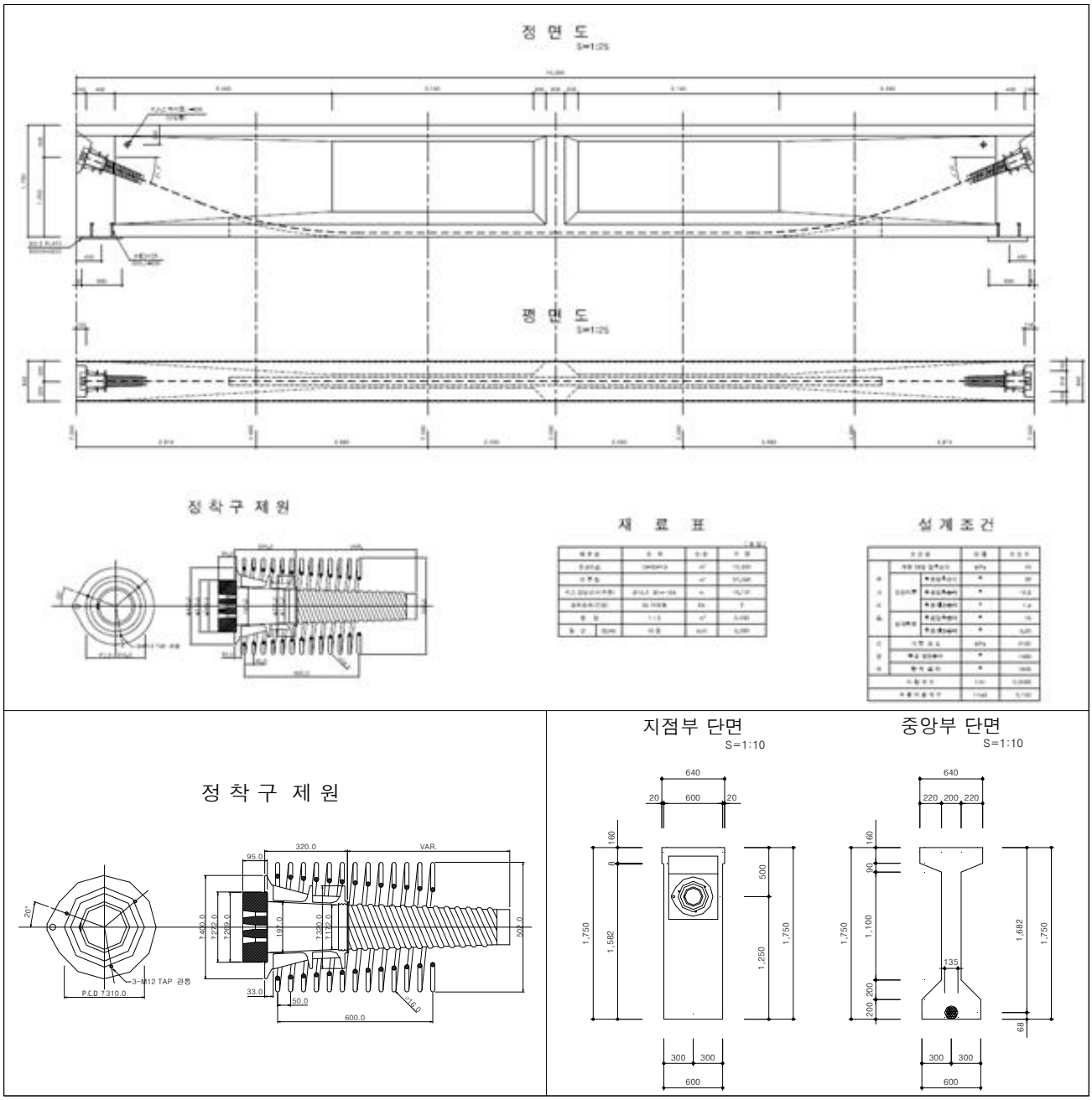
- 국내 대표적인 IPC거더 및 PSC e-Beam과 경제성을 분석한 결과 IPC거더 대비 30.0m 7.4%절감, 40m 5.9% 절감, 13.4% 절감의 효과가 있으며, PSC e-Beam 대비 30.0m 13.1% 절감, 40m 17.9% 절감, 24.4% 절감의 효과 있어 과제 제안시 계획했던 공사비 절감 5%를 상회하는 절감효과가 있는 것으로 평가된다.
- 경제성 분석 결과 공사기 절감 요인으로 쉬스관 배제, 정착구 개소 감소, 그라우팅 배제 및 별도 전도방지시설 간소화로 공시비가 크게 감소하는 것으로 평가된다.

<표 2.2.17 PSC 거더 공법별 공사비 비교>

구 분	연장(L) = 30.0m	연장(L) = 40.0m	연장(L) = 50.0m	비고
모노텐던 PSC거더	22,488,878 원/본	34,265,362 원/본	47,380,095 원/본	
IPC 거더	24,292,946 원/본	36,421,045 원/본	54,688,244 원/본	
PSC e-Beam	25,873,591 원/본	41,753,834 원/본	62,630,689 원/본	

3. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 구조성능평가

가. 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 제작 및 제작성 평가



<그림 2.2.27 모노텐던 단일정착시스템을 적용한 PSC거더 시험체 제원>

- 시험체에 대한 제원은 위 그림과 같이 길이 15m, 형고 1.75m를 갖고 있다. 통상적으로 교량 거더의 지간장이 15m일 경우 거더의 형고는 1.0m 이내가 되지만, 이 연구에서는 대형 모노텐던을 적용할 경우에 대한 제작성을 함께 검토하는 것을 목적으로 하였기에 높은 형고를 채택하였다.
- 콘크리트 강도는 60MPa 설계하였으나, 추운 날씨에 시공을 하여 양생이 충분치 않아 실제 강도는 약 30~35MPa로 평가되었다.
- 30Hole 유압잭을 이용하여 한번에 긴장력을 도입하였으며, 도입하중은 5,802.2kN (유압잭

기준 47.7MPa, 강연선 기준 약 1400MPa)이다. 시험체에서 장기손실을 고려하지 않을 경우 도입하는 긴장력은 1740MPa(강연선 기준)이고, 장기손실을 고려할 경우 1270MPa 수준이다. 시험체의 경우 양생 및 긴장력 도입 후 며칠 이내에 시험을 실시하기 때문에 장기손실에 의한 영향이 상대적으로 작을 것으로 예상된다. 그러한 이유로 강연선에 도입한 긴장력을 약 1400MPa 수준으로 결정하였다.

- 시험체는 제작성 평가를 목적으로 만들지면서 거더 상면에서의 균열 발생을 허용하였다. 설계결과 거더의 상면과 하면에서의 발생응력은 각각 8.4MPa(인장), -29.4MPa(압축)으로 나타났다. 계측 시에는 실제로 균열이 계측되었고, 인장측에는 계산값 보다 다소 크게, 압축쪽에는 다소 작게 계측되었다. 이는 거더를 타설할 때 아래쪽에 타설되는 콘크리트의 다짐이 보다 조밀하게 되어 상부쪽 보다 높은 콘크리트 강성과 강도를 갖기 때문에 나타난 것으로 판단된다.

<표 2.2.18 도입하중에 따른 거더 내 변형률>

	10MPa	20MPa	30MPa	40MPa	47.7MPa	
					계측	계산값
도입하중(kN)	1216.4	2432.8	3649.2	4865.6	5802.2	5802.2
거더상면	21.3	73.7	135.3	334.0	473.3 (약12.9MPa)	8.4MPa
거더중간	-21.5	-50.5	-85.5	-79.5	-84.0	
거더하면	-105.0	-290.0	-497.5	-751.5	-943.0 (약-25.6MPa)	-29.4MPa

- 기존 PSC거더는 철근조립 공중 후 쉬스관을 설치하고 강연선을 삽입하나, 단일정착시스템을 적용한 모노텐던 PSC거더는 철근조립시 미리 강연선을 배치하므로 쉬스관 및 강연선 삽입공정이 배제될 수 있었다.
- 기존 PSC거더는 정착구가 8개소이나 모노텐던 PSC거더는 2개소로 정착구설치 및 강연선 인장에 필요한 공기가 단축되었다.
- 기존 PSC거더는 긴장 완료 후 쉬스관 내에 그라우팅 주입이 필요하나, 모노텐던 PSC거더는 쉬스관이 배제되어 그라우팅 주입이 필요 없었다.

<표 2.2.19 MPC거더 제작>



하면거푸집 설치 및 철근조립



정착구 설치



거푸집 설치 및 콘크리트 타설



거푸집 탈영 및 양생



강연선 긴장 (1회)



거더 시험체 운반

5.3 프리스트레스의 시간적손실 검정

1) 콘크리트 건조수축에 의한 손실량

$\Delta f_{pshr} = 0.80 \times (119.0 - 1.050 \times H_r)$

$= 0.80 \times (119.0 - 1.050 \times 70.0) = 68.400$ MPa

(H_r : 주위의 연간 평균 상대습도 , 국내 평균 상대습도 70.0 %)

2) 콘크리트 CREEP에 의한 손실량

$\Delta f_{pcr} = 12 \times f_{cir} - 7 \times f_{cds}$

f_{cds} : 프리스트레스를 가할 당시 존재하는 고정하중을 제외한 그 후 모든 고정하중에 의해 발생하는 PS 강연선 중심에서의 콘크리트의 응력

$\Delta f_{cir} = P_i / A_c + P_i \times e_{cs} / Z_{cs} - M_g / Z_{cs}$

$= 7240140 / 545676 + 7240140 \times 797.7 / 246919425 - 696.007 \times 10^6 / 246919425$

$= 18.266 + 23.39 - 1.6 = 35.056$ MPa

① 외측거더

$\Delta f_{cds} = 0 + 0 = 0$ MPa (휨응력 참조)

$\Delta f_{pcr} = 12 \times 35.056 - 7 \times 0 = 420.696$ MPa

② 내측거더

$\Delta f_{cds} = 0 + 0 = 0.000$ MPa (휨응력 참조)

$\Delta f_{pcr} = 12 \times 35.056 - 7 \times 0.000 = 420.696$ MPa

3) PS강연선 RELAXATION에 의한 손실량 (저 릴랙세이션 강연선 사용)

$\Delta f_{pr} = 35 - 0.07 \times \Delta f_{pf} - 0.1 \times \Delta f_{pes} - 0.05 \times (\Delta f_{pshr} + \Delta f_{pcr})$

여기서, Δf_{pf} : 고려되는 시점인 $0.7 f_{pu}$ 이하에서 마찰손실에 의한 응력 감소량

Δf_{pes} : 콘크리트 탄성수축에 의한 손실량

Δf_{pshr} : 콘크리트 건조수축에 의한 손실량

Δf_{pcr} : 콘크리트 크리이프에 의한 손실량

① 외측거더

$\Delta f_{pr} = 35 - 0.07 \times 0.000 - 0.10 \times 0.000 - 0.05 \times (68.400 + 420.696)$

$= 12.145$ MPa

② 내측거더

$\Delta f_{pr} = 35 - 0.07 \times 0.000 - 0.10 \times 0.000 - 0.05 \times (68.400 + 420.696)$

$= 12.145$ MPa

5.4 PS강연선의 유효응력

1) PS강연선의 유효인장응력

① 외측거더

$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f_{pshr} - \Delta f_{pcr} - \Delta f_{pr}$

$= 1740.000 - 68.400 - 420.696 - 12.145 = 1270.759$ MPa

② 내측거더

$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f_{pshr} - \Delta f_{pcr} - \Delta f_{pr}$

$= 1740.000 - 68.400 - 420.696 - 12.145 = 1270.759$ MPa

2) PS강연선의 유효계수

① 외측거더

$\eta = f_{pe} / f_{pi} = 1270.759 / 1740.000 = 0.730$

② 내측거더

$\eta = f_{pe} / f_{pi} = 1270.759 / 1740.000 = 0.730$

<그림 2.2.28 구조계산 - PS강연선의 유효응력>

7. 극한강도에 의한 검토

7.1 휨응력 검토

1)Girder 좌단에서 0.000 m 떨어진 단면

① 외측거더

- 극한 모멘트

M_u = 1.80 x (695.007 + 0.000 + 0.000) + 2.15 x 0.000

= 516.509 kN.m

- 극한 저항 모멘트

b = 640.0 mm

d = 1750.0 + 0.0 − 68.0 = 1682.0 mm : 바닥판상단에서 강연선도심까지 거리

A_p = 138.70 x 30 ea x 1 ea = 4161 mm^2 : PS강연선의 총단면적

L/d= 14.7 / 1.682 = 8.74 < 35 ∴ **fps=fpe+70+fck/100Pp 적용**

비부착긴장재 f_{ps} = f_{pe} + 70 + f_{ck} / 100 σ_p

1270.6 + 70 + 35 / 100 x 0.00357

= 1461.6 MPa O.K

f_{ps} = f_{py} = 1838.0 MPa 또는 (f_{pe} + 420) = 1690.6 MPa 이하

∴ f_{ps} = 1461.6 MPa

a = 4161 x 1461.6 / (0.85 x 35 x 640.0) = 312.8 mm

< 640.0 mm ∴ 직사각형 단면부재로 취급

ϕM_n = ϕ { A_p x f_{ps} x d_p (1− 0.59 x (σ_p x f_{ps}) / f_{ck})}

= 0.85 x{ 4161 x 1461.6 x 1682.0 x (1− 0.59 x 0.0035 x 1461.6 / 35)}

= 7720700568 N.mm ➡ 7720.701 kN.m

ϕM_n (= 7720.701 kN.m) > M_u (= 516.509 kN.m) **O.K!!**

② 내측거더

- 극한 모멘트

M_u = 1.80 x (695.007 + 0.000 + 0.000) + 2.15 x 0.000

= 516.509 kN.m

- 극한 저항 모멘트

b = 640.0 mm

d = 1750.0 + 0.0 − 68.0 = 1682.0 mm : 바닥판상단에서 강연선도심까지 거리

A_p = 138.70 x 30 ea x 1 ea = 4161 mm^2 : PS강연선의 총단면적

L/d= 14.7 / 1.682 = 8.74 < 35 ∴ **fps=fpe+70+fck/100Pp 적용**

비부착긴장재 f_{ps} = f_{pe} + 70 + f_{ck} / 100 σ_p

1270.6 + 70 + 35 / 100 x 0.00357

= 1461.6 MPa O.K

f_{ps} = f_{py} = 1838.0 MPa 또는 (f_{pe} + 420) = 1690.6 MPa 이하

∴ f_{ps} = 1461.6 MPa

a = 4161 x 1461.6 / (0.85 x 35 x 640.0) = 312.8 mm

< 640.0 mm ∴ 직사각형 단면부재로 취급

ϕM_n = ϕ { A_p x f_{ps} x d_p (1− 0.59 x (σ_p x f_{ps}) / f_{ck})}

= 0.85 x{ 4161 x 1461.6 x 1682.0 x (1− 0.59 x 0.0035 x 1461.6 / 35)}

= 7720700568 N.mm ➡ 7720.701 kN.m

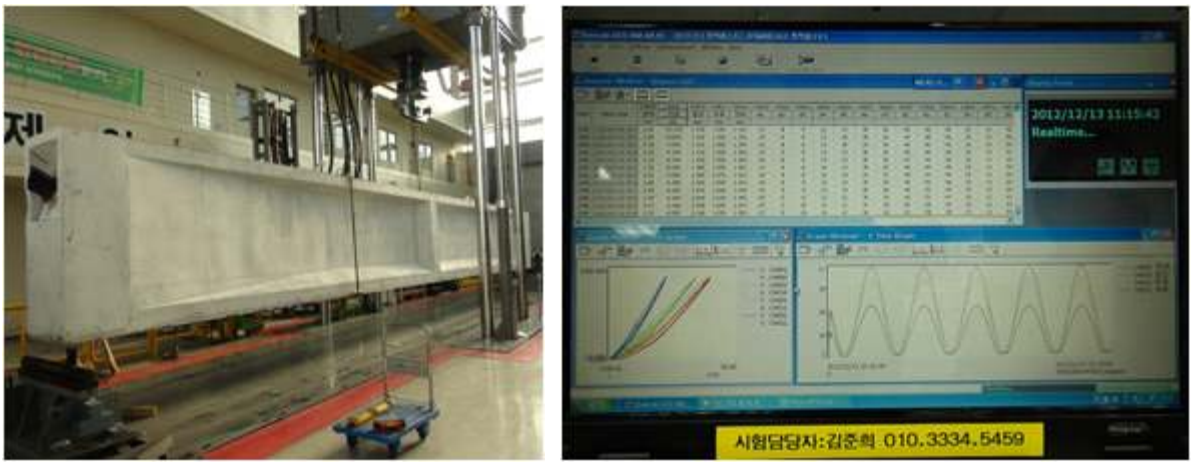
ϕM_n (= 7720.701 kN.m) > M_u (= 516.509 kN.m) **O.K!!**

<그림 2.2.29 구조계산 - PS강연선의 유효응력>구조계산 - 단면 극한강도(모멘트)>

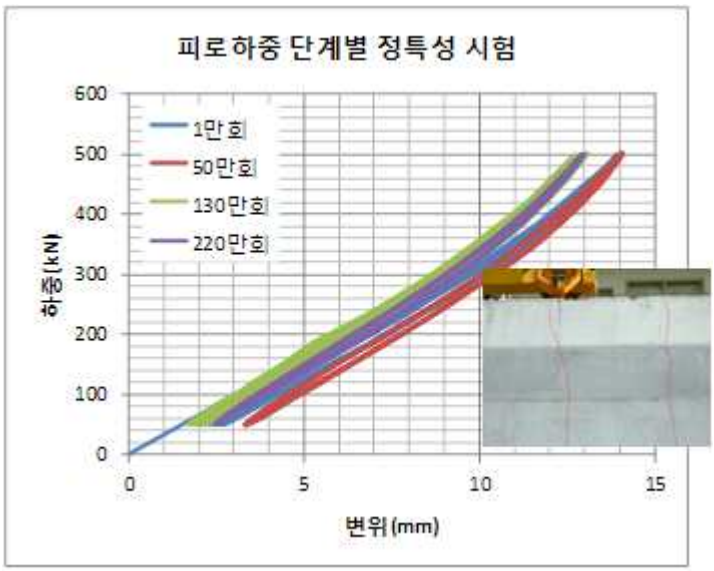
나. 모노텐던 단일정착 PSC거더 시험체 정/동적 성능평가

(1) 모노텐던 거더 200만회 피로시험 및 동특성 평가

- 이 연구에서는 개발 모노텐던 거더에서 비부착 텐던와 거더의 피로 안전성을 평가하기 위해 200만회 피로시험을 실시하였다.
- 하중범위는 시험기의 용량을 고려하여 5~50톤으로 하였으며, 1만회, 50만회, 130만회, 220만회에서 10회에 걸쳐 정하중 시험을 실시하여 강성의 변화를 계측하였다. 시험결과는 다음 그래프와 같다.



<그림 2.2.30 15m 모노텐던 거더의 정/동특성>



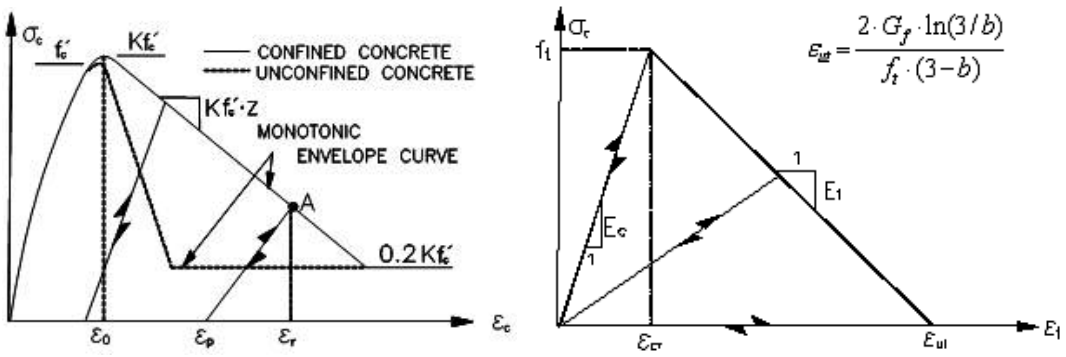
<그림 2.2.31 15m 모노텐던 거더의 정/동특성 시험결과>

- 앞서 언급된 바와 같이 거더 상면에 휨균열이 존재하기 때문에 하중을 가력하는 과중에서 균열이 닫힘이 발생한다. 균열의 닫힘은 거더의 휨강성을 증가시키는데, 시험 결과에서도 약 350kN 전후에서 하중-변위 곡선의 기울기가 증가하는 것이 관찰되었다.
- 200만회 피로시험을 하는 과정에서 강연선의 피로파괴는 발생하지 않았다. 또한, 정하중 특성인 하중변위 곡선의 기울기나 형상이 변하지 않는 것으로 나타났다. 즉, 모노텐던 거더는

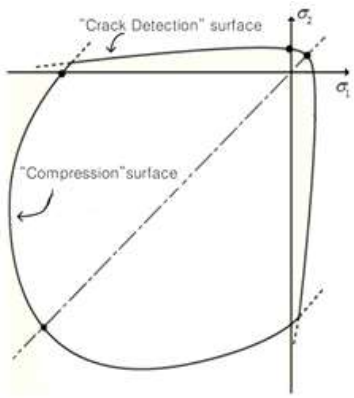
200만회 피로성능을 확보하는 것으로 평가되었다.
- 시험기 용량의 한계로 시험체에 대해 극한하중시험을 실시하지 못하였다. 대신, FEM 비선형 구조해석을 수행하여 강도를 평가하였다.

(2) 모노텐던 거더 극한거동 평가 (FEM 구조해석)

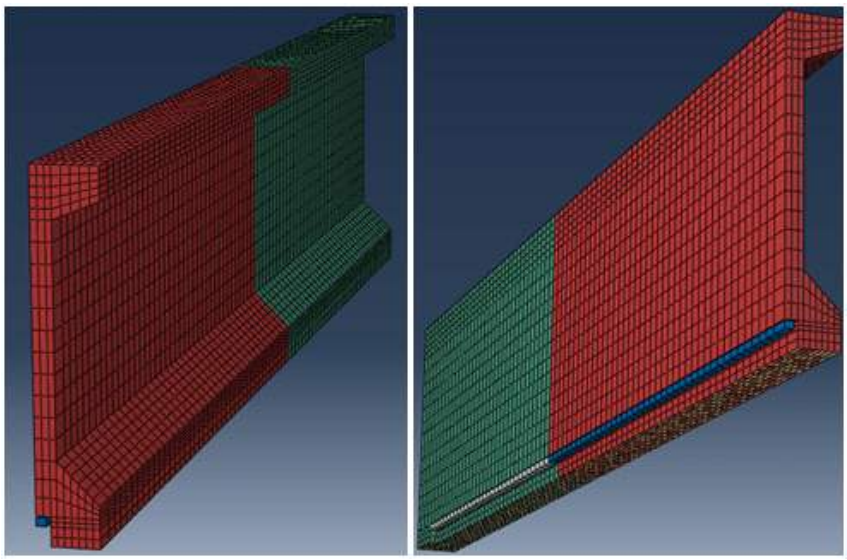
- 모노텐던 거더개발 연구과제에서는 15m 모노텐던 거더를 제작하여 제작성을 평가하였고, 5~50톤까지의 하중을 200만회 가력하여 피로성능을 확인하였다. 그러나 시험기 용량의 한계로 극한강도시험은 실시하지 못하였다.
- 모노텐던 거더는 비부착강연선을 외부로 노출하는 구조로 구조계산과 실제 거동을 비교하기 위해 정확한 구조해석 모델링이 요구된다.
- 따라서, 이 과업에서는 15m 모노텐던 거더 시험체의 거동을 정확히 모사할 수 있는 FE 모델을 구축하고, 이에 대한 비선형 극한하중 해석을 통해 시험체의 극한강도를 추정하는데 과업의 목적을 두고 있다.
- 구조해석에는 Abaqus CAE 6.11을 사용하였으며, 선형 솔리드 요소(solid, C3D8R)를 사용하였다.
- 해석상의 편의를 위해 총 15m 시험체 중에 7.5m에 대해 모델링하였으며, 대칭성을 고려하여 전체 모델의 1/4을 모델링하였다.
- 콘크리트 재료모델은 콘크리트의 균열과 철근간의 상호관계를 고려하여 Smeared Cracking 모델을 사용하으며, 인장측에 대해서는 Tension Stiffening을 고려하였다. 재료에 대한 상세 모델은 다음과 같다.
- 철근과 강연선에 대해서는 Bi-linear 모델을 적용하였다.
- 모델링의 편의를 위해 텐던은 동일한 단면적을 갖는 사각단면으로 모델링 하였다. 이때 텐던이 콘크리트와 부착이 아니기 때문에 5mm 이격을 두고 모델링 하였다.
- 텐던과 콘크리트와는 contact 모델을 사용하여 실구조물의 거동과 유사하게 거동할 수 있도록 모델링하였으며, 이때 접촉 조건은 hard contact / frictionless로 하였으며 small sliding을 허용하였다.
- 경계조건은 거더 중앙부에서는 교축방향(z)과 교축직각(x) 방향에 대해 변위를 구속하였고, 지점부에서는 수직방향(y)과 교축직각(x) 방향을 구속하였다. 1/4 모델이기 때문에 단면 중앙부가 잘려지는데 이에 대해서는 교축직각(x)방향에 대해서 구속하여 부분모델이 전체모델과 동일한 거동을 하도록 모사하였다.



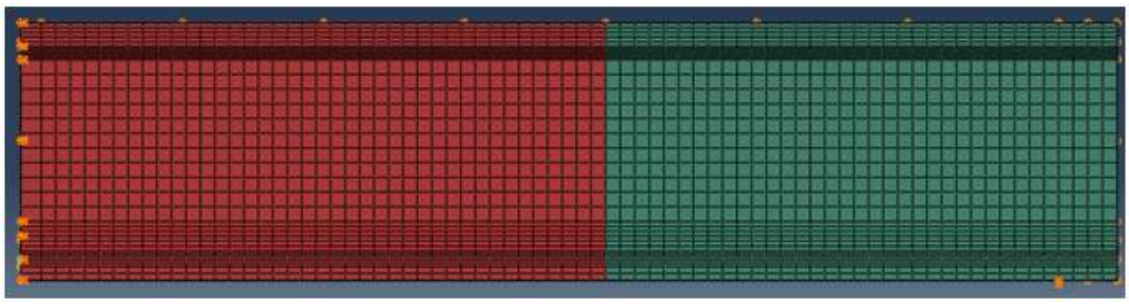
<그림 2.2.32 콘크리트의 응력-변형률 관계>



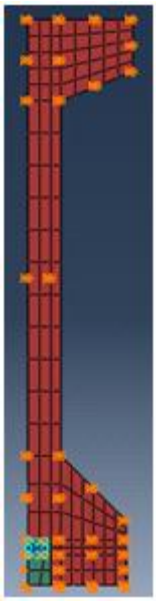
<그림 2.2.33 2축 하중을 받는 콘크리트의 콘크리트 파괴포락선>



<그림 2.2.34 비부착 텐던 및 적용 거더의 모델링>



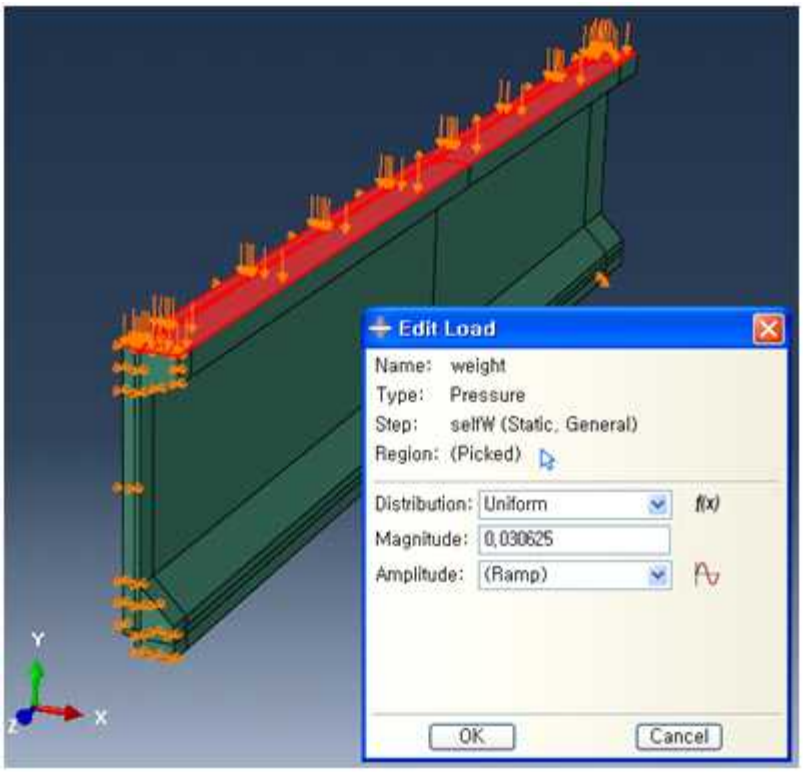
(a) 거더 중앙 및 지점부



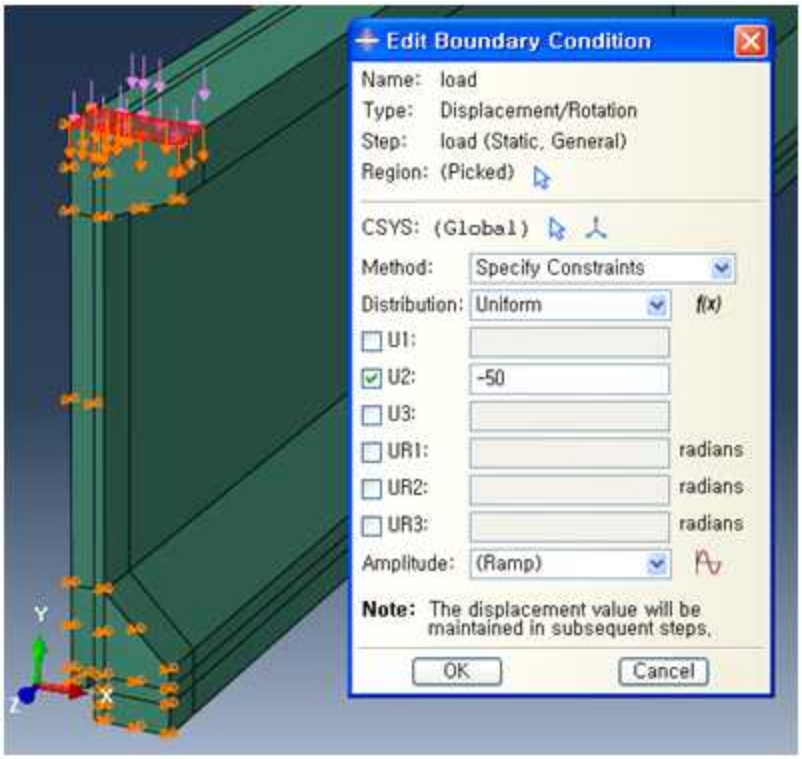
(b) 1/2 단면에서 교축 직각방향 변위 구속

<그림 2.2.35 전체 모델링 및 경계조건>

- 설계와 동일하게 텐던에 프리스트레싱을 도입하였다. 이때 아바쿠스에서 predefined field를 적용하였다.
- 텐던에 프리스트레싱을 도입한 이후 거더에 자중을 도입하였으며, 다음단계로 시험조건과 동일하게 거더 중앙부를 변위제어로 가력하였다.



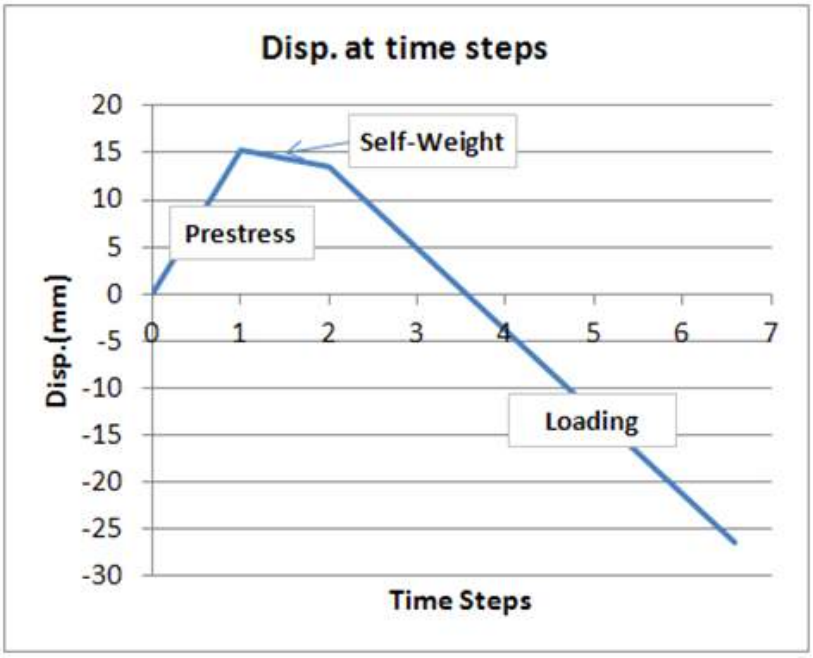
(a) 자중을 등분포하중으로 도입



(b) 변위제어 하중도입

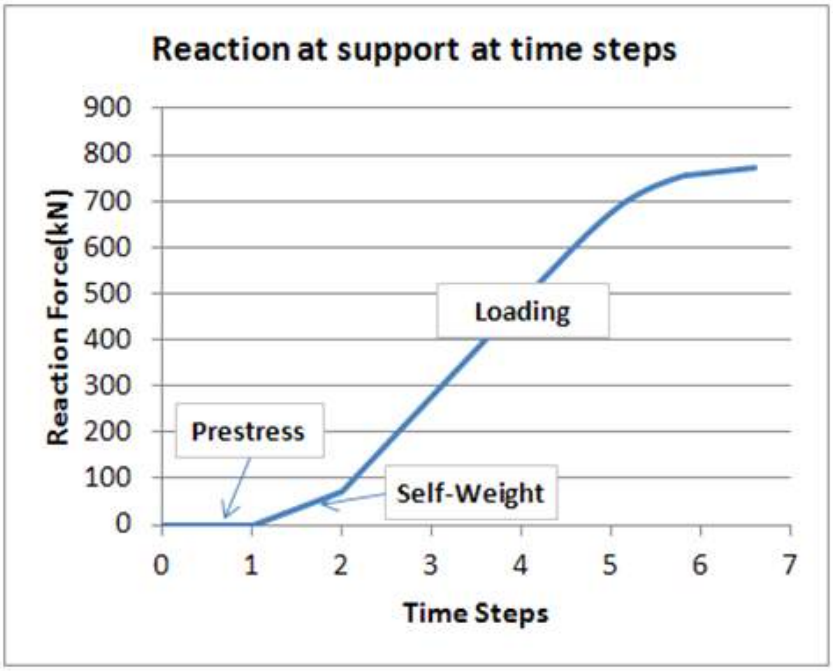
<그림 2.2.36 자중 및 하중가력>

- 구조계산서 상에서 계산된 모노텐던 거더의 계수 극한모멘트는 7720.701kN.m이다. 따라서 계수를 제외한 극한모멘트는 9083kN.m이다. 3점 가력조건을 기준으로 모멘트를 하중으로 환산할 경우 극한하중은 2558.6kN(=4*M/L) 이다.
- 시험에 의한 극한하중과의 비교를 위해서는 시험 전 자중에 의해 도입된 모멘트를 제외시켜야한다. 시험체의 지점간 거리는 14.2m(L)이고, 자중이 300kN(W=w*L)인 관계로 최대모멘트는 약 532.5kN.m (=W*L/8=300*14.2/8)이다. 따라서 자중을 제외한 극한모멘트는 8550.5kN.m이다.
- 3점 가력조건을 기준으로 모멘트를 하중으로 환산할 경우 극한하중은 2408.6kN(=4*M/L) 이다.
- 해석모델은 1/4 모델이므로 자중을 모두 포함할 경우 639.6kN, 해석모델에 대해 요구되는 강도는 602.2kN이다.

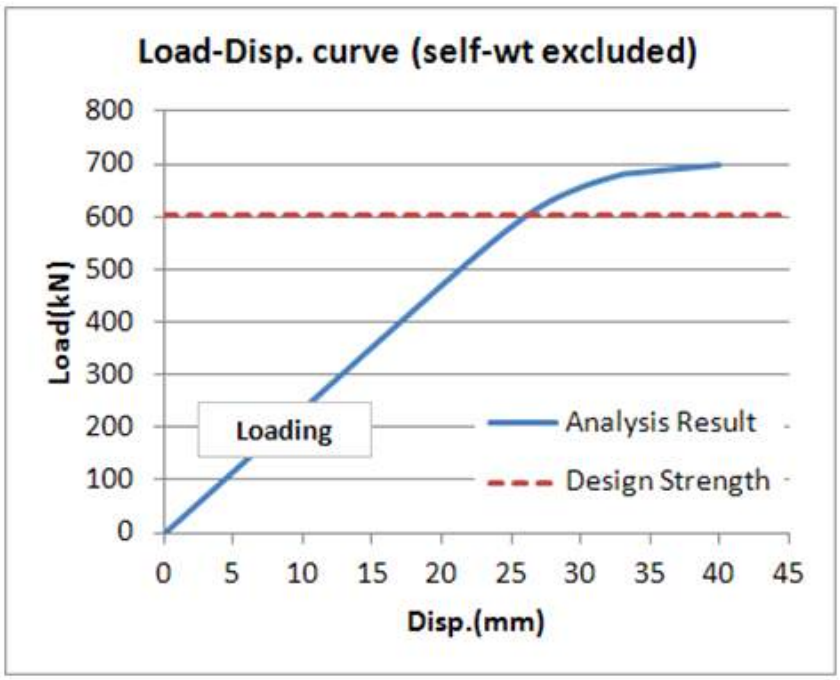


<그림 2.2.37 하중도입 단계별 거더 중앙부 수직변위>

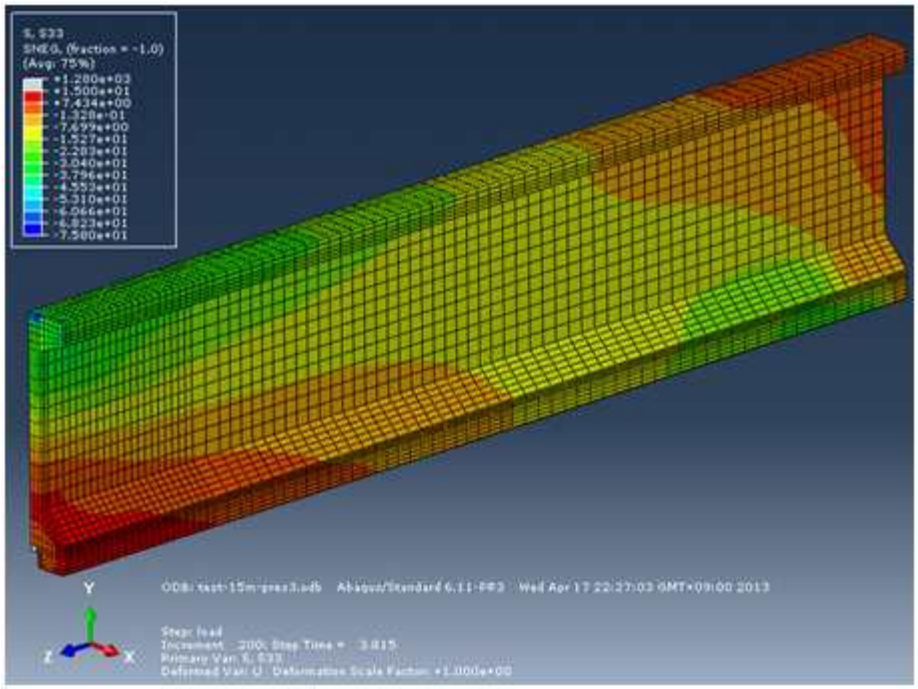
- 하중 도입과정은 프리스트레스 도입, 자중도입, 변위제어 하중도입 단계로 구분된다. 각 과정을 거치면서 거더 중앙부 수직변위는 아래 그림과 같다.
- 프리스트레스를 도입하게되면 편심에 의해 거더는 상향 변위가 형성된다.
- 이후 자중에 의해 상향변위는 감소하고, 하중도입에 따라 거더는 아래쪽으로 변위를 갖게 된다.
- 해석은 재료비선형 해석을 수행하였으며, iteration이 수렴하지 않을 때까지 해석을 수행하였다. Iteration은 콘크리트가 압축 또는 인장 최대강도를 지나면서 수렴하지 않는 것으로 나타났다.
- 해석결과 최대변위는 -26.5mm 발생한 것으로 나타났다.
- 해석결과 최대하중은 700kN으로 나타났다. 설계하중이 약 220kN이므로 설계안전율은 설계강도 기준으로는 약 2.7, 해석결과 기준으로는 약 3.18 수준으로 나타났다.
- 한편, 설계강도는 602kN이므로, 구조해석결과가 실제 강도 대비 1.16배로 나타난 것으로 평가되었다. 시험용 공시체 콘크리트 강도와 달리 실제 구조물에서 강도발현이 조금 부족하게 나타날 것으로 예상되는데 이로 인해서 실제 강도가 해석강도보다 다소 작게 나타나게 된 것으로 추정된다.



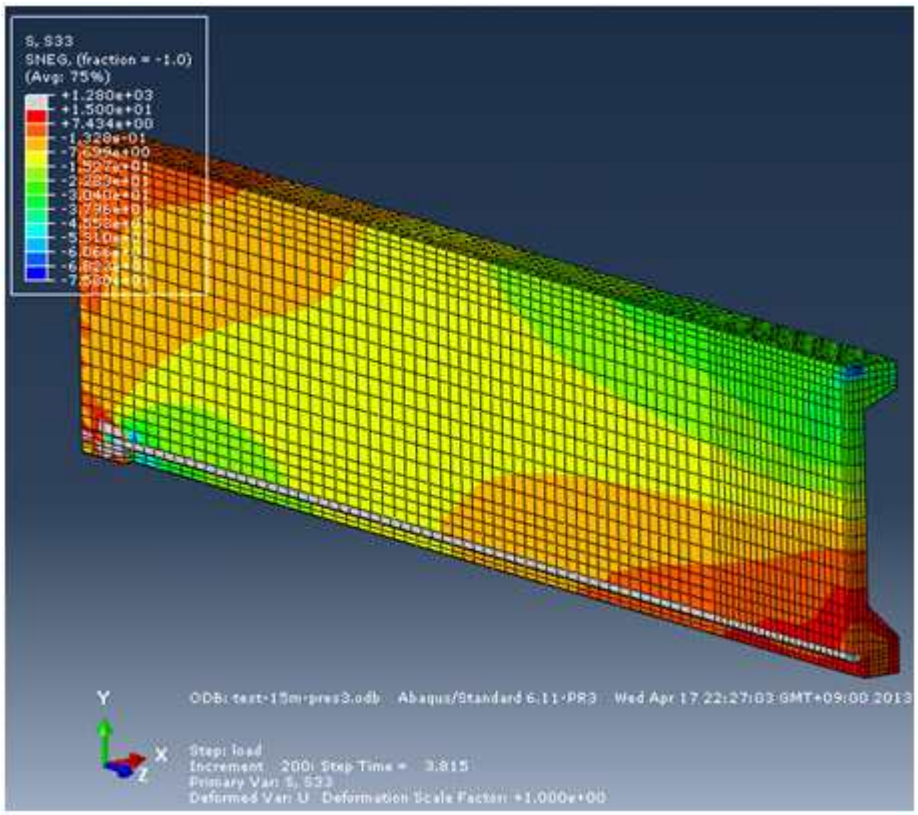
<그림 2.2.38 하중도입단계에 따른 지점 반력>



<그림 2.2.39 가력하중에 대한 하중변위 곡선 (자중 제외)>

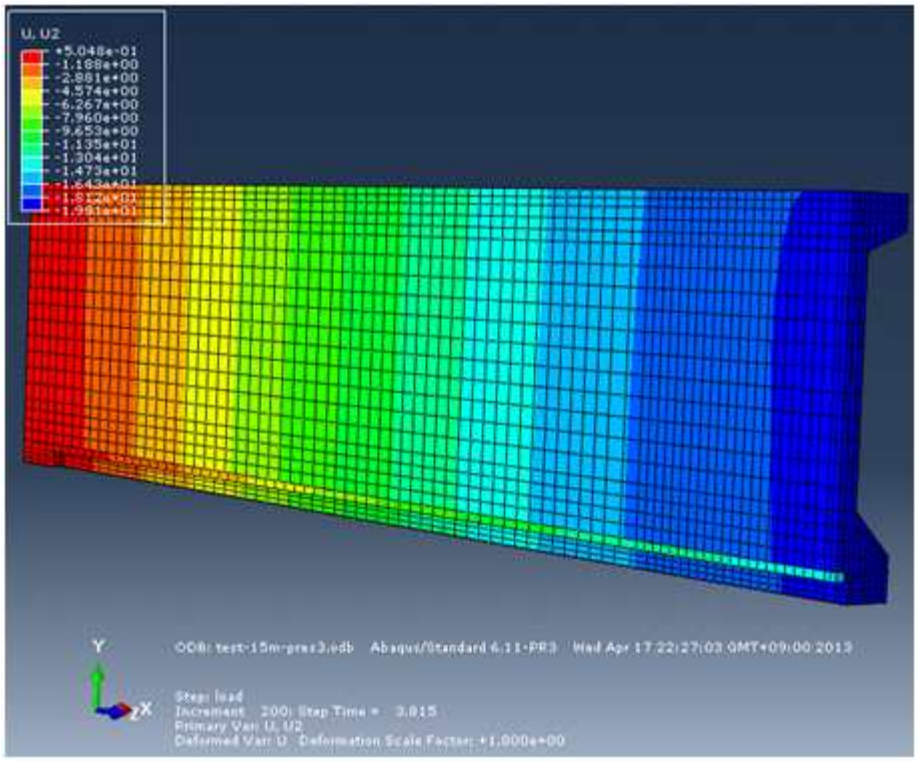


(a) 교축방향 응력분포 (외측면)

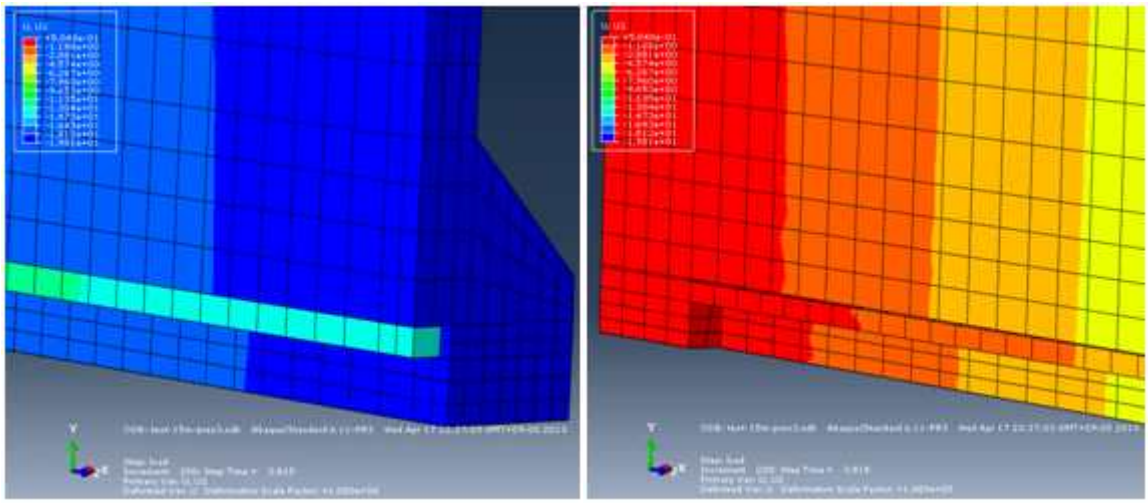


(b) 교축방향 응력분포 (내면)

<그림 2.2.40 단면 내 응력분포>



(a) 전체 변위 Contour



(b) 텐던과 콘크리트거더의 Contact

<그림 2.2.41 변위 Contour 및 Contact>

제3절 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발

1. 설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비)

가. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC 거더교 설계 표준화

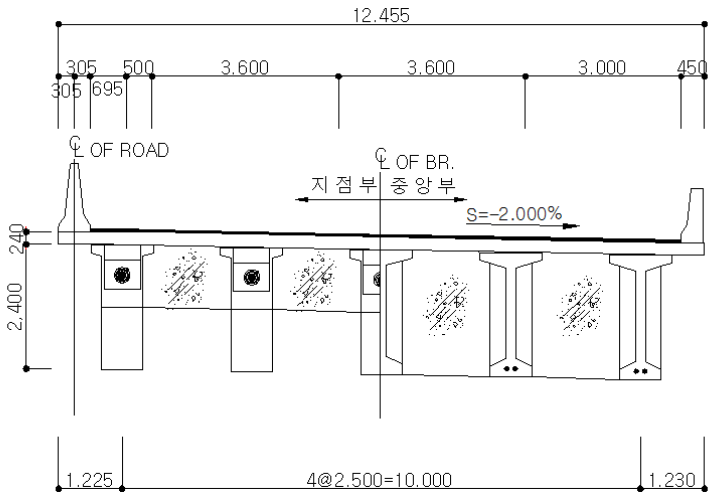
(1) 개요

- 본 연구과제의 단일정착 PSC 거더교의 특징은 고강도 강연선을 사용하고 쉬스관 내부를 비경화재(그리스)등 으로 채움으로서 비부착 상태의 PSC거더의 구조계산을 수행하였다.

(2) 표준횡단 구성

<표 2.3.1 교량의 표준횡단 구성>

구 분		단위	적 용	비 고
차 로 수		차로	2	일방향
횡단면 구 성	총 폭 원	m	12.455	
	차 도	m	2@3.6=7.2	2차로
	중앙분리대	m	1.5	
	길어깨(측대포함)	m	3.0	



<그림 2.3.1 교량의 표준 횡단면도>

- 위 그림에서 보는바와 같이 횡단폭원은 한국도로공사 양방향 4차선 표준도를 준용하여 양방향 중 중앙분리대 설치구간 12.455m 일방향 2차선으로 계획하였으며 거더 연장 30m, 35m, 40m,45m,50m 검토시 동일한 조건으로 적용하여 표준화 작업을 시행하고자 한다. 또한 방호벽 및 중분대 측의 켄틸레버 길이가 유사하게 빔 본체의 간격이 2.5m로 계획하여 국도 또는 고속도로 설계시 적용 가능하도록 하였다. (빔 간격 결정은 슬래브의 캔틸레버 길이를 고려하여 빔간격은 2.5m로 결정하였다.)

(3) 구조계산을 위한 설계조건

(가) 기존 PSC거더 구조계산과의 차이

- 구조계산을 위한 설계조건은 2차년도에서 검토된 비부착 구조물의 계산방식을 적용하여 검토하였으며, 프리스트레스 도입시 콘크리트 압축강도(f_{ci})는 통상 $0.8f_{ck}$의 값을 적용하나 현장의 시공여건을 정확하게 반영할 수 없으므로 2차년도와 동일하게 콘크리트 강도가 최대한 발현되는 28일 강도($1.0f_{ck}$)를 적용하여 검토를 수행하였다.

<표 2.3.2 휨부재의 보강에 대한 제한 사항>

구 분	도로교 설계기준(2010)	콘크리트 구조설계기준(2010)	콘크리트 구조설계기준(2007)
기준	.PS강재 및 철근의 총량은 위험단면에서 균열모멘트(Mcr)의 1.2배 이상의 설계모멘트를 받는데 충분하여야 한다. $\varnothing M_n \geq M_{cr}$ 여기서, $M_{cr} = (f_{ru} + f_{pcc})Z_c$	.부착긴장재를 가진 부재의 철근과 긴장재 전체량은 식 (4.3.3)에 규정된 콘크리트의 파괴계수 fr을 기초로 하여 계산된 균열하중의 1.2배 이상의 계수하중을 받는 데 충분하여야 한다. 다만, 전단강도와 휨강도가 3.3.2에 제시된 계수하중으로 계산된 값의 2배 이상이 되는 휨부재는 이 조건을 따르지 않을 수 있다.	.철근과 긴장재 전체량은 식 (4.3.3)에 규정된 콘크리트의 파괴계수 fr을 기초로 하여 계산된 균열하중의 1.2배 이상의 계수하중을 받는 데 충분하여야 한다. 다만 다음의 경우에는 이조건을 따르지 않을 수 있다 ① 2 방향 비부착 포스트텐션 슬래브 ② 전단강도와 휨강도가 3.3.2에 요구되는 계수하중으로 계산된 값의 2배이상이 되는 휨부재
콘크리트 구조설계 기준해설 (2010)	.이 규정은 균열 발생후 즉각적으로 발생하는 급작스런 휨파괴를 피하기 위한 것이다. 구조기준에 따라 설계된 휨부재는 그 부재의 휨강도에 도달 할 때까지는 균열이 발생한 후에도 상당한 하중을 추가로 받을 수 있으야 한다.이때 부재가 발휘할 수 있는 휨강도에 접근하게 되면 상당량의 처짐이 발생하게 되어 위험을 경고해 줄 수 있다 그러나 균열 발생 후 즉각적으로 휨강도에 도달되면 위험을 경고해 주는 처짐이 발생할 여유도 없이 파괴된다. 비부착긴장재를 가진 부재에서는 이러한 거동이 발생하지 않으므로 이 규정이 적용되지 않는다		
참고 문헌 (PC의 설계 및 시공)	.부착이 없는 보를 보통의 허용휨응력도를 사용해서 설계한 것으로는 파괴하중이 현저하게 작은것이 되는 것은 많은 시험에 의해서 분명해지고 있다 부착이 없는 프리스트레스트 콘크리트 부재로 파괴에 대하여 큰 안전율을 주려고 하면 허용휨응력도를 작게해서 설계해야 하므로 비경제적인 단면이 된다. 이상과 같은 결점을 보완하는 데는 PC강선 또는 강봉과 콘크리트에 부착을 일으키게하는 것이 좋다		

- PS강재의 응력 산정시 부착과 비부착으로 구분하여 산정하도록 도로교 설계기준(2010)에 명시되어 있으며 PS강재의 응력적용 시 대부분의 교량용 포스트 텐션 방식의 구조물의 깊이에 대한 경간 비가 35이하로 아래의 식 1을 적용하였다.

- “비부착긴장재를 가진 부재에서는 이러한 거동이 발생하지 않으므로 이 규정이 적용되지 않는다”로 콘크리트 구조설계기준(2010)에 명기되어 있으나 도로교 설계기준 상 비부착 거더에 대한 내용이 명기되어 있지 않으며 비부착거더의 연성파괴에 대한 내용은 최소철근 규정에 의하여 균열을 억제하는 것으로 만 명기되어 있다.
비부착 긴장재를 적용할 경우 부착 긴장재에 비해 단면의 효율이 떨어지는 단점이 있으나, 본 연구에서는 고강도 긴장재를 적용하여 일반긴장재보다 긴장력을 증가하여 부착 긴장재에 비해 단면효율성을 보완하기 위하여 적용하였으나 크게 단면효율성을 증대하지 못하는 것으로 연구되었다.

- 본 연구에서는 국내에 상용화되고 있는 대부분의 거더가 부착거더이고 비부착 거더의 경우 상용화 단계에 대한 국내자료가 미비한 상태로 정확한 구조거동을 예측할 수 없으므로 3차년도에서는 도로교 설계기준의 내용을 준용하여 설계에 반영하였다. 향후 실물모형 시험에 대한 자료 및 상용화에 따른 교량 시공 후 비부착 거더의 거동을 정확히 분석하여 설계에 적용하여야 한다.

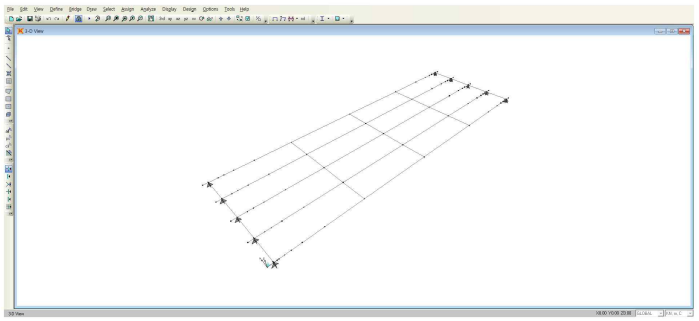
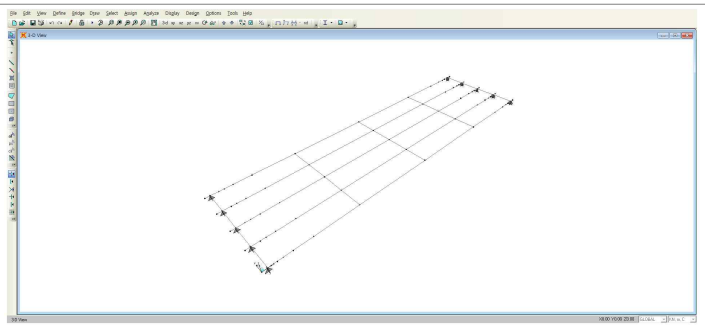
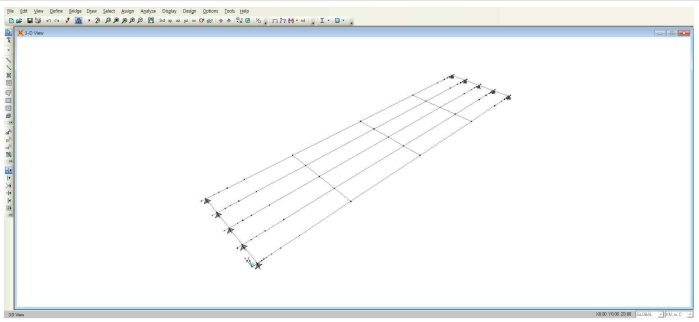
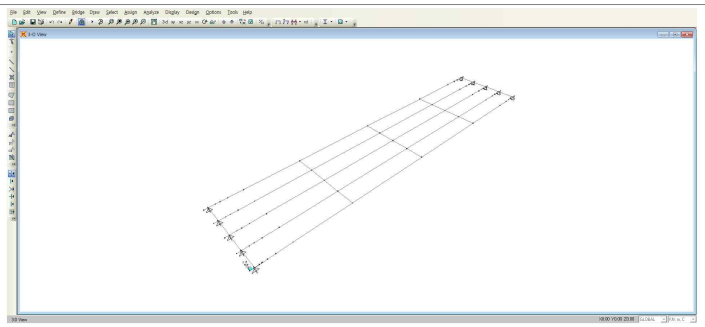
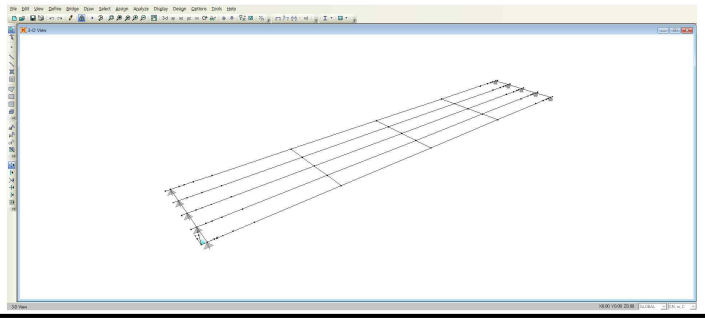
- 프리스트레싱 후 시간에 따라 발생하는 손실은 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 손실량, PS강재의 릴랙세이션에 의한 손실량이 있으며 모든 항목의 손실은 기존의 부착 구조물 산정방법과 동일하게 적용하였다.

(4) 해석모델

본 과업은 거더개발을 목적함으로 연속거더 형식이 아닌 단순보로 검토하여 거더의 높이를 선정하고 이후에 단순보와 연속보의 경우를 구분하여 단면의 높이를 재산정하여야 한다. 설계지간구성은 30~50m의 단순보로 적용하였다.

전산해석은 범용해석 프로그램인 SAP2000을 적용하였으며, 6자유도 격자 프레임 해석을 수행하여 가로보에 의한 하중분배를 구현하였다. 또한, 교좌받침의 Boundary condition은 양방향, 일방향 및 고정단을 적용하였다.

<표 2.3.3 경간별 해석모델>

구 분	모델링 및 경계조건
30m 모델링	
35m 모델링	
40m 모델링	
45m 모델링	
50m 모델링	

(5) 하중조합

하중조합은 “도로교 설계기준, 허용응력설계법의 하중조합 및 증가계수 편”을 준용하였다.
- 상부 고정하중 : 합성후 고정하중을 적용하여 해석
- 상부 활하중 : 설계 차로폭을 고려하여 연행 가능한 활하중(DB, DL)을 재하

<표 2.3.4 하중조합>

구분	하중조합	비고
사용하중	고정하중 + 활하중	
극한하중	고정하중× 1.3 + 활하중× 2.15	

(6) 설계 표준화

(가) 설계 표준화 개요

- 경간장별 BEAM 본체설계에 앞서 30m, 35m, 40m, 45m, 50m를 경간장에 대한 하중으로 단면력을 산정한 후 강선수와 거더높이를 산정하였다.
- 2차년도에서 적용한 거더의 강연선배치를 구조적 효율성을 증대하기 위해서 상부 강연선 시점에 긴장정착구, 종점에 고정정착구를 배치하고 하부 강연선은 시점에 고정정착구, 종점에 긴장정착구를 설치하여 강연선의 시공성을 일부 향상시켰다.
- 거더 단면을 최적화 할 수 있는 설계변수 중 재료강도 측면에서 효율적으로 사용할 수 있는 콘크리트 강도 45MPa, 강연선 강도 2400MPa로 결정하였다.

(나) 최종 상용화 표준단면 선정(도로교)

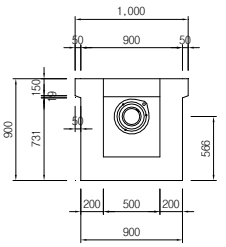
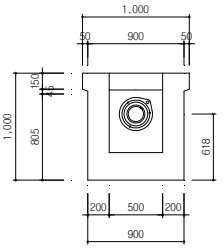
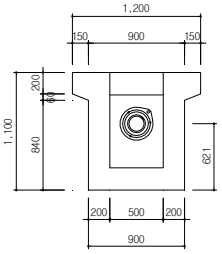
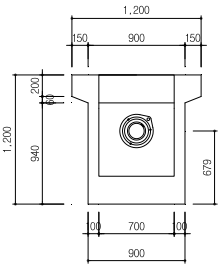
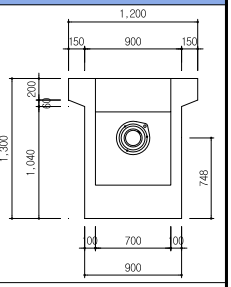
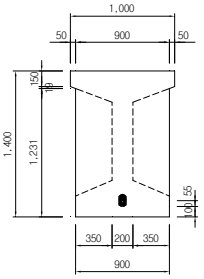
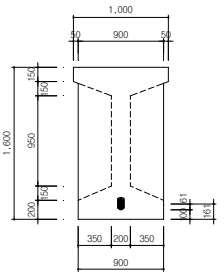
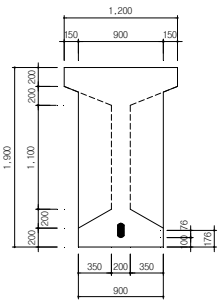
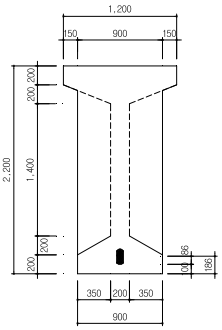
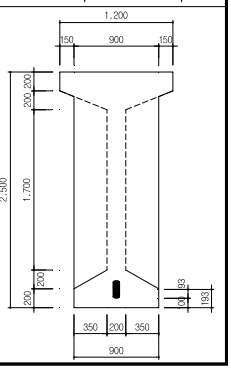
경간장별 BEAM 본체설계

- 경간장 별 BEAM 본체설계에 앞서 시험설계 교량설계기법과 동일한 조건으로 경간장에 대한 하중으로 단면력을 산정한 후 강선수와 거더 높이를 산정하였다. 설계변수는 단면계수와 강선 가닥수가 최적단면을 산정하는데 가장 중요한 요소로 작용하고 있으며 작게는 프리스트레스 손실량 등이 영향을 미치는 것으로 파악되었다.
- 30~50m를 검토하였으며 거더의 높이는 타 공법과 비교하여 선정하였다.

경간장별 BEAM 본체 안전성 검토

① 콘크리트 허용 휨 응력 검토
- BEAM 본체의 안전성 검토에 적용된 거더는 기본설계 5주형 중 최외측 거더를 기준으로 검토하였으며 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 단면력이 더 크기 때문이다. 각각의 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과는 다음과 같다.

<표 2.3.5 경간장별 검토단면>

구분	30m 단면	35m 단면	40m 단면	45m 단면	50m 단면
검토단면 (단부)					
검토단면 (중앙부)					

- BEAM 본체의 안전성 검토에 적용된 거더는 기본설계 5주형 중 최외측 거더를 기준으로 검토하였으며 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 단면력이 더 크기 때문이다. 각각의 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과는 다음과 같다.

<표 2.3.6 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(30m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-8.038	8.591	0.553	-6.749	17.203	10.454
	하연	31.352	-9.096	22.256	26.323	-22.389	3.934
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 24.00 (압축)			(인장) 3.16 < 계 < 16.00 (압축)		
바 닥 판						3.776	3.776
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.68 < 계 < 10.80 (압축)		

<표 2.3.7 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(35m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-8.840	10.162	1.322	-7.406	19.776	12.370
	하연	33.468	-10.817	22.650	28.040	-25.035	3.005
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 24.00 (압축)			(인장) 3.16 < 계 < 16.00 (압축)		
바 닥 판						3.862	3.862
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.68 < 계 < 10.80 (압축)		

<표 2.3.8 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(40m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-8.305	9.911	1.606	-6.929	17.821	10.892
	하연	35.082	-12.533	22.549	29.270	-25.413	3.857
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 24.00 (압축)			(인장) 3.16 < 계 < 16.00 (압축)		
바 닥 판						3.445	3.445
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.68 < 계 < 10.80 (압축)		

<표 2.3.9 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(45m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-8.401	10.925	2.524	-7.061	19.007	11.946
	하연	35.178	-13.676	21.503	29.568	-26.337	3.231
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 24.00 (압축)			(인장) 3.16 < 계 < 16.00 (압축)		
바 닥 판						3.325	3.325
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.68 < 계 < 10.80 (압축)		

<표 2.3.10 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(50m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-9.204	13.261	4.057	-7.715	21.873	14.158
	하연	38.849	-16.796	22.053	32.565	-30.160	2.405
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 24.00 (압축)			(인장) 3.16 < 계 < 16.00 (압축)		
바 닥 판						3.537	3.537
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.68 < 계 < 10.80 (압축)		

② 휨 극한 안정성 검토

- 각 경간별로 극한 저항 모멘트 값들이 모두 극한 휨 모멘트 값보다 크게 나와 휨에 대한 안전성을 확보하였다.



<그림 2.3.2 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(30m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.3 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(35m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.4 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(40m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.5 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(45m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.6 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(50m 외측 거더 G1)>

3) 검토결과 요약

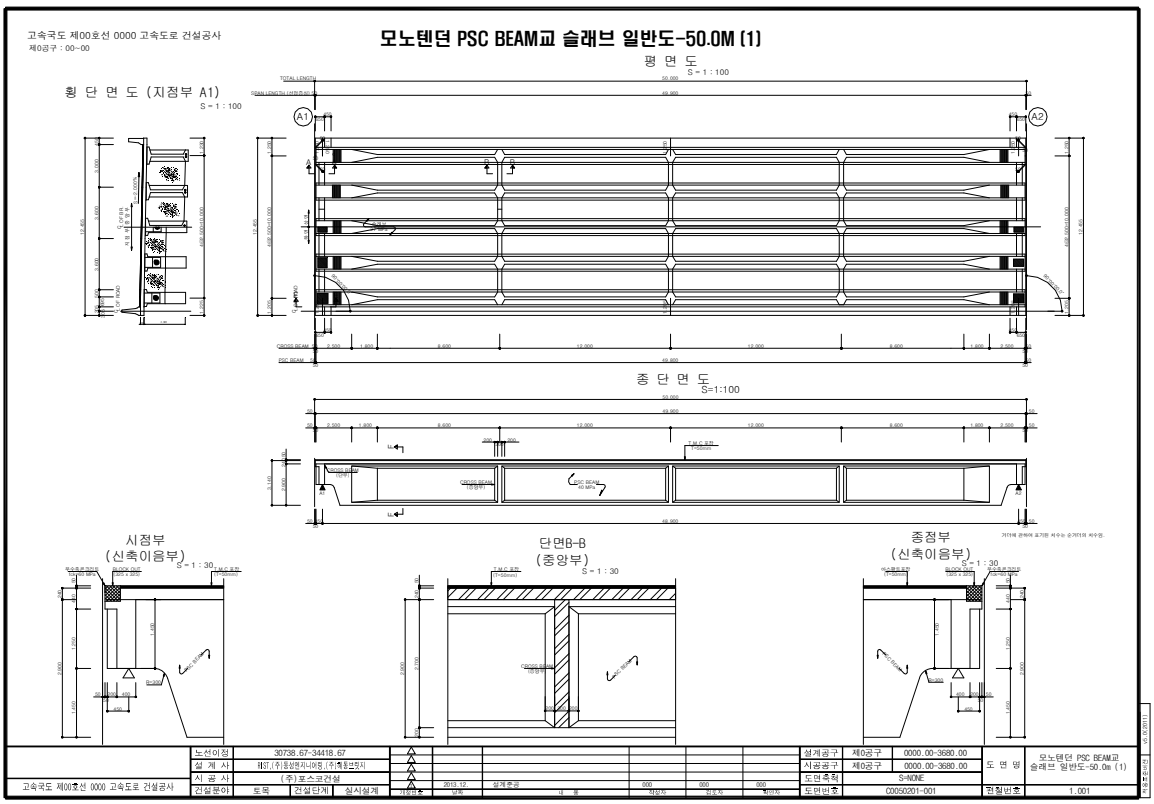
<표 2.3.11 MPC 도로교 구조계산 검토결과 요약>

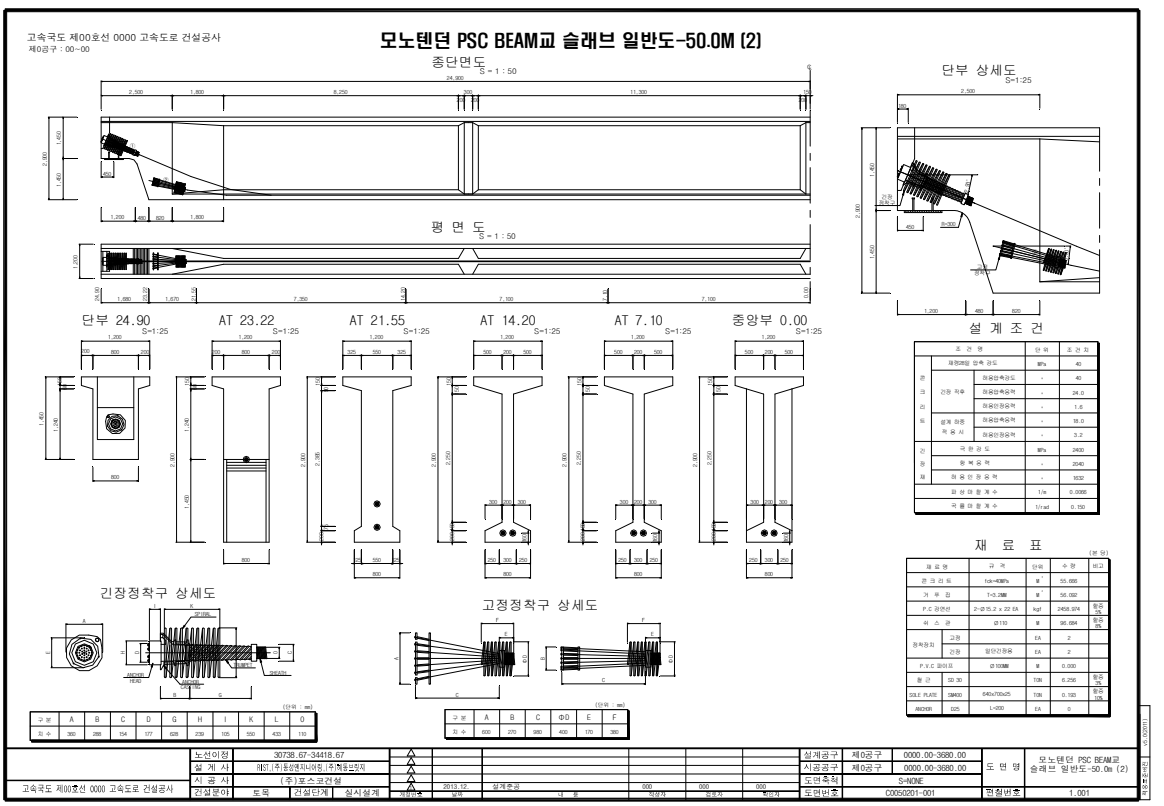
(외측거더 기준)

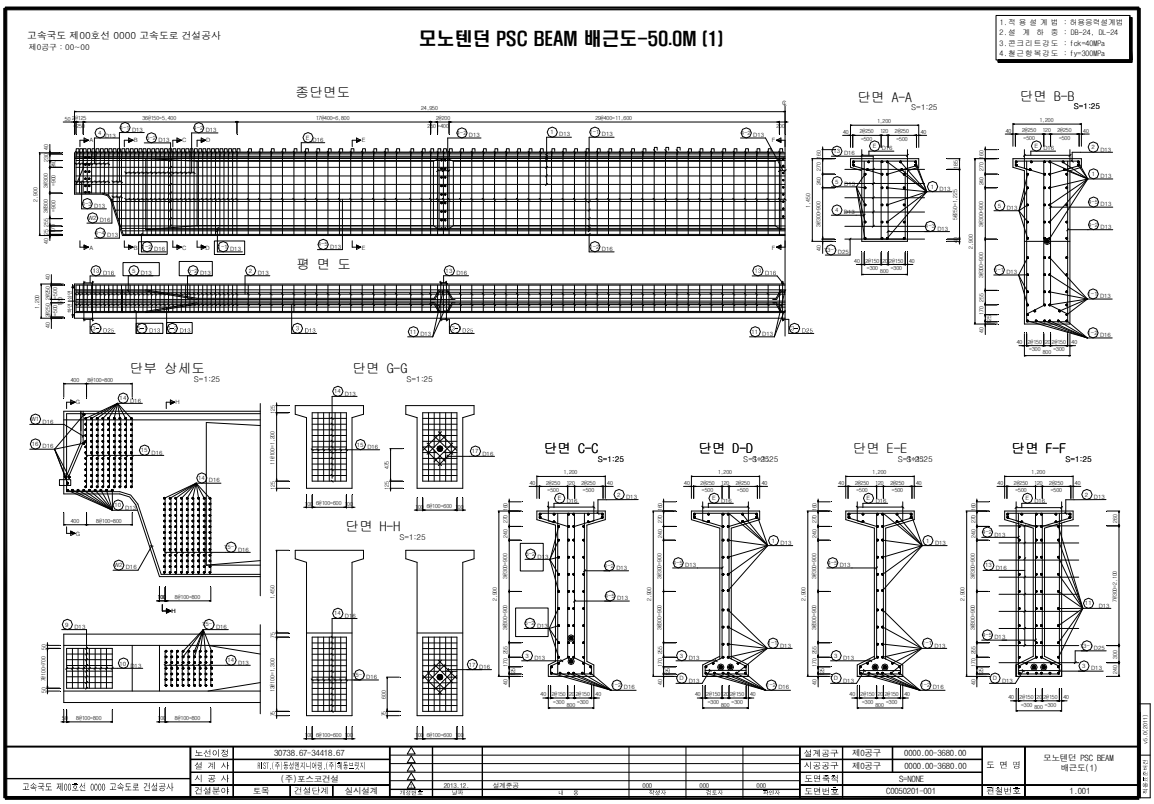
구 분	30m	35m	40m	45m	50m
콘크리트강도(fck)	45MPa	45MPa	45MPa	45MPa	45MPa
강연선강도(fpu)	2400MPa	2400MPa	2400MPa	2400MPa	2400MPa
거더 높이	1.4m	1.6m	1.9m	2.2m	2.5m
강선 개수 (2400MPa)	2-∅15.2 × 16ea	2-∅15.2 × 18ea	2-∅15.2 × 22ea	2-∅15.2 × 24ea	2-∅15.2 × 28ea
콘크리트 설계 휨 력(MPa)	10.45	12.37	10.89	11.95	14.52
콘크리트 허용 휨 력(MPa)	16.00				
발생극한 모멘트(kN·m)	9,475.153	12,467.766	16,926.706	21,505.011	28,581.679
극한저항 모멘트(kN·m)	10,820.582	13,859.929	19,593.383	24,930.284	32,273.022
검토 결과	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

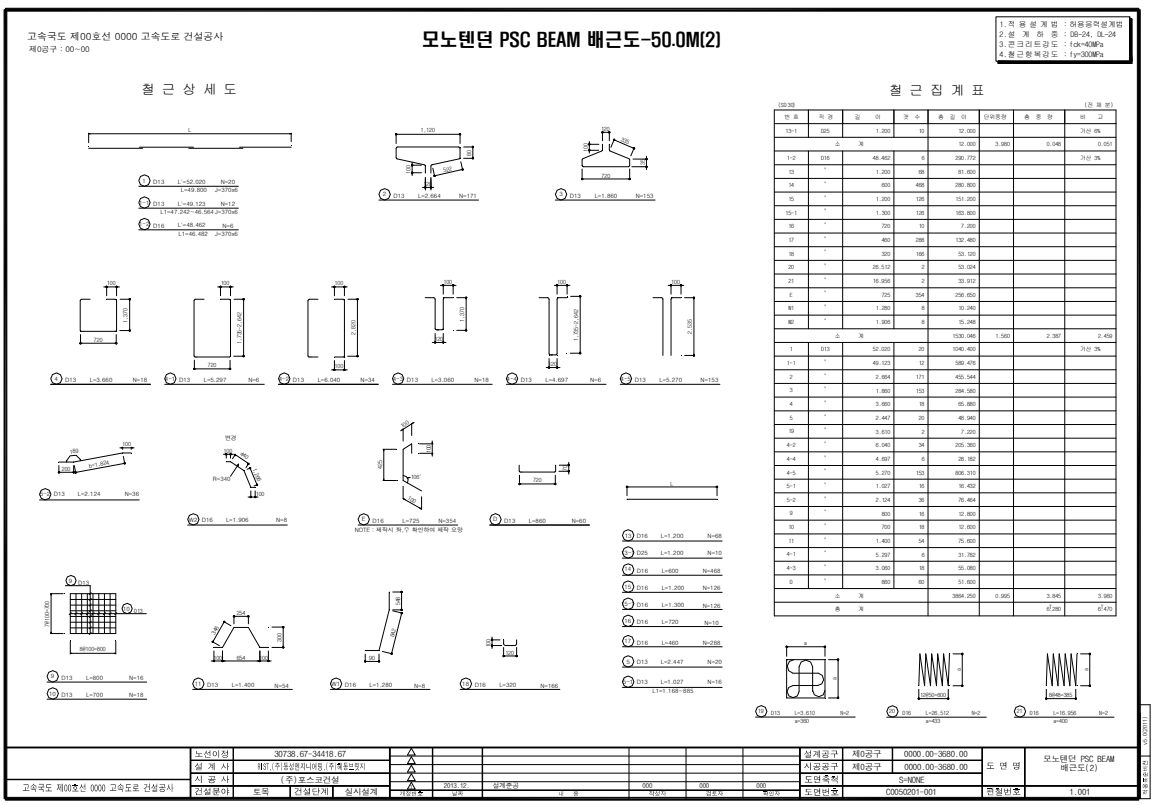
(다) 설계도면 (도로교)

- 앞장의 구조계산 결과를 기반으로 작성된 도로교 지간장별 설계도면은 다음과 같다.





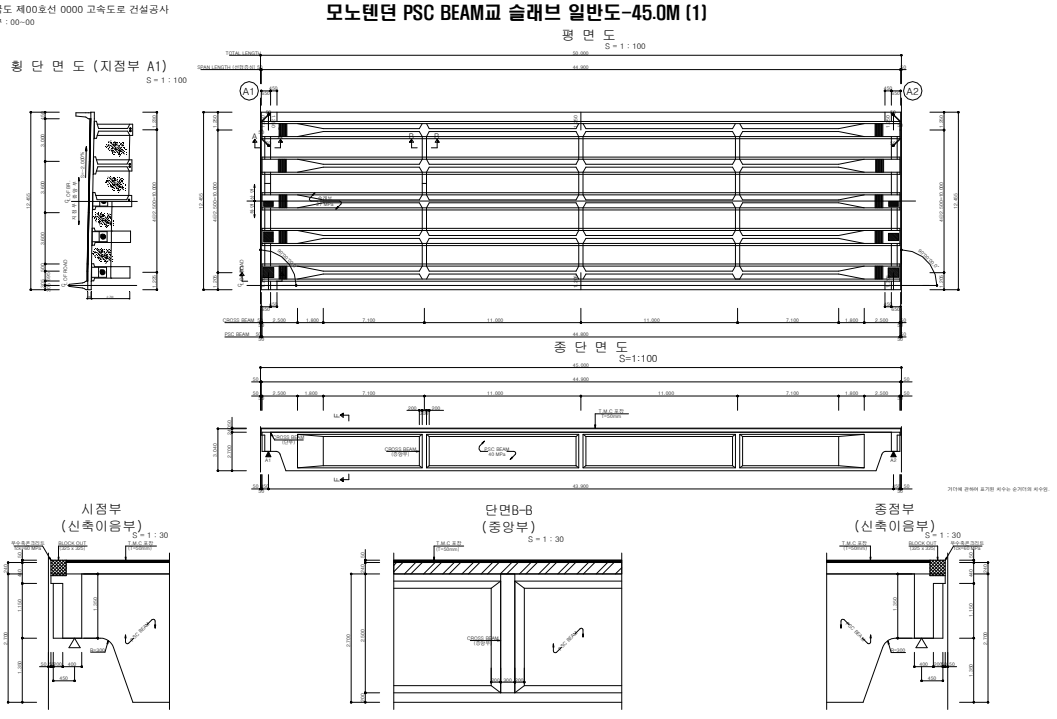




<그림 2.3.7 MPC거더 50m 도로교 도면>

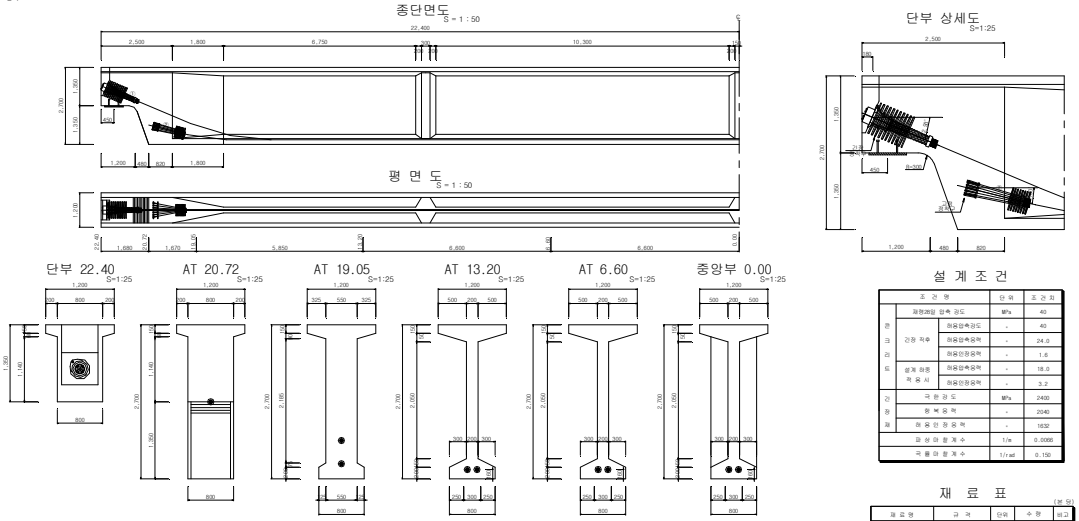
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사
제0공구 : 00-00

모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-45.0M (1)



	노선이정	30738.67-34418.67								설계공구	제0공구	0000.00-3680.00	도 면 명	모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-45.0m (1)			
	설 계 사	해ㅠ(주)유병엔지니어링 (주)케이포엣								시공공구	제0공구	0000.00-3680.00					
	시 공 사	(주)포스코건설								도면축척		S=NONE					
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사	건설분야	토목	건설단계	실시설계	개정년월	2013.12.	설계준공	000	000	000	도면번호	C0050201-001	한철번호	1.001			
					내 용			전문가	성토지	연약지							

모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-45.0M (2)



설 계 조 건

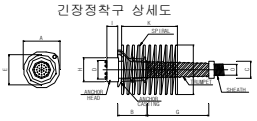
조 건 명			단 위	조 건 치
콘크리트	재령28일 압축 강도		MPa	40
강 도	건조 작수	허용압축응력도	-	40
		허용압축응력	-	24.0
		허용인장응력	-	1.6
	설계 하중 적 용 시	허용압축응력	-	18.0
		허용인장응력	-	3.2
강 재	극 한 강 도		MPa	2400
	항 복 응 력		-	2040
	허 용 인 장 응 력		-	1632
표 상 대 칭 계 수			1/m	0.0000
곡 률 대 칭 계 수			1/r.ad	0.150

재 료 표

(본 당)

재 료 명	규 격	단위	수 량	비고
콘 크 리 트	f ck=40MPa	M³	48.366	
거 푸 집	1~3.2M	M²	49.867	
P.C 강연선	2-ø15.2 x 22 EA	kgf	1702.941	형중 EA
쉬 스 관	ø110	M	88.646	형중 EA
정착장치	고정	EA	2	
	긴장 일단긴장용	EA	2	
P.V.C 파이프	ø 100MM	M	0.000	
철 근	SD 30	TON	5.696	형중 3%
SOLE PLATE	SM400	640x700x25	TON	0.193	형중 10%
ANCHOR	ø25	L=200	EA	0	

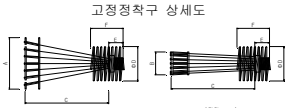
긴장정착구 상세도



구 분	A	B	C	D	G	H	I	K	L	O
치 수	360	288	154	177	628	239	105	550	433	110

(단위 : mm)

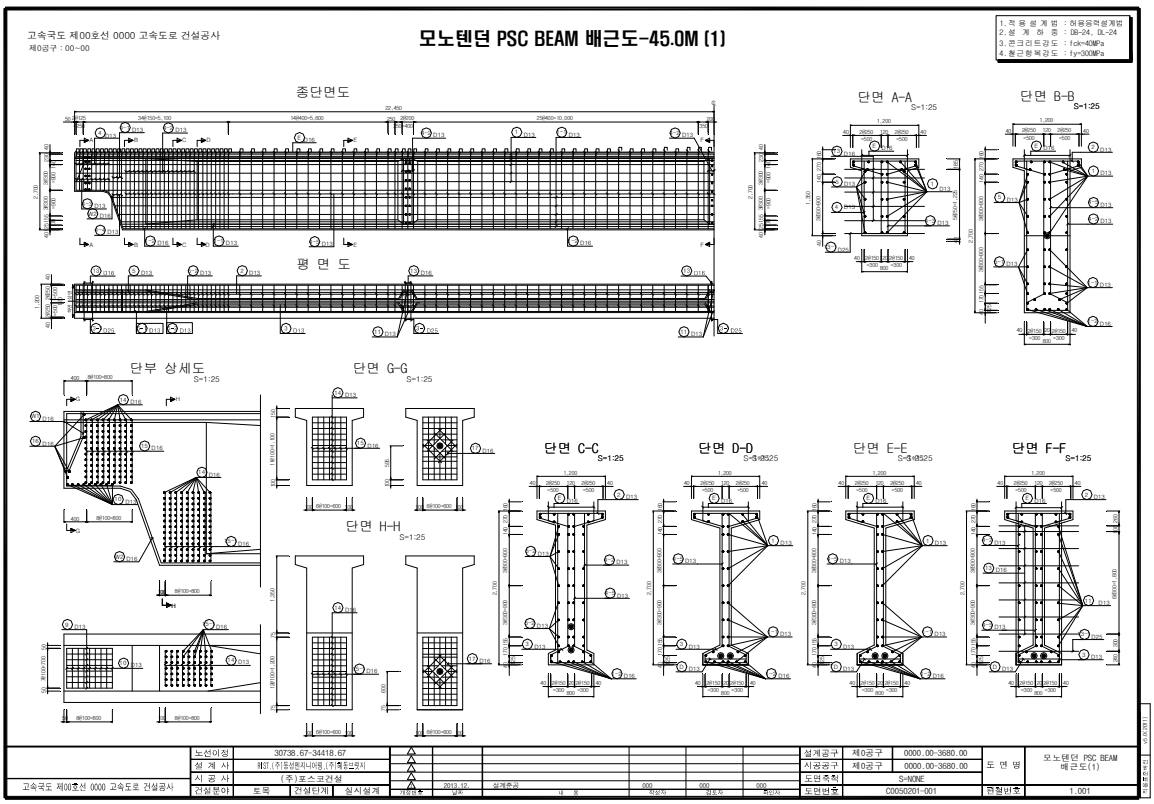
고정정착구 상세도

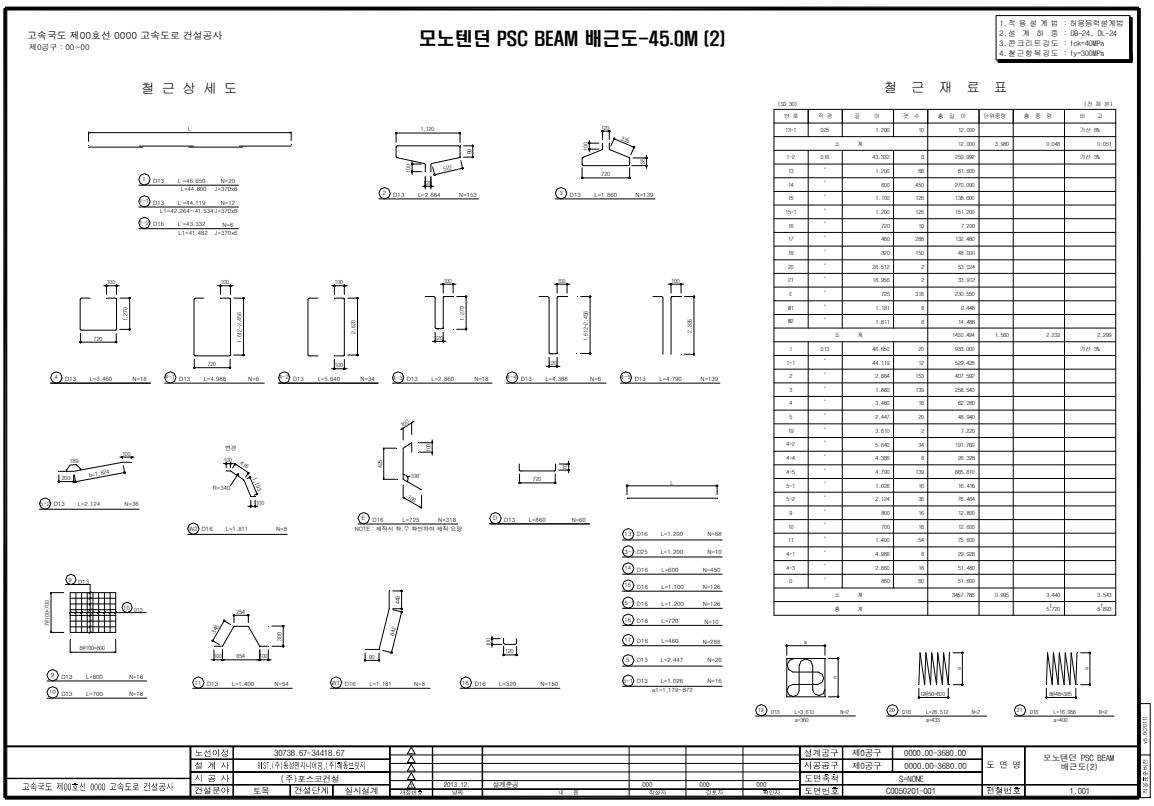


구 분	A	B	C	ΦD	E	F
치 수	600	270	980	400	170	380

(단위 : mm)

	노선이정	30736.67-34418.67								설계공구	제0공구	0000.00-3680.00	도 면 명	모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-45.0m (2)			
	설 계 사	해ㅠ(주)유병엔지니어링 (주)케이포엣								시공공구	제0공구	0000.00-3680.00					
	시 공 사	(주)포스코건설								도면축척		S=NONE					
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사	건설분야	토목	건설단계	실시설계	개정년월	2013.12.	설계준공	000	000	000	도면번호	C0050201-001	한철번호	1.001			
					내 용			전문가	성토지	연약지							



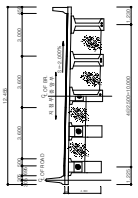


<그림 2.3.8 MPC거더 45m 도로교 도면>

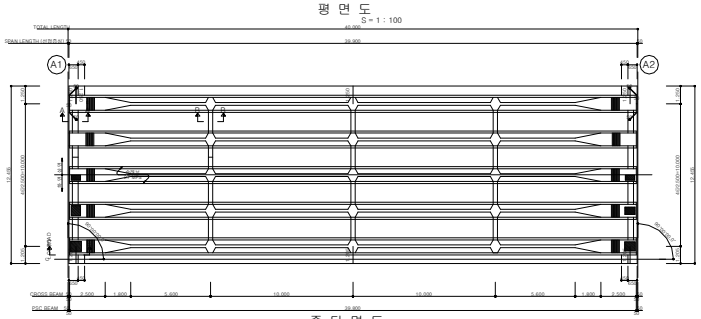
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사
제0공구 : 00-00

모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-40.0M (1)

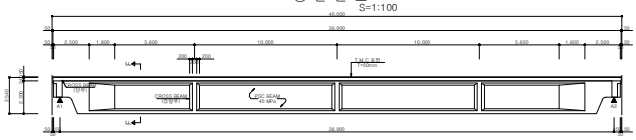
횡 단 면 도 (지점부 A1)
S = 1 : 100



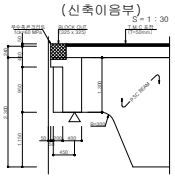
평 면 도
S = 1 : 100



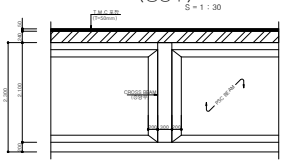
종 단 면 도
S=1:100



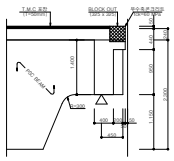
시점부
(신축이음부)
S = 1 : 30



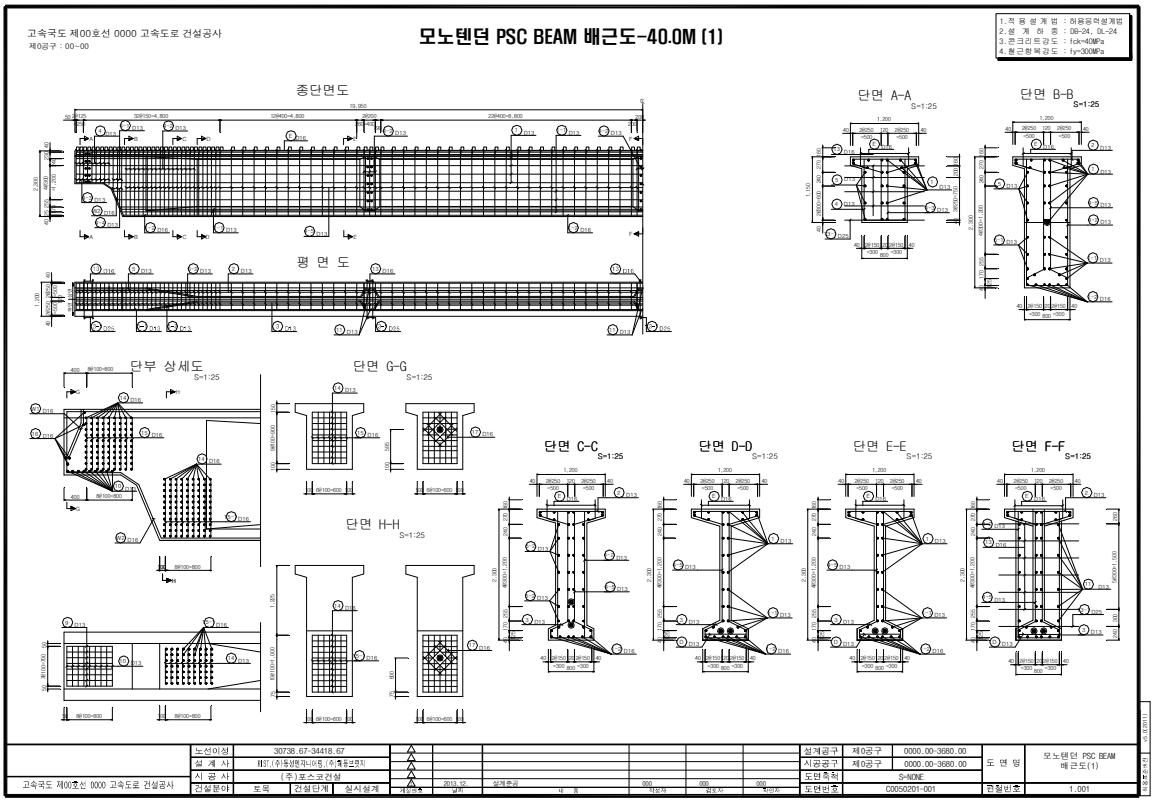
단면B-B
(중앙부)
S = 1 : 30

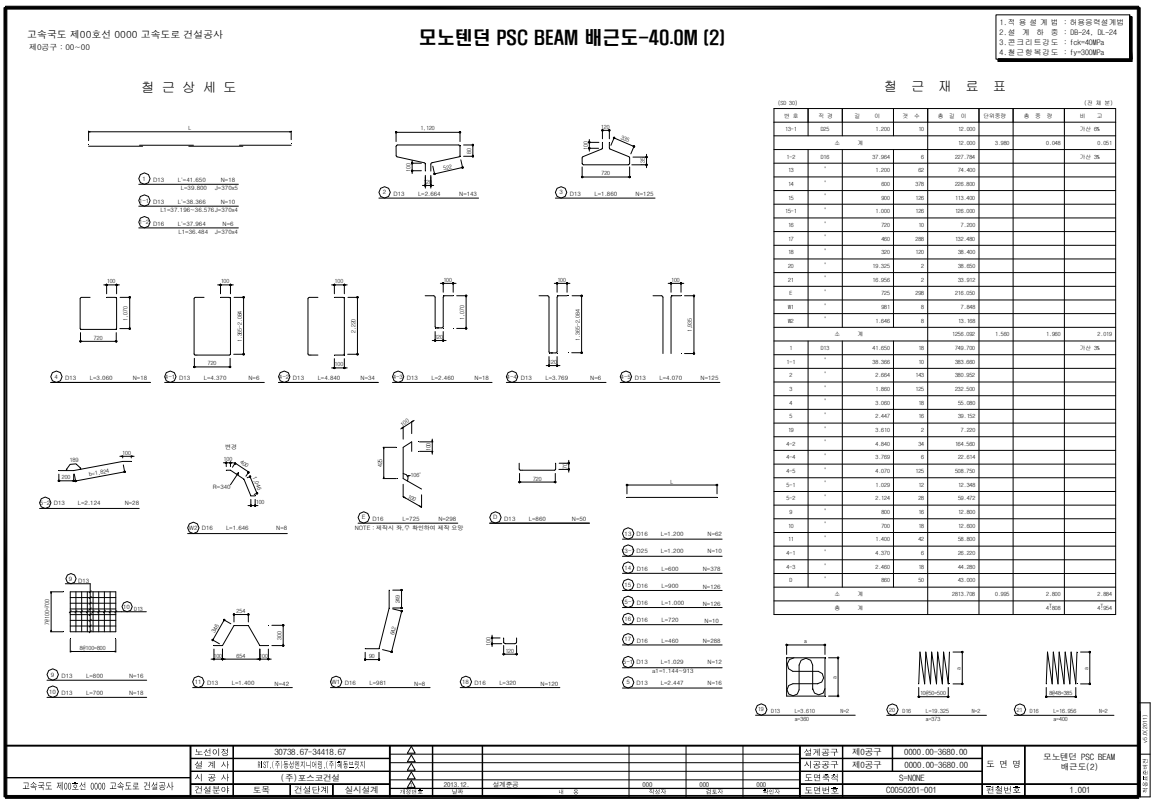


종점부
(신축이음부)
S = 1 : 30



| | | |



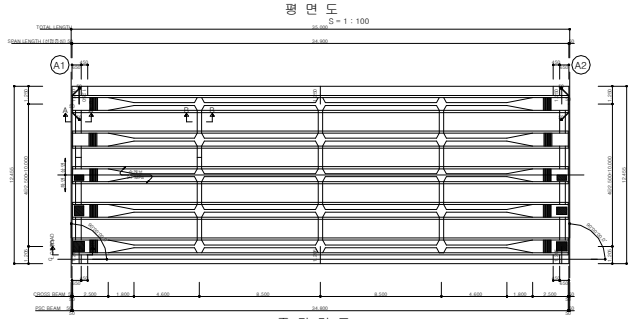


<그림 2.3.9 MPC거더 40m 도로교 도면>

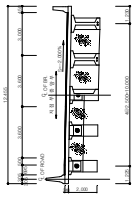
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사
제0공구 : 00-00

모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-35.0M (1)

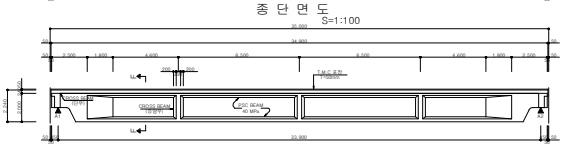
평 면 도
S = 1 : 100



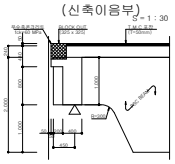
횡 단 면 도 (지점부 A1)
S = 1 : 100



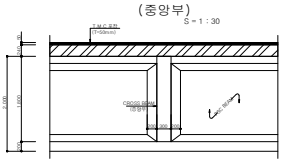
종 단 면 도
S=1:100



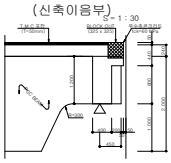
시점부
(신축이음부)
S = 1 : 30



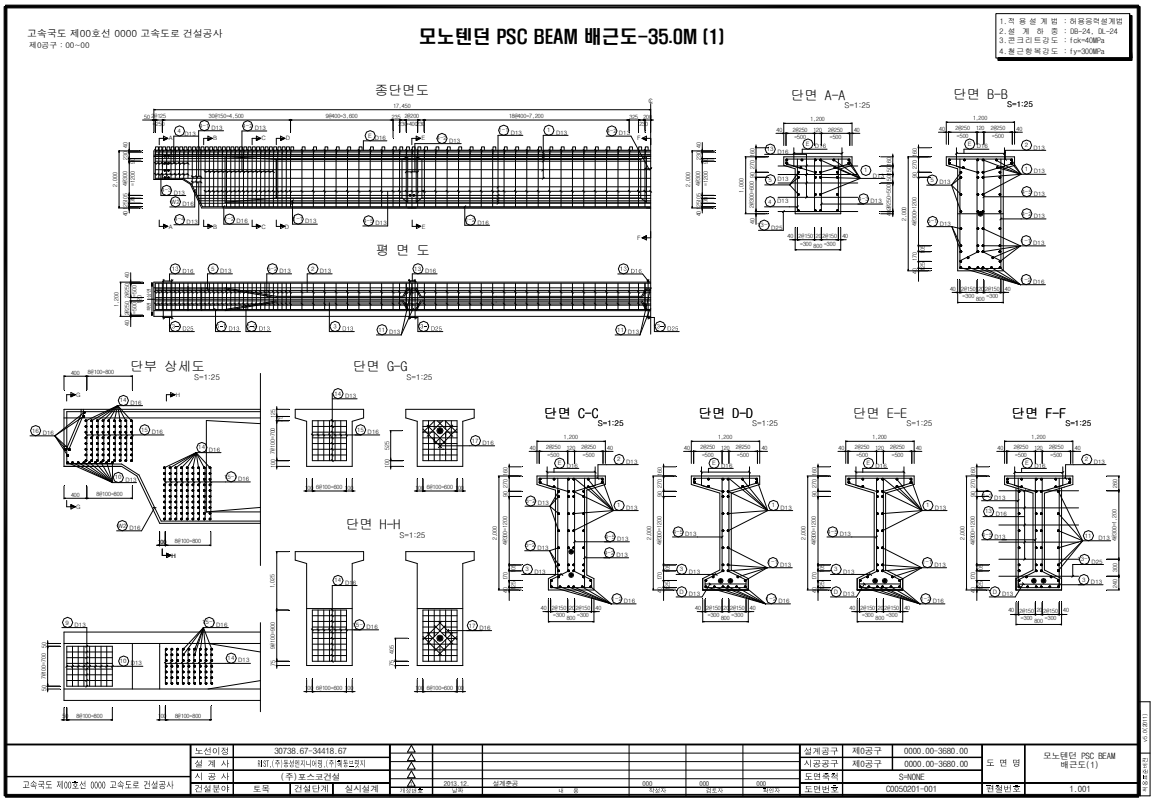
단면B-B
(중앙부)
S = 1 : 30

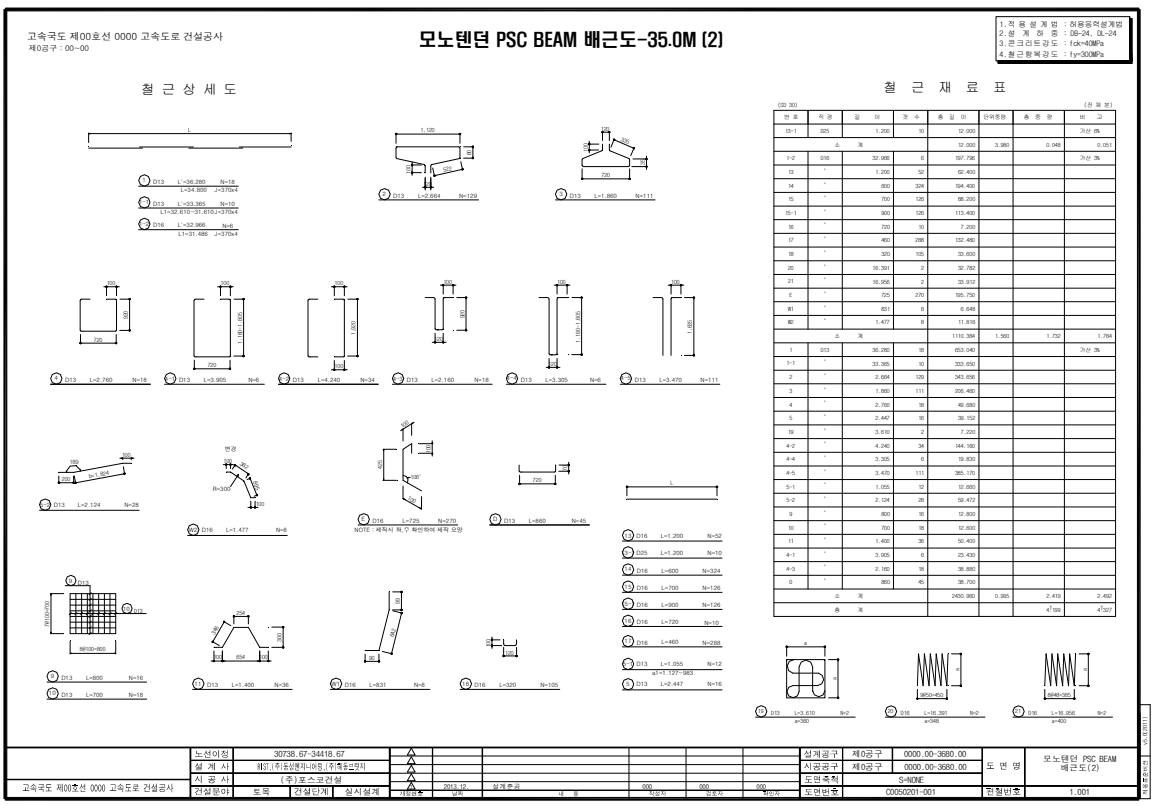


종점부
(신축이음부)
S = 1 : 30



| | | |



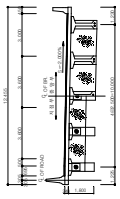


<그림 2.3.10 MPC거더 35m 도로교 도면>

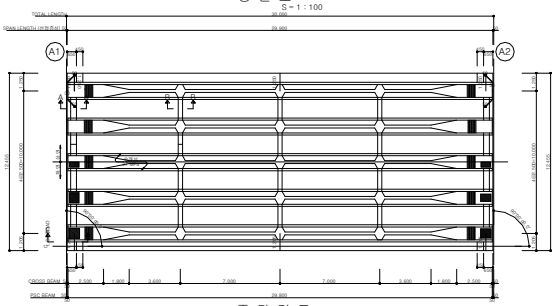
고속국도 제00호선 0000 고속도로 건설공사
제0공구 : 00-00

모노텐던 PSC BEAM교 슬래브 일반도-30.0M (1)

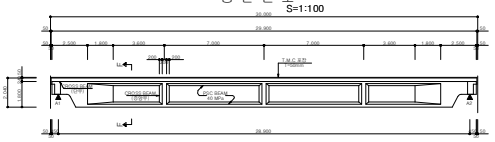
횡 단 면 도 (지점부 A1)
S = 1 : 100



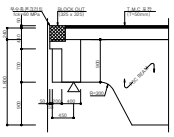
평 면 도
S = 1 : 100



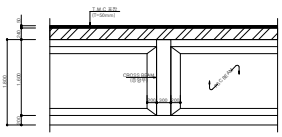
종 단 면 도
S=1:100



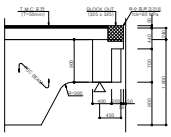
시점부
(신축이음부)



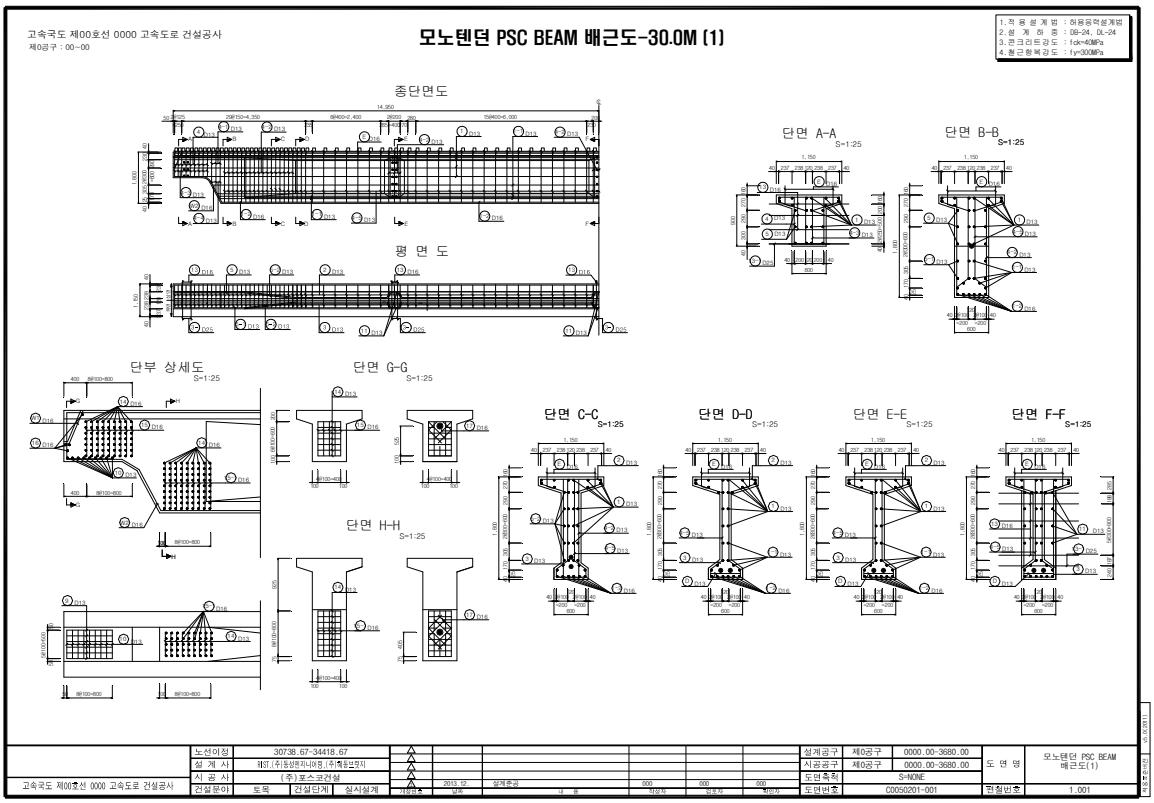
단면B-B
(중앙부)

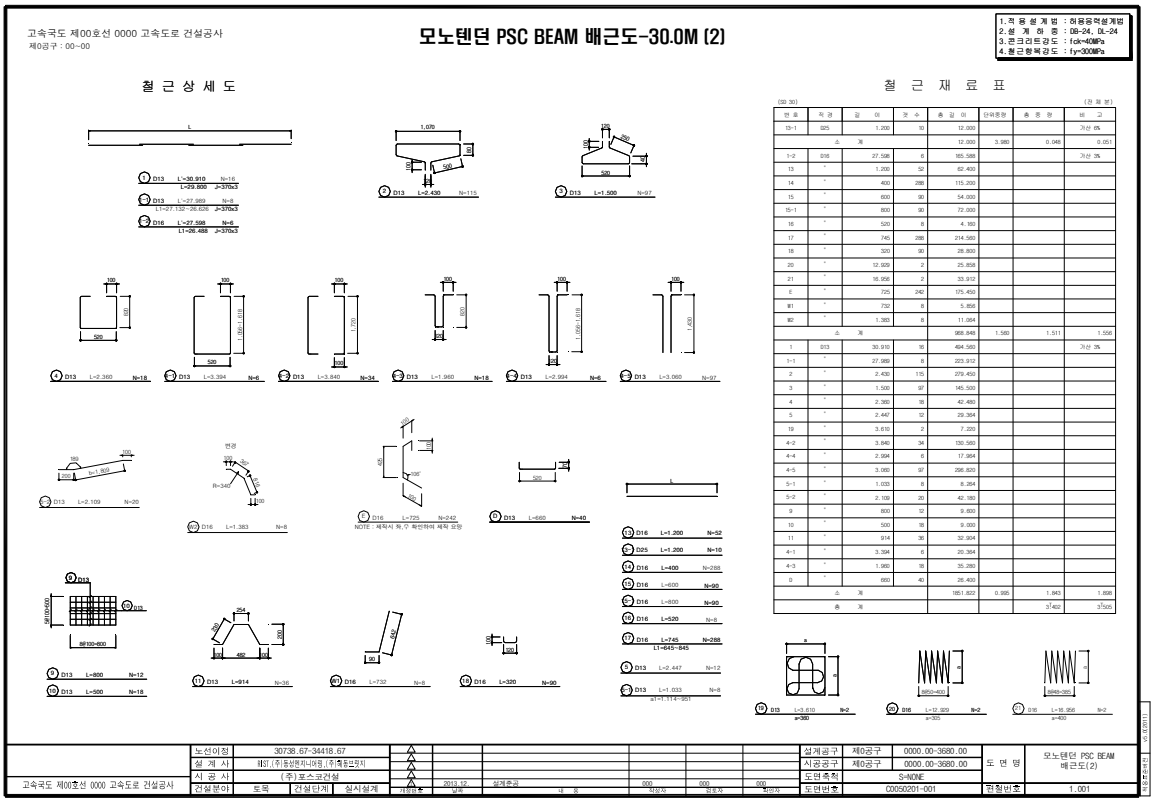


종점부
(신축이음부)



| | | |



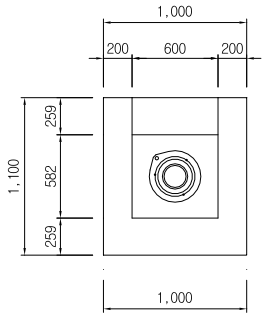
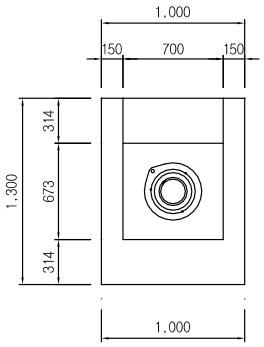
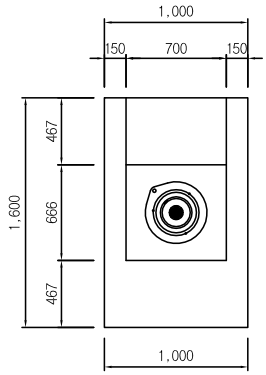
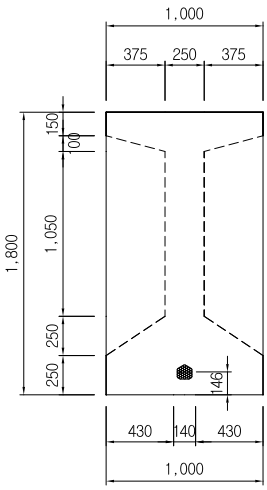
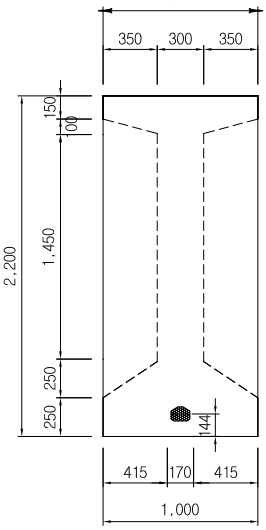
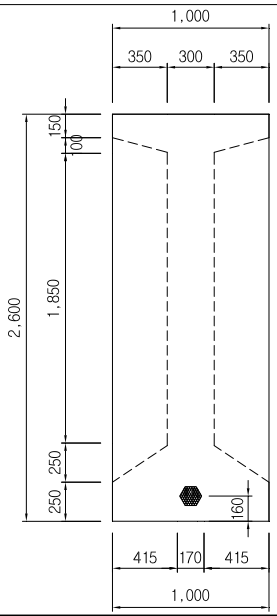


<그림 2.3.11 MPC거더 30m 도로교 도면>

(라) 최종 상용화 표준단면 선정(철도교)

경간장별 BEAM 본체설계

- 철도교 또한 도로교와 같은 방법으로 25m, 30m, 35m를 검토하였으며 거더의 높이는 경쟁력 확보차원에서 타공법과 비교하여 강선 가닥수를 조정하여 선정하였다.

구분	25m 단면	30m 단면	35m 단면
검토단면 (단부)			
검토단면 (중앙부)			

<그림 2.3.12 경간장별 검토단면>

경간장별 BEAM 본체 안전성 검토

① 콘크리트 허용 휨 응력 검토

- BEAM 본체의 안전성 검토에 적용된 거더는 복선을 기준으로 자갈도상과 콘크리트 도상으로 나눠 최외측 거더를 검토하였으며 각각의 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과는 다음과 같다.

<표 2.3.12 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(자갈도상-25m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-5.443	5.629	0.186	-4.808	12.737	7.929
	하연	19.379	-4.616	14.764	17.118	-16.154	0.964
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						5.954	5.954
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

<표 2.3.13 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(자갈도상-30m 외측거더 G1)>

- G1 거더

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-6.535	7.561	1.026	-5.708	15.561	9.853
	하연	22.407	-6.220	16.187	19.572	-18.230	1.342
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						6.259	6.259
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

<표 2.3.14 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(자갈도상-35m 외측거더 G1)>

- G1 거더

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-7.329	8.656	1.326	-6.363	17.454	11.091
	하연	24.117	-7.182	16.935	20.937	-19.804	1.133
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						6.705	6.705
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

<표 2.3.15 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(콘크리트도상-25m 외측거더 G1)>

- G1 거더

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-5.443	5.629	0.186	-4.798	12.518	7.720
	하연	19.379	-4.616	14.763	17.081	-15.651	1.430
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						5.624	5.624
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

<표 2.3.16 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(콘크리트도상-30m 외측거더 G1)>

- G1 거더

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-6.535	7.561	1.026	-5.694	15.314	9.620
	하연	22.407	-6.220	16.187	19.525	-17.719	1.806
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						5.915	5.915
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

<표 2.3.17 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(콘크리트도상-35m 외측거더 G1)>

(단위:kN,m)

구 분		프리스트레스 도입 직후			설계하중 작용시		
		프리 스트레스	거더 자중	계	유효 프리 스트레스	총 하중 (고정하중, 활하중)	계
MPC 거더	상연	-7.329	8.656	1.327	-6.346	17.165	10.819
	하연	24.117	-7.182	16.935	20.880	-19.252	1.628
PS 콘크리트 허용응력		(인장) 1.40 < 계 < 19.80 (압축)			(인장) 3.35 < 계 < 18.00 (압축)		
바 닥 판						6.326	6.326
바닥판 콘크리트 허용응력					(인장) 0.71 < 계 < 12.00 (압축)		

2) 휨 극한 안정성 검토

- 각 경간별로 자갈도상과 콘크리트 도상에 대한 극한 저항 모멘트 값들이 모두 극한 휨 모멘트 값보다 크게 나와 휨에 대한 안전성을 확보하였다.



<그림 2.3.13 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(자갈도상-25m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.14 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(자갈도상-30m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.15 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(자갈도상-35m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.16 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(콘크리트도상-25m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.17 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(콘크리트도상-30m 외측 거더 G1)>



<그림 2.3.18 콘크리트 허용 휨 응력 검토결과(콘크리트도상-35m 외측 거더 G1)>

3) 검토결과 요약

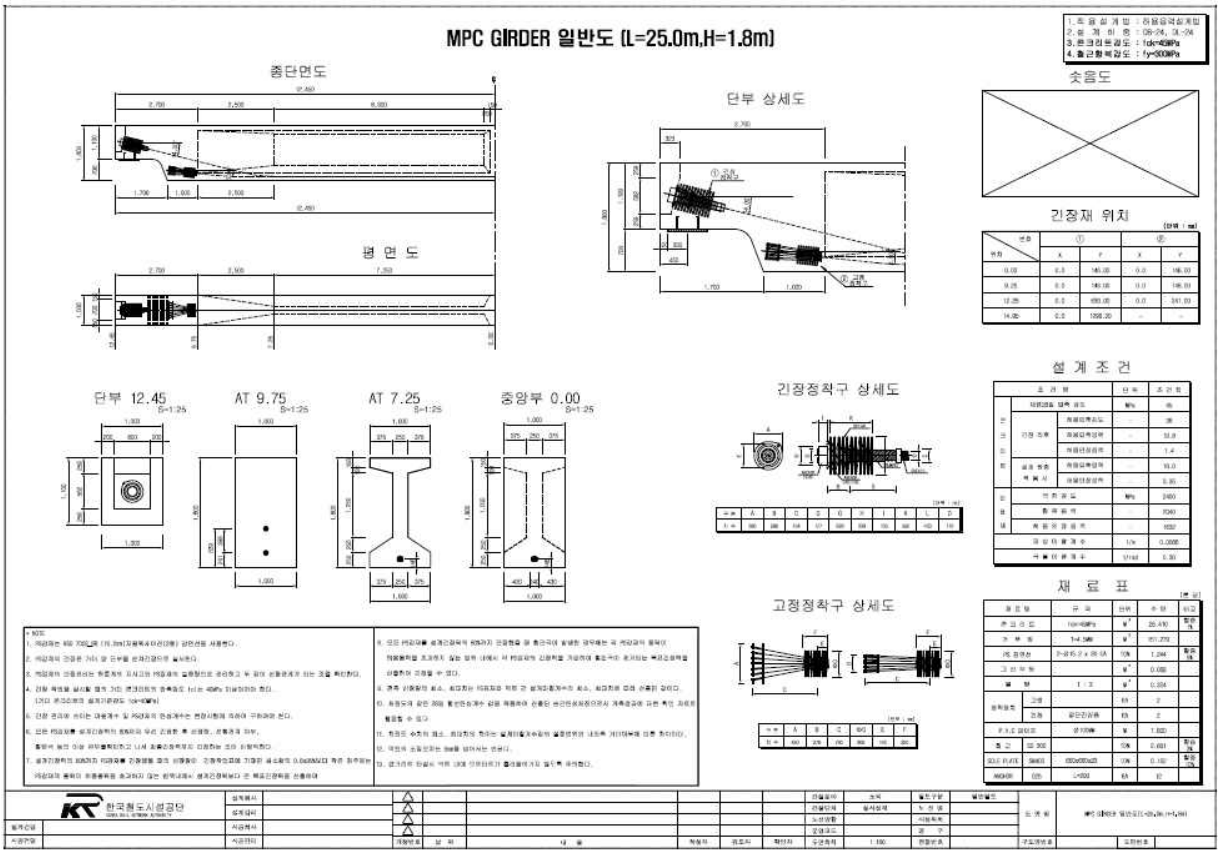
<표 2.3.18 MPC 철도교 구조계산 검토결과 요약>

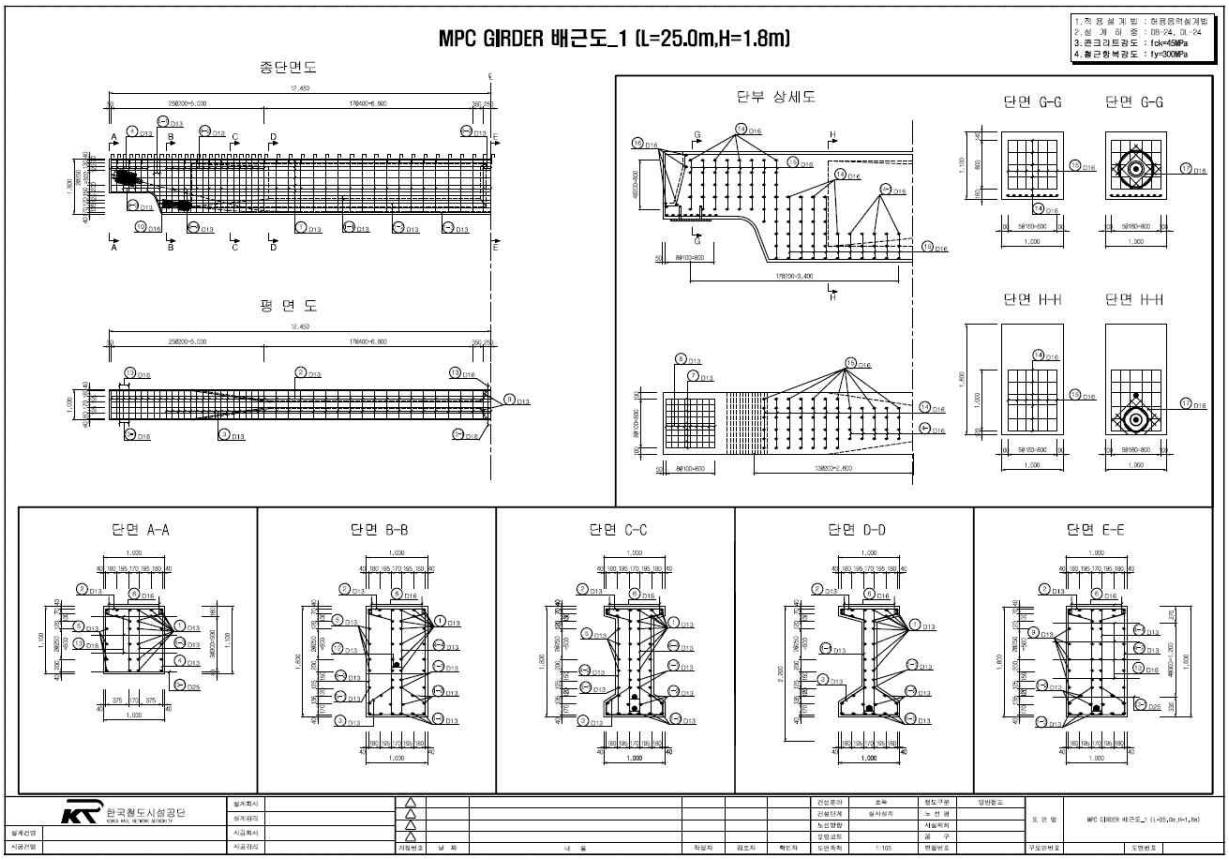
(외측거더 기준)

구 분	25m	30m	35m	25m	30m	35m
	자갈 도상			콘크리트 도상		
거더 높이	1.8m	2.2m	2.6m	1.8m	2.2m	2.6m
콘크리트강도(fck)	45MPa	45MPa	45MPa	45MPa	45MPa	45MPa
강연선강도(fpu)	2400MPa	2400MPa	2400MPa	2400MPa	2400MPa	2400MPa
강선 개수 (2400MPa)	2-∅15.2 × 20ea	2-∅15.2 × 25ea	2-∅15.2 × 30ea	2-∅15.2 × 20ea	2-∅15.2 × 25ea	2-∅15.2 × 30ea
콘크리트 설계 휨 응력(MPa)	7.93	9.85	11.09	7.72	9.62	10.82
콘크리트 허용 휨 응력(MPa)	18.00					
발생 극한 모멘트(kN·m)	14,980.40	22,370.26	30,922.88	14,430.34	21,623.41	29,895.74
극한 저항 모멘트(kN·m)	15,489.09	23,937.38	32,927.12	15,489.09	23,901.33	32,871.71
검토 결과	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

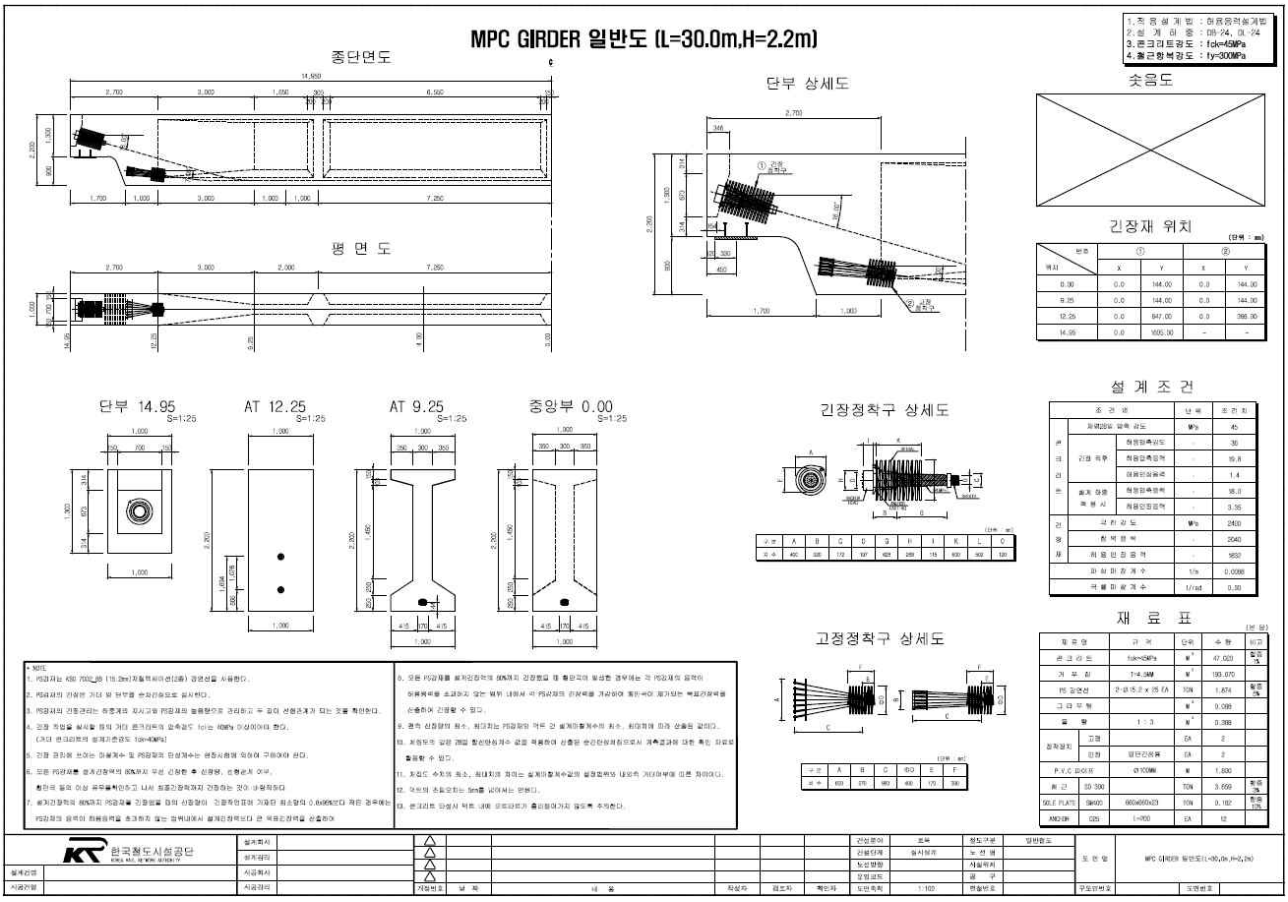
(마) 설계도면 (철도교)

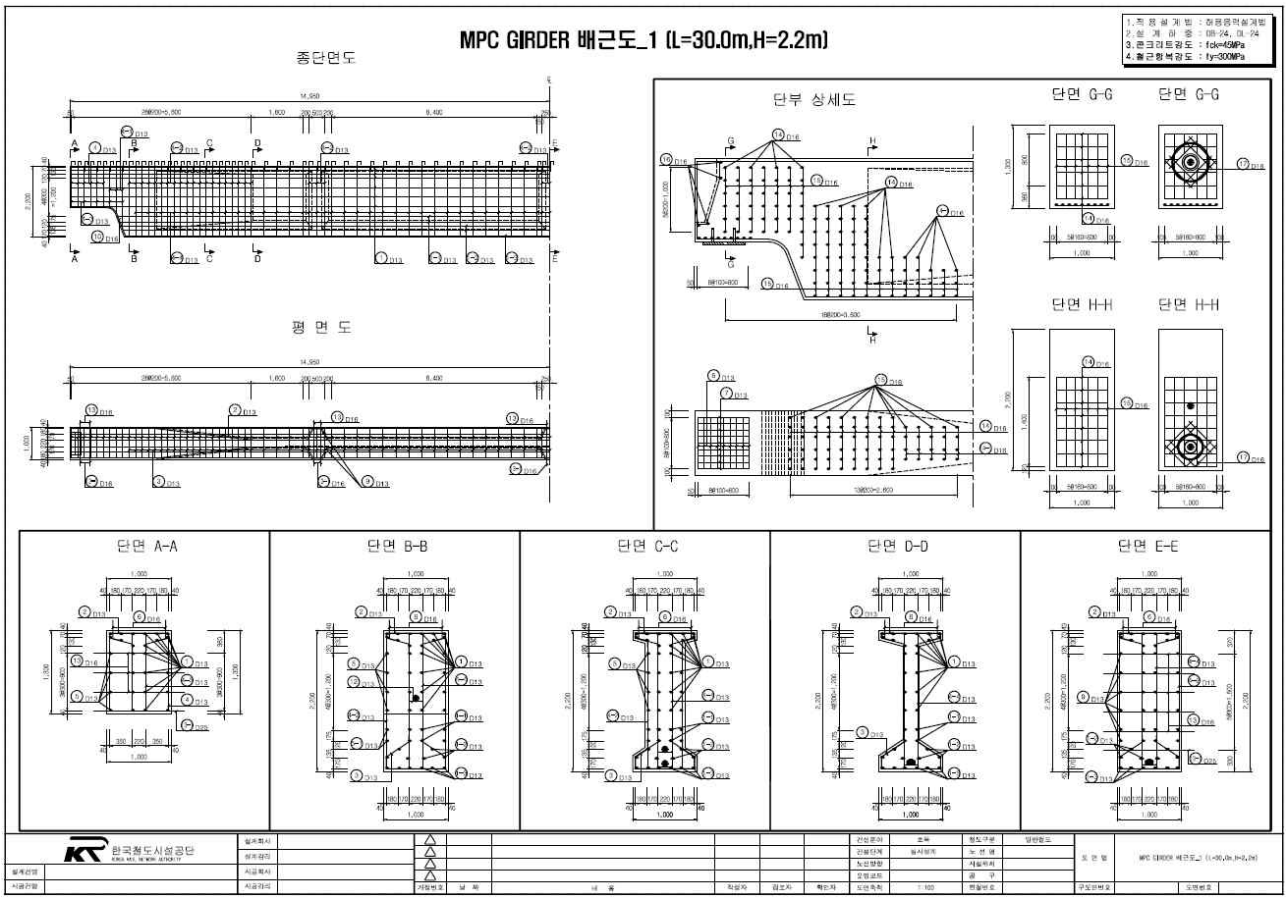
- 앞장의 구조계산 결과를 기반으로 작성된 철도교 지간장별 설계도면은 다음과 같다.



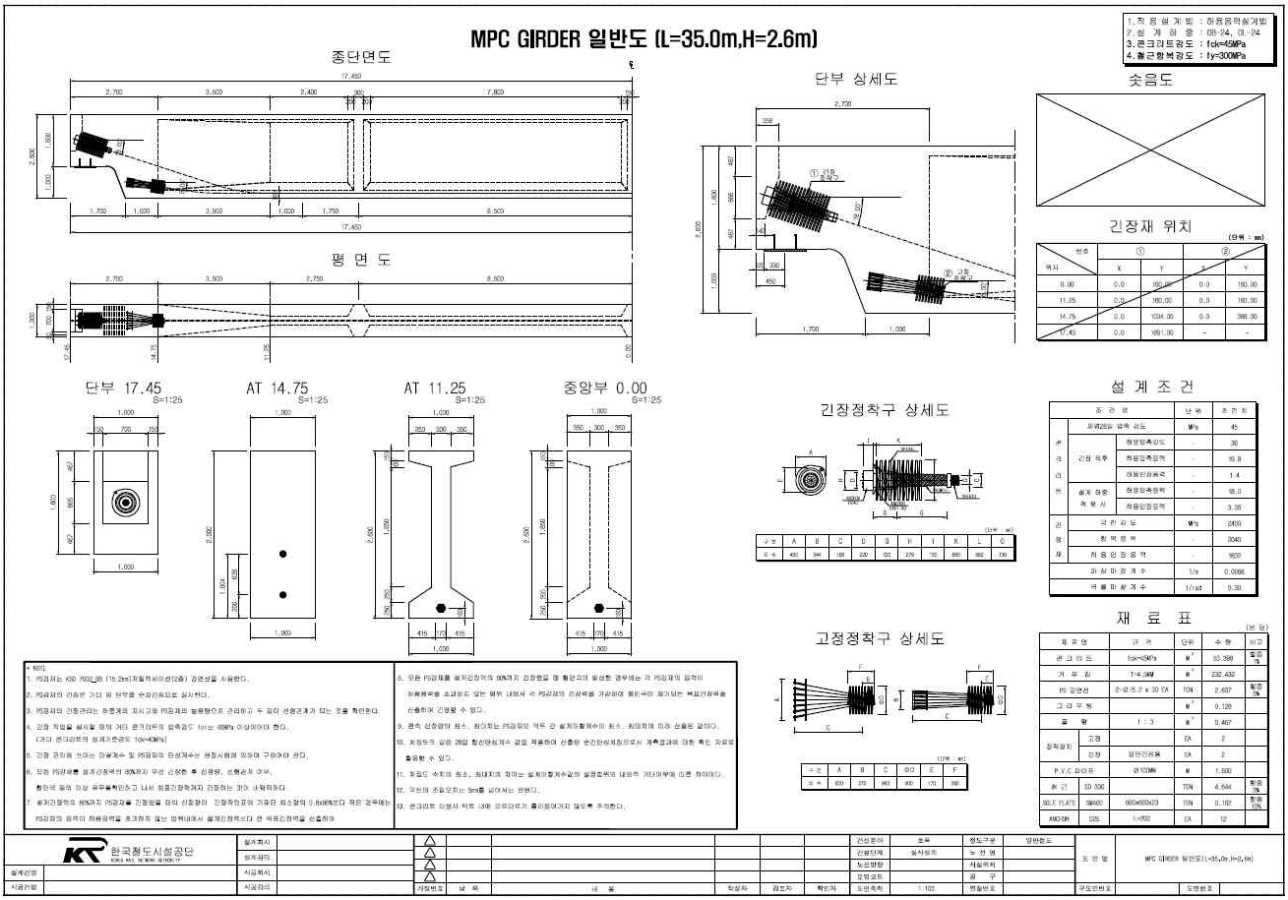


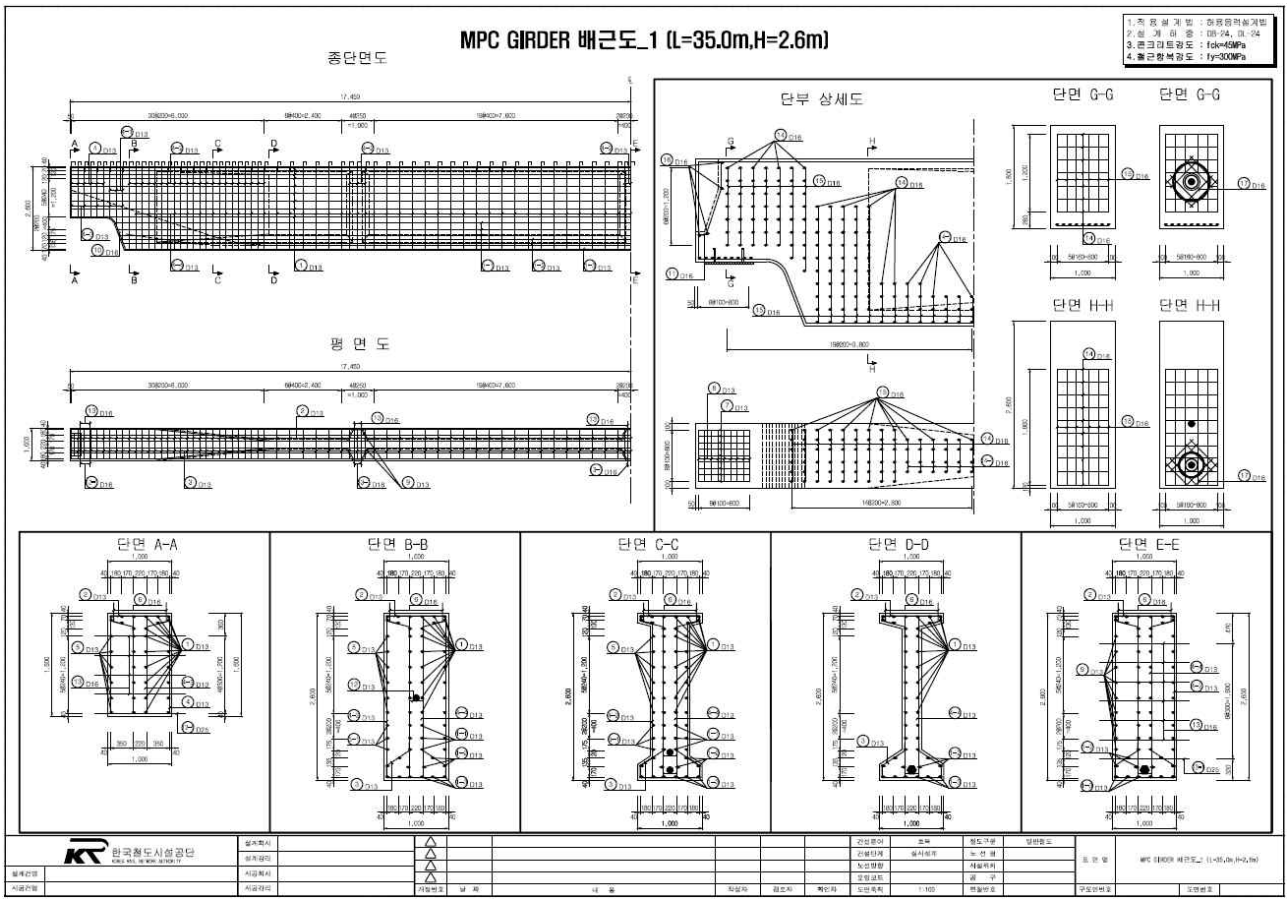
<그림 2.3.19 MPC거더 25m 철도교 도면>





<그림 2.3.20 MPC거더 30m 철도교 도면>





<그림 2.3.21 MPC거더 35m 철도교 도면>

나. 한계상태설계법(LSD)에 의한 구조계산서 작성

(1) 도입배경 및 경과

- 기존의 도로교설계기준은 허용응력설계법, 강도설계법을 기본으로 한 설계기준을 사용하여 왔으나 단면의 비효율, 내구성, 경제성등 문제가 제기되어 왔다. 미국의 LRFD Bridge Design Specifications, 유럽의 Eurocodes 등 전 세계적으로 교량의 안전성, 내구성, 경제성 등을 확보하기 위해 신뢰성(Reliability) 기반의 한계상태설계법(Limit State Design)의 교량 설계기준을 제정하여 적용하고 있는 실정이다.
- 국내에도 2009.6~2011.8에 도로교통협회에서 한계상태설계법 기반의 도로교설계기준 작성과 관련한 연구용역을 수행하였으며, 2011.12 도로교설계기준(한계상태설계법)이 중앙건설기술설계심의를 통과하여 2012.1 국토해양부 공고 “제2012-61호”로 도로교설계기준(한계상태설계법)을 제정 고시하였다.
- 한계상태설계법의 적용시기는 2015년 1월1일부터 전면시행 예상, 발주처에서 원할 경우 적용하도록 명시되어있지만 현재는 적용이 매우 낮은 상황이며 몇몇 연구기관 및 관공서에서 별도로 설계가이드라인을 개발중에 있다.

(2) 구조계산서 작성

- 한계상태설계법 구조계산서 작성전에 신뢰성 기반의 설계기준의 이해가 필요하며 항목은 다음과 같다.

  ① 하중, 저항의 변동성, 불확실성이 고려
  ② 다양한 한계상태에 대한 균일한 안전도의 확보
  ③ 새로운 설계개념
  ④ 확률 등에 대한 기본적인 이해 필요
  ⑤ 충분한 통계 데이터의 확보 필요

- 국토해양부에서 제정한 도로교설계기준(한계상태설계법)을 토대로 한국도로공사에서 현재 시험설계를 적용하고 있으나 아직 한계상태 설계법에 대한 정확한 설계도서 및 자료 미비로 인하여 2차년도를 토대로 본 3차년도 표준단면 검토시 50m 거더에 대하여 설계를 수행하였다. 향후 상용화단계에서 프로그램과 연동될 수 있도록 검토되어야 할 것이다.

4. 사용한계상태 검토

4.1 사용한계상태 설계등급 결정 — 도 · 한 5.6

(1) 노출환경에 따른 최소설계등급 — 도 · 한 5.6.1.2

도 · 설 · 표 5.6.1

노출환경에 따라 요구되는 최소 설계 등급

노출환경	최소 설계 등급			
	포스트 텐션	프리텐션	비부착 프리스트레싱	철근 콘크리트
옥내 또는 영구적 수중 환경 (EC1)	D	D	E	E
습기 또는 물과 장기간 접촉 환경 (EC2, EC3, EC4)	C	C	E	E
염화물 또는 해수에 노출된 환경 (ED1, ED2, ED3, ES1, ES2, ES3)	C	B	E	E

1 페이지

· 노출환경 : ED1

· 구조형식 : 포스트 텐션

- 최소설계등급 : C

- 적용설계등급 : C

(2) 적용설계등급에 따른 한계상태 검증

도 · 설 · 표 5.6.2

설계 등급 에 따른 사용 한계값

설계등급	한계상태 검증을 위한 하중조합		표면 한계균열폭 (mm)
	영(0)응력 한계상태	균열폭 한계상태	
A	사용하중조합 - I	-	-
B	사용하중조합 - III/IV	사용하중조합 - I	0.2
C	지속하중조합	사용하중조합 - III/IV	0.2
D	-	사용하중조합 - III/IV	0.2
E	-	지속하중조합	0.3

- 영응력 한계상태 검증 : 지속하중조합

- 균열폭 한계상태 검증 : 사용하중조합 - III/IV

<그림 2.3.22 한계상태설계법 구조계산서>

- 한계상태설계법 구조계산서 작성시 가장 큰 변화는 하중조합이며 하중조합에 따른 하중계수적용이 중요하다. 또한 기존의 활하중인 DB-24, DL-24하중이 KL-510의 차량활하중으로 변경된 것이며 피로설계에 필요한 차량하중을 따로 규정하였다.
- 구조해석과 관련한 내용은 보-슬래브교 근사해법 적용조건을 제시하여 적용하도록 한 것과 그에 따른 활하중 분배계수를 적용한 내측거더 휨모멘트 계산방법이다.
- 보다 자세한 사항들은 구조계산서에 반영하여 적용하였으며 특히 내구성과 관련한 사항은 반영하였으며 주요변수로는 구조물의 용도, 설계수명 및 주변환경, 콘크리트 강도, 피복두께, 물과 시멘트 비율, 시멘트량 등이 있다. 또한 환경조건에 따른 노출등급 산정내용도 반영하였다.

- 설계조건은 3차년도 표준화설계와 동일하게 적용하였으며 이번 한계상태설계 검토내용은 거더본체에 대한 검토만 수행하였으며 위의 사항들을 기존 설계법과 비교하여 표에 정리하였다.

(3) 검토결과

(가) 콘크리트 허용 휨 응력 검토

- 검토한 거더는 50.0m 지간의 외측거더를 기준으로 검토하였으며 사용한계상태Ⅲ 조합과 지속하중조합 모두 허용응력 이내로 안전한 것으로 검토되었으며 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.3.19 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(사용한계상태 Ⅲ 외측)>

(UNIT : MPa)

구 분		사용한계 상태Ⅲ 작용시		
		유효프리스트레스	총하중	계
거더	상연	-5.678	19.541	13.864
	하연	24.185	-24.585	-0.400
거더응력 검토	인장강동	-2.617 < 계 < 24.000		
바닥판				3.173
바닥판 콘크리트 허용응력		-2.072 < 계 < 16.200		

주) + : 압축, - : 인장

<표 2.3.20 콘크리트 허용 휨응력 검토결과(지속하중조합 외측)>

(UNIT : MPa)

구 분		지속하중 작용시		
		유효프리스트레스	총하중	계
거더	상연	-5.678	16.773	11.095
	하연	24.185	-18.483	5.702
거더응력 검토	인장강동	-2.617 < 계 < 24.000		
	영응력	0.000 < 계 < 18.000		
바닥판			0.414	0.414
바닥판 콘크리트 허용응력		-2.072 < 계 < 16.200		

주) + : 압축, - : 인장

<표 2.3.21 콘크리트 허용 휨응력 검토비교>

(UNIT : MPa)

구 분		기존설계법(설계하중 작용 시)			한계상태설계법(사용한계 상태)		
		유효프리스트레스	총하중	계	유효프리스트레스	총하중	계
거더	상연	-5.702	18.484	12.782	-5.678	19.541	13.864
	하연	24.290	-24.106	0.184	24.185	-24.585	-0.400
거더응력검토	인장강도	-3.16 < 계 < 18.00			-2.617 < 계 < 24.000		
바닥판				3.085			3.173
바닥판 콘크리트 허용응력		-0.68 < 계 < 10.800			-2.072 < 계 < 16.200		

(나) 휨 극한 안정성 검토

- 검토한 거더는 외측거더를 기준으로 검토하였으며 결과는 다음 표와 같다. 또한, 표 2.3.23 에서 기존설계법과 비교 검토하였다.

<표 2.3.22 휨 강도 검토(극한한계상태)>

(UNIT : kN.m)

구 분	극한한계상태			
	M_{R1}	M_{R2}	M_{R3}	계
PS 강재	30,519	-	-	-
슬래브	-	2,337	-	-
거더	-	-	222	
계(M_R)	-	-	-	33,077
극한모멘트(M_u)				29,580
안전율(S.F)				1.12

<표 2.3.23 콘크리트 휨강도 검토비교>

(UNIT : kN.m)

구 분	기존설계법	한계상태설계법
거더길이 및 높이	길이 : 50.0m, 높이 : 2.9m	
사용 강선수	2-∅15.2 × 22ea	
극한모멘트(MU)	26,550	29,580
저항모멘트(MR)	27,492	33,077
SF	1.04	1.12

(다) 기존설계법과 한계상태설계법 비교

- 위의 검토결과와 같이 기존설계법과 한계상태설계법의 두가지로 검토한 결과 문제가 없는 것으로 검토되었다.
- 휨응력 및 휨강도를 검토한 결과 기존설계법보다 한계상태설계법의 허용응력 및 저항모멘트가 더 크다.
- 국내 설계에서 아직은 한계상태설계법을 적용하여 설계한 사례가 적으므로, 본 과업에서는 신뢰성 및 설계경험이 많은 기존설계법을 기준으로 단면설계를 하였다.

다. 단일정착 PSC BEAM의 경제성 분석

(1) 경제성 분석개요

- 교량 설계를 위한 각 경간장별 거더수량 산출하고 타 공법의 거더와 공사비를 산출 비교하여 VE / LCC 분석을 수행하였다.

(2) 사용자 요구측정(품질모델 및 가중치 산정)

- 관리자 및 사용자 입장에서 요구되어지는 주요항목에 대하여 관련 전문가 설문을 통한 품질모델을 확정함

<표 2.3.24 사용자 요구측정>

평가항목	세부내용		요구주체	
			관리자	사용자
계획성	- 주변 현장과의 연계성	- 타 공종에 미치는 경제적 영향	◎	△
구조안정성	- 시공중 전도 안정성	- 강연선 균등 인장력 도입	○	◎
현장적용성	- 현장별 적용 용이성	- 자재 수급 용이성	△	△
내구성	- 처짐 및 균열 저항성		○	◎
시공성	- 거치시 전도방지시설 설치여부	- 강연선 긴장 개소 수	○	○
유지관리성	- 거더 보수 · 보강 용이성	- 강연선 보수 · 보강 용이성	○	○
미관성	- 주변경관과의 조화	- 심플한 디자인	△	○
환경성	- 환경훼손 최소화	- 민원발생 최소화	◎	◎

- 확정된 품질모델별 가중치 산정은 설문조사 및 AHP기법으로 산출함

<표 2.3.25 AHP기법 적용 가중치 산정>

평가항목	A	B	C	D	E	F	확정가중치
A. 계 획 성	**1.00**	1.30	0.80	0.80	1.40	3.00	19%
B. 구조안정성		**1.00**	0.60	0.60	1.10	2.50	15%
C. 시 공 성			**1.00**	0.90	1.60	3.70	22%
D. 유지관리성				**1.00**	1.70	2.00	24%
E. 내 구 성	λ_{max} = 6.057				**1.00**	2.30	14%
F. 환 경 성	C · R = 0.009 < 0.1 (O.K)					**1.00**	6%
합 계							100%

(3) 성능평가(Performance Assessment)

- 확정된 품질모델에 대하여 비교안별 등급평가(1~10점) 후 산정된 가중치를 고려하여 각각의 성능점수를 부여함

<표 2.3.26 평가항목별 성능평가>

평가항목	가중치	성능평가(등급/성능)							
		MPC		IPC		DR		PSC e-Beam	
계 획 성	19%	8.5	16.1	8.0	15.2	8.0	15.2	8.0	15.2
구조안정성	15%	9.0	13.5	9.0	13.5	9.0	13.5	9.0	13.5
시 공 성	22%	9.5	20.9	8.5	18.7	8.0	17.6	7.5	16.5
유지관리성	24%	9.0	21.6	8.5	20.4	8.0	19.2	8.5	20.4
내 구 성	14%	8.0	11.2	8.0	11.2	8.0	11.2	8.0	11.2
환 경 성	6%	8.0	4.8	8.0	4.8	8.5	5.1	8.0	4.8
성능점수(P)	100%	**88.1**		83.8		81.8		81.6	

(4) LCC 분석(Life Cycle Cost Analysis)

- 분석기간은 교량의 내구성 설계를 고려하여 100년으로 설정함
- 할인율은 최근 15년간(1999~2013) 실질할인율 평균인 1.61%로 적용함
- 유지보수 주기 및 단가는 「고속도로 교량형식별 생애주기비용(LCC) 분석연구(2004, 한국도로공사)」 문헌 활용(물가상승율 고려)
- 분석기법은 확정적 기법을 사용(할인율에 대한 민감도분석 수행)
- 분석종료시점(100년)의 해체폐기비 발생수준은 미미하여 미적용

<표 2.3.27 LCC 분석결과 상세>

구분			단가	주기	MPC	IPC	DR	PSC e-Beam
INPUT	초기투자	설계비	-	-	1,172	1,388	1,290	1,563
		시공비	-	-	25,924	30,716	28,539	34,587
		감리비	-	-	366	433	402	488
	유지관리	예방유지	-	1	39	46	43	52
		주형보수	23	8	220.2	212.1	212.0	212.4
		주형보강	75	12	220.2	212.1	212.0	212.4
		텐던보강	565	12	2	5	3	8

* 단위 : 단가(천원), 주기(년), 주형(㎡), 텐던(본수) / 물가상승율 : 2004(100%) → 2013(128.4%)

- 거더 1본당 100년 동안의 LCC 분석결과는 아래와 같다.

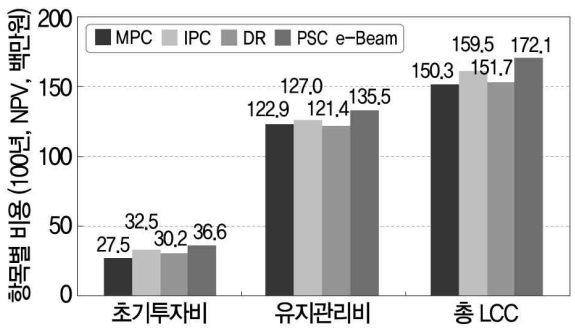
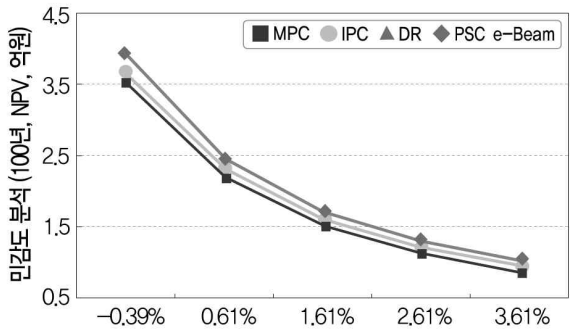
<표 2.3.28 LCC 분석결과 요약>

구분	MPC	IPC	DR	PSC e-Beam
초기투자비	27.5	32.5	30.2	36.6
유지관리비	122.9	127.0	121.4	135.5
총 LCC	150.3	159.5	151.7	172.1

* 단위 : 백만원(현재가 기준)

** 거더 1본에 대한 LCC 분석결과

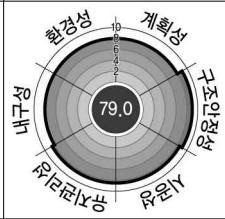
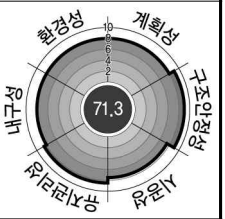
<표 2.3.29 비용항목별 LCC 분석결과 및 할인율 민감도분석>

비용항목별 분석결과	할인율 민감도분석
	
총LCC(현재가) = 초기투자비 + 유지관리비(현재가) MPC 거더의 LCC가 비교안 중 최소값임	기준할인율(1.61%) ± 2.0% 분석 -0.39% ~ 3.61% 범위 내에서는 결과값 변동없음

- MPC 거더는 비교안들에 비하여 초기투자비가 8.9%~24.9% 절감되었고 유지관리비는 -1.2%~9.3%, 총 LCC는 0.9%~12.7% 절감되는 것으로 분석되었다.
- DR 거더가 MPC 거더에 비해 거더 형상이 상대적으로 단순하여 주형 유지보수비가 1.2% 감소하나, 초기투자비를 고려한 총 LCC 비용은 MPC 거더가 0.9% 절감되는 것으로 분석되었다.
- 할인율은 ±2.0%로 LCC 분석결과의 변동성을 비교하였으나 결과 값의 역전현상은 발생하지 않았다.

(5) 가치평가 결과

<표 2.3.30 거더 종류별 가치평가>

평가항목	가중치	MPC	IPC	DR	PSC e-Beam
A. 계 획 성	19%	16.1	15.2	15.2	15.2
B. 구조안정성	15%	13.5	13.5	13.5	13.5
C. 시 공 성	22%	20.9	18.7	17.6	16.5
D. 유지관리성	24%	21.6	20.4	19.2	20.4
E. 내 구 성	14%	11.2	11.2	11.2	11.2
F. 환 경 성	6%	4.8	4.8	5.1	4.8
성능점수(P)		**88.1**	83.8	81.8	81.6
상대LCC(C)		1.00	1.06	1.01	1.15
가치지수 (Value Index) (V=P/C)					
		88.1	79.0	81.1	71.3

- 성능평가 결과, MPC 거더가 비교안 대비 계획성, 시공성, 유지관리성 측면에서 유리한 것으로 분석되었으며, 이는 단부절취로 종단선형 하향에 따른 성토량 절감측면 및 거치 후 전도방지시설 미설치로 공기단축 효과, 강연선 개소수(2개소/본)가 비교안들에 비해 적어 향후 유지관리시 유리하기 때문인 것으로 분석된다.
- 생애주기비용 분석결과, MPC 거더는 비교안 대비 0.9%~12.7% 절감되는 것으로 분석되었다.
- 종합가치 분석결과, 비교안 대비 각각 11.6%(IPC 거더), 8.6%(DR 거더), 23.6%(PSC e-Beam)의 가치가 향상되는 것으로 분석되었다. 한편, 설계강도는 602kN이므로, 구조해석 결과가 실제 강도 대비 1.16배로 나타난 것으로 평가되었다. 시험용 공시체 콘크리트 강도와 달리 실제 구조물에서 강도발현이 조금 부족하다.

2. 설계자동화 프로그램 개발

가. 설계자동화 프로그램 개발

(1) 프로그램 개발 목적

- 3차년도에서 검토된 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC 거더교 설계표준화에 따른 실제프로젝트 적용시 거더계산에 따른 시간적 손실을 줄이고 효율적이고 경제적인 설계를 하기위하여 자동화 프로그램을 개발하였다. 3차년도에서 개발된 자동화프로그램은 상용화보다는 설계표준화를 위하여 개발되어졌으며 상용화에 따른 한계상태설계법을 포함한 세부적인 설계사항 등은 지속적으로 보완되어야 할 사항이다.

(2) MSP 설계자동화 프로그램 매뉴얼

<표 2.3.24 MSP 설계자동화 프로그램 매뉴얼>

프로그램 매뉴얼
1. 프로그램 실행
2. 설계조건
1) 사용재료 선정 : 사용재료의 물성치 선정 후 적용
2) 하중조건 : 설계활하중 및 기타하중 선정 후 적용
3) 철근제원 :
① 바닥판, 가로보, 정착부 철근 선정
② 바닥판 철근량 부족 시 보강방안 check
③ 정착부 보강철근 개수 설정 후 적용
3. 교량제원 설정
1) PSC BEAM 단면제원 :
① 형고, 길이는 자동입력
② 상부플랜지 제원입력
③ 복부 제원입력
④ 하부플랜지 제원입력
⑤ 하부플랜지 블록아웃 제원입력

2) PSC BEAM 단부제원입력

3) 강선배치 제원입력

4. 교량도로 횡단설정

1) 교량횡단형식 : 검토하는 단면으로 설정(비분리, 분리좌측, 분리우측)

2) 중분대 포함부 : 비분리일 경우 활성화 않됨, 분리 경우 동일하게 선택

3) 좌측 및 우측 도로부 설정

① 차도부 폭, 차도부 편경사 입력

② 도로차선 설정 Tab Click : 차선폭, 좌측여유, 우측여유 제원입력(차도부 폭, 차선수 적용은 차도부 폭원선정에 따라 자동 변경)

4) 교량방호책 및 보도부 설정

① 좌측 및 우측보도부 Tab Click

- 보도영역 제원 : 일반적인 보도부 방호책이 아닐 경우 입력

- 연결방호책 설정 Tab Click : 표준 방호책의 경우 방호책 종류 선택

② 중분대 Tab Click

- 보도영역 제원 : 일반적인 보도부 방호책이 아닐 경우 입력

- 연결방호책 설정 Tab Click : 표준 방호책의 경우 방호책 종류 선택 적용

5. 교량제원 설정

1) 교량 경간 및 사각

① 교량 전체연장 및 경간에 따라 자동입력

② 교량 사각 : 직각이면 90, 그 외는 사각에 따라 입력

2) 바닥판 제원 : 포장두께 및 바닥판 두께 입력

3) 교량 횡단구성

① BEAM CTC : 거더 간격 입력

② 거더개수, 좌·우측 캔틸레버 길이 입력

6. 받침 고정단 설정 : 고정단 설정

7. 해석 모델링

1) 적용하중 산정

① 하중분배 재계산 click 후 확인 Click

8. 해석모델 생성 Click

9. 단면계수 산정 Click

10. 구조해석

1) 구조해석 Tab Click

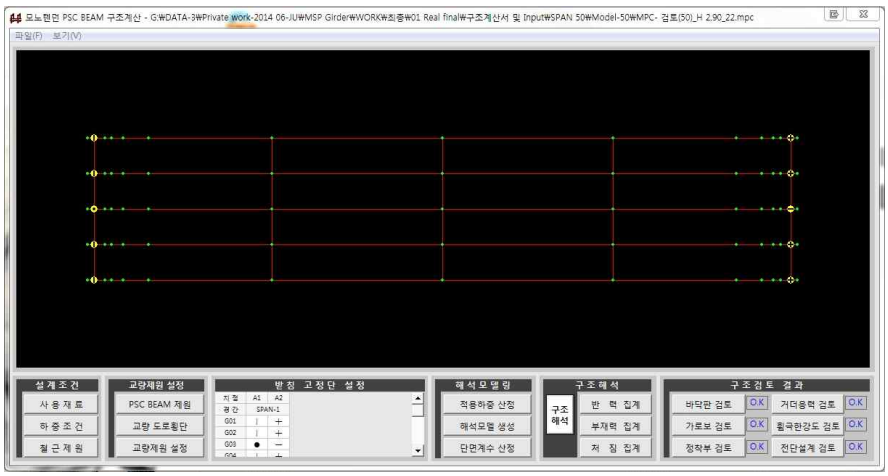
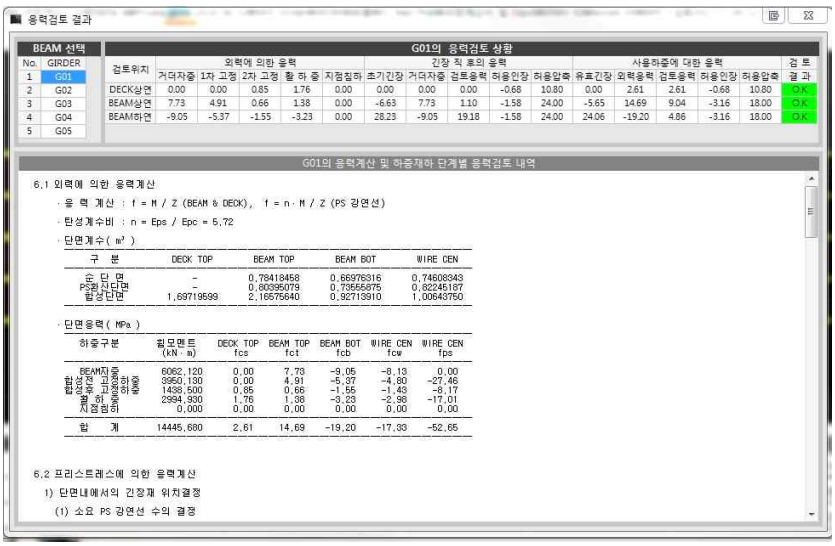
2) 반력, 부재력, 처짐 집계 Click하여 확인

11. Main Tab의 파일

1) 저장 Click 및 파일명 설정

2) 계산서 Click으로 계산서 저장경로는 C:Program 의 MSP 프로그램 폴더에 자동 저장됨.

<표 2.3.25 MSP 설계자동화 프로그램>

	프로그램
	거더제원 설정
	거더응력검토


부/재/력/집/계/표

BEAM 01

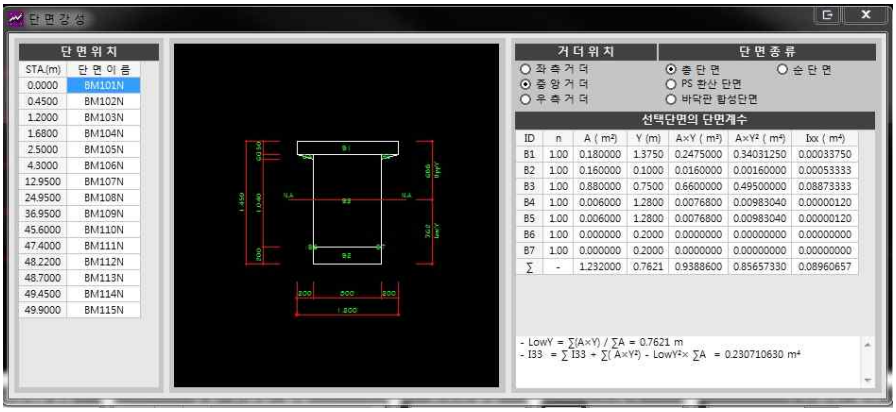
부 재 력 집 계

● 휨모멘트 ○ 전단력

휨 모 멘 트 (kN·m)

부재번호	LOC. (m)	합 성 전		합 성 후					계	
		빔자중	슬래브	2차고정	활하중 MAX	활하중 MIN	지점침하 MAX	지점침하 MIN	MAX	MIN
B01101	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.45	-2.92	-1.51	-1.61	0.00	-68.27	0.00	0.00	-6.04	-74.31
B01102		-2.92	-1.51	-2.44	5.47	-70.73	0.00	0.00	-1.40	-77.60
	1.20	430.39	257.76	132.48	269.08	-65.25	0.00	0.00	1089.71	755.38
B01103		430.39	257.76	132.48	269.08	-65.25	0.00	0.00	1089.71	755.38
	1.68	699.03	419.30	214.12	431.47	-63.49	0.00	0.00	1763.92	1268.96
B01104		699.03	419.30	214.12	431.47	-63.49	0.00	0.00	1763.92	1268.96
	2.50	1137.86	687.33	345.09	688.26	-61.52	0.00	0.00	2858.54	2108.76
B01105		1137.86	687.33	345.09	688.26	-61.52	0.00	0.00	2858.54	2108.76
	4.30	1992.61	1240.60	595.01	1167.42	-58.76	0.00	0.00	4995.64	3769.46
B01106		1992.61	1240.60	595.01	1167.42	-58.76	0.00	0.00	4995.64	3769.46
	12.95	4574.15	2962.22	1077.72	2378.95	-49.65	0.00	0.00	10993.04	8564.44
B01107		4574.15	2962.22	1077.87	2378.50	-49.49	0.00	0.00	10992.74	8564.75
	24.95	6062.12	3950.13	1438.50	2994.93	-34.57	0.00	0.00	14445.68	11416.18
B01108		6062.12	3950.13	1438.50	2994.93	-34.57	0.00	0.00	14445.68	11416.18
	36.95	4574.15	2962.22	1078.03	2378.59	-49.48	0.00	0.00	10992.99	8564.92
B01109		4574.15	2962.22	1077.88	2379.04	-49.64	0.00	0.00	10993.29	8564.61
	45.60	1992.61	1240.60	595.08	1167.58	-58.76	0.00	0.00	4995.87	3769.53
B01110		1992.61	1240.60	595.08	1167.58	-58.76	0.00	0.00	4995.87	3769.53
	47.40	1137.86	687.33	345.14	688.38	-61.52	0.00	0.00	2858.71	2108.81
B01111		1137.86	687.33	345.14	688.38	-61.52	0.00	0.00	2858.71	2108.81
	48.22	699.03	419.30	214.15	431.56	-63.51	0.00	0.00	1764.04	1268.97
B01112		699.03	419.30	214.15	431.56	-63.51	0.00	0.00	1764.04	1268.97
	48.70	430.39	257.76	132.51	269.15	-65.27	0.00	0.00	1089.81	755.39
B01113		430.39	257.76	132.51	269.15	-65.27	0.00	0.00	1089.81	755.39
	49.45	-2.92	-1.51	-2.42	5.41	-70.74	0.00	0.00	-1.44	-77.59
B01114		-2.92	-1.51	-1.61	0.00	-68.27	0.00	0.00	-6.04	-74.31
	49.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

부재력 집계


단면강성

단 면 위 치

STA.(m)	단 면 이 름
0.0000	BM101N
0.4500	BM102N
1.2000	BM103N
1.6800	BM104N
2.5000	BM105N
4.3000	BM106N
12.9500	BM107N
24.9500	BM108N
36.9500	BM109N
45.6000	BM110N
47.4000	BM111N
48.2200	BM112N
48.7000	BM113N
49.4500	BM114N
49.9000	BM115N

거 더 위 치

○ 좌 측 거 더
● 중 앙 거 더
○ 우 측 거 더

단 면 종 류

● 총 단 면
○ 순 단 면
○ PS 환산 단면
○ 바닥판 합성단면

선택단면의 단면계수

ID	n	A (m²)	Y (m)	A×Y (m³)	A×Y² (m⁴)	Ixx (m⁴)
B1	1.00	0.180000	1.3750	0.2475000	0.34031250	0.00033750
B2	1.00	0.160000	0.1000	0.0160000	0.00160000	0.00053333
B3	1.00	0.880000	0.7500	0.6600000	0.49500000	0.08873333
B4	1.00	0.006000	1.2800	0.0076800	0.00983040	0.00000120
B5	1.00	0.006000	1.2800	0.0076800	0.00983040	0.00000120
B6	1.00	0.000000	0.2000	0.0000000	0.00000000	0.00000000
B7	1.00	0.000000	0.2000	0.0000000	0.00000000	0.00000000
∑	-	1.232000	0.7621	0.9388600	0.85657330	0.08960657

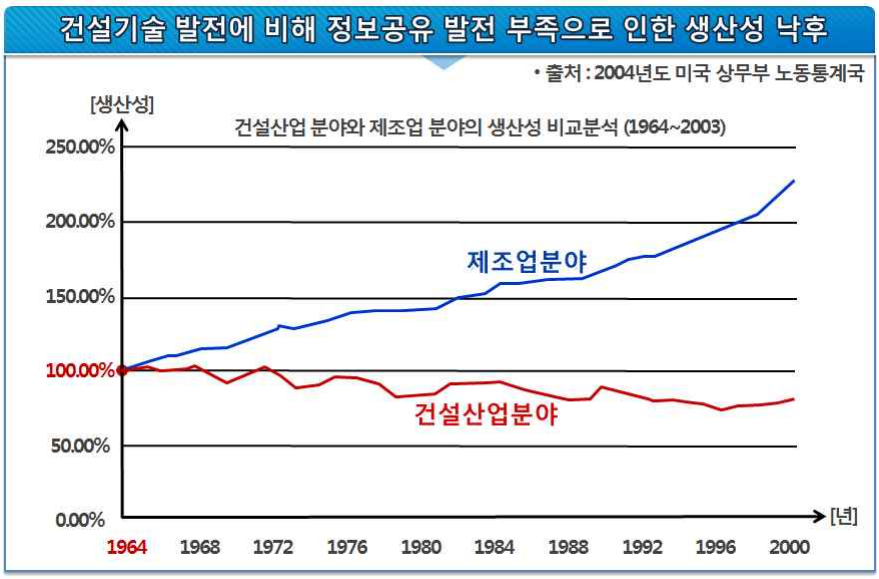
- LowY = ∑(A×Y) / ∑A = 0.7621 m
- I33 = ∑ I33 + ∑(A×Y²) - LowY²× ∑A = 0.230710630 m⁴

단면계수 산정

나. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 개발 BIM 기반 모델링

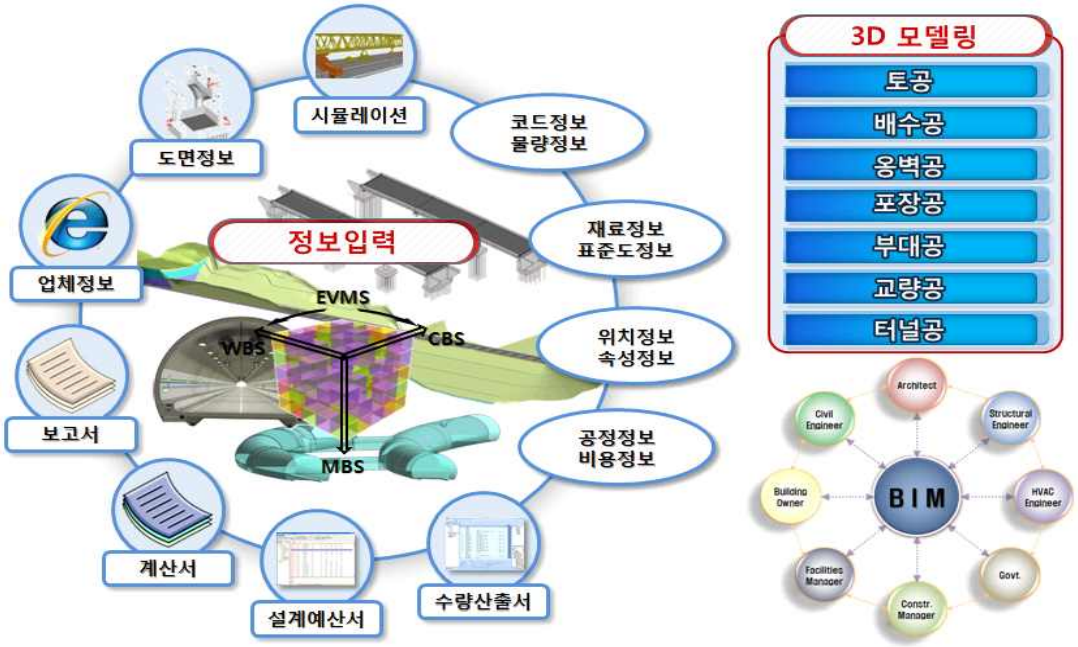
(1) BIM(Building Information Modeling)

- 건설 프로젝트는 사업기획에서부터 설계, 시공, 유지관리의 연속적인 단계를 포함하며 각 단계마다 기계, 건축, 토목, 설비, 전기, 통신 등 다양한 전문분야와 발주처, 설계사, 시공사, 유지관리사 등 여러 참여주체가 참여하게 된다. 건설 프로젝트 참여주체들은 프로젝트 각 과정에서 다양한 건설정보를 생성, 수정, 전달하게 되며, 이러한 정보들은 업무의 상관성에 따라 공유되고 통합 활용함으로서 정보가치를 극대화시킬 수 있다.
- 그림에서 보는바와 같이 2010년 미국 노동통계국에 따르면 건설 산업의 노동생산성은 1964년에 비해 약 10% 감소한 반면, 제품생산업은 약 2배 이상의 생산성이 향상되었다고 보고된바와 같이 제품생산업은 지난 40년간 꾸준히 정보공유 및 정보통합을 통한 생산라인의 합리화로 생산성을 향상시킨 반면, 건설 산업은 산업의 특성상 각 단계별 전문분야 및 참여주체들 간의 정보공유 및 정보통합을 이루기 위해 노력을 기울였으나 결과적으로는 생산성 향상에는 실효를 거두지 못하였다.
- 2004년 8월 미국 NIST 통계에 따르면 건설시장에서 참여주체 간 정보공유가 이루어지지 않음으로 인한 손실액이 연간 10억불에 이른다고 한다. 물론 건설 산업의 특성 상 참여주체 간 정보공유에 어려운 점이 많으나, 이러한 문제점을 해결하고자 건설정보들의 전산화 측면에서 국내외 건설시장은 2차원 기반의 설계에서 3차원 기반의 설계로, 나아가 전 생애주기의 정보를 통합하고자 하는 BIM 기반의 설계환경으로 빠른 전환이 이루어지고 있다.



<그림 2.3.23 건설 산업과 제품생산업의 노동생산성 추이>

- BIM(Building Information Modeling)이란 시설물을 표현하는 2차원 설계의 한계를 극복한 것으로 3차원 모델링을 통해 설계하고 이를 활용하여 3차원 객체 중심의 공정관리(4D) 및 원가관리(5D) 등 계획·설계·시공·유지관리 동안 발생되는 모든 정보를 DB화하고 이를 활용한 정보를 통합 관리하는 일련의 프로세스를 의미한다.



<그림 2.3.24 BIM 정의>

(2) 해외 BIM 기술개발 현황 조사 및 분석

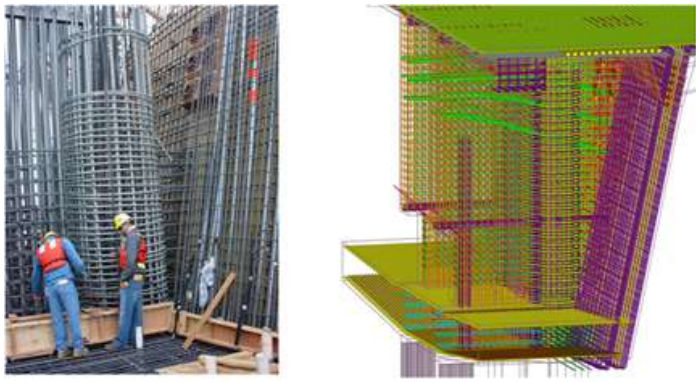
- BIM 설계에 국제적으로 범용 사용하는 대표적인 Tool에는 Revit, Allplan, Microstation, Archicad, DigitalProject, Tekla, DProfiler 등이 있다. Autodesk 개발사에서 제공하는 Revit은 국내에서 기존에 2D-CAD 시장의 점유율이 높아 BIM Tool 시장 점유율 또한 높으며, 익숙한 인터페이스로 프로그램 사용이 용이하다. 또한 토공 및 Google-Map과의 연동성, GIS 정보공유 등에 있어서 가장 우수한 Tool인 Civil3D와의 호환성에 큰 장점을 가지고 있는 Tool이다. 뿐만 아니라 건축, 구조, 설비 등 다양한 분야별로 우수한 라이브러리가 구축되어 있으나, 프로젝트가 커지면 용량이 커져 작업속도가 오래 걸리는 동시에 복잡한 곡선표면의 설계에 어려움이 있는 단점이 있다. 이 프로그램은 주로 미국, 아시아 지역에서 많이 사용하고 있으며, 국내에서는 용인시민체육공원, 서울대학교병원, 지하복합공간 BTL사업에 적용한 사례가 있다.

- Nemetschek 개발사에서 제공하는 Allplan은 다수의 라이브러리를 보유하고 있고 구조계산 결과와의 연동성 등 모듈형식으로 개발된 완성도가 높은 Tool로서 특히 국내지침뿐만 아니라 유럽, 일본, 미국의 지침이 적용 가능한 철근배근 기능을 가지고 있다. 그러나 가격이 고가이며, Mep 분야에 취약하고 철근배근을 포함할 경우 속도가 느려지는 단점을 가지고 있다. 이 프로그램은 주로 유럽지역에서 많이 사용하고 있다.

- Bentley System 개발사에서 제공하는 Microstation은 미군공병대 지정 Tool로서 대형프로젝트에 적합하며, 특히 플랜트분야에 유리한 Tool이다. 그러나 프로그램에 익숙해지기가 어렵고 다른 Tool과 비교해 라이브러리 수가 적은 단점을 가지고 있다. 이 프로그램은 주로 영국과 미국지역에서 많이 사용하고 있으며, 국내에서는 미군기지 이전사업에 적용한 사례가 있다.

- Graphisoft 개발사에서 제공하는 Archicad는 다수의 라이브러리를 보유하고 있어 완성도가 높고, 견적기술이 우수하며, 사용이 간단하다. 그러나 Mep 분야에 취약하고 대형 프로젝트의 경우 속도가 느려지며, 복잡한 곡선표면의 설계 및 유지가 어려운 단점을 가지고 있다. 이 프로

그램은 주로 북유럽지역에서 많이 사용하고 있으며, 국내에서는 파주운정지구 아파트 건설 사업에 적용한 사례가 있다. 다음 표는 대표적인 BIM Tool을 비교한 것이다.



<그림 2.3.25 철근배근 BIM 모델링 사례>

<표 2.3.26 대표적인 BIM Tool의 비교>

특성	Autodesk Revit	Graphisoft ArchiCAD	Bentley Microstation
확장자	*.rvt	*.pln	*.dgn
렌더링 엔진	Mental Ray 렌더링 엔진 포함	내부 렌더링 엔진 포함	내부 렌더링 엔진 포함
인터페이스	기능 접근성이 양호하며 Visual Basic과 같은 프로그래밍 언어와 유사한 인터페이스를 제공	친근한 GUI(Graphic User Interface)와 편리한 접근성	기능에 대한 접근성은 좋으나 고급 기능을 사용하려면 많은 연습이 필요
간섭체크	간섭체크 기능을 사용하여 요소 간 충돌을 감지	서드파티 도구인 Navis Works를 사용하여 체크	Interference Manager를 사용하여 여러 파일간의 간섭을 체크할 수 있음
모델링	완전한 파라메트릭 솔리드 모델링이 가능 토목객체 작성 기능을 제공하나 기초, 슬래브 등 일부에 국한됨	다양한 건축객체 작성기능을 제공하며, 유기적 형태는 ArchiCAD로부터 별도로 실행되는 Maxxon Form을 통해 수행	STL Format으로 3D 프린터에서의 쾌속조형모형의 제작이 가능
협업 능력	Local 파일(워크스테이션)과 Central 파일을 이용하여 협업이 가능	ArchiCAD TeamWork을 통해 협업 환경을 제공	Bentley ProjectWise를 통해 협업 가능
물량 DB	Revit에서의 또 다른 View로서 물량 DB 관리기능을 제공하며, 필터링 기능과 수식입력 기능을 제공	Interactive Provides 도구로 컴포넌트와 개별적 요소의 물량산출 가능	물량 DB의 자동적인 갱신이 가능함
처리능력	처리속도가 늦고 많은 메모리를 필요로 함	우수함	매우 우수함

(3) BIM을 통한 기대효과

- 오류를 최소화한 효율적인 도면생산 : 개념설계, 기본설계, 실시설계 단계를 거치면서 생성된 2D 도면은 발주자의 요구사항이 반영됨에 따라 수많은 설계 변경을 거치게 되며, 이때 작성된 도면들은 많은 참여자들로 인해 도면불일치 및 오류가 많이 발생한다. 그러나 BIM은 참여자들의 협업이 가능하게 되고, 설계 변경 시 관련 수정 사항이 모델에 즉시 반영됨으로써 설계변경에 빠르게 대응할 수 있는 장점을 가지고 있으며, BIM모델을 통한 설계 오류 검토로 설계의 품질을 향상시킬 수 있게 된다. 또한 여러 공법의 대안 비교도 손쉽게 할 수 있으며, BIM을 활용하여 효율적인 도면 생산이 가능해진다.

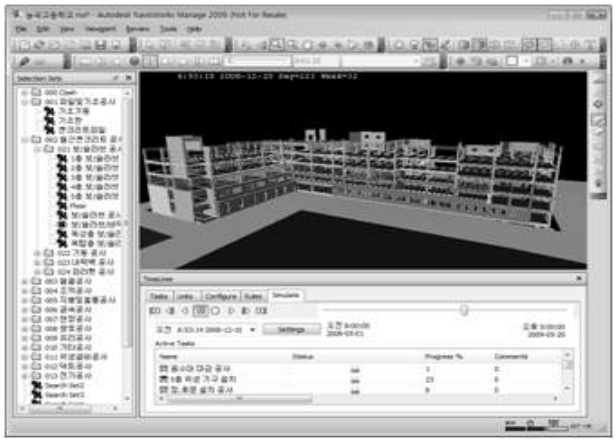
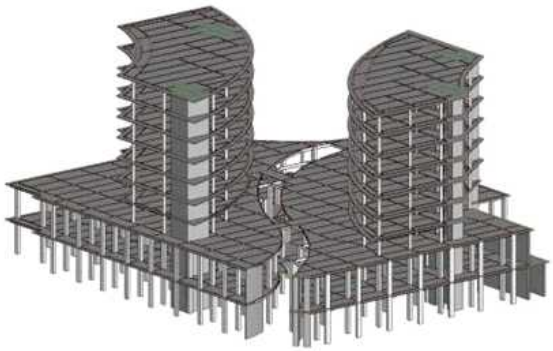
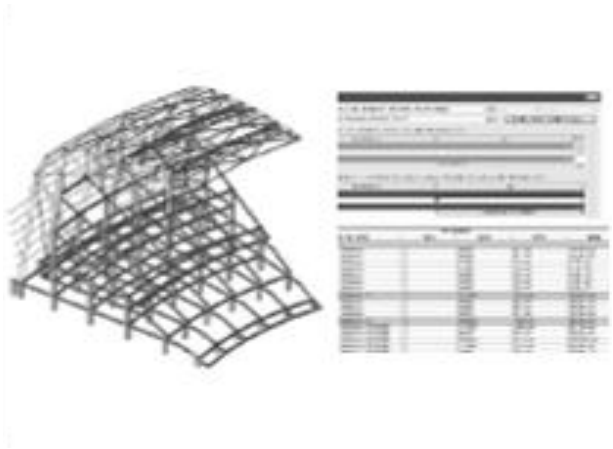
- 설계목적에 따른 초기점검 가능 : BIM을 통해 초기부터 3D 모델 시각화 및 면적, 재료의 양을 알 수 있기 때문에 더욱 정확한 비용 추정을 할 수 있다. 연구소, 병원 등 기술집약적 건물의 경우 설계목적이 정량적으로 정의되기 때문에, 이러한 사항을 고려하여 모델을 점검할 수 있으며, 또한 질적인 측면의 요구사항이 있다면, 시뮬레이션을 통해 자동적으로 평가를 수행할 수 있다. Gehry Technology에서 발표한 자료에 따르면 BIM을 활용할 경우 견적 산출 시간이 80%가 감소하고 견적의 정확성이 +/-3% 수준으로 향상된다.

- 설계과정동안 비용 추정 가능 : 설계가 진행됨에 따라, 더 상세한 측정 및 정확하고 자세한 비용추정이 요구되며, BIM은 시공을 위한 상세한 도면으로 발전하기 전에 비용이 발생할 수 있는 모든 부분을 고려하여 비용추정이 가능하고 설계 최종 단계에서, BIM을 활용한 모델링에 포함된 모든 대상을 고려하여 정량적으로 추정한 값은 최종적인 비용 추정결과의 정확성을 높여준다.

- 에너지효율 및 지속가능성 증진 : 설계 초기 단계에서 건물 모델을 에너지 분석 도구와 연결시키면 에너지 이용 평가가 가능하다. 이것은 설계 마지막 과정에서야 에너지 분석을 수행할 수 있었던 기존의 2D 방법에서는 불가능했었으며, BIM을 통한 건물모델을 다양한 유형의 분석도구와 연결시킴으로써 건물의 품질을 향상시킬 수 있는 기회를 제공해 준다.

- 시공단계 : 시공단계에 BIM도입 시 설계단계와 시공단계에 사용되는 도면의 일관성을 유지할 수 있고, 설계자와 시공자가 협의를 할 수 있도록 커뮤니케이션 도구를 제공하며, 그로 인한 설계 오류 및 변경을 감소시킨다. 또한 시공과정, 비용절감, 법적 분쟁의 가능성 최소화, 전체 프로젝트의 원활한 수행을 지원한다. Gehry Technology에서 발표 자료에 따르면 간섭 체크만으로도 10%의 건설 사업비 절감효과를 가져온다.. 추가적으로 건설 프로세스 모델링을 통해 20%의 사업비 절감 가능하고 시공단계에서 7%의 공기기간 단축 가능하다.

<표 2.3.27 시공단계 BIM 활용 기대효과>

공정관리	시공/품질관리
	
• 예정공정계획의 BIM 시뮬레이션을 통한 사전검증 • 공정간 간섭배제 및 작업일정 조정을 통한 생산성 향상	• BIM 시뮬레이션을 통한 최적의 장비조합 및 작업장 위치선정 • 가시설(벤트, 서포트)의 상세 설치위치 사전 확인으로 시공간섭 배제
원가관리	**안전관리**
	
• BIM Data를 활용한 공정 및 물량정보를 부재단위 및 조닝 단위로 관리해 자원절약 가능 • 단위부재에 대한 정확한 물량정보를 제공함으로써 전체수량의 오차범위를 최소화해 실행내역의 신뢰성 제공	• 장비 및 시공 시뮬레이션을 통해 작업 반경 및 위험구역의 범위를 사전에 파악해 안전조치를 선행함으로써 무재해 실천 • BIM Model을 활용하여 장비 배치 계획, 가설시설물, 야적장 위치 등의 시각적인 검토를 통해 안전성 확보

(4) BIM 업무수행 목적

- BIM 모델을 통한 설계부정합성 및 설계신뢰성 검증
- 업무수행을 통한 설계도서의 설계부정합성 검토와 2D기반 설계와의 수량 비교에 따른 설계 신뢰성 검토
- 신속한 의사결정 및 공간 확인
- 설계 기간동안 객체기반 3차원 모델링을 통한 신속한 의사결정과 공간감 확인으로 입체적인 디자인요소로 활용

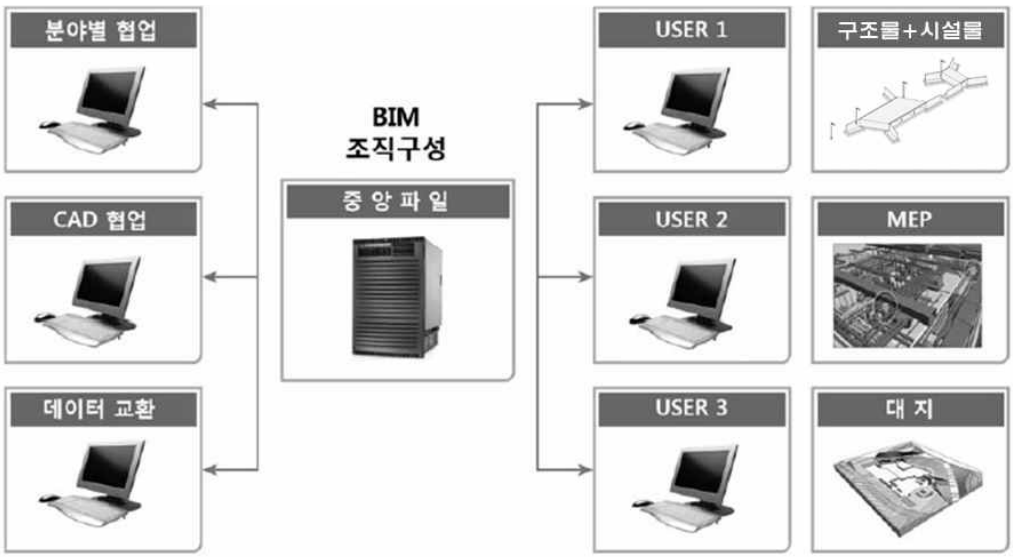
(5) 업무수행 시스템 환경

<표 2.3.28 업무수행 시스템 환경>

▌컴퓨터 하드웨어	▌소프트웨어
· CPU : Intel(R) Xeon(R) E5620 · RAM : 16.00GB RAM · Graphic : nVidia Quadro 2000 · Hard Drivers : 1TB SATA2 · Monitors : Dual Wide Screens · OS : Windows 7 Professional K 64bit	· PSC거더 : Autodesk Revit 2014(64bit)_Structure · 철근모델링 : Autodesk Revit 2014(64bit)_Structure · 간섭체크 : Naviswork 2014(64bit) · 기타활용 : Autodesk AutoCAD 2012

(6) 업무수행 네트워크 환경

- 효율적인 협업과 보안을 고려한 네트워크 구성.
- 독립적 서버 구축을 통한 데이터의 관리와 교환의 용이성.
- 작업자들을 위한 작업환경 구성.



(7) BIM 업무수행 상세수준과 작성기준

- 1단계 : 객체의 개략적인 크기 파악 수준, 직육면체 형태 가능.
- 2단계 : 객체의 대략적인 크기와 형상 파악 수준의 3차원 모델.
- 3단계 : 객체의 정확한 치수와가 반영된 수준.
- 4단계 : 객체의 정확한 치수와 재료가 반영된 수준.

<표 2.3.29 BIM 업무수행 작성기준>

구 분	BIM 업무수행 분야	
	모델링 객체범위	상세수준
PSC거더	거더 콘크리트	4
	철근	4
	정착구 및 강선	4
비 고	실제 시공과정과 일치 작업	

(8) BIM 모델링

(가) 콘크리트 거더

<표 2.3.30 BIM 콘크리트 거더 모델링>

1) 3D View



2) 정면



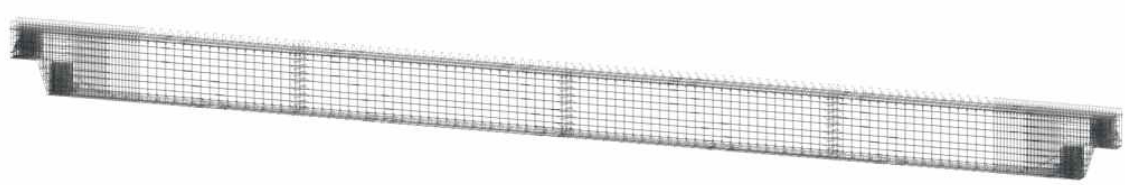
3) 측면



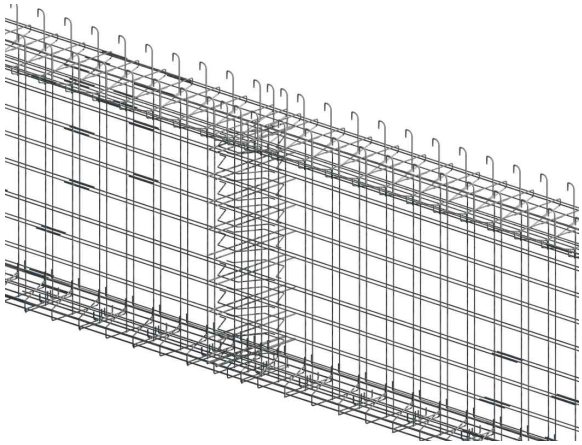
(나) 철근모델링

<표 2.3.31 BIM 콘크리트 거더 철근 모델링>

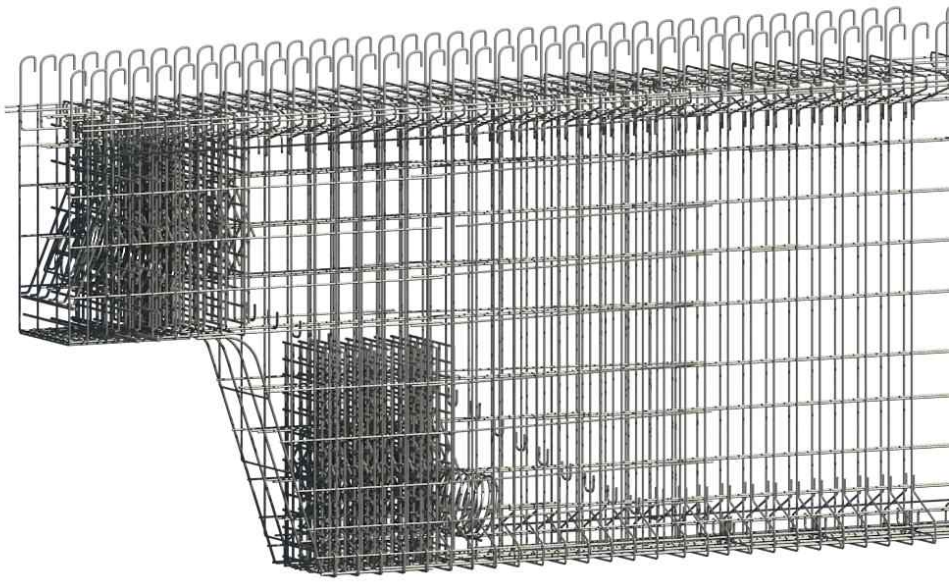
1) 3D View



2) 중앙부



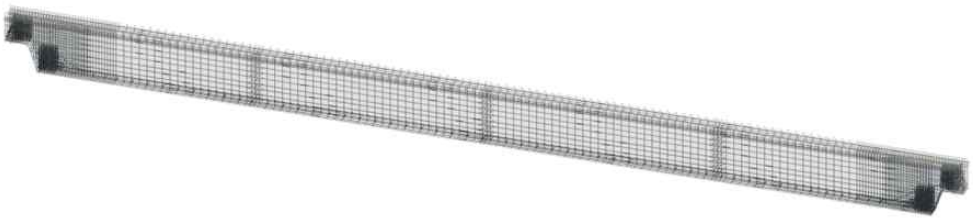
3) 단부



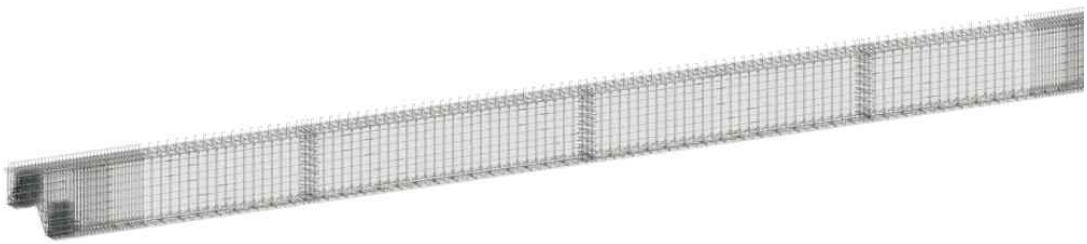
(다) 철근 및 거더 형상 모델링

<표 2.3.32 BIM 콘크리트 거더 및 철근 모델링>

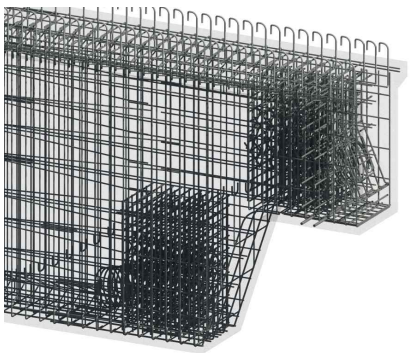
1) 3D View



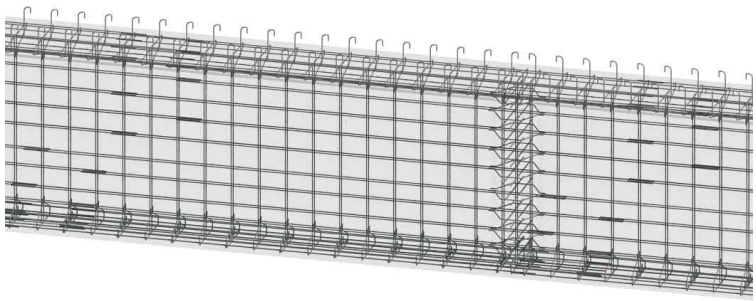
2) 3D View



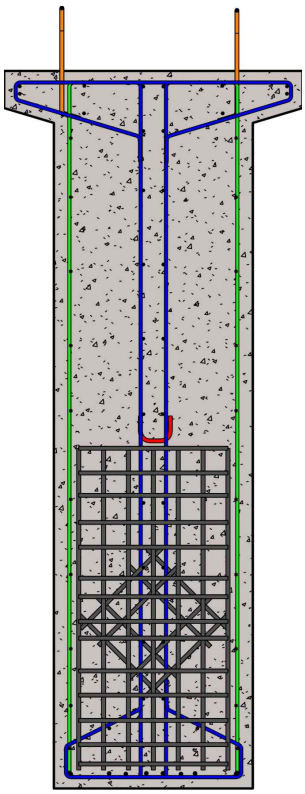
3) 단부

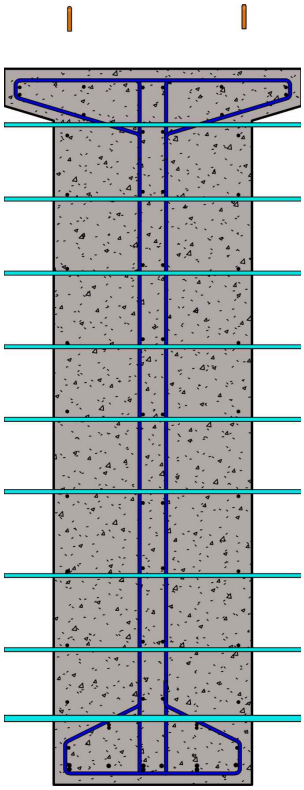


4) 중앙부

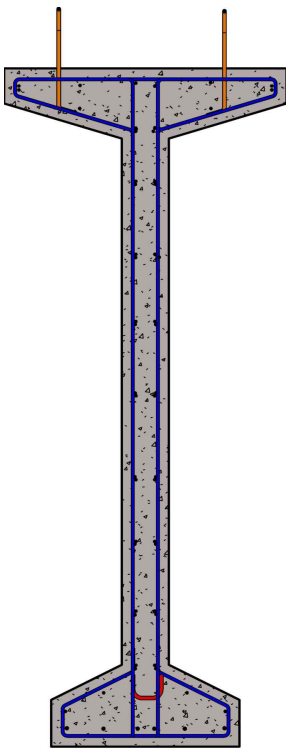


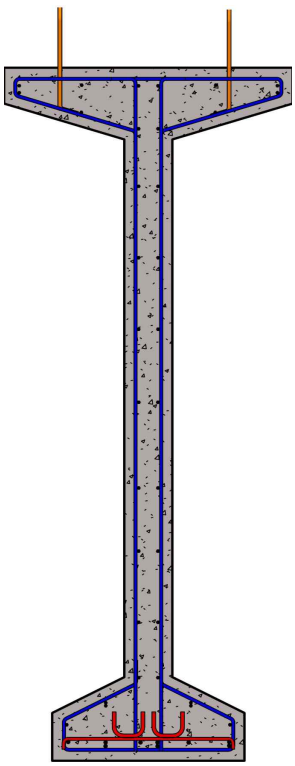
5) 단면





6) 단면

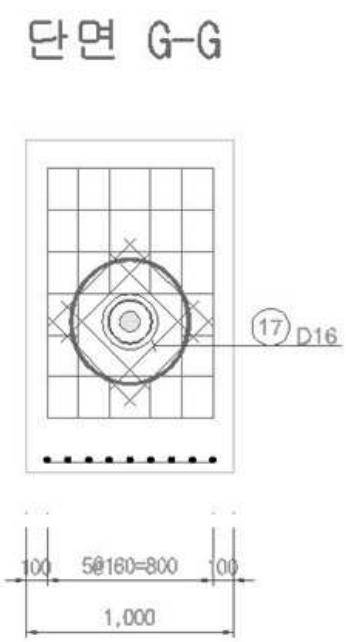
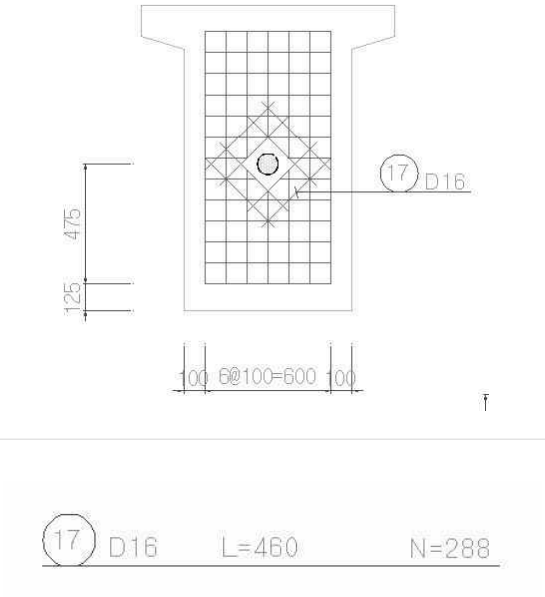




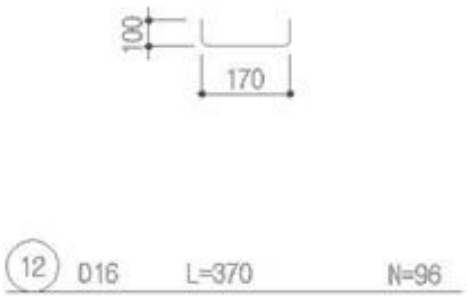
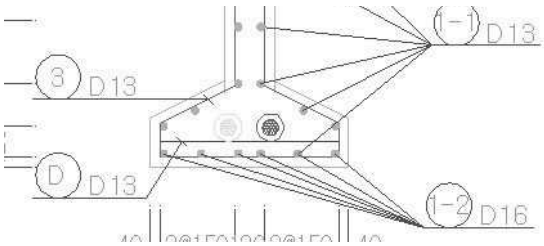
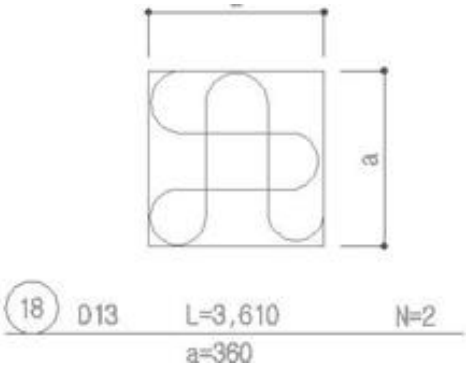
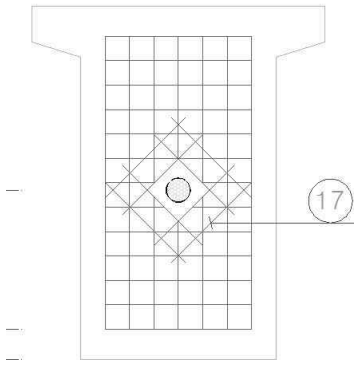
(9) 설계오류 검토

(가) 도면누락

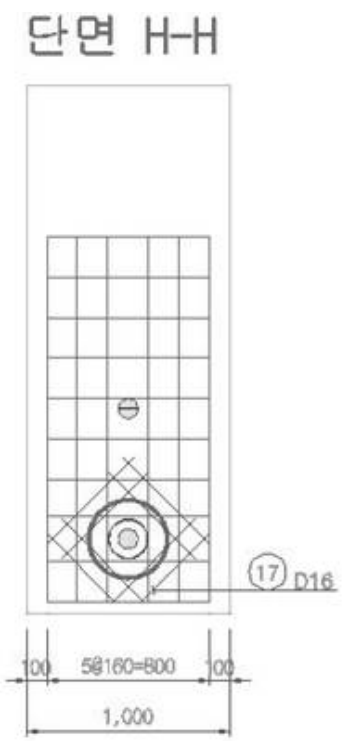
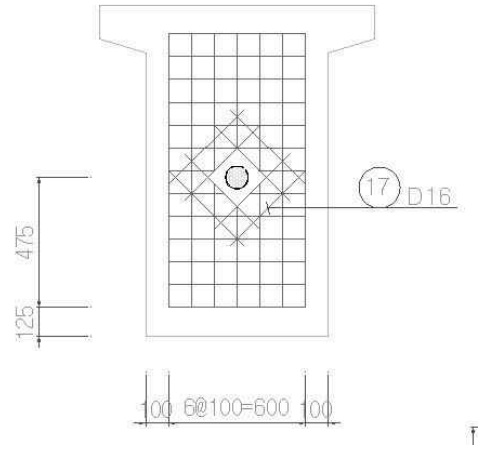
① 17-D16

수정전	수정후
	
·도면에 위치 미표시	·도면에 17-D13 명기

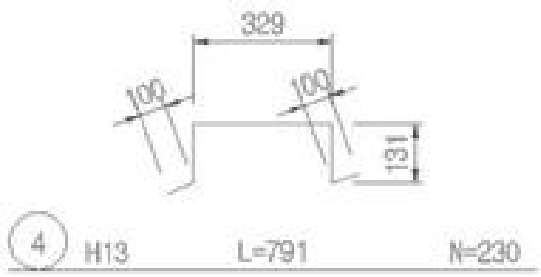
② 12-D16, 18-D13

수정전	수정후
	
	
·도면에 위치 미표시	·위치 확인 후 모델링

③ 17-D16

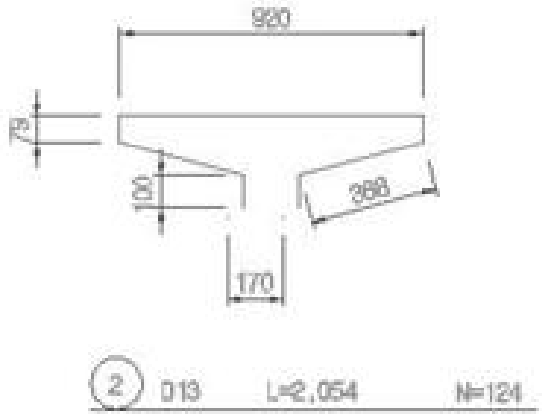
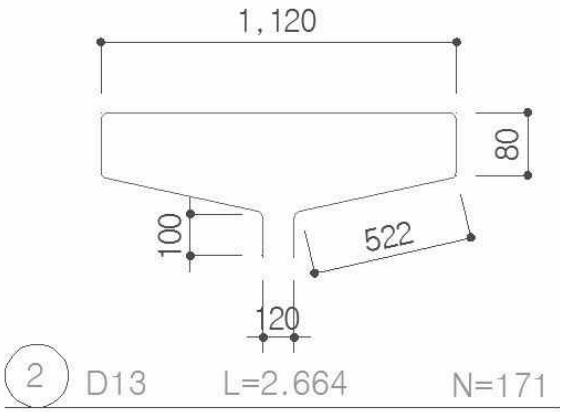
수정전	수정후
	 
·도면에 위치 미표시	·도면에 17-D13 명기

④ 4-D13

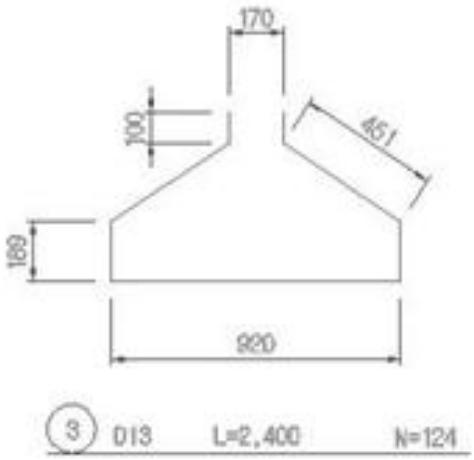
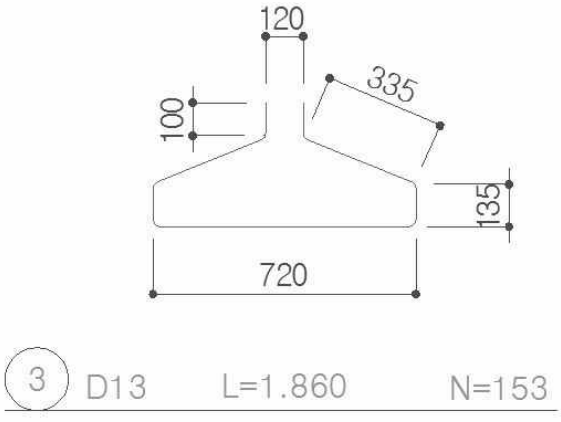
수정전	수정후
	해당없음
·도면에 위치 미표시	

(나) 수량오류

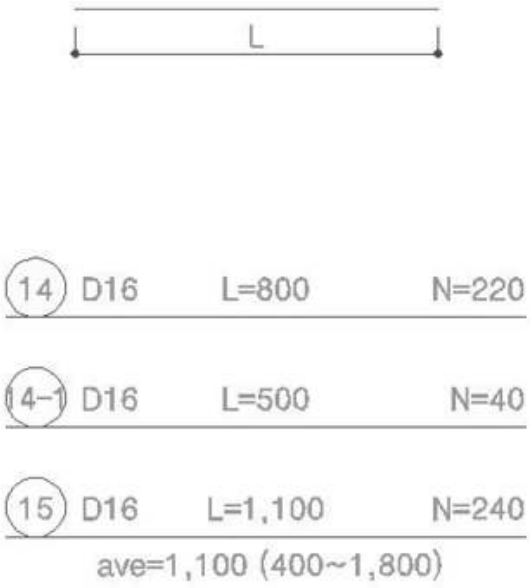
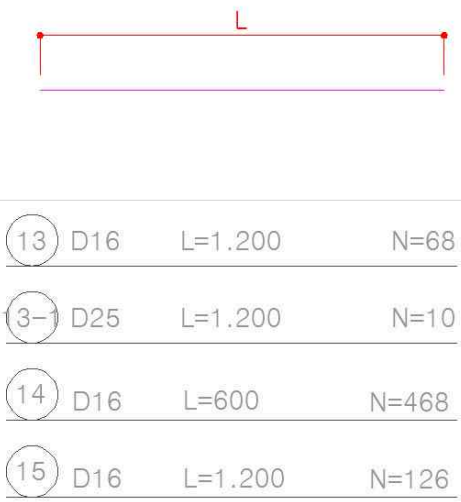
① 2-D13

수정전	수정후
	
·수량 오기	·수량 정정

② 3-D13

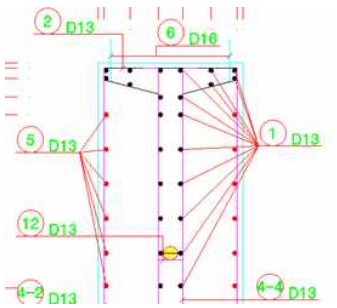
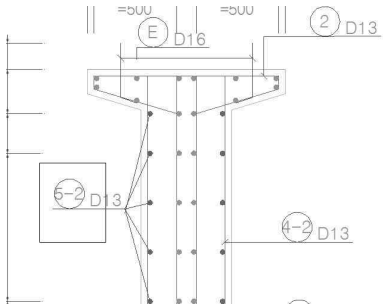
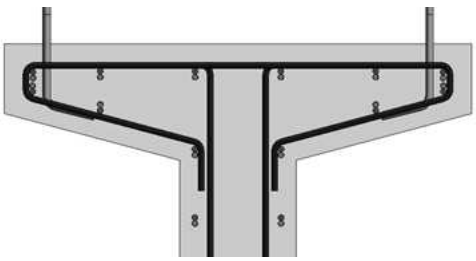
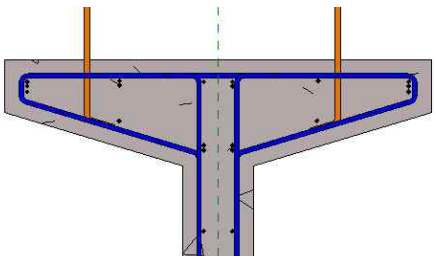
수정전	수정후
	
·수량 오기	·수량 정정

③ 3-D13

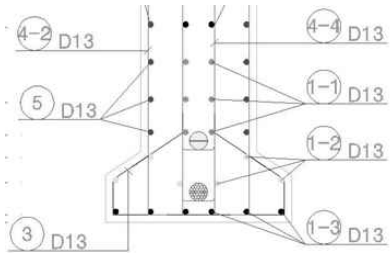
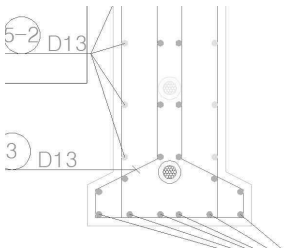
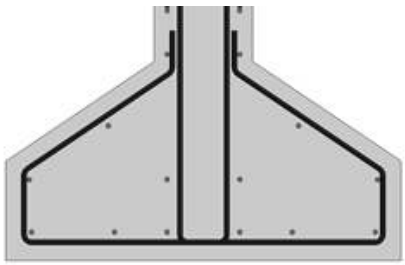
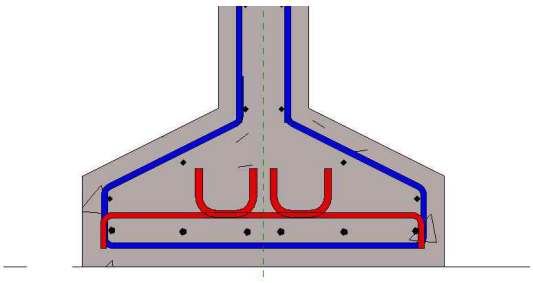
수정전	수정후
	
·수량 오기	수량 정정

(다) 철근 규격 오류

① 2-D13과 4-4-D13 연결

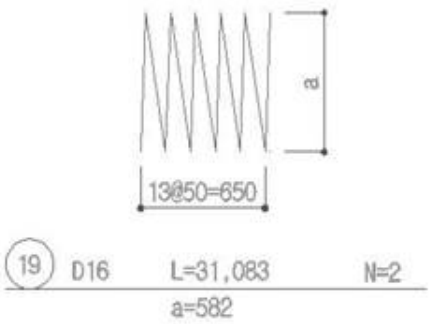
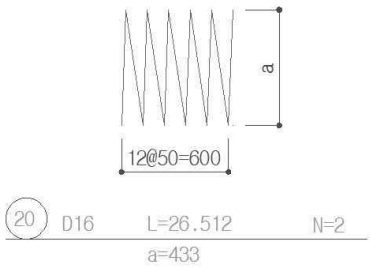
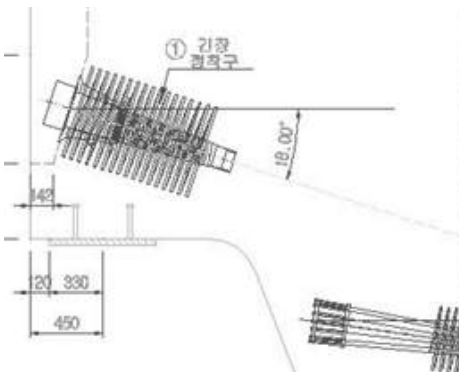
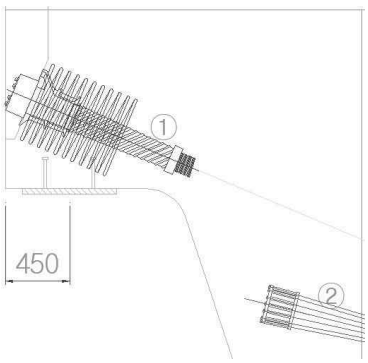
수정전	수정후
	
	
·철근규격 상이로2-D13과 4-4-D13 연결 불가	·철근규격 조정으로2-D13과 4-4-D13 연결

② 3-D13과 4-4-D13 연결

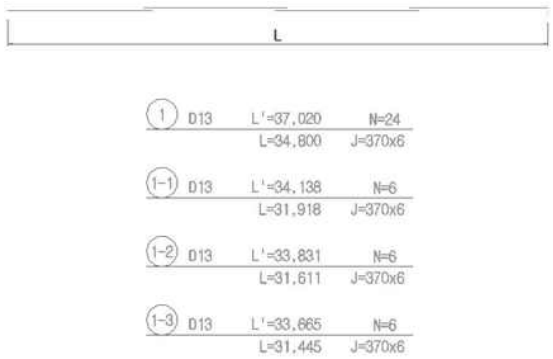
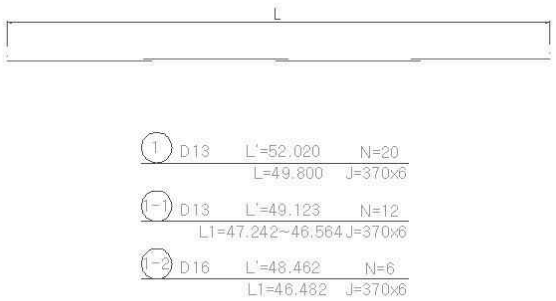
수정전	수정후
	
	
·철근규격 상이로3-D13과 4-4-D13 연결 불가	·철근규격 조정으로3-D13과 4-4-D13 연결

(라) 도면상이

① 19-D16

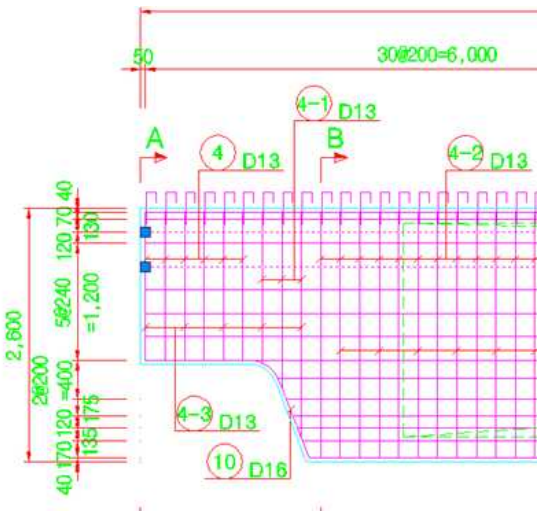
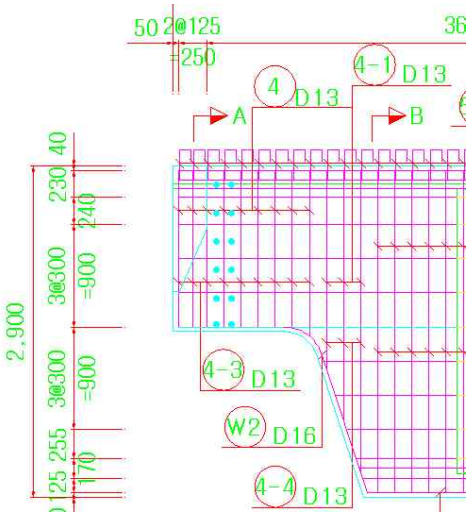
수정전	수정후
	
	
·철근규격 오류	·철근규격 오류 수정

(마) 겹이음 개소 분석

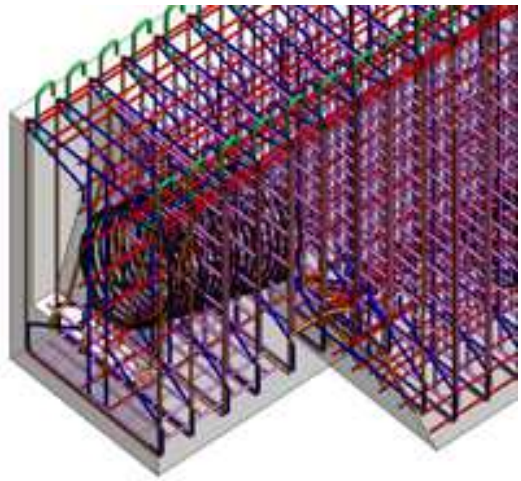
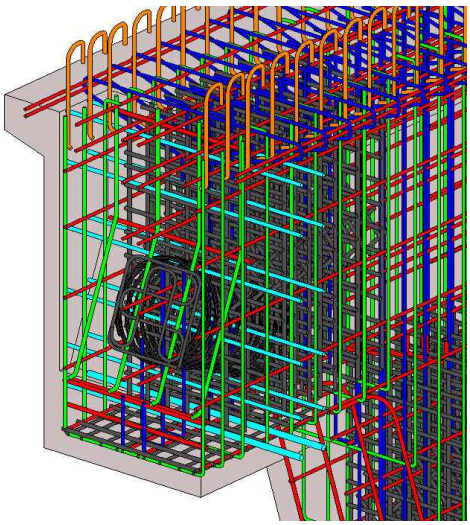
수정전	수정후
	
·철근겹이음 개수 오류	·철근겹이음 개수 오류 수정

(바) 철근배치 오류

① 설계도상 단부부위 철근 배근

수정전	수정후
	
·단부에 철근 배근 오류	·단부에 철근 배근 수정

② 설계도상 단부부위 철근 배근

수정전	수정후
	
·단부에 철근 배근 노출	·단부에 철근 배근 노출 제거

(10) 철근수량검토

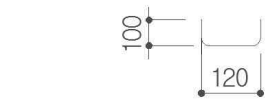
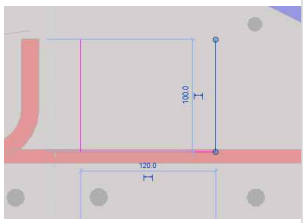
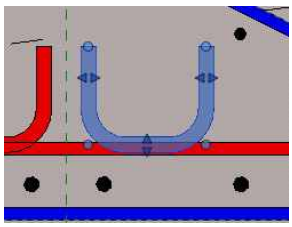
(가) 철근수량 비교표

철근 규격	BIM		2D		차이	차이율 (%)	비고
	수량	길이 (mm)	수량	길이 (mm)			
11-D13	54	62,140	54	75,600	-13,460	-17.8%	피복두께 영향
1-1-D13	84	588,262	12	589,476	-1,214	-0.2%	
19-D13-1	2	2,828	2	3,610	-782	-21.7%	굴곡부
19-D13-2	2	3,892	2	3,610	282	7.8%	
1-D13	140	1,039,949	2	1,040,400	-451	0.0%	
2-D13	171	420,142	171	455,544	-35,402	-7.8%	
3-D13	153	275,247	153	284,580	-9,333	-3.3%	
4-1-D13	6	31,130	6	31,782	-652	-2.1%	
4-2-D13	68	201,368	34	205,360	-3,992	-1.9%	
4-3-D13	18	41,730	18	55,080	-13,350	-24.2%	단부길이 조정
4-4-D13	6	27,662	6	28,182	-520	-1.8%	
4-5-D13	306	803,854	153	806,310	-2,456	-0.3%	
4-D13	18	62,859	18	65,880	-3,021	-4.6%	
5-1-D13	16	16,264	16	16,432	-168	-1.0%	
5-2 D13	36	75,957	36	76,464	-507	-0.7%	
5-D13	20	48,940	20	48,940	0	0.0%	
9-D13	16	12,800	16	12,800	0	0.0%	
D-D13	54	45,218	60	51,600	-6,382	-12.4%	피복두께 영향
10-D13	18	12,680	18	12,600	80	0.6%	
13mm계		3,772,922		3,864,250	-91,328	-2.4%	
단위중량		0.995		0.995	0	0.0%	
총중량		3.754		3.845	-0.09	-2.4%	

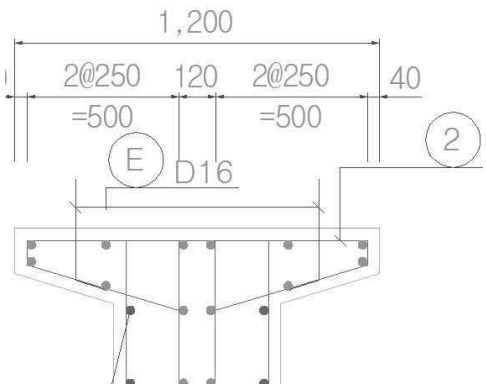
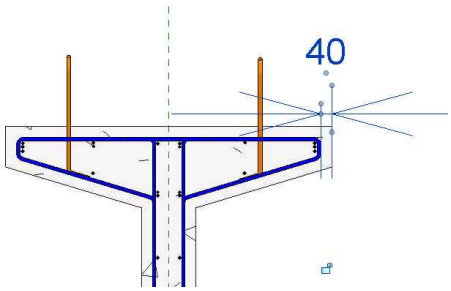
철근 규격	BIM		2D		차이	차이율 (%)	비고
	수량	길이 (mm)	수량	길이 (mm)			
1-2-D16	42	292,137	6	290,772	1,365	0.5%	
13-D16	68	81,600	68	81,600	0	0.0%	
14-D16	486	291,600	468	280,800	10,800	3.8%	
15-1-D16	126	163,800	126	163,800	0	0.0%	
15-D16	126	151,200	126	151,200	0	0.0%	
16-D16	10	7,200	10	7,200	0	0.0%	
17-D16	288	132,678	288	132,480	198	0.1%	
18-D16	152	43,744	166	53,120	-9,376	-17.7%	굴곡부처리
20-D16	2	34,934	2	53,024	-18,090	-34.1%	철근실측치
21-D16	2	19,298	2	33,912	-14,614	-43.1%	철근실측치
E-D16	352	228,845	354	256,650	-27,805	-10.8%	굴곡부처리
W1-D16	10	12,011	8	10,240	1,771	17.3%	굴곡부처리
W2-D16약	8	15,342	8	15,248	94	0.6%	
16mm계		1,474,389		1,530,046	-55,657	-3.6%	
단위중량		1.560		1.560	0	0.0%	
총중량		2.300		2.387	0	-3.6%	
13-1-D25	10	12,000	10	12,000	0	0.0%	
25mm계		12,000		12,000	0	0.0%	
단위중량		3.980		3.980	0	0.0%	
총중량		0.048		0.048	0	0.0%	
총길이합계	2870	5,259,311		5,406,296	-146,985	-2.7%	
총중량합계		6.10		6.28	-0.18	-2.8%	

(나) 철근수량 차이 분석사항

① 굴곡부 처리

2D도면	BIM모델링
 18 D16 L=320 N=166	  철근 길이 287.6 mm 전체 철근 길이 4600.9 mm A 0.0 mm B 107.9 mm C 135.7 mm D 107.9 mm
·철근은 직선거리이나 BIM모델링은 철근 곡면부를 고려하여 물량 산출	

② 피복두께 정의

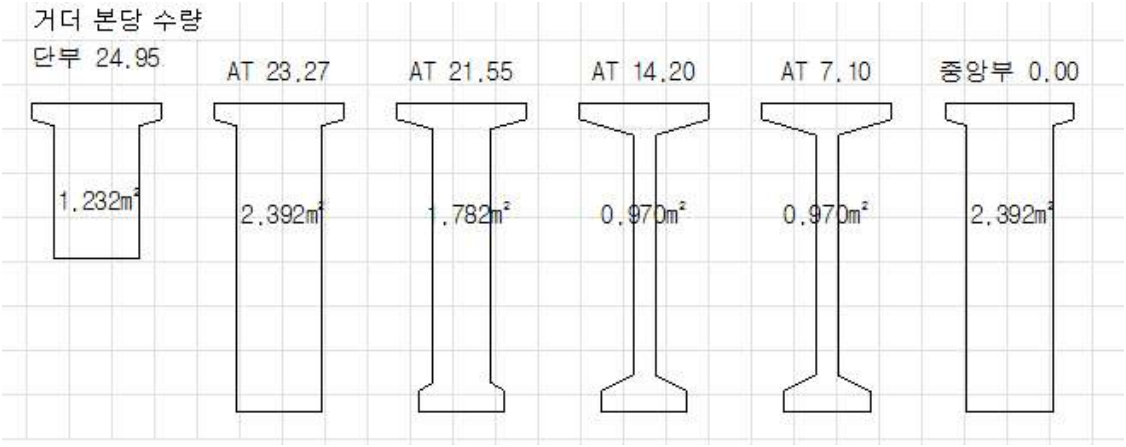
2D도면	BIM모델링
	
·철근중심부로부터 두께 산정	·철근외측부터 두께산정

(11) 콘크리트 물량 산출

(가) 콘크리트 수량 비교표

구분	BIM		2D		차이	차이율 (%)	비고
	수량	체적(㎥)	수량	체적(㎥)			
콘크리트거더	1	56.61	1	56.07	0.54	0.96%	

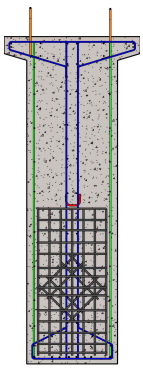
2D물량 산출

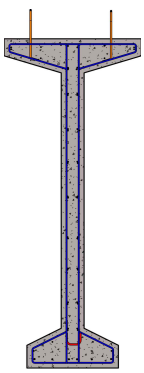


1 Girder 당 콘크리트 량

28.035 x 2 ea = 56.070 m³

BIM 물량산출





<구조 프레임 재료 견적>

A	B	C	D
구조 재료	볼륨	재료: 볼륨	표준 철근 배근
콘크리트 - 프리캐스트 콘크	56.61 m³	56.61 m³	777211.52 cm³

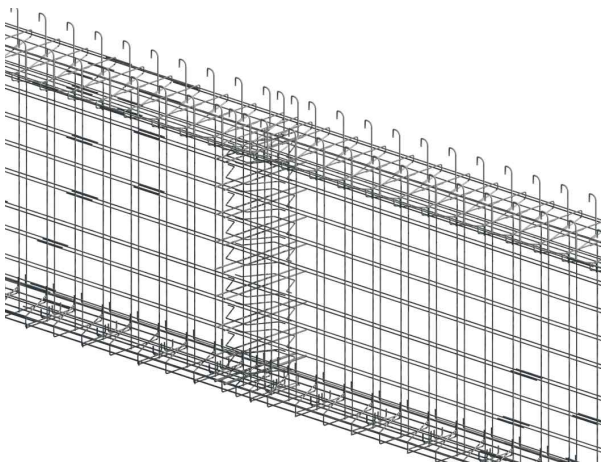
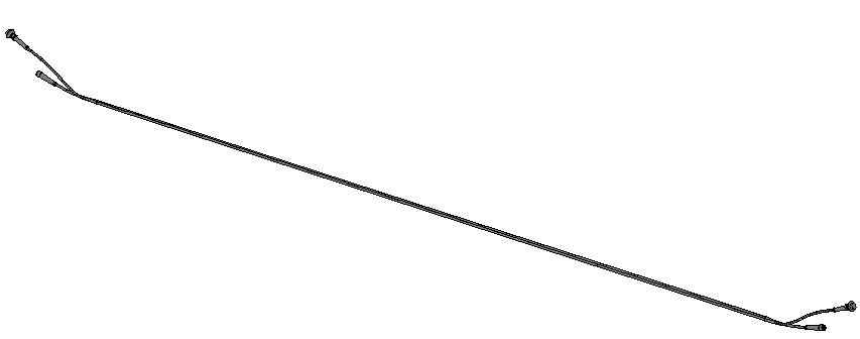
(12) BIM 데이터 작성

(가) 일반사항

- BIM 과업수행계획서를 기준으로 작성.
- 상세수준 : 시설별로 지침서 기준으로 작성.(1.5.1 객체별 상세수준 참조)
- 밀리미터 단위 사용을 원칙으로 작성(기본치수, Level 등)
- 모든 데이터는 0.0 레벨을 기준으로 작성.

(나) 토목구조물

- Revit (structure)를 사용하여 모델링.
- 각 요소별로 작업세트를 구성하여 모델링

작업세트	구 조 구 성 요 소	
Girder	거더본체	
	철근	
	강관	

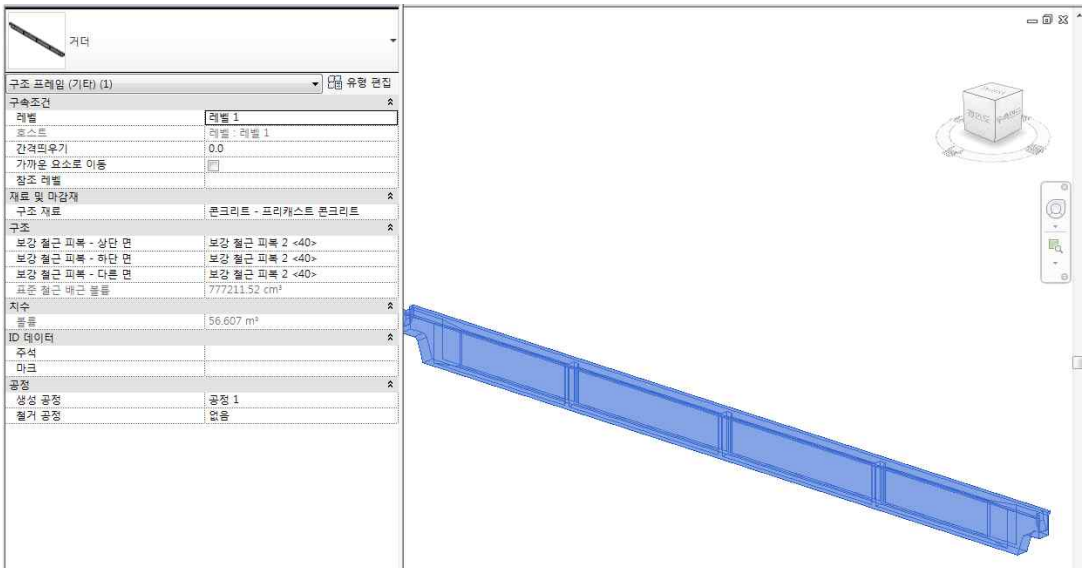
(13) BIM 데이터 입력계획 및 수행결과

(가) 구조물

① PSC 거더

- 패밀리를 이용하여 작성.
- 매개변수를 이용하여 폭, 길이, 높이, 두께 및 경사도를 작성.
- 재료 : 콘크리트의 수량산출 가능

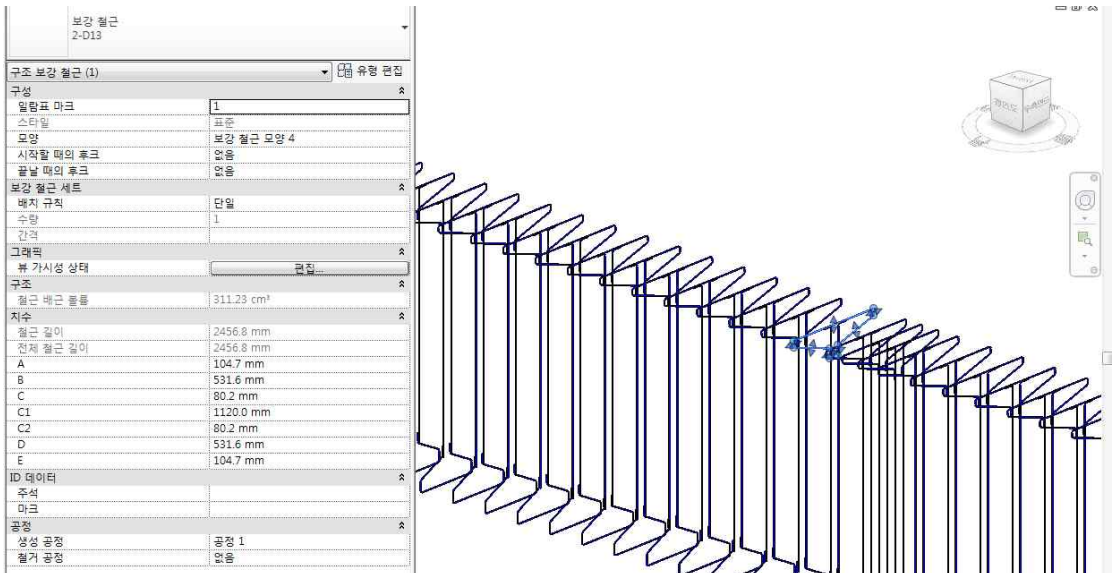
<PSC거더 BIM 모델링 패밀리 작성>



② 철근

- 패밀리를 이용하여 작성.
- 매개변수를 이용하여 길이, 후크여부, 철근규격, 구부름 산정
- 재료 : 철근 수량 산출 가능

<철근배근 패밀리 작성>



(14) BIM 데이터 적용 결과

(가) 설계조정(간섭체크)

① 개요 및 활용목적

개 요	-BIM 모델링을 통한 시각적 간섭체크 -Navisworks를 활용한 간섭체크 : 설계부정합성 와 시공성 검토을 위한 간섭 체크
활용 목적	1차 : 구조체와 철근 간섭체크 - 거더와 철근의 간섭체크 2차 : 동질재료 간섭체크 - 철근과 철근간 간섭 체크
일반 사항	- 구조물과 철근간섭을 Revit에서 1차 체크. - Navisswork에서 Revit데이터를 변환 후 간섭자동 체크 - 미세한 철근간 간섭은 시공중 조정이 가능하므로 간섭으로 미분류

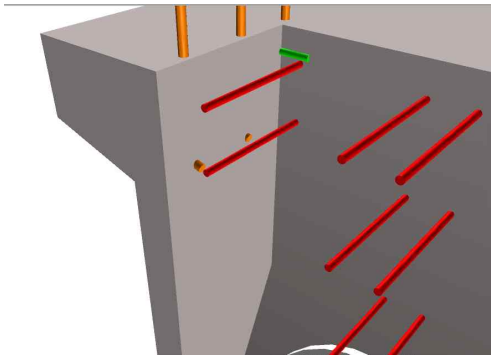
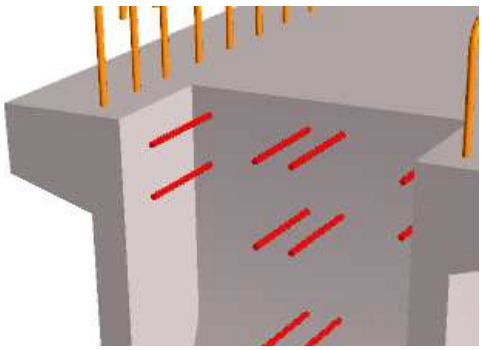
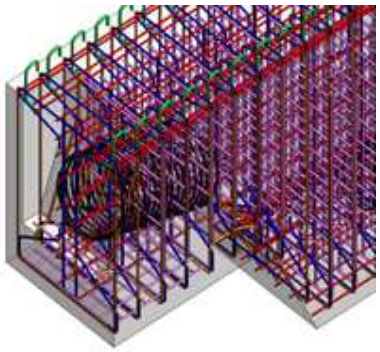
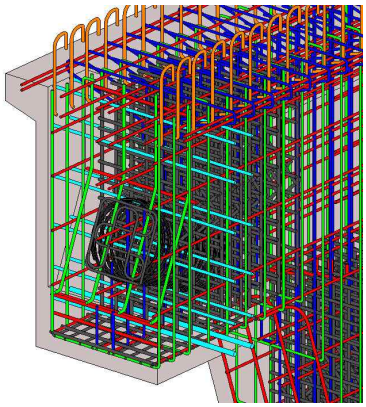
② 간섭체크 결과 및 조치 사항

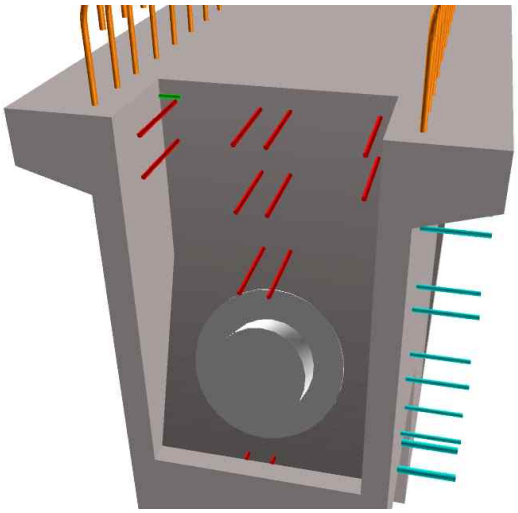
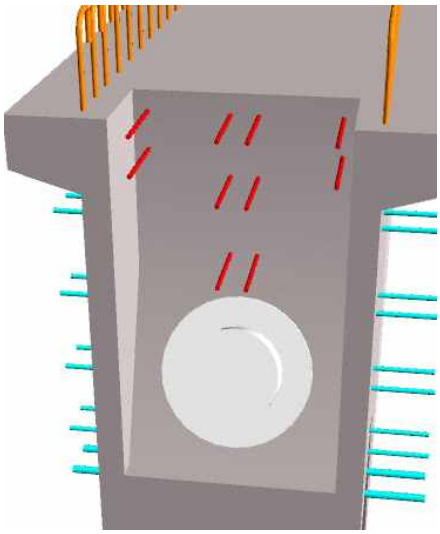
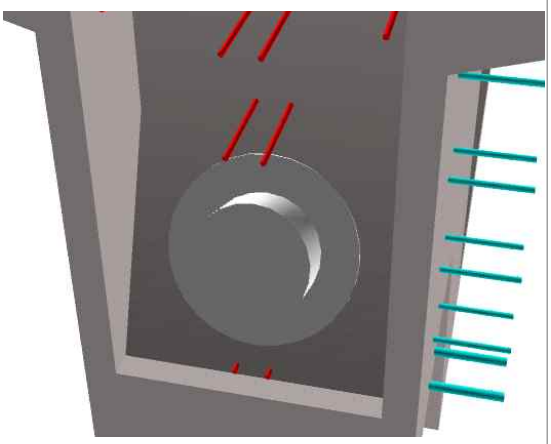
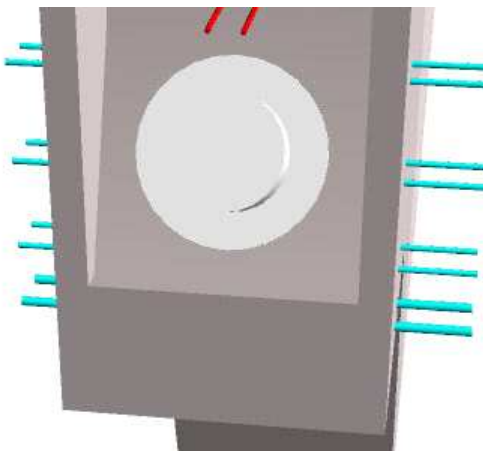
검 토 대 상	간섭 발생 갯수	조치 갯수	미조치 갯수	비고
구조물과 철근	4	4	-	
철근과 철근	34	-	34	미세 철근간섭 시공시 조정

(나) 수행절차 및 세부 검토사항

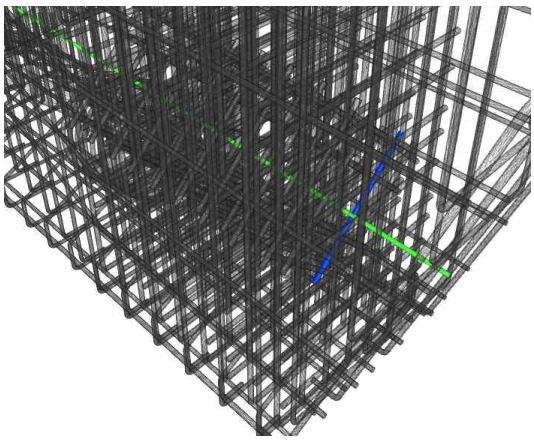
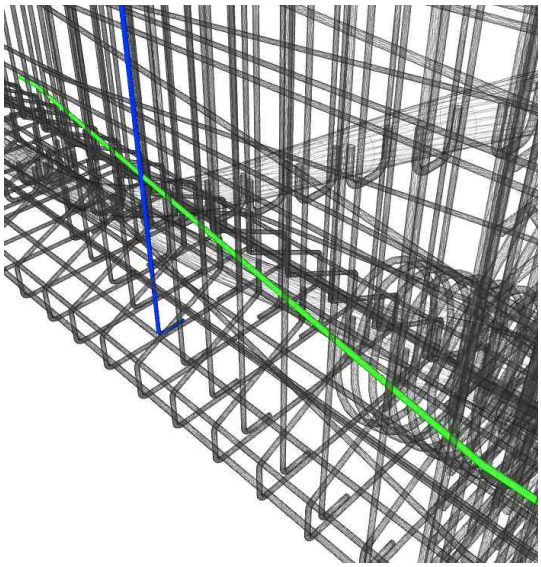
① 구조체와 철근 간섭

	요구사항 분석	검토	비고
1	구조체 형상 분석	O	
2	구조체와 철근 간섭 분석	O	

<table>
<tr><th colspan="4">수행절차</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td>위치</td><td colspan="2">거더 단부</td></tr>
<tr><td>검토</td><td colspan="2">E-D16철근 거더 노출</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 전</td><td>개선 후</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td>위치</td><td colspan="2">거더 단부</td></tr>
<tr><td>검토</td><td colspan="2">거더부 철근 노출</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 전</td><td>개선 후</td></tr>
</table>

수행절차		
3	위치	거더 단부
	검토	4-D13철근 노출
		
	개선 전	개선 후
4	위치	거더 단부
	검토	1-D13철근 노출
		
	개선 전	개선 후

② 철근과 철근 간섭

<table>
<tr><th colspan="4">수행절차</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td>위치</td><td colspan="2">거더 단부</td></tr>
<tr><td>검토</td><td colspan="2">1-1-D13과 17-D16(사보강철근)</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>현장시공시 조정</td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 전</td><td>개선 후</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td>위치</td><td colspan="2">거더 단부</td></tr>
<tr><td>검토</td><td colspan="2">5-2-D13과 4-2-d13</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td>현장시공시 조정</td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 전</td><td>개선 후</td></tr>
</table>

(15) BIM 적용 결론

- 설계도서의 입체적 검토에 의한 설계품질 향상
- 2D 설계도서를 이용한 3차원 BIM DATA 작성을 통해 2D도서의 정합성 향상
- 입체적 검토를 통해 실시단계 및 시공 단계의 오차 최소화
- 실제 시공을 고려한 모델링으로 수량 검증
- BIM 모델링을 활용한 종합적 검토
- 3차원 모델링을 통해 도면 검토가 필요한 구간의 검토
- 의사결정 및 보고에 필요한 BIM 데이터 추출
- BIM 라이브러리 구축 및 활용
- 패밀리 라이브러리 구축 및 DATA활용에 의한 실시설계단계 생산성 향상
- 라이브러리 활용에 의한 설계 변경 및 대안 검토에 대한 신속한 대응

모노텐던과 단일 정착시스템
PSC거더 설계/시공 매뉴얼

MPC 거더 제작 및 가설공사

1. 일반사항

1.1 적용범위

(1) 이 설계기준은 MPC거더(Mono Tendon Prestressed Concrete Girder)교량의 도로교 설계에 적용하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 이 설계기준의 규정은 교량의 안전성을 확보하기 위해 필요한 최소한의 요구조건을 제시한 것이다. 다만, 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자의 승인을 얻어 관련설계기준의 적용을 대체할 수 있다.

(3) 이 설계기준에 규정되어 있지 않은 사항에 대해서는 국토해양부 제정 관련 설계기준과 설계지침 등에 따른다.

1.2 용어의 정의

이 설계기준에서 용어는 다음과 같이 정의한다.

(1) MPC거더(Mono Tendon Prestressed Concrete girder)

MPC거더를 이용하여 완성한 교량

2. 재료의 허용응력 및 물리상수

2.1 허용응력

2.1.1 강재

(1) PS강재의 허용응력

PS 강재의 허용응력은 [도로교설계기준의 4.6.3.3 (1)항]의 규정된 값을 초과하지 못한다.

① 긴장을 할 때 긴장재의 인장응력은 $0.80f_{pu}$ 또는 $0.94f_{py}$중 작은 값 이하로 하여야 한다. 또한 긴장재나 정착장치 제조자가 제시하는 최대값도 초과하지 않아야 한다.

② 프리스트레스 도입 직후에 긴장재의 인장응력은 $0.74f_{pu}$와 $0.82f_{py}$중 작은 값 이하로 하여야 한다.

③ 정착구와 커플러의 위치에서 프리스트레싱 도입 직후 포스트텐션 긴장재의 응력은 $0.70f_{pu}$이하로 하여야 한다.

(2) 철근의 허용응력

철근의 허용응력, 는 [도로교설계기준의 2.2.2.4의 (3)항 또는 4.5.2.2]의 규정된 값을 초과하지 못한다.

(3) 강재의 허용응력

구조용 강재의 허용응력은, 는 [도로교설계기준 4.5.2.2]의 규정된 값을 초과하지 못한다.

2.1.2 콘크리트

콘크리트의 허용응력은 [도로교설계기준 4.6.3.3]에서 프리캐스트 부재의 설계는 일반적으로 fck=35Mpa인 콘크리트를 기본으로 하고 있다. 그리고, fck=42Mpa까지는 이 강도가 일관되게 얻어진다고 기대할 수 있는 경우에만 허용 될 수 있다. 더 높은 강도의 콘크리트가 특정구역에서 사용될 수 있으나, 이 경우 책임 기술자는 재료와 제작과정에 대한 감독을 완벽하게 하여 요구된 강도를 얻도록 해야한다. 본, MPC거더의 경우 40MPa 또는 45MPa를 적용하여 단면효율을 높였다. 최근 프리플렉스 교량등에서 45Mpa이상의 고강도 콘크리트를 적용하고 있기 때문에 충분히 소요의 강도를 얻을 수 있고 최근 시공등의 과정을 통해 적용한다.

① 프리스트레스 도입 직후 시간에 따른 프리스트레스 손실이 일어나기 전의 응력

㉮ 휨 압축응력 : $0.60f_{ci}^{'}$

㉯ 휨 인장응력 : $0.25\sqrt{f_{ci}^{'}}$

㉰ 단순지지 부재 단부에서의 인장응력 : $0.50\sqrt{f_{ci}^{'}}$

° 계산된 인장응력이 위의 ㉯ 또는 ㉰의 값을 초과하는 구역에는 비균열 단면으로 가정하여 계산된 전체 인장력을 저항할 수 있는 추가 부착강재(프리스트레스트 되지 않은 강재 또는 프리스트레싱 강재)를 인장구역에 배치하여야 한다.

② 비균열 등급 또는 부분 균열등급 프리스트레스트 콘크리트 휨부재에 대해 모든 프리스트레스 손실이 일어난 후 사용하중에 의한 콘크리트의 휨응력은 다음값 이하로 하여야 한다. 이 때 단면 특성은 비균열 단면으로 가정하여 구한다.

모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력

㉮ 압축연단응력(유효프리스트레스 + 지속하중) : $0.45f_{ck}$

㉯ 압축연단응력(유효 프리스트레스 + 전체하중) : $0.60f_{ck}$

③ 시험 또는 정밀한 해석에 의하여 안전성이 확인된 경우에는 위 ①과 ②에 규정된 허용응력을 초과할 수 있다.

④ 피로 또는 부식성 환경에 노출되어 있는 부재에 대해서는 특별한 조사와 조치를 강구하여야 한다.

⑤ 균열응력(실험으로부터 얻은 파괴계수를 사용하되 실험 자료가 없는 경우)

실험으로부터 얻은 콘크리트의 휨인장강도(파괴계수)를 사용하되, 실험 자료가 없을 경우에는 다음 값을 적용한다.

° 보통콘크리트 : $0.63\sqrt{f_{ck}}$

⑥ 정착부의 지압응력

부재 단부에 적절한 철근을 배치한 포스트텐션 부재의 정착장치에 의해 발생되는 콘크리트의 지압응력은 다음 값 이하로 하여야 한다.

° 긴장재 정착 직후 : $0.70 f_{ci}^{'} \sqrt{\frac{A_b^{'}}{A_b}} - 0.2 \leq 1.10 f_{ci}^{'}$

° 프리스트레스 손실 발생 후 : $0.50 f_{ck} \sqrt{\frac{A_b^{'}}{A_b}} \leq 0.90 f_{ck}$

2.2 물리상수

2.2.1 강재

표 2.1 설계계산에 사용되는 강재의 물리상수

종 류	물리상수의 값
강과 주강의 탄성계수	205,000 MPa
철근의 탄성계수	200,000 MPa
PS강선, PS강연선, PS강봉의 탄성계수	200,000 MPa
강의 전단탄성계수	79,000 MPa
강과 주강의 포아송비	0.30

표 2.2 PC강재의 겉보기 릴랙세이션률(%)

PS강재의 종류	겉보기 릴랙세이션률
PS강선, PS강연선	5
PS강봉	3

2.2.2 콘크리트

① 콘크리트의 할선탄성계수는 콘크리트의 단위질량 m_c의 값이 1,450~2,500kg/m^3인 콘크리트의 경우 다음 식에따라 계산한다.

$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}}$ (MPa)

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + 8$

② 다만, 보통골재를 사용한 콘크리트(m_c=2,300kg/m^3)의 경우는 다음 식을 이용할 수 있다.

$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}}$ (MPa)

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + 8$

③ 크리프 계산에 사용되는 콘크리트의 초기접선탄성계수와 할선탄성계수와의 관계식은 다음과 같다.

$E_c = 0.85 E_i$

④ 콘크리트의 전단탄성 계수는 다음 식을 따른다.

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

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수 (MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수 (MPa)

ν : 포아송비

⑤ 콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6로 가정한다.

⑥ 콘크리트의 크리프와 건조수축은 각각 [도로교설계기준 4.2.3.3] 및[도로교설계기준 4.2.3.4]의 규정에 따른다.

3. 구조상세

3.1 바닥판

바닥판의 설계는 [도로교설계기준(2010) 4.7의 규정]에 따른다.

3.2 가로보 및 격벽

(1) 1경간에 1개소 이상 또 15m이하의 간격으로 중간에 가로보를 설치하는 것을 원칙으로 한다.

(2) 사각이 45° 미만인 경우 가로보를 주거더의 직각방향으로 두지만 이 때 비틀림 변형에 대한 충분한 검토가 필요하다. 또 사각이 45° 이상인 경우 가로보는 받침선에 평행하게 설치하는 것이 좋다.

3.3 주거더와 바닥판의 연결

(1) 전단연결재의 철근 지름은 13mm 이상이라야 한다.

(2) 전단연결재의 철근 중심 간격은 합성플랜지의 평균두께의 4배 이하, 600mm 이하라야 한다.

(3) 전단연결재의 철근량은 [도로교 설계기준 4.6.3.8]의 규정에 따른 최소량 이상이라야 한다.

4. 제작 및 가설

4.1 제작흐름도

MPC거더의 제작 및 가설은 아래와 같은 절차에 따라서 진행된다.

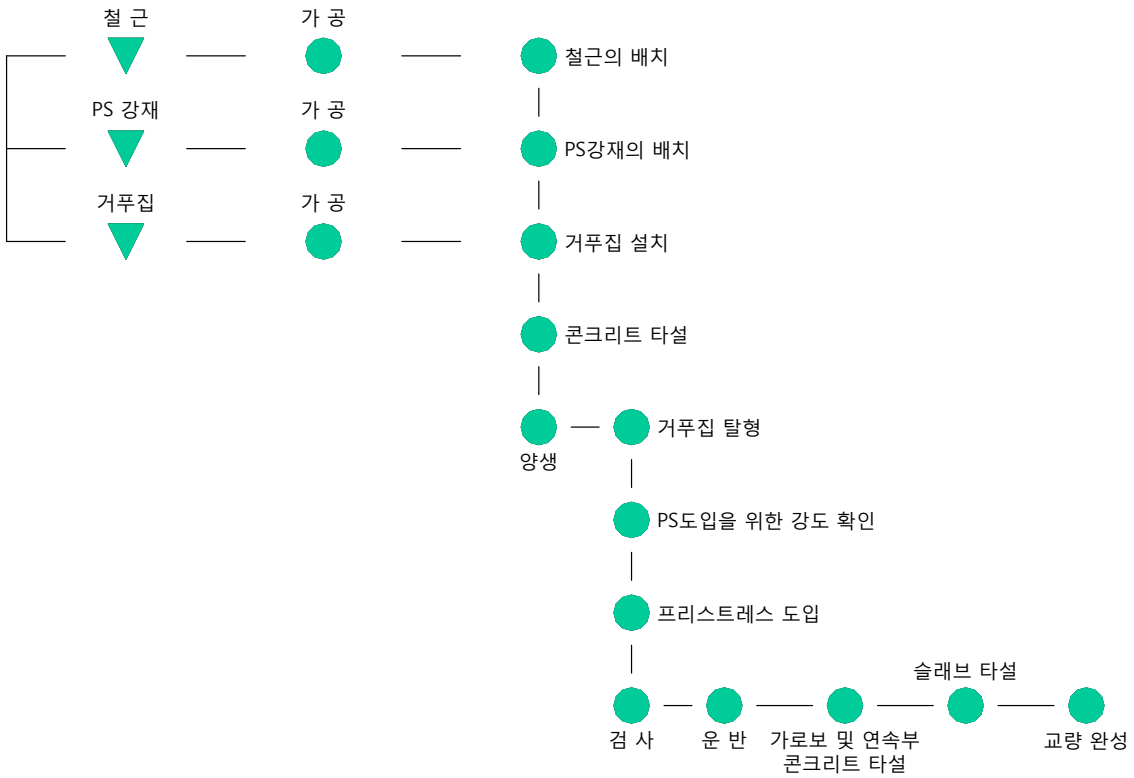


그림 4.1 제작 시공순서도

4.2 제작장 및 제작대

4.2.1 제작장의 요건

① 거더 제작과 야적을 위한 충분한 면적을 확보해야 한다.

② 배수가 잘되는 자갈 모래층으로 다짐한 후 석분이나 모래층으로 5-10Cm로 다짐을 하고, 제작장 좌우 편차가 BEAM길이의 5%이내로 하여 종방향 배수를 원활히 한다.

③ 제작중 지반의 부등침하가 발생하지 않는 충분한 지반지지력을 유지한다.

④ 제작된 거더의 반출이 용이한 곳이라야 한다.

⑤ 홍수위(H.W.L) 이상의 안전한 곳이라야 한다.

4.2.2 거더 제작대

거더 제작대는 중앙부와 단부 절취부를 고정할 수 있는 지지대와 고정장치로 구성되어 있어, 거푸집의 횡방향 변위 및 콘크리트의 합성제작에 유용한 구조로 한다.

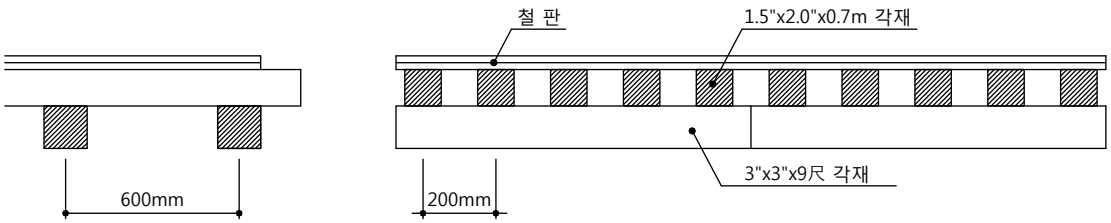


그림 4.2 제작대 구성

① 받침목에 부등침하가 발생하지 않도록 ROLLER로 다지고 평탄성을 유지해야 한다.

② 제작대는 횡방향 간격은 작업자가 충분히 통행할 수 있고 거푸집 조립 및 해체시 장애가 되지 않도록 충분한 간격과 수평을 유지한다.

③ 거더의 종방향은 인장 장비가 충분히 작업할 수 있는 간격을 유지한다.

④ 제작된 순서대로 사용할 수 있도록 운반공간을 확보한다.

⑤ 단부지지대가 놓이는 위치의 지반은 긴장시 수직하중이 집중되는 곳이므로, 이에 대한 기초의 지지력을 확보한다.

⑥ 단부 절취부는 견고하게 고정하여 작업하중에 의한 변형이 없도록 해야 한다.

4.3 거더제작

4.3.1 철근 가공 및 조립

① 철근가공

㉠ 철근은 설계도에 나타난 형상 및 치수에 일치하도록 하여야 하며 재질이 저하되지 않는 방법으로 가공하여야 한다.

㉡ 철근 가공시 철근 절단용 후커(Hooker), 바벤더(Bar Bander)로 절단해야 하며, 절대로 산소 절단기나 열을 가하는 공구는 사용해서는 안된다.

㉢ 철근의 저장은 흙이나 기름에 묻지 않게 보관해야 한다.

② 철근조립

㉠ 철근은 조립하기 전에 깨끗이 청소하고 철근의 이음 위치가 한곳에 집중되지 않도록 바른 위치에 배치하며 콘크리트를 타설할 때 움직이지 않도록 충분히 견고하게 조립해야 한다.

㉡ 철근 조립이 끝난 후에는 반드시 감독원의 확인을 받아야 한다.

㉢ 거더의 철근 피복을 유지하기 위한 간격재 설치는 콘크리트 타설시 이탈되지 않도록 견고하게 설치해야 한다.(거푸집에 접하는 고임대 및 간격재는 콘크리트 제품 또는 모르타르 제품을 사용하는 것을 원칙으로 한다.)

㉣ 정착부(Anchorage end block)는 응력집중부로 철근 조립시 설계도상의 형상 및 치수에 일치되도록 주의해야 한다.

③ 철근의 이음

㉠ 철근의 이음은 한 곳에 집중적으로 해서는 안된다.

㉡ 철근의 이음은 지그재그 식으로 연결해야한다.

㉢ 철근은 장래의 이음에 대비하여 구조물로부터 노출시켜 놓은 철근은 덮개를 설치해야 한다.

㉣ 철근의 이음은 직접이음 및 간접이음이 있다.

- 직접이음 : 용접이음 , 나사이음 , Sleeve이음
- 간접이음 : 결속선이음 , 겹이음(Lap Splice), 모샬용접

4.3.2 PS강재 배치

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

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

③ PS강재 배치가 끝나면 반드시 검사를 하여 파손, 위치의 변동을 수정해야 한다.

④ PS강재 및 정착장치의 배열, 위치, 정착상태 등은 반드시 감독원의 검측을 받아야 하며, 시정요구가 있을시 지체 없이 시정보완 하여야 한다.

⑤ 정착장치는 도면과 일치하도록 배치하고 튼튼히 고정시켜서, 콘크리트 타설 중에 움직

이지 않도록 해야 한다.

⑥ 삽입 전 PS강재의 단부는 용접이나 열에 의한 절단 등으로 변형이 발생하지 않도록 해야 한다.

⑦ 고정정착부의 강연선 고정여부는 콘크리트 타설 전 필히 확인해야한다.

4.3.3 정착장치 및 접속장치의 조립 및 배치

① 정착장치 및 접속장치는 설계도에 표시된 형상 및 치수와 일치되도록 조립하고 위치 및 그 방향을 바르게 배치하여야 한다.

② 정착장치의 지압면은 PS강재와 직각이 되도록 설치해야 한다.

③ 정착장치 및 접속장치의 배치가 끝나면 반드시 검측을 하고 파손부위는 교체하고 위치가 변동된 부분은 교정 하여야 한다.

4.3.4 거푸집 설치

① 모르타르가 새어나가지 않도록 거푸집 판의 모든 이음부는 시공관리를 철저히 하여야 한다.

② 거푸집은 부재의 수축에 대한 저항을 최소화하는(수축할 때는 저항하지 않는)구조로 되어야 한다.

③ 거푸집은 소정의 강도와 강성을 갖도록 하여 완성된 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 위치, 형상 및 치수가 바르게 되도록 제작되어야 한다.

④ 거푸집은 공사중에 받는 연직방향 하중, 횡방향 하중 및 콘크리트의 측압 등을 생각하여 유해한 변형, 침하를 일으키지 않도록 충분히 견고하게 시공해야 한다.

⑤ 거푸집 사용재료는 강도, 강성, 내구성, 작업성 등 콘크리트 부재에 악영향을 주지 않는 구조이어야 한다.

⑥ 거푸집은 조립과 떼어내기가 쉽고 몰탈이 새지 않으며, 프리스트레싱을 할 때 콘크리트 부재에 악영향을 주지 않는 구조이어야 한다.

⑦ 거푸집은 필요에 따라 적당한 솟음을 주어야 한다.

⑧ 거푸집은 콘크리트를 치기 전에 조립치수 및 표면마무리 상태에 대해 감독원의 검사를 받아야 한다.

⑨ 특수거푸집 사용에 있어서는 감독원의 승인을 받아야 한다.

4.3.5 콘크리트 타설

(1) 타설 준비

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

② 콘크리트를 타설하기 전에 운반장치, 타설 장비 및 거푸집 안을 청소하여 콘크리트 속에 잡물이 혼입되는 것을 방지해야 한다. 콘크리트가 닿았을 때 수분이 흡수될 염려가

있는 곳은 미리 습하게 해 두어야 한다. 다만, 습기를 지나치게 주어서 수분이 고이지는 않도록 주의해야 한다.

③ 감독원이 거푸집, 철근, 마개, 정착장치 및 강재의 배치, 내부 청소상태 등을 검사하여 승인하기 전에는 콘크리트 타설을 해서는 안된다.

④ 시공자는 진동 다짐시 철근, 강선 등의 위치가 이탈되지 않도록 주의하여야 하며 타설 전에 고정정착구의 강연선 고정결속 여부를 반드시 확인해야 한다.

(2) 타설 작업

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

② 타설된 콘크리트를 거푸집 안에서 횡 방향으로 이동시켜서는 안 된다.

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

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

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

⑥ 콘크리트를 타설하는 시간은 거더 당 2시간 이내로 시공 관리하여 타설 시간 차이로 인하여 발생할 수 있는 문제점 즉, 이미 굳은 콘크리트에 미칠 수 있는 타설진동 및 다짐진동에 의한 충격 등을 방지하여야 한다.

(3) 다지기

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

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

③ 콘크리트를 나누어 타설할 때에는 진동기를 아래층의 콘크리트 속에 100mm정도 찔러 넣어야 한다.

④ 내부 진동기의 찔러 넣는 간격은 일반적으로 500mm 이하로 하는 것이 좋으며 한 장소에서의 진동시간은 콘크리트를 충분히 잘 다질 수 있도록 1개소당 5~15초로 한다. 또, 진동기는 콘크리트로부터 천천히 빼내어 구멍이 남지 않도록 해야 한다.

⑤ 재 진동을 할 경우에는 콘크리트에 나쁜 영향이 생기지 않도록 초결이 일어나기 전에 실시해야 한다.

(3) 양생관리

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

손상을 받지 않도록 보호해야 한다.

② MPC거더의 콘크리트의 양생은 증기양생을 원칙으로 한다. 증기양생 외 특별한 양생방법을 사용하고자 할 때, 도급자는 감독원의 승인을 받아야 한다.

③ 시험용 공시체는 압축강도 관리 시험시 수조(표준)양생과 현장(실외)양생으로 별도로 관리하여야 하며 아래와 같은 조건으로 양생하여야 한다.

- 표준양생은 KS F 2403(콘크리트강도 시험용 공시체 제작방법)에 준하며, 현장양생은 KS F 2404(현장에서 콘크리트의 압축 및 휨강도시험용 공사체를 제작하고 양생하는 방법을 따른다.

  압축강도에 의한 콘크리트의 관리는 일반적인경우 조기재령의 압축강도에 의한다. 이 경우 공시체는 구조물의 콘크리트를 대표하도록 채취한다.
- 콘크리트 관리에 사용할 압축강도 1회의 시험값은 일반적인 경우 동일배치에서 취한 공시체 3개의 압축강도 평균값으로 한다.
- 시험하기 위하여 시료를 채취하는 시기 및 횟수는 일반적인경우 하루에 타설하는 콘크리트마다 적어도 2회 또는 구조물의 중요도에 따라 연속하여 타설하는 콘크리트 20~100㎥ 마다 2회로 한다.

표 1-3 MPC거더 콘크리트 치기 시 공시체 제작과 양생

구 분	공시체의 수	양 생 방 법	비고
콘크리트 타설시	3	부재와 같은 양생 (현장양생)	
28 압축강도 시험	3	표준양생 (수조양생)	
계	9		

④ 증기양생의 경우 콘크리트를 타설 한 후 초기경화 시작 때부터 3시간이 경과한 후 증기를 시작해야 하며, 지연제를 사용했을 경우엔, 4~6시간이 경과한 후 증기를 가하기 시작해야 한다.

⑤ 증기는 시멘트의 경화에 필요한 수분을 공급하기 위해 상대습도가 100%가 되어야 하고, 증기가 콘크리트에 직접 닿지 않도록 하며, 주위의 온도상승은 최대온도 60℃~70℃가 될 때까지 시간 당 20℃를 넘지 않도록 하여야 하며, 콘크리트가 소요강도에 도달할 때까지 이 최고온도를 계속 유지해야 한다.

⑥ 증기양생 시 온도상승 및 하강의 시간당 온도변화는 15℃이하로 하고 최고 양생온도는 40~60℃가 계속 유지되도록 한다.

(4) 거푸집 탈형 및 적치

① 거푸집 탈형시 콘크리트의 압축강도는 최소 14 MPa 이상이 되어야 한다.

② 거푸집 탈형시 콘크리트에 손상이 가하지 않도록 유의하여야 한다.

③ 적치 할 지면의 상태는 미리 정지 및 충분한 다짐이 되어 있어야 하며 긴장 시 장비운용 및 시공이 용이하도록 적치간격을 유지하여야 한다.

④ 거더 받침대 및 기초지반은 부등침하가 일어나지 않도록 설치해야 한다.

4.3.6 PS강재의 인장작업

(1) 일반사항

① PS강재는 규격에 따른 생산제조회사로부터 시험에 관한 시험성과표를 받아 그것을 기준으로 인장관리를 실시하는 것이 원칙이나, 그렇지 못할 경우는 KS D7002B SWPC 7D ∅15.2mm의 표준규격에 준하여 인장관리계획서를 작성하고, 추후 현장에서 시험인장을 실시하여 차이가 발생할 때는 이를 수정 보완해야 한다.

② 프리스트레싱 장치의 검정은, 다이나모미터 또는 쌍침식 표준게이지로 실시한다.

③ 마찰손실계수 κ, μ값은 현장실측 결과에 따라 인장 관리시 보정하고, 기본적인 인장 관리 계획서는 관련시방규정에 정해진 값 또는 제조회사에서 제공하는 값을 기준으로 한다.

④ 프리스트레스의 도입 시기는 콘크리트의 압축강도가 프리스트레싱 직후에 콘크리트에 발생하는 최대압축응력 1.7배 이상이 될 때이며, 특별히 규정되지 않는 한 부재의 양생조건과 동일한 상태에서 양생시킨 공시체에 대한 압축 강도가 27 MPa이 될 때까지 콘크리트에 힘을 가하지 않아야 한다.

⑤ 프리스트레싱의 관리는 하중계의 지시도 및 PS강재의 늘음량에 의해 관리하는 것을 원칙으로 하고, 그의 관계가 직선으로 되어있는 것을 확인하여야 한다. 하중계의 지시도와 PS강재의 늘음량의 관계가 직선으로 되지 않을 경우에는 프리스트레싱 중의 특정점을 잘못 읽었거나 하중계의 이상이 발생한 경우 등으로서 이와 같은 경우에는 프리스트레싱의 결과에 대한 신뢰성이 떨어지고 프리스트레싱의 관리에 나쁜 영향을 주게 되므로 몇 번의 긴장작업을 되풀이해서 긴장재의 늘음량과 하중계의 지시도의 관계가 안정된 후에 정착을 실시한다.

⑥ 긴장청착부의 정착이 끝난 PS강재는 정착구 헤드면으로 부터 15~20mm정도 여유길이를 두고 절단하여 1 : 3 모르타르 마감면 밖으로 강연선이 돌출되지 않도록 하여야 한다.

⑦ PS강재의 인장순서 및 인장력은 설계도면을 참고하여야 하며, 인장 작업 전 인장 계획서를 작성하여 감독원의 승인을 득한 후 시행한다.

⑧ 작업안전을 위하여 다음 사항에 대하여 반드시 점검·확인하여야 한다.

가. 안전관리항목	나. 관 리 내 용
다. P.S Cable의 해체	라. .코일상태로 감긴 케이블의 강철띠를 절단할 때 케이블의 반발에 의한 안전사고에 주의할 것
마. 인장중의 안전	바. .인장 작업 중에는 양단의 케이블 배후에 적절한 방호설비를 설치하여야 한다. 사. .인장 작업 중에는 케이블 정면이나, 유압펌프 가까이 접근하지 않도록 주의한다.
아. 인장장치의 전원에 의한 감전방지	자. .캡타이어 코드의 손상 점검 차. .배선 결선 상태 점검
카. 고압호스의 점검	타. .인장 작업전에 고압호스의 손상, 접속의 이상 및 Oil이 새는가 점검 하여야 한다.
파. 정착구 점검	하. .정착판 Wedge의 단부가 평탄하고, 균일하게 삽입되도록 링(Ring)의 이탈여부 확인 거. .P.S Strand가 뒤틀리지 않도록 정착구를 설치할 것
너. 인장기의 설치	더. .쉬스와 인장기의 중심이 일치되었나 점검 러. .인장기에 압력이 가해질 때마다 인장기에 매달린 줄을 풀어줄 것
머. 오일펌프 조작	버. .급격히 가압하거나 감압하지 말 것

(2) 긴장 시 주의사항

① PS강재의 긴장순서는 설계도면 및 구조계산서를 참조하여 고려된 순서대로 긴장하여야 한다.

② PS강재에 대한 긴장작업 시행 전 긴장기에 대한 Calibration을 실시한다.

③ 긴장은 양단긴장으로 하며, 탄성수축을 최소화 할 수 있는 방법으로 양단긴장으로 동시에 1대씩의 유압기를 사용하여도 좋다.

④ 긴장시 도입되는 긴장력과 PS강재 신장량을 측정하여 긴장 관리도 상에서 관리토록 하며 하중계의 지시도와 신장량의 직선관계를 확인한다.

⑤ 긴장시 긴장잭의 뒷부분에서 작업을 피하고 옆에서 작업할 수 있도록 반드시 안전조치를 취해야 한다.

⑥ 잭을 정착구에 설치한 후 매 10MPa 압력마다 잭의 램(ram) 길이를 측정하여야 한다.

⑦ 긴장 종료 후 솟음량을 측정하여 계산치와 비교, 이상 유무를 확인한다.

(3) PS강재의 긴장관리

① PS강재의 긴장관리 방법은 긴장력과 신장량에 의해 관리하는 방법과 마찰계수에 의해 관리하는 방법 2가지가 있으며, 긴장력과 신장량에 의해 관리하는 방법을 추천한다.

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

a. 압력을 기준으로 긴장을 실시한다.

b. 신장량을 ±5%를 기준으로 관리한다.

c. 설계 긴장력에 못미쳐서 신율이 100%나온 경우 중단하지 말고 설계 긴장력까지 인장한다.

d. 긴장시 PS강재의 긴장력은 0.9fpy 값을 넘지 않도록 미리 한계선을 파악하여 과도긴장이 되지 않도록 한다.

e. 긴장 시 설계 긴장력의 약 75%까지 긴장 후 거더 내에서 처짐에 의해 늘어난 양을 계산하여 보정하고, 설계 긴장력까지 긴장하여 신장량을 체크하고 설계 신장량과 비교한다.

f. 신장률이 허용오차범위를 벗어났을 경우 허용오차 이내로 들어오도록 긴장력을 보정하여 긴장을 실시한다.

③ 마찰계수에 의한 관리 방법은 (그림7-1.프리스트레싱관리도 참조)다음과 같다.

a. PS케이블 1개마다 관리도를 작성하여 인장관리 한다.

b. 인장관리 기준(마찰계수 상, 하한치)을 산정하여 설계 계산상의 PS케이블의 멈춤점(A점 및 B점)을 플롯하여 A점 및 B점을 잇는 AB선을 케이블의 멈춤선으로 한다.

c. 실제의 케이블의 멈춤점은 프리스트레싱 중에 측정된 하중계의 지시도와 늘음량과의 관계를 플롯해서 얻은선 O'C'선을 원점인 O점과 일치하도록 평행이동시켜 이선(OC선)과 멈춤점과의 교점을 C로 한다.

d. 단, 멈춤점(C점)은 PS강재의 허용응력 범위를 넘지 않아야 한다.

e. 케이블 1개마다의 프리스트레싱의 관리는 멈춤점이 케이블 1개마다의 관리한계내(상한선U,C,L과 하한선L,C,L)에 들어가도록 하지 않으면 안된다.

f. 긴장관리도에서 구한 마찰계수를 채용한 경우 PS케이블 1개마다의 마찰계수의 관리한계는 일반적으로 μ의 평균값이 ±0.4로 하면 된다.

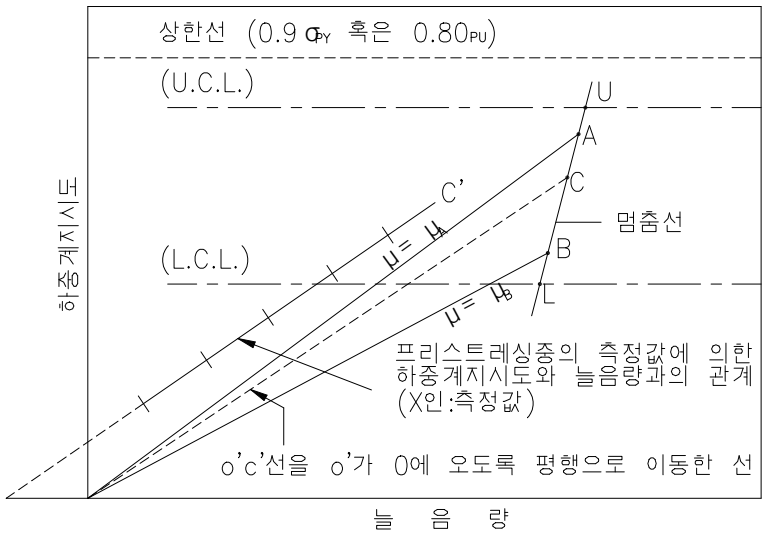


그림 4.3 늘음량

4.4 가설시 주의사항

(1) 프리스트레스트 콘크리트 거더는 감독원이 승인한 공구와 장비 및 방법에 의하여 도면에 표시된 위치에 정확히 설치하여야 한다.

(2) 프리스트레스트 콘크리트 거더의 온도가 가설시에 +5℃이하이거나 +15℃이상일 경우, 네오프렌(Neoprene) 지압판이 변화될 수 있으므로 거더를 가설하기 전에 충분한 조치를 취하여야 한다.

(3) 거더 하부에는 안전망을 설치하여 낙하물로 인한 안전사고를 사전에 예방할 수 있도록 충분한 안전조치를 취하여야 한다.

(4) 거더의 특성상 전도가 발생하지 않으므로 거더 설치시 최소한의 전도방지설비를 설치하고, Cross Beam 철근을 연결 조립한다.

(5) 거더를 가설한 후 슈고정용 볼트는 반드시 체결해야 한다.

(6) 가설중인 교량하부의 차량통행 및 중기의 작업을 철저히 통제해야 하며, 도급자는 가설시 안전요원을 2인 이상 상주토록 해야 한다.

(7) 운반 및 가설시는 현장조건에 따라 사용장비, 운반로 가설방법 및 순서 등을 고려하여 계획한다.

4.5 기타 사항

(1) 기 제작된 부재를 저장, 인상, 취급할 때에는 균열이나 파손을 입지 않도록 각별 주의하여야 한다.

(2) 거더 받침대는 견고히 하여 부등침하가 일어나지 않도록 설치해야 한다.

(3) 거더콘크리트 타설시 바람 등에 전도되지 않도록 횡방향 지지대를 설치해야 한다.

(4) 직사광선을 피하고 방풍이 잘 되도록 해야 하며, 전단철근 및 Cross-Beam의 노출 철근이 녹슬지 않도록 보호해야 한다.

모노텐던과 단일 정착시스템
PSC거더 유지관리 매뉴얼

posco posco 포스코건설

(주)동성엔지니어링 DONGSUNG ENGINEERING CO., LTD.

nSB 혜동브릿지㈜

1. 시설물의 제원 및 기능

1.1. 제 원

1.1.1 형　식 : MPC PSC 거더교

1.1.2 사용재료

- CON`C : fck = 40MPa or 45MPa (MPC Girder)
  fck = 27MPa (SLAB)
- RE-BAR : fy = 400MPa (MPC Girder, SLAB)

1.2. 기　능

1.2.1 정　의

MPC 거더교는 거더 단부 절취로 무게중심을 하향시켜 전도저항을 증대하고 전도방지시설 미설치에 따른 공기 단축과 모노텐던 강연선을 멀티로 긴장시켜 균등한 인장력을 도입하고 강연선의 편심량을 극대화하여 구조적 효율성, 시공성 및 경제성을 동시에 추구한 프리스트레스트 콘크리트 거더 형식이다.

1.3. 관련기준

본 지침에서 정하지 않은 사항들은 다음 기준이나 법규를 따른다.

(1) 도로교 설계기준, 도로교 표준시방서
(2) 콘크리트 구조설계기준
(3) 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 그 시행령
(4) 국토해양부가 발행하는 교량 관련 각종 요령 및 지침

2. 점검장비

점검에 사용하는 점검 장비는 일상적 휴대장비, 접근장비, 비파괴 점검장비로 구분된다. 각 단계별 사용 장비는 다음과 같다.

(1) 일상점검
일상 점검 시에는 일상적 휴대장비 및 간단한 접근장비를 이용한다.
(2) 정기점검
정기 점검 시에는 일상적 휴대장비, 접근장비 및 간단한 비파괴 점검 장비를 이용한다.
(3) 긴급점검

긴급 점검 시에는 일상적 휴대장비, 접근장비 및 비파괴 점검 장비를 이용한다.

(4) 정밀 안전진단

정밀 안전 진단 시에는 일상적 휴대장비, 접근장비, 비파괴 점검 장비 및 각종 정밀 계측장비를 이용한다.

(5) 추적조사

추적 조사 시에는 비파괴 점검 장비 및 계측장비를 이용한다.

표 2.1 점검장비 및 시험

점검내용 \ 점검장비			점 검 장 비
휴 대 장 비			망원경, 확대경, 손전등, 카메라, 필기도구(흑판, 분필, 매직펜), 줄자, 균열경, 교통규제 기구 등
접 근 장 비			사다리
			점검차(굴절차)
비파괴장비	콘크리트손상탐사장비	콘크리트 강도 측정	슈미트햄머, 초음파 탐사기
		콘크리트 균열 및 결함 탐사	초음파 탐사기, 음파 탐사기(AE법),적외선 카메라
		철근 탐지	페코미터, 방사선 투과기
		철근부식 탐지	부식 측정기

3. 시설물 유지관리 지침

3.1. 적용 범위

이 지침서는 MPC 거더교량 유지관리를 시행함에 있어서 관리방법, 일상유지 보수공법 등의 내용에 대하여 체계적이고 일괄적인 운용을 도모하기 위하여 필요한 일반적이고 기본적인 사항을 규정한다.

3.2. 유지관리의 목적

시설물의 유지관리란 건설된 시설물(MPC 거더교량)이 제 기능을 유지하기 위하여 수시점검, 일상점검 및 정기점검을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고, 손상된 부분을 원상 복구하여 당초 건설된 상태로 유지함과 동시에 경화시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 추가시설을 함으로써 이용자의 편의와 안정을 도모하기 위한 목적으로 시행하는 것이다.

3.3. 유지 관리 개요

시설물의 결함은 계획, 설계, 제작, 시공 및 감리, 시설물의 이용, 청소 및 점검 장비와 시설 등의 유지관리 단계를 거치면서 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 발생하는 것이므로 유지관리단계에서는 물론 계획, 설계 및 시공단계에서도 유지관리를 염두에 두고 행하여야 한다.

시설물의 유지관리 체제는 다음의 제반사항을 추구함으로써 순차적으로 구축한다.

(1) 유지관리 담당자에 대한 시설물 보전의 정확한 정보제공
(2) 공사상의 하자에 대한 신속하고 적합한 대응
(3) 유지관리 업무에 관한 제반 기준의 확립
(4) 유지관리 활동에 대한 지원체제의 정비
(5) 시설물의 신뢰성 확보
(6) 시설물에 대한 수명주기의 비용 개념을 도입

3.4. 유지관리의 자세

시설물의 유지보수 업무에 종하는 자는 항상 다음과 같은 자세로 업무에 임하여야 한다.

(1) 시설물의 결함이나 파손을 초래하는 요인을 사전조사로 발견하여 미연에 방지토록 한다.
(2) 시설물의 결함이나 파손은 조기발견하고 즉시 조치하여 파손이 확대되지 않도록 한다.
(3) 이용편의에 있어서 제한 및 장애를 최대한 적게 한다.
(4) 안전을 최우선으로 하여 모든 작업을 시행한다.
(5) 면밀한 작업계획 수립에 의해 최대의 작업효과를 가져오도록 하여 예산낭비의 요인이 없도록 한다.

3.5. 유지관리의 방침수립

시설물의 유지관리 업무를 효과적이고 적합한 방법을 통하여 경제적으로 수행하기 위해서는 다음과 같은 운영방침을 수립해야 한다.

(1) 시설물에 대한 지속적인 점검과 사전정비를 효과적이며 체계적인 방법으로 실시하여 시설물의 기능을 보존하고 이용자의 안전과 편의를 도모하도록 한다.
(2) 주시설의 관리를 최우선으로 하고, 부속 시설물도 예방정비를 철저히 시행하여 시설물의 피해가 확대되는 것을 방지한다.

(3) 시설물 정비를 효과적으로 수행하기 위하여 보수의 타당성을 사전에 충분히 판단한 후 적정한 규모와 경제적인 방법으로 적기에 시행한다.

(4) 예산 집행상 차질이 없도록 명확한 년, 월, 주간 작업계획 하에 일일 인력동원, 자재투입, 작업운영 등 철저한 작업계획을 수립하여 예산낭비 요인이 발생하지 않도록 한다.

(5) 작업원의 이직현상과 동원의 어려움을 해소하고 능력 있고 성실한 필수작업 요원들을 고정 확보하여 운영할 수 있도록 하는 유지관리반의 정예화가 필요하다.

(6) 기존시설에 대하여 새로운 방법에 의한 개량과 규격 및 기준을 변경할 때는 현재 시행되는 모든 기준에 부합 되어야 하며, 관리책임부서 및 관련기관과 협의 후 조치한다.

3.6. 유지관리 절차

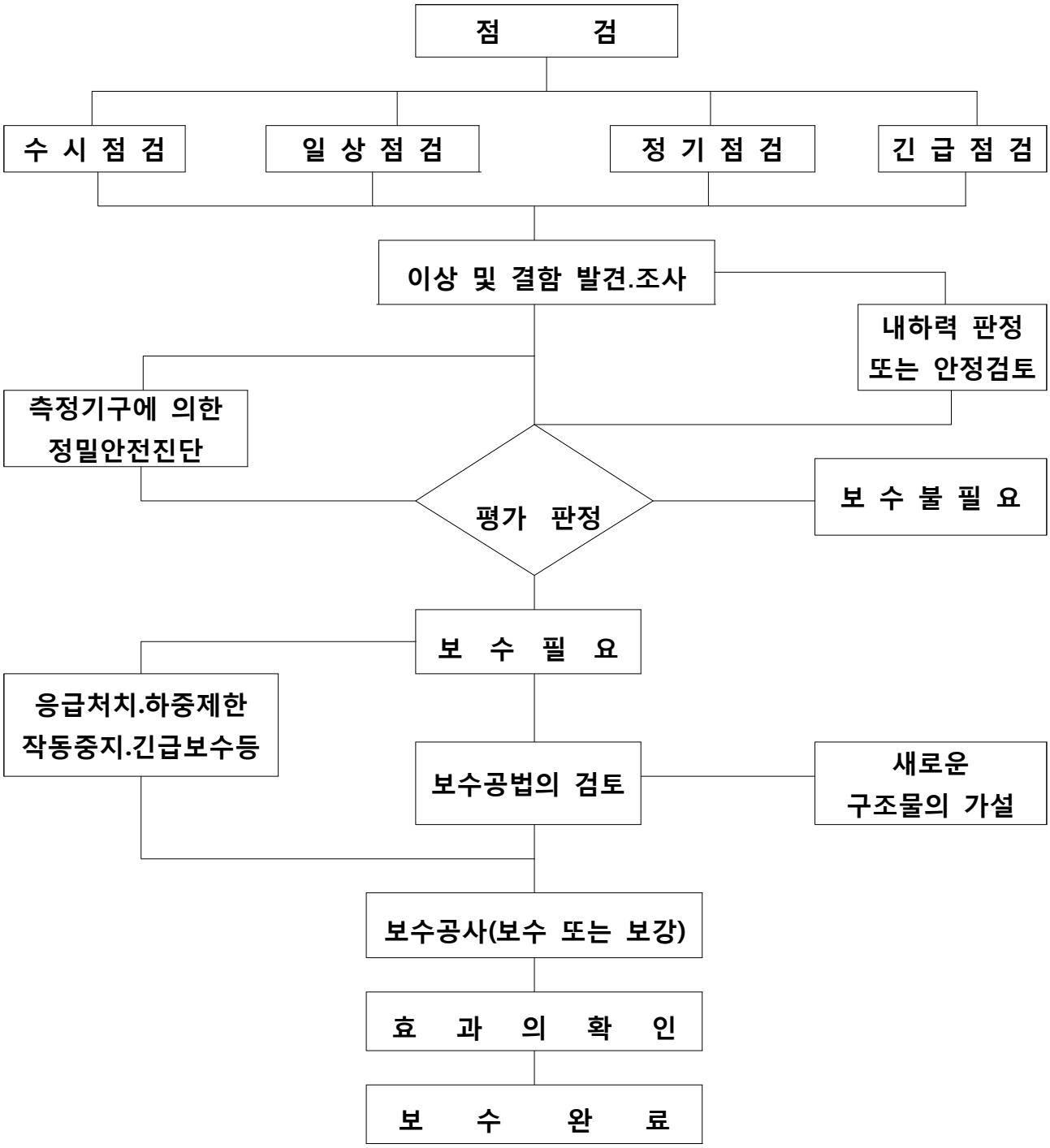


그림 3.1 각종 시설물의 유지관리 절차

3.7. 점검 시기

⑴ 수시 점검 : 1일 점검 또는 관리주체가 필요하다고 판단 할 때

⑵ 일상 점검 : 분기별 1회 이상 실시

⑶ 정기 점검 : 교량 매년 1회 이상
- 건축물 - 3년에 1회 이상
- 기타시설물 - 2년에 1회 이상

⑷ 긴급 점검 : 관리주체가 필요하다고 판단할 때 또는 관계행정기관의 장이 필요하다고 판단하여 관리주체에게 긴급 점검을 요청 할 때

⑸ 정밀 안전 진단 : 관리주체가 필요하다고 인정한 경우에 실시한다. 또,"시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령"이 정하는 시설물은 정기적으로 실시한다.

4. 균열조사 및 보수 대책

4.1. 목 적

구조물의 안전성과 사용성 그리고 유지성을 확보하기 위한 선행조사로써 재료, 시공, 환경 및 구조성능 미흡으로 인한 원인을 밝혀내어 성능저하의 조기탐지 및 억제대책을 유도하고, 나아가 유지관리 대책과 보수 대책의 수립, 내구 연수의 추정, 내구성 및 내하력 증진을 위한 기초자료를 제공하고자 하는데 그 목적을 두고 있다.

4.2. 균열 조사

콘크리트 구조물의 외관조사에 있어서 복잡한 시험이나 장기간의 검토를 필요로 하지 않는 빠질 수 없는 기초조사이다.

4.3. 균열조사 및 보수 체계도

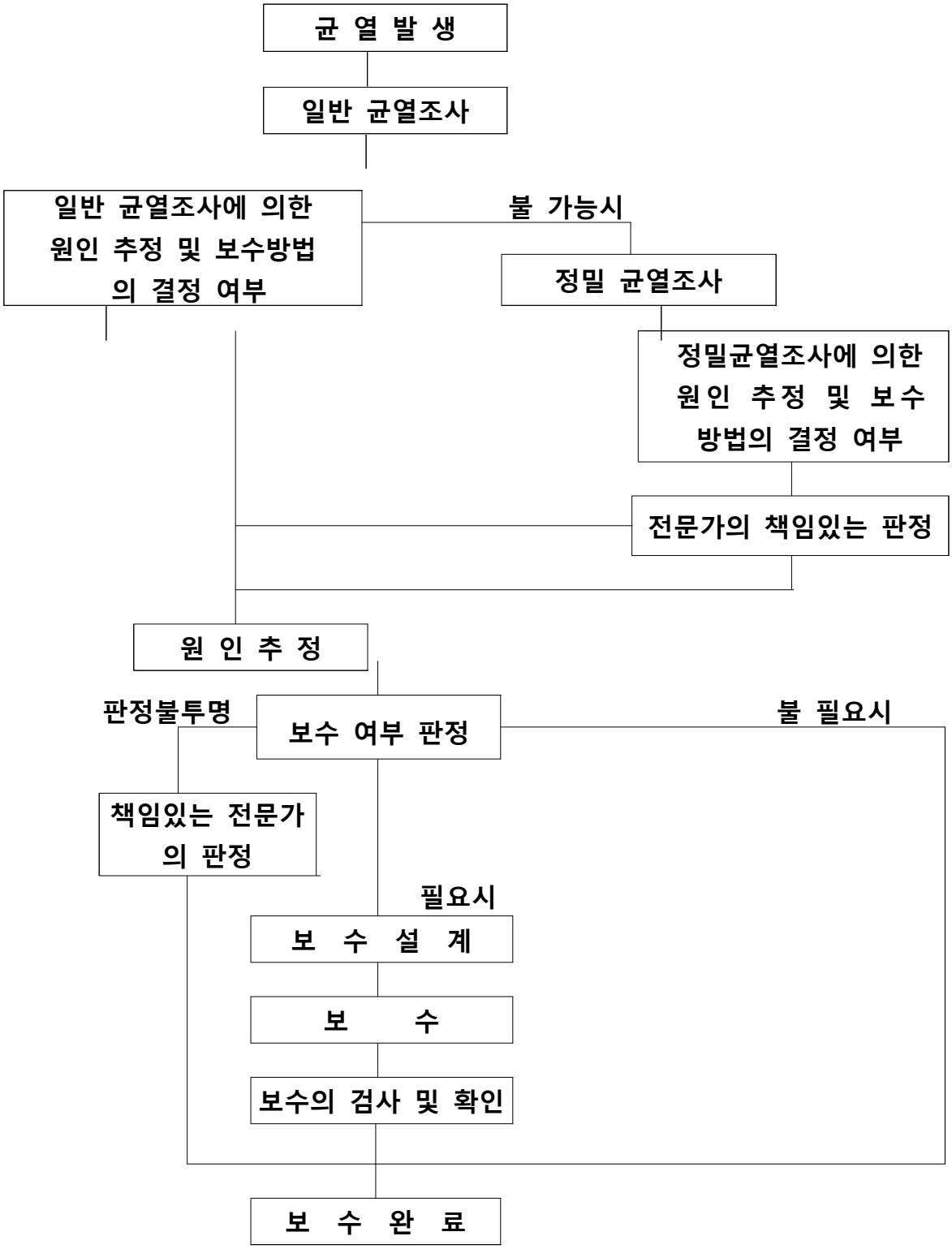


그림 4.1 균열조사 및 보수.보강 체계도

4.4. 보수 공법

(1) 보수 공법 종류

① 표면 처리 공법 : 균열폭 0.3 mm 이하

② 주 입 공 법 : 균열폭 0.3 ➡ 0.5 mm 이하

③ 충 진 공 법 : 균열폭 0.5 mm 이상

(2) 표면 처리 공법

미세관 균열(폭 0.3 mm이하) 위에 도막을 형성하여 방수성, 내구성을 향상시킬 목적으로 사용

① 에폭시 수지모르터 도포공법

이 공법은 마감모르터 면에서의 균열 및 결함부의 보수에 적용되며, 철근이 노출된 결함부위에도 적용된다.



그림 4.2 에폭시모르터 도포공법 시공순서

② 에폭시수지 시일공법

모르터 표면의 균열폭이 0.3 mm 정도 미만의 균열부위의 표면을 실(seal)하는 경우에 적용한다.

정지성 균열인 경우에는 퍼티상의 에폭시수지를, 활동성 균열에는 유연성 에폭시수지를 사용한다.

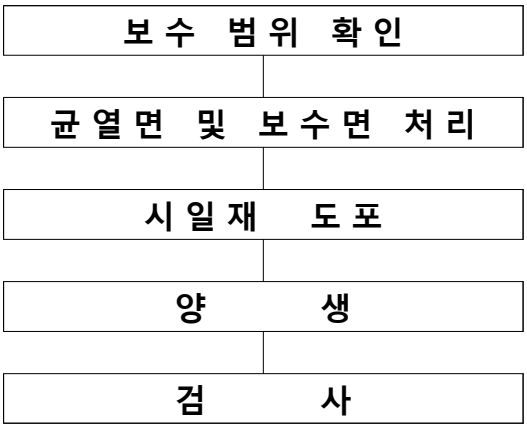


그림 4.3 에폭시수지 시일공법 시공순서

(3) 주입 공법

균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법이다.

① 주입공법의 특징

- 내구복원의 안전성을 기대할 수 있다.
  - 에폭시수지의 접작강도가 크며, 경화시 수축이 거의 없다.
  - 휨시험에서는 대부분 모재에서 파단이 일어난다.
- 내수성저하 방지 및 누수방지를 기대할 수 있다.
  - 미세한 균열에도 주입이 가능하다.
  - 균열이 발생한 콘크리트를 일체화시킬 수 있다.
  - 산소 및 수분을 차단할 수 있어 콘크리트의 중성화를 억제할 수 있다.
- 경화후의 에폭시수지는 화학적 성질이 안정하여 내후성이 좋다.
- 미관의 유지가 용이하다.
- 경제적이다.
  - 구조물의 자중 증가가 거의 없다.
  - 접착 강도가 단기간에 발현된다.
  - 작업성이 좋다.

②주입공법 및 시공흐름

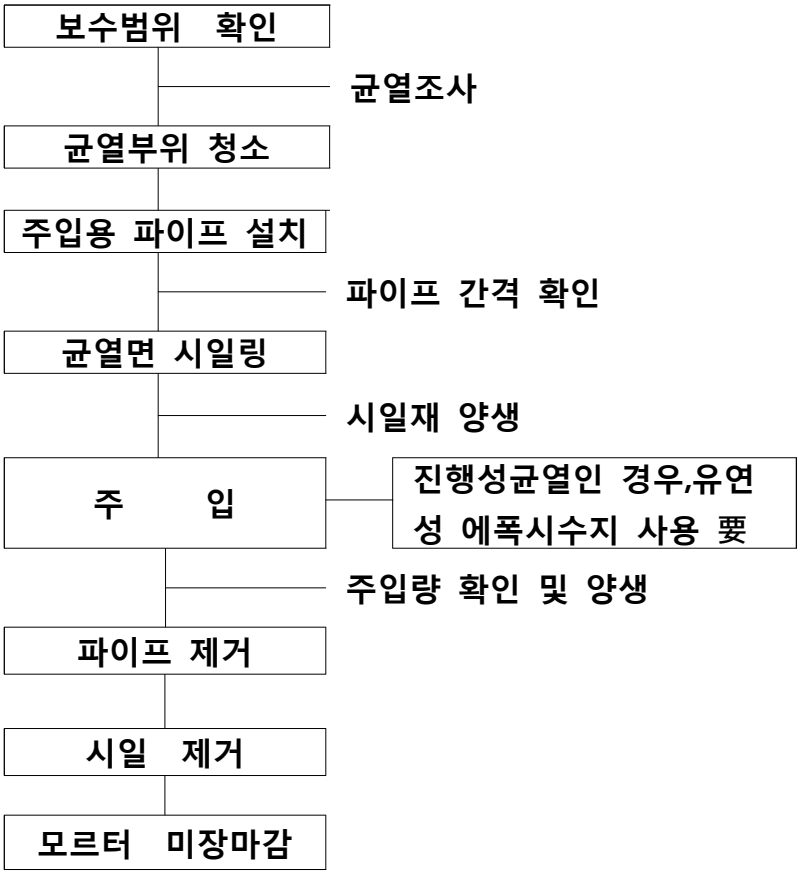


그림 4.4 주입공법 시공흐름도

(단위 : mm)

균 열 폭	주입파이프간격
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

표 4.1 균열폭 및 주입파이프 간격

4) 충진 공법

균열의 폭이 0.5 mm 이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로 균열에 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여 그 부분에 보수재를 충진하는 공법으로 구조물의 내구성 회복을 목표로 한 균열보수의 주된 방법으로 환경조건에 따라 여러 가지의 재료 및 공법이 사용될 수 있다.

① 철근이 부식되지 않는 경우 균열을 따라 약 10 mm 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 절개한 후 이 부위에 실링재, 유연성 에폭시수지 또는 플리머 시멘트 모르터 등을 충진하여 보수

② 부식된 철근 부위까지 콘크리트를 깨내고 철근의 녹을 완전히 제거후 철근에 대한 방청처리와 콘크리트면에 대한 프라이머 도포후 플리머 시멘트 모르터나 에폭시수지 등의 재료로 충진하여 보수

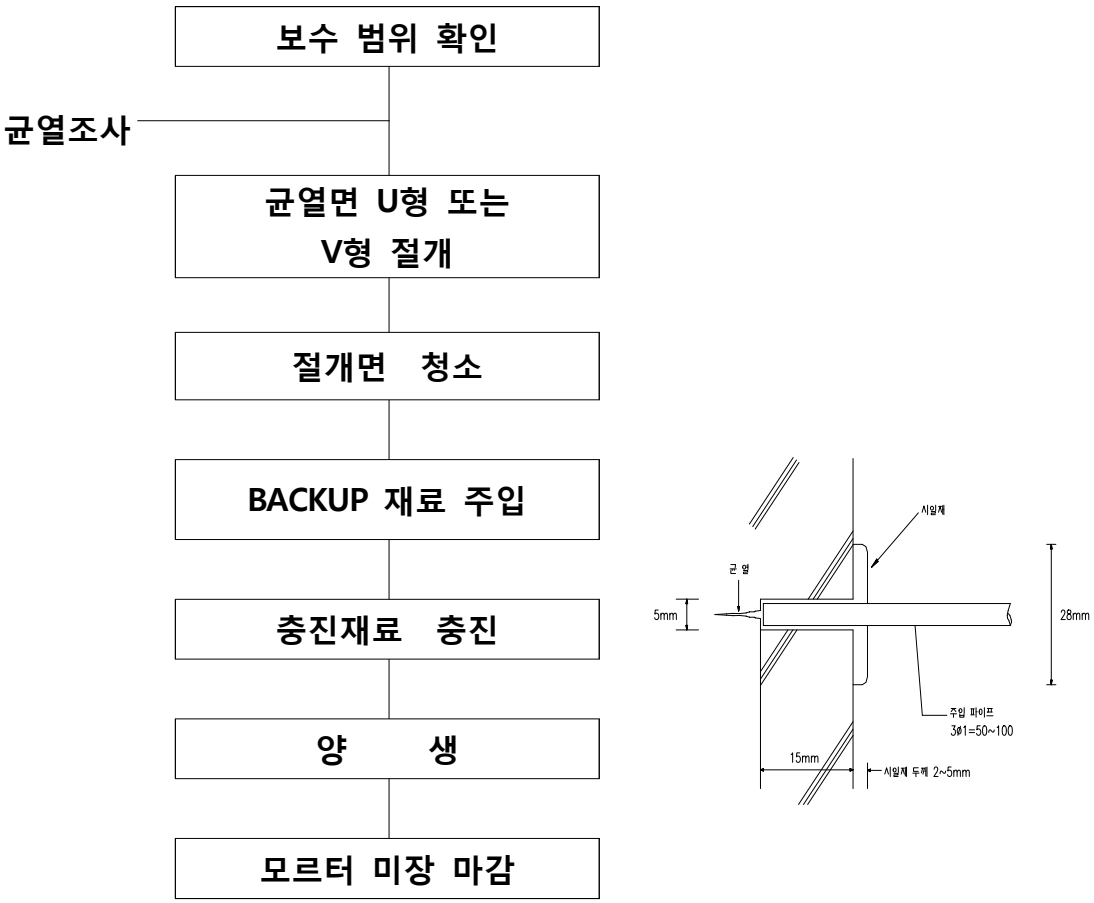


그림 4.6 철근이 부식하지 않는 경우의 충진공법 시공흐름도

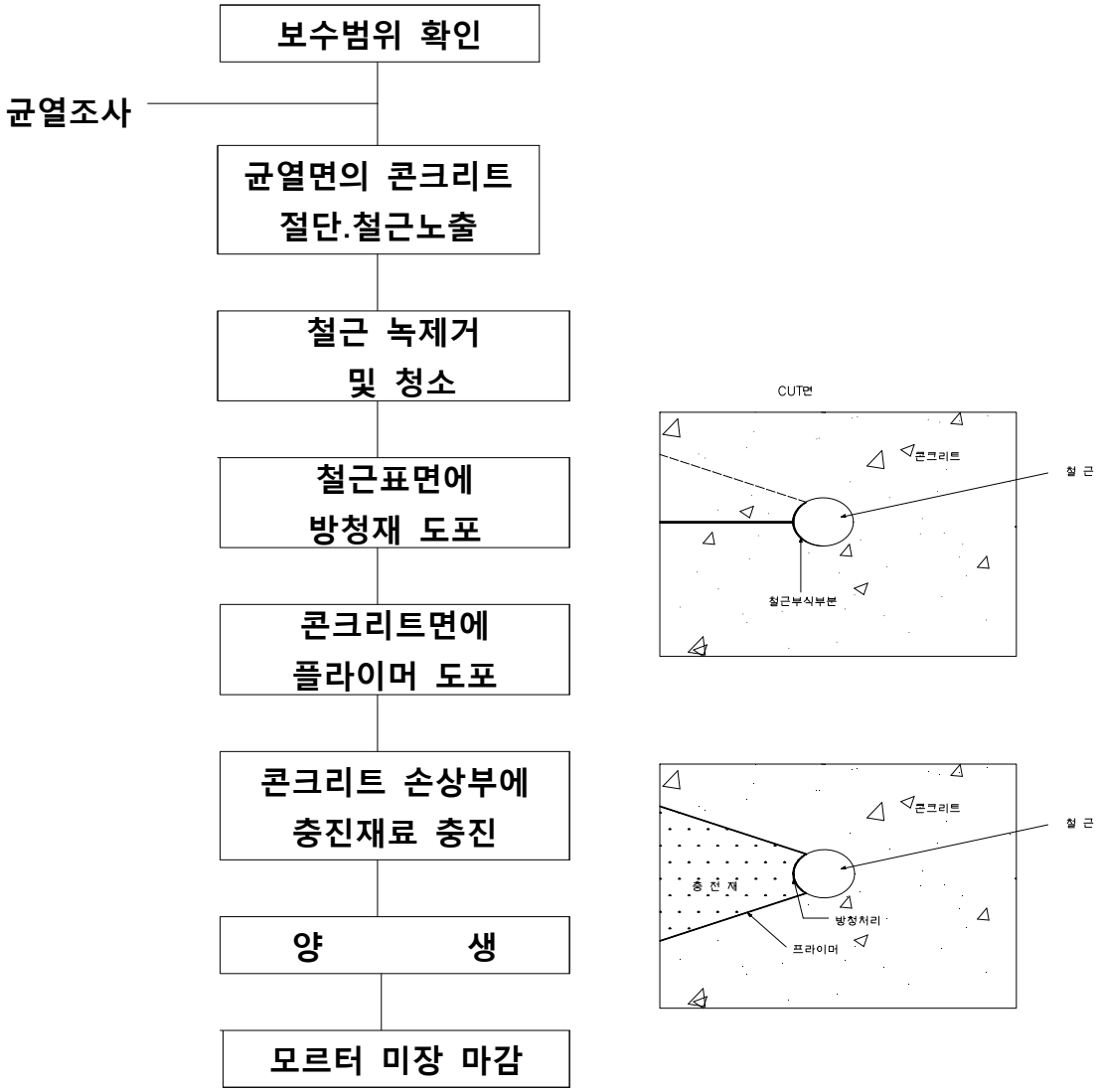


그림 4.7 철근이 부식된 경우의 충진 공법 시공 흐름도

5. MPC거더 보강 공법

MPC 거더의 보수, 보강법은 거더를 천공하여 추가로 프리스트레스트 강선을 부착하는 방법(External Post-Tensioning Method)을 사용하여 보강하는 방법을 사용하며, 감독원의 승인을 득한 후 시행한다.

5.1 External Post-Tensioning Method의 기본 이론

일반적으로 콘크리트 PC Beam교의 주된 보강의 원인은 경간 중앙부 거더 하면의 휨인장 응력에 대한 저항력의 부족이다. 이러한 휨인장에 대한 저항 부족과 거더 하면에 균열이 발생한 PC Beam교의 적절한 보수, 보강 방법으로 휨인장 부위에 고강도 강선을 설치하여 인장 응력을 압축 응력으로 전환시켜 구조물의 응력분포를 양호하게 바꾸어 주며 구조물의 처짐 또한 상당량 회복시키는 추가 P.S.강선법(External Post-Tensioning Method)을 사용한다.

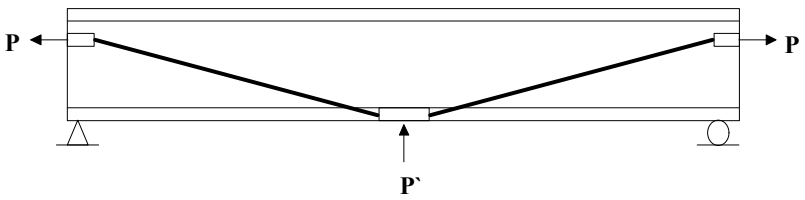


그림 5.1 External Post-Tensioning 보강 공법

5.2 External Post-Tensioning 보강 공법의 특성

External Post-Tensioning 보강 공법의 장점은 다음과 같다.

1) 타 보수, 보강 공법에 비해 공사금액이 저렴하다.
2) 기존 교량의 처짐 및 이상 변형을 교정하기 쉽다.
3) 공사기간이 짧다.
4) 기존 구조물의 자중 증가가 거의 없다.(자중 증가시에는 기존의 베어링, 교각 및 기초부의 안전여부 검토가 반드시 필요하다.)
5) 추후 필요시 재긴장 또는 PC Cable의 교체가 용이하다.
6) 보강후 기존교량의 지속적 외관조사가 편리하다.

5.3 사용 재료

1) 스트랜드(Low-Relaxation, Unbonded Greased Strand)

스트랜드는 KS D7002, SWPC 7B 사양에 의하며 보수, 보강용에 사용하는 Strand는 Greased로 충진되어져 PE 튜브로 보호되어 있는 것을 사용한다.

표 5.1 스트랜드의 일반적 제원

공칭직경	공칭단면적	단위무게	인장하중	0.2% 영구신율에 대한 하중
15.2mm	1.4cm^2	1,101kg/m	26.6ton	22.6ton 이상

2) PC STRESS BAR(강봉)

PC Bar(강봉)은 PC Beam 보강에 있어서 정착구의 마찰 지지방식을 위한 가장 중요한 자재로서 PC Beam을 External Prestressing하기 위한 정착구에 Prestress를 가하여 Strand의 긴장력을 지지토록 한다. 따라서, PC Stress Bar는 최소한의 인장강도가 필요하며 그 사양은 아래의 표 1-2에 준한다.

표 5.2 PC Bar의 최소인장강도

NOMINAL BAR DIAMETER (MM)	THREAD PITCH (MM)	MAJOR DIAMETER OF THREAD MAX (MM)	SHIPPING WEIGHT PER METRE (KG)	MINIMUM ULTIMATE BREAKING LOAD (KN)	
				REGULAR GRADE	SUPER GRADE
15	2	16.50	1.58	-	190
19	2	20.32	2.47	-	305
23	2	24.00	3.55	430	450
26	2	27.13	4.49	545	570
29	2	30.02	5.55	680	710
32	3	33.73	6.71	830	870
35	3	36.57	7.99	990	1040
38	3	39.63	9.38	1175	1230

* Preferred bar diameter. Their use is recommended for economy and immediately delivery, other diameter bars may require a lead time of 3 months or more for large orders.

3) Anchorage(정착구)

정착구는 재긴장이 가능한 방식을 사용함을 원칙으로 한다.

보강공사에 사용하는 정착구는 마찰지지 방식으로 PC Bar(강봉)에 의하여 PC Beam Web에 Prestress에 의해 지지하게 된다. PC Beam용 정착구는 시공자가 Shop Drawing을 제작하여 감독관의 승인을 받도록 한다.

4) 새들(Saddle)

Saddle은 PC Beam보강에 있어 External PT의 Deviation Force를 유발시키기 위한 장치로서 긴장력 도입시 강선의 손상을 방지할 수 있도록 Gide Pipe가 설치되어야 하며 시공자가 Shop Drawing을 작성하여 감독관의 승인을 받도록 한다.

5) PE Tube

PE Tube는 External Tendon의 2차 보호를 목적으로 하여 Tendon의 시점에서 종점까지 이음새가 없어야 하며 완전밀봉되어 방수, 방습의 기능을 갖추어야 한다. 추후 Tendon의 교체작업이 가능하도록 Tube내의 Grouting은 하지 않는다.

6) Protection Cap

Protection Cap은 External Tendon의 내구성 확보를 위한 자재로서 External Tendon의 재긴장을 위해 System에 적합해야 하며 방수, 방습기능을 갖추어야 한다.

5.4 장비

1) Jack

유압식 잭으로 압력 게이지를 연결할 수 있어 긴장작업 중간에 상시 긴장력을 확인할 수 있는 시스템이어야 한다. 설계된 정착구의 변형을 유발시키지 않는 잭이어야 하며, 동시 긴장하는 2개의 긴장잭은 동일한 것을 사용하는 것으로 한다. PC Stress Bar(강봉)를 긴장하는 잭은 시공조건을 만족하기 위하여 Φ200mm이하이어야 한다.(PC Bar는 동시 긴장하지 않는다.)

2) Pump

유압장비(Jack) 구동용 펌프는 압력 게이지가 부착되어 항시 작업도중 도입력 확인이 가능한 방식이어야 하며, 2개의 긴장 잭을 동시에 작동시킬 수 있는 것이어야 한다. (PC Stress Bar 긴장용 잭 구동 펌프는 동시작동에서 제외)

5.5 시공

1) 자재의 운반 및 보관

Unbonded Strand는 운반시 표면에 흠이 가지 않도록 극히 주의해야 하며, 포장상태가 양호한 것만을 사용하도록 한다. 또한 PT 자재의 보관은 건조하며 천우의 영향을 받지 않는곳에 보관해야 한다.

2) 가설의 운영

가설재는 작업자의 안전을 확보할 수 있으며 본 공사에 적합한 것이어야 한다. 또한 작업도중 작업하중에 대한 충분한 지지력이 있는것이어야 한다.

3) 철근탐사

보강공사의 기본으로 보강하고자 하는 구조물(PC Beam 또는 Pier Copping)의 기존 철근 배근 및 PC Cable 위치 확인 및 보강공사중 기존 배근과의 간섭문제를 검토해야 하며, 시공중 절대 기존 PC Cable을 손상시켜서는 안되기 때문에 보강작업중 제일먼저 시행하며, 그 방법은 콘크리트 비파괴 탐사법을 이용하여 실시한다.

4) 천공작업

PC Beam 보강작업시 천공작업은 다음 2가지 경우를 위하여 실시한다.

- PC Bar 설치를 위한 경우 (Φ 42) - PC Beam Web
- PC Tendon 관통을 위한 경우 (Φ 80) - 횡방향 RC Girder

PC Beam Web 천공시는 기존강선 및 철근의 손상이 없도록 콘크리트를 천공해야 한다.

5) Anchorage(정착구) 제작, 설치작업

정착구 설치는 텐던 설치 작업의 기준이 되므로 위치를 정확하게 설정하여 설치하여야 하며, 긴장작업시 강선의 쏠림이 없도록 유지해야 한다. 또한 정착구의 설치는 마찰 지지방식이며, PC Stress Bar(강봉)를 긴장하여 고정하며 정착구와 콘크리트 접합면 사이에는 Epoxy로 주입하여 부착시킨다. 긴장작업이 완료된 후에는 부식방지를 위하여 그리스가 충진된 Protection Cap을 설치해야 한다.

6) Saddle(받침 철물)제작, 설치

Saddle 제작은 PT Cable의 인장시 끝부분에서의 끌림에 의한 강선의 파열현상이 생기지 않도록 강재 파이프의 입사각을 정확히 맞추어 제작하며, PC Beam 중앙하부에 설치시는 고정용 볼트의 삽입시 기존 PC Beam의 강선에 손상이 없도록 철근탐사를 철저히 하여 시공한다.

7) PE 튜브 설치

PE 튜브는 강선의 2차 보호를 목적으로 설치하며, 중간에 절단없이 Saddle의 가이드 파이프안을 통과하여 설치하며, Greased Strand가 모두 PE 튜브안에 감싸여야 한다.

8) 강선의 제작

본 보강공사에 사용되는 강선은 Unbonded Strand(비부착식 강선)으로 Φ15.2mm, Low - Relaxtion Strand이며, 자체에 그리스가 충진된 PE 튜브에 쌓여 있어야 하며, 제작 및 설치 작업시 PE 튜부의 파손 및 그리스의 누출이 생겨서는 안된다.

9) 강선 설치 작업

외부 추가 PT 케이블은 2차 보호장치가 되어져야 하며 텐던의 설치는 Shop Drawing에 명시된 위치 및 간격을 정확히 표기하여 설치하며, 긴장작업시의 강선이 긁히지 않을 정도로 설치한다.

10) 강선 긴장 작업

- 긴장작업은 힘이 평형을 유지할 수 있도록 2개의 긴장(Jack)을 이용하여 동시에 긴장하도록 한다.
- 긴장작업은 계획 긴장력을 여러 단계로 나누어 50bar 단위로 구분하여 긴장하여야 하며, 단 1회의 긴장에 의하여 계획 긴장력을 긴장해서는 안된다.
- 긴장력은 Shop Drawing 또는 긴장보고서에 준한다.
  - 강선의 신장량은 텐던별로 기록양식에 빠짐없이 기록한다.
  - 긴장완료 후 PT Tendon의 절단은 절삭기를 이용하며, Gas 절단은 금한다.
  - 텐던여유장 절단후 보호마개(Protection Cap)을 설치하여 부식을 방지토록 한다.
  - 강선의 긴장 장비는 인장력을 확인 할 수 있는 압력 게이지가 부착된 것을 사용하도록 한다.

11) 보호마개(Protection Cap)의 설치

긴장작업이 끝난 후 정착단부의 쐐기 부분은 부식에 노출되기 쉬우며 또한 구조기능상 가장 중요한 부분이다. 이 부근의 부식방지는 게이지 충진 후 보호마개를 설치하며, 재긴장 방식에 적합한 것이어야 하며, 방수, 방습 기능이 있는 것 이어야 한다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

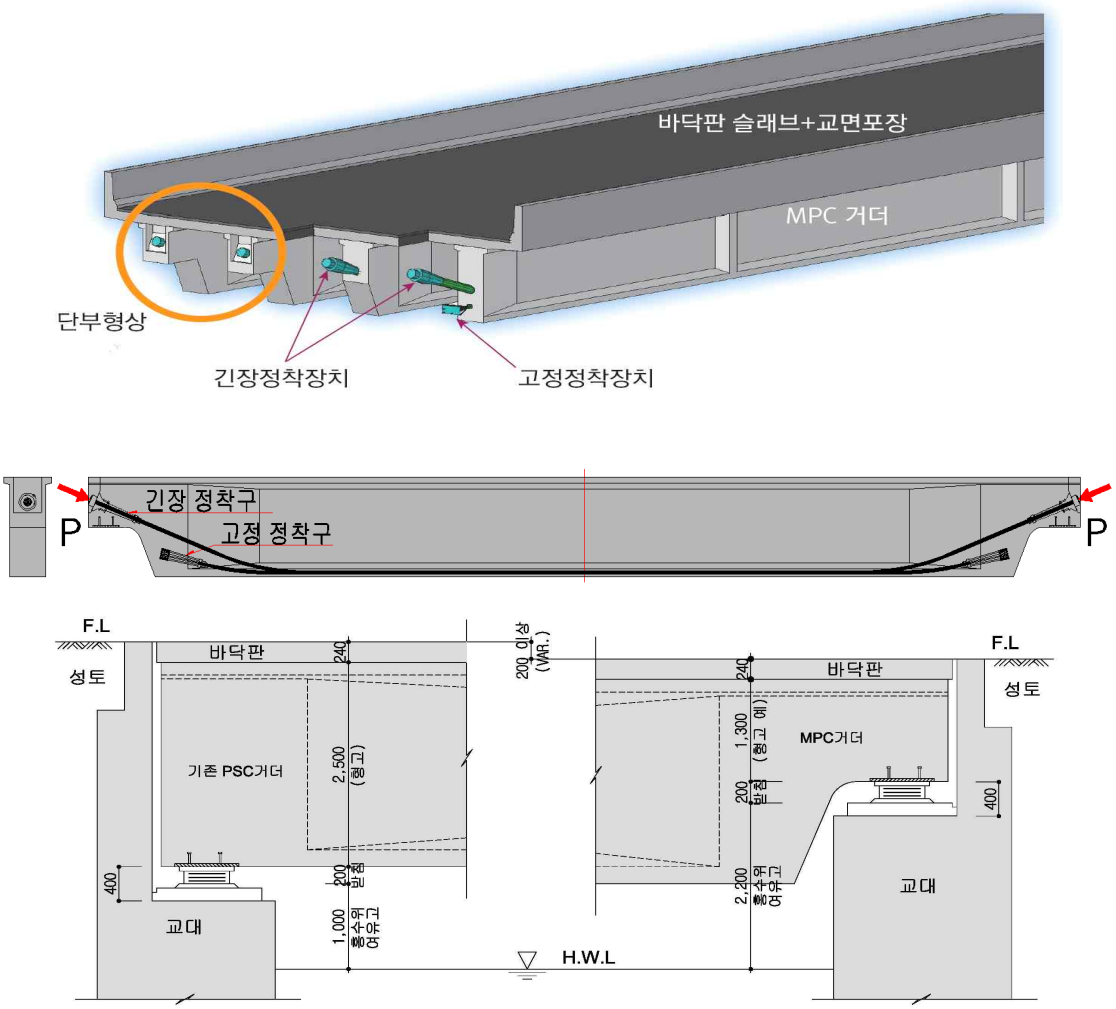
제1절 실규모 시제품 제작 현장재하시험

1. Test Bed 적용을 위한 철도교 동특성 해석

가. 서론

(1) 연구의 필요성 및 목적

- 노후화된 일반철도 노선의 대부분이 경간 18m이하의 판형교로 시공되어 있었던데 반하여 최근에는 신규 건설된 철도노선에서 경간 25m의 PSC I형거더 및 30m 이상의 프리플렉스 거더 교량 등 다양한 교량형식이 도입되어졌다. 특히 최근에는 장경간/저형고를 목표로한 다양한 신형식 교량의 철도교량 적용이 시도되고 있다. 반면, 고속철도 교량의 경우에는 PSC 박스거더 형식이 압도적으로 중용되고 있으며, 일부 구간에 소수주형 강합성형 거더 교량이 적용되었다. 최근 호남고속철도 설계에는 이 외에도 케이블 지지 형식의 Extradosed 형식 교량, 닐슨 아치교 및 더욱 다양한 형식의 교량이 적용되어 현재 시공되고 있기도 하다.



<그림 3.1.1 MPC거더의 단면도>

- 본 연구에서는 정적 파괴시험에 의한 성능평가와 동적성능을 분석해 철도교 적용성을 검토하고자 하는 MPC(Mono-tendon Prestressed Concrete)거더는 고강도 강연선을 적용한 프리스트레스트 거더로서 무게중심을 하향시켜 전도를 사전에 방지하고 전도방지시설이 불필요하며, 강연선에 균등한 긴장력을 도입해 품질을 확보하며, 단부 절취로 종단선형 하향 및 저형고를 구현한 PSC 거더 형식의 신형식 교량이다.
- 도로교량과 달리 철도교량은 설계에 적용되는 하중의 크기 및 특성에서 많은 차이가 나며, 특히 지속적으로 반복되는 고속 중량의 열차하중에 대한 검토가 필연적이다. 즉, 동적 이동하중의 반복작용으로 인한 진동특성 및 처짐과 가속도 등 동적응답과 및 공진 가능성에 대한 검토가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 과정을 통해 MPC거더 교량의 일반열차 및 고속열차에 대한 동적해석을 통해 운행한계기준 확보에 대한 검토를 수행하고자 한다.
- 또한, 본 연구에서는 35m 실거더를 한국철도기술연구원의 실대형 통합성능시험동에 제작하여 정/동적 재하시험을 통해 성능평가를 실험적으로 분석하였다.

(2) 연구범위

- 본 연구과제에서는 경간 25~35m의 MPC거더 교량(복선 및 단선)의 철도교량 적용성 검토를 위해 국내에서 운행 중인 무궁화호(새마을호와 객차구성 동일), 화물열차, 급행 EMU 및 고속열차 KTX와 새로 개발된 430km/h급 HEMU-430X에 대해 속도별 동적해석을 수행한 후 그 결과를 철도설계기준 노반편 (2011)의 제한규정과 비교하여 동적안전성 확보에 대한 검토를 수행하였으며, 최신 설계기준인 철도설계기준 노반편(2013)의 동적거동 검토 방법 및 절차의 규정을 준수한 검토를 수행하였다.
- 일반철도 동적거동 분석에 있어서 주행차량의 선정은 무궁화호, 화물열차 20량 편성, 급행 EMU으로 구분하여 선정하였다. 무궁화호는 실제 주행속도가 최고 150km/h 이하이지만, 위험요소에 대한 검토와 향후 대차성능 개선 등을 고려해 220km/h 주행까지 10km/h씩 증속을 시키며 동적해석을 수행하여 거동분석을 하였다. 화물열차의 경우 160km/h까지 10km/h씩 증속을 시키며 거동분석을 수행하였고, 급행 EMU의 경우 250km/h까지 10km/h 단계로 해석을 수행하였다. 고속열차 KTX의 경우 420km/h 주행까지 고려하여 해석을 수행하였으며, HEMU-430X의 경우 시제차는 6편성이지만 12량 편성으로 고려하여 450km/h까지 10km/h 간격으로 동적해석을 수행하였다. 또한, 각 열차특성별 공진에 대한 검토를 수행하였다.
- 동적해석에 사용한 프로그램은 G7 등을 통하여 지속적으로 개발되어 철도기술연구원에서 보유하고 있는 이동하중 해석프로그램을 사용하였다. 프로그램에 대한 검증은 참고문헌 [3,4,5]에 의해 상용프로그램과의 비교 및 현장실험과의 비교에 의해 검증되었다. 열차에 대한 수치모델링은 Eurocode 및 철도설계기준 노반편(2011, 2013)을 준용하여 집중하중의 연행에 의한 모델링(Constant Forces Simulation)을 사용하였으며, 해석 방법 및 절차 역시 철도설계기준 노반편(2011, 2013)을 준용하였다.
- 한편, 동적해석결과를 관련 시방기준과 비교·분석하기 위하여 국내기준 및 국외의 관련 규정을 조사하였다. 국내 기준에 명시되지 않은 국외의 관련 규정들에 대해서는 참고자료로 활용할 수 있도록 본 보고서에 수록하였으며 수치해석결과와 비교·검토하여 MPC거더 철도교량의 동적성능 평가를 수행하였다.

나. 국내외 성능 검증기준

(1) 국내외 동적성능검증 관련 기준

- 교량설계 시, 동적거동에 대한 검토는 단순히 충격계수를 적용하여 안전율 개념에서 정적 검토를 수행함으로써 포함시키고 있다. 그러나, 이러한 충격계수는 단순히 지간장 등에 대한 함수일 뿐이며, 다양한 하중조건, 불규칙성 및 교량 구조물과 주행차량의 동적특성 등이 포함되지 않은 항목이다.

<표 3.1.1 철도교량의 일반적 성능검증 항목>

시 험 종 류	측 정 항 목	비 고
정적 구조안전성	주부재 응력 (충격계수)	
설계변수 관련	고유진동수, 감쇠비	
주행 안전성 및 구조적 안정성	연직처짐	
	상판의 연직가속도	
	단부회전각	철도설계기준 노반편(2011), 최근의 EUROCODE에선 제외됨
	상판의 면틀림	
승차감 (진동사용성)	연직처짐	
	객차 연직가속도	

- 철도교량의 경우 도로교와는 달리 특정한 축간격을 가진 열차가 주행함으로써 인해, 공진의 발생가능성이 크며, 중량의 하중이 고속으로 주행함에 따라 충격계수 외에 다양한 동적성능항목에 대한 검토가 필연적이다. 일반적으로 철도교량의 동적성능과 관련된 항목은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(2) 주행열차하중 동적해석 검토절차 및 방법

- 주행열차하중 동적해석 시 설계자의 판단 및 적용방법에 따라 응답에 대한 결과 및 평가가 달라질 수 있다. 따라서, Eurocode 등에서는 비교적 상세히 적용절차 및 방법에 대한 설명을 수록하고 있으며, 국내에서도 최근 호남고속철도 설계지침부터 다음과 같이 검토절차 및 방법이 제시된 바 있으며, 가장 최근에 개정된 철도설계기준(노반편) (2013)의 경우 다음과 같다.

(가) 철도 교량의 주행열차하중에 대한 동적해석은 시간이력해석 혹은 모드중첩법에 의한 동적해석을 적용한다. 시간간격은 작아야(절점과 절점사이 3회 이상 각 축이 재하될 수 있도록) 하며, 동적해석은 교량 시점부터 출발하여 열차가 교량을 완전히 통과할 때까지 시간간격별로 수행되어야 한다.

(나) 동적해석은 설계속도의 1.1배까지 10km/h 간격으로 수행한다. 주행열차하중에 대한 동적해석 전에 자유진동해석을 수행하여 공진을 일으킬 수 있는 임계속도를 미리 산정하고

이 속도에 대한 해석도 반드시 포함하여 수행해야 한다. 임계속도 산정은 다음 식과 같다.

$$V_{cr} = w_1 \times S_{eff}$$

여기서, w_1은 교량의 첫번째 휨 고유진동수이며, S_{eff}는 열차의 지배적타격간격(객차 간 중심간격)으로 다음 표와 같다.

<표 3.1.2 국내 운행열차의 유효타격간격>

	유효타격간격
새마을호, 무궁화호, 틸팅열차	23.50m
화물열차 (유조차)	13.95m
KTX, KTX 산천	18.70m
HEMU-430X	24.30m

(다) 대상열차하중은 해당 노선의 실제 운행열차에 대해 수행하며 하중크기 및 축간격을 실 운행열차와 동일하게 적용한다.

(라) 열차하중의 모델링은 연행이동집중하중으로 적용한다. 정밀해석이 필요한 경우 교량-열차 상호작용 고려가 가능한 다차원 열차 수치모델을 사용할 수 있으며 이 경우 해석 프로그램에 대한 신뢰성이 입증되어야 하며 이동집중하중에 의한 해석과 동시에 수행하여 비교해야 한다.

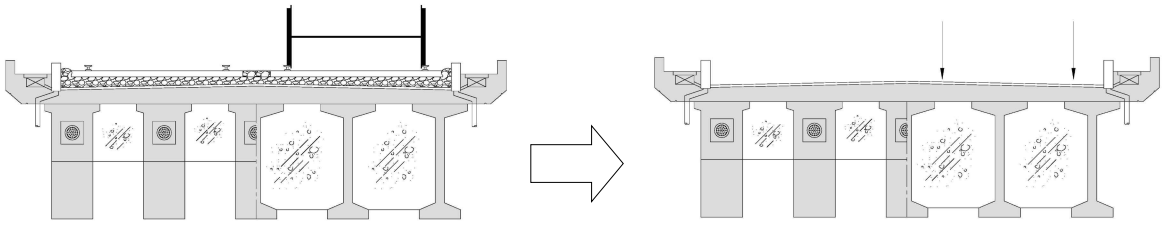
(마) 교량의 모델링은 연속교의 경우 전체 경간 구성을 모델링하며, 단순교가 병행 구성될 경우 단순교 1개에 대해서만 해석을 수행하며 지간이 상이한 단순교에 대해서는 모두 검토를 수행한다.

(바) 교량의 모델링은 도시된 가속도 제한값을 검토하는 위치에서 직접적인 응답을 얻을 수 있으며 교량 단면내에서 변형이 고려될 수 있도록 공간 뼈대요소 이상의 모델링 요소를 적용하여야 하며, 교량의 모델링에 사용되는 재료 및 단면특성치는 정적설계에서 적용한 값을 사용한다.

(사) 탄성받침을 교량받침 장치로 사용할 경우 강성이 무한대인 지점처리를 해서는 안 되며, 스프링요소 등을 사용하여 해당 탄성받침의 강성을 적용하여 해석해야 한다.

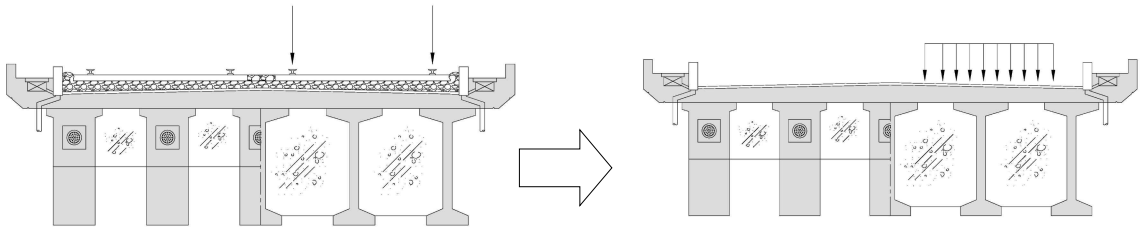
(아) 동적해석 시 자중 및 궤도구조의 질량 등 2차 고정하중을 포함한 모든 부재의 질량이 고려되어야 한다.

(자) 동적해석 시 하중재하는 단선, 복선교량에 관계없이 다음 그림과 같이 단선재하로 하되 교량에서의 편심효과가 고려될 수 있도록 재하 한다.



<그림 3.1.2 하중재하 위치와 하중 모델링>

(차) 도상에 의한 하중의 분포효과를 고려하여 다음 그림과 같이 모델링할 수 있다.



<그림 3.1.3 도상의 하중 분포효과를 고려한 모델링>

(카) 교량형식 별 감쇠비 적용은 다음 표를 따른다. 표의 감쇠비는 각 형식별 감쇠비의 상한 값이며, 이 이하의 값을 적용해야 한다. 단, 실험 등에 의한 정밀 분석 자료가 있을 경우 조정된 감쇠비를 적용할 수 있다.

<표 3.1.2 구조형식별 감쇠비>

교량형식	감쇠비(%)	
	경간<20m	경간≥20m
강구조(강판형교)	0.5+0.125(20-L)	0.5
강합성구조, PSC 구조	1.0+0.07(20-L)	1.0
철근콘크리트	1.5+0.07(20-L)	1.5

(하) 차량을 연행하는 이동하중으로 모델링하는 경우에는 위의 표의 교량 구조형식별 감쇠비에 다음 식의 열차별 추가감쇠비를 적용하여 동적응답을 산정할 수 있다.

$$\xi_{total} = \xi + \Delta\xi$$

여기서,

ξ_{total} : 동적해석에 적용되는 감쇠비

ξ : 표의 교량형식별 감쇠비

$\Delta\xi$: 열차별 추가감쇠비로서 KTX(또는 유사한 하중 형식) 및 HEMU

각 열차에 대해서는 각각 다음과 같이 구한다.

- KTX의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.38, & \text{for } 15 \le L \le 30m \\ -0.024L + 1.12, & \text{for } 30 \le L \le 45m \end{cases}$$

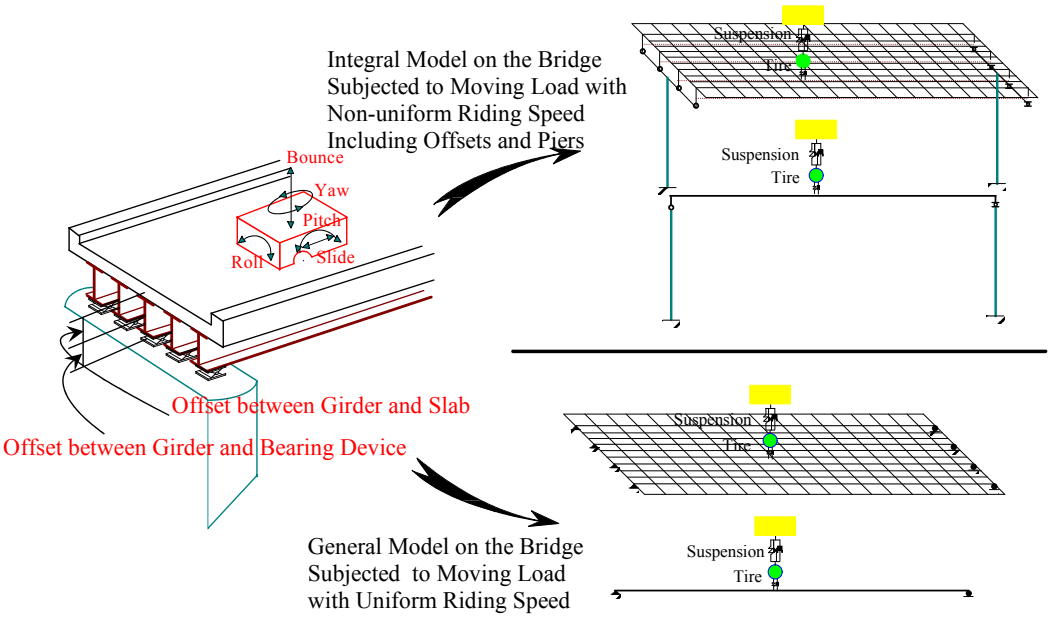
- HEMU의 경우

$$\Delta\xi = \begin{cases} 0.026L - 0.2, & \text{for } 8 \le L \le 25m \\ -0.042L + 1.5, & \text{for } 25 \le L \le 35m \end{cases}$$

다. 열차 및 교량의 동해석 모델

(1) 동적성능평가를 위한 동해석모델

- 유한요소법 및 컴퓨터의 발달과 더불어 현재 교량의 모델링은 실제와 거의 유사한 수준까지 가능하며, 많은 상용프로그램에서 이를 지원하고 있다.
- 철도교량의 수치모델은 간단한 보요소로부터, 쉘요소, 받침요소 등에 대한 정밀한 모델링까지 매우 다양할 수 있다. 다음 그림에서 보이는 바와 같이 적합한 동적성능평가를 위해 동적성능평가의 목적에 부합한 모델의 적용이 필요하다. 교량의 상부구조에 대한 실제와 유사한 모델의 적용은 기본적인 사항이라고 할 수 있으며, 필요에 따라 교좌장치의 강성에 대한 적합한 모델이 교량의 가속도 등에 대한 합리적인 평가를 위해 필요하며, 교량의 종방향 거동이 문제가 될 경우 교각 등 하부구조의 수치모델도 구성하여야 할 필요가 있다. 또한, 철도교량에서 매우 중요한 요소인 궤도구조에 대한 모델링도 가능하다. 레일-침목-자갈 혹은 콘크리트 도상으로 이루어진 궤도구조에 대해 다시 말해, 교량의 전체적인 거동에 대한 합리적인 평가를 위해 상용 소프트웨어를 이용할 경우 가능한 실제 교량을 이상화할 수 있는 정밀 모델이 바람직할 것이다.

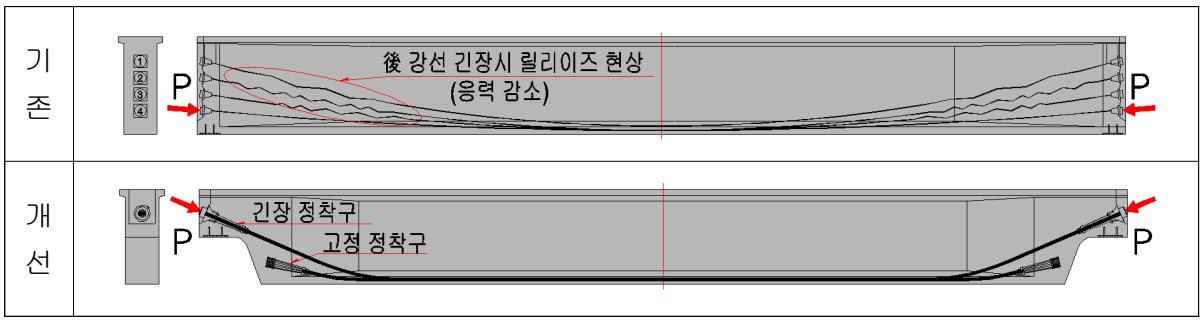


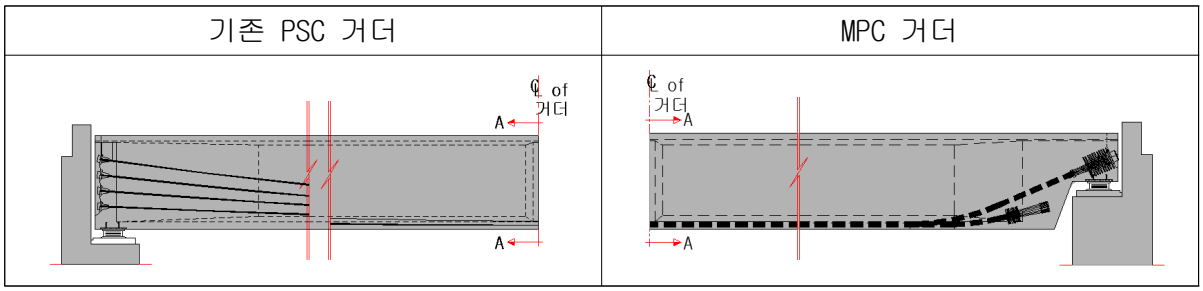
<그림 3.1.4 교량의 수치모델>

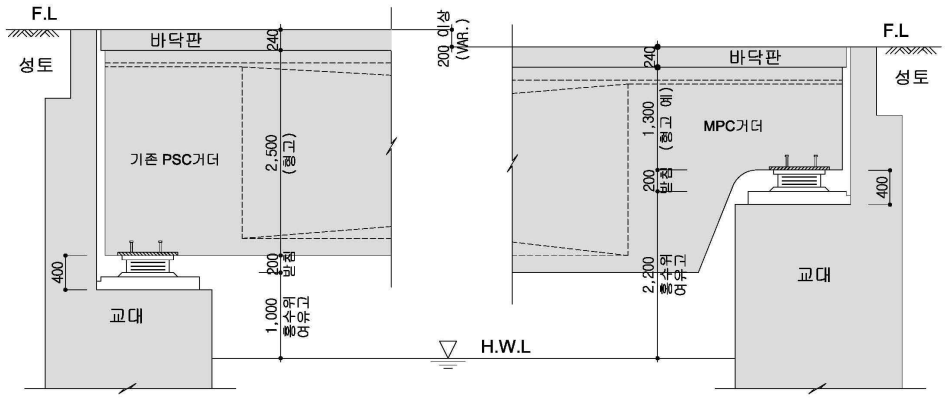
라. 교량 및 열차의 제원

(1) MPC거더 철도교량 개요 및 경간별 단면

- 본 연구에서는 정적 파괴시험에 의한 성능평가와 동적성능을 분석해 철도교 적용성을 검토하고자 하는 MPC(Mono-tendon Prestressed Concrete)거더는 아래의 단면도에서 보이는 바와 같이 고강도 강연선을 적용한 프리스트레스트 거더로서 무게중심을 하향시켜 전도를 사전에 방지하고 전도방지시설이 불필요하며, 강연선에 균등한 긴장력을 도입해 품질을 확보하며, 단부 절취로 종단선형 하향 및 저형고를 구현한 PSC 거더 형식의 신형식 교량이다.



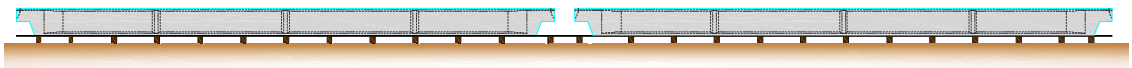




<그림 3.1.5 기존 PSC거더와 MPC거더의 종단면 비교>

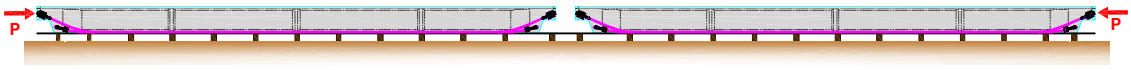
- 아래 그림은 MPC거더의 제작 순서를 나타내며, 그림 3.1.7~그림 3.1.12는 각 경간별 횡단면도를 나타낸다. MPC거더는 복선의 경우 5주형, 단선의 경우 3주형을 기본으로 하고 있다.

(가) MPC거더 제작



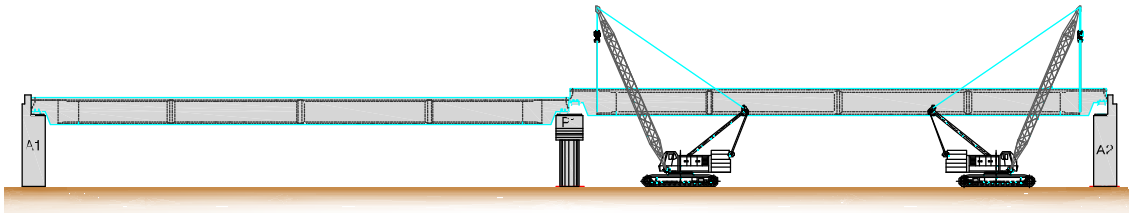
• 제작장 부지 조성 후 제작대 설치→철근 조립 및 PS강연선 설치→거푸집 설치→콘크리트 타설→거푸집 탈형

(나) PS강연선 긴강



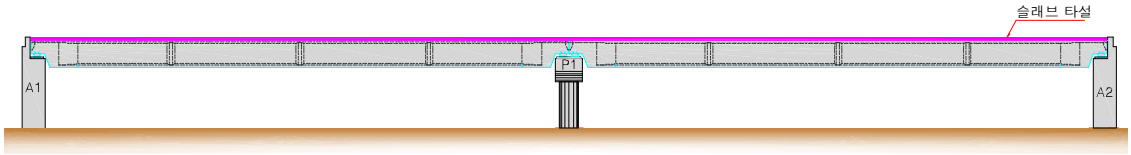
• 각 거더 멀티 인장잭을 이용하여 PS강연선 1회긴장

(다) 운반 및 가설



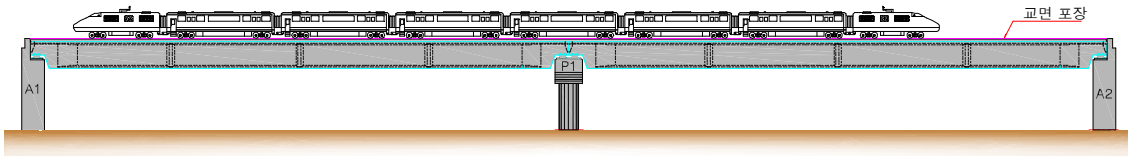
• 제작장에서 거치장소로 이동(전도방지시설 미설치)→교대 및 교각에 거더 거치 (전도방지시설 미설치)

(라) 슬래프 콘크리트 타설



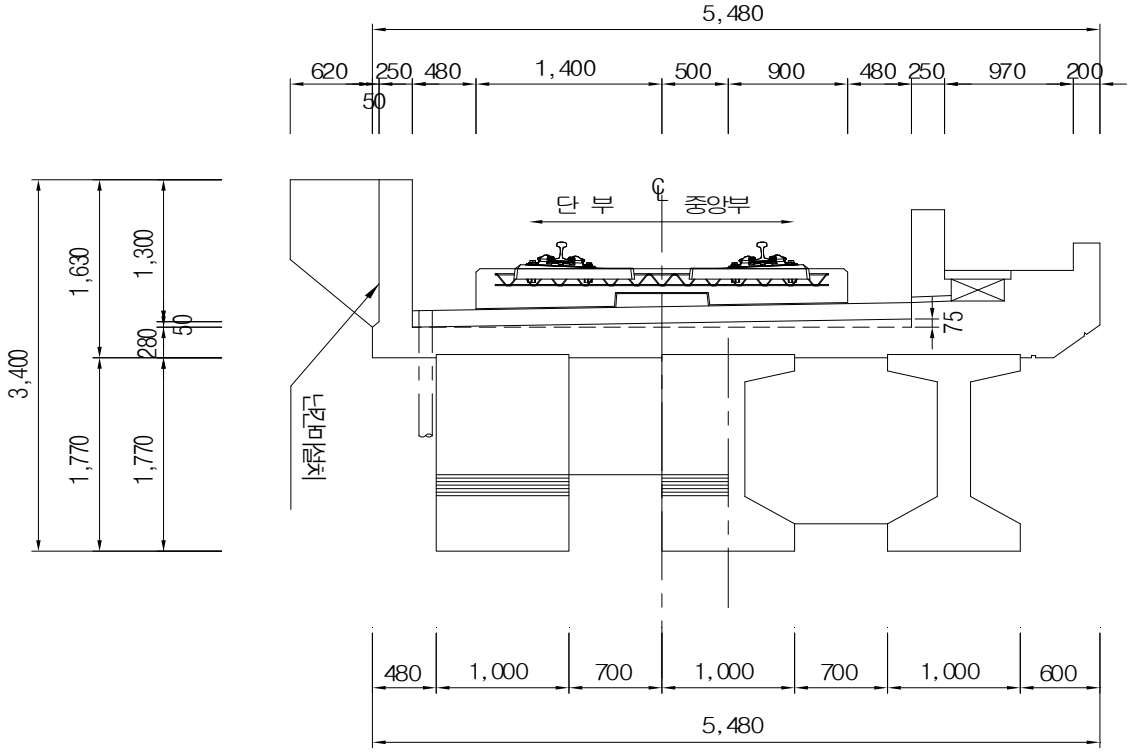
• 거더간 철근 연결→콘크리트 채움→가로보 설치→슬래브 콘크리트 타설

(마) 추가 고정하중(자갈 및 콘크리트 도상) 및 열차하중 재하

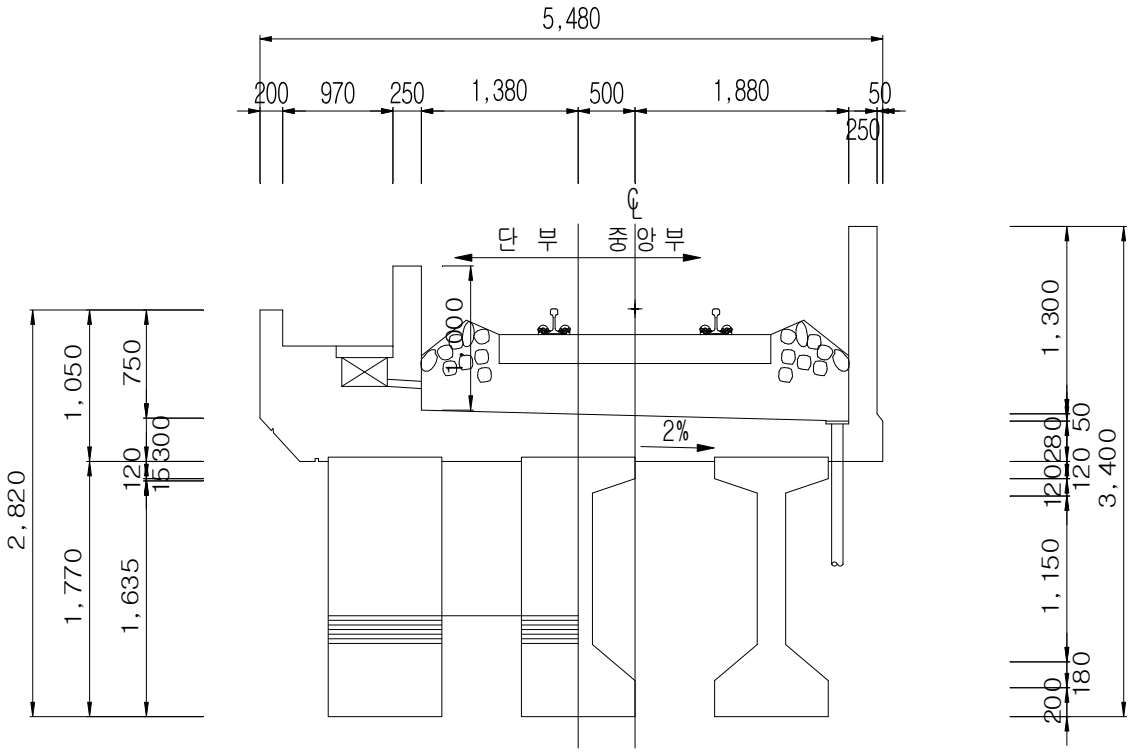


• 도상 설치→괘도 부설→열차 통행

<그림 3.1.6 MPC거더의 시공 순서>

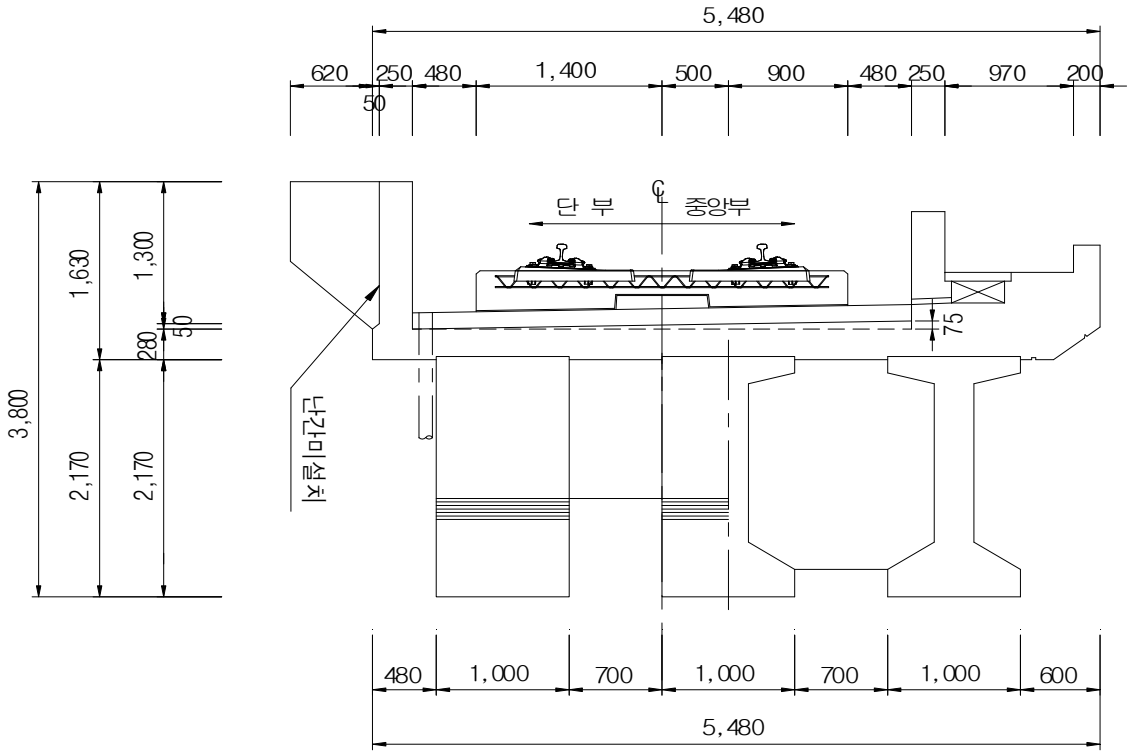


(a) 콘크리트궤도

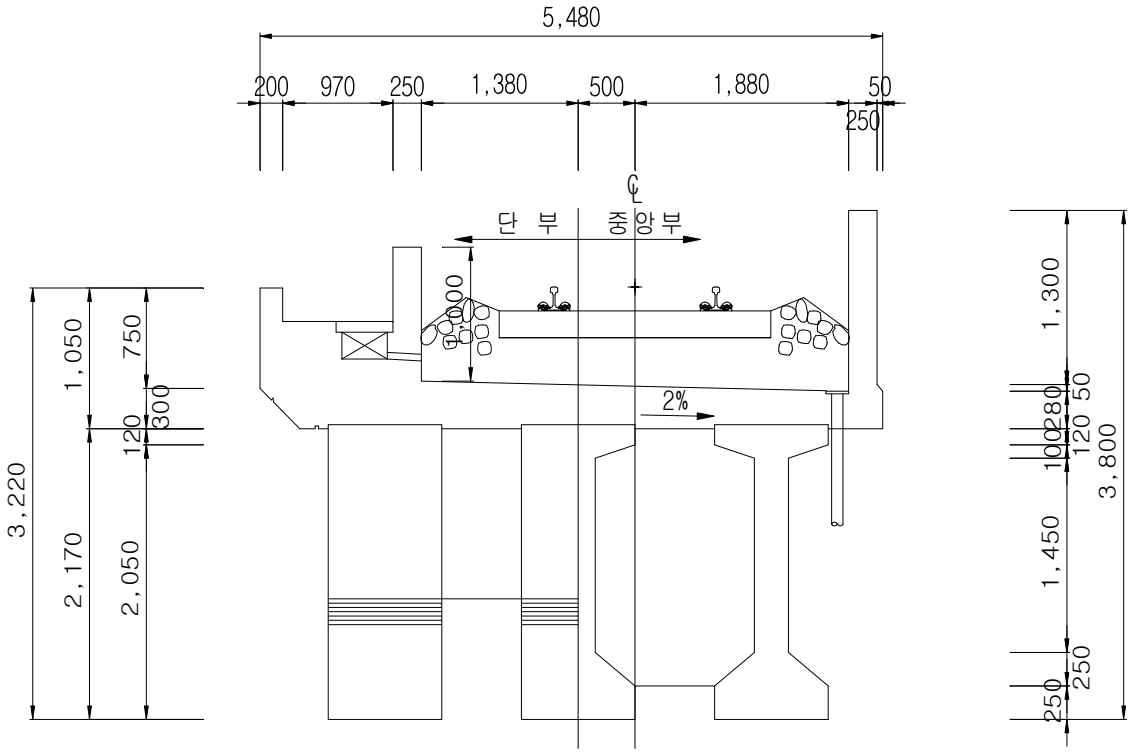


(b)자갈궤도

<그림 3.1.7 MPC거더 25m 경간 단선 철도교 횡단면도 (3주형)>

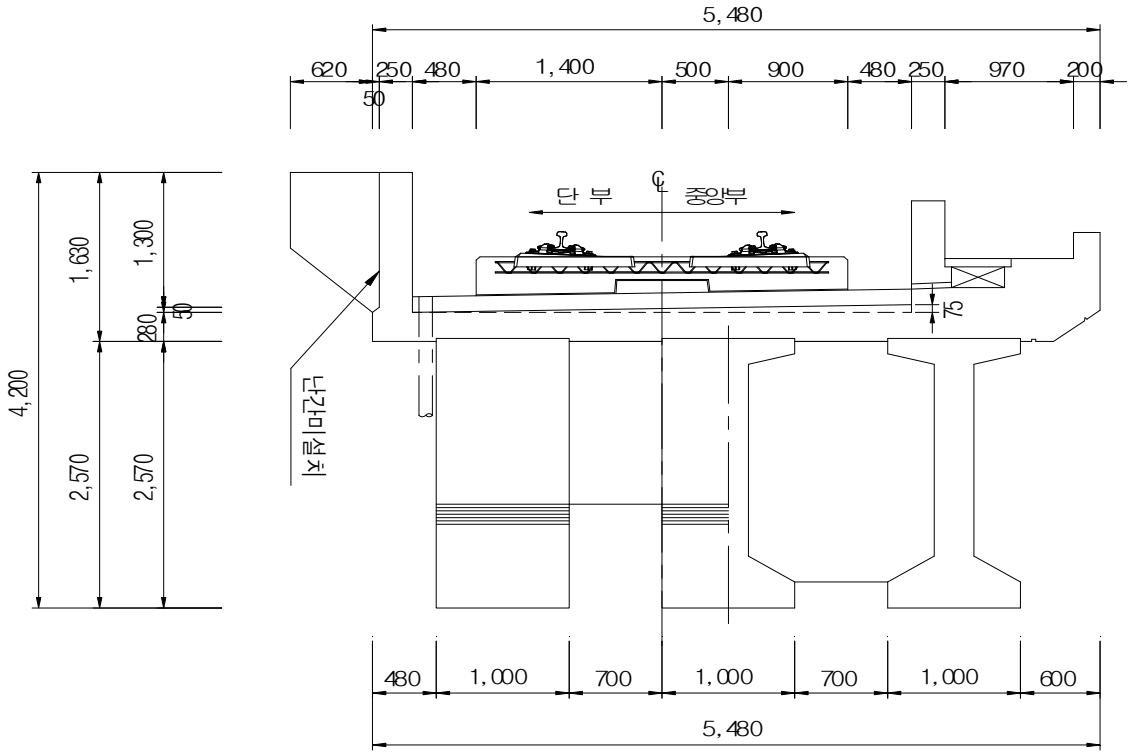


(a) 콘크리트궤도

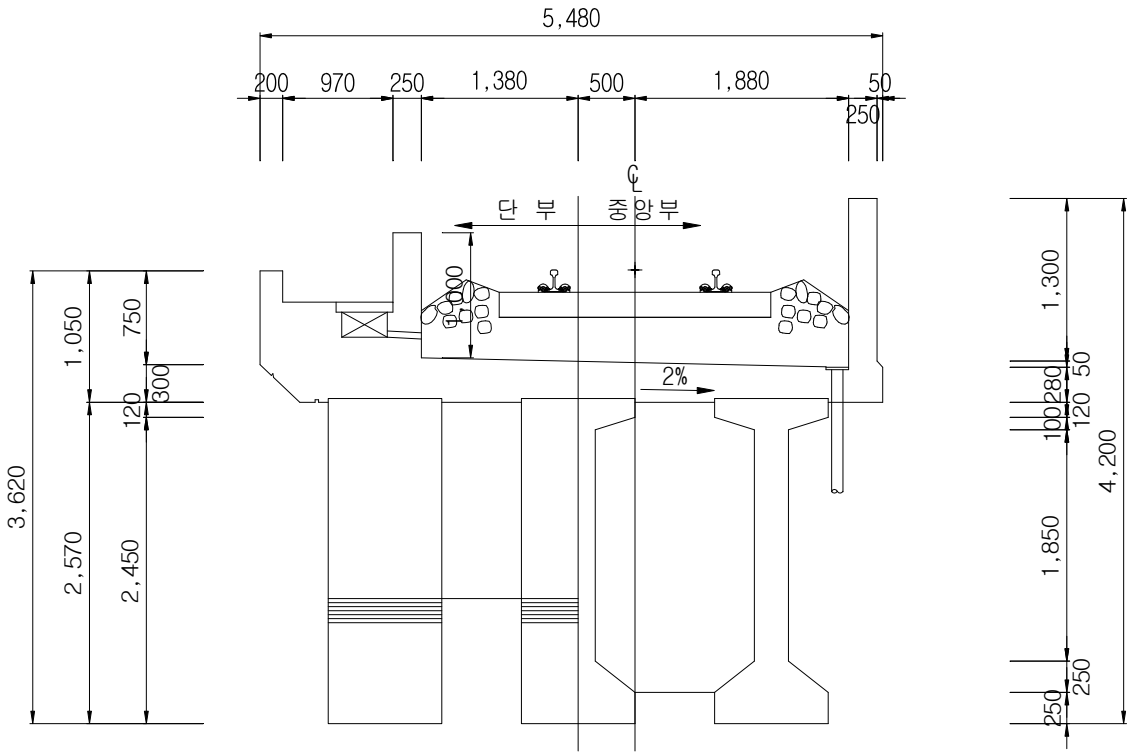


(b)자갈궤도

<그림 3.1.8 MPC거더 30m 경간 단선 철도교 횡단면도 (3주형)>

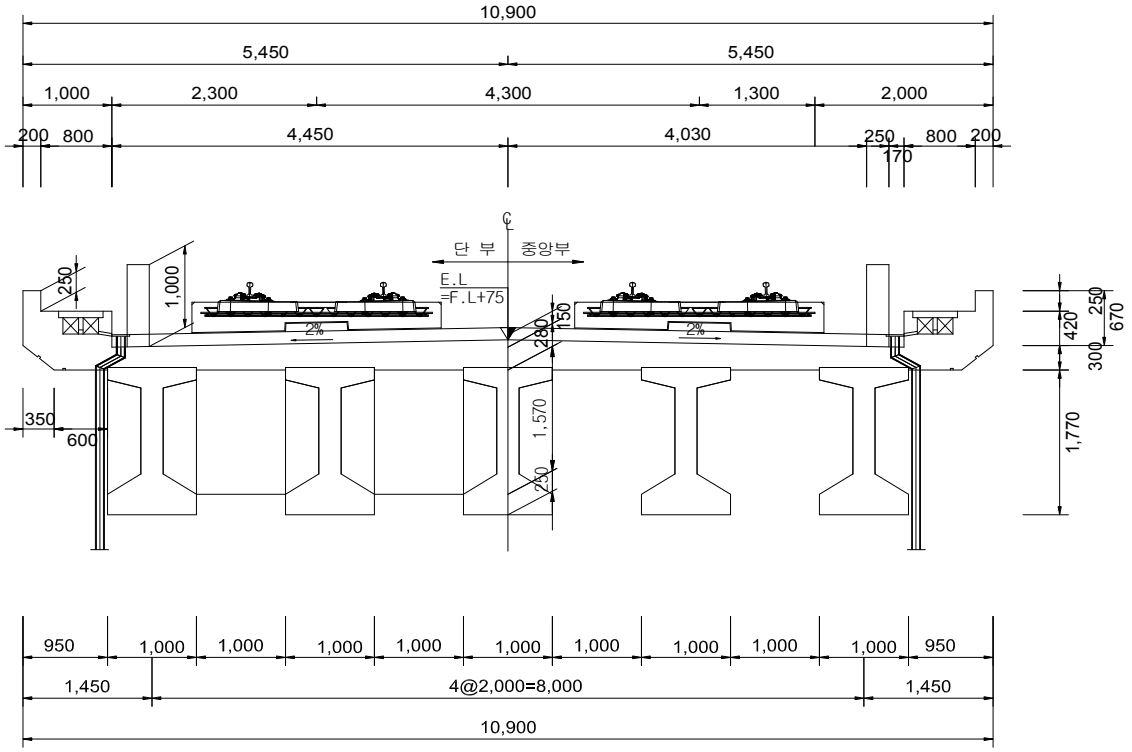


(a) 콘크리트궤도

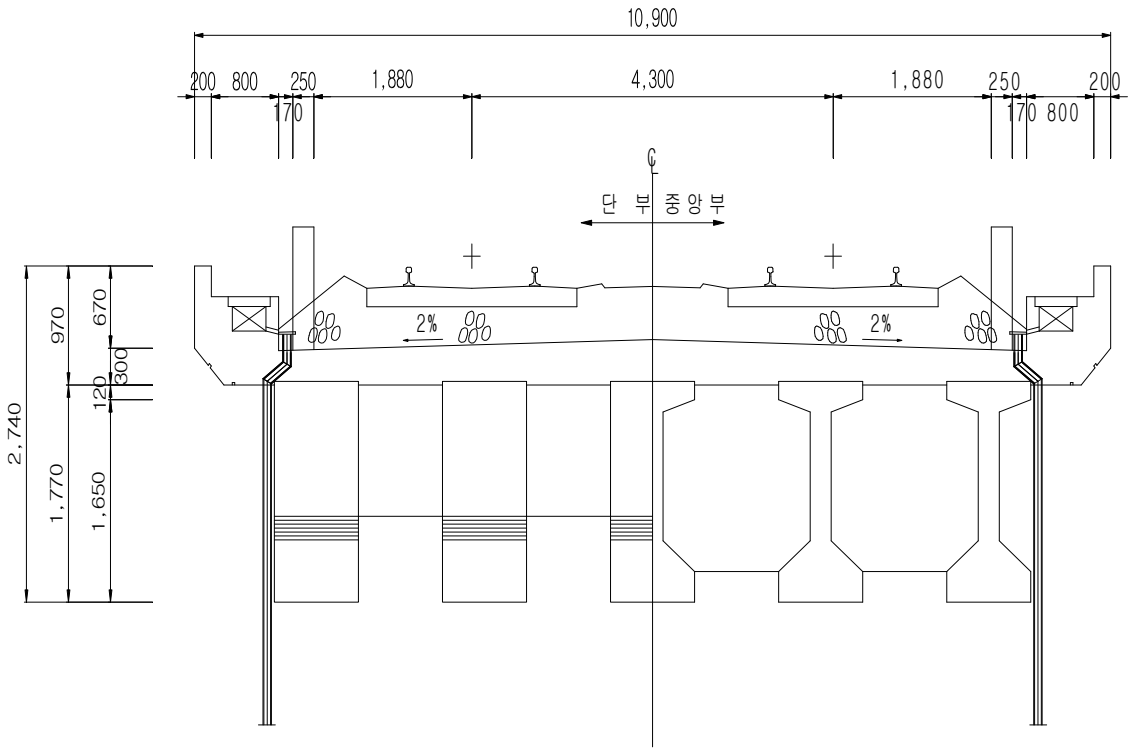


(b)자갈궤도

<그림 3.1.9 MPC거더 35m 경간 단선 철도교 횡단면도 (3주형)>

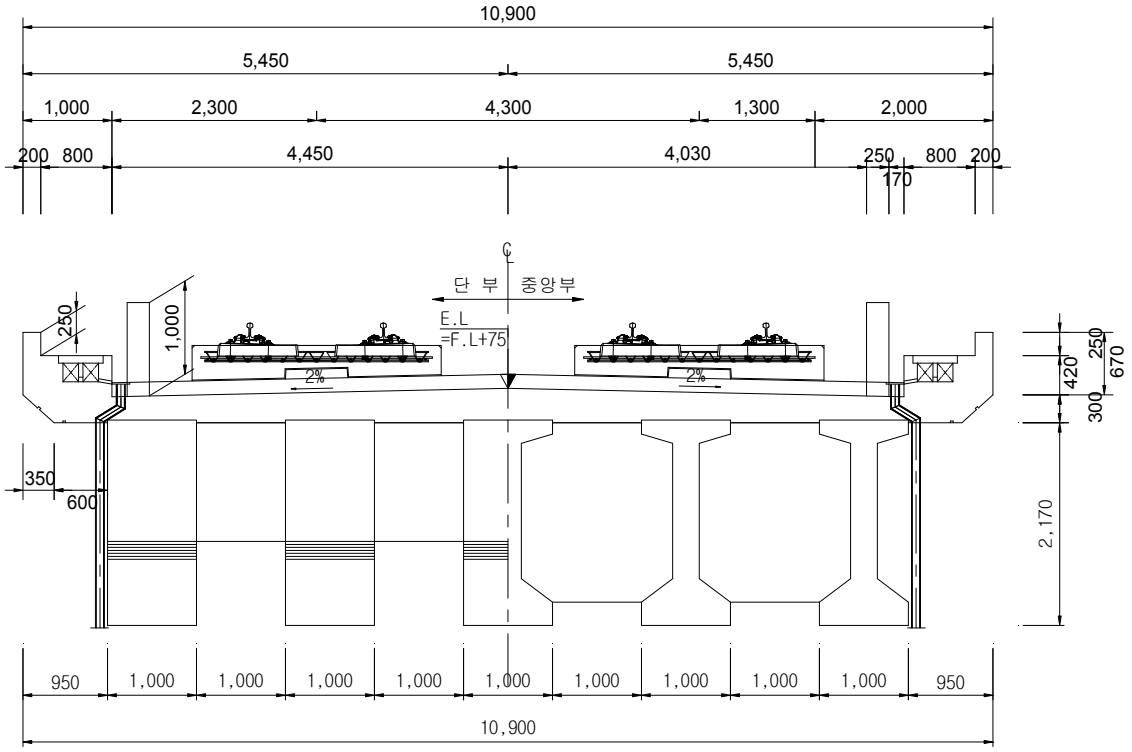


(a) 콘크리트궤도

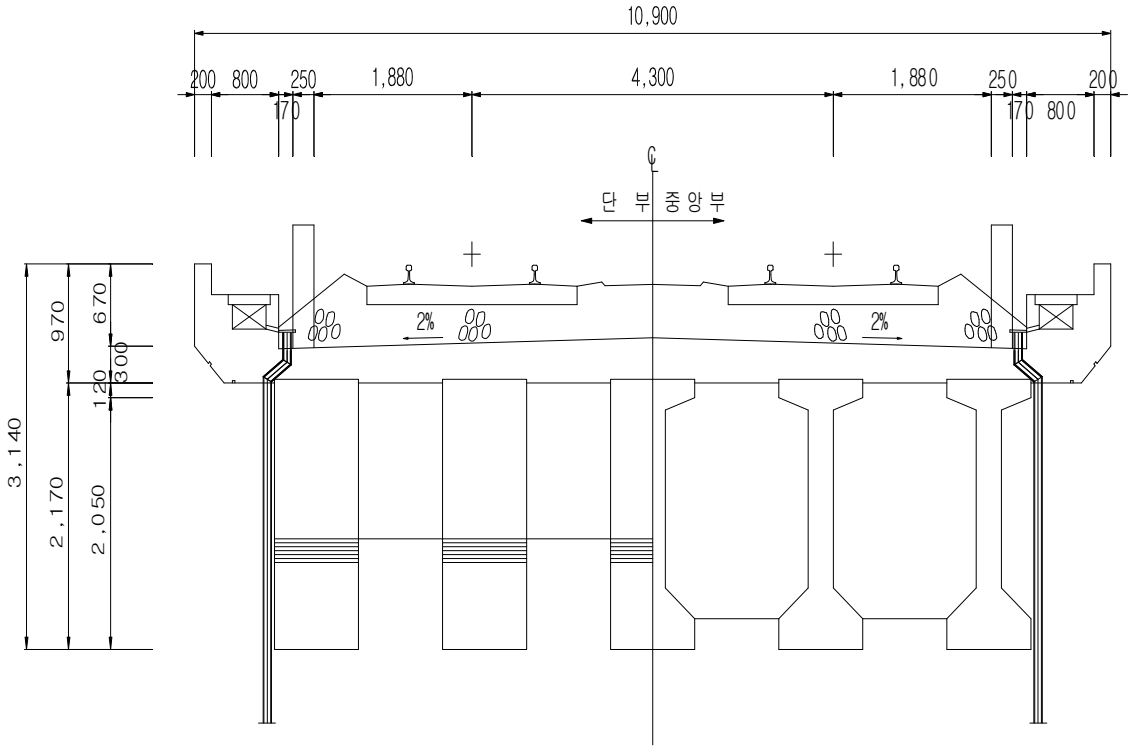


(b)자갈궤도

<그림 3.1.10 MPC거더 25m 경간 복선 철도교 횡단면도 (5주형)>

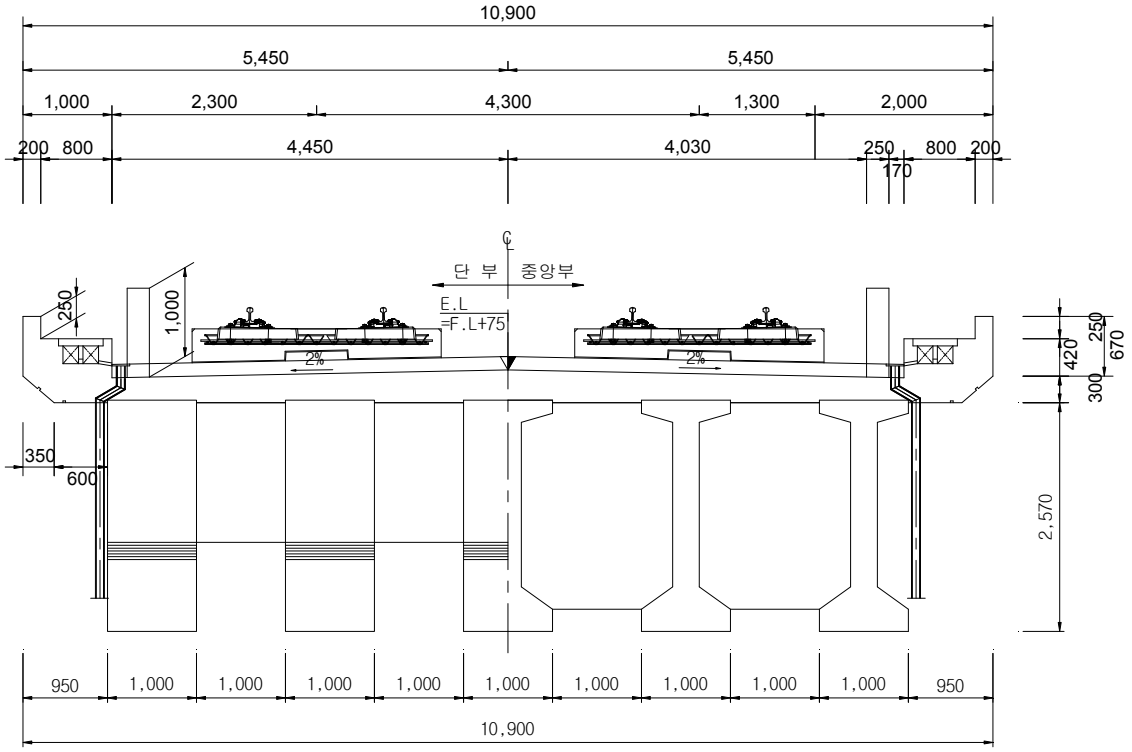


(a) 콘크리트궤도

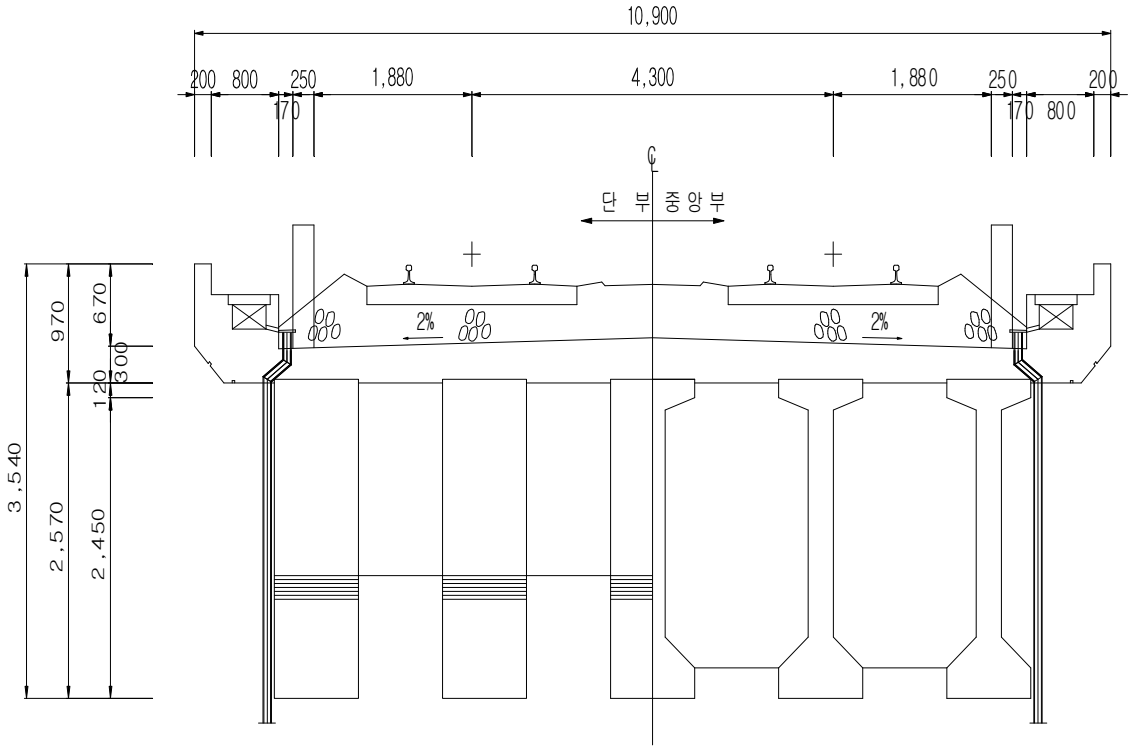


(b)자갈궤도

<그림 3.1.11 MPC거더 30m 경간 복선 철도교 횡단면도 (5주형)>



(a) 콘크리트궤도



(b)자갈궤도

<그림 3.1.12 MPC거더 35m 경간 복선 철도교 횡단면도 (5주형)>

마. MPC거더 철도교량의 동적응답 분석

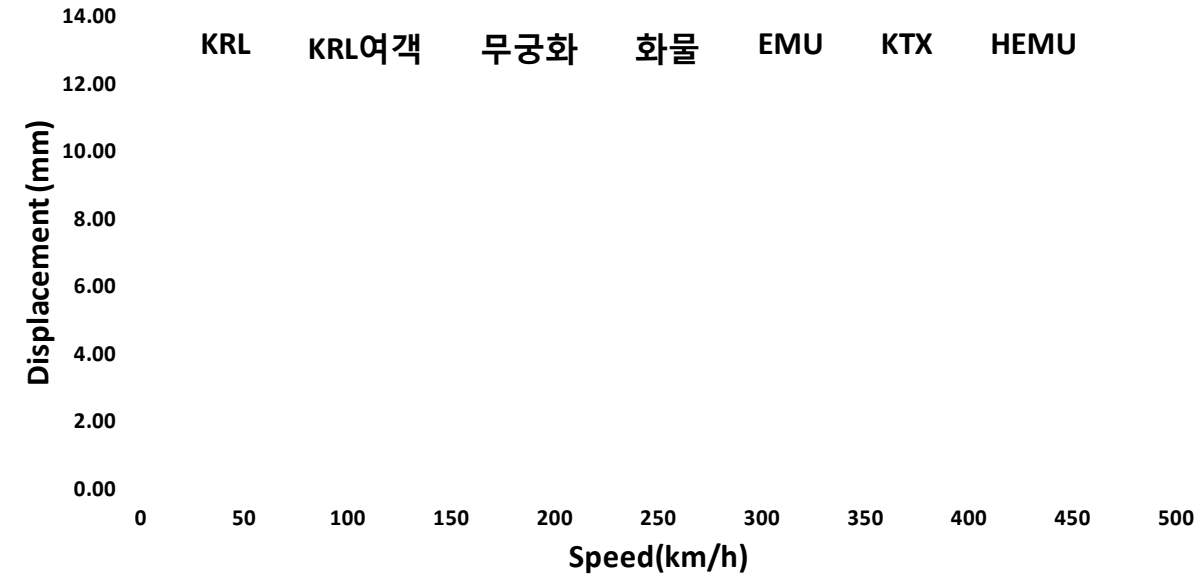
(1) 고유진동수 및 임계속도 분석

- 교량의 자유진동해석(free vibration analysis)을 수행하여 지배적인 첫 번째 휨 고유진동수를 구하면 특정 축 간격을 가진 열차하중에 대한 공진(resonance) 및 공진소멸(resonance suppression)을 예상할 수 있는 열차 속도를 구할 수 있다. 철도교량의 이동하중 해석 전 자유진동해석을 통해 공진이 발생되는 임계속도를 파악하는 것은 반드시 선행되어야 할 부분이다. 설계속도 내에서의 공진발생 파악 및 임계속도를 해석 범위 내에 포함시켜야 하기 때문이다.
- 본 연구에서는 자유진동해석에 일반적으로 많이 쓰이는 부공간반복법(Sub-space Iteration Method)를 사용하여 고유진동수 및 모드형상을 분석하였다. 교량의 모델링은 상판은 판요소로 모델링하고, 거더는 공간뼈대요소를 사용하는 3차원 모델링을 적용하였다.

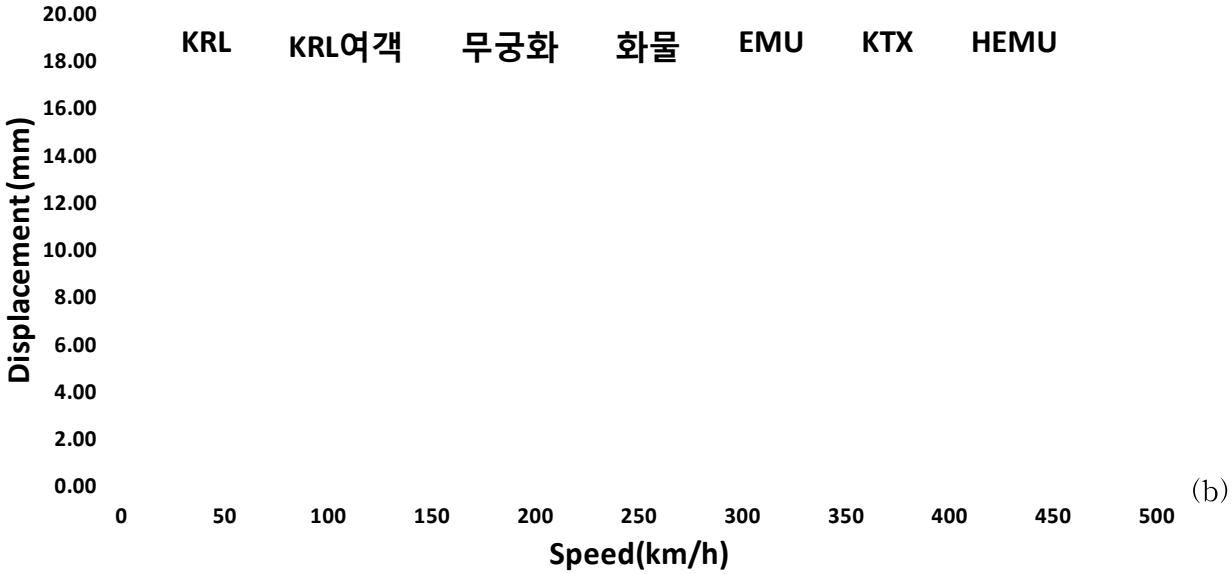
<표 3.1.3 MPC거더 철도교량 경간별 고유진동수 및 임계속도>

경간	(궤도형식 및 주형)	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
			KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
25m	단선 3주형 (콘크리트궤도)	5.37	361.4	469.6	269.6	454.1	413.6
	단선 3주형 (자갈궤도)	4.97	334.3	434.5	249.4	420.1	382.6
	복선 5주형 (콘크리트궤도)	5.19	349.5	454.1	260.7	439.2	399.9
	복선 5주형 (자갈궤도)	4.73	318.4	413.8	237.5	400.2	364.4
30m	단선 3주형 (콘크리트궤도)	4.52	304.3	395.4	227.0	382.4	348.2
	단선 3주형 (자갈궤도)	4.37	294.2	382.3	219.5	369.7	336.7
	복선 5주형 (콘크리트궤도)	4.19	282.1	366.5	210.4	354.5	322.8
	복선 5주형 (자갈궤도)	4.01	270.0	350.8	201.4	339.2	308.9
35m	단선 3주형 (콘크리트궤도)	3.93	264.5	343.8	197.3	332.4	302.7
	단선 3주형 (자갈궤도)	3.66	246.4	320.2	183.8	309.7	282.0
	복선 5주형 (콘크리트궤도)	3.81	256.3	333.0	191.2	322.1	293.3
	복선 5주형 (자갈궤도)	3.51	236.1	306.8	176.1	296.7	270.2

2) 연직처짐



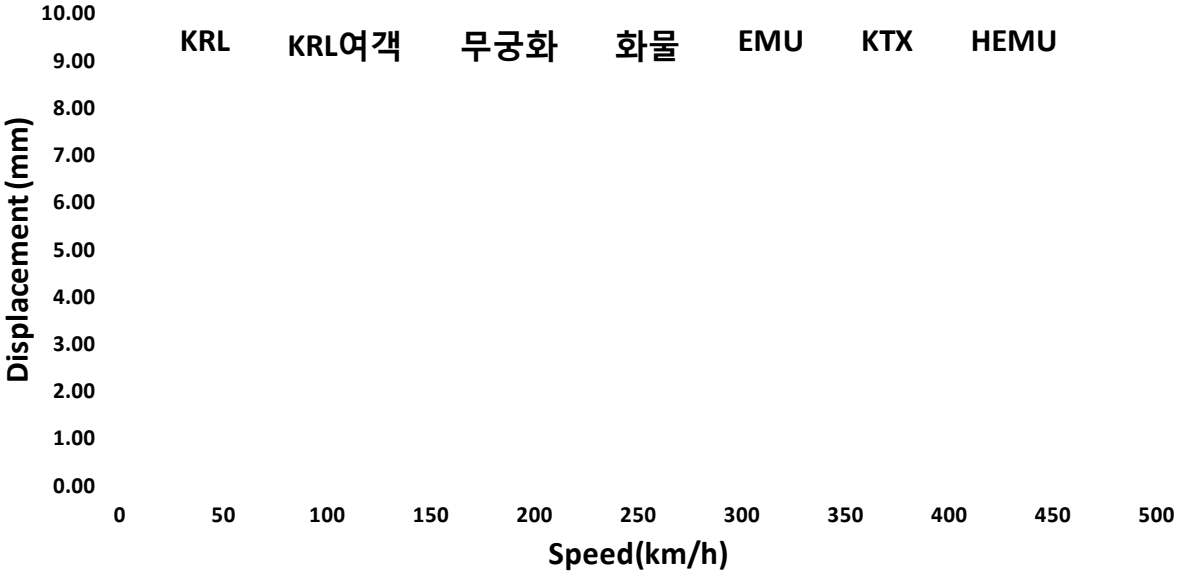
(a) 콘크리트궤도



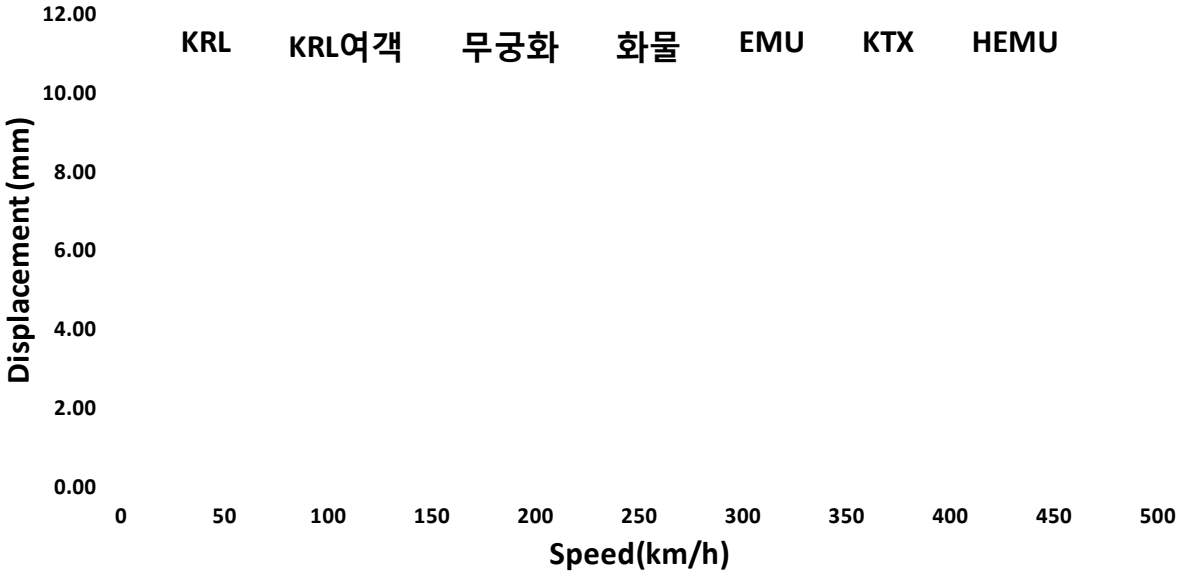
(b)

자갈궤도

<그림 3.1.13 국내 운행열차하중에 대한 25m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 16.67mm) >

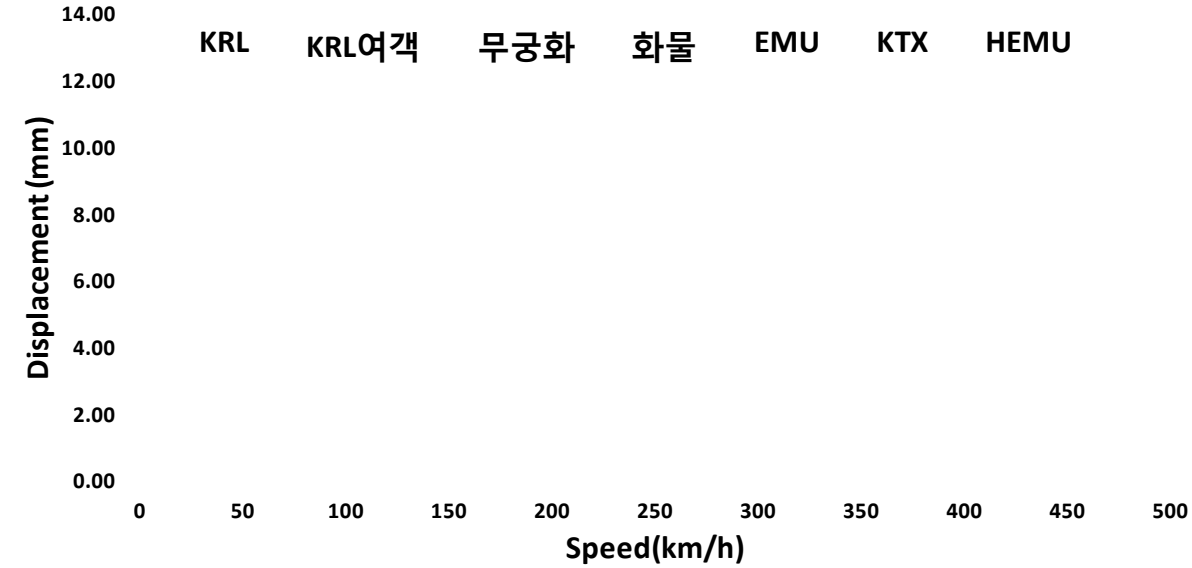


(a) 콘크리트궤도

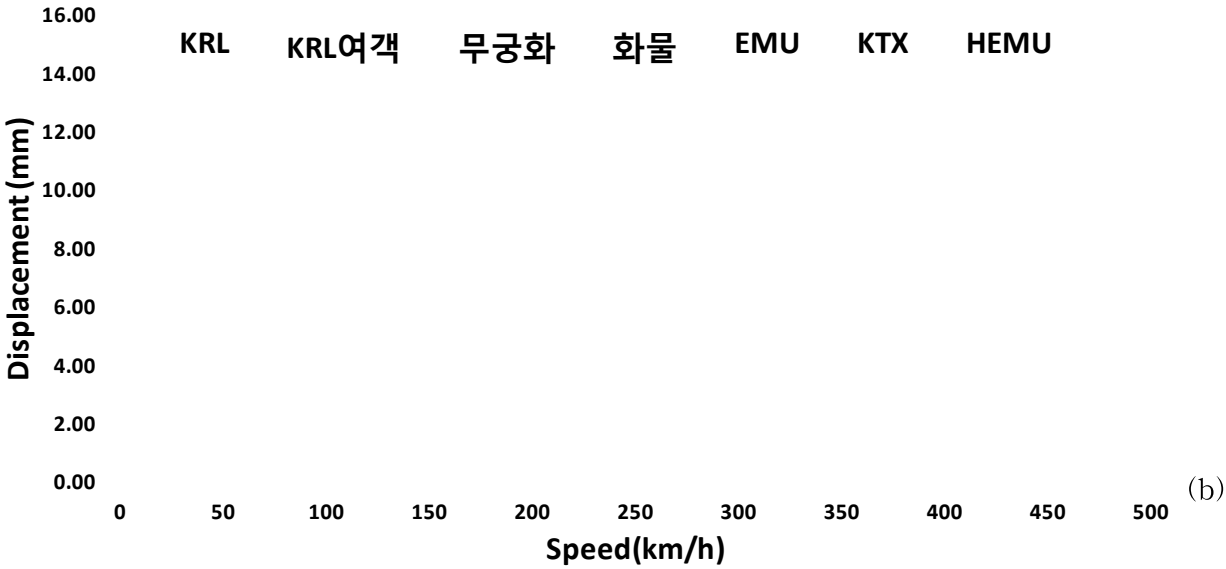


(b) 자갈궤도

<그림 3.1.14 국내 운행열차하중에 대한 25m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 16.67mm)>



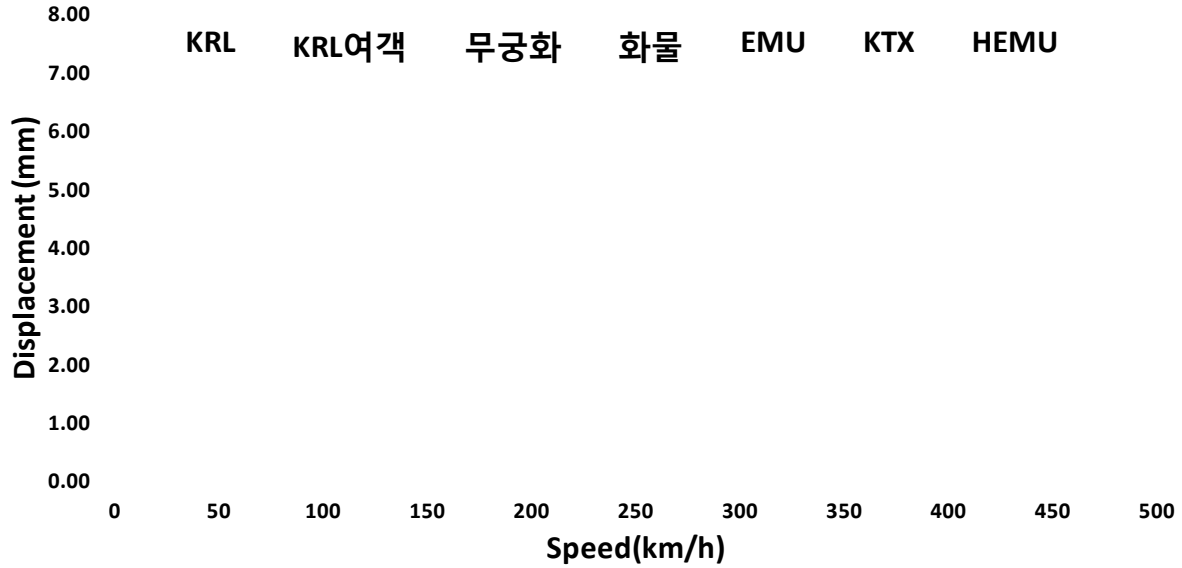
(a) 콘크리트궤도



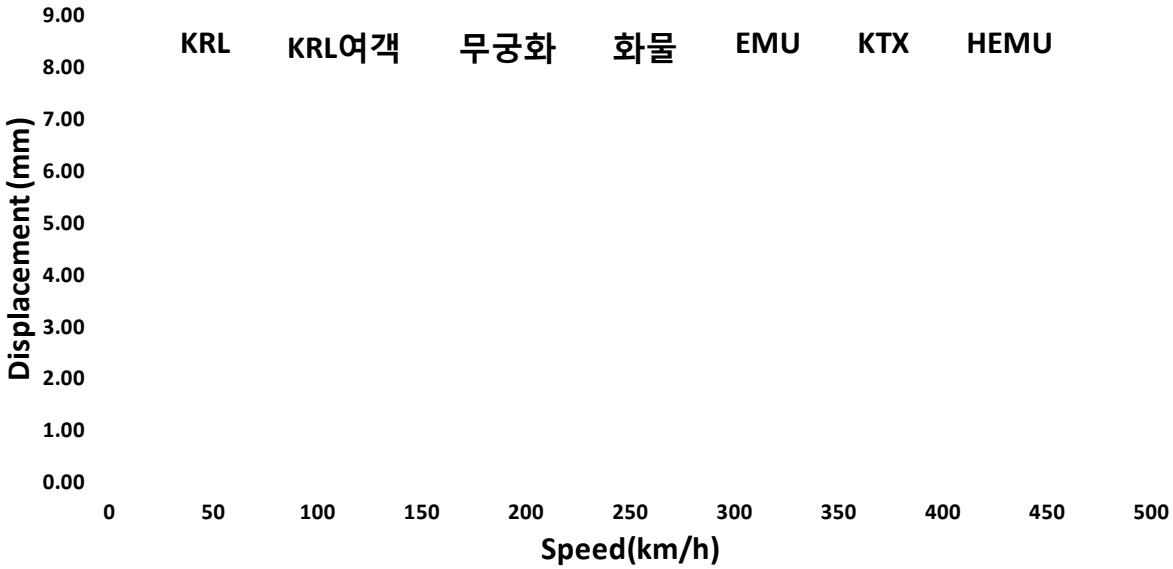
(b)

자갈궤도

<그림 3.1.15 국내 운행열차하중에 대한 30m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 18.75mm)>

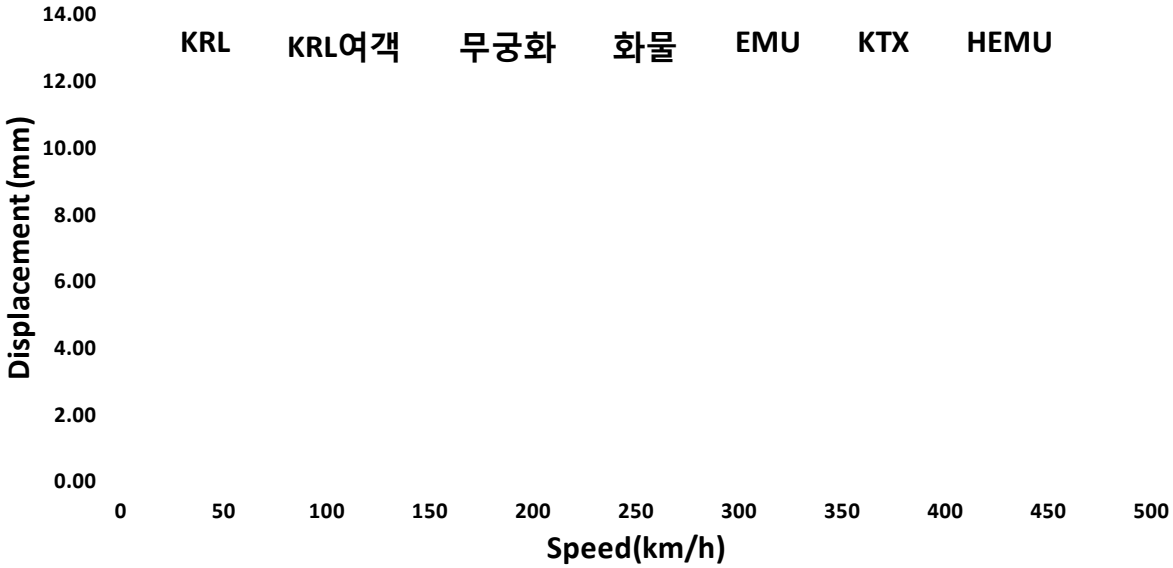


(a) 콘크리트궤도

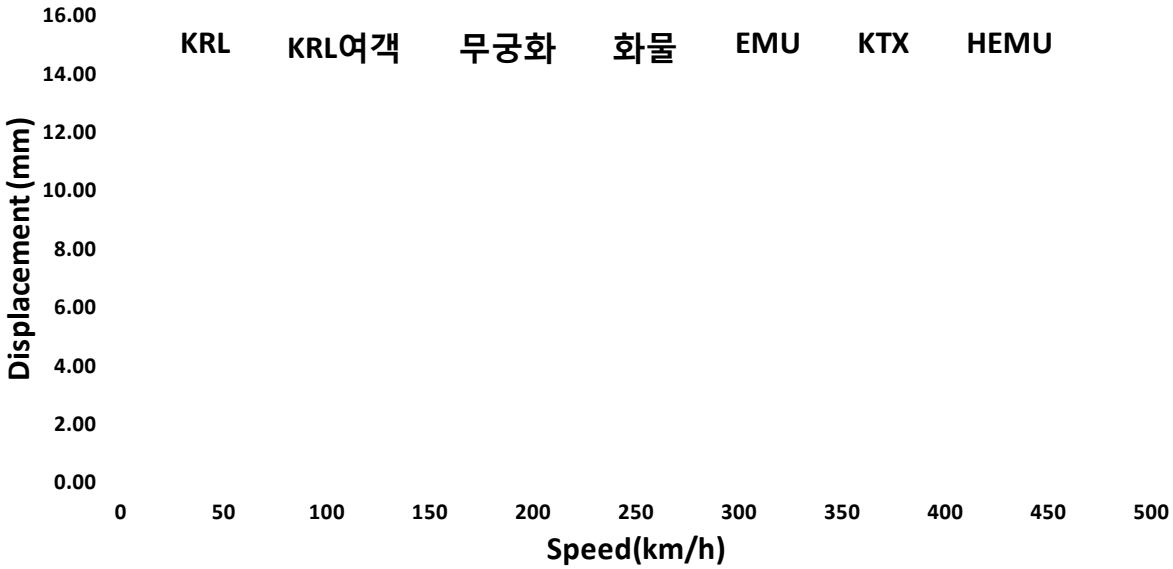


(b) 자갈궤도

<그림 3.1.16 국내 운행열차하중에 대한 30m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 18.75mm)>

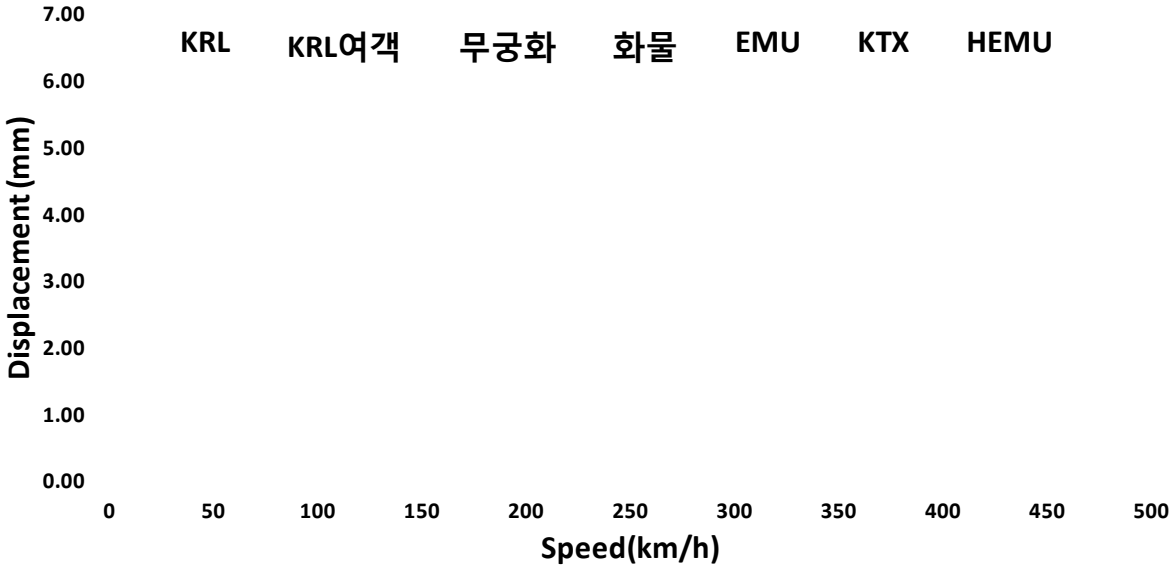


(a) 콘크리트궤도

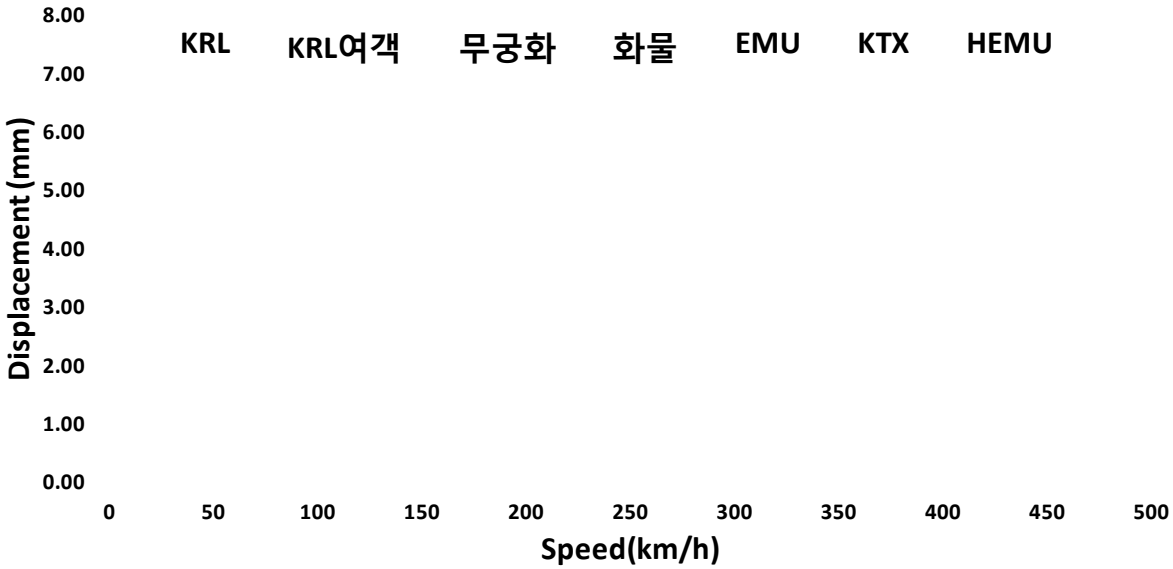


(b) 자갈궤도

<그림 3.1.17 국내 운행열차하중에 대한 35m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 20.00mm)>



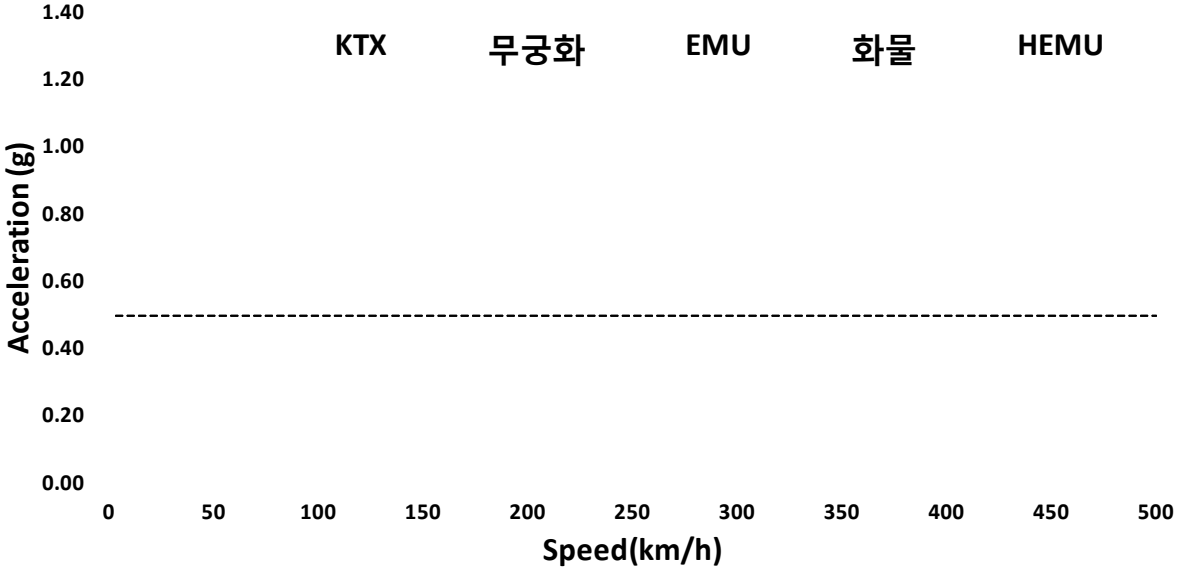
(a) 콘크리트궤도



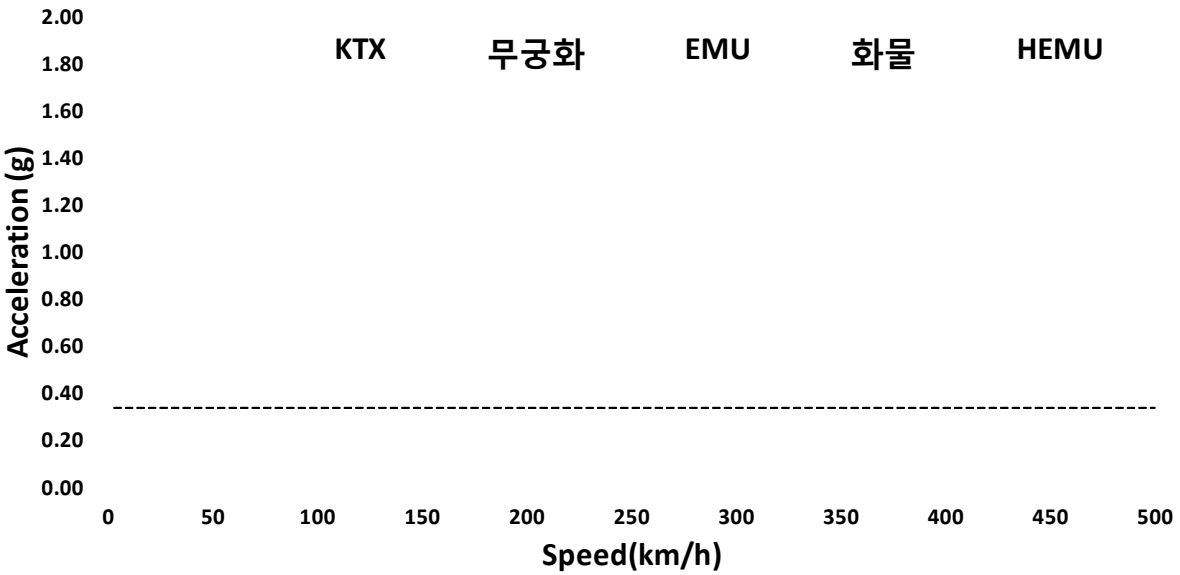
(b) 자갈궤도

<그림 3.1.18 국내 운행열차하중에 대한 35m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직처짐 , (철도설계기준(노반편) (2013), Eurocode = 20.00mm)>

(3) 상판의 연직가속도

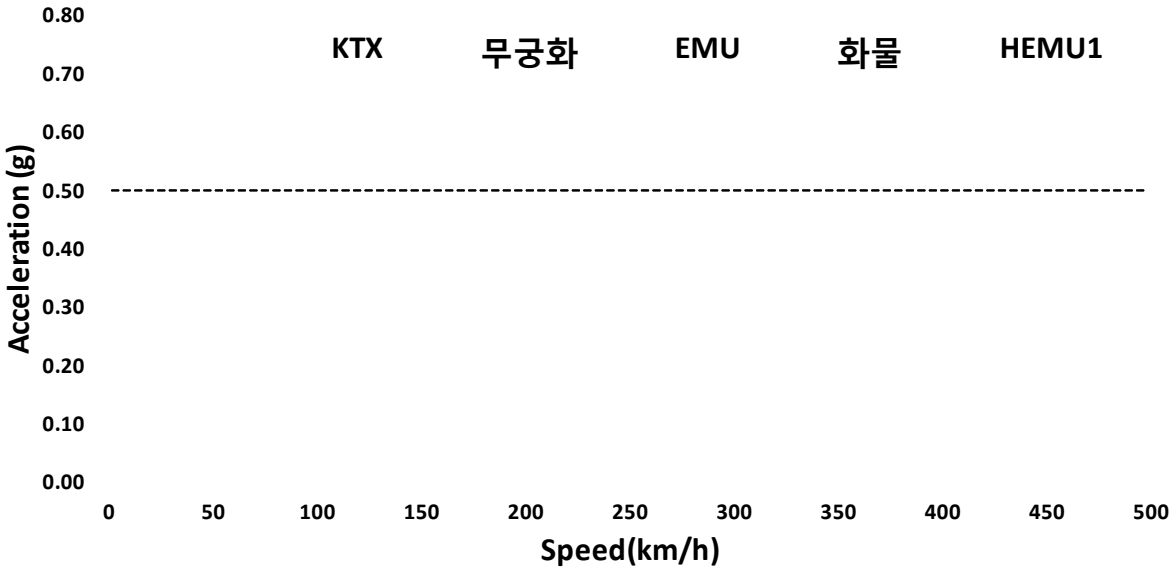


(a) 콘크리트궤도

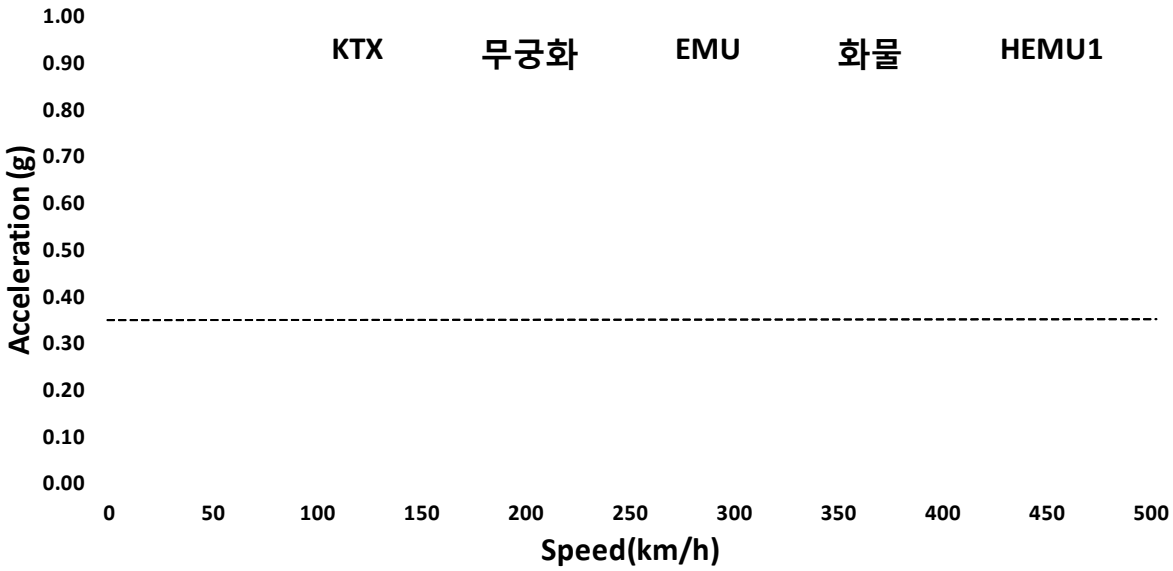


(b) 자갈궤도

<그림 3.1.19 국내 운행열차하중에 대한 25m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>

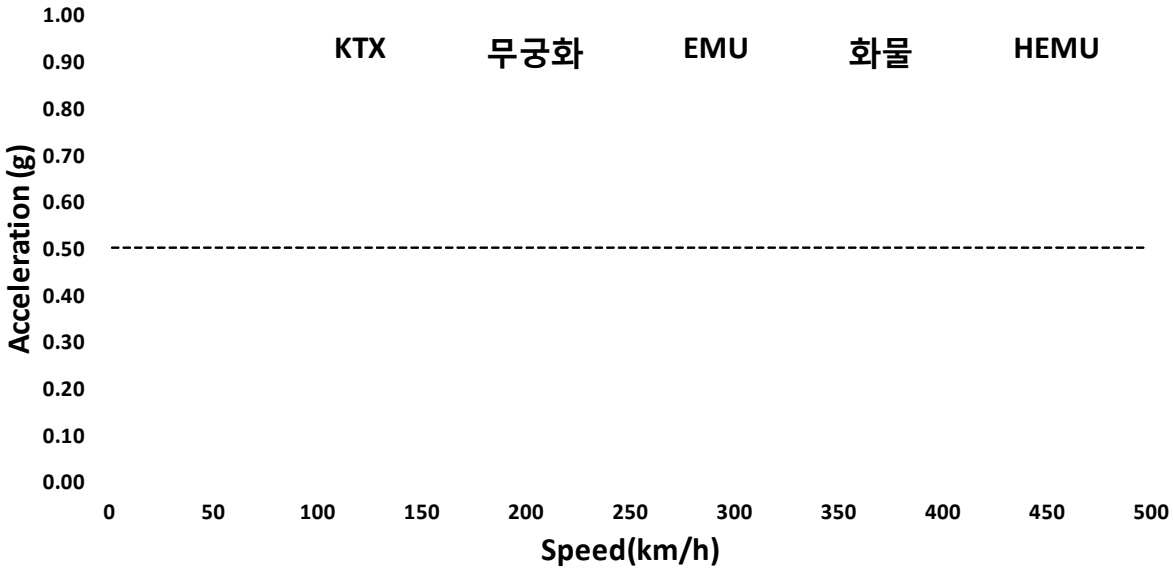


(a) 콘크리트궤도

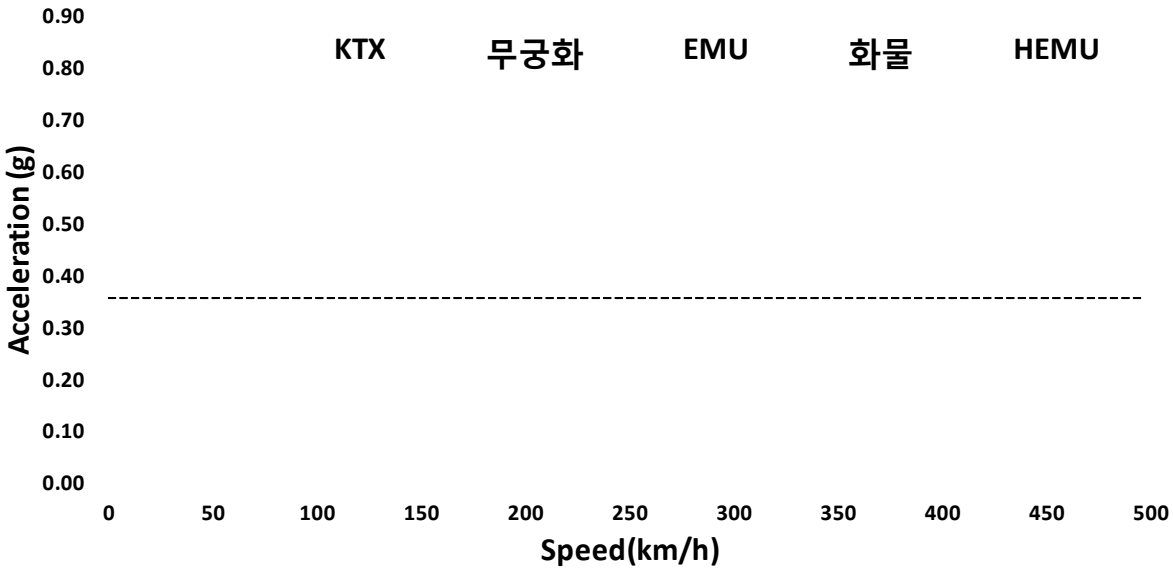


(b) 자갈궤도

<그림 3.1.20 국내 운행열차하중에 대한 25m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>

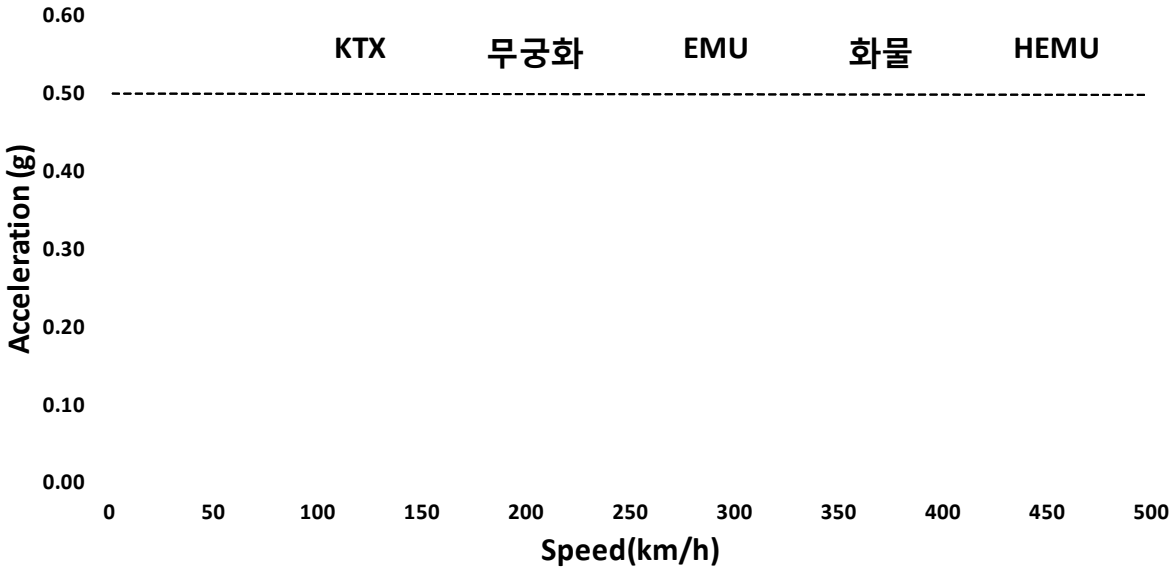


(a) 콘크리트궤도

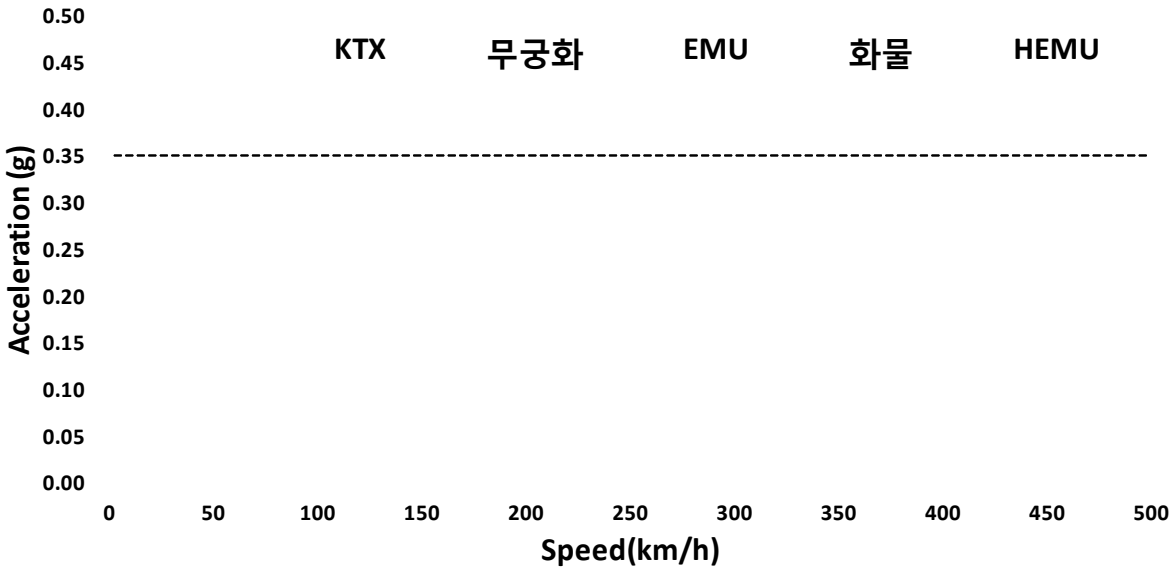


(b)자갈궤도

<그림 3.1.21 국내 운행열차하중에 대한 30m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>

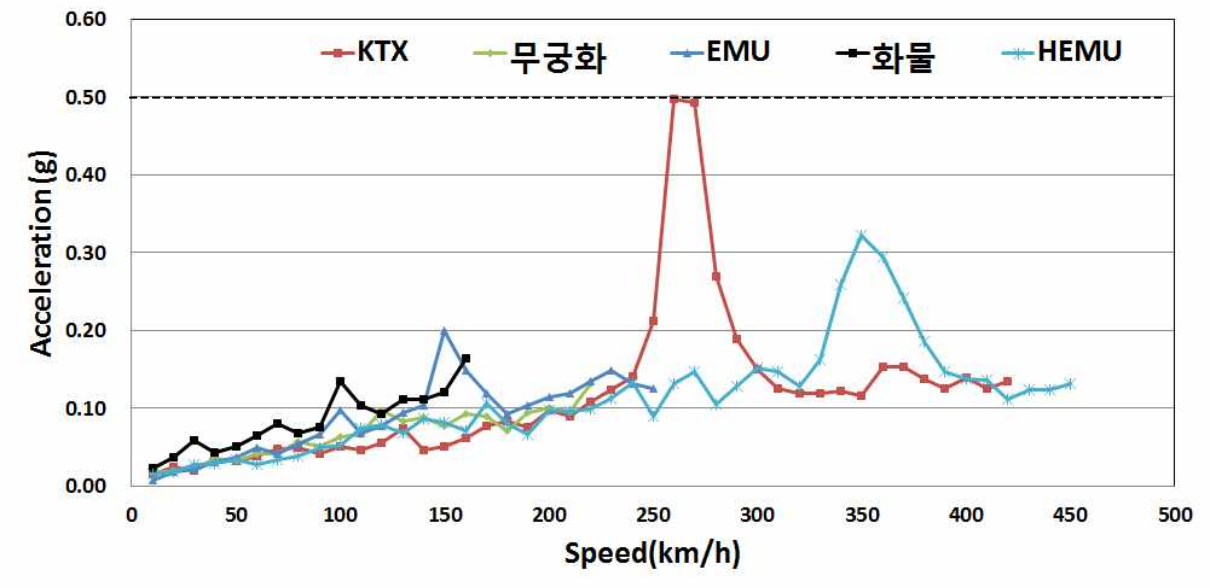


(a) 콘크리트궤도

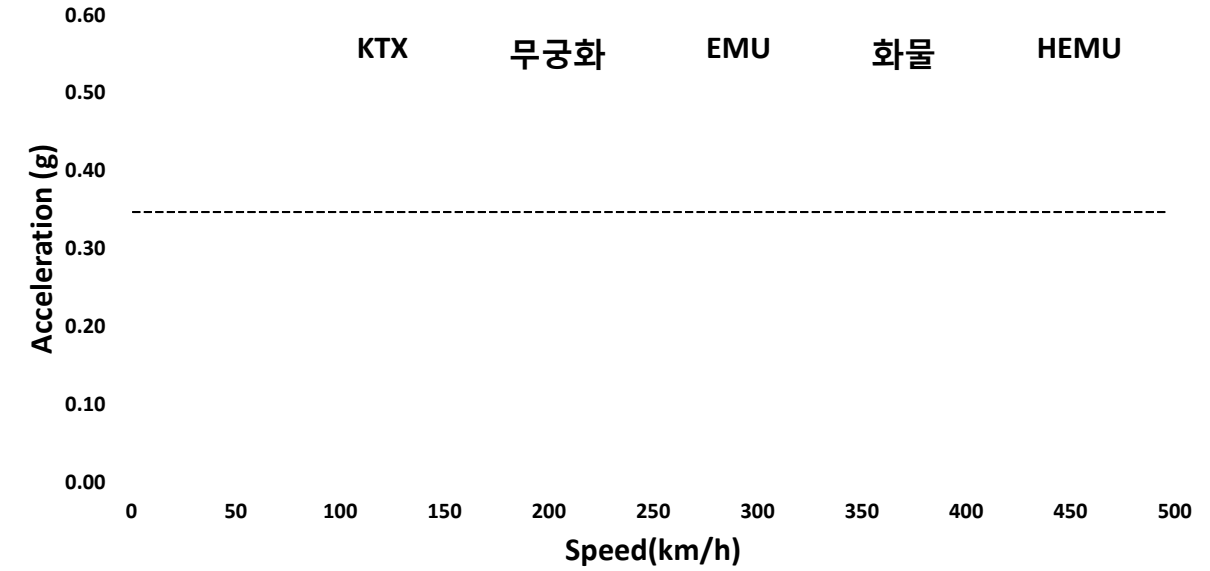


(b)자갈궤도

<그림 3.1.22 국내 운행열차하중에 대한 30m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>

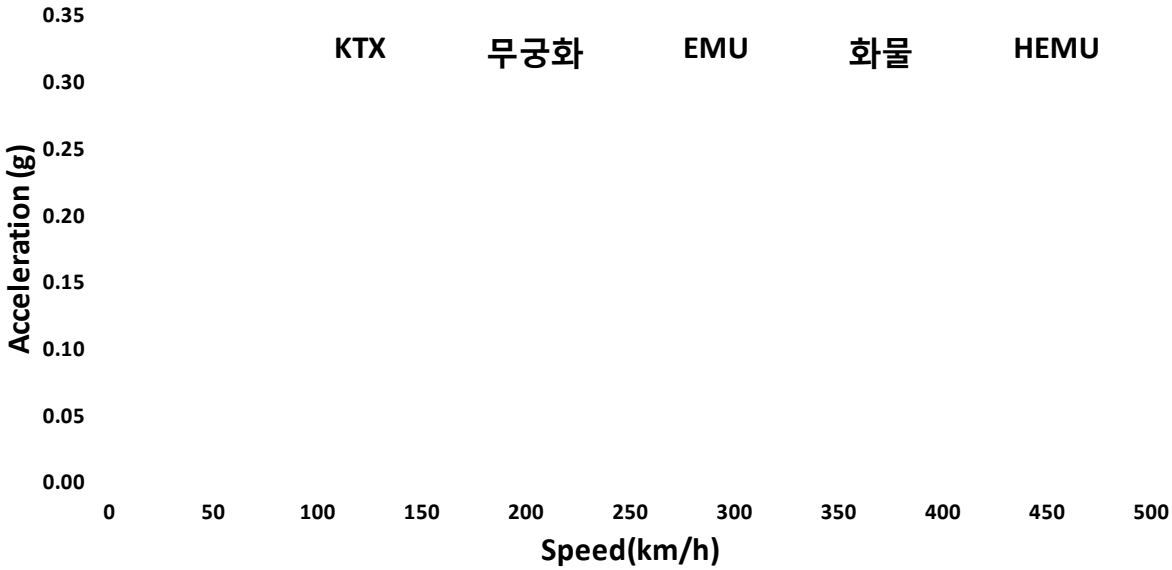


(a) 콘크리트궤도

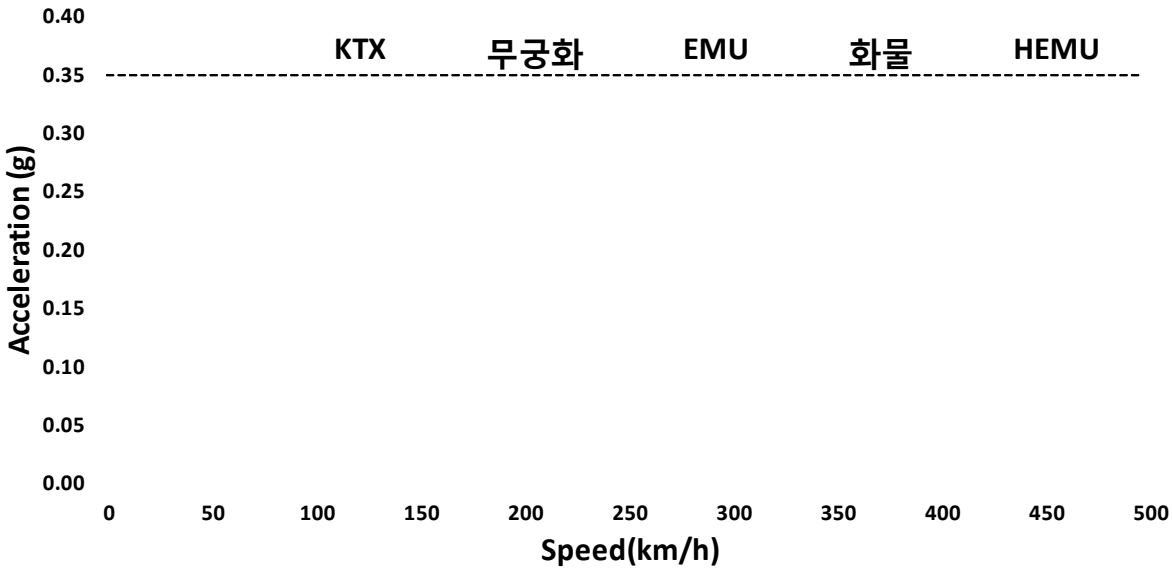


(b)자갈궤도

<그림 3.1.23 국내 운행열차하중에 대한 35m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>



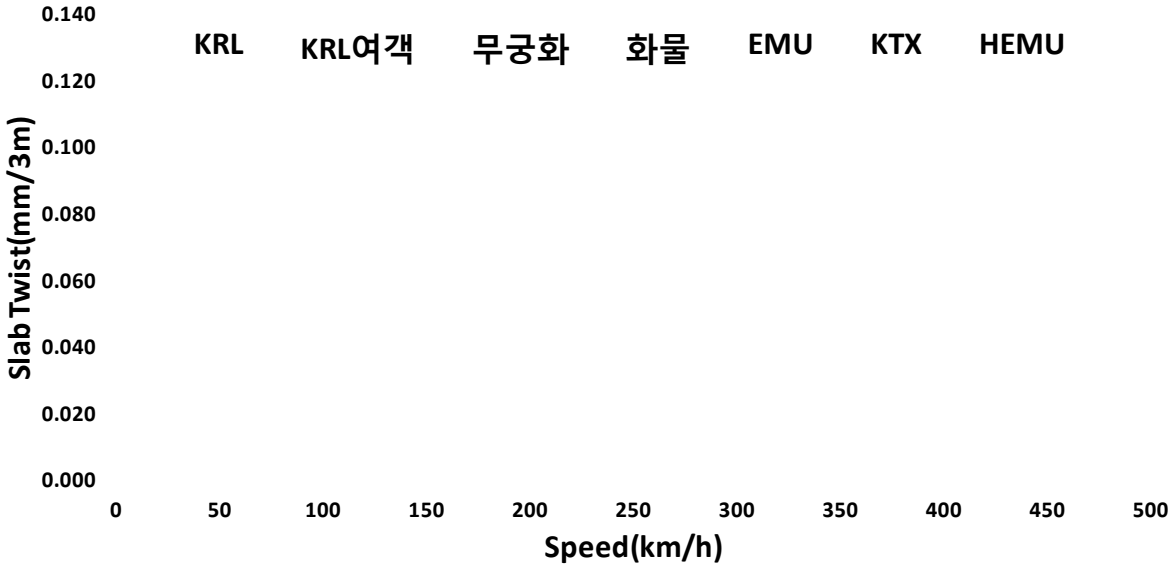
(a) 콘크리트궤도



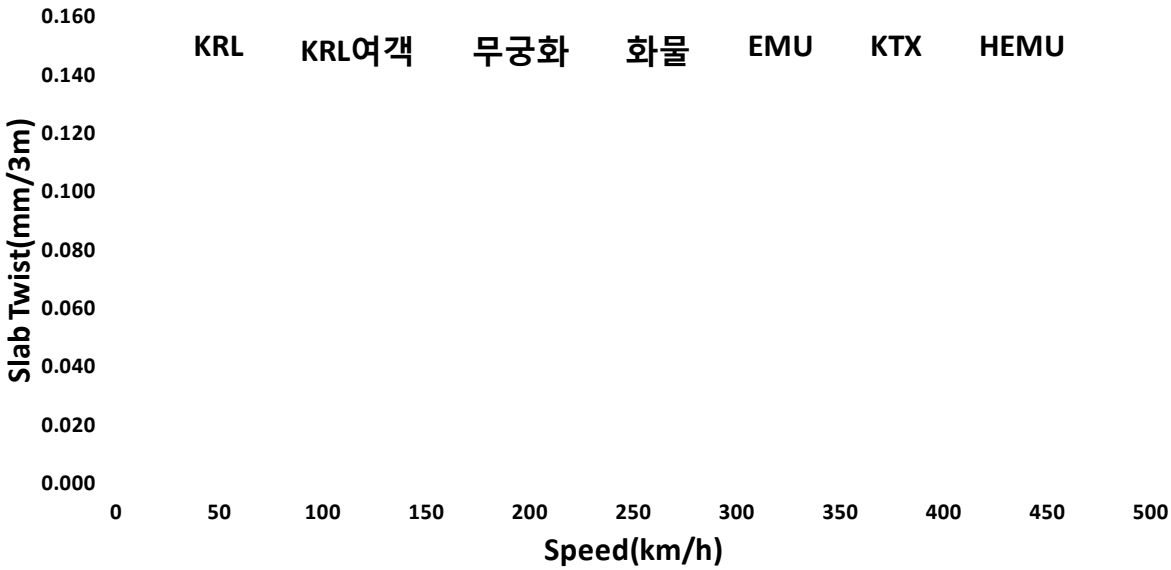
(b) 자갈궤도

<그림 3.1.24 국내 운행열차하중에 대한 35m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 연직가속도 (철도설계기준(노반편) (2013), 자갈궤도=0.35g, 콘크리트궤도=0.50g)>

(4) 면틀림

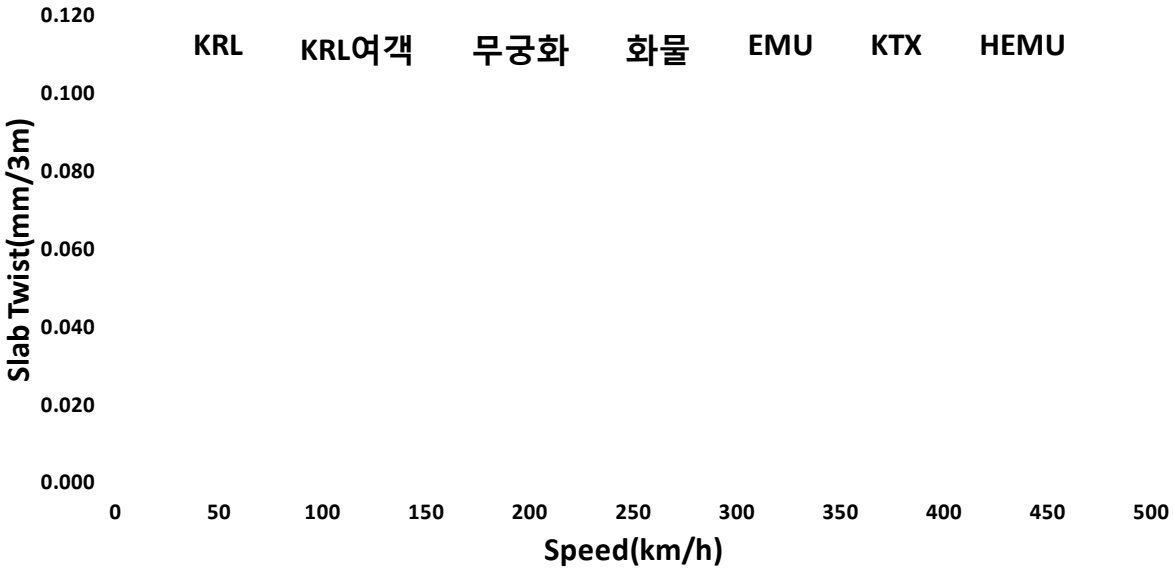


(a) 콘크리트궤도

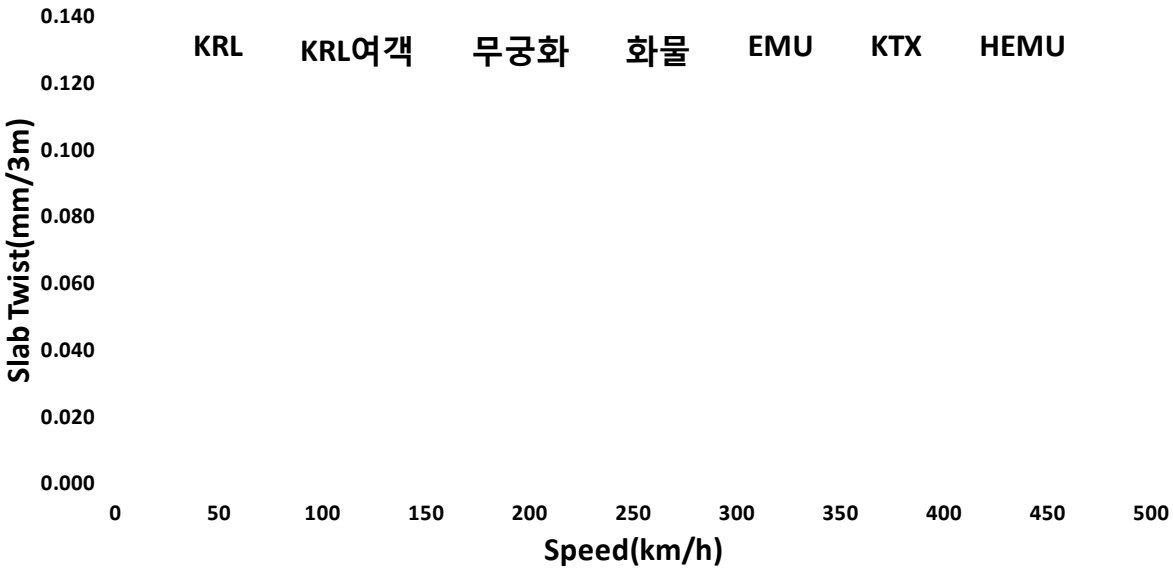


(b)자갈궤도

<그림 3.1.25 국내 운행열차하중에 대한 25m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>

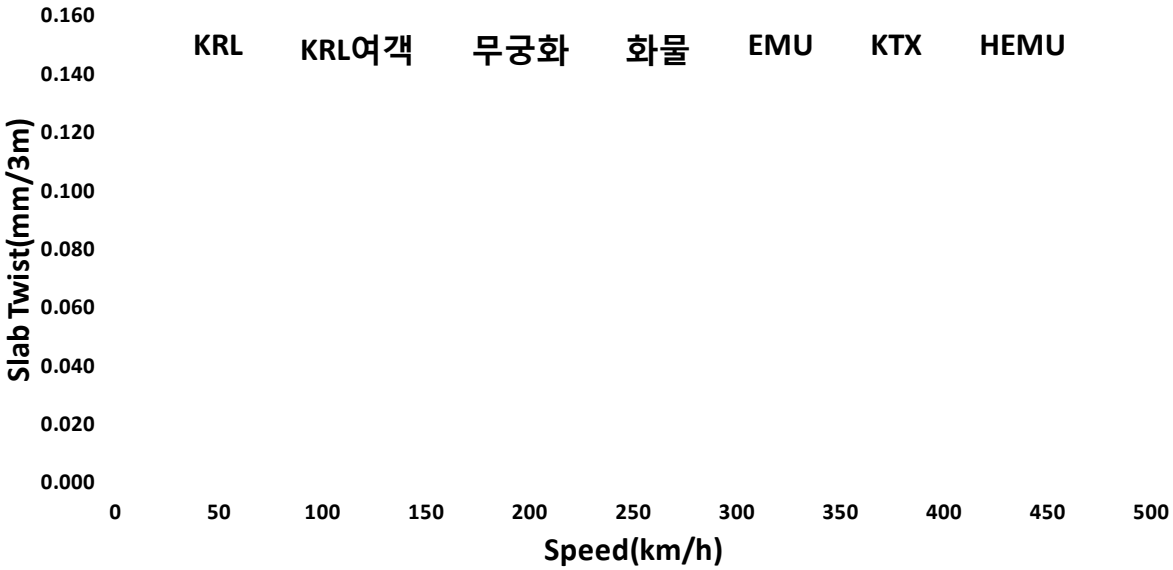


(a) 콘크리트궤도

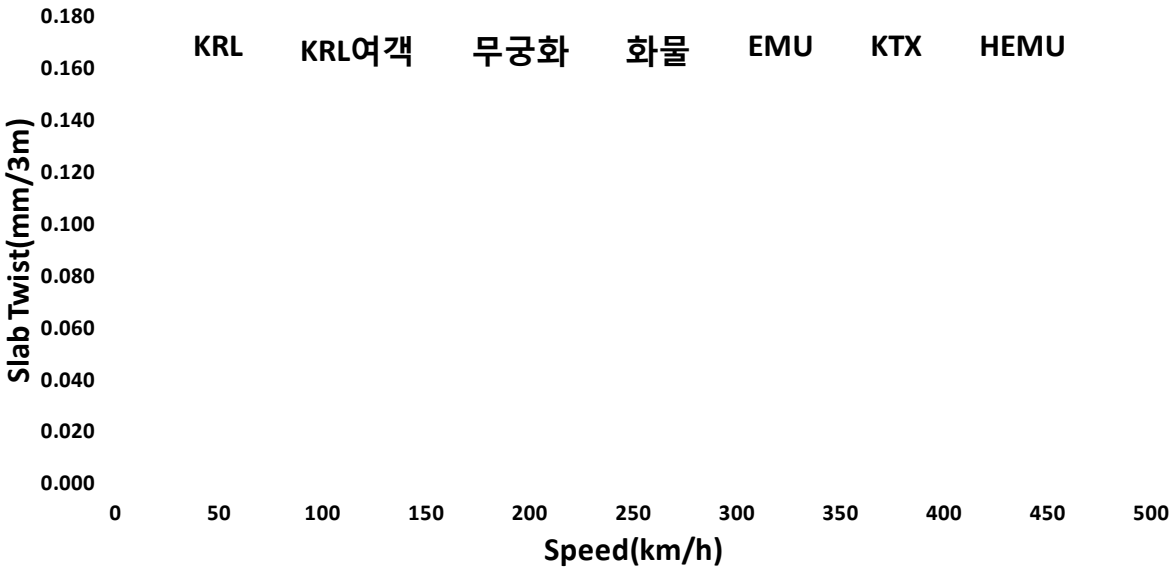


(b)자갈궤도

<그림 3.1.26 국내 운행열차하중에 대한 25m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>

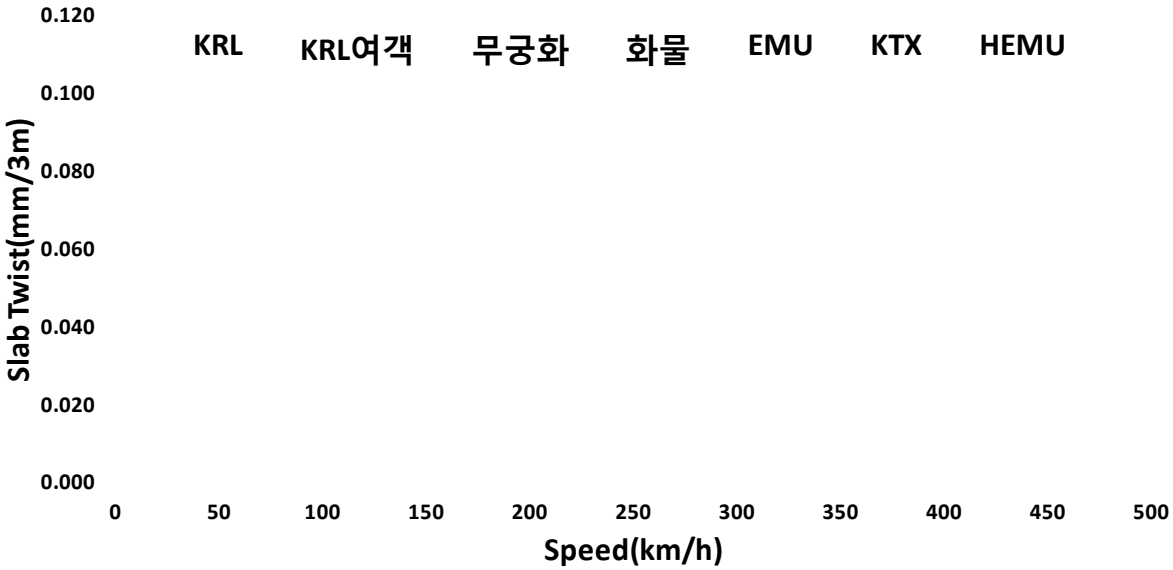


(a) 콘크리트궤도

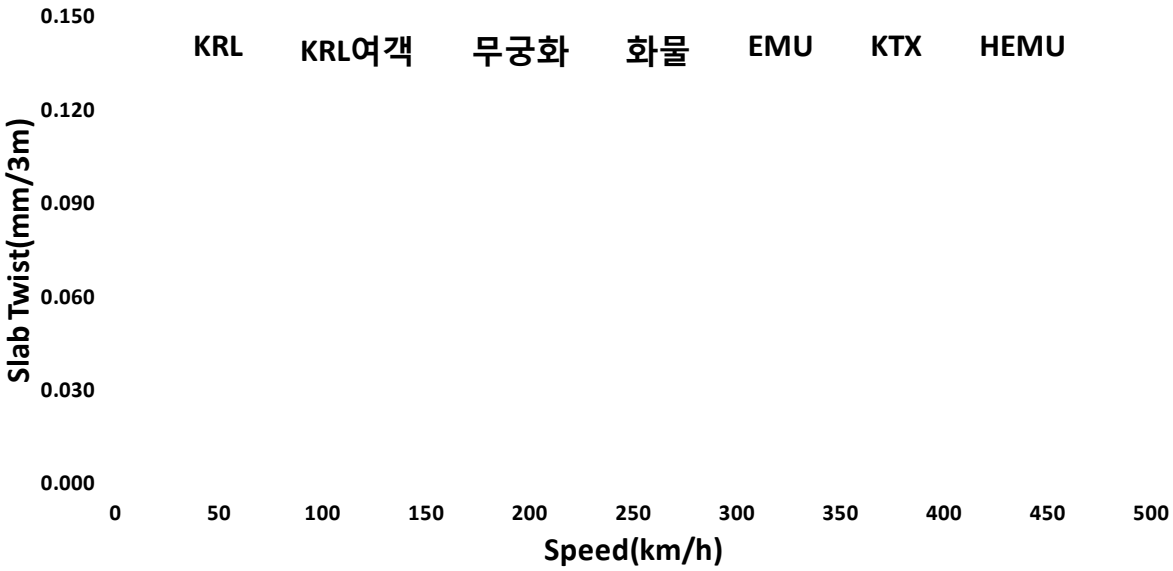


(b)자갈궤도

<그림 3.1.27 국내 운행열차하중에 대한 30m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>

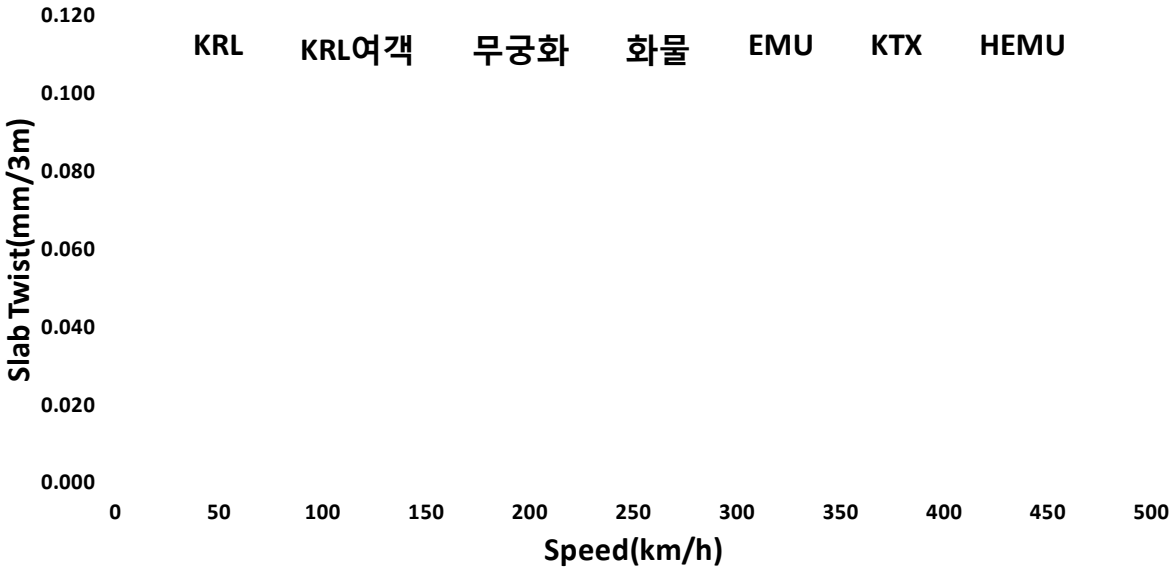


(a) 콘크리트궤도

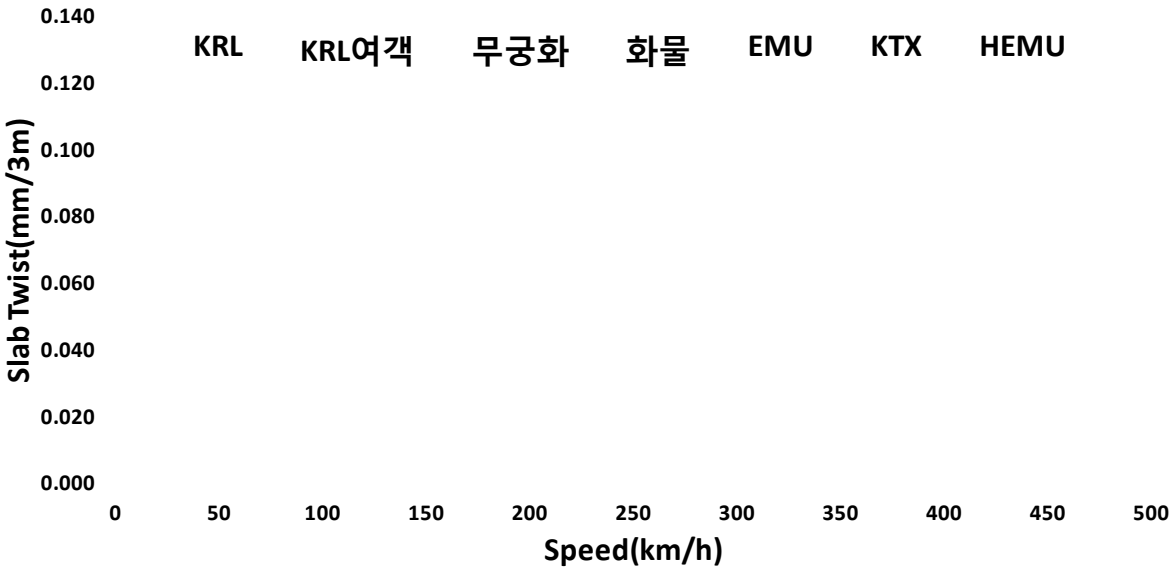


(b)자갈궤도

<그림 3.1.28 국내 운행열차하중에 대한 30m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>

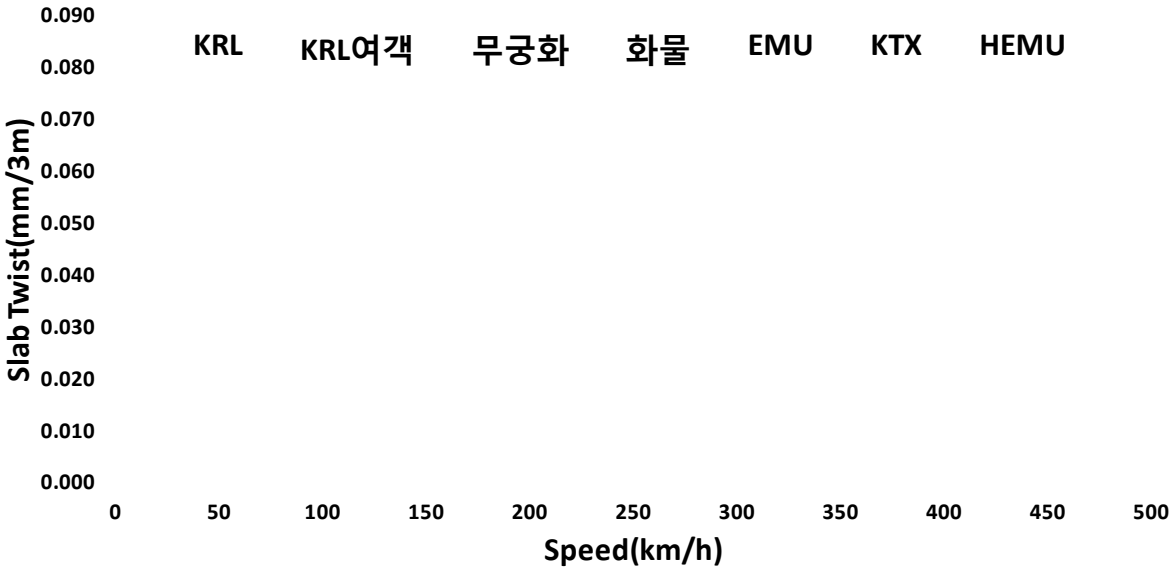


(a) 콘크리트궤도

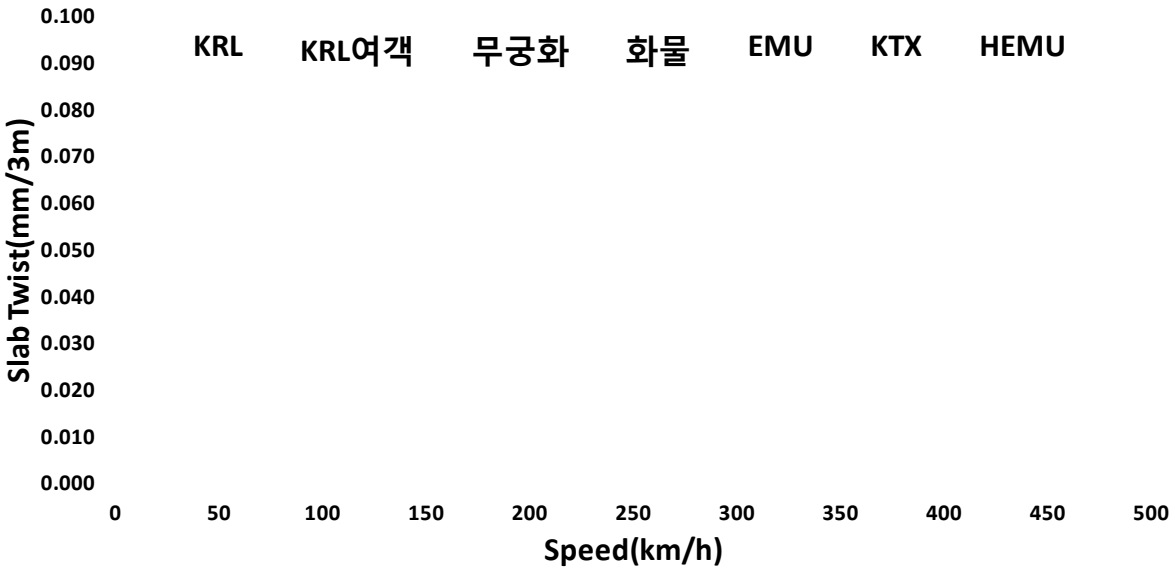


(b)자갈궤도

<그림 3.1.29 국내 운행열차하중에 대한 35m 단선 3주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>



(a) 콘크리트궤도



(b)자갈궤도

<그림 3.1.30 국내 운행열차하중에 대한 35m 복선 5주형 MPC거더 교량의 속도별 최대 면틀림>

(5) 동적성능검증 요약

<표 3.1.4 MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 25m)>

항목	경간	궤도형식 및 주형	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	단선	3주형 콘크리트궤도	5.37	361.4	469.6	269.6	454.1	413.6
		3주형 자갈궤도	4.97	334.3	434.5	249.4	420.1	382.6
	복선	5주형 콘크리트궤도	5.19	349.5	454.1	260.7	439.2	399.9
		5주형 자갈궤도	4.73	318.4	413.8	237.5	400.2	364.4
항목	경간	궤도형식 및 주형	철도설계기준 (노반편) (2013)	최대 동적응답				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	단선	3주형 콘크리트궤도	16.67mm (270<V≤350) 17.86mm (200<V≤270) 20.83mm (V≤200)	12.2600	10.2200	5.7870	3.5890	4.6040
		3주형 자갈궤도		12.8700	18.5200[1)]	4.8100	3.8400	5.0040
	복선	5주형 콘크리트궤도		7.1160	8.6290	2.5500	2.0290	2.6780
		5주형 자갈궤도		7.8110	10.6000	3.1470	2.1920	2.7880
상판 연직가속도	단선	3주형 콘크리트궤도	자갈궤도: 0.35g 콘크리트궤도: 0.50g	1.1910*	1.0860*	0.2917	0.2474	0.4295
		3주형 자갈궤도		1.1290*	1.8270*	0.1972	0.2642	0.3498
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.6227*	0.8676*	0.0648	0.1230	0.1786
		5주형 자갈궤도		0.5896*	0.9040*	0.0849	0.1092	0.1295
상판 면틀림	단선	3주형 콘크리트궤도	일반철도: 1.5mm/3m 고속철도: 1.2mm/3m	0.0529	0.0414	0.0745	0.0587	0.0447
		3주형 자갈궤도		0.0618	0.0459	0.0861	0.0681	0.0525
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.0419	0.0351	0.0634	0.0464	0.0380
		5주형 자갈궤도		0.0487	0.0448	0.0725	0.0538	0.0434

[1)] HEMU-430X 주행 시 단선 자갈궤도 교량에서의 연직변위 초과는 440km/h 주행시임

*KTX, HEMU-430X 주행 시 가속도 기준 초과에 대해 열차별 속도제한 등이 필요함

<표 3.1.5 MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 30m)>

항목	경간	궤도형식 및 주형	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	단선	3주형 콘크리트궤도	4.52	304.3	395.4	227.0	382.4	348.2
		3주형 자갈궤도	4.37	294.2	382.3	219.5	369.7	336.7
	복선	5주형 콘크리트궤도	4.19	282.1	366.5	210.4	354.5	322.8
		5주형 자갈궤도	4.01	270.0	350.8	201.4	339.2	308.9
항목	경간	궤도형식 및 주형	철도설계기준 (노반편) (2013)	최대 동적응답				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	단선	3주형 콘크리트궤도	18.75㎜ (270<V≤350) 20.00㎜ (200<V≤270) 23.08㎜ (V≤200)	4.3170	12.7500	6.2830	4.0700	3.9870
		3주형 자갈궤도		5.0570	13.5400	6.9400	4.3450	4.5770
	복선	5주형 콘크리트궤도		2.4740	7.2330	3.8990	2.3050	2.4080
		5주형 자갈궤도		2.7050	7.6830	4.2090	2.5050	2.3950
상판 연직가속도	단선	3주형 콘크리트궤도	자갈궤도: 0.35g 콘크리트궤도: 0.50g	0.2098	0.9310*	0.2471	0.1911	0.1984
		3주형 자갈궤도		0.2002	0.8498*	0.2000	0.2144	0.1895
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.0895	0.4789	0.1023	0.0691	0.0800
		5주형 자갈궤도		0.0877	0.4320*	0.0805	0.0847	0.0639
상판 면틀림	단선	3주형 콘크리트궤도	일반철도: 1.5㎜/3m 고속철도: 1.2㎜/3m	0.0557	0.0436	0.0862	0.0646	0.0491
		3주형 자갈궤도		0.0562	0.0439	0.0862	0.0657	0.0498
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.0389	0.0320	0.0637	0.0441	0.0366
		5주형 자갈궤도		0.0426	0.0349	0.0696	0.0489	0.0405

* HEMU-430X 주행 시에는 가속도 기준 초과에 대해 열차별 속도제한 등이 필요함

<표 3.1.6 MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 35m)>

항목	경간	궤도형식 및 주형	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	단선	3주형 콘크리트궤도	3.93	264.5	343.8	197.3	332.4	302.7
		3주형 자갈궤도	3.66	246.4	320.2	183.8	309.7	282.0
	복선	5주형 콘크리트궤도	3.81	256.3	333.0	191.2	322.1	293.3
		5주형 자갈궤도	3.51	236.1	306.8	176.1	296.7	270.2
항목	경간	궤도형식 및 주형	철도설계기준 (노반편) (2013)	최대 동적응답				
				KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	단선	3주형 콘크리트궤도	20.00㎜ (270<V≤350) 21.88㎜ (200<V≤270) 23.33㎜ (V≤200)	10.3400	6.7400	7.3180	5.1540	5.2870
		3주형 자갈궤도		11.6800	7.1820	7.8130	5.7040	5.8120
	복선	5주형 콘크리트궤도		6.3730	3.8110	4.1450	2.9710	2.9770
		5주형 자갈궤도		6.5800	4.0440	4.4670	3.3360	2.9370
상판 연직가속도	단선	3주형 콘크리트궤도	자갈궤도: 0.35g 콘크리트궤도: 0.50g	0.4976	0.3222	0.1636	0.1315	0.1999
		3주형 자갈궤도		0.4743*	0.2927	0.1498	0.1927	0.1659
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.2867	0.1556	0.0544	0.0607	0.0868
		5주형 자갈궤도		0.2487	0.1453	0.0548	0.0701	0.0703
상판 면틀림	단선	3주형 콘크리트궤도	일반철도: 1.5㎜/3m 고속철도: 1.2㎜/3m	0.0403	0.0319	0.0634	0.0483	0.0355
		3주형 자갈궤도		0.0437	0.0340	0.0688	0.0529	0.0385
	복선	5주형 콘크리트궤도		0.0282	0.0244	0.0458	0.0334	0.0254
		5주형 자갈궤도		0.0320	0.0279	0.0521	0.0378	0.0290

* 단선 자갈궤도 교량의 경우에만 KTX 임계속도인 250km/h 대역 주행 시 연직가속도 기준 초과

바. 결 론

- 동적응답 해석 결과, 대부분의 교량에서는 소요의 동적성능을 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났으나, 일부 기준값을 만족하지 못하는 결과도 아래와 같이 도출되었다.
- 25m 경간의 경우 일반열차 운행 시의 연직처짐, 연직가속도, 면틀림 기준을 모두 만족하나, 고속열차의 경우엔 연직변위 기준에 대해 HEMU-430X 440km/h 주행 시 승차감 확보를 위한 제한 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 가속도 기준은 25m 단선 콘크리트궤도 교량의 경우 KTX 350km/h 이상 주행 시, HEMU-430X 400km/h 이상 주행 시 제한기준을 초과하며, 25m 단선 자갈궤도 교량의 경우 KTX 320km/h 이상 주행 시, HEMU-430X 340km/h 이상 주행 시 제한기준을 초과한다. 복선 교량의 경우엔 단선 교량보다는 최대값이 작게 산출되며, 25m 복선 콘크리트궤도 교량의 경우 KTX 350km/h 이상 주행 시에만, HEMU-430X 450km/h 이상 주행 시에만 제한기준을 초과하며, 이는 KTX와 HEMU-430X의 실 운행속도를 고려하면 문제가 없다고 판단된다. 25m 복선 자갈궤도 교량의 경우 KTX 320km/h 이상 주행 시에만, HEMU-430X 400km/h 이상 주행 시 제한기준을 초과한다.
- 30m 경간의 경우 단선과 복선 철도교량 모두 일반/고속열차 주행 시 연직처짐과 면틀림 기준을 모두 만족하나, 가속도 기준 일부 초과하는 경우가 나타났다. KTX에 대해서는 공진소멸 지간과의 근접 효과에 의해 모든 동적응답이 안정적으로 나타나나, HEMU-430X의 경우 공진 부근에서 급격한 응답의 증폭이 나타나, 단선의 경우 최대 0.93g, 복선의 경우 최대 0.85g의 기준값을 초과하는 응답이 나타났다. 30m 단선 콘크리트궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해서는 380km/h 이상의 운행이 제한되어야 하며, 30m 단선 자갈궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해서는 340km/h 이상의 운행이 제한되어야 한다고 판단된다. 30m 복선 콘크리트궤도 교량의 경우에는 전 속도대역에서 제한 기준을 만족하며, 30m 복선 자갈궤도 교량의 경우 HEMU-430X에 대해 350~360km/h 운행이 제한되어야 한다고 판단된다.
- 35m 경간의 경우에도 연직처짐과 면틀림 기준은 모든 열차 주행 시에 대하여 단/복선 철도교량 모두 만족하나, 가속도 응답에 대해서는 KTX 주행 시 임계속도 대역에서 일부 제한값을 초과하는 것으로 나타났다. KTX의 경우에도 복선 교량과 단선 콘크리트교량의 경우에는 제한 기준을 모두 만족하고 있으나, 단선 자갈궤도 교량의 경우 250km/h 대역 주행 시 최대 0.47g(KTX 250km/h 주행시)의 응답이 나타나 이 근처 속도대역의 주행이 제한되어야하는 것으로 나타났다.
- 결과를 종합하면, 본 보고서에 제시된 단면에 대하여 MPC거더 철도교량 25m, 30m, 35m 철도교량의 경우 일반열차 주행 시에는 모든 동적 안정성을 확보하고 있으나, 고속열차 주행 시에는 가속도 기준 초과가 일부 단선 교량 등에서 나타나, 각 고속열차별 속도제한이 필요할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 철도교용 35m MPC거더의 실내재하시험

가. 시험체 제작

- 실물 MPC거더(35M) 1본을 제작하여 현장 제작하였으며 유압가력장비를 이용하여 정/동적 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 거더의 제작 순서는 다음과 같다.



① 철근조립



② 거푸집 설치



③ 콘크리트 타설



④ 제작완료 전경

<그림 3.1.31 MPC거더 제작순서>

나. 계측센서의 설치

(1) 계측센서 및 장비

- 시험에 사용된 계측센서 및 계측장비의 사양은 아래와 같다.

<표 3.1.7 계측센서>

구분	철근 변형률계	콘크리트 변형률계
모델명	FLA-5-11-1L	PL-60-11-1L
형식	전기저항식	전기저항식
용량	5000με	5000με
사용온도	-10℃ ~ 80℃	-10℃ ~ 80℃
제조사	Tokyo Sokki Kenkyujo사	Tokyo Sokki Kenkyujo사

구분	처짐계	
모델명	WS10-1000-420A-L10	SX20MD
형식	와이어식	LVDT
용량	100㎜	±25㎜
사용온도	-20℃ ~ +85℃	-45℃ ~ +85℃
제조사	ASM사	MEGGITT사

구분	가속도계
모델명	ASW-A
형식	Strain Type
용량	±5g
사용온도	-55℃ ~ 125℃
제조사	KWOYA

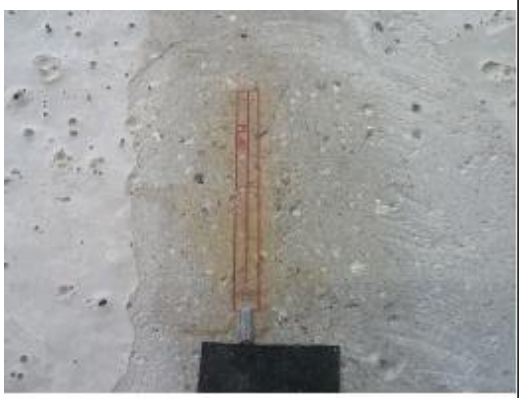
<표 3.1.8 계측장비 사양>

구분	모델명	사양
정적 데이터로거	MGCplus	- 측정채널 : 제한없음 (멀티 채널 모듈 사용) - 측정속도 : 9.6kHz 까지 측정 가능
동적 데이터로거	Netpod 4003	- 16 channels (full) - ADC resolution : 24bit@0.1 - 2KHz sample rate - 사용온도 : -25 ~ 70℃

(2) 계측센서 설치 수량 및 센서 설치 위치도

- 계측센서 설치 수량은 아래와 같다.

<표 3.1.9 계측센서 설치 수량(1)>

계측센서	설치위치	수량	현장사진	비고
철근 변형률계	A-A′ 단면 B-B′ 단면 D-D′ 단면 E-E′ 단면 G-G 단면 E-E 단면 D-D 단면 B-B 단면 A-A 단면	49 EA		A-1 ~ A-2 B-1 ~ B-6 D-1 ~ D-3 E-1 ~ E-9 G-1 ~ G-9 E-1 ~ E-9 D-1 ~ D-3 B-1 ~ B-6 A-1 ~ A-2
콘크리트 변형률계	B-B′ 단면 E-E′ 단면 G-G 단면 E-E 단면 B-B 단면	8EA		B′ -C-1 E′ -C-1 ~ E′ -C-2 G-C-1 ~ G-C-2 E-C-1 ~ E-C-2 B-C-1
변형률계 합계		57EA		

<표 3.1.10 계측센서 설치 수량 (2)>

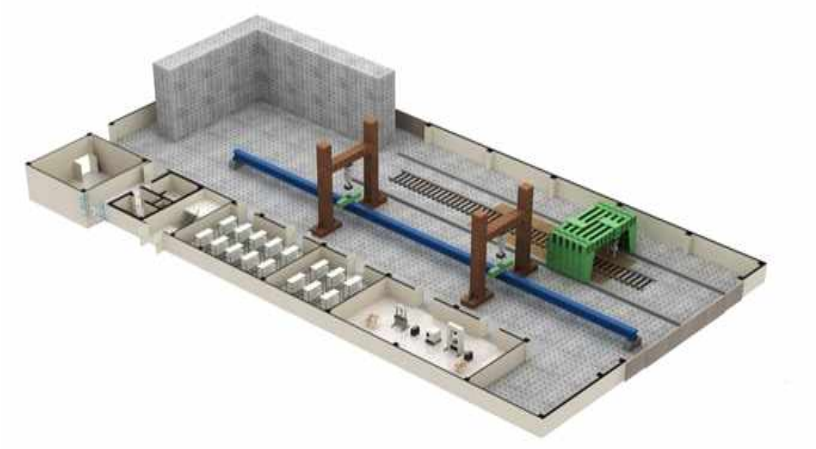
계측센서	설치위치	수량	현장사진	비고
처짐계	단부 (탄성단축, 횡방향)	4EA		DT1 DT2 DT4 DT5
	1/2지점 (처짐, 횡방향)	2EA		DT7 DT3
	1/4지점 3/4지점 (처짐)	2EA		DT6 DT8
가속도계				
처짐계 합계		8EA		
가속도계 합계				

(3) 시험설비

- 실험은 한국철도기술연구원의 실대형 통합성능실험동에서 수행되었으며 시험동 사양은 다음 표와 같다. 다음 그림는 각각 시험동 전경과 시스템 구성도이다. 재하장치는 동적시험을 구현하기 위한 가장 중요한 장치로 본 실험에서는 250kN 용량의 Hybrid 동적 Actuator와 5000kN 정적 Actuator를 사용하였다.

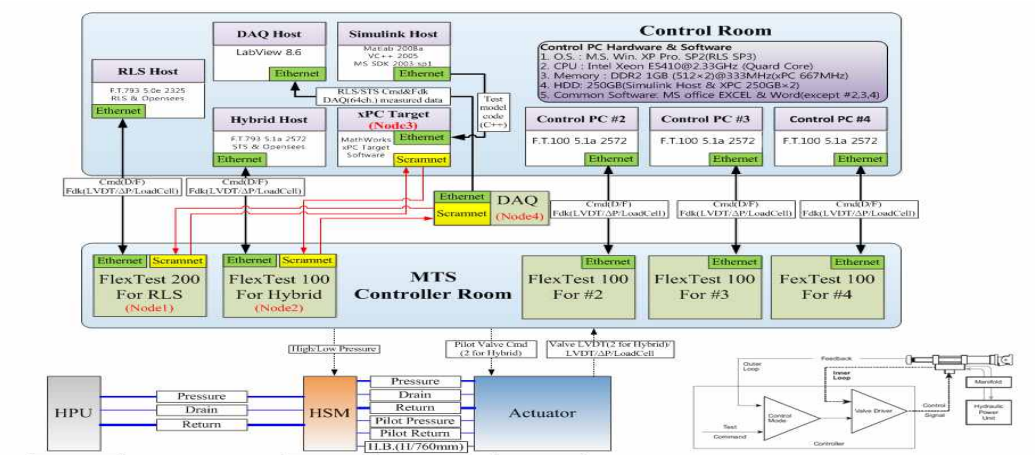
<표 3.1.11 실대형 통합성능실험동 규모 및 Actuator의 사양>

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





<그림 3.1.32 실대형 통합성능시험동 전경>



<그림 3.1.33 실대형 통합성능시험동 시스템 구성도>

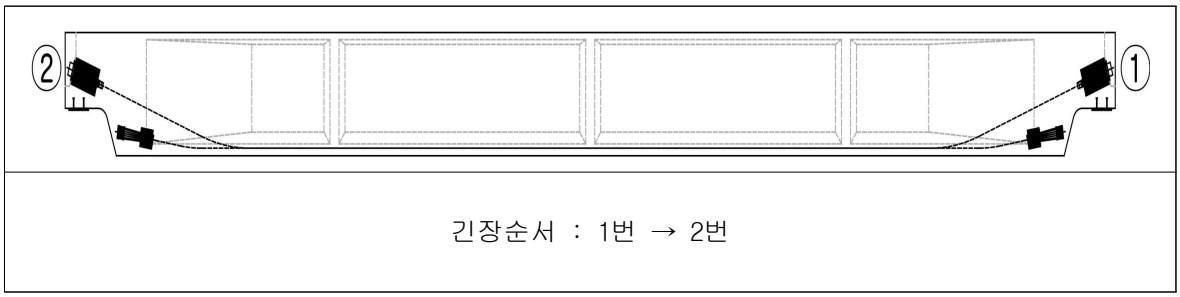
다. 강연선 긴장시 응력 검토

- 거더의 절곡부와 긴장 케이블 곡률반경 중심에 콘크리트 변형률계를 설치하여, 강연선 긴장시 콘크리트 변형률을 검토하였다. 다음은 긴장력 도입 순서와 이에 긴장력을 나타낸 것이다.

<표 3.1.12 긴장력 현황>

긴장	긴장력(MPa)	시간
1번 긴장	10	14:07:30
	20	14:09:44
	30	14:11:22
	40	14:13:39
	50	14:15:48

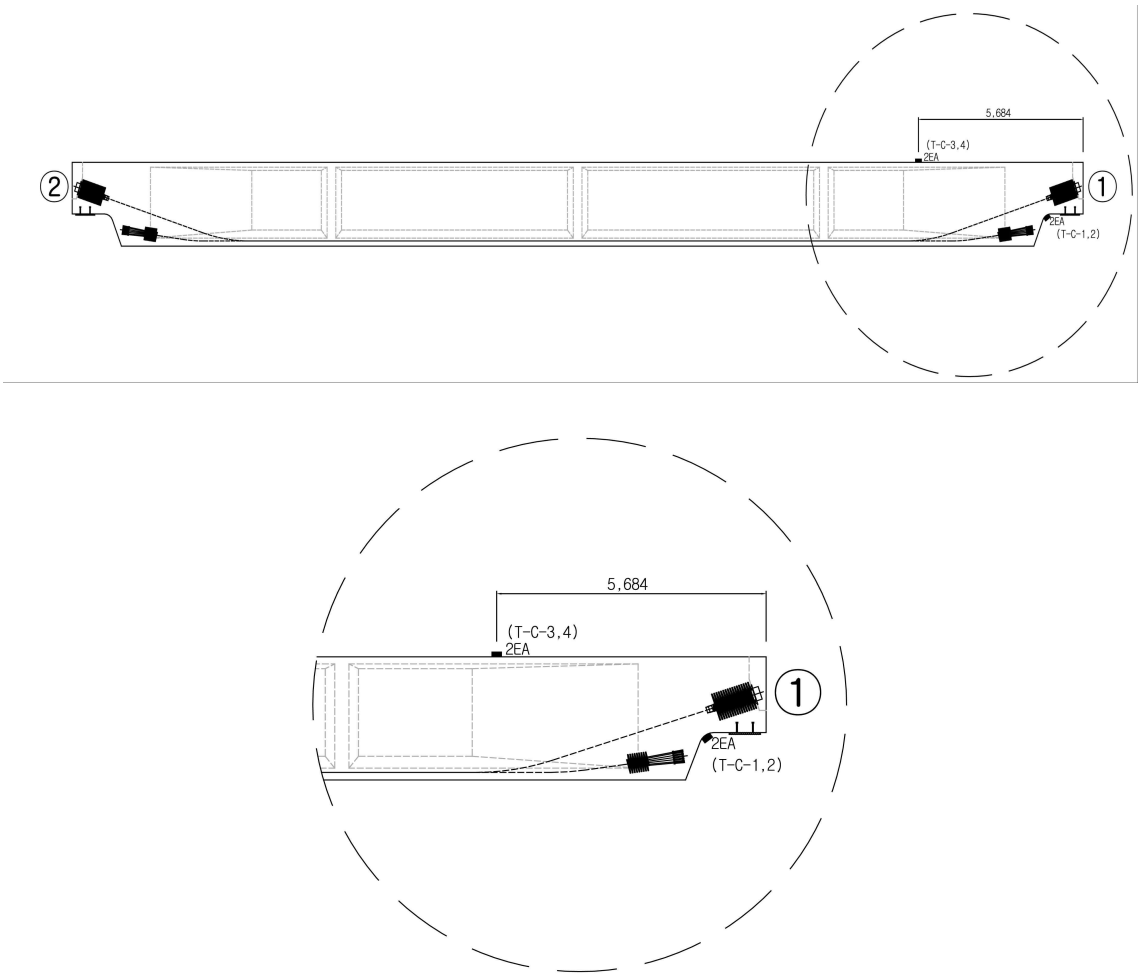
확인긴장	긴장력(MPa)	시간
2번 긴장	10	14:56:40
	20	14:59:41
	30	15:01:27
	40	15:03:10
	50	15:05:03



<긴장순서>

	
절곡부	곡률반경 중심

<그림 3.1.34 콘크리트 변형률계 설치 위치>



<그림 3.1.35 콘크리트 변형률계 설치 위치>

라. 정적 하중 실험

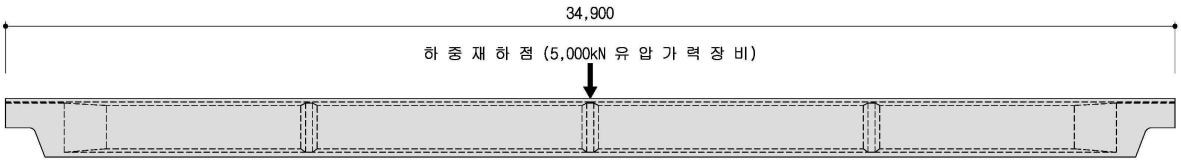
- 실험 거더의 정적 성능을 평가하기 위해 단순지지 조건하에서 정하중 실험을 수행하였다.

최대 하중 5000kN 유압가력장비(Actuator)를 거더 중앙 위치에 설치하여 1점 재하로 하중을 재하 하였다.



<그림 3.1.36 5000kN 정적유압가력장비(Actuator) 설치전경>

정적 재하시험의 하중 재하 위치는 아래 그림과 같다.



<그림 3.1.37 정적재하시험 하중재하 위치>

정적 하중 시험 재하 시나리오는 다음 그림과 같다. 1단계 하중은 2300kN까지 하중 재하를 하였다가 초기균열을 확인하고 1단계 하중을 제거한 후 2단계 하중재하를 시작하였다. 2단계 하중 재하단계에서 하중을 증가시키면서 균열체크를 하였고 최대하중 2950kN에서 최종 균열을 확인한 후 2단계 하중을 제거하였다.



<그림 3.1.38 하중재하 시나리오>

실험결과는 매립된 철근변형률계 및 표면에 부착한 콘크리트 변형률계와 변위계로부터 하중재하 단계별로 하중-처짐, 하중-변형률의 관계를 분석하였고, 거더의 균열 양상을 파악하기 위하여 균열도를 작성하였다.

(1) 중앙부 정적 하중 재하 실험결과

(가) 하중-처짐

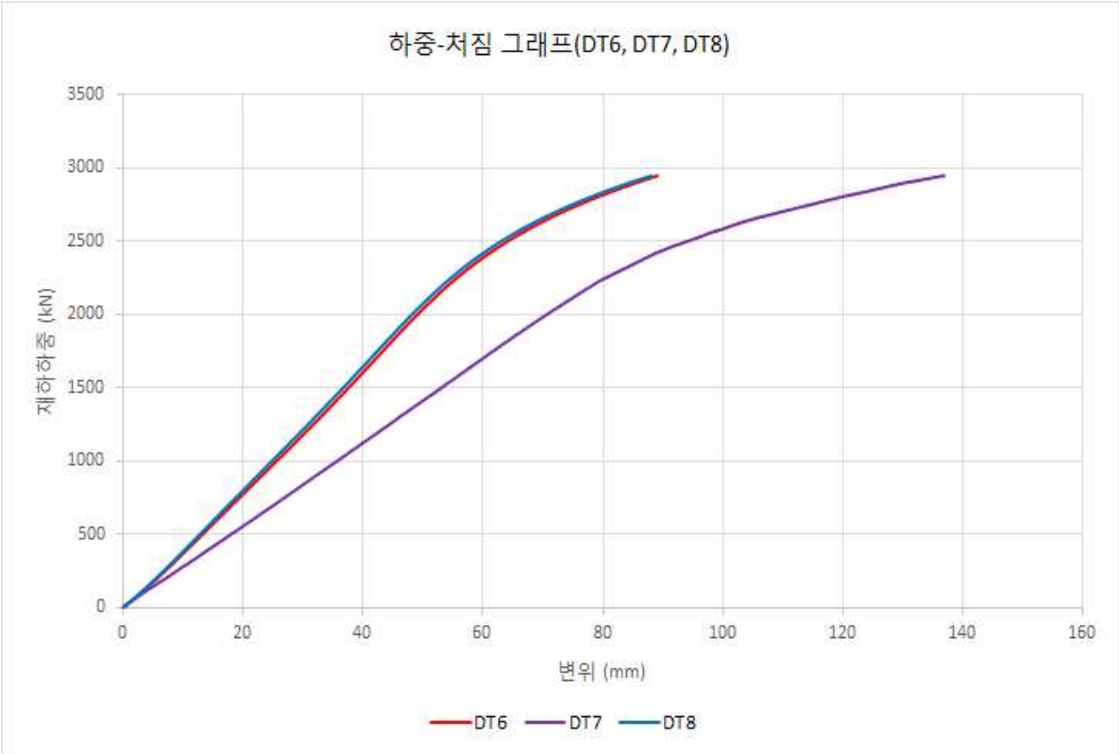
- 재하하중에 변화에 따른 처짐량 변화는 다음 표와 같다. 최대하중 29500kN 재하시에 중앙 수직처짐의 최대 처짐량은 DT7 136.88mm 이며 1/4지점, 3/4지점은 각각 DT6 89.08mm와 DT8 88.09mm의 처짐이 발생하였다. 처짐계의 방향성은 하향(+) , 상향(-)이다. 단위는 mm 이다. 지점부 탄성단축은 각각 DT1 5.49mm와 DT4 6.14mm로 힌지단의 이동량이 크게 발생하였다. 또한 횡변위는 중앙부가 DT3 6.57mm 이며 지점부는 각각 DT2 0.23mm 와 DT5 0.08mm 로 발생하였다.

<표 3.1.13 재하하중에 따른 처짐량>

(단위: ㎜)

처짐계 / 재하하중	DT1 (A′ 종)	DT2 (A′ 횡)	DT3 (G횡)	DT4 (A종)	DT5 (A횡)	DT6 (E′ 종)	DT7 (G종)	DT8 (E종)	비고
500kN	0.86	0.09	2.05	0.89	0.00	13.29	18.04	12.85	
1000kN	1.65	0.13	2.56	1.75	-0.01	25.59	35.68	24.82	
1500kN	2.41	0.17	3.55	2.59	-0.01	37.59	53.05	36.67	
2000kN	3.13	0.18	4.32	3.40	-0.01	49.10	70.65	48.18	
2300kN	3.63	0.19	4.30	3.96	0.00	57.17	82.96	56.18	
2500kN	4.05	0.20	5.14	4.44	0.02	64.14	94.12	63.05	
2750kN	4.75	0.22	6.39	5.26	0.05	76.09	114.73	74.93	
2950kN	5.49	0.23	6.57	6.14	0.08	89.08	136.88	88.09	

다음 그림은 재하하중 변화에 따른 거더의 1/4지점, 3/4지점, 중앙부의 수직처짐의 이력곡선이다.



<그림 3.1.39 하중-처짐 그래프(DT6, DT7, DT8)>



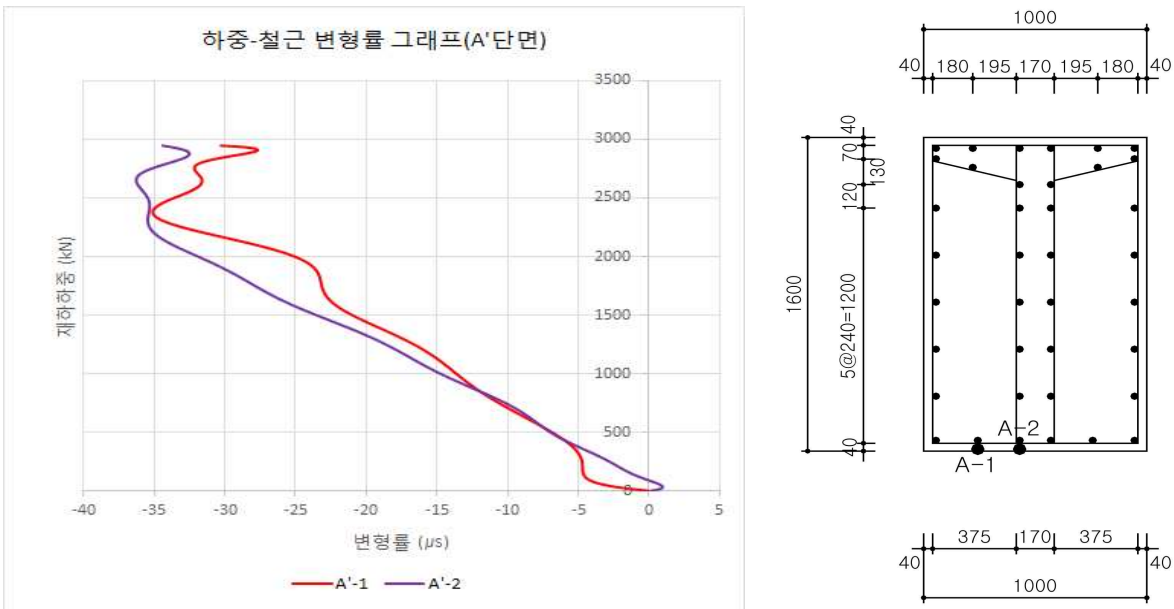
<그림 3.1.40 하중-처짐 그래프(DT1, DT4)>



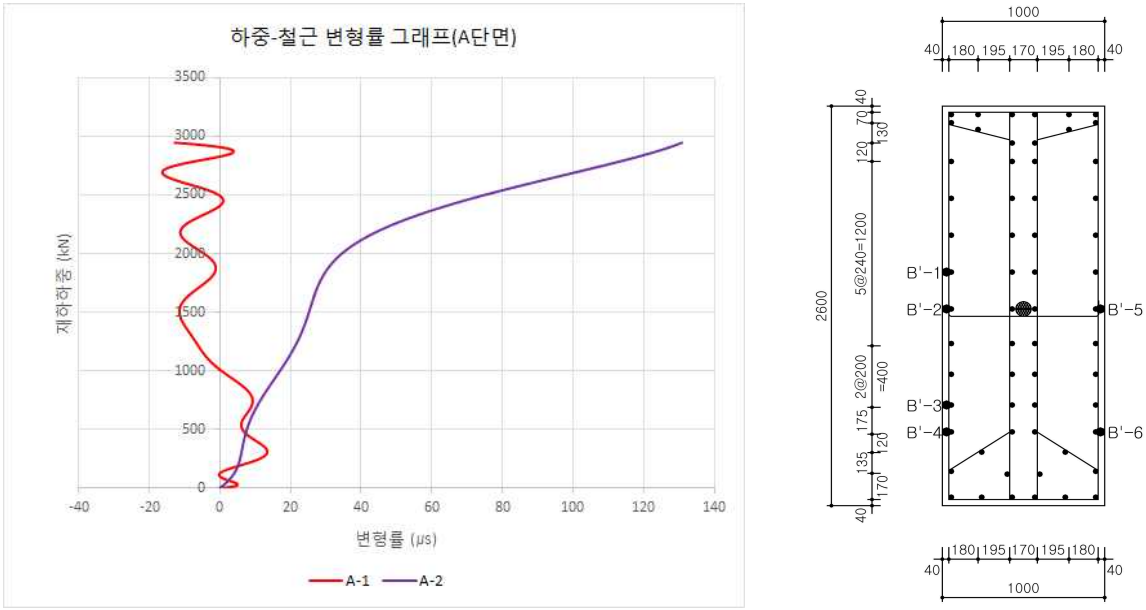
<그림 3.1.41 하중-처짐 그래프(DT2, DT3, DT5)>

(나) 하중-변형률

- 재하하중에 따른 변형률 변화를 그래프로 정리하였다. 지점부의 경우 거더 내부 종방향 철근 변형률을 측정하였으며, 아래 그림은 지점부(A′단면, A단면)의 하중증가에 따른 변형률 변화 그래프이다. 변형률의 부호는 (+) 인장, (-)압축이다. 단위는 με(microstrain)이다.

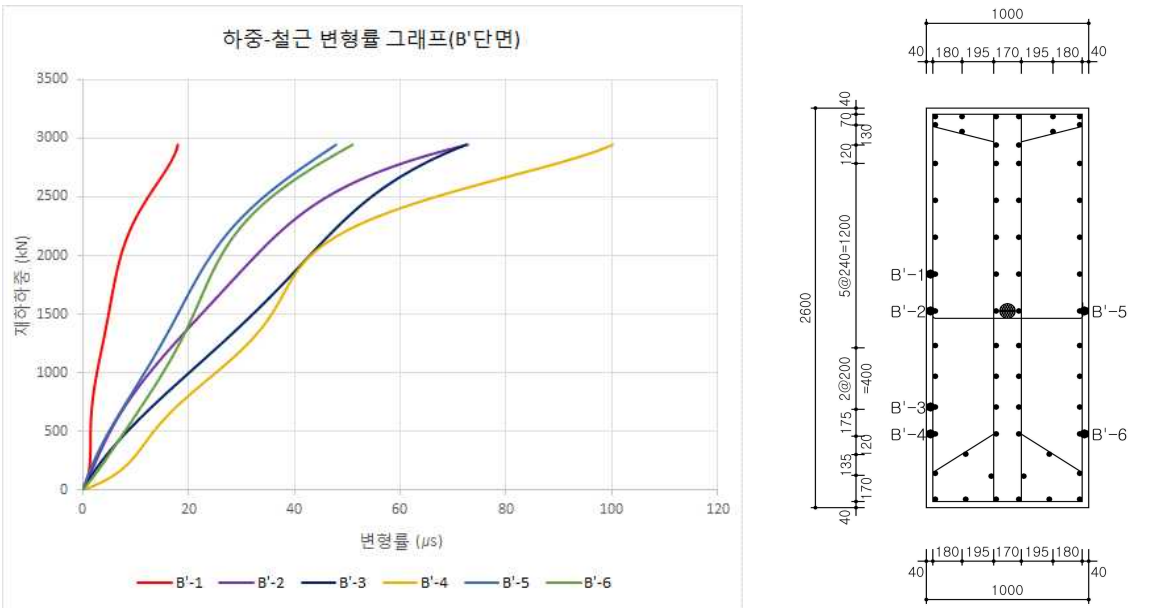


<그림 3.1.42 하중-철근 변형률 그래프 (A′단면)>

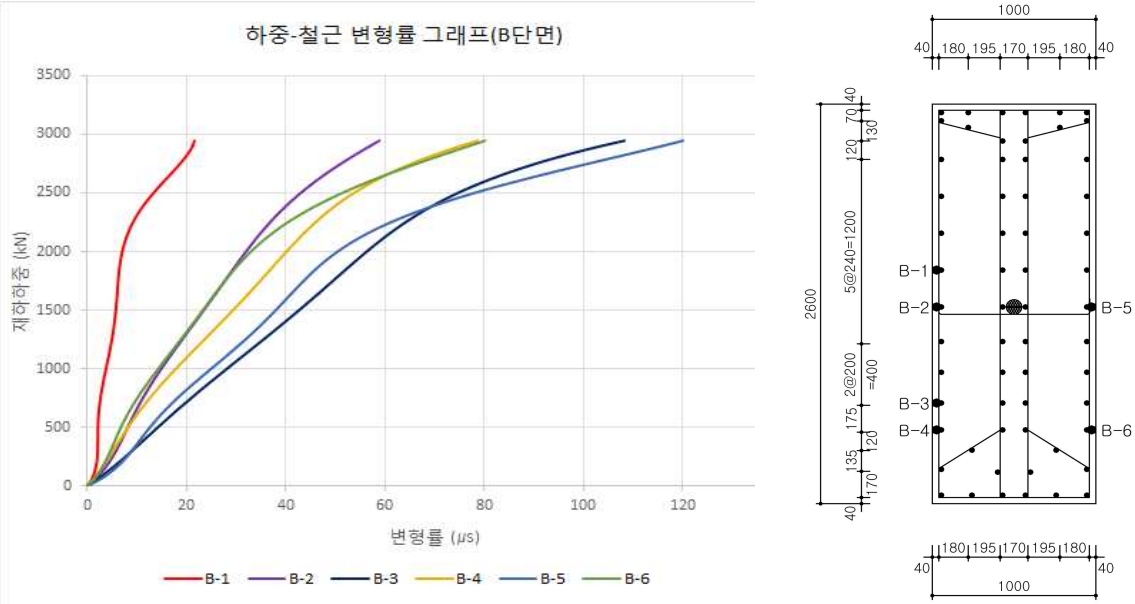


<그림 3.1.43 하중-철근 변형률 그래프 (A단면)>

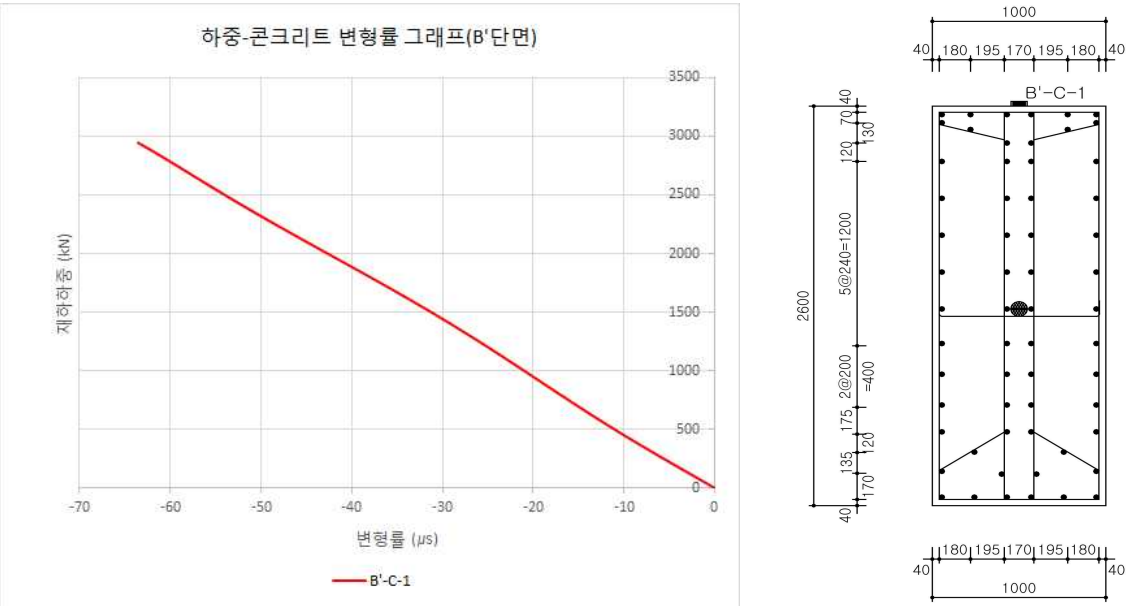
거더의 절곡부는 거더 내부의 종방향 철근 변형률과 거더 상면에 콘크리트 변형률을 측정하였으며, 아래 그림은 절곡부(B′단면, B단면)의 하중증가에 따른 변형률 변화 그래프이다. 변형률의 부호는 (+) 인장, (-)압축이다. 단위는 με(microstrain)이다.



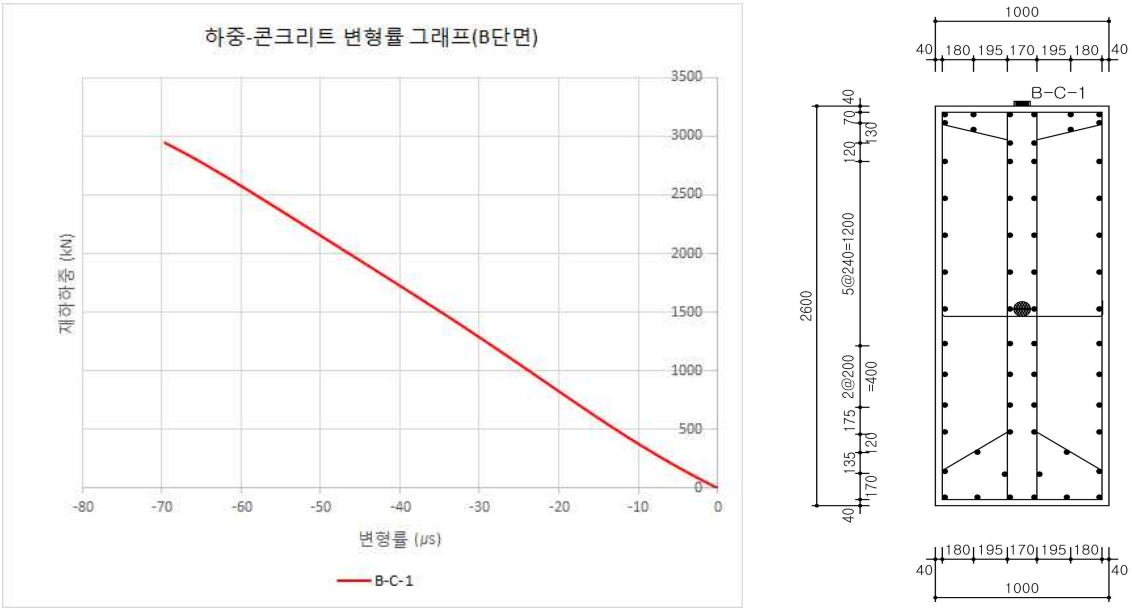
<그림 3.1.44 하중-철근 변형률 그래프 (B′단면)>



<그림 3.1.45 하중-철근 변형률 그래프 (B단면)>

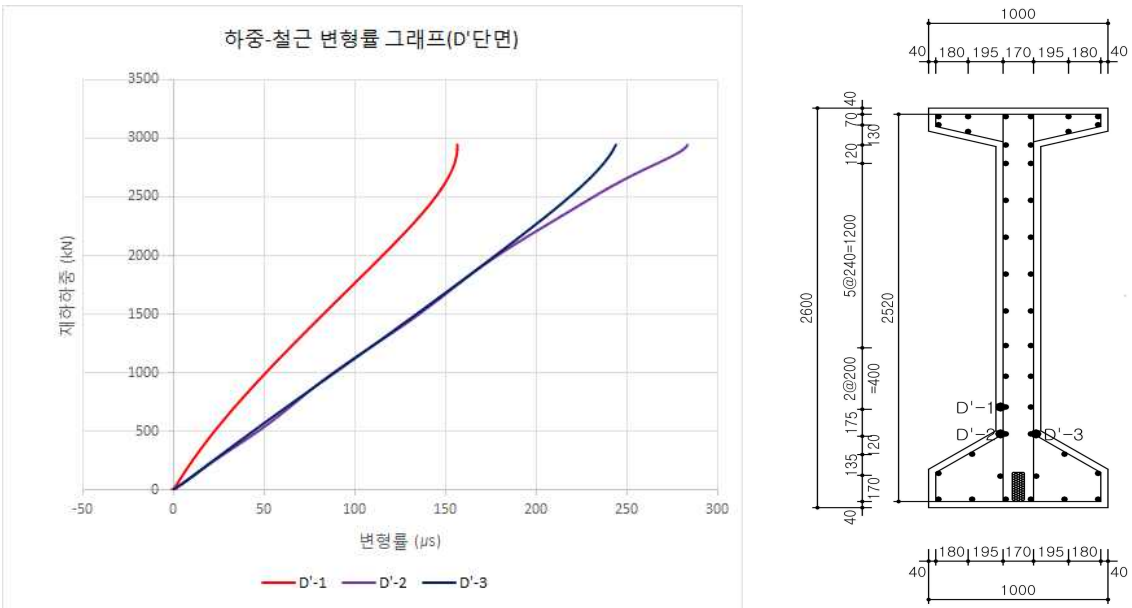


<그림 3.1.46 하중-콘크리트 변형률 그래프 (B′단면)>

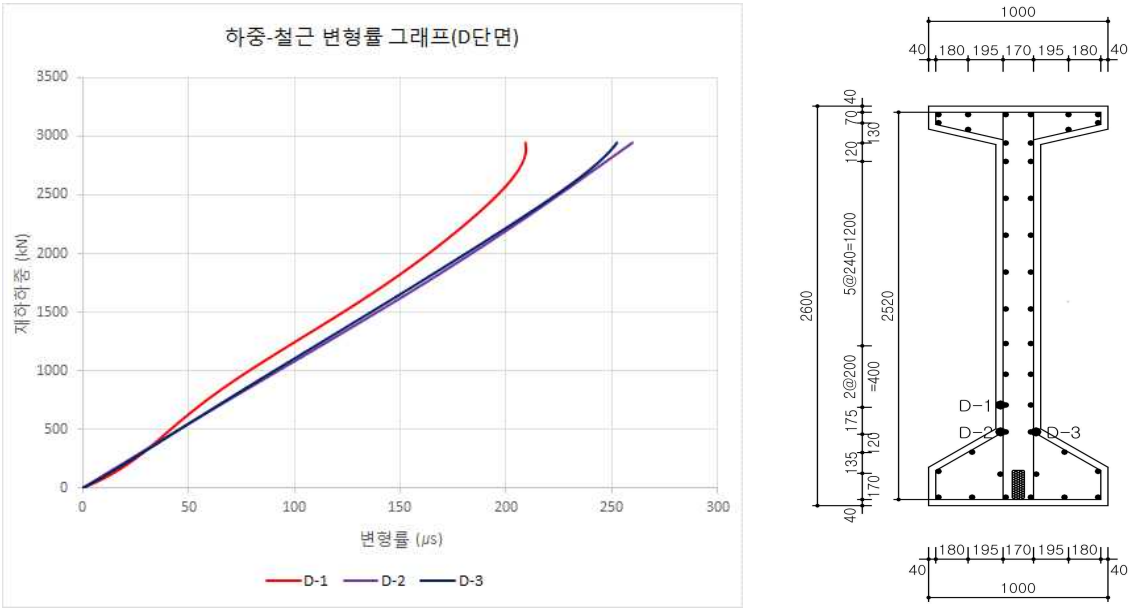


<그림 3.1.47 하중-콘크리트 변형률 그래프 (B단면)>

거더의 변화부는 거더 내부의 종방향 철근 변형률을 측정하였으며, 다음 그림은 변화부(D′ 단면, D단면)의 하중변화에 따른 변형률 변화 그래프이다. 변형률의 부호는 (+) 인장, (-)압축이다. 단위는 με(microstrain)이다.

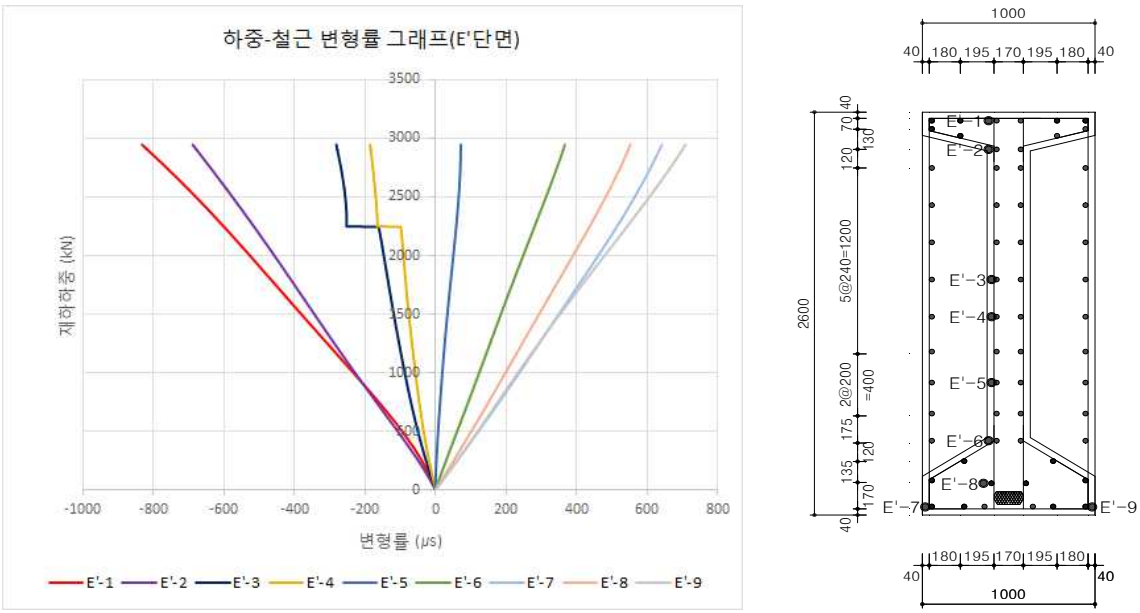


<그림 3.1.48 하중-철근 변형률 그래프 (D′ 단면)>

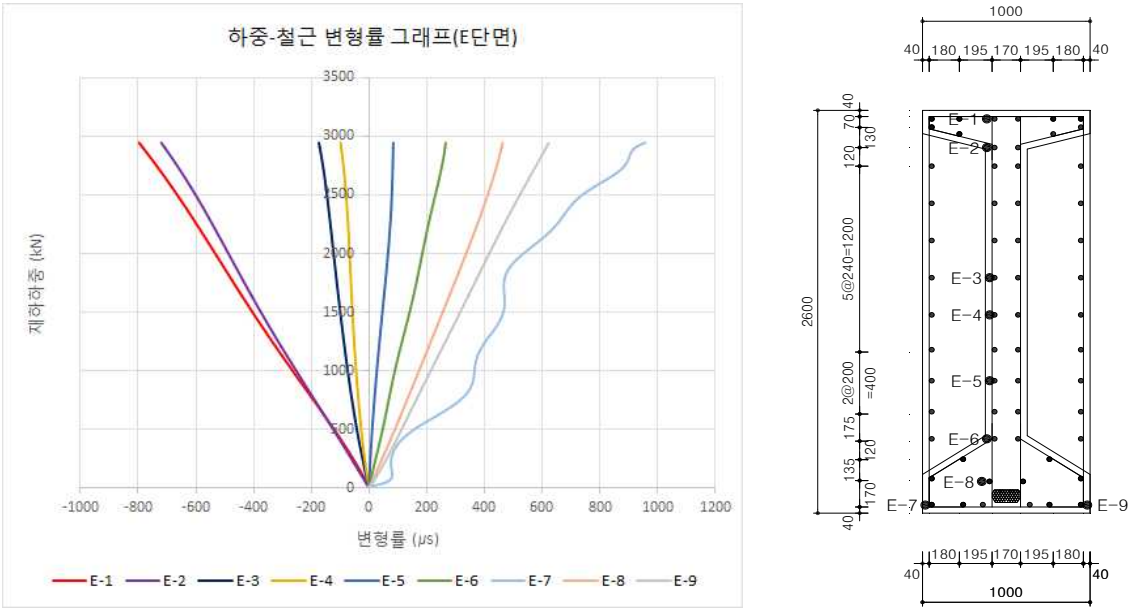


<그림 3.1.49 하중-철근 변형률 그래프 (D단면)>

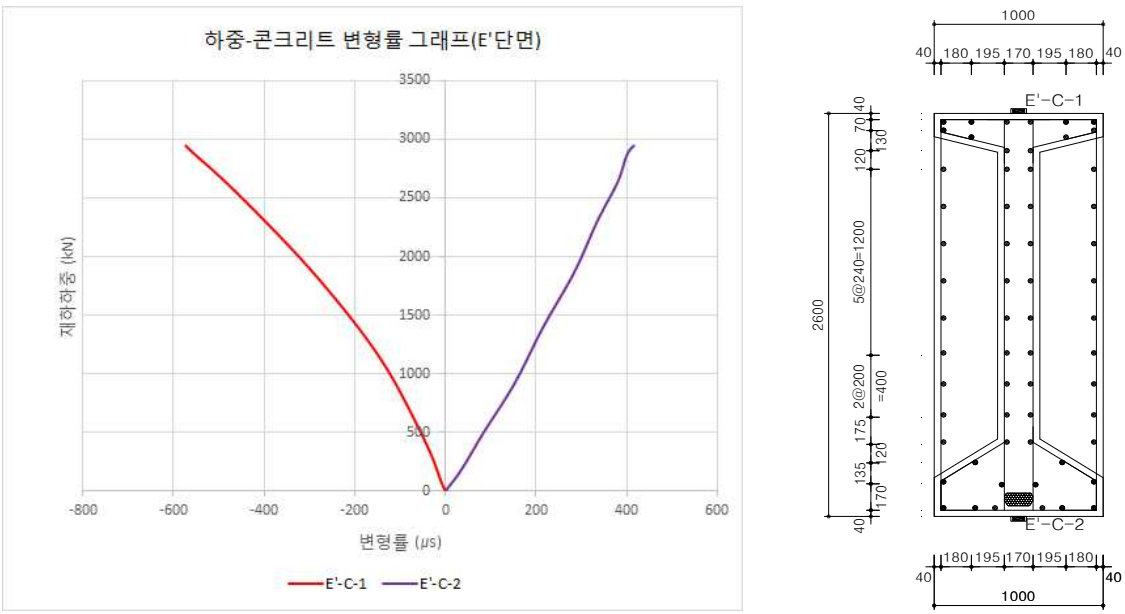
거더의 1/4지점, 1/2지점, 3/4지점은 거더 내부의 종방향 철근 변형률과 거더 상면과 하면에 콘크리트 변형률을 측정하였다. 다음 그림은 1/4지점(E'단면), 1/2지점(G단면, 3/4지점(E단면)의 하중변화에 따른 변형률 변화 그래프이다.



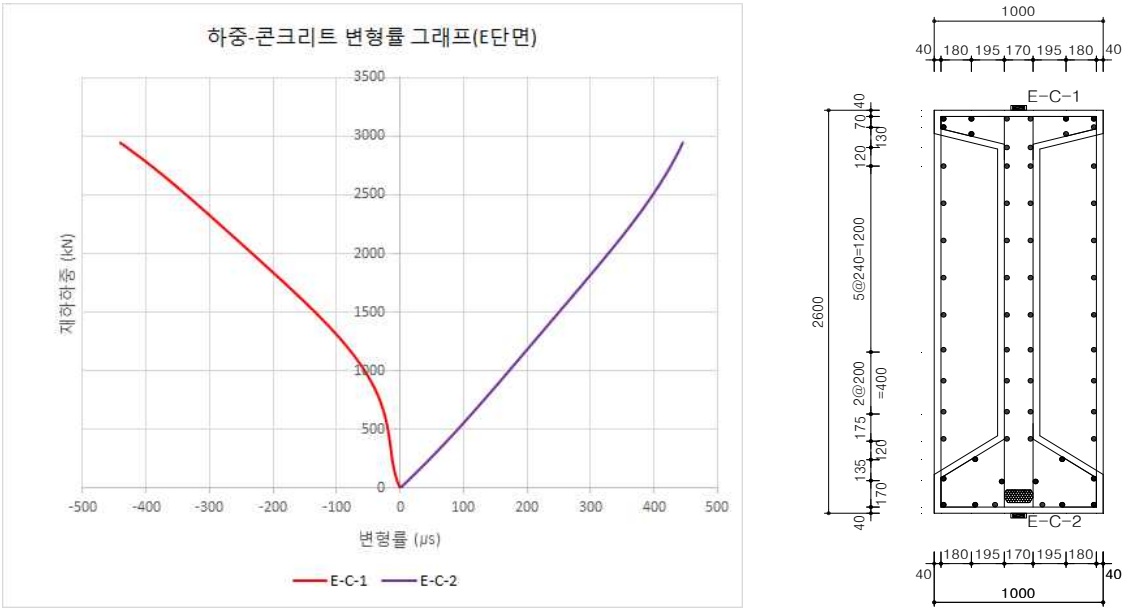
<그림 3.1.50 하중-철근 변형률 그래프 (E′단면)>



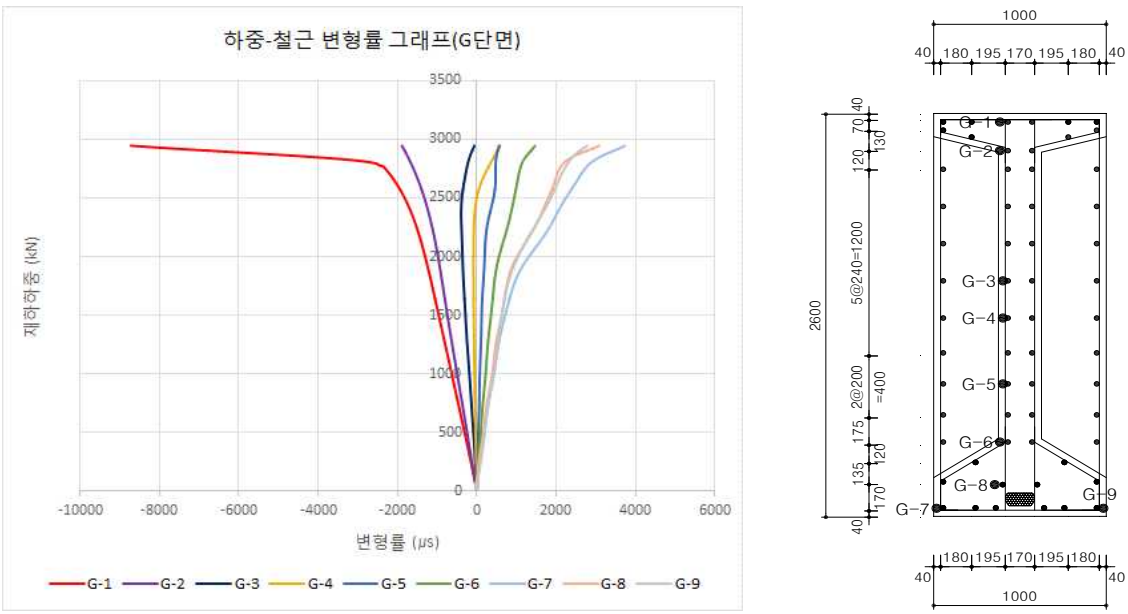
<그림 3.1.51 하중-철근 변형률 그래프 (E단면)>



<그림 3.1.52 하중-콘크리트 변형률 그래프 (E′단면)>

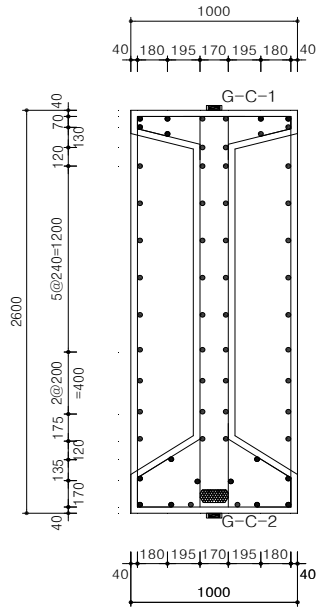


<그림 3.1.53 하중-콘크리트 변형률 그래프 (E단면)>



<그림 3.1.54 하중-철근 변형률 그래프 (G단면)>





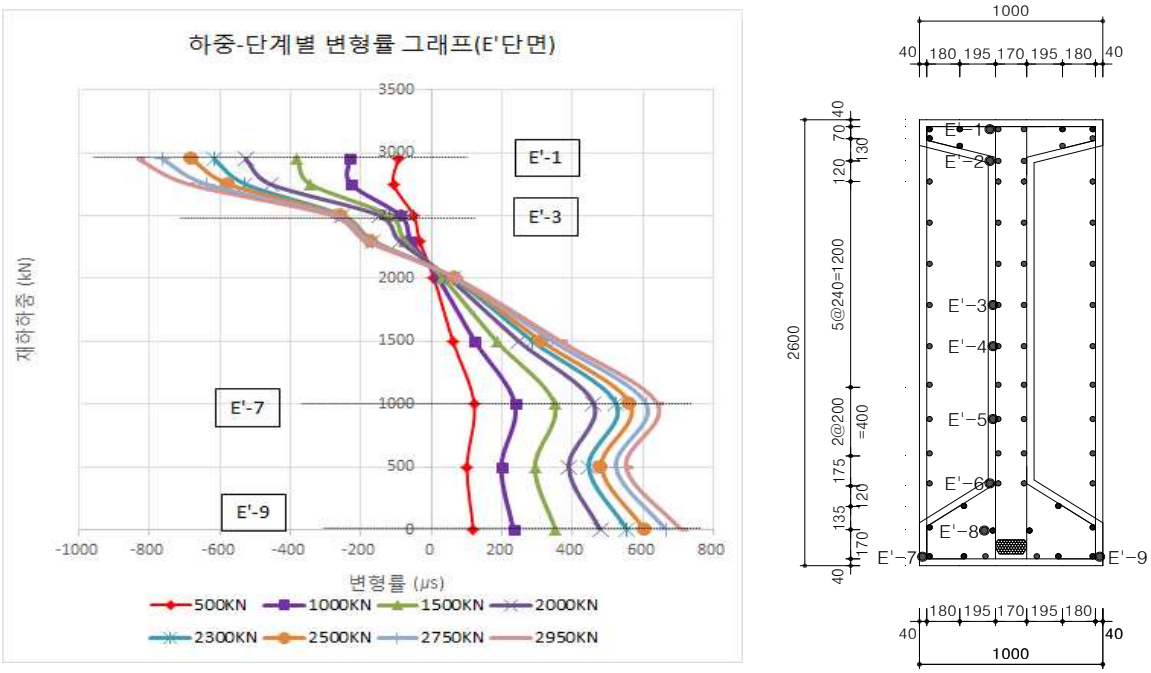
<그림 3.1.55 하중-철근 변형률 그래프 (G단면)>

(다) 중립축 변화

- 하중 재하시 획득한 철근 및 콘크리트 변형률 데이터를 이용, MPC 거더의 1/4지점, 1/2지점, 3/4지점의 하중 단계별 중립축의 거동을 확인할 수 있다. 다음 표는 1/4지점, 1/2지점, 3/4지점의 하중 단계별 변형률 변화를 정리한 것이다. 다음 그림은 각 단면별 하중변화에 따른 센서 높이와의 변형률 변화 그래프 이다.

<표 3.1.14 1/4지점 재하하중 변화에 따른 변형률>

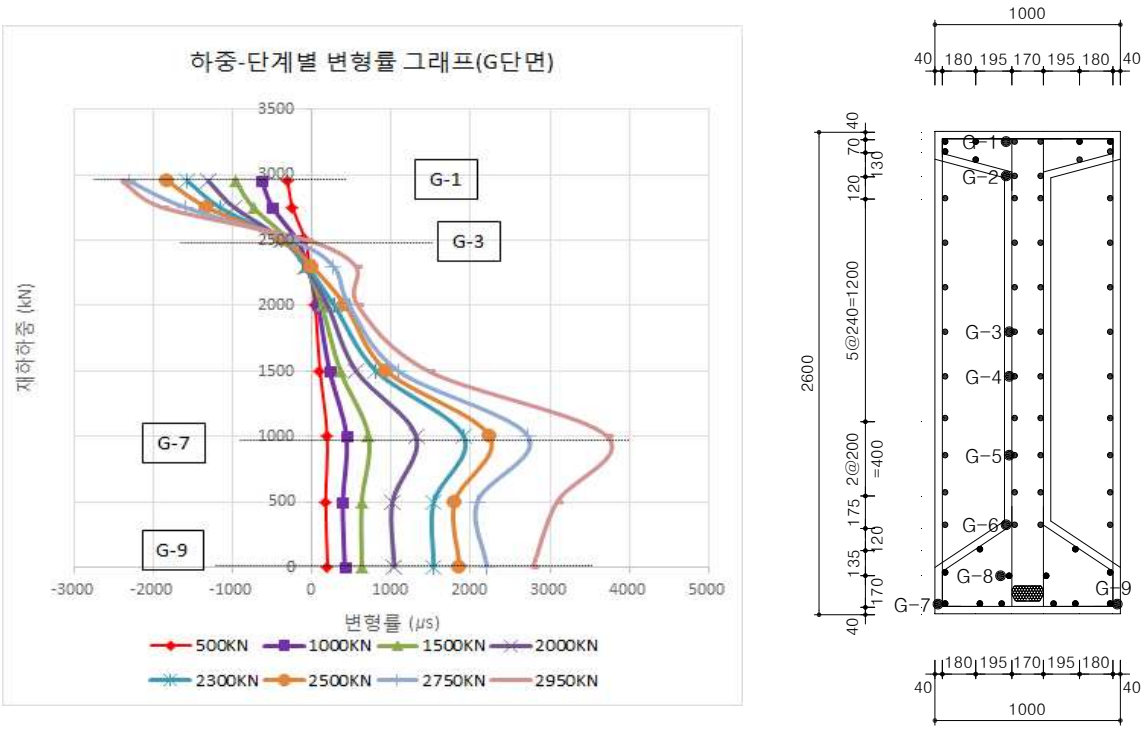
재하하중 / 변형률계	500kN	1000kN	1500kN	2000kN	2300kN	2500kN	2750kN	2950kN
E′ -1	-94	-232	-380	-526	-616	-679	-762	-832
E′ -2	-107	-228	-343	-457	-527	-575	-638	-688
E′ -3	-50	-87	-118	-146	-251	-255	-268	-281
E′ -4	-33	-56	-75	-90	-165	-169	-177	-185
E′ -5	8	20	34	51	61	66	71	72
E′ -6	61	124	186	249	288	314	345	367
E′ -7	122	238	350	462	525	565	610	642
E′ -8	101	199	294	390	447	483	524	553
E′ -9	120	233	353	480	557	607	666	709



<그림 3.1.56 하중 단계별 변형률 그래프 (E′단면)>

<표 3.1.15 1/2지점 재하하중 변화에 따른 변형률>

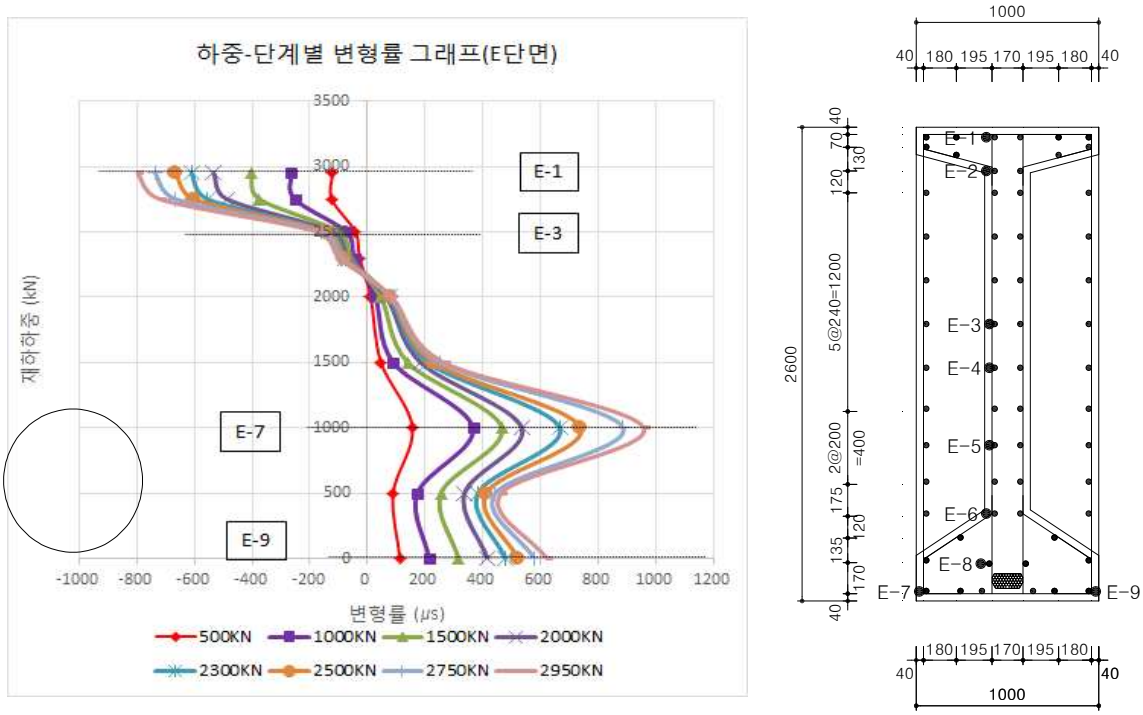
재하하중 / 변형률계	500kN	1000kN	1500kN	2000kN	2300kN	2500kN	2750kN	2950kN
G-1	-309	-635	-962	-1305	-1569	-1820	-2308	-8717
G-2	-246	-497	-742	-980	-1161	-1322	-1599	-1890
G-3	-86	-187	-286	-361	-392	-377	-256	-63
G-4	-32	-58	-78	-84	-69	-3	269	551
G-5	38	75	121	198	281	420	471	577
G-6	101	221	357	557	809	940	1090	1467
G-7	192	434	714	1312	1914	2241	2727	3725
G-8	173	388	627	1014	1534	1798	2082	3087
G-9	197	412	627	1039	1536	1861	2208	2785



<그림 3.1.57 하중 단계별 변형률 그래프 (G단면)>

<표 3.1.16 3/4지점 재하하중 변화에 따른 변형률>

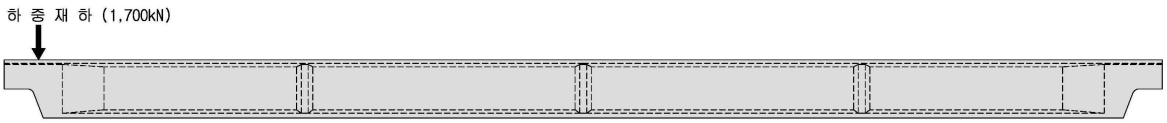
재하하중 / 변형률계	500kN	1000kN	1500kN	2000kN	2300kN	2500kN	2750kN	2950kN
E-1	-121	-265	-404	-533	-611	-665	-737	-797
E-2	-124	-252	-375	-487	-554	-601	-665	-720
E-3	-42	-74	-100	-123	-136	-146	-160	-174
E-4	-27	-45	-57	-67	-74	-80	-89	-99
E-5	11	27	46	66	75	79	82	84
E-6	47	89	140	184	210	230	253	265
E-7	156	365	465	535	667	739	886	958
E-8	89	173	255	336	383	411	443	463
E-9	112	213	315	416	479	522	579	623



<그림 3.1.58 하중 단계별 변형률 그래프 (E단면)>

(2) 지점부 정적재하

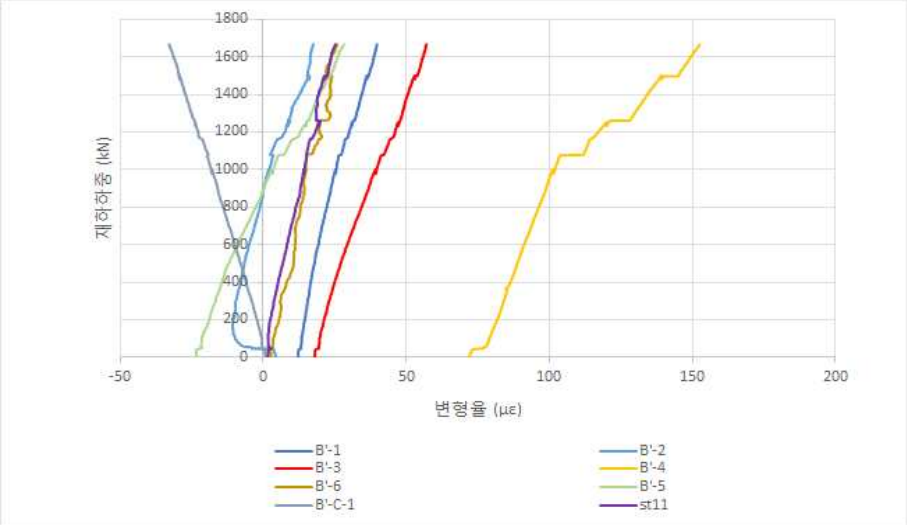
- 지점부의 변형률 및 처짐을 검토하였다. 다음 그림들은 하중재하 위치와 변형률계 설치 위치를 그래프로 나타낸 것이다. 지점부 하중은 최대 1666kN까지 재하되었으며 재하에 따른 단부 근처의 변형율은 다음 그림의 그래프와 같다. 1666kN 재하까지 시험한 결과 단부 근처의 균열이나 이상거동은 발생하지 않는다.



<그림 3.1.59 지점부 정적재하시험 하중재하 위치>



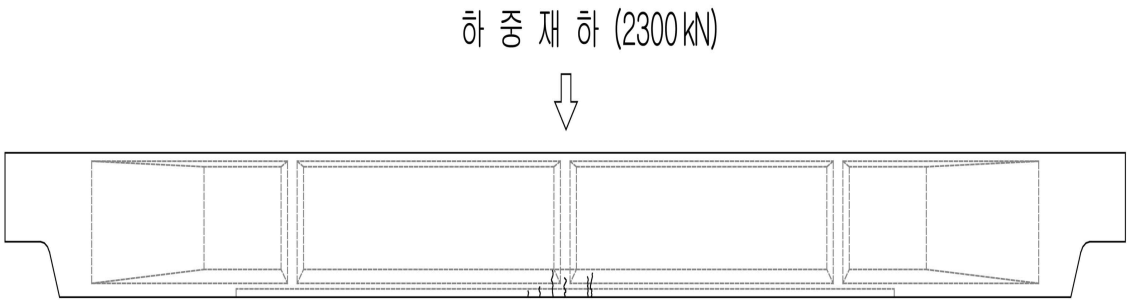
<그림 3.1.60 변형률계 설치 위치>

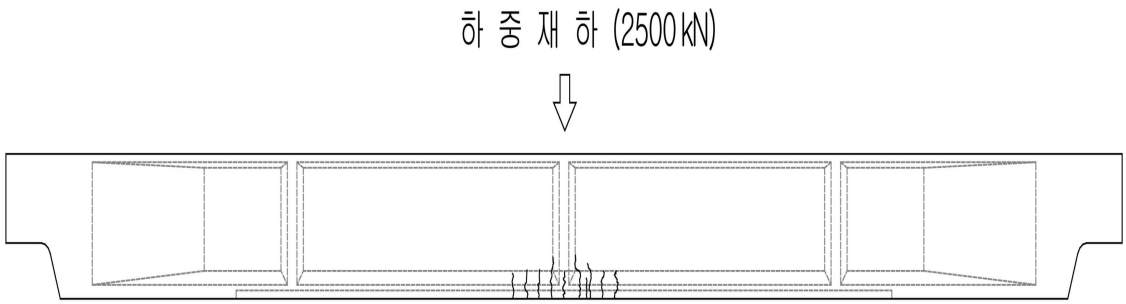


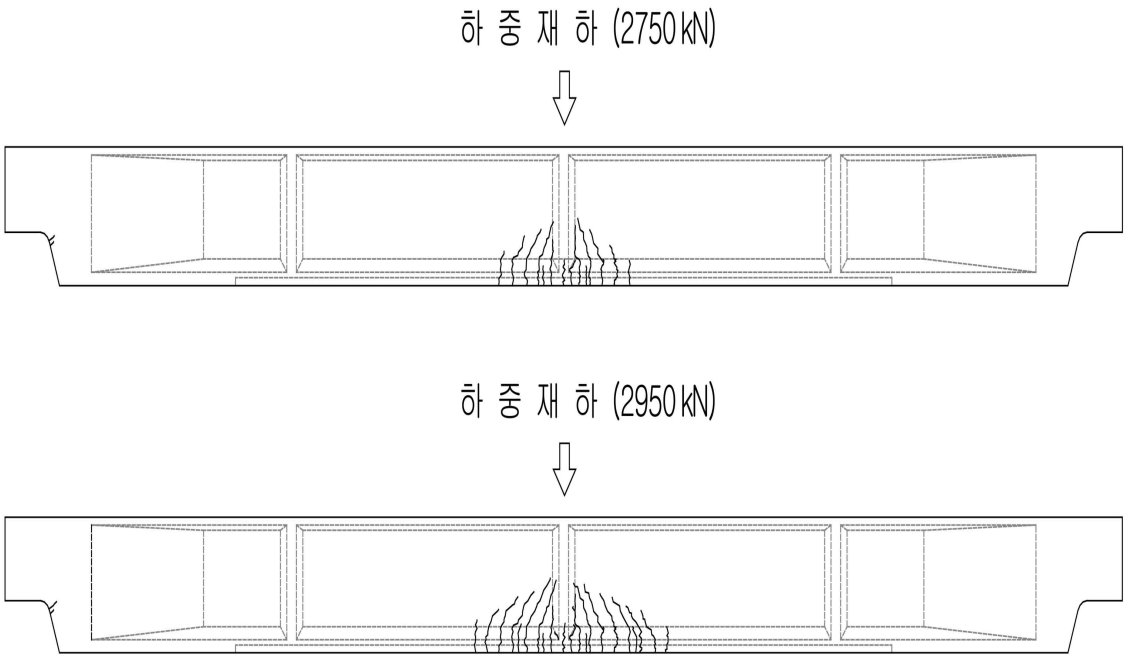
<그림 3.1.61 지점부 하중 재하 단계별 변형률 그래프 (B단면)>

(3) 균열도 작성

- 거더 표면의 최초균열은 2300kN에 거더 중앙 하부에서 발생하였으며, 하중단계별로 균열도를 작성하였다.







<그림 3.1.62 균열도>

마. 동특성 실험

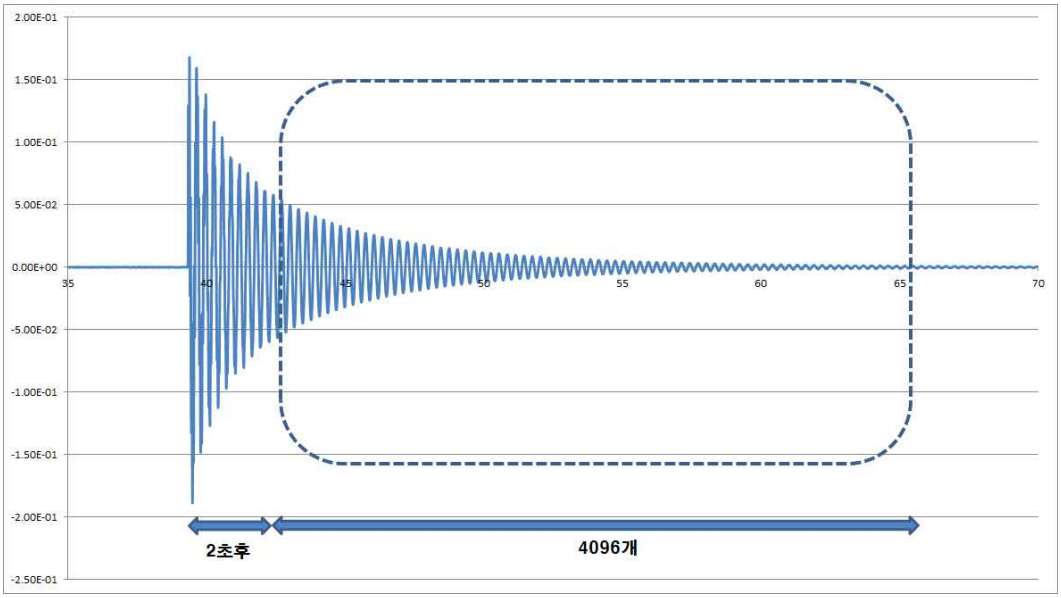
- 최대용량 250kN 유압가력장비(Actuator)를 이용하여 Quick-Release 실험을 실시하였다. 실험방법은 유압가력장비로 일정량 변위를 증가시킨 후 일시적으로 하중을 제거하여 시험체가 자유진동을 할 수 있게 하는 것이다. 1/2, 2/4, 3/4 지점 슬래브 상부 중앙에 가속도계를 설치하였으며 거더 중앙지점 및 하중 재하 지점에 변위계를 설치하여 동적 데이터를 획득하였다. 이러한 동특성 실험을 통하여 획득된 데이터를 이용하여 고유진동수를 산정하였고 감쇠비를 추정하였다. 아래 그림은 동특성 실험을 위한 250kN 유압가력장비(Actuator) 설치 전경이다.



<그림 3.1.63 250kN 유압가력장비(Actuator) 설치 전경>

(1) 고유진동수 측정결과

- 실험체에 설치된 가속도계의 가속도 신호를 FFT 분석을 통하여 고유진동수를 산정하였다. 고유진동수를 산정을 위한 FFT 분석 구간은 하중이 제거되는 순간을 시점으로 2초 후 데이터부터 4096개의 데이터에 대해 FFT 분석을 통하여 고유진동수를 산정하였다.



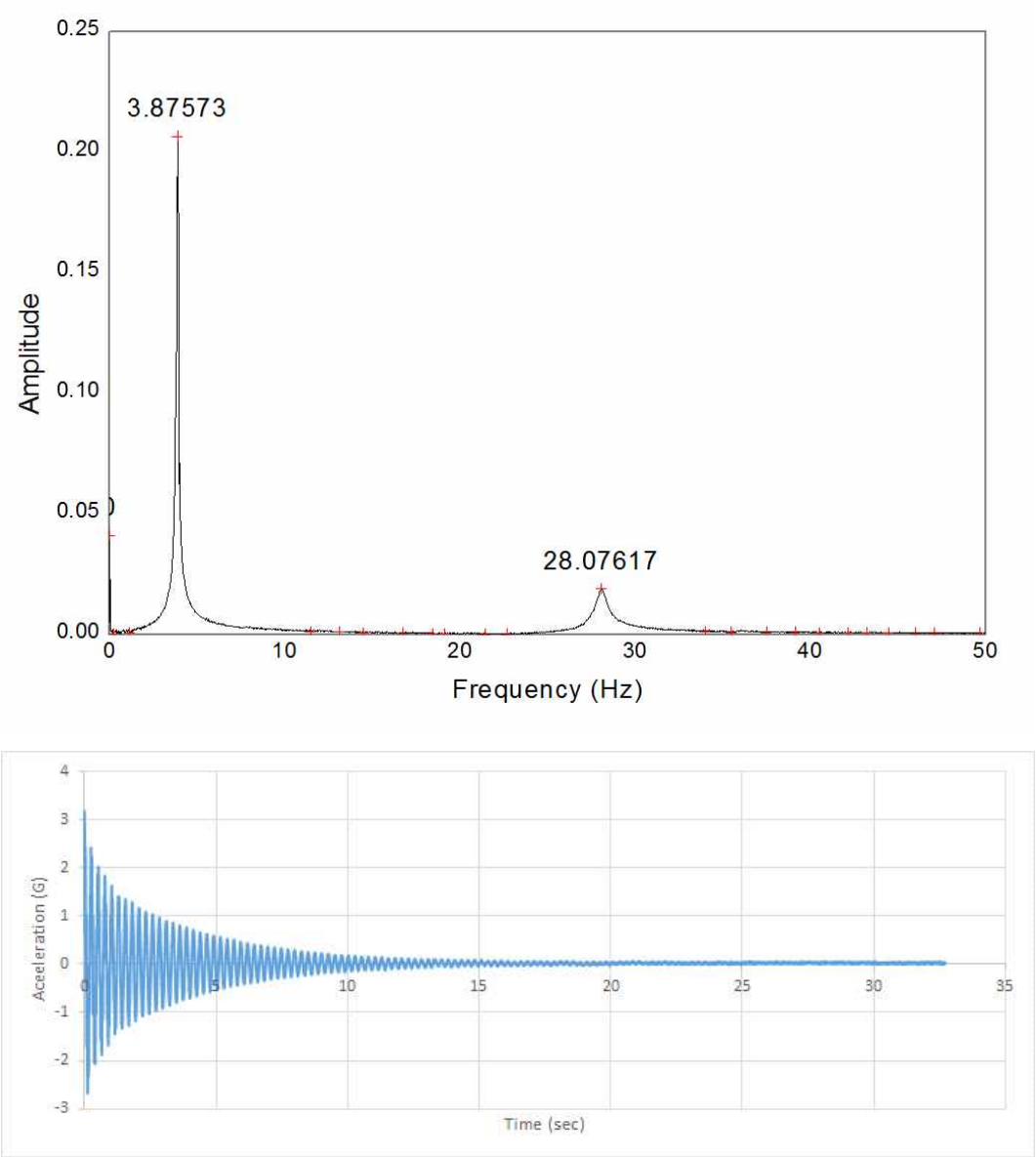
<그림 3.1.64 고유진동수 산정구간>

Quick Release 시험을 통해 고유진동수 측정결과는 다음과 같다. 동특성 실험을 통해 측정된 고유진동수는 3.88Hz 이다.

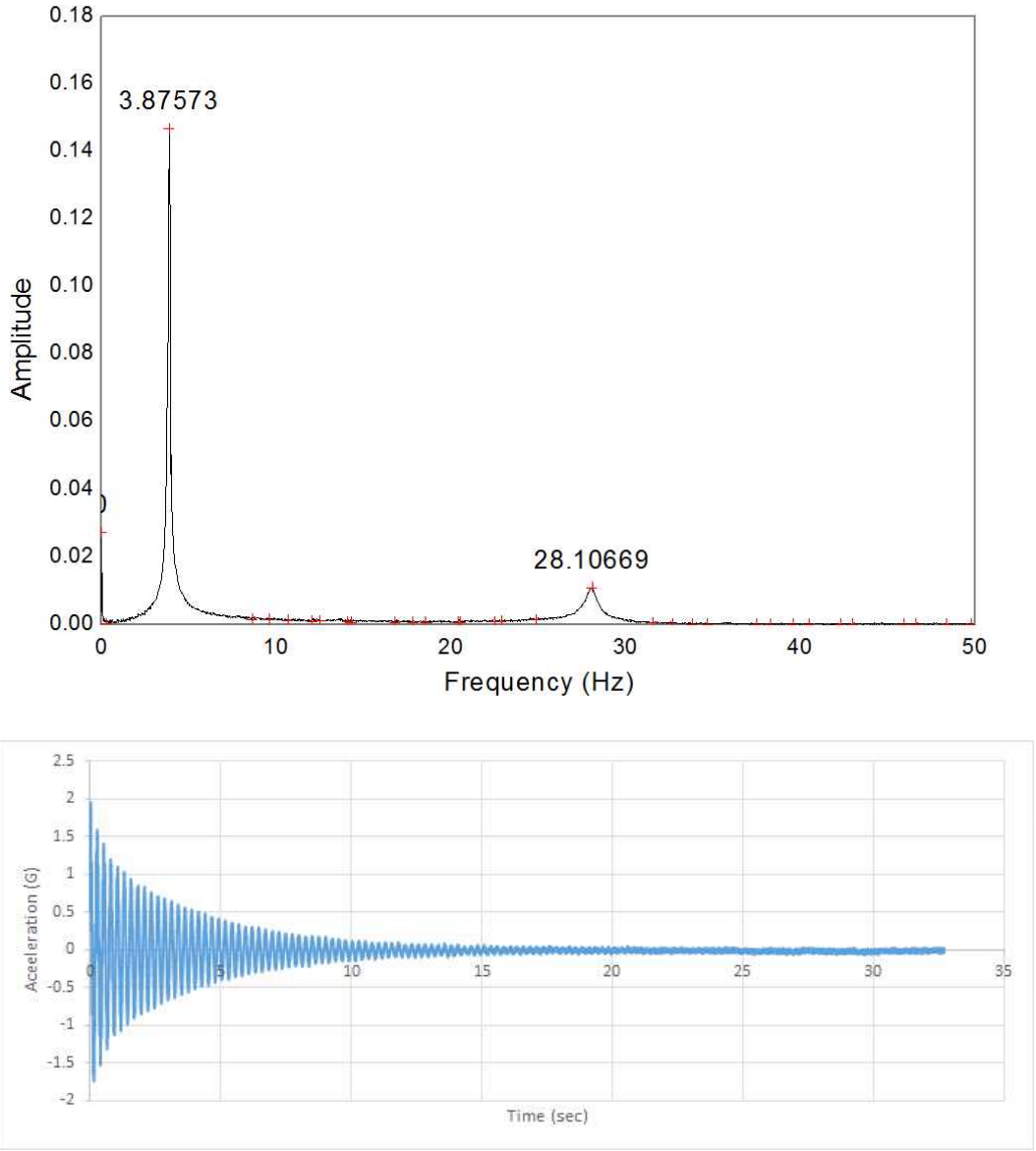
<표 3.1.17 고유진동수 측정 결과>

	ACC1	ACC2	ACC3	DT1
Quick Release 1회 (2mm)	3.88	3.88	3.88	3.88
Quick Release 2회 (3mm)	3.88	3.88	3.88	3.88

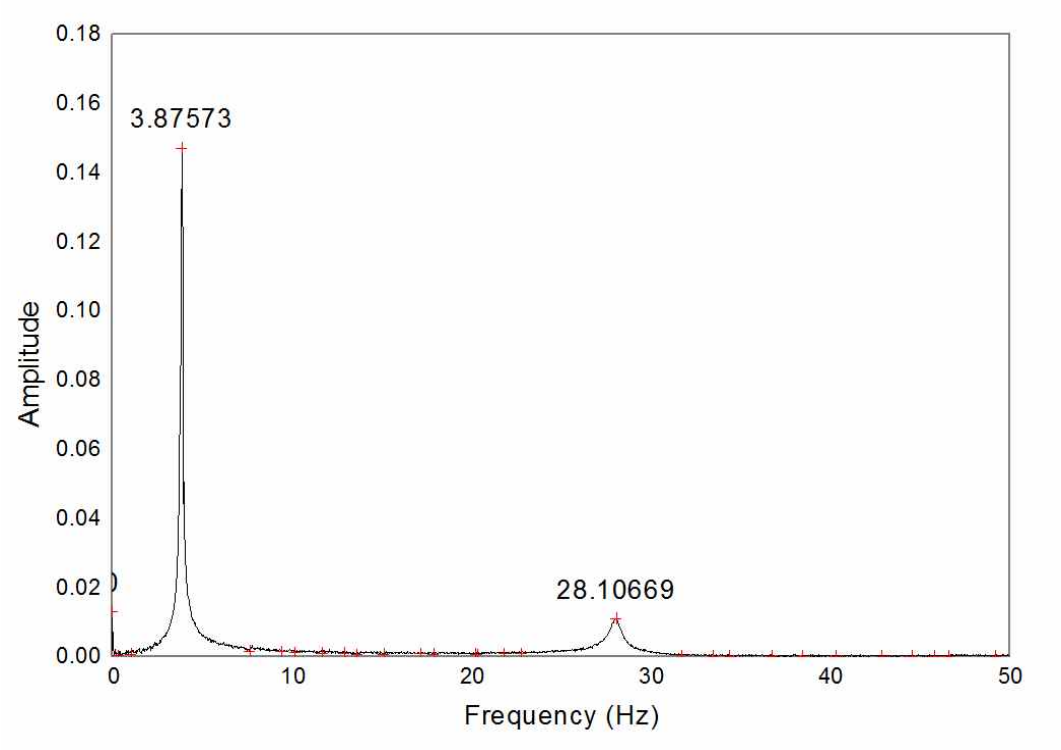
고유진동수 측정결과 그래프는 다음과 같이 정리하였으며 2회차 Quick Release 시험 (5mm) 재하시 가속도계 및 처짐 데이터에 대한 FFT 분석 결과 그래프이다.

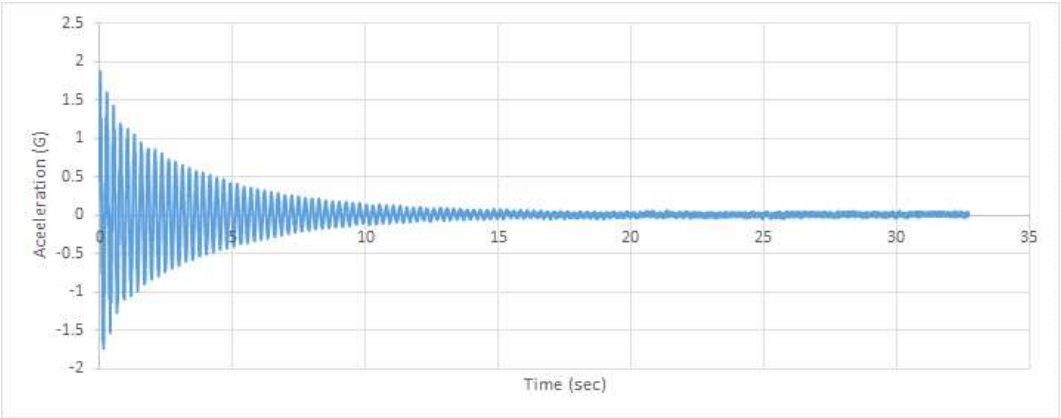


<그림 3.1.65 ACC1-FFT 분석을 통한 고유진동수 측정 결과 그래프>

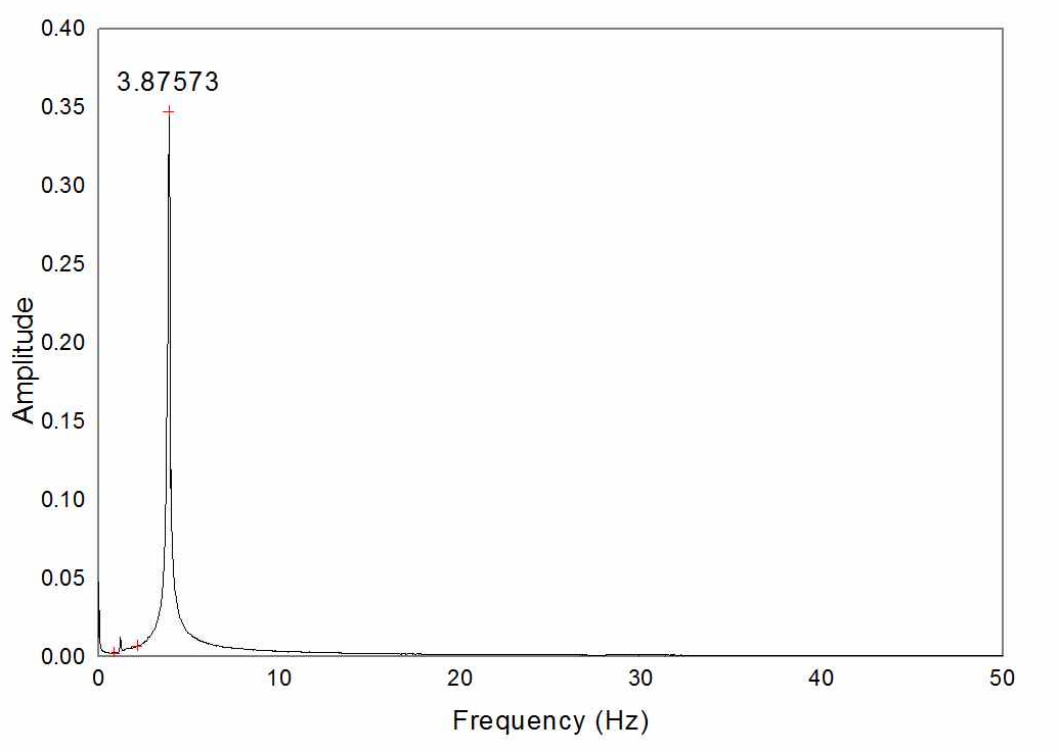


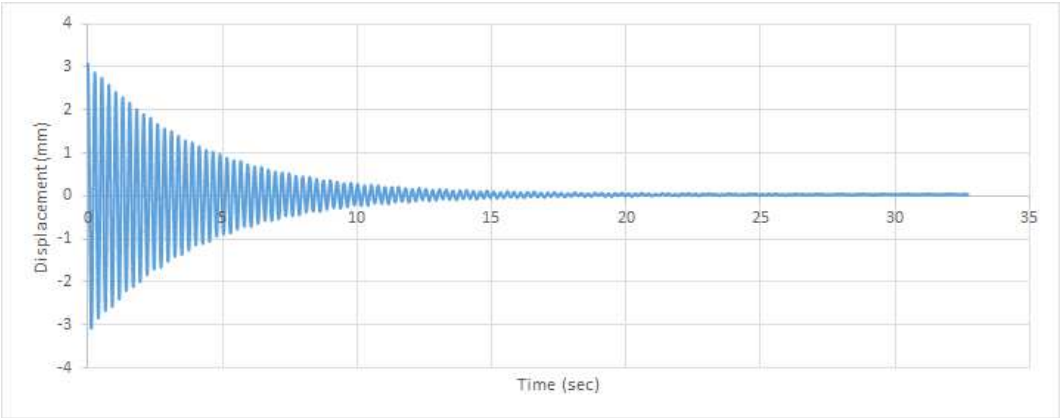
<그림 3.1.66 ACC2-FFT 분석을 통한 고유진동수 측정 결과 그래프>





<그림 3.1.67 ACC3-FFT 분석을 통한 고유진동수 측정 결과 그래프>





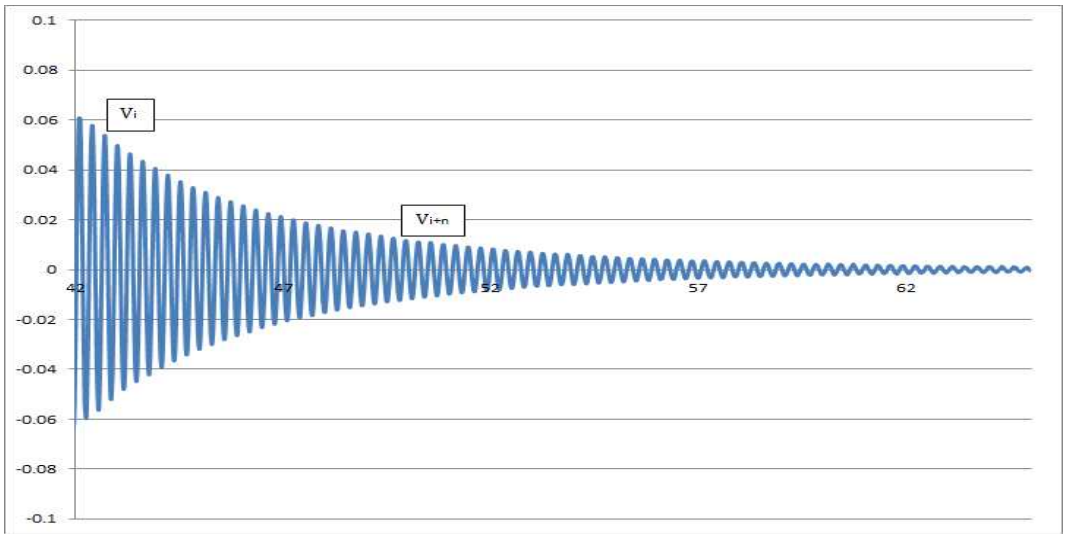
<그림 3.1.68 DT1-FFT 분석을 통한 고유진동수 측정 결과 그래프>

(2) 감쇠비

- 구조물의 감쇠비(Damping Ratio)를 예측하는 것은 구조물의 거동을 예측하기 위해 매우 중요하다. 감쇠비를 추정하기 위하여 자유진동 영역에서 추정하였으며 지수 감쇠를 가정으로 하는 대수감쇠율법(Logarithmic Decrement)을 이용하였다.
감쇠비를 산정하는 방법은 하중이 제거되는 순간부터 2초 후의 가속도 및 처짐 데이터의 peak 값부터 n번째의 peak 값을 이용하여 추정하였다. 거더 중앙 상부 슬래브에 설치한 가속도계 데이터와 거더 중앙 처짐계의 데이터를 이용하여 추정하였다. n=20, 25, 30 으로 하여 감쇠비를 추정하였다. 감쇠비는 아래의 식에 의하여 구하였다.

$$\delta = \frac{1}{n} ln(\frac{v_i}{v_{i+n}}) \cong 2\pi\xi \qquad \therefore \xi \cong \frac{\delta}{2\pi}$$

$n = n$개의 데이터
$v_i = i$번째의 데이터
$v_{i+n} = i+n$번째 데이터



<그림 3.1.69 시간- 가속도 이력 그래프>

<표 3.1.18 거더 중앙 하부 처짐계 데이터를 이용한 감쇠비 추정값>

거더 중앙 하부 처짐계				
step	Vi	Vi+n	δ	감쇠비(%)
n=20	2.98834	0.83203	0.06393	1.02
n=25	2.98834	0.61719	0.063092	1.00
n=30	2.98834	0.44766	0.063281	1.01

<표 3.1.19 거더 중앙 슬래브 상부 가속도계 데이터를 이용한 감쇠비 추정값>

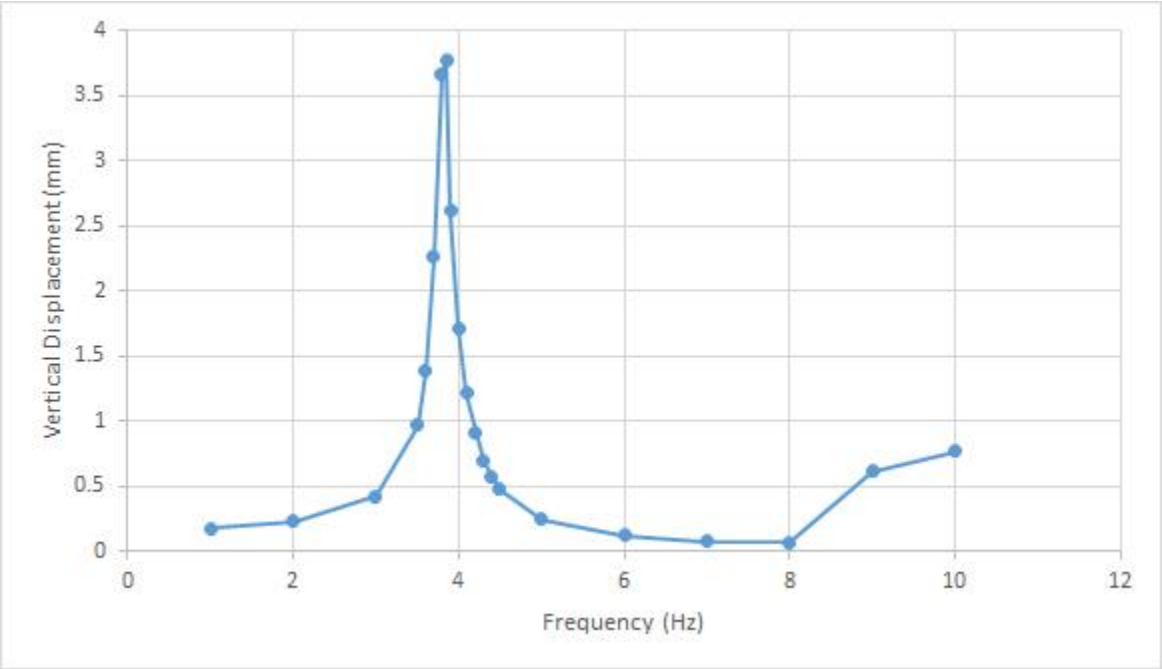
거더 중앙 슬래브 상부 가속도계				
step	Vi	Vi+n	δ	감쇠비(%)
n=20	1.81045	0.46506	0.067958	1.08
n=25	1.81045	0.35079	0.065646	1.05
n=30	1.81045	0.27372	0.062974	1.00

(3) 가진실험

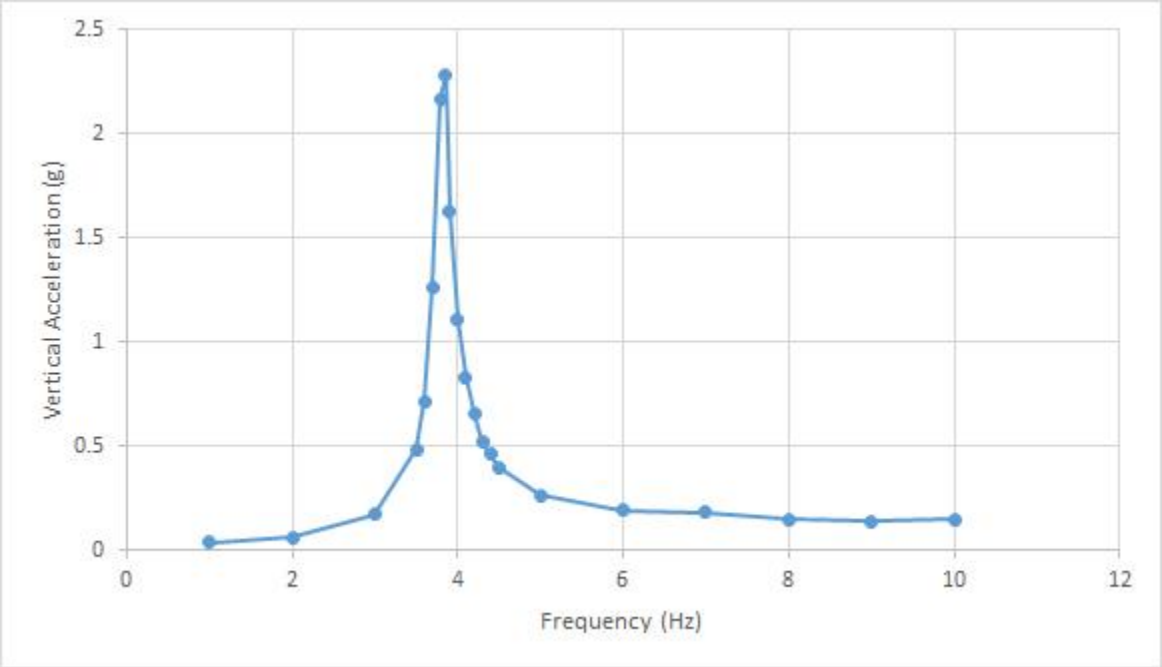
- 가진실험은 재하 하중의 주파수에 대응하는 시험체의 동적응답과 공진시 응답 증폭을 분석하기 위한 시험이다. 실험은 70kN을 가력한 상태에서 ±10kN의 진폭으로 1~10Hz 범위로 정현파 동적 하중을 하는 방법으로 진행하였다. 또한 공진 전후 구간에서의 응답을 상세히 관찰하기 위해 앞서 분석된 고유진동수 부근에서 주파수를 0.05Hz단위로 분할 재하하여 실험을 수행하였다. 재하된 하중의 가진 주파수별 경간중앙 변위와 가속도 응답 최대값 분석결과는 다음 표와 같다. 다음 그림은 가진 시험에 따른 공진(3.2Hz)과 비공진(1Hz) 상태의 응답을 시간이력으로 나타낸 것이다.

<표 3.1.20 가진시험 재하 결과>

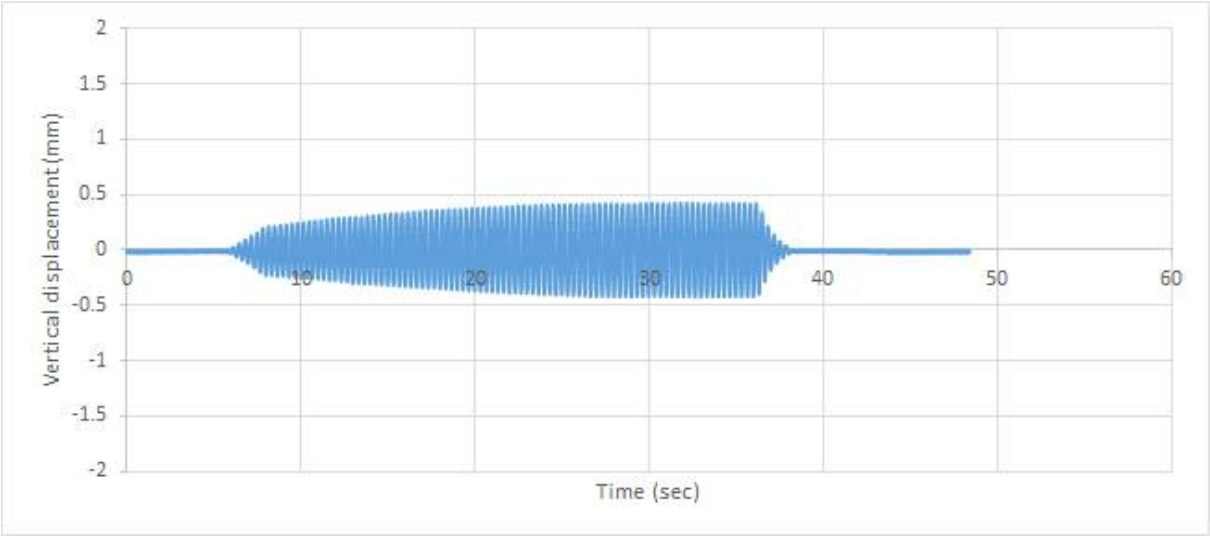
가진주파수 (Hz)	Dis (mm)	Acc (g)
1	0.176	0.04
2	0.231	0.063
3	0.425	0.175
3.5	0.966	0.484
3.6	1.391	0.716
3.7	2.261	1.262
3.8	3.669	2.167
3.85	3.766	2.283
3.9	2.613	1.625
4	1.716	1.104
4.1	1.217	0.834
4.2	0.916	0.658
4.3	0.694	0.52
4.4	0.575	0.464
4.5	0.476	0.4
5	0.25	0.267
6	0.127	0.194
7	0.075	0.183
8	0.0664	0.151
9	0.617	0.141
10	0.766	0.151



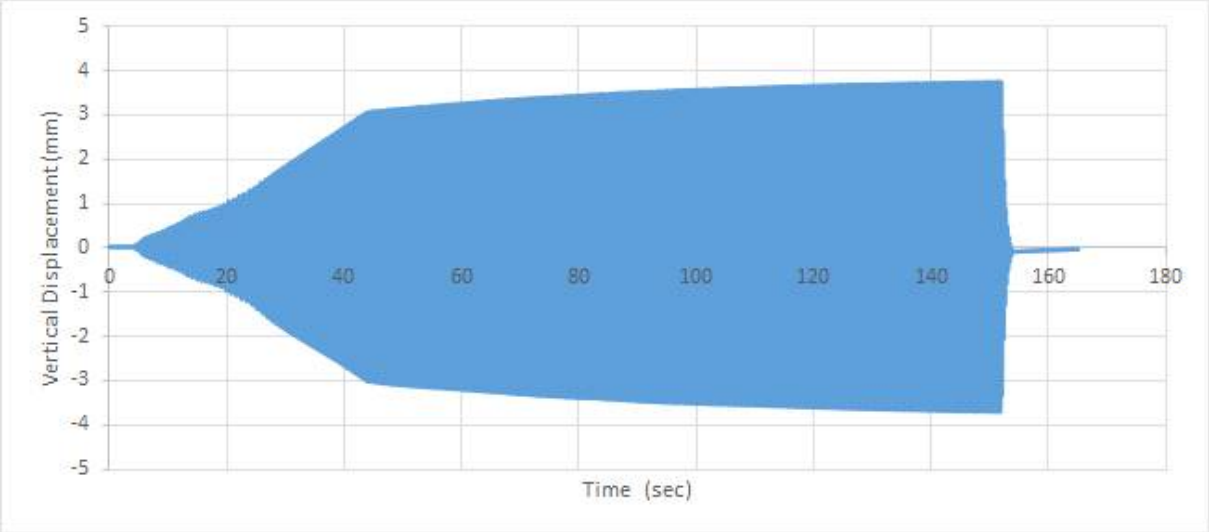
<그림 3.1.70 가진주파수별 중앙변위 최대값>



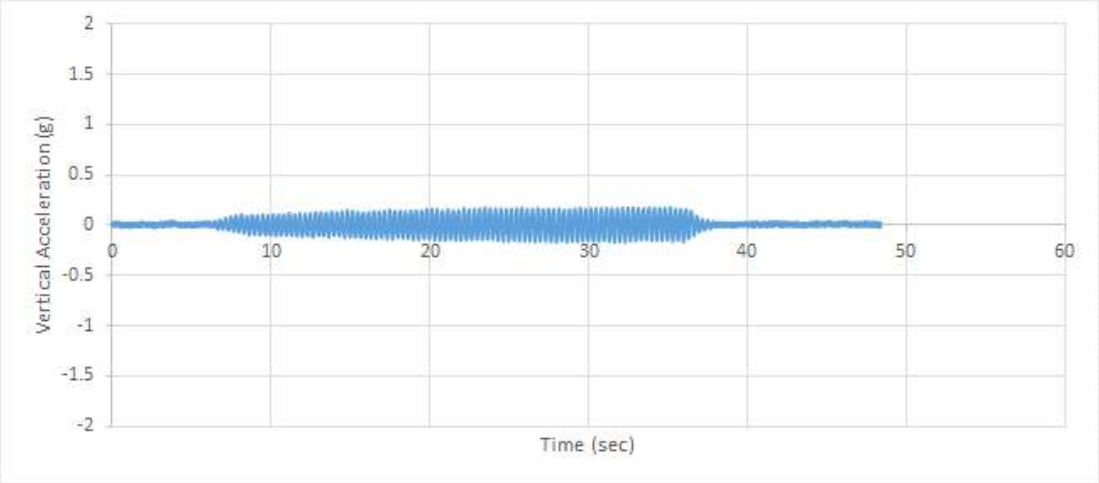
<그림 3.1.71 가진주파수별 중앙 연직가속도 최대값>



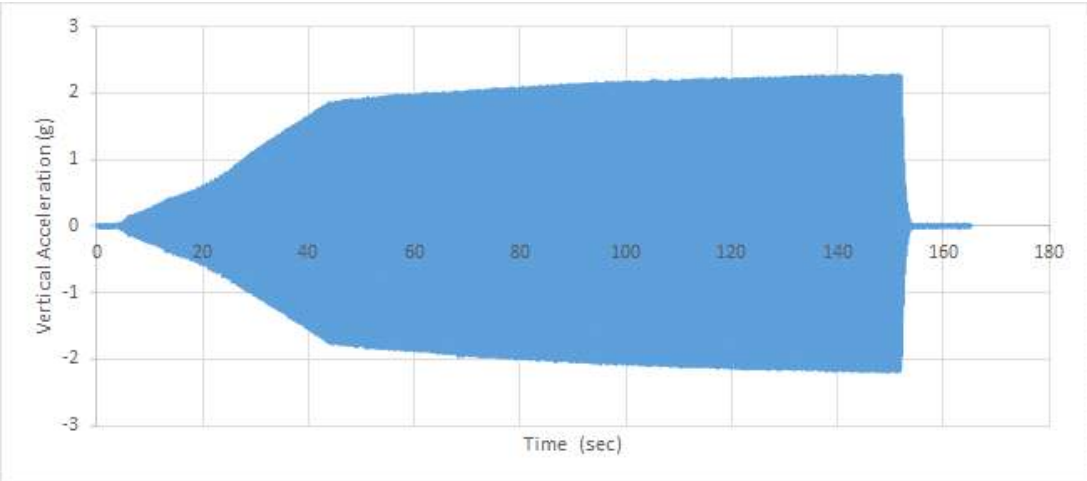
<그림 3.1.72 비공진시(3Hz) 경간 중앙 변위 시간이력>



<그림 3.1.73 공진시(3.85Hz) 경간 중앙 변위 시간이력>



<그림 3.1.74 비공진시(3Hz) 경간 중앙 연직가속도 시간이력 >



<그림 3.1.75 공진시(3.85Hz) 경간 중앙 연직가속도 시간이력 >

바. 실내재하실험 소결론

- 철도교량에 적용하기 위한 MPC거더의 철도교량 적용성을 확인하기 위해 실시한 길이 35m 실물 거더의 정·동적 재하실험을 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 실험에서는 설계 시 계산된 계수하중 2,550kN의 116% 해당하는 2,950kN까지 재하 하였으며 최대재하하중 기준 경간중앙 처짐값은 136.88mm으로 나타났다.
(2) 실험체의 균열하중은 2,300kN으로 설계 계산값 2,072kN 대비 11%를 상회하는 결과를 나타내었다. 또한 구조계산에서 검토된 균열 하중에 해당되는 처짐은 80.06mm이며 이에 해당하는 실험상의 처짐은 82.96mm로 양호한 결과를 나타내었다.
(3) 단부의 구조적 안전성을 평가하기 위해 단부 1.5m위치에 1666kN을 재하하였으며 이때, 이상거동이나 균열은 발생하지 않았다.

<표 3.1.21 하중-처짐 결과 비교>

하중단계	하중(kN)		처짐(㎜)	
	설계값	실험값	설계값	실험값
균열하중	2,072	2,300	80.06	82.96
최종 재하하중	2,550	2,950	-	136.88

동적 재하 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Quick-Release 실험을 통해 산출된 고유진동수는 3.88Hz로 사전 검토된 수치해석 상의 고유진동수 3.97Hz와 유사한 것으로 나타났다 이는 해당 지간장에 대한 철도설계기준 고유진동수 허용범위인 2.65~6.0Hz를 만족한다.

(2) Quick-Release 실험으로부터 추출된 자유진동신호를 이용하여 Logarithmic decrement에 의한 감쇠율 산정 방법을 적용한 결과 감쇠율은 1.00~1.08%로 산출되었다. 따라서 현행 규정의 하한치인 1%이상의 감쇠율을 확보한 것으로 판단된다.

제2절 국토부 건설 신기술 인증 추진

가. 선행기술 조사

(1) 서론

- 건설신기술 1차심사위원회 심사기준의 하나인 신규성은 특허법에서 말하는 특허등록요건으로서의 신규성과는 그 의미가 다른 것으로, 최초로 개발된 기술이거나 개량된 기술로서 기존기술과 차별성, 개량 정도, 독창성과 자립성 등이 인정되는 기술을 말한다.
- 신규성 심사 기준 중 개량 정도는 기존 기술과 비교하여 성능 및 효과 등을 개량한 정도를 의미하고, 독창성과 자립성은 선행공정 또는 작업조건에 영향이 적고 균질한 성능 발현 가능 여부, 외국기술 및 타기술등에 의존하지 않고 자립성이 우수한 기술 등을 의미하는 것으로, 본보고서에는 선행특허, 동종분야의 유사기술 및 유사신기술 등 선행 기술을 광범위하게 조사하여 예정신기술과의 차별성 위주로 예정신기술의 신규성을 검토하고자 한다.

(2) 교량 PSC 거더의 개요

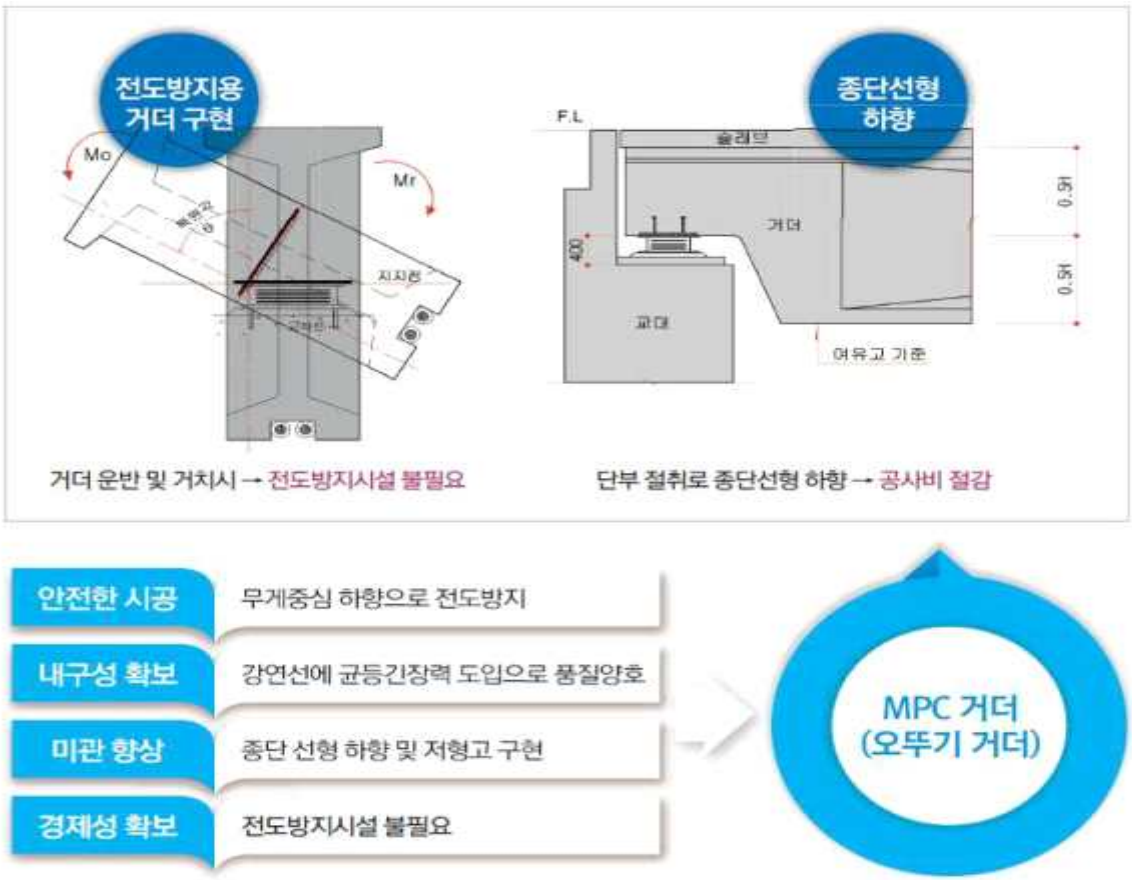
- 교량용 거더는 교량이 내하력을 확보할 수 있도록 교각의 상부에 설치되고,그 상부에 콘크리트 슬래브 등이 포설된다. 교량용 거더로는 교량의 내하력을 증가시키거나, 과하중이나 사용에 의해 발생된 처짐이나 균열 등에 저항할 수 있도록 긴장력을 도입하여 제조된 프리스트레스 콘크리트 거더(PSC 거더)가 많이 사용된다.
- 프리스트레스를 도입하는 제작방법에는 프리텐션 공법과 포스트텐션 공법이 있다. 일반적으로 포스트텐션 공법이 널리 적용되고 있다. 그런데, 포스트텐션 공법을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 거더는, 프리스트레스용 강선을 삽입하기 위한 쉬스관을 매립하기 위해 거더 중앙 하부에서의 콘크리트 두께가 일정 크기 이상 확보되어야 하며, 강선을 긴장하고 정착한 후 쉬스관에 부식방지재를 충전하거나 그라우팅 등의 후속작업이 필요하므로, 그만큼 시공이 복잡해지고 이에 소요되는 시간 또한 지체되어 전체 시공기간을 지연시키는 문제가 있다.
- 또한, 기존의 매립식(부착식) 강선 구조에 의하면, 정착부 쪽에서의 여러 개의 정착구를 긴장할 경우 먼저 긴장한 정착구의 강선은 나중에 긴장하는 강선에 의해 도입되는 압축변형으로 강선의 탄성수축손실이 발생한다.
- 또한, 교량설치 과정에서 교각 또는 교대의 상부에 거더를 임시로 가설하고 후속 공정을 진행하는 과정에서 거더가 교각 또는 교대 상에서 전도되어 대형사고를 초래하는 경우가 종종 발생된다. 특히 지진에 대한 안전지대로 알고 있는 우리나라도 요즘 빈번하게 작은 지진이 자주 발생하고 있으며 이와 같은 지진 시에는 거더가 교각 또는 교대로부터 추락하는 낙교 사고가 발생할 수 있다. 기존의 공법은 거더의 전도를 방지하기 위해 별도의 지지대를 덧대거나 보강하는데 이는 임시방편적인 것에 불과할 뿐 아니라 이를 구성하기 위한 부대 설비들이 더 복잡하고 번거로워 오히려 시공상 불편을 초래하고 작업성을 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다.



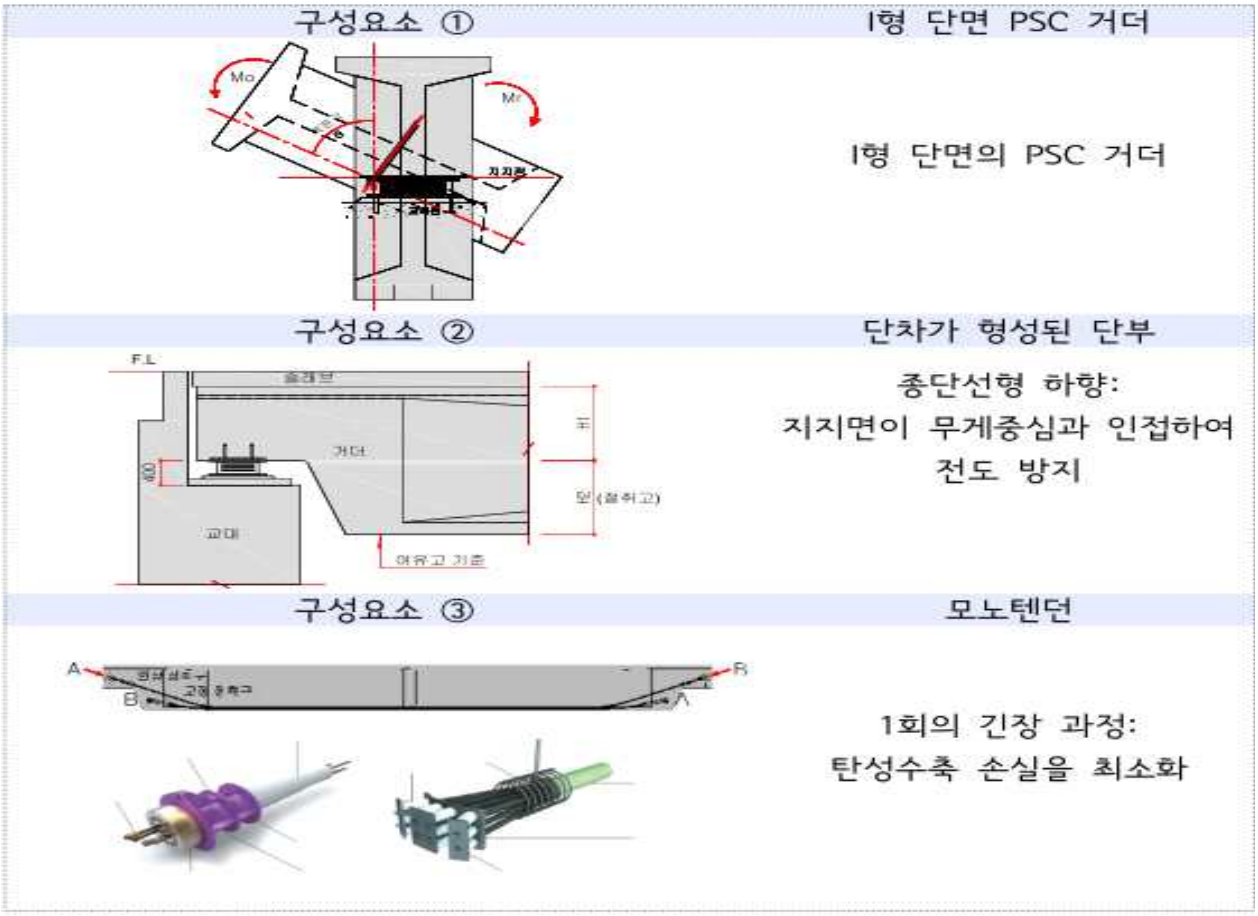
<그림 3.2.1 전도방지시설 장치 이완으로 낙교 발생>

(3) 예정신기술의 검토

- 건설신기술 지정신청 예정기술(이하,'예정신기술'이라 함)은 혜동브릿지(주)에서 보유하고 있는 교량 상부 구조 형식 중 Pre-stressed Concrete(이하, PSC) 거더에 관한 것으로, 상술한 기존의 교량용 PSC거더의 문제점을 해결하기 위해 고안된 것이다. 예정신기술은 ① I형 단면의 PSC거더로서, ② 거더의 양단부 하면을 절취하여 단차를 둠으로써 지지면이 무게중심과 인접하게 되어 무게중심이 거더 폭 내부에 있게 되어 전도가 방지되며, ③ 2160MPa 이상의 고강도 강연선을 활용하여 하나의 정착구를 통하여 정착되어 1회의 긴장 과정을 통해 프리스트레스가 도입되므로 탄성수축 손실을 최소화할 수 있도록 고안된 교량용 PSC거더이다.



<그림 3.2.2 MPC거더 특징>

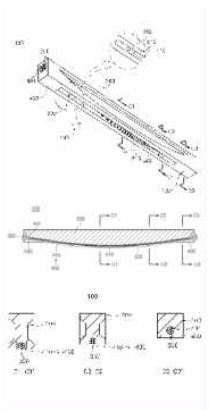


<그림 3.2.3 MPC거더 구성요소>

(4) 보유특허의 검토

- 혜동브릿지가 보유한 특허 중에서 예정신기술의 구현에 적용될 수 있는 특허만을 추출하여 그 권리내용을 검토하고, 예정신기술이 특허로 확실하게 보호되는지 즉, 예정신기술이 특허의 보호범위에 포함되는지, 건설신기술 추진시 추가로 특허출원을 할 필요가 있는지 여부를 살펴본다.

<표 3.2.1 특허분석>

구분	문헌번호 (출원일, 등록일)	명칭 대표도면	내용 요약
보유특허 1	등록특허 10-1325154 (2013.01.14, 2013.10.29.) 혜동브릿지 주식회사	전도방지용 교량거더 	목적 : 무게중심이 중심이탈되지 않게 마치 오뚜기처럼 기울어지기 어렵고 기울어져도 쉽게 원래 위치로 복귀 될 수 있도록 하여 전도 현상이 발생되지 않도록 고안 대표청구항 : 콘크리트부재(100)와, 상기 콘크리트부재(100)의 길이방향으로 내부에 포물선 형태로 매설되어 상기 콘크리트 부재(100)에 긴장력을 제공하는 하나의 긴장부재(200)만을 포함하는 콘크리트 거더로서, 양단 하부에 바닥면으로부터 상기 콘크리트 거더의 형고(H) 대비 0.4배 내지 0.5배의 단차(D)를 가진 지지대가 접촉 지지되는 단차면(110)이 형성되고, 상기 단차면(110)의 하부에는 솔플레이트(SP)와 상기 콘크리트부재(100)의 길이방향과 수직한 방향으로의 상기 단차면(110)의 양단을 보호하도록 상기 솔플레이트와 이격되어 상기 단차면(110)의 양단에 위치하는 에지플레이트(EP)가 부착되어 있으며, 상기 콘크리트부재(100)의 길이방향과 수직한 방향으로의 무게중심이 상기 콘크리트 부재(100)의 길이방향과 수직한 방향으로의 폭내부에 있으며, 상기 긴장부재(200)는 상기 콘크리트 거더의 양단 하부에 형성된 상기 단차면(110)의 사이에만 매설되어 있는 것을 특징으로 하는 전도방지용 교량거더.
보유특허 2	등록특허 10-1328699 (2011.12.16, 2013.11.06.) 재단법인 포항산업 과학연구원	프리스트레스트 거더 	목적 : 거더 중앙부의 도심과 긴장부재의 편심량이 증가하여 프리스트레스 도입에 따른 효과를 극대화시키고 쉬스관 설치나 그라우팅작업등의 후속잡업을 생략하며 탄성수축손실을 최소화하도록 고안됨. 대표청구항 : 길이방향을 따라 연장된 콘크리트부재; 상기 콘크리트부재에 설정방향으로 배치되어 상기 콘크리트부재에 긴장력을 제공하는 적어도 하나의 긴장부재; 및, 상기 긴장부재가 수용되도록 상기 콘크리트부재에 구비되는 프리스트레스 거더.

검토의견 :

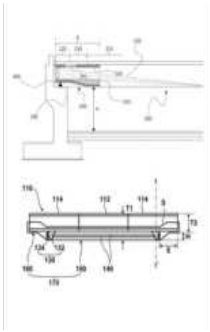
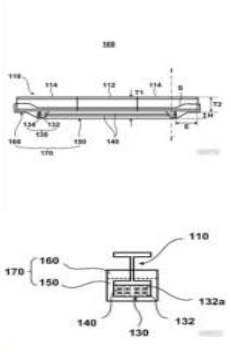
- 등록특허 제10-1325154호는 콘크리트 부재에 긴장력을 제공하는 하나의 긴장재(모노텐던)의 구성, 거더의 전도를 방지하기 위해 거더 양단의 단차를 거더 형고의 0.4~0.5 내로 형성한 구성이 기재되어 있어 예정신기술의 내용 중 ②,③은 이 특허에 의해 충분히 보호된다고 사료된다. 한편, 이 특허에서는 PSC거더의 단면 형상에 대해 한정하고 있지 않고 단지 콘크리트 부재라고만 기재되어 있어 당연히 단면이 I자형인 PSC거더도 권리범위에 포함되므로 예정신기술의 내용 중 ①도 이 특허에 의해 충분히 보호된다고 사료된다. 다만, 이 특허는 솔플레이트와 에지플레이트의 구성을 필수 구성요소로 기재하고 있으므로, 이들 플레이트를 사용하지 않는 기술에는 특허의 권리범위가 미치지 않는다는 것을 주의할 필요가 있다.

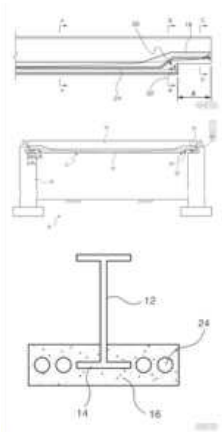
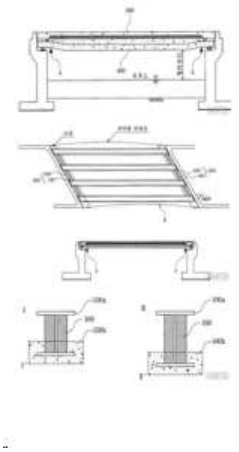
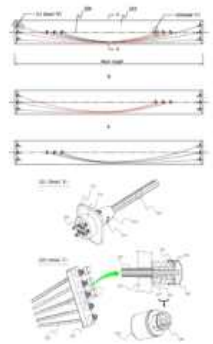
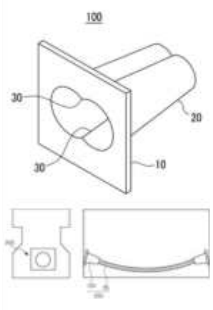
-결론적으로, 예정신기술은 이미 보유하고 있는 특허에 의해 충분히 보호되고 있다고 파악되므로, 별도의 특허출원은 불필요할 것으로 사료된다. 다만, 건설신기술 추진방향에 따라 보완 특허출원이 필요할 수도 있을 것으로 사료된다.

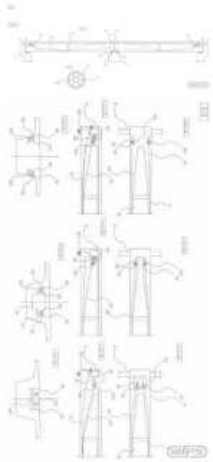
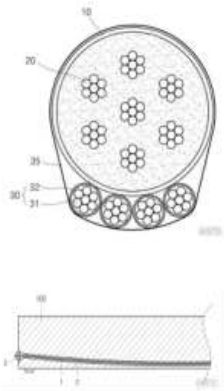
(5) 선행기술 조사

- 예정신기술의 신규성 판단을 위해 건설기술관리법에서 규정하고 있는 신규성 판단의 대비 대상이 되는 선행기술 즉, 선행특허기술, 동종분야 유사기술 및 유사신기술을 조사하였고, 예정신기술과 관련이 있는 선행기술을 추출하여 표로 나타내었다.

<표 3.2.2 선행기술 조사>

구분	문헌번호 기술개발자 명칭	대표도면	기술내용
특허	한국등록특허 1272046 (2012.12.07.출원) (2013.05.31.등록) (주)노빌테크 양단부가 절취된 피에스씨 거더		거더 양단 하부를 절취하여 교량의 소요 형하고를 확보하면서도 불필요하게 교량의 높이가 높아지지 않도록 하기 위한 것으로 상기 절취단부와 경사부 및 경사부와 인접한 중앙부 일부는 박스형 보강재에 의해 둘러싸여 있는 것을 특징으로 한다.
특허	한국공개특허 2008-0095397 (2007.04.24.출원) (2008.10.29 공개) (주)아이브릿지코리아 리프리스트레스트 프리플렉스 합성거더 및 이의 제작방법		개선된 구조를 갖는 리프리스트레스트 프리플렉스 합성 거더에 있어서, 거더부는 세 개의 스틸 거더(Steel girder)들이 연결되고 상방으로 굴곡된 형상을 갖는다. 단부의 형고가 중앙부에 비해 작게 형성 될 수 있다. 따라서 교량 받침을 높게 설치함으로써 형하공간을 더욱 용이하게 확보 할 수 있다.

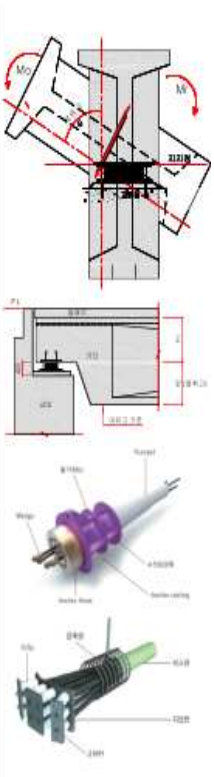
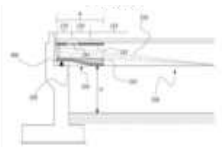
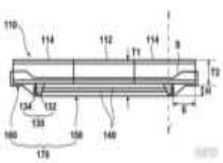
특허	한국등록특허 1,041,995 (2009.03.05. 출원) (2011.06.09. 등록) (주)스틸엔콘크리트 정착장치가 구비된 계단식 단부 프리스트레스 합성형빔 및 이를 이용한 교량시공방법		프리스트레스 합성빔의 단부에 계단형의 단부를 형성하고, 상기 계단식 단부에 정착장치를 설치함으로써, 긴장력을 분산시켜 케이싱 콘크리트의 국부파괴를 방지하며, 계단형으로 단부를 형성하여 불필요한 사하중을 제거하며, 필요에 따라 교량 사용중에 재긴장이 가능하며, 계단의 단부 높이만큼 종곡선을 하강시킬 수 있도록 정착장치가 구비된 계단식 단부 프리스트레스 합성형빔 및 이를 이용한 교량시공방법을 제공하는 그 목적이 있다.
특허	한국등록특허 0544647 (2005.09.14. 출원) (2006.01.12. 등록) (주)피에스아이테크 놀로지 단부절취형 프리플렉스 합성형교 및 그 시공방법		하천을 횡단하는 프리플렉스 합성형교의 형하공간을 최대한 확보하기 위해 합성형을 단부절취형으로 제작하여 동일지간대비 형고를 가진 교량에 비해 교좌장치를 높게 설치하여 홍수시 교량을 유실을 방지하며, 상기 단부절취형 프리플렉스 합성형의 단부를 상호 연결하여 합성형들을 폐합된 격자구조를 갖도록 하는 충복형 브레이싱과, 교량의 전구간에 걸쳐 타설되며 상기 단부절취형 프리플렉스 합성형 및 충복형 브레이싱을 피복하는 바닥판 콘크리트 및 복부판 콘크리트를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.
특허	한국등록특허 1346344 (2013.07.11. 출원) (2013.12.23. 등록) (주)청명토목이엔지 콘크리트 내부에 긴장재 고정 정착부를 구비한 비부착식 PSC I빔 및 그 제조방법		콘크리트 내부에 긴장재 고정 정착부를 구비한 비부착식 PSC I 빔 및 그 제조 방법에 관한 것으로서, 긴장재의 일단이 콘크리트 내부에 구비된 고정 정착부에 정착되고 타단은 PSC I 빔의 단부에 설치된 인장 정착부에 고정되어 긴장재를 인장 정착부에서 인장시킴에 의해 긴장력이 부여되어 빔 전체적으로 압축응력이 고르게 분산됨으로써 구조적 안정성이 향상된 PSC I 빔 및 그 제조방법을 제공한다.
특허	한국공개특허 2013-0076572 (2011.12.28. 출원) 재단법인 포항산업과학연구원 정착구		정착구의 직경을 증가시키지 않으면서도 복수의 텐던을 수용하여 거더의 강성을 증가시킬 수 있도록 고안된 것으로, 콘크리트 거더에 정착되어 텐던(tendon)을 고정하는 정착구에 있어서, 평탄면을 가지는 정착판, 정착판으로부터 일측으로 뻗어 있으며 내부가 빈 관부, 관부의 내부로 돌출한 복수의 돌기부를 포함한다.

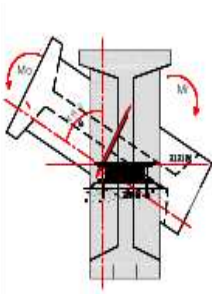
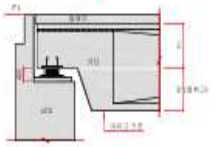
특허	한국공개특허 2010-0108929 (2009.03.31. 출원) 김학권 거더의 노출면에 홈을 형성하여 정착장치를 구비하는 방법 및 이를 이용한 연속교량의 내부지점부를 연속화하는 시공방법		바닥판두께의 전체를 미리 거더제작시에 제작거더와 한몸으로 제작하는 비합성형 PSC거더교 또는 바닥판 두께의 절반정도를 미리 거더제작시에 제작거더와 한몸으로 제작하는 합성형 PSC 거더교에서 시공단계별 긴장용 정착장치가 구비될 공간을 확보하는 방법 및 이를 이용한 2경간 이상의 연속교량의 내부지점부를 연속화하는 방법에 관한것으로서, 거더의 노출면에 소정 깊이를 가지는 홈을 형성하여 홈의 내부에 정착장치를 구비하며, 쉽게 단계별 긴장용 정착장치에 대한 공간을 확보할 수 있게 하고 상기 홈의 내부에 구비된 정착장치를 긴장하여 연속교량의 내부지점부를 효율적으로 연속화할 수 있게 한다.
특허	한국등록특허 0772657 (2006.03.30. 출원) (2007.10.26. 등록) (주)인터컨스텍 텐던조립체		프리스트레스트 교량의 프리스트레스를 도입하기 위해 사용되는 텐던 조립체에 있어서, 상기 거더의 내부에 매설되는 쉬스관과, 양단부는 상기 거더의 양측으로 각각 노출되고, 그 중앙부는 상기 쉬스관으로의 내부에 배치된 긴장재를 포함하는 제1텐던과, 양단부는 상기 거더의 양측으로 각각 노출되고, 그 중앙부는 상기 거더의 내부에서 상기 쉬스관의 외측에 그 쉬스관과 나란하게 배치되는 긴장재와, 상기 긴장재의 외주면을 외부로부터 차단시키는 피복을 가지는 제2텐던을 포함하는 것을 특징으로 하는 텐던 조립체
유사 신기술	건설신기술 제453호(2005.04) (주)인터컨스텍 단부의 측면에 설치된 정착장치와 연속텐던을 이용한 PSC-I형 거더 합성교의 연속화 공법		빔제작시 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입하여 형고를 줄이거나 장지간 가설이 가능한 PSC 공법.
유사 신기술	건설신기술 제517호(2009.12) 우경건설(주) (주)건화엔지니어링 PSC I형 거더의 상연에 강판을 매설하고 부모멘트 구간에 강판 및 강선을 연결한 교량의 연속화 공법		상부플랜지에 강판을 합성시켜 편심 효율성을 증대시키고 연속 지점부를 강판+철근+PS긴장재로 일체화시키며 시공단계별 하중증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입하는 PSC 공법.

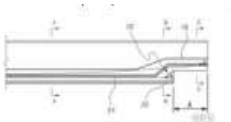
유사 신기술	건설신기술 제582호(2010.12) 동부건설(주) (주)한맥기술 (주)장헌산업 거더 단부의 상부에 긴장재의 이완과 재긴장이 가능한 정착시스템을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 거더공법		프리스트레스트 콘크리트 거더에서 2차 긴장재의 이완과 재긴장이 가능한 정착시스템을 거더 단부의 상부에 설치하여 거더와 바닥판의 내구수명 차이에 따라 발생하는 바닥판 교체시 거더 중앙부의 과압축 발생을 예방하고 재긴장을 통하여 거더의 성능회복은 물론 공용수명을 증진시킨 프리스트레스 거더 공법으로, PSC 빔단면과 반단면 프리캐스트 바닥판을 이용하여 비합성 상태에서 긴장력을 도입하여 강선의 도입효율을 높이고, 연속화 강선의 편심량을 극대화하여 구조적 효율성 및 경제성을 추구한 PSC 공법.

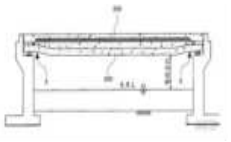
(6) 선행특허기술과 비교

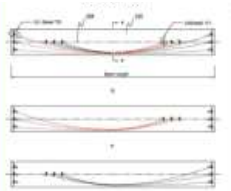
<표 3.2.3 선행특허 기술비교>

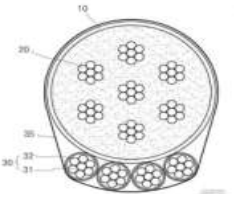
예정신기술	선행특허기술	대비
	선행특허 1 한국등록특허 1272046 	유사점: 거더 양단 하부를 절취하여 단차형성.
		차이점: 선행특허 1의 단차형성이 전도방지를 유도하는지 불명확함. 선행특허 1은 절취된 양단부를 박스형 보강재로 둘러싸도록 구성되어 예정신기술과는 구성이 상이함. 선행특허 1에는 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않음.
	선행특허 2 한국공개특허 2008-0095397 	유사점: 스틸거더의 하부에 콘크리트를 구성하되 거더의 양단으로부터 이격되도록 구비되어 단차가 형성됨.
		차이점: 선행특허 2는 PSC 거더와 강재 거더가 합성된 것으로 예정신기술은 강재거더의 구성이 없음. 선행특허 2에는 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않음.

<table>
<tr><td rowspan="10"> 
 
 
  </td><td>선행특허 3

한국등록특허
1,041,995
  </td><td>유사점: 프리스트레스 합성빔의 단부에 계단형의 단부를 형성한 것으로 양단의 단차가 형성됨.</td></tr>
<tr><td>차이점: 선행특허 3에는 강재 거더와의 합성빔으로 예정신기술은 강재거더의 구성이 없음.
선행특허 3에는 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않음.</td></tr>
<tr><td>선행특허 4

한국등록특허
0544647
  </td><td>유사점: 합성형교의 단부를 절취한 것으로 양단에 단차가 형성됨.</td></tr>
<tr><td>차이점: 선행특허 4는 강재 거더와의 합성빔으로 예정신기술은 강재거더의 구성이 없음.
선행특허 4에는 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않음.</td></tr>
<tr><td>선행특허 5

한국등록특허
1346344
  </td><td>유사점: 콘크리트 내부에 긴장재 고정정착부를 구비하여 긴장재 일단이 콘크리트 내부에 정착되고 타단은 거더 단부에 고정되어 인장됨.</td></tr>
<tr><td>차이점: 선행특허 5는 여러 열의 긴장재를 배치하도록 구성되어 예정신기술과는 구성이 상이함. 선행특허 5에는 전도방지를 목적으로 하는 단차가 양단에 구성되지 않음.</td></tr>
<tr><td>선행특허 6

한국공개특허
2010-0108929
</td><td>유사점: 거더의 노출면에 소정의 깊이를 가지는 홈을 형성하여 그 내부에 정착장치를 구비하여 내부에 구비함.</td></tr>
<tr><td>차이점: 선행특허 6은 쉬스관을 포함하여 구성되며 바닥판을 거더와 한몸으로 구성하는 등 예정신기술과의 구성이 상이함. 선행특허 6에는 전도방지를 목적으로하는 단차가 양단에 구성되지 않음.</td></tr>
<tr><td>선행특허 7
한국등록특허
0772657
  </td><td>유사점: 거더 양단으로 노출되는 단일 긴장장치가 형성됨.</td></tr>
<tr><td>차이점: 선행특허 7은 쉬스관과 긴장재의 외주면을 외부로부터 차단하는 제2텐던을 포함하여 구성한 것으로 예정신기술과의 구성이 상이함.
선행특허 7에는 전도방지를 목적으로 하는 단차가가 양단에 구성되지 않음.</td></tr>
</table>

대비결과:

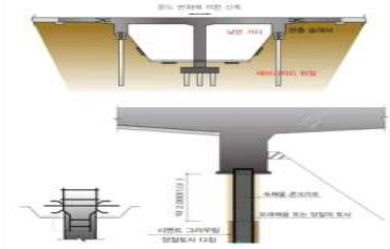
선행특허기술 조사결과, [한국등록특허 1272046], [한국공개특허 2008-0095397], [한국등록특허 1,041,995] 및 [한국등록특허 0544647]에서 교량용 거더 양단부에 단차를 형성한 기술이 조사되었으나 예정신기술과는 구성이 상이하며 단차형성이 전도방지의 목적이 있는지 불명확하고, 특히 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않은 부분에 차이가 있다.
또한, [한국등록특허 1346344], [한국공개특허 2010-0108929]에서 거더 내부에 긴장재 일단이 타단은 거더 단부에 고정되어 인장되는 기술이 조사되었고 [한국등록특허 0772657]에서 거더 양단으로 노출되는 단일 긴장장치가 형성되는 기술이 조사되었으나 예전신기술과는 구성이 상이하며 특히 전도방지를 목적으로하는 단차가 양단에 구성되지 않은 부분에 차이가 있다.
선행특허기술과 예정신기술을 대비한 결과, 예정신기술과 동일한 구성을 개시하고 있는 단일의 선행특허기술은 조사되지 않았다.

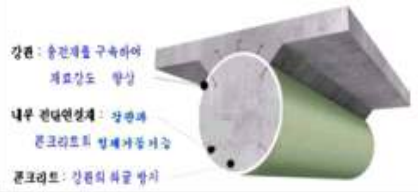
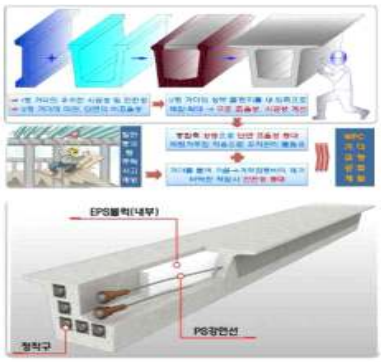
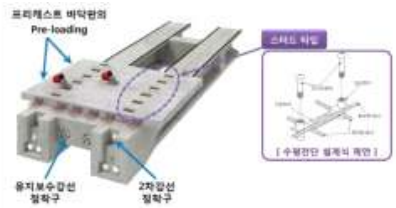
(7) 관련 선행기술

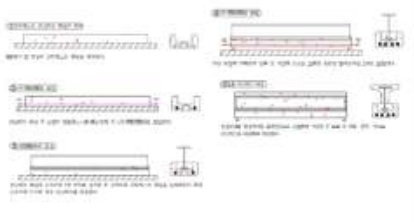
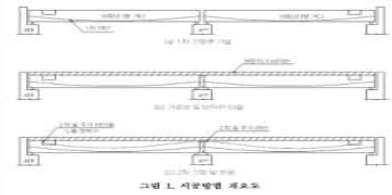
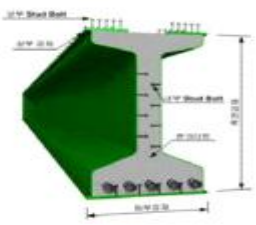
- 동종분야 관련 선행신기술을 조사한 결과 경쟁력이 있는 업체들은 자체기술을 신기술로 신청하여 건설신기술로 지정받아 기술을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 총 743건의 건설신기술 중 교량 거더에 관한 건설신기술은 22건으로 나타났으며 이를 정리하여 표로 나타냈으며 예정신기술과 비교하였다.

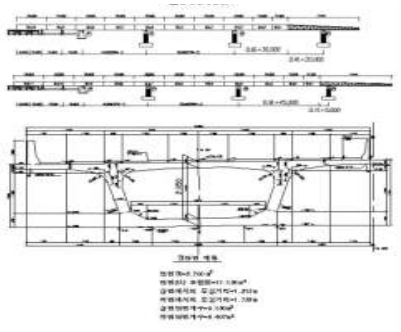
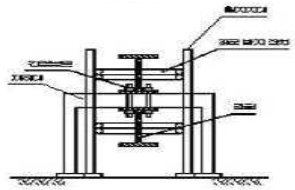
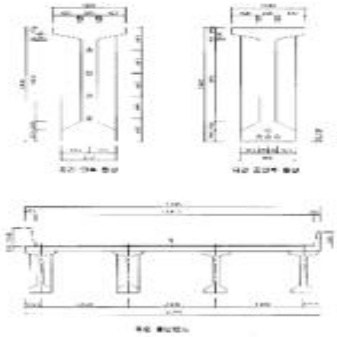
<표 3.2.4 동종분야 관련 선행기술>

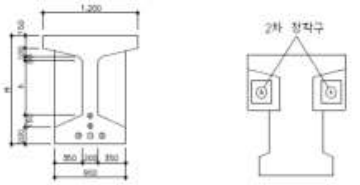
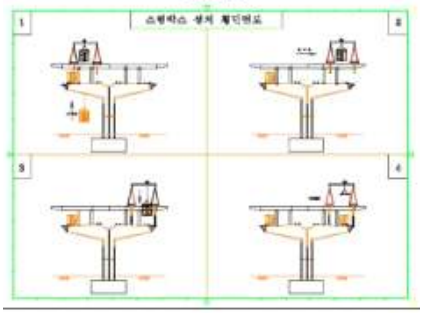
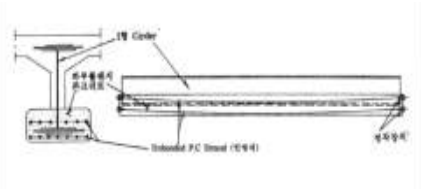
지정번호/개발자/지정일/대표도면	기술의 범위 및 내용
690호 (주)인터컨스텍 (주)도화엔지니어링 (주)건화 (주)천일 2013.01 	미리 제작한 본체보다 고강도인 콘크리트 접합블록을 PSC-I 형 분절거더의 접합단부로 사용하여 접합부를 보강하고, 접합블록을 거푸집 내에서 이동이 가능하도록 하여 하나의 거푸집으로 다양한 길이의 분절거더를 제작할 수 있는 PSC-I 형 분절거더 제작방법.
648호 (주)에이스이엔씨 (주)도화엔지니어링 (주)이산 2012.03 	거더 상부 플랜지 보강용 철근 도입과 거더 하연을 곡선화하여 아치형상으로 하여 균등단면의 PSC-I 거더보다 처짐 및 응력감소 효과로 구조안전성을 향상시킬 수 있는 변단면 PSC-I 거더를 제작하는 기술.

646호 혜동브릿지(주) (주)포스코건설 (주)경동엔지니어링 (주)경호엔지니어링 종합건축사 사무소 2012.03 	이종재료의 상호보완효과로 효율적인 단면 강성의 확보를 위하여 지점부에서는 폐단면이고 지간 중앙부에서는 개구형 박스 단면이 I형단면과 아치형태의 변단면으로 조합된 강재거더에 콘크리트를 충전하여 합성한 강합성거더 공법이며, 강박스 내부에 압축 주응력이 작용하는 방향을 따라 아치형태의 콘크리트를 배치하여 이종재료의 상호보완효과로 효율적인 단면강성을 확보함에 따라 좌굴저항성 증대와 보강재를 최소화 할 수 있는 동시에 진동성능을 증대시킬 수 있는 강합성거더 공법.
603호 (주)삼현피에프 포스코건설(주) (주)유신 (재)포항산업과학연구원 2010.05 	PS강선과 강봉의 일체긴장시스템을 이용하여 외력에 의한 휨모멘트와 상반되는 순수 휨모멘트를 콘크리트 거더에 미리 도입하는 PSC거더 제작공법으로 거더의 양 단부에서 강선을 긴장할 때 발생하는 압축력을 강봉이 부담하도록 하고 콘크리트 거더에는 강봉과 PS강선의 거리를 편심으로 하는 순수 휨모멘트를 도입시킴으로써 장견간, 저형고의 PSC거더 상연에서 일반적으로 발생하는 압축응력 초과 문제를 해결할 수 있으며 다단계 긴장을 배제함으로써 간편하게 시공할 수 있고, 하부 플랜지 폭이 넓어 가설시 전도 위험이 적은 PSC 공법.
595호 (주)내경엔지니어링 2009.10 	교량의 시종점부에 세미리지드파일의 설치와 파일 상부의 두부보강을 통해 교량을 지지하고, 교량의 상부와 하부구조를 일체화시키며, 접속 슬래브에 게르버 형태의 메나제힌지를 설치한 다경간 일체식 RC슬래브 교량공법.
582호 동부건설(주) (주)한맥기술 (주)장헌산업 2009.10 	프리스트레스트 콘크리트 거더에서 2차 긴장재의 이완과 재긴장이 가능한 정착시스템을 거더 단부의 상부에 설치하여 거더와 바닥판의 내구수명 차이에 따라 발생하는 바닥판 교체시 거더 중앙부의 과압축 발생율을 예방하고 재긴장을 통하여 거더의 성능회복은 물론 공용수명을 증진시킨 프리스트레스트 콘크리트 거더 공법.

574호 한국건설기술연구원 비비엠코리아(주) (주)유신코퍼레이션 2009.04 	강관 내.외부 또는 내부에 ㄱ형 돌기를 갖는 부착보강재를 설치하고 콘크리트를 강관에 충전함으로써 충전 콘크리트 또는 바닥판과 강관간의 합성 거동효과 증대로 거더의 휨내력을 증진시킨 CFT거더 교량 시공기술.
561호 고려개발주식회사 (주)신성엔지니어링 (주)케이지엔지니어링 이엔이건설주식회사 2008.11 	U형 거더 상부를 내.외측으로 확대하고,외부 강재거푸집과 내부 영구 매립거푸집을 적용함으로써 폐합 박스(BOX)형태의 확폭 플랜지 단면을 형성하는 거더를 맞닿게 배치하는 교량공법으로 바닥판 시공시 거푸집과 동바리 공정을 생략하여 공기단축 및 안전사고를 예방할 수 있게 하였으며, 도로교는 지간 50m이하, 철도교는 일반철도의 경우 지간 40m 이하, 고속철도의 경우 지간 35m이하 구간에 적용 가능한 합성형 WPC(wideflange Prestressed Concrete)박스거더 교량 공법.
542호 (주)대우건설 2007.11 	프리캐스트 바닥판을 사용한 PSC합성거더에서 사용하는 기술로서, 비합성 단계에서 프리캐스트 바닥판의 선재하 하중(Pre-loading)효과를 이용하고, 거더 상단 단블럭에서 2차 긴장력을 도입하며, 전단 포켓부 및 볼트너트식 수평전단 연결수조를 이용하여 PSC거더와 프리캐스트 바닥판을 합성한 도로용 PSC합성거더 시공기술.
524호 (주)지에스건설 (주)씨씨엘코리아 2007.02 	하로형(Below Type) M.S.S(Movable Scafolding System) 공법 중 별도의 장비를 사용하지 않고 교각 브라켓(Pier Bracket)의 해체 및 미동, 설치를 가능하게 하는 공법으로써 자주식으로 이동하는 2조의 교각 브라켓과 자주식 이동식 세 개의 지점을 형성하는 전방가로보, 후방가로보-1, 후방가로보-2로 구성되어 있는 공법.

517호 우경건설(주)(주)건화엔지니어링 2007.01 	PSC I형 거더의 상연에 전단연결재가 부착된 강판을 매설하여 제작하고, 부모멘트 구간의 이음부 상연(인장부)에 강판을 연결하고 PS긴장재로 긴장력을 도입 연결하는 연속화 공법.
488호 (주)노빌테크 2006.04 	압축응력이 도입된 U자형 프리캐스트 콘크리트 패널에 I형 강거더를 합성시킨 뒤, 시간경과에 따라 콘크리트에 발생하는 손실 응력을 고려한 후 이를 충분히 보상할 수 있는 압축응력을 2차로 도입하는 하부플랜지 매립형 합성거더 제작기술.
453호 (주)인터컨스텍 2005.04 	연속화 구간 거더의 시·종점 단부 양 측면에 정착장치(거더와 동일체)를 설치하여 단계적으로 긴장하는 PSC-I형 거더 합성교의 연속화 공법.
399호 현대건설(주)동부건설(주) 2003.11 	고속철도 PSC박스거더 교량의 가설에 있어서 프리텐션과 포스트텐션을 순차적으로 적용함으로써 경간(3@25M 또는 2@25m)을 프리캐스트 일괄 가설하고 임시 교좌장치의 제거 및 영구교좌장치의 설치에 의해 단순교를 연속교로 구조시스템을 경하는 공법.
371호 신성건설주식회사 (주)용마엔지니어링 2003.04 	강재로 내부구조가 간단한 I형상의 강재거더를 제작하고, 내부 중공부에 평철을 이용한 쉬스관 고정간격재를 제작하여 설치한 후 U형 클램프를 이용하여 쉬스관을 간격재에 고정시키고 PS강연선을 설치한 후 콘크리트를 타설하여 일체화 시키는 복합구조 교량공법의 시공기술.

366호 휘선건설 주식회사 2003.03 	P.S.C박스거더교(연속압출공법)에서 추진코의 휨강성을 증대시키기 위해서 등형고로 형성된 U형 단면구성방식과 I형 거더 방식을 혼합한 부분 U형 추진코의 설계 기술.
297호 (주)대능 2001.09 	1.2본의 상하측 강형 1개조 또는 2개조를 재하대에 거치시키고, 양끝 단부를 긴결볼트를 이용하여 상·하측 강형을 연결·고정시키고, 설계상 프리플랙스 하중의 재하위치에는 상하측 강형 사이에 유압잭을 설치하여 상하측 강형을 서로 벌리는 형태로 하중을 재하하여 프리플랙스빔 2본 또는 4본을 제작하는 공법 2.상기 1항의 공정을 거쳐 제작된 프리플랙스 빔을 현장의 교대 및 교각상에 거치시키고,각각을 연결판을 이용하여 연결한 후, 단부지점을 하강시키고 바닥판 콘크리트를 타설·양생시킨 후 상승시킴으로서 부모멘트에 대응하는 압축응력을 바닥판 콘크리트에 도입시키는 2경간 또는 3경간 까지의 연속화 합성형교 시공법.
270호 구민세 2000.03 	연속지점부에서 합성형 교량 거더를 상승시킨 후 바닥판 콘크리트를 타설하고 양생시킨 다음 다시 하강시킴으로써 거더 인장부에 압축응력을 추가로 도입시켜 신설교량의 형고를 감소시키거나 각종 표준도상의 단면에 대해 경간길이를 연장시킬 수 있는 기술.
247호 (주)대우엔지니어링 2000.08 	장경간 교량용 DB-TEE거더의 분절제작 및 시공방법에 대한 기술로 기존의 PSC-I형 거더의 단면을 개량하여 장경간 교량에 적용할 수 있도록 PSC거더를 개발하고, 거더의 운반 및 가설시 교량의 장경간화에 따른 문제점을 해결하기 위해 한 개의 거더에 긴장력을 도입하여 세그먼트로 제작, 현장에서 일체로 접합시켜 시공하는 기술.

221호 (주)인터컨스텍 2000.03  <거더 중앙부> <거더 단부> [IPC 거더의 단면형상]	단계적 긴장력 도입에 의한 PSC I형 거더의 제작기술. 긴장력을 거더의 제작단계에 따라 수차례 나누어 단계적으로 도입함으로써 기존의 방법보다 거더의 높이를 현격히 줄이거나 경간을 증가시킬 수 있는 기술. 또한, 기존의 PSC거더는 노후화 등으로 긴장력의 추가 도입이 필요할 시 기존 강선의 추가적 긴장이 불가능하였던 반면에 본 신기술에 의해 제작된 거더는 단계적으로 강선의 일부를 재긴장할 수 있도록 정착방법 및 정착장치의 위치를 조정, 거더의 제작, 시공뿐만 아니라 유지관리 및 보수.보강 면에서 기존의 PSC 거더보다 기술적, 경제적으로 유리한 기술.
143호 삼성물산(주) 1999.01 	1.수평이동식 트러스를 교각위에 설치할 때 스틸박스 위에 집중하중이 가해지지 않도록 LCBSuooprt를 제작 설치하는 공정 및 이를 활용한 다열 강박스거더 설치, 2.기존에 가설된 스틸박스거더를 이용하여 수평이동식 트러스를 다음 경간으로 이동시키는 공정.
77호 동국강재(주)(주)도화종합기술공사 1997.09 	강재(I-Girder)와 고강도 콘크리트와 Unbonded P.C Strand를 적절히 조합 하여 먼저 강재(I-Girder)에 휨변형을 유발하는 하중을 가하여 하부플랜지에 Unbonded P.C Strand가 미리 배치된 상태로 하부플랜지 콘크리트를 타설 양성한 후 미리 가한 휨하중 변형을 제거하여 처짐변형을 복귀시켜 하부플랜지 콘크리트에 1차 압축 Prestress응력을 도입하고 미리 배치된 Unbonded P.C Strand를 인장 정착하여 2차 Represtress압축응력을 추가로 도입시키는 프리스트레스트 프리플렉스 합성보의 설계, 제작에 관한 기술.
대비 결과: 선행신기술 조사결과, 다양한 구성과 방법으로 교량용 PSC거더에 대한 건설신기술이 조사되었으나 전도방지를 목적으로 하는 단차가 양단에 구성되고 탄성수축 손실을 최소화할 수 있는 모노텐던이 설치되는 신기술을 조사되지 않았다. 선행신기술과 예정신기술을 대비한 결과, 예정신기술과 동일한 구성을 개시하고 있는 단일의 선행신기술은 조사되지 않았다.	

(8) 결 과

- 선행특허기술 조사결과,[한국등록특허 1272046].[한국공개특허 2008-0095397], [한국등록특허 1,041,995] 및 [한국등록특허 0544647]에서 교량용 거더 양단부에 단차를 형성한 기술이 조사되었으나 예정신기술과는 구성이 상이하며 단차형성이 전도방지의 목적이 있는지 불명확하고, 특히 탄성수축 손실을 최소화 할 수 있는 모노텐던이 구성되지 않은 부분에 차이가

있다.

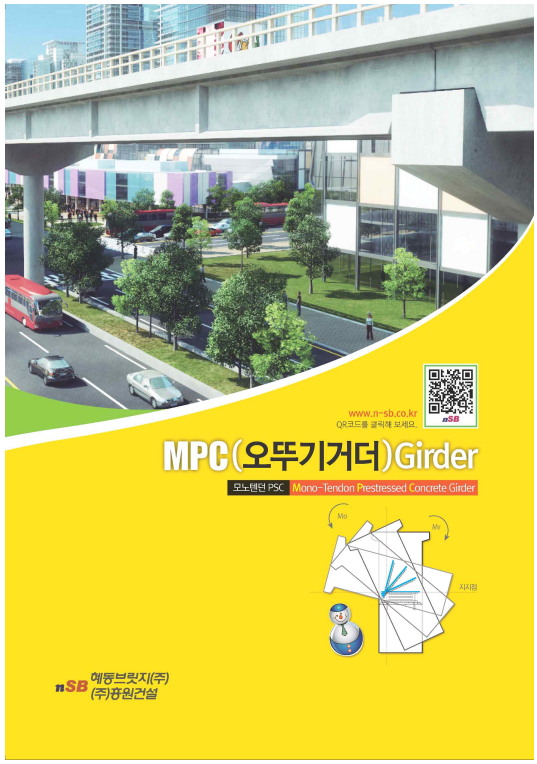
- 또한, [한국등록특허 1346344], [한국공개특허 2010-0108929]에서 거더 내부에 긴장재 일단이 타단은 거더 단부에 고정되어 인장되는 기술이 조사되었고 [한국등록특허 0772657]에서 거더 양단으로 노출되는 단일 긴장장치가 형성되는 기술이 조사되었으나 예정신기술과는 구성이 상이하며 특히 전도방지를 목적으로 하는 단차가 양단에 구성되지 않은 부분에 차이가 있다.
- 동종분야 관련 선행신기술을 조사한 결과 경쟁력이 있는 업체들은 자체 기술을 신기술로 신청하여 건설신기술로 지정받아 기술을 확보하고 있는 것으로 나타났다.
- 총 743건의 건설신기술 중 교량 거더에 관한 건설신기술은 22건으로 나타났으며 이에 대한 조사결과, 다양한 구성과 방법으로 교량용 PSC 거더에 대한 건설신기술이 조사되었으나 전도방지를 목적으로 하는 단차가 양단에 구성되고 탄성수축 손실을 최소화할 수 있는 모노텐던이 설치되는 신기술을 조사되지 않았다.
- 선행특허기술 및 유사기술(신기술)과 예정신기술을 대비한 결과,예정 신기술과 동일한 구성을 개시하고 있는 단일의 선행특허기술 및 유사 기술(신기술)은 조사되지 않았다.

나. 원가분석 보고서 : 일위대가표 요약

<table>
<tr><td>의뢰접수일</td><td>2014.09</td><td>조사기준일</td><td colspan="4">2014.11</td></tr>
<tr><td>신청기술
개발자</td><td colspan="5">혜동브릿지(주)</td></tr>
<tr><td>의뢰기술
명칭</td><td colspan="5">모노텐던 PSC 거더 교량공법</td></tr>
<tr><td>의뢰기술의
범위</td><td colspan="5">Mono tendon Prestressed Concrete Girder에 기존 PSC Beam 계열의
문제점인 시공중 운반, 거치 등 안전사고방지 방안인 오뚜기 효과로
공사현장의 전도사고 예방을 위한 거더이다.</td></tr>
<tr><td>의뢰기술의
내용</td><td colspan="5">강연선이 균등한 긴장력이 도입되므로 구조적으로 안정하며 내구성이 좋다.
단부거더 절취로 인한 종단 선형 하향 및 형고가 높지 않아 미관상 우수하다.
무게중심이 하향이므로 전도방지시설이 불필요하며 전도가 발생하지 않아
시공상 안전하며, 설치기간이 단축되어 공사기간 및 공사비가 절감되므로
경제성이 좋다.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">일위대가표</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="5"><table>
<tr><td>순번</td><td>품명</td><td>단위</td><td>수량</td><td>직접재료비</td><td>직접노무비</td><td>산출경비</td></tr>
<tr><td>1</td><td>MPC 거더 공법</td><td>경간</td><td>1</td><td>11,053,631</td><td>15,217,260</td><td>924,407</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td colspan="5"></td></tr>
</table>

* 자재단가는 물가자료, 물가정보, 가격정보의 2014. 11월호를 기준으로 산정
* 철근, 레미콘, 강연선, 정착구에 대한 자재단가는 3개월이내의 견적서 적용
* 노임단가는 2014년도 하반기 시중노임단가 적용. (원가계산서 p99~102 참조)
* 기계경비 일위대가는 2014년 종합적산자료 기계화시공 적용.(원가계산서 p84~95 참조)

다. 홍보용 브로셔



www.n-sb.co.kr
QR코드를 클릭해 보세요.

MPC(오뚜기거더)Girder

모노텐던 PSC Mono-Tendon Prestressed Concrete Girder

nSB 에뉴브릿지(주)
(주)퓨원건설



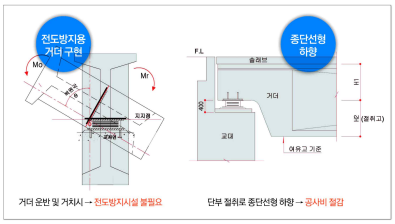
2007 07.10 에뉴브릿지㈜ 법인 설립
2008 06.19 벤처기업 등록
2009 01.09 SBarch합성거더 실물공개시험 실시(RIST)
01.12 SBarch합성거더 특허 등록(제10-0879305호)
2010 02.01 중소기업청 기술혁신개발과제 수행 및 '성공' 판정
12.29 한국건설교통기술평가원 R&D 정책인프라사업 연구과제 선정 수행
2011 11.07 철도신기술 등록(2011-0028호)-한국철도시설공단
2012 01.26 SBarch 합성형 라멘교 개발
03.09 건설신기술 등록(제646호) - 국토해양부
2013 10.01 SBarch합성거더 미국 특허 등록(US 8,544,129 B2)
10.29 전도방지용 교량거더 특허 등록(특허 제10-1325154호)

MPC 거더 연구개발 (국토교통과학기술진흥원)

과제명 : 2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발

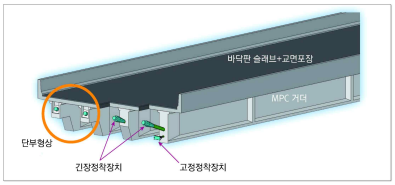
구분	기간
1차년도	2011. 9. 29 ~ 2012. 5. 28
2차년도	2012. 5. 29 ~ 2013. 5. 28
3차년도	2013. 5. 29 ~ 2014. 9. 28
모노텐던 시험체 실물시험	2012. 12 ~ 2013. 01 (정/동적성능평가, RIST)
철도교 시험체 실물시험	2014. 07 ~ 2014. 09 (정/동적성능평가, 한국철도기술연구원)

모노텐던 PSC거더(오뚜기거더) 란?



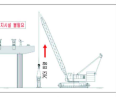
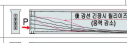
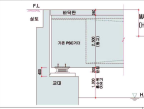
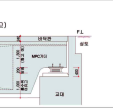
안전한 시공	무게중심 하향으로 전도방지
내구성 확보	강연선에 균등긴장력 도입으로 품질양호
미관 향상	종단 선형 하향 및 저형고 구현
경제성 확보	전도방지시설 불필요

MPC 거더
(오뚜기 거더)



오뚜기 거더

기존 PSC 거더와의 차별성

구 분	기존 PSC 거더	MPC 거더	비 고
시공 안전성 (기존 전도로 인한 낙교 발생 방지)	 전도방지시설 장치 이원으로 낙교 발생	 무게중심 하향으로 전도 미발생	무게중심 하향으로 전도방지시설 불필요 및 전도 미 발생 → 시공 안전성 확보
설치기간 단축 (전도방지시설 설치에 따른 공사기간 소요)	 전도방지시설 필요, 크레인 고정	 전도방지시설 불필요, 장비기동을 개선	전도방지시설 미설치 → 거더 설치 시간 단축
구조적 안전성 (PS강연선에 균등 인장력 도입)	기존  개선 		모노텐던 강연선 벨트 긴장, 균등 인장력 도입 → 구조적 안전
여유공간 확보 (하천횡단시 단부 절취로 종단 선형 하향)			단부거더 절취로 종단 선형 하향 → 성토량 절감 및 편입용지 축소 → 여유공간 확보
경제성/신뢰성 확보 (쉬스관 및 그라우팅 주입 공정 배제)	 철근조립 후 거더내부 철근에 매달아 쉬스관 설치 및 그라우팅 주입	 철근조립시 강연선을 하면 거푸집에 놓은 상태로 체적하여 공정이 단순 용이함	쉬스관/그라우팅 배제 강연선 시공 품질 확보 → 경제성/신뢰성 확보

※ 도로교표준시방서를 기준으로 설계 신장량과 설치 긴장작업에 의해 측정된 구간별 신장량을 비교했을 때 유사한 양상을 보임으로써 철저한 긴장작업 관리를 통해서 균등한 강선긴장력을 도입할 수 있는 품질 신뢰성을 확인

MPC 거더 시공순서도

1. MPC 거더 제작



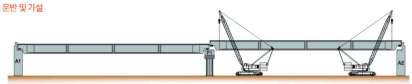
· 제작장 부지 조성 후 제작대 설치 → 철근 조립 및 PS강연선 설치 → 거푸집 설치 → 콘크리트 타설 → 거푸집 탈형

2. PS강연선 긴장



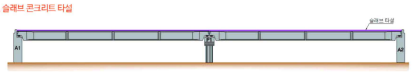
· 각 거더 멀티 인장잭을 이용하여 PS강연선 1회 긴장

3. 운반 및 가설



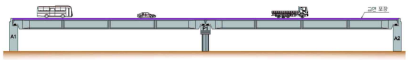
· 제작장에서 거치장소로 이동(전도방지시설 미설치) → 교대 및 교각에 거더거치(전도방지시설 미설치)

4. 슬래브 콘크리트 타설



· 거더간 철근 연결 → 콘크리트 채움 → 가로보 설치 → 슬래브 콘크리트 타설

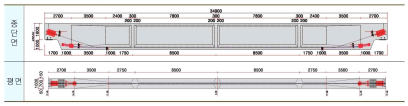
5. 추가 고정하중 및 활하중 재하



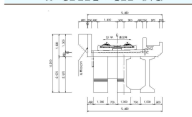
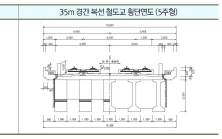
· 방호벽, 중분대 설치 및 교면 포장 → 차선 마킹 → 차량 통행

MPC거더 철도교 실물재하시험 (한국철도기술연구원, 2014. 9. 3)

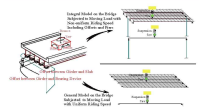
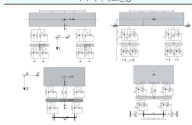
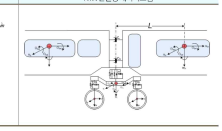
1. 실물 시험체 제원(L=35m, H=2.6m, fck=45MPa)



2. 철도교 단선, 복선 횡단면도

35m 경간 단선 철도교 횡단면도 (3주형)	35m 경간 복선 철도교 횡단면도 (5주형)
	

3. MPC거더 철도교 동적성능평가를 위한 동해석모델

교량의 수치모델	도상의 하중 분포효과를 고려한 모델링
	
4축 객차의 모델링	KTX 관절형 대차시스템
	

MPC철도교 실물 시험체 제작



1. 철근 조립



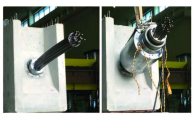
2. 정착장치 설치



3. 거푸집설치 및 콘크리트 타설1



4. 거푸집설치 및 콘크리트 타설2



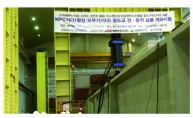
5. 강연선 긴장



6. 제작완료 전경



7. 동적성능시험



8. 정적성능시험

MPC거더 철도교 동적응답해석 결과

1. MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 25m)

항목	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	5.19	369.5	454.1	260.7	439.2	399.9
항목	철도설계기준(노반편) (2013)	최대 동적응답				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	16.67mm (270<V≤350) 17.86mm (200<V≤270) 20.83mm (V≤200)	7.1160	8.6290	2.5500	2.0290	2.6780
상판 연직가속도	자갈궤도 : 0.35g 콘크리트궤도 : 0.50g	0.6227*	0.8676*	0.0648	0.1230	0.1786
상판 연돌림	양선철도 : 1.5mm/3m 고속철도 : 1.2mm/3m	0.0619	0.0351	0.0634	0.0464	0.0380

2. MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 30m)

항목	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	4.19	282.1	366.5	210.4	354.5	322.8
항목	철도설계기준(노반편) (2013)	최대 동적응답				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	18.75mm (270<V≤350) 20.00mm (200<V≤270) 23.08mm (V≤200)	2.4740	7.2330	3.8990	2.3050	2.4080
상판 연직가속도	자갈궤도 : 0.35g 콘크리트궤도 : 0.50g	0.0895	0.4789	0.1023	0.0691	0.0800
상판 연돌림	양선철도 : 1.5mm/3m 고속철도 : 1.2mm/3m	0.0389	0.0320	0.0637	0.0441	0.0366

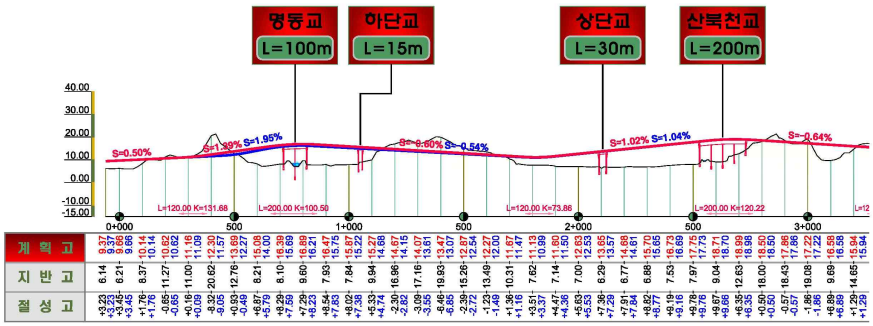
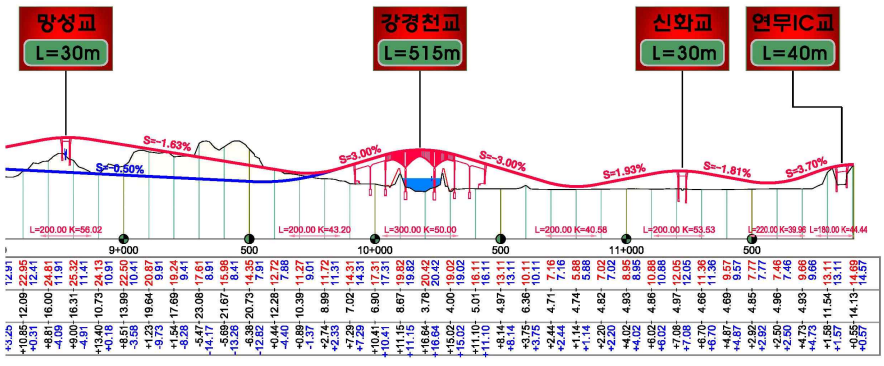
3. MPC거더 철도교량 동적성능 요약 (경간 35m)

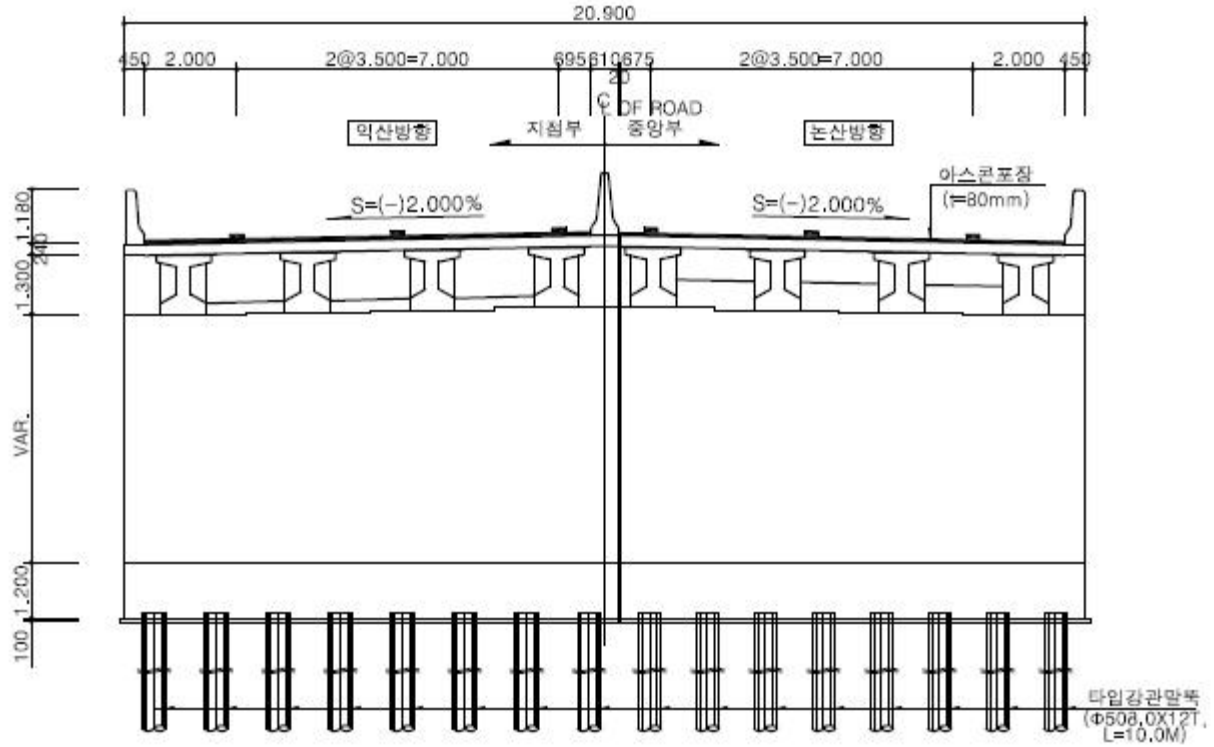
항목	첫 번째 휨 고유진동수 (Hz)	임계속도 (km/h)				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	3.81	256.3	333.0	191.2	322.1	293.3
항목	철도설계기준(노반편) (2013)	최대 동적응답				
		KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
연직처짐	20.00mm (270<V≤350) 21.88mm (200<V≤270) 23.33mm (V≤200)	6.3730	3.8110	4.1450	2.9710	2.9770
상판 연직가속도	자갈궤도 : 0.35g 콘크리트궤도 : 0.50g	0.2867	0.1556	0.0544	0.0607	0.0868
상판 연돌림	양선철도 : 1.5mm/3m 고속철도 : 1.2mm/3m	0.0282	0.0244	0.0458	0.0336	0.0254

※ KRL-2012 열차기준으로 모든 평가 기준을 만족하며 충분한 동적성능을 확보하고 있음을 확인
※ 25m, 30m 경우 KTX, HEMU-430X 주행 시 가속도 기준 초과에 대해 열차별 속도제한 등이 필요함
※ KTX 및 HEMU-430X의 단면은 별도임

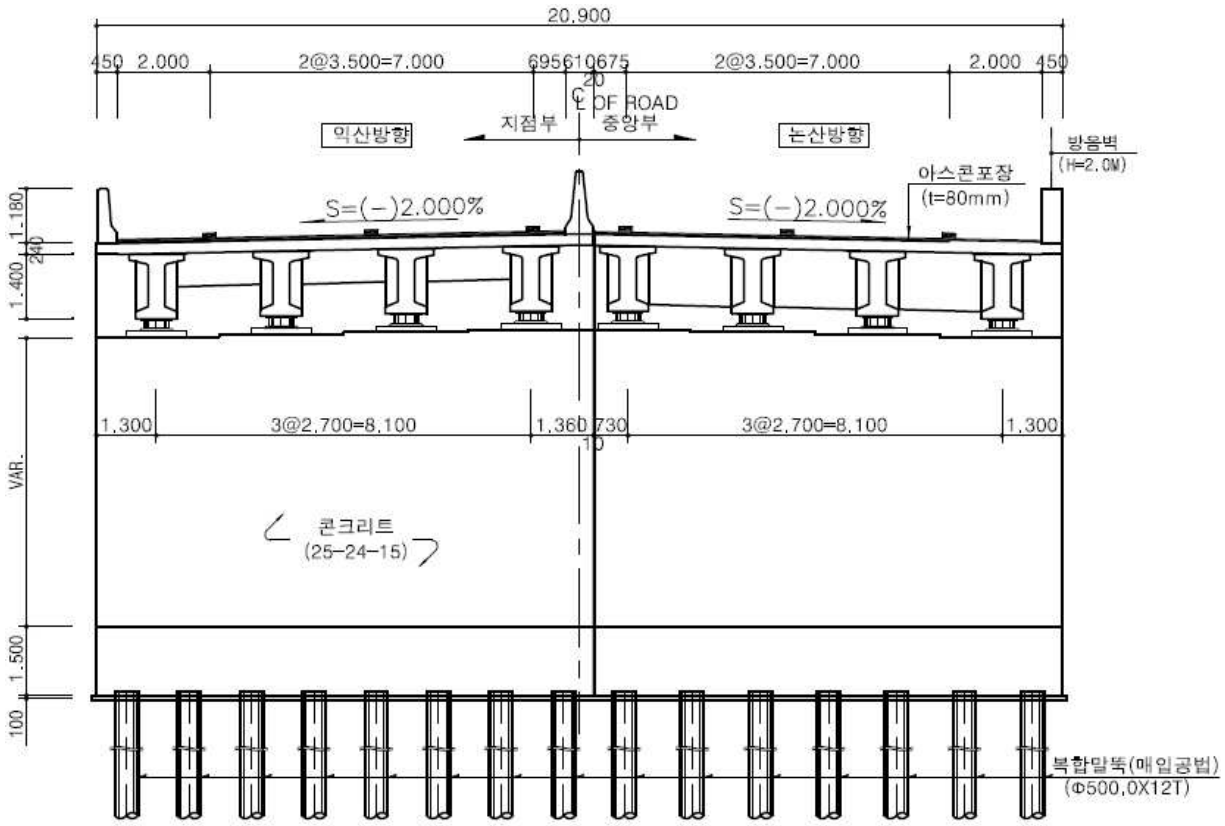
제3절 Test Bed 추진계획

- 모노텐던 PSC 거더의 test bed 현장시험을 위해 가능한 공사 프로젝트를 조사하였으며, 그 결과 익산일반산업단지 진입도로 개설공사 중 지간장이 30m인 상단교와 신화교 등이 적합한 프로젝트로 조사되었다.

사 업 명	익산일반산업단지 진입도로 개설공사 (교량 총 14개소)
발 주 처	익산시
시 공 사	대림산업
교량 개소 현황	
교량명 (총연장)	명동교 (100.0m) / 하단교 (15.0m) / 상단교 (30.0m) / 산북천교 -강교구간- / 삼담IC교 (45.0m) 어랑천교 (90.0m) / 상발교 (35.0m) / 야정교 (35.0m) / 동촌교 (45.0m) / 무형IC교 (45.0m) 망성교 (30.0m) / 강경천교 -강교구간- / 신화교 (30.0m) / 연무IC교 (40.0m) 하부 기시공 / 계획 추진 / 대상 제외
계획추진교량	상단교, 연장(L)=30.0m (종평면도 참조)
시공일정	2013년 8월 착공
종단면도	
계획추진교량	신화교, 연장(L)=30.0m (종평면도 참조)
시공일정	2014년 상반기 착공
종단면도	
계획추진조건	거더의 형고 변화로 계획고 수정이 불가피하여, 현재 하부시공이 완료된 교량은 제외한 상단교와 신화교를 현장시험시공 대상으로 계획 추진

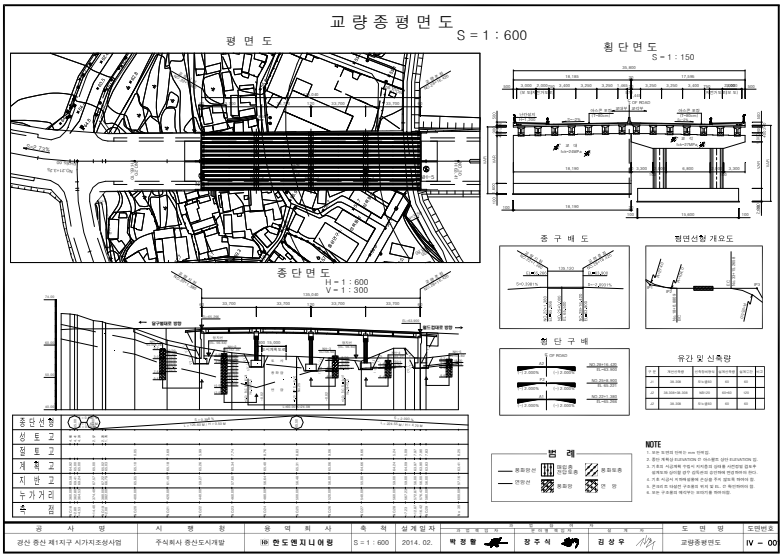


<그림 3.3.1 상단교 횡단면도>

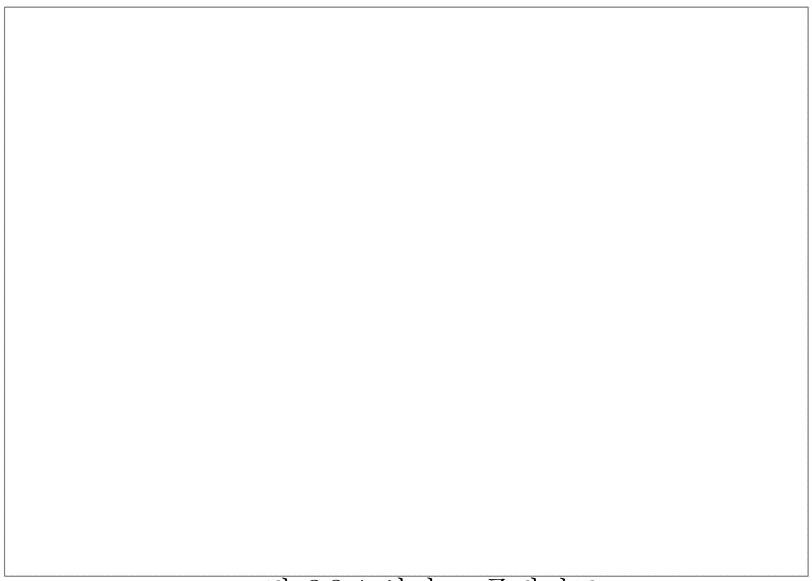


<그림 3.3.2 신화교 횡단면도>

순번	현장명	현장개요	시공사	적용기간	적용효과
1	중산교	MPC거더교 (L=4@33.7=135m, B=35.8m, 6차로)	포스코건설 (과제 참여기업)	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감
2	삼막교	MPC거더교 (L=205m중 30m, B=20.14m, 4차로)	대림산업	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감



<그림 3.3.3 중산교 종평면도>


<그림 3.3.4 삼막교 종평면도>

제4절 각 공법별 CO2 발생량

1. CO2 발생량 산정개요

- 국내 각 기관에서는 IPCC 가이드라인에서 제시하는 자료를 바탕으로 지식경제부와 에너지관리공단, 환경부 등에서는 에너지 부분의 국가 고유 배출계수를 개발하였다. 이와 같은 배출계수는 현재 국내에서 지식경제부, 환경부, 한국건설기술연구원 등의 기관에서 개발한 탄소배출계수가 온실가스 배출량 산정에 동일하게 적용하고 있다. 따라서 본 연구의 개발거더인 MPC거더와 비교공법의 주요 재료생산에 의한 이산화탄소 배출계수를 적용하여 CO2 발생량을 산정하였으며 결과는 다음과 같다.

2. 자재에 관한 국내 CO2 배출계수 및 발생량 산정

<표 3.4.1 자재에 관한 국내 배출계수>

명 칭	출 처	기능단위	배출계수(tCO2)
레미콘 25-240-15	지식경제부	m3	0.41
전기로_제강_철근	지식경제부	kg	0.00034
전기로_제강_봉강	지식경제부	kg	0.00074

<표 3.4.2 각 공법별 주요 자재집계표(원가계산서 참조)>

공 종	MPC거더	IPC거더	PSC e-BEAM
레미콘	27.222	29.018	32.724
철근	3.684	3.600	5.293
강연선	1.589	2.365	1.917

<표 3.4.3 각 공법별 CO2 발생량>

공 종	MPC거더	IPC거더	PSC e-BEAM
레미콘	11.161	11.897	13.416
철근	1.252	1.224	1.799
강연선	1.175	1.750	1.418
CO2 발생량 총계	13.588	14.871	16.633
절감량(%)		8.9% 절감	18.3%절감

3. 검토결과

- 여기서 산정한 CO2배출 산정방법은 산업연관분석법에 의해 배출계수를 이용한 산정방법이며 위 표 1.3과 같이 경쟁공법인 IPC거더를 기준으로 8.9%의 CO2발생 저감 효과가 있었으며, PSC e-BEAM의 경우는 18.3%의 높은 저감효과를 나타내고 있어 연구초기 CO2저감 목표치 10%를 평균적으로 상회하는 것으로 나타났다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 2160MPa 이상 모노텐던과 단일 정착시스템 개발 완료

- 2160MPa 이상 모노텐던용 단일 정착시스템 사양 개발
- 2160MPa 이상 모노텐던용 고정 정착시스템 사양 개발
- 모노텐던 및 단일 정착시스템의 제작성 및 구조성능평가

→ 개발된 사양에 대한 요소시험과 더불어 실규모 교량시험을 통해 구조성능을 검증함

2. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더 설계/시공기술 개발 완료

- 설계 및 시공기술 개발
  ·시공상세 개발: 정착부 및 강연선 배치 상세, 거푸집 상세
- 모노텐던과 단일 정착구 구조성능평가
- PSC거더 시공단계별 제작성 및 정/동적 성능평가

→ 실규모 교량에 대한 설계 및 제작/시공시험을 거쳐 설계/시공 프로세스를 구축함

3. 모노텐던과 단일 정착시스템 적용 PSC거더교 상용화기술개발 완료

- 설계 표준화(지간별 단면 표준화) 및 경제성 분석(설계/실행 공사비)
- 설계자동화 프로그램 개발
- 설계/시공/유지관리 가이드라인 개발
- 실규모 시제품 제작 현장재하시험
- 국토부 건설 신기술 인증 추진

→ 상용화를 위한 설계표준화 및 경제성 분석을 완료하였으며, 현장적용 및 신기술 인증을 추진중임

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

- PSC거더교에서 강연선에 의한 프리스트레싱은 구조물의 수명, 신뢰성 등에 가장 큰 영향을 미치며 설계된 것과 동일한 수준의 구조성능과 장기 내구성을 확보하기 위해서는 강연선에 균등한 장력이 되입되어야 하고 부분적으로라도 쉬스관 내에 그라우팅이 채워지지 않는 부분이 생기지 않도록 하여 부식에 대한 가능성을 제거해야한다.

- 모노텐던과 단일 정착시스템은 텐던을 일정 길이로 하여 공장에서 제작하여 현장에서는 거치 후 긴장만을 하기 때문에 강선에 균등인장력 도입이 가능하고 비부착식 강연선을 사용함으로써 유지관리에 용이하다.

- 사장교/현수교의 PWS(Parallel Wire Strand) 개념을 PSC거더에 도입하는 것으로 PSC거더의 품질을 사장교/현수교 수준으로 끌어올릴 수 있다.

- PSC거더교는 가장 저렴한 거더교량 형식이나 장경간화할 경우 형고가 높아져 콘크리트 치기 및 다짐 불량, 횡좌굴, 전도 등의 시공성 저하로 35m 이하 경간에 국한 적용된다.

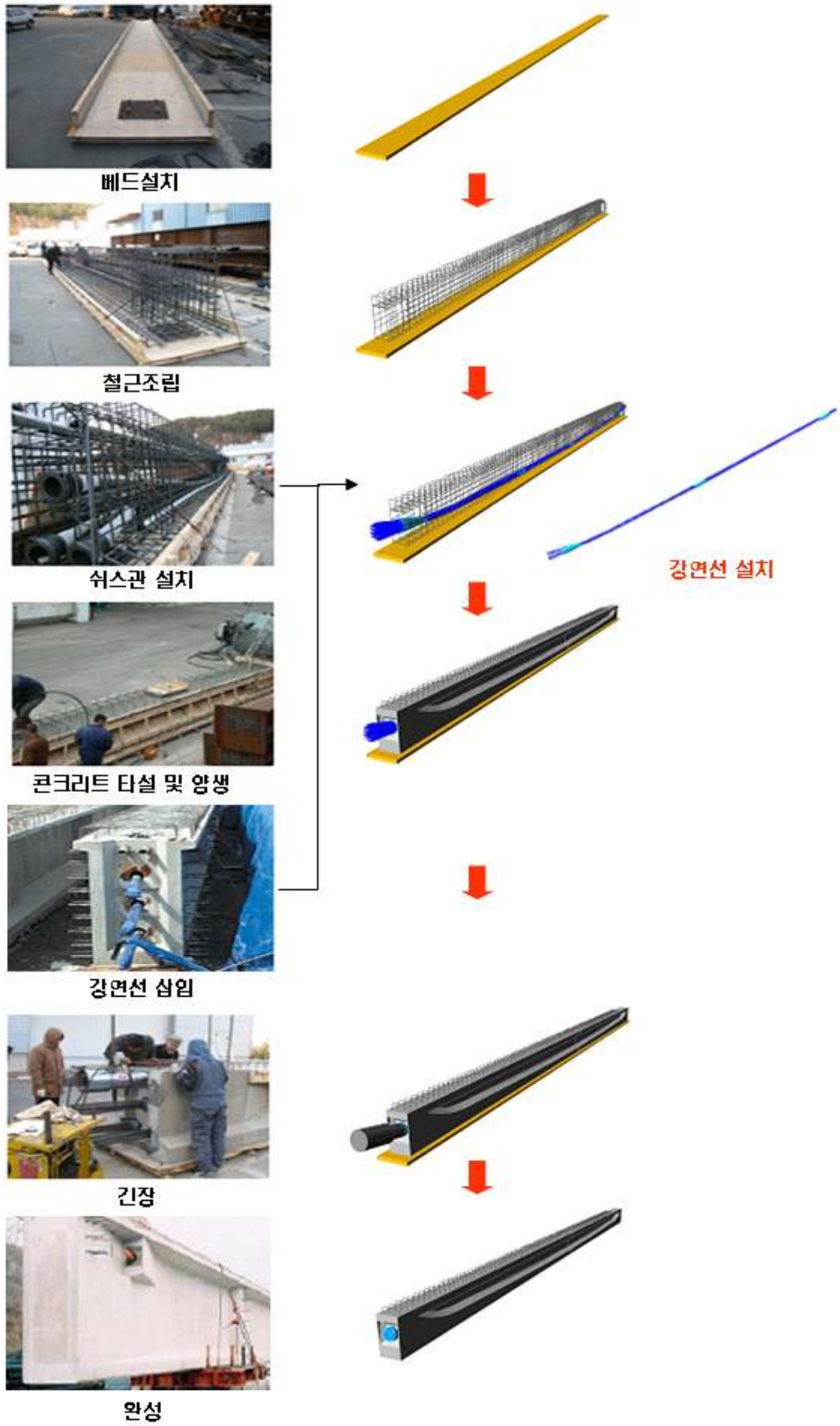
- PSC거더교의 저형고 및 장경간 구현을 위해 강재의 휨변형에 의해 콘크리트에 압축응력을 도입하는 강합성거더(Preflex) 및 거더 제작시 지상에서 1차긴장하고 바닥판 콘크리트 타설 후 2차 긴장하는 다단계 프리스트레싱 거더(IPC) 상용화 하였다.

- 단면합리화에 따라 형고는 저감되나 단면이 작아져 기존 강연선(1860MPa)으로 충분한 프리스트레스 도입이 어렵다.(단부 정착단면 부족 및 복부 강연선 배치 어려움)

- 강연선 재료의 고강도화로 2160MPa 및 2400MPa 고강도 강연선 KS기준 등재로 PSC거더 소요 강연선 개수 감소 가능하다.

- 고강도 비부착 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템 및 지간 중앙부 개방형 덕트 적용시 편심극대화로 인한 프리스트레스 도입 효율 증가로 20% 이상 형고 절감 가능하다.

- 단일 정착시스템 적용 비부착 강연선 사용시 쉬스관 설치, 강연선 삽입 및 그라우팅 공정 불필요로 공기단축 및 탄성수축손실 저감 가능하다.



<그림 4.2.1 기존 PSC거더와 모노텐던 단일정착 PSC거더(제안공법) 제작공정 비교>

제3절 연구개발 성과의 경제·산업적 효과분석

- 고강도 강연선과 친환경 콘크리트 등의 고성능 소재를 사용하는데 있어서 최적의 구조시스템을 개발함으로써 PSC거더 공사에서의 탄소배출을 10%이상 절감 가능하다.

- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 교량은 기존 PSC교량 대비 20%이상의 형고저감 및 정착구 개수 감소로 거더자중 절감, 재료비 및 하부공사비를 줄일 수 있으며 공정이 축소(강선삽입, 그라우팅 생략)되어 현장작업량이 크게 감소되므로 약 5% 공사비절감 효과를 얻을 수 있다.

- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템은 PSC거더교 뿐만 큰 힘의 프리스트레스를 도입하는 다양한 PSC구조물 형태에 활용도가 높다.

- 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC교량은 단순공정으로 저형고를 구현할 수 있기 때문에 접속도로의 선형계획에 유리하게 작용하며 기타 하부건축한계에 제약을 받는 현장에 효율적으로 사용가능하다.

- 핵심기술인 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착 PSC거더 교량은 구조적 성능뿐만 아니라 경관 및 쾌적성 등 다양한 요소를 고려하여 개발되어짿.

- 사회적 요구가 주변환경과 관련 여유와 관심이 고조되어 가는 추세에 따라 가장 기본적인 공공시설물이라 할 수 있는 교량에 대한 경관기능을 향상시키는 것은 시대의 보편적 요청이다.

- 경관적인 요소를 대폭 보강하여 최소형고 구현을 통해 주변의 자연환경 및 인공시설물 등과의 조화와 그 지역의 Landmark 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

- 주기적인 도장이 필요한 강교량과는 달리 유지관리가 용이하여 환경오염의 최소화라는 친환경적인 요소도 포함한다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

(1) 본 개발기술은 기존 PSC거더교량의 문제점을 해소할 수 있는 대안으로 공정이 단순할 뿐만 아니라 공사비 증가 없이 교량 형고를 20%이상 낮출 수 있다.

(2) 표준도와 자동화 구조계산 프로그램 등 표준설계 개념을 도입하여 연구결과를 일반기술자도 쉽게 활용할 수 있다.

(3) 연구개발 성과는 연구과제 3차년도 연구단계에서 참여기업인 혜동브릿지에 기술이전계약을 실시하였다.

(4) 연구개발성과는 제작사/설계사/시공사로 구성된 참여기업의 적극적인 공사반영으로 연구기간 내에 자연스럽게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

(5) 정기적인 기술 세미나, 언론매체를 이용한 연구결과 홍보, 연구 성과물 특히 각종 Guide류의 배포 등 각종 기술홍보 활동을 통해 연구 참여업체 이외의 관련업체와도 공유할 계획이다.

(6) 고강도 강연선과 모노텐던 및 단일정착시스템 기술은 차후 LNG 탱크나 원자력 격납구조물 등에 적용될 경우 큰 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 이를 위해서는 관련 연구개발과 더불어 제도개선 등의 과정이 요구된다.

참고문헌

(1) 도로교표준시방서, 사단법인 한국도로교통협회, 2005

(2) 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 사단법인 한국콘크리트학회, 2009

(3) Acceptance Standards for Post-Tensioning Systems, PTI, 1998

(4) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, AASHTO, 2007

(5) Guideline for European Technical Approval of Post-Tensioning Kits for Prestressing of Structures(ETAG 013), EOTA, 2002

(6) 정광량, 비부착 포스트텐션 바닥 시스템의 설계 및 시공에 관한 특성과 적용사례, 한국콘크리트학회지, 2003

(7) 김강수 외, 포스트텐션 부재에서 비부착긴장재의 응력 거동 예측 모델, 한국콘크리트학회 논문집, 2009

(8) 신재철 외, "BIM기반 신뢰성분석 및 수량산출서 자동화", 한국방재학회논문집 제12권 3호, ISSN 1738-2424, pp. 49-55, 2012

(9) 정국영 외, "BIM기반 고속도로 공사 물량산출 신뢰성 검토 및 활용", 한국BIM학회논문집 3권 3호, ISSN 2288-3053, pp. 9-18, 2013

(10) Jae-Choul Shin, Qu-Yong Lee, Jeong-Won Woo, Kyeong-Don Kang, Min-Jung Song(2013), "analysis of errors and reliability in earth-volume and structures quantity estimation with 3D-BIM compared with routine method-based 2D", ICCBEI 2013, Tokyo, pp. 461-468, 2013

(11) 국토해양부 "건축분야 BIM적용가이드", 2010.

(12) 조달청, “BIM 추진계획”, 2010

(13) BuildingMART협회, “User Conference 2009”, 2009

(14) 박환표 외, "건설정보 분류체계 활용도 측정을 통한 분류체계 활성화 방안", 한국건설관리학회논문집, 2004.

(15) 이재준 외, "BIM기반 견적자동화 체계구축을 위한 물량 데이터 유형 분석 체계 개발", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp. 297-300, 2008.

(16) Public Procurement Service, “BIM guideline for facilities project”, pp. 75, 2010.

(17) GSA, GSA BIM guide series 01, pp. 41, 2006.

(18) Senate Properties, BIM requirements 2007 Volume 6, Quality assurance and merging of models, pp. 28, 2007.

(19) NAEC(National Agency for Enterprise and Construction), CAD Manual 2008, pp. 142, 2008.

(20) NIST(National Institute of Standards and Technology), General Buildings Information Handover Guide, pp. 99, 2007.

(21) NIBS, National BIM Standards, pp. 183, 2007.

(22) MLTM (The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), BIM guides for architectural field, pp. 150, 2010.
(23) BuildingSMART web site, Summary of IFC Releases, 2008.
(24) National Institute of Building Sciences, National Building Information Modeling Standard, Version 1 Part 1 Overview, Principles and Methodologies, NIBS Facilities Information Council, 2008.
(25) Korea Standard of Drawing Information in Construction, 2007.
(26) Brucker, B. et al., Building Information Modeling - A Roadmap for Implementation to Support MILCON Transformation and Civil Works Projects Within the U.S. Army Corps of Engineers, US Army corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, ERDC TR-06-10, 2006.
(27) Fallon, K. and Palmer, M., General Buildings Information Handover Guide Principles, Methodology and Case Studies, National Institute of Standards and Technology, Dept. of Commerce, NISTIR 7417, 2007.
(28) General Services Adminstration Web Site, 3D-4D Building Information Modeling, 2008.
(29) Jacobsen, K. et al., 3D Working Method 2006, 3D CAD Manual 2006, Layer and Object Structures 2006, 3D Project Agreement 2006, National Agency for Enterprise and Construction, 2008.
(30) Kiviniemi, A. et al., BIM Requirements 2007, 2007.
(31) Liebich, T. and Hoffeller, T., User Handbook Data Exchange BIM/IFC, buildingSMART Germany Speaking, 2006.
(32) Liebich, T. (2008). "Streamlining Public Building Projects Using Building Information Modeling." presented at buildingSMART Forum 2008.

[부 록 : 실적목록]

I. 기술실시계약

순번	실시기술명	실시기업	계약체결일	기징수금액 (징수일)	징수예정금액
1	모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더	혜동브릿지 (주)	'14.05.30.	37,956,800원 VAT별도 ('14.06.17.)	37,956,800원 VAT별도 (고정기술료)

II. 현장적용

순번	현장명	현장개요	시공사	적용기간	적용효과
1	중산교	MPC거더교 (L=4@33.7=135m, B=35.8m, 6차로)	포스코건설 (과제 참여기업)	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감
2	삼막교	MPC거더교 (L=205m중 30m, B=20.14m, 4차로)	대림산업	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감

III. 공인인증 : 한국철도기술연구원 실물 시험 성능검증 보고서

IV. 시제품 제작 실적

순번	시제품명	주요 기능	용도
1	모노텐던 정착장치 적용 15m 시험체	▪ 비부착텐던과 거더의 피로안전성 평가 (5~50톤) ▪ 정하중시험(1만회,50회,130만회,200만회) ▪ 제작과정상의 거더 제작성 평가	▪ 모노텐던 시험체의 동적,정적 성능평가
2	MPC거더 철도교 실물 35m 시험체	▪ 정적파괴시험에 의한 성능평가와 동적성능 분석 ▪ 지속적, 반복적 고속중량 열차하중에 대한 검토 ▪ 진동특성 및 처짐과 가속도등의 동적응답 검토	▪ MPC거더 철도교 시험체의 동적,정적 성능평가

V. 지적재산권 실적

순번	특허명	출원번호 (등록번호)	출원일 (등록일)
1	프리스트레스트 거더	10-2011-0136733 (1013286990000)	2011.12.16 (2013.11.06)
2	노출 긴장재를 포함하는 프리스트레스 콘크리트 구조체 및 이를 이용한 긴장력 측정방법	10-2012-0044446 (1013850830000)	2012.04.27 (2014.04.08)
3	전도방지용 교량거더	10-2013-0004018 (1013251540000)	2013.01.14 (2013.10.29.)
4	프리스트레스트 거더	10-2013-0038133	2013.04.08
5	프리스트레스트 거더	10-2013-0038134	2013.04.08
6	하이브리드 텐던 구조를 갖는 콘크리트 구조체 및 이의 제작 방법	10-2013-0039999	2013.4.11

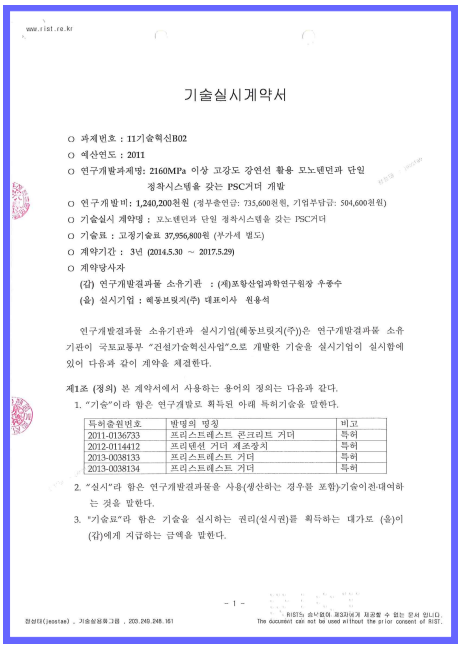
순번	소프트웨어명	등록번호	등록일
1	모노텐던 피에쓰씨 빔 구조계산	제C-2014-013211호	2014-06-09

VI. 논문실적

순번	학술발표명	논문명	게재일
1	한국콘크리트학회 2013년도 봄 학술대회	2160MPa 고강도 강연선 적용 모노텐던 PSC거더 개발	2013.05
2	ICCBEI2013 Conference on Civil and Building Engineering Informatics	Analysis of Error and Reliability in Earth-Volume and Structures Quantity Estimation With 3D-BIM Compared with Routine Method-Based 2D	2013.11

첨부1 기술실시계약 체결

순번	실시기술명	실시기업	계약체결일	기징수금액 (징수일)	징수예정금액
1	모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더	혜동브릿지(주)	'14.05.30.	37,956,800원 VAT별도 ('14.06.17.)	37,956,800원 VAT별도 (고정기술료)



www.rist.re.kr

기술실시계약서

○ 과제번호 : 11기술혁신B02
○ 예산연도 : 2011
○ 연구개발과제명: 2160MPa 이상 고강도 강연선 활용 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더 개발
○ 연구개발비: 1,240,200천원 (정부출연금: 735,600천원, 기업부담금: 504,600천원)
○ 기술실시 계약명 : 모노텐던과 단일 정착시스템을 갖는 PSC거더
○ 기술료 : 고정기술료 37,956,800원 (부가세 별도)
○ 계약기간 : 3년 (2014.5.30 ~ 2017.5.29)
○ 계약당사자
(갑) 연구개발결과물 소유기관 : (재)포항산업과학연구원장 우종수
(을) 실시기업 : 혜동브릿지(주) 대표이사 원용석

연구개발결과물 소유기관과 실시기업(혜동브릿지(주))은 연구개발결과물 소유기관이 국토교통부 "건설기술혁신사업"으로 개발한 기술을 실시기업이 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

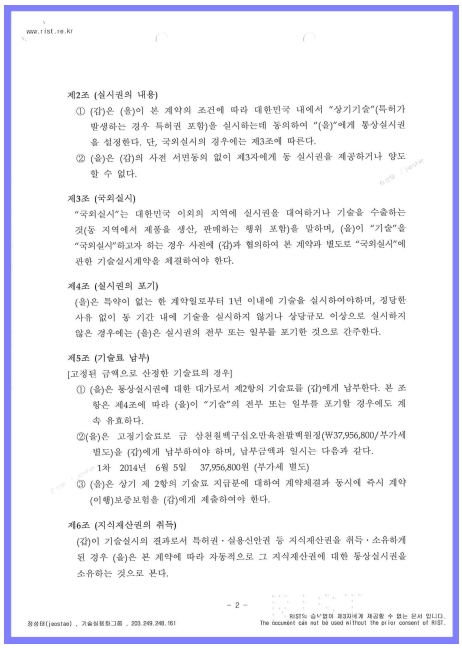
제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. "기술"이라 함은 연구개발로 획득된 아래 특허기술을 말한다.

특허출원번호	발명의 명칭	비고
2011-0136733	프리스트레스트 콘크리트 거더	특허
2012-0114412	프리텐션 거더 제조장치	특허
2013-0038133	프리스트레스트 거더	특허
2013-0038134	프리스트레스트 거더	특허

2. "실시"라 함은 연구개발결과물을 사용(생산하는 경우를 포함)기술이전·대여하는 것을 말한다.
3. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 (을)이 (갑)에게 지급하는 금액을 말한다.

- 1 -

정성태(jeostae) , 기술실용화그룹 , 203.249.248.161
RIST의 승낙없이 제3자에게 제공할 수 없는 문서 입니다.
The document can not be used without the prior consent of RIST.



www.rist.re.kr

제2조 (실시권의 내용)
① (갑)은 (을)이 본 계약의 조건에 따라 대한민국 내에서 "상기기술"(특허가 발생하는 경우 특허권 포함)을 실시하는데 동의하여 "(을)"에게 통상실시권을 설정한다. 단, 국외실시의 경우에는 제3조에 따른다.
② (을)은 (갑)의 사전 서면동의 없이 제3자에게 동 실시권을 제공하거나 양도할 수 없다.

제3조 (국외실시)
"국외실시"는 대한민국 이외의 지역에 실시권을 대여하거나 기술을 수출하는 것(동 지역에서 제품을 생산, 판매하는 행위 포함)을 말하며, (을)이 "기술"을 "국외실시"하고자 하는 경우 사전에 (갑)과 협의하여 본 계약과 별도로 "국외실시"에 관한 기술실시계약을 체결하여야 한다.

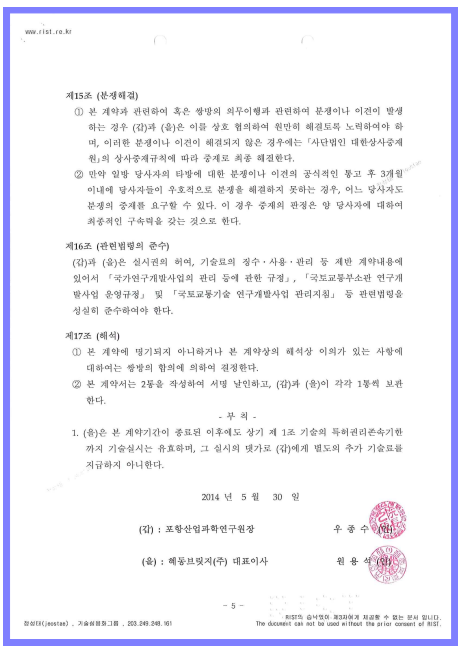
제4조 (실시권의 포기)
(을)은 특약이 없는 한 계약일로부터 1년 이내에 기술을 실시하여야하며, 정당한 사유 없이 동 기간 내에 기술을 실시하지 않거나 상당규모 이상으로 실시하지 않은 경우에는 (을)은 실시권의 전부 또는 일부를 포기한 것으로 간주한다.

제5조 (기술료 납부)
[고정된 금액으로 산정한 기술료의 경우]
① (을)은 통상실시권에 대한 대가로서 제2항의 기술료를 (갑)에게 납부한다. 본 조항은 제4조에 따라 (을)이 "기술"의 전부 또는 일부를 포기할 경우에도 계속 유효하다.
②(을)은 고정기술료로 금 삼천칠백구십오만육천팔백원정(W37,956,800/부가세 별도)을 (갑)에게 납부하여야 하며, 납부금액과 일시는 다음과 같다.
1차 2014년 6월 5일 37,956,800원 (부가세 별도)
③ (을)은 상기 제 2항의 기술료 지급분에 대하여 계약체결과 동시에 즉시 계약이행보증보험을 (갑)에게 제출하여야 한다.

제6조 (지식재산권의 취득)
(갑)이 기술실시의 결과로서 특허권·실용신안권 등 지식재산권을 취득·소유하게 된 경우 (을)은 본 계약에 따라 자동적으로 그 지식재산권에 대한 통상실시권을 소유하는 것으로 본다.

- 2 -

정성태(jeostae) , 기술실용화그룹 , 203.249.248.161
RIST의 승낙없이 제3자에게 제공할 수 없는 문서 입니다.
The document can not be used without the prior consent of RIST.



www.rist.re.kr

제15조 (분쟁해결)
① 본 계약과 관련하여 혹은 쌍방의 의무이행과 관련하여 분쟁이나 이견이 발생하는 경우 (갑)과 (을)은 이를 상호 협의하여 원만히 해결토록 노력하여야 하며, 이러한 분쟁이나 이견이 해결되지 않은 경우에는 「사단법인 대한상사중재원」의 상사중재규칙에 따라 중재로 최종 해결한다.
② 만약 일방 당사자의 타방에 대한 분쟁이나 이견의 공식적인 통고 후 3개월 이내에 당사자들이 우호적으로 분쟁을 해결하지 못하는 경우, 어느 당사자도 분쟁의 중재를 요구할 수 있다. 이 경우 중재의 판정은 양 당사자에 대하여 최종적인 구속력을 갖는 것으로 한다.

제16조 (관련법령의 준수)
(갑)과 (을)은 실시권의 허여, 기술료의 징수·사용·관리 등 제반 계약내용에 있어서 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」, 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 및 「국토교통기술 연구개발사업 관리지침」 등 관련법령을 성실히 준수하여야 한다.

제17조 (해석)
① 본 계약에 명기되지 아니하거나 본 계약상의 해석상 이의가 있는 사항에 대하여는 쌍방의 합의에 의하여 결정한다.
② 본 계약서는 2통을 작성하여 서명 날인하고, (갑)과 (을)이 각각 1통씩 보관한다.

- 부 칙 -

1. (을)은 본 계약기간이 종료된 이후에도 상기 제 1조 기술의 특허권리존속기한까지 기술실시는 유효하며, 그 실시의 댓가로 (갑)에게 별도의 추가 기술료를 지급하지 아니한다.

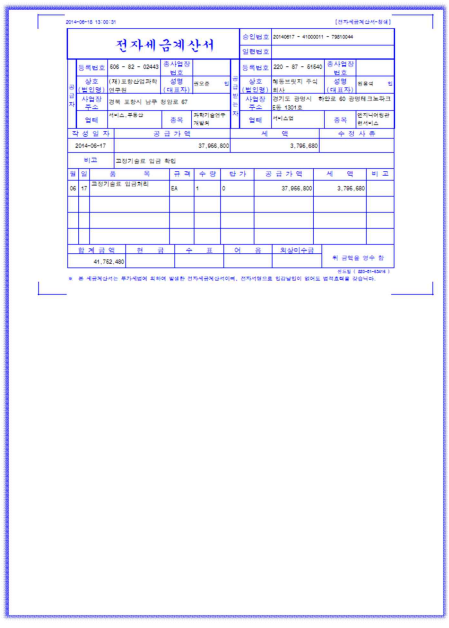
2014 년 5 월 30 일

(갑) : 포항산업과학연구원장 우 종 수 (인)

(을) : 혜동브릿지(주) 대표이사 원 용 석 (인)

- 5 -

정성태(jeostae) , 기술실용화그룹 , 203.249.248.161
RIST의 승낙없이 제3자에게 제공할 수 없는 문서 입니다.
The document can not be used without the prior consent of RIST.



전자세금계산서

승인번호	20140617 - 41000011 - 79810044				
일련번호					
공급자	등록번호	606 - 82 - 02443	종사업장 번호		
	상호 (법인명)	(재)포항산업과학연구원	성명 (대표자)	우종수	인
	사업장 주소	경북 포항시 남구 청암로 87			
	업태	서비스, 용역업	종목	과학기술연구개발회	
공급받는자	등록번호	220 - 87 - 61640	종사업장 번호		
	상호 (법인명)	혜동브릿지 주식회사	성명 (대표자)	원용석	인
	사업장 주소	경기도 광명시 하안로 60 광명하이크하이츠 1301호			
	업태	서비스업	종목	전기시공업 컨설팅 서비스	

작성일자	공급가액	세액	수정사유
2014-06-17	37,956,800	3,796,680	

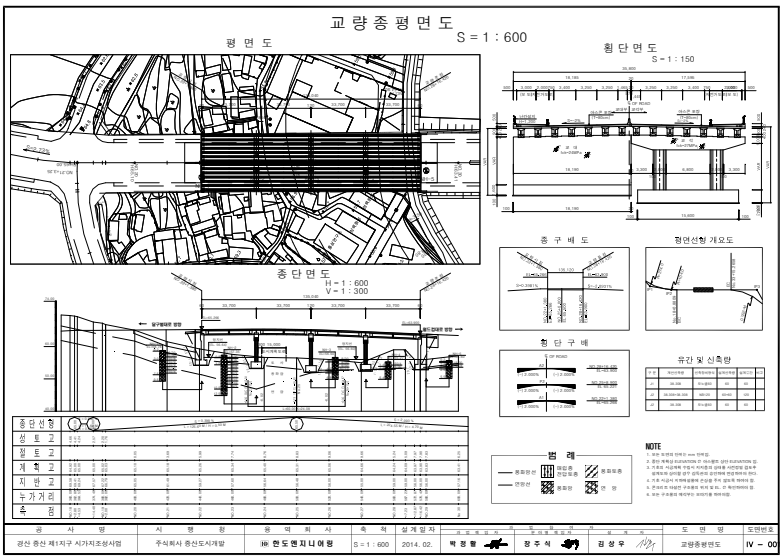
비고
고정기술료 입금확인

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
06	17	고정기술료 입금처리		EA	1	37,956,800	3,796,680	

합계금액	현금	수표	어음	외상미수금	이 금액을 영수 함
41,752,480					

첨부2 현장적용 실적

순번	현장명	현장개요	시공사	적용기간	적용효과
1	중산교	MPC거더교 (L=4@33.7=135m, B=35.8m, 6차로)	포스코건설 (과제 참여기업)	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감
2	삼막교	MPC거더교 (L=205m중 30m, B=20.14m, 4차로)	대림산업	'15년내 시행	기존 공법 대비 약 5% 공사비 절감



<중산교 종평면도>

<삼막교 종평면도>

첨부3 | **공인인증 실적**

□ 한국철도기술연구원 실물 시험 성능검증



첨부4 시제품 제작 실적

순번	시제품명	관련 사진	주요 기능	용도
1	모노텐던 정착장치 적용 시험체		▪ 비부착텐던과 거더의 피로안전성 평가 ▪ 하중범위 5~50톤 ▪ 정하중시험(1만회,50회,130만회, 200만회) ▪ 제작과정상의 거더 제작성 평가	▪ 모노텐던 시험체의 동적,정적 성능평가
2	MPC거더 철도교 실물 시험체		▪ 정적파괴시험에 의한 성능평가와 동적성능 분석 ▪ 철도교로의 적용성 검토 ▪ 지속적, 반복적 고속중량 열차하중에 대한 검토 ▪ 진동특성 및 처짐과 가속도등의 동적응답 검토 ▪ 해석을 통한 운행한계기준 확보에 대한 검토	▪ MPC거더 철도교 시험체의 동적,정적 성능평가

첨부5 지식재산권 실적

□ 특허출원 및 등록

순번	특허명	출원번호 (등록번호)	출원일 (등록일)
1	프리스트레스트 거더	10-2011-0136733 (1013286990000)	2011.12.16 (2013.11.06)
2	노출 긴장재를 포함하는 프리스트레스 콘크리트 구조체 및 이를 이용한 긴장력 측정방법	10-2012-0044446 (1013850830000)	2012.04.27 (2014.04.08)
3	전도방지용 교량거더	10-2013-0004018 (1013251540000)	2013.01.14 (2013.10.29.)
4	프리스트레스트 거더	10-2013-0038133	2013.04.08
5	프리스트레스트 거더	10-2013-0038134	2013.04.08
6	하이브리드 텐던 구조를 갖는 콘크리트 구조체 및 이의 제작 방법	10-2013-0039999	2013.4.11

□ 소프트웨어(S/W) 등록

순번	소프트웨어명	등록번호	등록일
1	모노텐던 피에쓰씨 빔 구조계산	제C-2014-013211호	2014-06-09

첨부6 논문 실적

□ 학술회의 발표

순번	학술지명	논문명	게재일	비고
1	한국콘크리트학회 2013년도 봄 학술대회	2160MPa 고강도 강연선 적용 모노텐던 PSC거더 개발	2013.05	
2	ICCBEI2013 Conference on Civil and Building Engineering Informatics	Analysis of Error and Reliability in Earth-Volume and Structures Quantity Estimation With 3D-BIM Compared with Routine Method-Based 2D	2013.11	

주 의 사 항

주 의

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

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ **문의처 : 한국건설교통기술평가원** TEL 031)389-6455
(주)포스코 TEL 032)200-2457