

매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술개발

2011.10.25.

주관연구기관 / (재)포항산업과학연구원
공동연구기관 / (주)동일기술공사

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 “매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발”과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 10. 25

주관연구기관명 : (재)포항산업과학연구원

주관연구책임자 : 이 필 구

연구원 : 김 진 국

공동연구기관명 : (주)동일기술공사

공동연구책임자 : 안 승 주

보고서 요약서

과제고유번호	09기술혁신E04	해 당 단 계 연구 기 간	2009.10.26~ 2011.10.25	단 계 구 분	2/2
연구 사업 명	중 사 업 명	건설기술혁신사업			
	세부사업명	건설기술혁신사업			
연구 과제 명	대 과 제 명				
	세부과제명	매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발			
연구 책임 자	이 필 구	해당단계 참 여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 9 명 외부 : - 명	해당단계 연구 비	정부:240,000천원 기업:195,000천원 계 :435,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 18 명 내부 : 18명 외부 : - 명	총연구비	정부:350,000천원 기업:355,000천원 계 :705,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(재)포항산업과학연구원 강구조연구소 토목연구본부		참여기업명	(주)동일기술공사, 길교이앤씨, 삼우공간건축사사무소	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	295
1. 연구개요					
지역간 단절 및 녹지공간 손상을 해소하기 위해 공사비 증가 없이 상부계획고 (토피고+거더형고)를 30% 이상 절감할 수 있는 30m 이상의 장경간 매립형 프리플렉스 합성라멘 복개 생태교량 구조물 제품화					
2. 연구목표					
○ 매립형 장경간 강합성라멘 생태교량 구조물 제품화					
○ 매립형 장경간 강합성라멘 최적구조개발					
☞ 지간: 30m이상, 상부계획고: 6.0→4.0m					
○ 매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공기술개발					
☞ 공기절감: 30일→7일, 바닥판 콘크리트 타설 생략					
○ 매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물 상용화(☞ 공사비 증가 없음)					
3. 주요연구내용					
(1) 강합성거더 최적단면 및 제작방법 개발					
○ 강합성거더 프리스트레스 도입방안 도출					
○ 거더 상연 보강 방안 도출					
○ 단면 최적화 변수연구					
(2) 현장적용 가능 구조계산서 및 설계도면 개발					
(3) 고강도 강재(HSB800) 적용성 평가					
(4) 유한요소해석을 통한 구조안정성 평가					

- 프리플렉션시 좌굴안정성 평가
- 하부케이싱 콘크리트 프리스트레스 횡분배 평가
- (5) 강합성거더 제작성 평가
- (6) 강합성거더 극한 내하력 평가
- (7) 강합성거더 부식방지 방안 개발
- (8) 강합성 거더간 연결상세 개발
 - 연결판 구조사양개발
 - 거더 연결부 방수처리방안 개발
- (9) 강합성거더 지점부 연결상세 개발
 - 강거더와 기초벽체 강결상세 개발
 - 철근배근 및 콘크리트 합성방안 개발
- (10) 강합성라멘 실구조물 제작/시공성 평가
- (11) 강합성라멘 실구조물 극한 내하력 평가
 - 강합성거더 하중분배 평가
 - 강합성라멘 실구조물 탄성 및 파괴거동 평가
 - 설계/해석/실거동 비교 분석
- (12) 강합성거더 연결부 방수성능 평가
- (13) 설계지침서(안) 개발
- (14) 시공지침서(안) 개발
 - 강합성거더 제작공정
 - 거더간 연결 및 방수처리 방안
 - 기초벽체 연결을 통한 라멘구조화
 - 성토 및 녹화 시공방안
- (15) 유지관리지침서(안) 개발

4. 기대효과

- (1) 강합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물로 장경간(왕복10차로 횡단)이 가능하여 도로 중심부에 구조물이 없어 신속한 일괄시공 및 시공시 교통정체 등의 민원해소에 유리
- (2) 매립형 구조로 최소의 형고 구현 및 불필요한 공간을 갖는 아치형 구조물을 최적화시킨 지중라멘 구조 형성으로 개착 면적을 축소할 수 있어 복개구조물의 시공시 공기단축을 통해 비용 절감의 효과를 기대할 수 있음
- (3) 공사기간을 50% 이상 축소하며, 규격화된 제품으로 검증된 부재를 사용할 수 있어, 해외의 동아시아나 개발도상국 현장에 바로 적용하여 기술력수출에 기여
- (4) 장경간화된 복개라멘구조로 대도시심의 경우 도로위에 대규모의 사회기반시설(공원, 유원지 등)을 만들어 도시민의 편익 제공 및 이로 인한 새로운 부가가치 창출(새로운 기반시설로 인한 일자리창출 및 도시생활영역확대)

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	합성라멘, 생태교량, 복개터널, 프리플렉스, 합성구조물
	영 어	Composite rahmen, Eco bridge, Cut and cover tunnel, Preflex, Composite structure

요 약 문

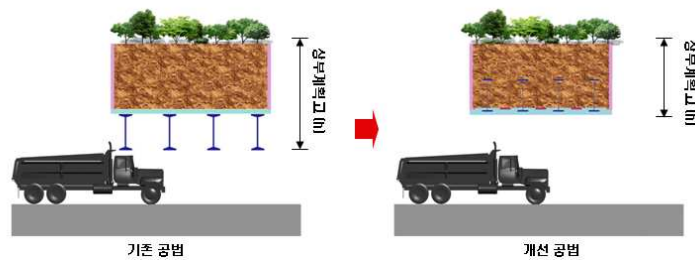
I. 제 목

매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발

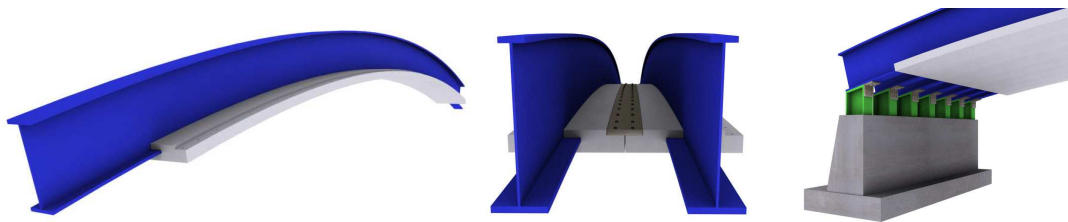
II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 필요성

도로 및 철도 등 기반시설의 확충에 따른 지역간 단절 및 녹지공간 손상을 해소하기 위해 공사비 증가 없이 상부계획고(토피고+거더 형고)를 30% 이상 절감할 수 있는 30m 이상 장경간 합성라멘 복개 생태교량구조를 사업화하는 기술혁신사업

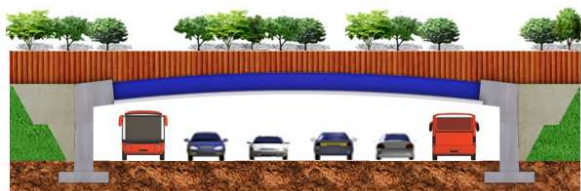


(a) 공법 비교



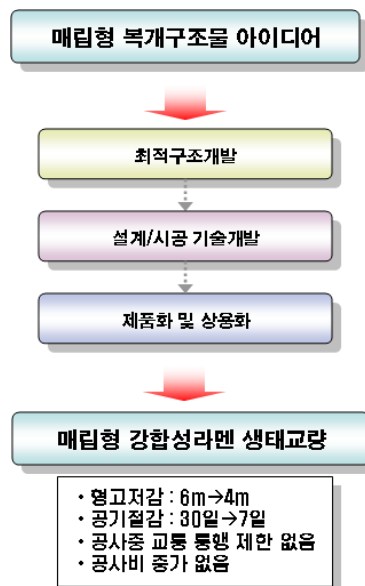
(b) 프리플렉스 거더

(c) 거더-교대 연결상세



(c) 장경간 합성라멘 생태교량 개요도
<장경간 합성라멘 복개 생태교량구조>

과제명	핵심기술명	기술 범위	정량적 정의
매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발	매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발기술	강합성 라멘구조로 장경간 매립 토사하중을 저항할 수 있는 거더 최적단면 및 제작방법을 개발하고 거더 연결판 상세를 개발하는 기술	○장경간 매립형 복개구조물용 강합성거더 형식 개발 : 30~40m ○형고 저감(상부계획고) : 6.0 → 4.0m
	매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공기술	교통흐름을 방해하지 않고 공기를 최소화하도록 강합성거더 가설/지점부 연결/거더 연결판 조립/방수/성토 등의 일련의 시공법을 개발하는 기술	○공기절감 : 30일→7일 ○바닥판 콘크리트 타설 생략
	매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물 상용화기술	매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물의 지간에 따라 형고 및 측벽의 재원을 표준화하고 경제성 분석을 통해 제품화 및 상용화하는 기술	○장경간화 : 25 → 40m ○공사비 증가 없음



2. 연구개발 목표

가. 최종 목표

목표구분	최 종 목 표	최 종 성 과 목 표
기술개발	매립형 장경간 강합성라멘 생태교량 구조물 제품화	○ 매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발
		○ 매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공기술 개발
		○ 매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물 상용화 기술 개발
기업지원	개발기술 전파 및 공유활동 수행	○ 기술상담, 교육 및 정보제공 10회 이상
		○ 기술지도 5회 이상
		○ 개발기술의 기술이전 1건 이상 및 보급활동

나. 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발	■ 매립형 강합성라 멘 최적구조시스 템 개발	■ 강합성거더 최적단면 및 제작방법 개발 - 강합성거더 프리스트레스 도입방안 도출 - 거더 상연 보강 방안 도출 - 단면 최적화 변수연구 ■ 현장적용 가능 구조계산서 및 설계도면 개발
	■ 최 적 구 조 시 스 템 의 성능평가	■ 고강도 강재(HSB600/HSB800) 적용성 평가 ■ 유한요소해석을 통한 구조안정성 평가 - 프리플렉션시 좌굴안정성 평가 - 하부케이싱 콘크리트 프리스트레스 회분배 평가 ■ 강합성거더 제작성 평가 ■ 강합성거더 극한 내하력 평가
	■ 매립형 강합성라 멘 상세 개발	■ 강합성거더 부식방지 방안 개발 ■ 강합성 거더간 연결상세 개발 - 연결판 구조사양개발 - 거더 연결부 방수처리방안 개발

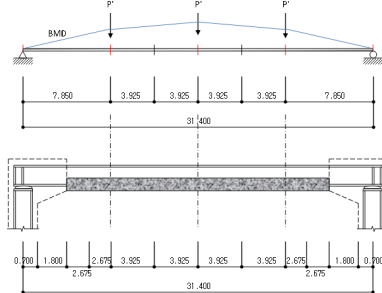
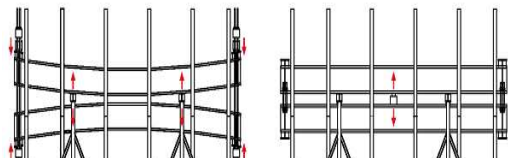
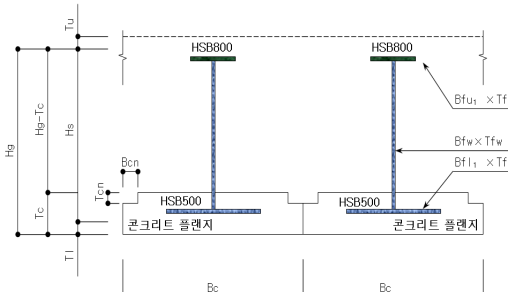
		■ 강합성거더 지점부 연결상세 개발 - 강거더와 기초벽체 강결상세 개발 - 철근배근 및 콘크리트 합성방안 개발v
2차년도 매립형 장경간 강합성라멘 상용화 기술개발	■ 매립형 강합성라멘 실구조물 구조 성능 평가	■ 강합성라멘 실구조물 제작/시공성 평가 - 시공단계별 강거더와 콘크리트 케이싱부의 응력변화 평가 - 강거더, 케이싱 콘크리트의 응력손실 평가 - 좌굴안정성 확보를 위한 보강재 및 제작대 설계 ■ 강합성라멘교량 배수 및 식생검토 - 식생 구조물의 설계사례조사 및 설계기준 조사 - 시제품 배수, 식생 모니터링 ■ 강합성라멘 실구조물 극한 내하력 평가 - 내하력 평가 중 변형률 강거더, 콘크리트 케이싱의 변형률 계측 및 하중분배 평가 - 강합성라멘 교량의 비선형 구조해석 - 강합성라멘 실구조물 극한 내하력 평가시험 - 강합성 라멘교량의 시공단계별 구조해석 및 설계/해석/실거동 비교 분석 ■ 강합성거더 연결부 방수성능 평가
	■ 매립형 강합성라멘 교량 설계 및 시공 지침(안) 개발	■ 설계지침서(안) 개발 ■ 시공지침서(안) 개발 - 강합성거더 제작공정 - 거더간 연결 및 방수처리 방안 - 기초벽체 연결을 통한 라멘구조화 - 성토 및 녹화 시공방안 - 매립형 강합성라멘교량 배수 및 식생 방안 ■ 유지관리지침서(안) 개발 및 LCC평가 ■ 기초를 고려한 강합성라멘교량의 경제성 비교분석 및 타당성 분석

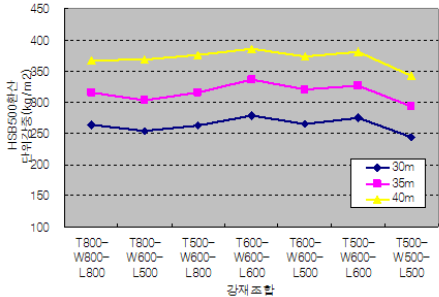
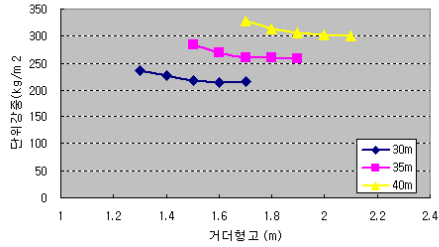
Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

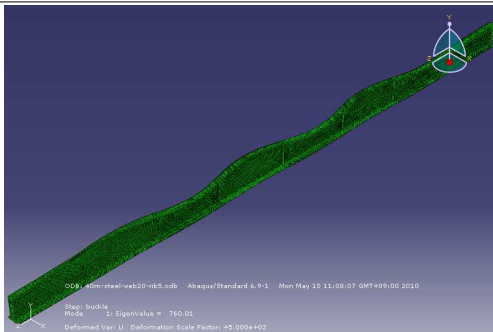
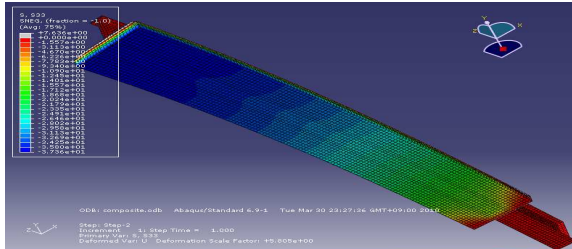
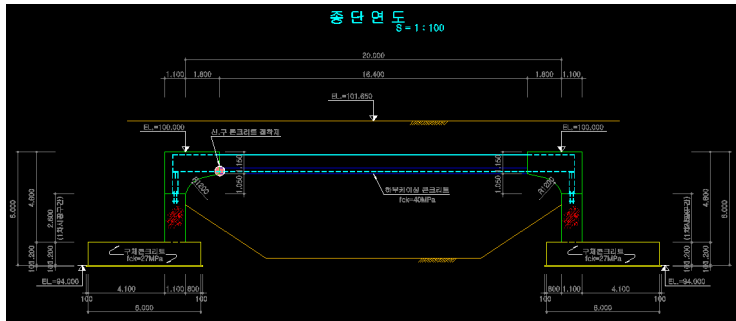
주요연구내용	연구범위	세부항목
■ 강합성거더 최적단면 및 제작방법 개발	모델정립	○강합성거더 프리스트레스 도입방안 도출 - 5점 프리플렉션/분할 릴리즈 방안 - 고강도 강연선 긴장 방안 ○거더 상연 보강 방안 도출 - Cover Plate 부착 방안 - 상부플랜지 T형강재 보강 방안 ○단면 최적화 변수연구 - 강거더 및 하부케이싱 콘크리트 제원 변수 연구 - 지간별 최적단면 도출
■ 현장적용 가능 구조 계산서 및 설계도면 개발		○매립형 강합성 라멘교량 구조계산서 작성 - 지간 30, 35, 40m ○매립형 강합성 라멘교량 일반도 작성 - 강합성거더 일반도, 라멘교량 일반도
■ 고강도 강재 (HSB800) 적용성 평가		○HSB800/HSB500 하이브리드 강재조합 검토
■ 유한요소해석을 통한 구조안정성 평가		○프리플렉션시 좌굴안정성 평가 - 지간별 최적단면별 횡좌굴 검토 ○하부케이싱 콘크리트 프리스트레스 횡분배 평가 - 콘크리트부 전단지연 영향 평가
■ 강합성거더 제작성 평가	시작품 제작	○20m 강합성거더 시험체 1EA 제작 ○하부케이싱 콘크리트 합성 작업성 평가 - 거푸집 설치 및 상면 마감/매립형 너트 설치
■ 강합성거더 극한 내 하력 평가		○3점 휨재하시험 : 정적거동 평가

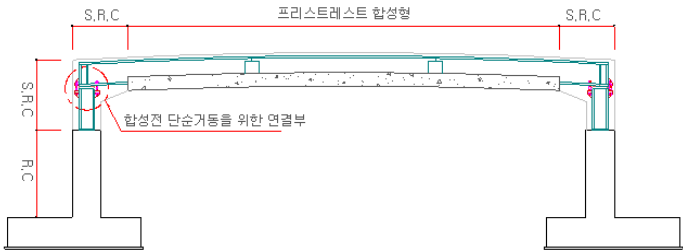
■ 강합성거더 부식방지 방안 개발	상세도출	○용융아연도금 방안 검토 ○용사코팅/방청처리 방안 검토
■ 강합성 거더간 연결 상세 개발		○연결판 구조사양개발 - 강판 볼트이음 사양 개발 - 횡방향 강봉이음 사양 개발 ○거더 연결부 방수처리방안 개발
■ 강합성거더 지점부 연결상세 개발		○강거더와 기초벽체 강결상세 개발 - 지점부 단순지지 후 강결 상세 도출 ○철근배근 및 콘크리트 합성방안 개발 - 철근상세 및 거푸집 설치 방안 도출
■ 설계 및 제작/시공지침(안) 개발	제반 지침 개발	○매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 설계/제작지침 개발
■ 유지관리지침(안) 개발		○매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 유지관리지침 개발
■ 강합성 라멘 실구조물 극한 내하력 평가	시스템 성능검증	○15m 2거더 교량의 제작 및 극한하중시험 및 FEM 비선형 구조해석을 통한 성능검증 ○고성능강(HSB800) 적용 효율성 검증
■ 강합성 거더 연결부 방수성능 평가		○15m 2거더 교량의 방수성능 평가 및 방수방근시스템 제안 ○테스트베드 성능평가
■ 합성 라멘교량 배수 및 식생 검토		○기존 규정 검토 및 테스트베드 현장을 통한 성능평가 모니터링
■ 매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 시공단계 고려 장기거동성능 평가		○장경간(35m) 매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 크리프, 건조수축을 고려한 시공단계별 해석
■ 매립형 프리플렉스 거더 교량의 테스트베드 현장적용	상용화 기술개발	○제천 솔밭공원 보도육교 현장적용 중 (‘11.11 준공예정)
■ 기초를 고려한 강합성 라멘교량의 경제성 비교분석 및 타당성 분석		○공인기관을 통한 경제성 비교분석 -지간장 40m, 교폭 10m -40m 장경간과 20m 2경간교량 비교

IV. 연구개발 결과

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	○강합성거더 프리스트레스 도입방안 도출	- 4점, 5점 프리플렉션 방안 검토 : 4점 프리플렉션 1/4~3/4 지점 사이의 단면성능이 동일 : 5점 프리플렉션은 등분포 하중에 의한 모멘트 분포와 유사한 분포로 단면성능 확보 가능  <5점 프리플렉션> - 프리플렉션 시 보강방안 도출 : 1/4, 3/4 지점 2개의 유압잭을 설치하여 1차 프리플렉션 수행 : 1차 프리플렉션 하중의 안정화 후 중앙부에 유압잭을 설치하여 2차 프리플렉션 하중을 순차적으로 도입함으로써 안정적인 프리플렉션 단계 도출  <순차적 5점 프리플렉션>
	○거더 상연 보강 방안 도출	- 거더의 매립형 구조 구현을 위해 상부플랜지 폭원을 400~500mm로 결정 -> 상부플랜지에 HSB800을 적용하여 단면구성 가능  <매립형 프리플렉스 거더단면>
	○단면 최적화 변수 연구	- 매립형 프리플렉스 거더의 배치 간격을 고려하여 하부케이싱 콘크리트 폭(2.0m) 결정

		- 강도조합에 따른 강중검토 결과 상부플랜지를 HSB800, 복부를 HSB600, 하부플랜지를 HSB500으로 할 경우가 가장 효율적인 단면구성 가능 - 30m, 35m, 40m 교량의 최적형고는 1.5m, 1.7m, 1.9m임 강재조합에 따른 단위강중 (HSB500 기준으로 환산)  <강재조합에 따른 거더 단위강중> 형고에 따른 강중변화 (HSB800-600-500 하이브리드)  <형고 변화에 따른 거더 단위강중>
	○유한요소해석	- 시간별 최적단면별 횡좌굴 검토 (a) 30m 프리플렉션하중: 984.6kN : 4m 간격으로 복부 횡지지 : 복부두께 18mm -> 좌굴강도 1533.5kN 확보가능 (b) 35m 프리플렉션하중: 1192.2kN : 4m 간격으로 복부 횡지지 : 1/4, 2/5 지점 사각형 수직리브 설치 : 복부두께 18mm -> 좌굴강도 1853.7kN 확보가능 (c) 40m 프리플렉션하중: 1414.0kN : 5m 간격으로 복부 2곳 횡지지 : 5m 간격으로 사각형 수직리브 설치 : 복부두께 20mm -> 좌굴강도 2394.2kN 확보가능

		 <40m 거더 좌굴해석결과> - 강거더 하부플랜지의 폭이 800mm인 경우 2m 하부케이싱 콘크리트의 폭에 대해서도 원활한 응력분배 가능
		 <하부케이싱 콘크리트 하면 응력분포>
○강합성거더 제작성 평가	- 20m 강합성거더 시험체 제작결과 기존 프리플렉스 거더의 제작장비를 거의 대부분 활용할 수 있음. 다만, 폭 2m 하부케이싱 콘크리트에 대응하여 가력지그의 폭 2.5m 이상 확보 필요  <20m 강합성거더 시험체 제작> - 하부케이싱 콘크리트와 강거더의 완전 부착을 위해 전단연결재와 전단연결용 철근배근 설치 필요	
○강합성거더 극한내하력 평가	- 20m 강합성거더 시험체 설계  <20m 강합성거더 시험체 일반도> <td></td>	

		- 4점 휨재하시험 
	○강합성거더 횡방향 연결상세 개발	- 하부케이싱 콘크리트 간에 기계적 이음 연결판을 구성하고 케이싱 콘크리트가 맞닿는 면은 에폭시 부착을 통해 거더 사이의 틈을 제거하는 방법 결정 - 거더 연결판 테두리 방수코팅을 통한 누수제어 가능  <강합성 거더 횡방향 연결상세>
	○라멘구조 지점부 연결상세 개발	- 강합성거더의 자중은 강합성거더가 지지하고 토파하중 및 활하중은 라멘구조가 지지하도록 시공단계 구성 -> 거더를 벽체위에 단순거치 후 강봉 또는 볼트 연결 -> 현치부 철근배근 및 콘크리트 타설을 통해 거더와 벽체의 합성 구현  <라멘구조 지점부 연결상세>

○부식방지 방안 도출

- 재료적 차원의 방식과 도장방법을 병행한 부식방지안 도출
- (a) 흠속에서의 100년 수명 부식두께 2~3mm 추가 확보
- (b) 몰탈 뿔어붙이기, 중방식 도장 및 세라믹계 도장을 통한 추가적인 내식성능 확보 가능
- (c) 내후성강을 사용할 수 있으나 강재 표면이 젖어 있는 시간이 연중 60%이하, 상대습도 80% 초과일수가 연중 220일 이하 규정 만족여부에 대한 추가검토 필요



일반강(SM490B)

내후성강(SMA490BW)

<일반강과 내후성강 비교>

- 매립형 강합성 라멘교량 구조계산서 작성

● 하 중 별 응력 집계

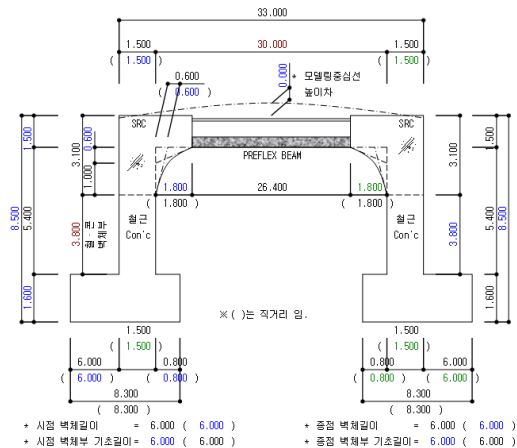
LOAD CASE	Steel		Casing Concrete		Rebar
	fsu	fsl	fcu	fcsl	
① 프리플렉션	-287.81	264.05	0.00	0.00	0.00
② 윌리스	268.13	-102.56	-2.47	-18.13	0.00
③ P.F.BEAM 자중	-67.95	25.99	0.63	4.59	0.00
④ 초기 크리프	0.38	-7.15	-0.30	1.29	0.00
⑤ 초기 건조수축	0.05	-0.93	0.08	0.05	0.00
⑥ 합성 전 자중	-72.98	27.35	0.64	5.05	0.00
⑦ 합성 후 자중	-70.48	26.41	0.62	4.87	0.00
⑦ 합성 후 자중 (RE)	-74.89	61.16	-	-	63.47
⑧ 최종 크리프	1.05	-17.48	-0.31	2.70	0.00
⑨ 최종 건조수축	1.49	-23.32	1.77	1.41	0.00
⑩ 비고정 하중 (+)	-16.72	6.27	0.15	1.16	0.00
⑩ 비고정 하중 (RE)	-17.77	14.51	-	-	15.06
⑩ 비고정 하중 (-)	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

<하중단계별 응력집계>

○구조계산서 및 설계도면 개발

- 매립형 강합성 라멘교량 일반도 작성

2.1 표준 종단면도 (3KE = 90°)



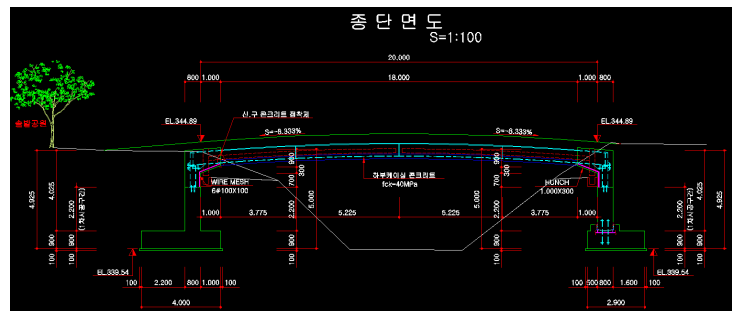
<강합성 라멘교량 일반도>

	○설계 및 제작/시공 지침(안) 및 유지관리지침 개발	-매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 설계/제작지침 및 유지관리지침 개발
2차년도	○강합성 라멘 실구조물 극한 내하력 평가	-15m 2거더 교량의 제작 및 극한하중시험 및 FEM 비선형 구조해석을 통한 성능검증 -고성능강(HSB800) 적용 효율성 검증

	○강합성 거더 연결부 방수성능 평가	-15m 2거더 교량의 방수성능 평가 및 방수방근시스템 제안 -테스트베드 성능평가
	○합성 라멘교량 배수 및 식생 검토	-기존 규정 검토 및 테스트베드 현장을 통한 성능평가 모니터링
○매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 시공단계 고려 장기거동성능 평가		-장경간(35m) 매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 크리프, 건조수축을 고려한 시공단계별 해석

○매립형 프리플렉스
거더 교량의 테스
트베드 현장적용

-제천 솔밭공원 보도육교 현장적용 중
(‘11.11 준공예정)



○기초를 고려한 강
합성 라멘교량의
경제성 비교분석
및 타당성 분석

-공인기관을 통한 경제성 비교분석
-지간장 40m, 교폭 10m
-40m 장경간과 20m 2경간교량 비교

공법명 : 매립형 프리플렉스 합성라멘 경제성 분석

(단위 : 원)

명칭	규격	단위	재료비	노무비	경비	합계
◎ 길교 합성형라멘 (L=40.0m, B=10.0m)		식	540,602,313	450,546,054	48,750,217	1,039,898,584
◎ S&C (L=40.0m, B=10.0m)		식	500,064,244	475,198,567	48,763,827	1,024,026,638
◎ 매립형 단경간 (L=40.0m, B=10.0m)		식	317,180,871	382,678,132	90,846,624	790,705,627
◎ 매립형 연속경간 (L=20.0m, B=10.0m)		식	313,082,178	406,209,624	90,768,708	810,060,510

주) 1. 부가가치세 별도 금액임
2. 공사내역집계표 참조.

V. 연구개발결과의 활용 계획

- 도심지 고속도로 설치로 인한 좌우 단절구간(경인고속도로, 경부고속도로 축)의 연결과 상부생태 공원화에 적용시 별도의 부지나 보상비용 없이 도시미관 개선 및 시민들의 삶의 질 향상 가능
- 이러한 친환경적인 복개라멘의 확대로 강원 산지의 경우 장마나 태풍에 의한 도로 유실 및 파괴방지를 방지하기 위해 본 공법을 적용하여 초기 공사비의 경우는 증가할 수 있지만, 매년 일어나는 재해를 막는 차원에서 장기적으로는 효율적이기 때문에 산지부분의 도로에 적용 가능
- 신도시 및 뉴타운등의 계획도시 건설시 장대폭원 및 장경간 복개구조물로 지역간 녹지축의 연결 및 생활권의 연속성 부여, 아울러 수변접근로 확보 (한강 접근로 : 강변북로 뚝개화 등)
- 기존의 지하터널보다도 구조적으로 안전하고 더 큰 공간을 제공하기 때문에 지하 대피용과 같은 안전시설에도 적용가능
- 현장 제작으로 주형거치 후 거더간 및 지점부를 연결 시공함으로써 동바리가 필요 없으며 시공이 간단하고 공기단축이 가능하고 통행량이 많은 고속도로 및 철도횡단 구조물에 매우 효과적임
- 본 기술을 활용하여 지하도로 구간의 도로에서 대형 주거지나 상업지구 (백화점 등 대규모시설)에 바로 연결 할 수 있는 매개체 역할가능

SUMMARY

Building roads and bridges sometimes causes interruption between ecological systems. In order to avoid the problem, many overfilled bridges are built in countryside and even in urban area. Superstructure of bridge normally consisted of girders and deck supports the overfilled soil. That is, total height of 30m long bridge system may reach 5m because of higher than 2m of overfilled soil over the bridge deck, and consequently spoiling the street view. The objective of this study is to develop the hybrid girder for overfilled rahmen bridge with extra low overfill height and evaluate the performance of the hybrid girder. The hybrid girder with different strength of steel in flanges and web has a wide concrete flange in the lower part which is connected to the concrete flange of an adjacent girder to carry soil over concrete flanges. This girder enables the total height of the bridge system shorter by eliminating the bridge deck.

This project has two terms.

In the first term of them, geometric nonlinear analysis was conducted to evaluate stability of the girder during fabrication and static test was followed to verify the performance of the composite girder.

In the second term of them, the design and fabrication methods were established and its performance was verified through experiments of 2-girder bridge with 15m span length.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
1.1 Summary of the Subject	1
1.2 Importance of the Subject	3
1. Technical	3
2. Economical & Industrial	9
3. Social & Cultural	10
 Chapter 2 Status	 11
1.1 Domestic Trends	11
1. Status & Prospect	11
2. Main Companies	12
3. Experts/companies	12
1.2 Foreign Trends	13
 Chapter 3 Substances & Results	 15
1.1 Objects	15
1. Final Objects	15
2. Character of Final Objects.....	16
3. Objects in Current Term.....	16
1.2 Substances & Results.....	18
1. Optimum Structural System	18
2. Estimation for Optimum Structural System	26
3. Details for Composite Rahmen Structure	34
4. Design Guide for Composite Rahmen Structure	39
5. Corrosive Provision Method for Composite Rahmen Structure	51
6. Performance Evaluation of Full Scale Composite Rahmen Structure	97
7. Deveolpment of Design/Fabrication/Construction/Maintenance Guide	128

Chapter 4 Degree of the Attainment&Contribution	130
1.1 Achieved Goals	130
1.2 Effects	131
1. Direct Effects	131
2. Ripple Effects	132
 Chapter 5 Plan to use results	 133
1.1 Application Plan	133
1. Plan to use results	133
2. Application Plan in Company	134
3. Effects to Other Industry	135
4. Relation with the Government Policy	135
 Chapter 6 Acquired Foreign Informations	 136
 Chapter 7 References	 137

목 차

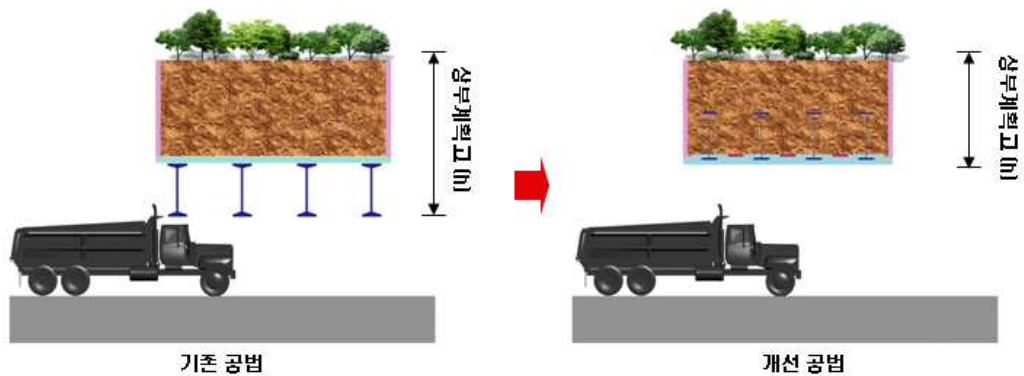
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구개발 개요	1
제 2 절 연구개발의 중요성	3
1. 기술적 측면	3
2. 경제·산업적 측면	9
3. 사회·문화적 측면	10
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	11
제 1 절 국내 기술 및 산업 동향	11
1. 국내 시장 현황 및 예측	11
2. 국내 주요 관련업체	12
3. 국내전문가 및 연구기관 현황	12
제 2 절 국외 기술 및 산업 동향	13
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	15
제 1 절 연구개발 목표	15
1. 최종목표	15
2. 최종목표의 성격	16
3. 당해연도 목표	16
제 2 절 연구수행 내용 및 성과	18
1. 매립형 강합성라멘 최적구조시스템 개발	18
2. 최적 구조시스템의 성능평가	26
3. 매립형 강합성라멘 상세 개발	34
4. 매립형 강합성라멘 설계도서 개발	39
5. 매립형 강합성라멘 부식방지방안 개발	51
6. 매립형 강합성라멘 실구조물 구조성능 평가	97
7. 매립형 강합성라멘 교량 설계 및 시공 지침(안) 개발	128

제 4 장	연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	130
제 1 절	연구목표의 달성도	130
제 2 절	연구성과 및 관련분야 파급효과	131
1. 직접적 연구성과		131
2. 파급 효과		132
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	133
제 1 절	활용방안	133
1. 연구성과의 활용방안		133
2. 연구결과의 기업 활용방안		134
3. 타 산업에 미치는 효과		135
4. 정부 정책과의 연계 방안		135
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	136
제 7 장	참고문헌	137
부 록		140
1. 설계제작 및 시공지침		141
2. 유지관리지침		178
3. 공인기관 경제성 분석결과		180

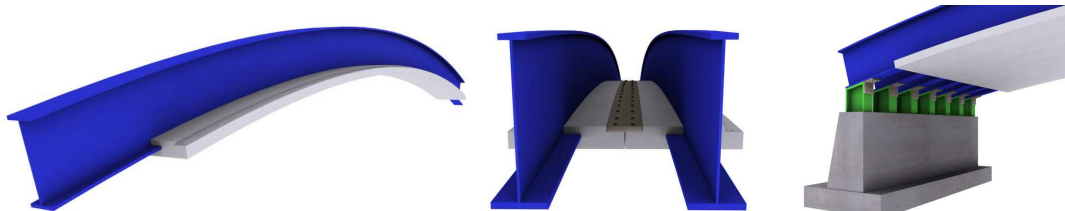
제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발 개요

도로 및 철도 등 기반시설의 확충에 따른 지역간 단절 및 녹지공간 손상을 해소하기 위해 공사비 증가 없이 상부계획고(토피고+거더 형고)를 30% 이상 절감할 수 있는 30m 이상 장경간 합성라멘 복개 생태교량구조를 사업화하는 기술혁신사업

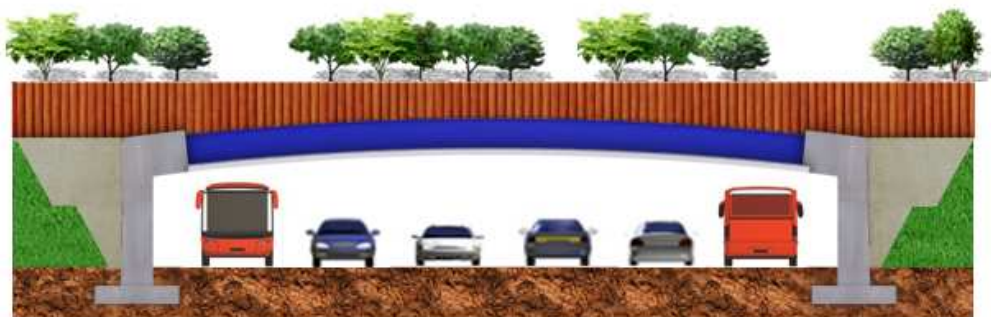


(a) 공법 비교



(b) 프리플렉스 거더

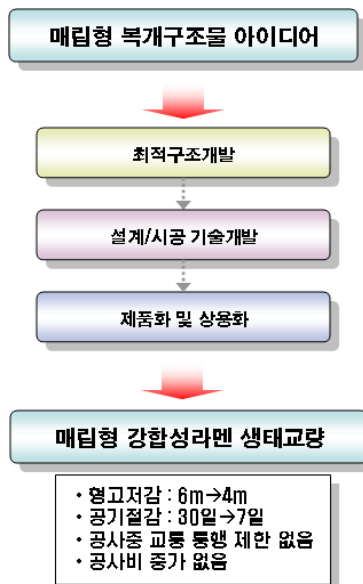
(c) 거더-교대 연결상세



(c) 장경간 합성라멘 생태교량 개요도

<장경간 합성라멘 복개 생태교량구조>

과제명	핵심기술명	기술 범위	정량적 정의
매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발	매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발기술	강합성 라멘구조로 장경간 매립 토사하중을 저항할 수 있는 거더 최적단면 및 제작방법을 개발하고 거더 연결판 상세를 개발하는 기술	○장경간 매립형 복개 구조물용 강합성거더 형식 개발 : 30~40m ○형고 저감(상부계획고) : 6.0 → 4.0m
	매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공 기술	교통흐름을 방해하지 않고 공기를 최소화하도록 강합성거더 가설/지점부 연결/거더 연결판 조립/방수/성토 등의 일련의 시공법을 개발하는 기술	○공기절감 : 30일→7일 ○바닥판 콘크리트 타설 생략
	매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물 상용화기술	매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물의 지간에 따라 형고 및 측벽의 재원을 표준화하고 경제성 분석을 통해 제품화 및 상용화하는 기술	○장경간화 : 25 → 40m ○공사비 증가 없음



제 2 절 연구개발의 중요성

1. 기술적 측면

- 도로 및 철도 등 기반시설의 확충에 따라 지역간 단절 및 녹지공간 손상 증대
- 기반시설 본연의 기능을 유지하면서 환경을 복원하는데 기여할 수 있는 새로운 개념의 공간창출의 필요성 증대
- 최근 국내에서는 지방도로, 철도, 고속철도 건설을 중심으로 절토사면 구간에 대해 환경친화적인 복개구조물 시공요구 급증
- 서울시에서도 도심지에 공원이 조성되는 이른바 도심 녹화 사업이 시행
- 도심 녹화사업은 기존 도로의 통행을 방해하지 않고, 도로 위를 녹화시키는 복개구조물을 이용한 녹화 계획이 상당 부분 차지



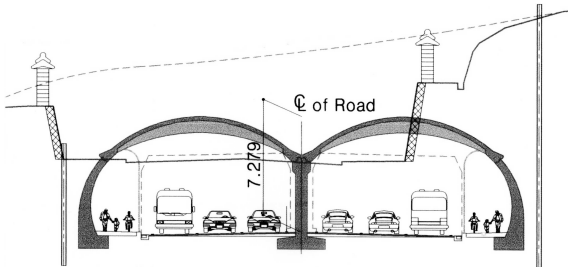
그림 2. 서울시 2020년 도시기본계획 - 공원녹지축 구상

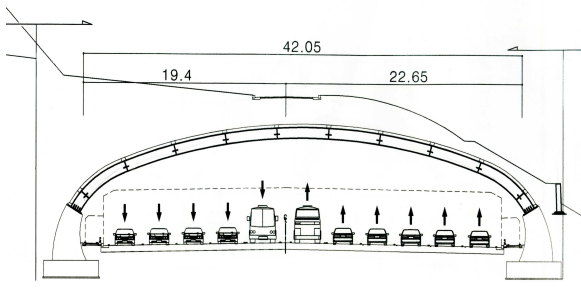
- 경부 고속철도의 경우 1/3이상이 터널구조물이며, 이 중 20% 정도가 터널 입출구부, 계곡 및 저 토피부, 연약 지반 통과부, 마을 인접부 등을 중심으로 환경, 교통, 안전등의 측면에서 유리한 복개형 터널구조물로 건설(시공

길이 1.8km 장대 복개 구조물 등장)

- 근래에는 파형강판을 이용한 아치구조, 프리캐스트 박스구조, 콘크리트 박스구조(현장타설식), 프리캐스트 아치구조, 콘크리트 아치구조(현장타설식) 등 다양한 공법이 적용

파형강판 아치 구조	프리캐스트 박스 구조
	
■시공성 기초부 현장타설로 Precast Arch와 Precast Box에 비해 공기지연 강판연결부 및 기초접합부등의 방수처리 유의 복토시 편측토압에 의한 상부 Arch 부재 변형 방지를 위한 세심한 주의필요 ■구조적 안정성 편측 상부구조 조립시 편심하중을 받는 중간 벽체의 안정에 유의 2-Arch 상면 굴곡부 배수처리 불량시 누수에 의한 구조물 내구성 저하 우려 ■경관성 Arch 형태로 운전자에게 개방감 부여 Box 형태에 비해 높은 단면으로 복토계획 불리	■시공성 부재간의 절점부 방수처리 유의 대형부재의 크레인 가설로 파형강판에 비해 시공성 불량 현장타설 및 양생공정이 없어 공기가 빠름 ■구조적 안정성 조립부재간의 연결부가 강결이 아닌 힌지 연결로 단계별 시공시 벽체부재의 전도에 유의 편측상부 구조 거치시 편심하중을 받는 벽체의 안정 및 단순보 형태로 거치된 상부구조의 낙하에 유의 ■경관성 Box 형태로 Arch에 비해 낮은 높이 형성 가능 운전자에게는 Arch에 비해 상대적 중압감 유발

콘크리트 박스 구조	프리캐스트 아치 구조
	
■ 시공성 기초부의 분할 단면위치에서 기계적 철근 이음 필요(커플러) 상부슬래브 타설시 하부 교통처리 위한 강재 동바리 필요로 시공성 불량 구조물 현장타설로 공기지연 ■ 구조적 안정성 전부재 강결구조로 완성시 및 단계별 시공시 구조적 안정성 우수 ■ 경관성 Box 형태로 Arch에 비해 낮은 높이 형성 가능 운전자에게는 Arch에 비해 상대적 중압감 유발 Arch 형태에 비해 상부 복토계획 양호	■ 시공성 단계별 시공에 따른 가시설 필요 Precast 조립부재로 현장타설 공정 불필요 대형부재의 크레인 가설로 과형강판에 비해 시공성 불량 ■ 구조적 안정성 편측상부 구조 거치시 벽체와 중량이 무거운 상부구조의 힌지연결로 상부 아치부재의 고정 및 편심하중을 받는 중간벽체의 안정에 유의 2-Arch 상면 굴곡부 배수처리 불량 시 누수에 의한 구조물 내구성 저하 우려 ■ 경관성 Arch 형태로 운전자에게 개방감 부여 Box 형태에 비해 높은 단면으로 복토계획 불리

프리캐스트 강합성 아치구조	합성형 라멘구조
	
■ 시공성 - 강재 및 프리캐스트 부재의 조립 시공으로 공기단축 - 중간 기둥이 있는 이동식 동바리를 사용하여 교통소통 원활 - 현장 제작장 불필요 ■ 구조적 안정성 - 아치부재로 상재하중에 대하여 효율적인 단면구조 - 아치구조로 폭원증가시 라이즈의 영향으로 성토계획고 증가되며, 터널내 강재 노출에 따른 유지관리 필요 ■ 경관성 - 1 Arch 대단면으로 개방감 부여 - 1 Arch 대칭구조로 조형성이 좋음	■ 시공성 - 바닥판 현장 타설로 공기지연 - 평측 우각부 및 중앙 기둥 시공시 4차로 (편측 각 1차로, 중앙 2차로) 이상 교통통제가 필요 ■ 구조적 안정성 - 휨부재로 상재하중에 대하여 비효율적인 단면구조 - 접합부 강결구조로 구조적 안정성 우수 - 편토압 작용으로 벽체단면 증가예상 ■ 경관성 - 도로중앙에 기둥 설치로 개방감 부족 - 비대칭 경간구조로 조형성 부족

- 기존 공법들은 장경간화에 따른 구조적 한계성으로 인해 대부분 25m 이하의 단경간에 적합한 공법이며 일체형 복개구조가 아닌 중간 벽체가 형성되는 공법이 주를 이루고 있음
- 중간 벽체를 사용할 경우 시공성 저하뿐만 아니라, 교통통제기간이 길어 운전자의 불편을 초래하고, 공기증가로 인한 경제성 저하로 국가 예산 낭비 초래
- 기존 형식을 장경간화할 경우 상부계획고(토피고+거더 형고) 및 공사비/공기 증가
- 상기 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 프리캐스트 강합성아치 구조물이 제안되었으나, 기존 도로기능의 원활한 확보를 위해서 충분한 아치 라이즈(타원형 구조로 직사각형 단면에 비해 공간 활용이 떨어짐)를 확보해야 함은 물론, 성토층의 하중이 커 단면적을 크게 하고, 많은 강재를 사용함으로써 경제성 확보가 어려우며, 내부 천장부에 합성 거더들의 형태가 그대로 보이기 때문에 미관 및 유지관리에 문제점이 있음
- 식생을 위한 성토고 포함 상부계획고를 최소화하며 기존 도로의 통행을 방해하지 않고 구조물을 완성할 수 있는 경제성 확보 30m 이상 장경간 복개 구조물 및 시공법 개발 필요
- 매립형 강합성라멘 상부 덮개 구조물은 낮은 상부계획고로도 상부의 하중에 대한 높은 지지력을 확보하며, 일정한 규격의 제품화를 통해 현장타설로 인한 공기지연, 부실시공, 각종 소음 등을 방지하고 협소한 작업공간에서도 작업수행 가능



(a) 교대 설치



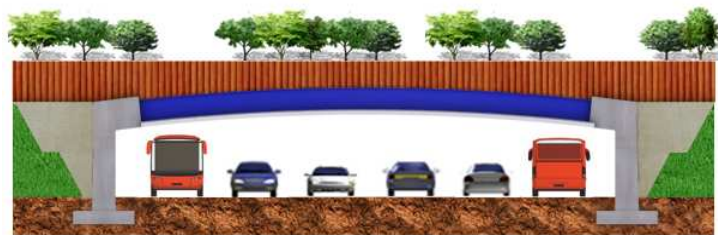
(b) 프리플렉스 거더 거치



(c) 지점부 강결



(d) 면벽 설치



(e) 성토 및 녹화

<장경간 강합성라멘 생태교량 제작공정>

2. 경제·산업적 측면

- 경부고속도로 옆에 도시공원 민자사업과 같이 지역의 랜드마크로서의 이미지를 구현한 복개 구조물을 이용한(교통의 흐름에 전혀 방해를 주지 않음) 특화된 녹화사업에 의한 관광자원으로써의 가치 확보로 지역 경제 활성화 도모
- 기존의 도심지 도로의 확대 및 개설을 할 경우, 도로 이외에 다른 용도로 사용하는 것이 불가능하였으나, 옆에 도시공원과 같은 복개 구조는 교통 흐름의 원활화 및 도로 위에 새로운 공간창출로 토지의 효율성 제고
- 매립형 장경간 복개구조물은 교통흐름을 방해하지 않고 공기를 50% 이상 단축 가능하므로 교통혼잡비용 및 공사비 절감효과 확보 가능



<경부고속도로 옆에 도시공원 민자사업>

3. 사회·문화적 측면

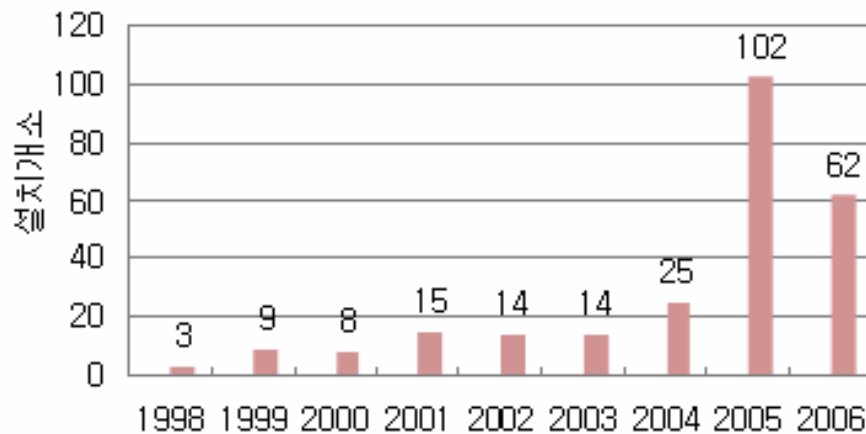
- 최근까지 우리나라는 개발위주의 건설정책으로 인해 기존 산지 및 대도시 녹지공간을 사회기반시설(도로?철도 및 물 재생시설 등)로 확충하여, 개발 주변의 지역간 단절 및 친환경 녹지공간/보행/휴식공간 등의 부족, 생태녹지축의 단절 발생
- 이에 최근 다양한 연구 및 환경복원 사업을 통해, 환경복원과 개발 주변 지역 주민의 삶의 질 향상 도모를 위해 많은 투자와 노력 진행 중
- 특히 신설 구조물에도 에코브리지와 같은 생태 통로를 반영하고 있고, 보행 및 자전거 도로, 운동시설 등과 생태복원이 복합적으로 어우러진 자연형 복개구조를 적용하는 등 다각적인 생태 복원사업 추진 필요

제 2 장 국내 · 외 기술개발 현황

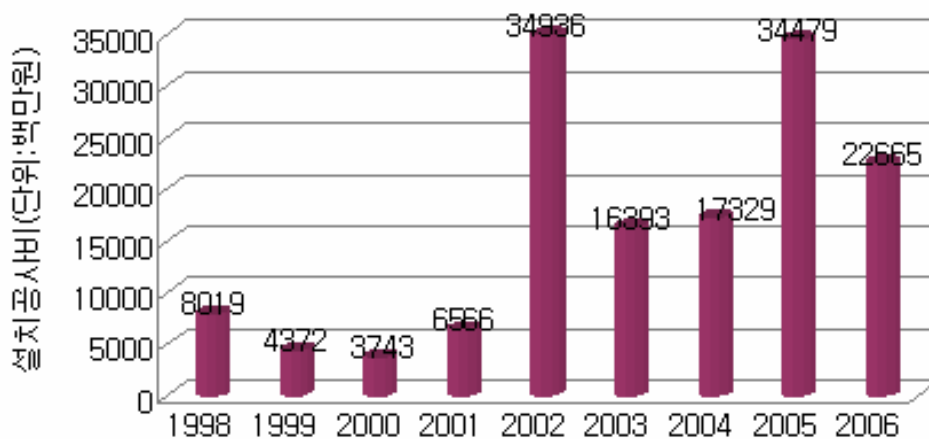
제 1 절 국내 기술 및 산업 동향

1. 국내 시장 현황 및 예측

현재 국내 공용중인 생태교량의 경우 육교형식과 터널형식을 포함하여 약 252개소로 2005년부터 급격히 증가하고 있으며 공사금액으로는 약 300억원의 시장을 형성하고 있어 연구완료시점인 2011년에는 약 400억원의 시장 규모를 형성할 것으로 예상된다.



(a) 연도별 설치개소



(b) 연도별 공사비 규모

<연도별 생태교량 시장현황>

2. 국내 주요 관련 업체

구조형식	공법명	업체명	홈페이지
Arch	Precast Arch Bridge (P.A.B System 공법)	진성토건(주)	www.jsc.co.kr
	파형강판 아치교	평산에스아이 (주)	www.pyungsan.co.kr
	TechSpan	(주)후레시네코리아	www.taifk.co.kr
	프리캐스트 강합성 아치교	(주)청석엔지니어링	www.cse.co.kr
Rahmen	단순가설방식을 이용한 Preflex 합성 라멘교	(주)길교이앤씨	www.psitech.co.kr
	Precom 합성 라멘교	(주)삼현PF	www.precom.co.kr
	Preflex 합성 라멘교	(주)스틸엔콘크리트	www.steelconcrete.co.kr
Beam	Preflex 빔 생태교량	삼표이앤씨(주) (주)길교이앤씨 (주)스틸엔콘크리트 외 다수	www.sampyoenc.com www.psitech.co.kr www.steelconcrete.co.kr
	PSC 빔 생태교량	(주)인터콘스텍 우경건설(주) 외 다수	www.interconstech.com www.wkcos.com

3. 국내 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
아치 복개구조	오민수	청석엔지니어링	프리캐스트 강합성 아치복개구조 설계	90%
	박종면	평산에스아이	파형강판 지중 아치구조 설계 및 제작	80%
	김승익	후레시네코리아	프리스트레스트 아치구조 시공	80%
	우혁근	진성토건	프리캐스트 강합성 아치복개구조 시공	90%
강합성 거더	배두병	국민대학교	강합성거더 장기거동 해석 및 실험	100%
	이광명	성균관대학교	강합성거더 장기거동 해석 및 실험	90%
	신동기	삼현PF	강합성거더 실용화	100%
	심창수	중앙대학교	강합성거더 전단연결부 거동 평가	100%

제 2 절 국외 기술 및 산업 동향

- 유럽에서는 1980년대부터 복개 터널구조물의 건설이 시작되어 주로 도심지를 통과하는 일정심도의 지하차로나 지하철 등에 활용되었으며, 장기간의 시공사례에 비추어 구조적 안전성, 시공성 및 경제성이 입증
- 특히, 산악지역에 인접한 계곡부를 통과하는 지역, 농촌지역의 얇은 구릉지 또는 목초지를 통과하는 지역, 생태계 보존 지역 등지에서 도로건설시에 복개 터널구조물로 건설하여 자연환경을 원상태로 복원시키는 노력들이 이루어져 상당한 기술력을 보유
- 스위스 제네바의 Confignon 터널은 고속도로의 우회도로로써, 편도 2차선 아치형 쌍굴 복개 터널구조물을 구축하는 과정에 있어서, 연약 점토층 기초 지반을 굴착으로 제거한 후 지반개량을 실시하여 안정성을 확보
- 그리스 노스웨스턴 고속도로 건설시에는 절취사면의 안정성이 취약한 두공구에 대해, 자연 사면을 그대로 복원시킨 박스형 복개 구조물과 복개에 의한 편토압을 방지하기 위해 지표부의 일정구간을 수평 처리하여 아치형 복개 구조물을 구축
- 미국과 일본에서는 터널 폭이 약 6m인 아치형 복개 구조물을 구축하는 경우에 Inflatable form, Soil cement를 이용하여 그라운드 아칭 현상이 발생하는 영역을 인위적으로 강화하여 구조물의 안정성 및 시공성 제고
- 국외의 복개터널의 형태에도 점차 친 환경적인 형태의 복개터널이 활성화되고 있으며, 터널을 만들기 전 상태의 자연 형태를 유지하면서 시공을 하였으며, 홍수나 태풍과 같은 형태에서도 터널 위의 사면경사를 고려하여 상부의 토사가 외부의 영향에 의해서 도로에 떨어지지 않게 고안을 하였으며, 특히 Metapole Tunnel과 같은 경우에 기존의 형태보다는 최적의 단면을 계산하여 구조적으로 안정하고 더 나은 경관을 위해 추진



<국외 복개터널 시공사례>



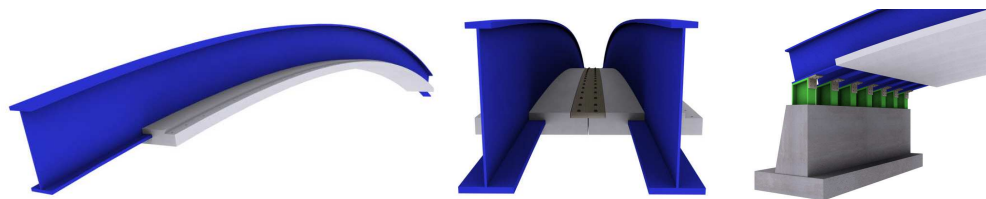
<국외 복개터널 형태>

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 목표

1. 최종목표

목표구분	최종목표	최종성과목표
기술개발	매립형 장경간 강합성라멘 생태교량 구조물 제품화	○ 매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발 ○ 매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공기술 개발 ○ 매립형 장경간 강합성라멘 복개구조물 상용화 기술 개발
기업지원	개발기술 전파 및 공유활동 수행	○ 기술상담, 교육 및 정보제공 10회 이상 ○ 기술지도 5회 이상 ○ 개발기술의 기술이전 1건 이상 및 보급활동



(a) 프리플렉스 거더

(b) 거더-교대 연결상세

< 매립형 장경간 강합성 라멘 최적구조 >



< 매립형 장경간 강합성라멘 복개 생태교량 >

2. 최종목표의 성격

최 종 목 표	최 종 성 과	성 격
매립형 장경간 강합성라멘 생태교량 구조물 제품화	공사비 증가 없이 상부계획고(토피고+거더 형고)를 30% 이상 절감할 수 있는 30m 이상 장경간 합성라멘 복개 생태교량구조 사업화	제품개발

3. 연차별 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도 매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발	■ 매립형 강합성라멘 최적구조시스템 개발	■ 강합성거더 최적단면 및 제작방법 개발 - 강합성거더 프리스트레스 도입방안 도출 - 거더 상연 보강 방안 도출 - 단면 최적화 변수연구 ■ 현장적용 가능 구조계산서 및 설계도면 개발
	■ 최적 구조시스템의 성능평가	■ 고강도 강재(HSB600/HSB800) 적용성 평가 ■ 유한요소해석을 통한 구조안정성 평가 - 프리플렉션시 좌굴안정성 평가 - 하부케이싱 콘크리트 프리스트레스 횡분배 평가 ■ 강합성거더 제작성 평가 ■ 강합성거더 극한 내하력 평가
	■ 매립형 강합성라멘 상세 개발	■ 강합성거더 부식방지 방안 개발 ■ 강합성 거더간 연결상세 개발 - 연결판 구조사양개발 - 거더 연결부 방수처리방안 개발 ■ 강합성거더 지점부 연결상세 개발 - 강거더와 기초벽체 강결상세 개발 - 철근배근 및 콘크리트 합성방안 개발v

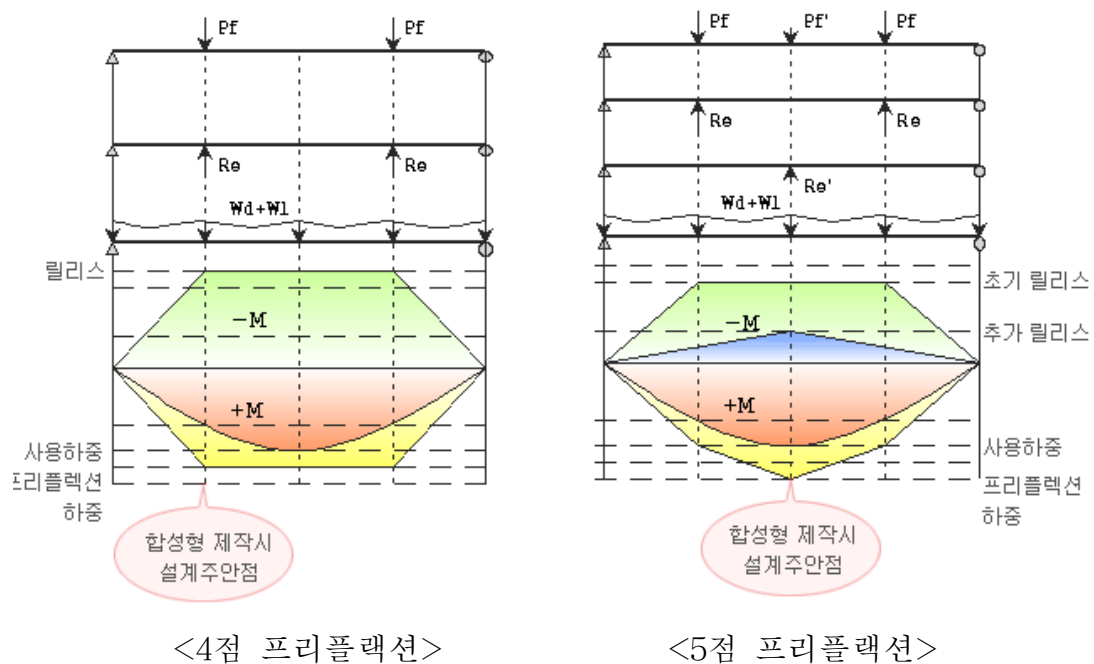
2차년도 매립형 장경간 강합성라멘 상용화 기술개발	■ 매립형 강합성라멘 실구조물 구조 성능 평가	■ 40m 강합성라멘 실구조물 제작/시공성 평가 - 시공단계별 강거더와 콘크리트 케이싱부의 응력변화 평가 - 강거더, 케이싱 콘크리트의 응력손실 평가 - 좌굴안정성 확보를 위한 보강재 및 제작대 설계 ■ 강합성라멘교량 배수 및 식생검토 - 식생 구조물의 설계사례조사 및 설계기준 조사 - 시제품 배수, 식생 모니터링 ■ 강합성라멘 실구조물 극한 내하력 평가 - 내하력 평가 중 변형률 강거더, 콘크리트 케이싱의 변형률 계측 및 하중분배 평가 - 강합성라멘 교량의 비선형 구조해석 - 강합성라멘 실구조물 극한 내하력 평가시험 - 강합성 라멘교량의 시공단계별 구조해석 및 설계/해석/실거동 비교 분석 ■ 강합성거더 연결부 방수성능 평가
	■ 매립형 강합성라멘 교량 설계 및 시공 지침(안) 개발	■ 설계지침서(안) 개발 ■ 시공지침서(안) 개발 - 강합성거더 제작공정 - 거더간 연결 및 방수처리 방안 - 기초벽체 연결을 통한 라멘구조화 - 성토 및 녹화 시공방안 - 매립형 강합성라멘교량 배수 및 식생 방안 ■ 유지관리지침서(안) 개발 및 LCC평가 ■ 기초를 고려한 강합성라멘교량의 경제성 비교분석 및 타당성 분석

제 2 절 연구수행 내용 및 성과

1. 매립형 강합성라멘 최적구조시스템 개발

(1) 강합성거더 프리스트레스 도입방안

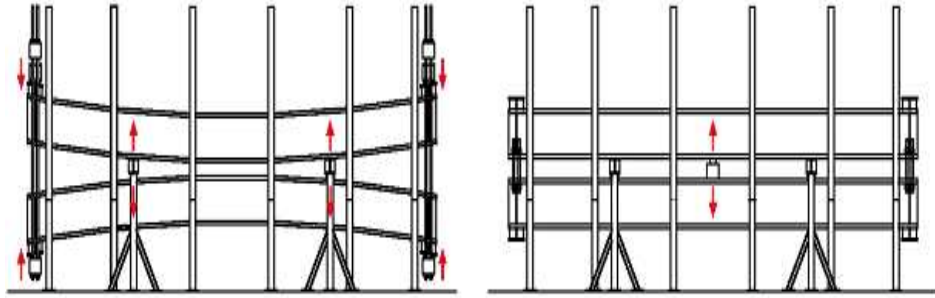
기존 프리플렉스 강합성거더는 강재의 휨변형을 가하고 하부에 콘크리트를 타설/양생한 후 휨변형을 제거함으로써 강재의 휨복원력에 의해 콘크리부에 프리스트레스를 도입하게 된다. 기존 방법은 L/4지점에 프리플렉션 하중을 도입하게 되는데 아래 그림과 같이 하중이 크게 작용하는 양 단에서 L/4지점부터 중앙부까지 일정한 압축응력이 도입되게 되어 하중이 가장 큰 중앙부가 아닌 L/4지점이 설계시 주안점이 되어 비합리적인 설계를 하게 된다. 이에 본 연구에서는 추가적인 중앙부 프리플렉션/릴리즈 방식을 도입하여 보다 합리적인 프리스트레스 도입방안을 도출하였다.



5점 프리플렉션 하중재하방법은 P' 작용 시 1/4, 3/4 지점에서의 프리플렉션 모멘트는 $3P'L/8$, 1/2 지점에서는 $P'L/2$ 로 등분포하중에 의한 모멘트 분포와 유사한 분포로 프리플렉션 모멘트 재하가 가능하게 된다.

또한, 프리플렉션을 도입하기 위해 강거더는 캠버가 도입된 상태로 제작되기

때문에, 1/4, 3/4 지점과 1/2 지점에 동시에 동일한 크기의 선하중을 가력하는데에는 한계가 있기 때문에 1/4, 3/4 지점에서 먼저 하중을 가력하고 그 변형상태를 지그로 고정한 후 유압잭을 1/2 지점으로 옮겨 2차 프리플렉션 하중을 도입함으로써 하중도입단계의 안정성 확보 및 정확한 하중도입관리가 가능하게 된다.



<순차적 5점 프리플렉션>

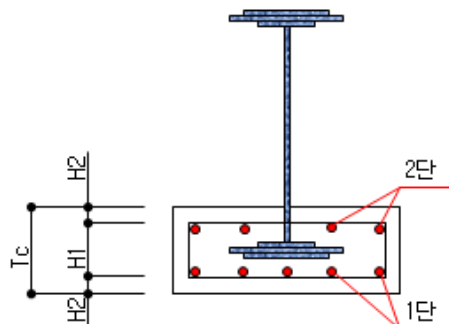


<5점 프리플렉션 하중도입 후 고정지그를 이용한 하중유지>

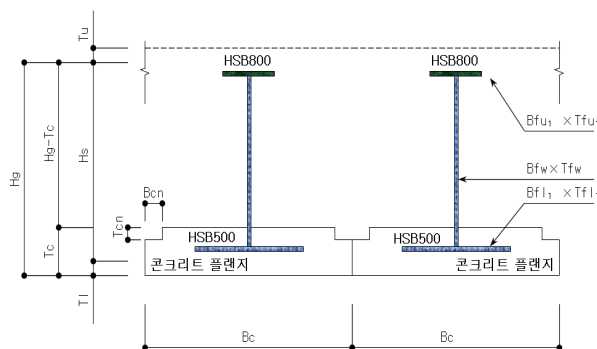
(2) 거더 상연 보강방안

매립형 강함성거더는 거더 설치간격이 2m 이하이지만 거더와 거더 사이에 토사를 매립하고 식생을 하기 위해서는 상부 플랜지를 최소화할 필요가 있다. 또한, 바닥판 없이 작은 단면의 압축플랜지가 모든 압축응력에 저항하여야 하

기 때문에 일정 크기 이상의 단면을 확보하는 것이 불가피 하다. 따라서, 강거더의 좌굴성능을 고려하여 상부플랜지 폭원을 400~500mm로 고정하고 강도확보를 위해 상부플랜지에 활용 강재는 2010년 도로교 설계기준에 등재된 허용응력 380MPa급의 HSB800을 채택하였다. 이에 강합성거더의 강도는 증가하는 강성이 작아져 지간이 길어질 경우 프리플렉스 중 좌굴방지 지지대 또는 강거더 복부에 수직 리브를 설치하여 좌굴성능을 보장하는 방안을 도출하였다.



<플랜지 덮판 보강을 이용한 기존 프리플렉스 거더단면>



<매립형 프리플렉스 거더>

(3) 단면 최적화 변수연구

앞에서 설정한 단면제원은 고정하고 지간/형고/강종조합/플랜지두께 변수에 대해 실험계획법(DOE)을 도입하여 지간별 최적단면을 도출하였다. 변수연구에 사용한 값은 기존 프리플렉스 거더 단면을 참조하여 지간 30m, 35m, 40m 교량의 형고를 각각 1.5m, 1.7m, 1.9m 가정하고 아래 표와 같이 변수연구를 수행하였다.

<30m거더 DOE>

지간 30m 복부두께 18mm	강재조합			상하부 플랜지두께		
	상부플랜지	복부	하부플랜지	1	2	3
	HSB800	HSB800	HSB800	29	32	35
	HSB800	HSB600	HSB500	29	32	35
	HSB500	HSB600	HSB800	29	32	35
	HSB600	HSB600	HSB600	29	32	35
	HSB600	HSB600	HSB500	29	32	35
	HSB500	HSB600	HSB600	29	32	35
	HSB500	HSB500	HSB500	29	32	35

<30m거더 플랜지 두께 29mm>

플랜지 29mm	HSB강종			F.T.2		F.T.1		F.L.1		F.L.2		max. 응력비	강종 (kg/m ²)	HSB500 환산강종 (kg/m ²)
	F.T.	F.L.	Web	b.	th.	b.	th.	b.	th.	b.	th.			
1	800	800	800	0	0	400	29	600	29	0	0	90%	193.47	263.8
2	800	500	600	0	0	400	29	880	29	0	0	90%	217.96	253.8
3	500	800	600	520	29	350	29	500	29	0	0	90%	224.25	262.9
4	600	600	600	450	29	200	29	750	29	0	0	90%	226.88	278.4
5	600	500	600	450	29	200	29	800	29	0	0	90%	231.25	265.5
6	500	600	600	500	29	350	29	700	29	0	0	90%	239.99	275.2
7	500	500	500	500	29	300	29	800	29	0	0	89%	244.36	244.4

<30m거더 플랜지 두께 32mm>

플랜지 32mm	HSB강종			F.T.2		F.T.1		F.L.1		F.L.2		max. 응력비	강종 (kg/m ²)	HSB500환산 강종 (kg/m ²)
	F.T.	F.L.	Web	b.	th.	b.	th.	b.	th.	b.	th.			
1	800	800	800	0	0	400	32	550	32	0	0	90%	199.45	272.0
2	800	500	600	0	0	400	32	800	32	0	0	89%	223.57	261.0
3	500	800	600	500	32	300	32	450	32	0	0	89%	226.66	265.5
4	600	600	600	400	32	200	32	650	32	0	0	90%	226.66	278.2
5	600	500	600	400	32	200	32	750	32	0	0	90%	236.31	270.9
6	500	600	600	500	32	250	32	650	32	0	0	89%	241.14	276.8
7	500	500	500	500	32	250	32	700	32	0	0	90%	245.96	246.0

<30m거더 플랜지 두께 35mm>

플랜지 35mm	HSB강종			F.T.2		F.T.1		F.L.1		F.L.2		max. 응력비	강종 (kg/m ²)	HSB500 환산강종 (kg/m ²)
	F.T.	F.L.	Web	b.	th.	b.	th.	b.	th.	b.	th.			
1	800	800	800	0	0	400	35	550	35	0	0	88%	209.80	286.1
2	800	500	600	0	0	400	35	700	35	0	0	90%	225.64	264.7
3	500	800	600	500	35	250	35	400	35	0	0	89%	229.01	267.7
4	600	600	600	0	0	520	35	600	35	0	0	90%	227.75	279.5
5	600	500	600	0	0	520	35	700	35	0	0	89%	238.30	272.8
6	500	600	600	450	35	250	35	600	35	0	0	89%	244.84	280.8
7	500	500	500	500	35	200	35	650	35	0	0	90%	250.12	250.1

<35m거더 DOE>

지간 35m 복부두께 18mm	강재조합			상하부 플랜지두께		
	상부플랜지	복부	하부플랜지	1	2	3
	HSB800	HSB800	HSB800	35	38	41
	HSB800	HSB600	HSB500	35	38	41
	HSB500	HSB600	HSB800	35	38	41
	HSB600	HSB600	HSB600	35	38	41
	HSB600	HSB600	HSB500	35	38	41
	HSB500	HSB600	HSB600	35	38	41
	HSB500	HSB500	HSB500	35	38	41

<35m거더 플랜지 두께 38mm>

플랜지 38mm	HSB강종			F.T.2		F.T.1		F.L.1		F.L.2		max. 응력비	강종 (kg/m ²)	HSB500환산 강종 (kg/m ²)
	F.T.	F.L.	Web	b.	th.	b.	th.	b.	th.	b.	th.			
1	800	800	800	0	0	400	38	550	38	0	0	90%	234.29	319.5
2	800	500	600	0	0	400	38	830	38	0	0	89%	266.38	310.3
3	500	800	600	500	38	350	38	450	38	0	0	90%	272.34	317.9
4	600	600	600	0	0	600	38	700	38	0	0	89%	274.40	336.8
5	600	500	600	0	0	600	38	800	38	0	0	89%	285.86	326.9
6	500	600	600	500	38	300	38	650	38	0	0	90%	289.53	331.4

<40m거더 DOE>

지 간 40m 복부두께 20mm	강재조합			상하부 플랜지두께		
	상부플랜지	복부	하부플랜지	1	2	3
	HSB800	HSB800	HSB800	41	44	47
	HSB800	HSB600	HSB500	41	44	47
	HSB500	HSB600	HSB800	41	44	47
	HSB600	HSB600	HSB600	41	44	47
	HSB600	HSB600	HSB500	41	44	47
	HSB500	HSB600	HSB600	41	44	47
	HSB500	HSB500	HSB500	41	44	47

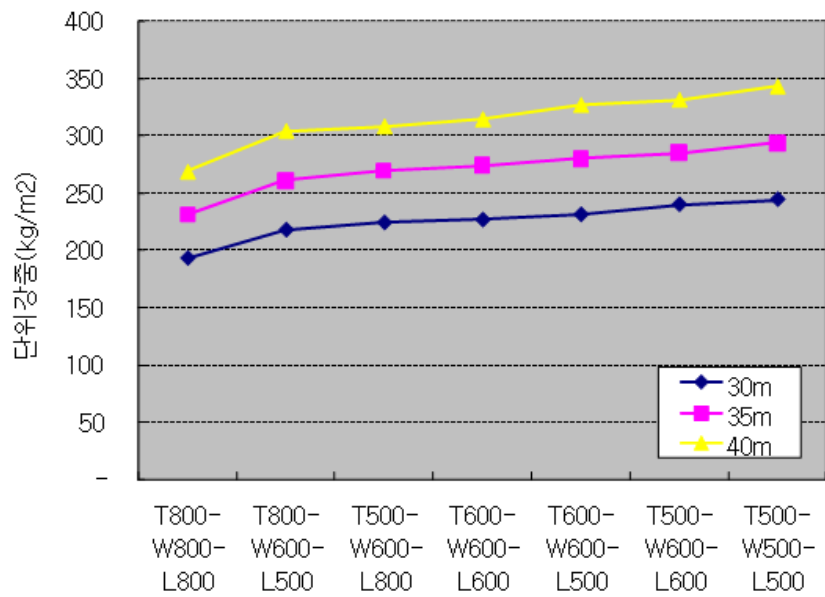
<40m거더 플랜지 두께 44mm>

플랜지 44mm	HSB강종			F.T.2		F.T.1		F.L.1		F.L.2		max. 응력비	강종 (kg/m2)	HSB500환산 강종 (kg/m2)
	F.T.	F.L.	Web	b.	th.	b.	th.	b.	th.	b.	th.			
1	800	800	800	0	0	400	44	550	44	0	0	90%	269.13	367.0
2	800	500	600	0	0	400	44	850	44	0	0	90%	308.95	359.3
3	500	800	600	500	44	350	44	450	44	0	0	90%	313.19	365.4
4	600	600	600	0	0	600	44	700	44	0	0	89%	315.58	387.3
5	600	500	600	0	0	600	44	800	44	0	0	90%	328.85	375.8
6	500	600	600	0	0	720	44	700	44	0	0	90%	331.51	381.5

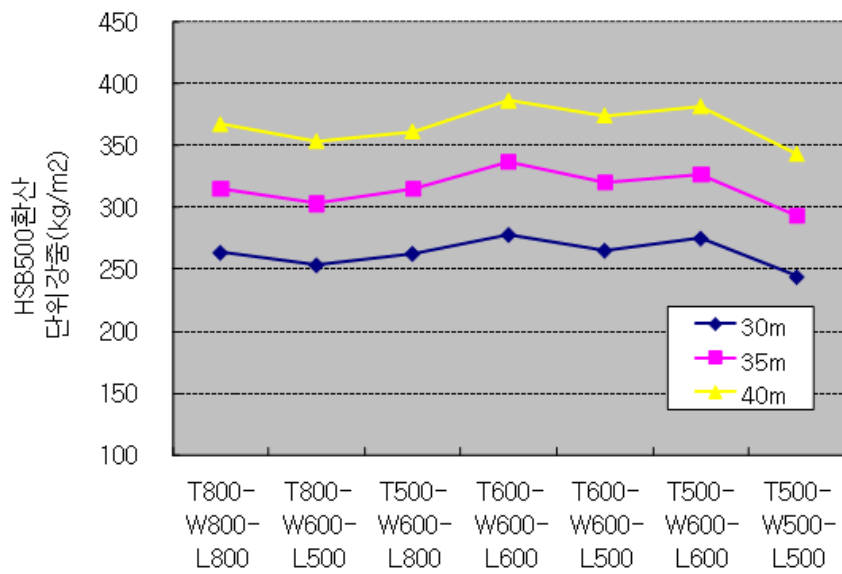
DOE 수행결과 비교적 얇은 두께의 플랜지를 사용한 경우 강중에 있어서 유리하게 나타났고 고강도 강재를 사용할 경우 강중이 비례적으로 감소하는 경향을 보이며, 이는 30m, 35m, 40m 교량 모두에서 동일하게 나타났다. 또한, HSB500 또는 HSB600 강재를 상부플랜지에 사용할 경우에는 구조성능 확보를 위해 기존과 같이 덮판 형태를 구성하여야 하였다.

HSB800 고강도 강재 거더와 보다 낮은 강도의 강재를 이용한 거더의 상대적 강중 비교를 위해 가격을 반영하여 HSB500으로 강중을 환산하였다. 여기서, 가격비율은 현행 포스코에서 판매하고 있는 강재판매단가 비율을 고려하였으며 HSB800:HSB600:HSB500=1.5:1.35:1.1로 가정하였다. HSB500으로의 환산 강중을 비교하면 HSB500만을 이용한 거더와 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드 거더의 강중이 가장 작게 나타났으나, HSB500만을 사용할 경우 상부플랜지를 덮판 형태로 제작해야하는 관계로 후판 제작에 따른 제작비의 상승이 불가피하기 때문에 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드 거더가 가장 효율적인 구조로 평가되었다.

강재 조합에 따른 단위강중



강재 조합에 따른 단위강중 (HSB500 기준으로 환산)

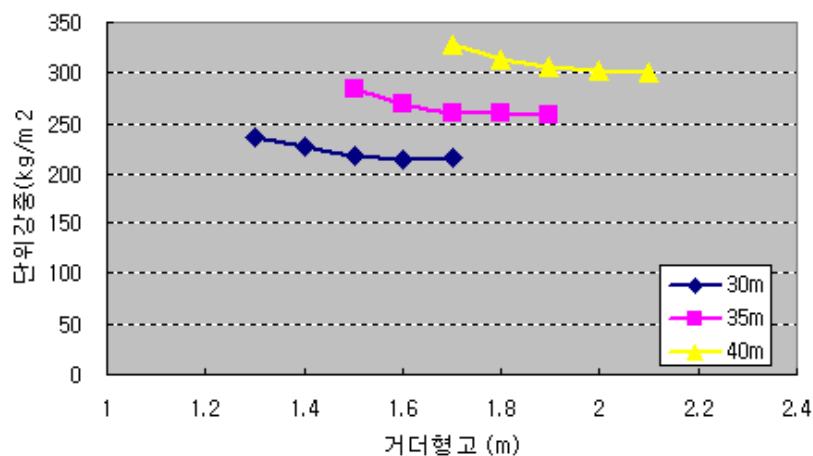


<매립형 프리플렉스거더의 강재조합에 따른 단위강중 변화>

앞에서 최적 강중조합으로 평가된 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드거더의 형고변화에 따른 강중변화를 산정하여 지간별 최적형고를 도출하였다.

30m 지간장의 경우 형고 1.3m~1.7m에 대해 검토결과 형고가 1.5m까지 증가할 때까지는 형고 증가에 따라 강중감소가 크게 발생하나 1.5m보다 커질 경우 강중변화가 거의 없었다. 따라서 30m 지간장 매립형 프리플렉스 거더의 형고를 1.5m 결정하였다. 또한, 35m 지간장의 경우 형고 1.5m~1.9m에 대해 검토결과 형고가 1.7m까지 증가할 때까지는 형고 증가에 따라 강중감소가 크게 발생하나 1.7m보다 커질 경우 강중변화가 거의 없었기 때문에 35m 지간장 매립형 프리플렉스 거더의 형고를 1.7m 결정하였으며 40m 지간장의 경우 형고 1.7m~2.1m에 대해 검토결과 형고가 1.9m까지 증가할 때까지는 형고 증가에 따라 강중감소가 크게 발생하나 1.9m보다 커질 경우 강중변화가 거의 없으므로 35m 지간장 매립형 프리플렉스 거더의 형고를 1.9m 결정하였다.

형고에 따른 강중변화 (HSB800-600-500 하이브리드)



<형고 변화에 따른 거더 단위강중(HSB500 환산강중)>

2. 최적 구조시스템의 성능평가

(1) 유한요소해석

매립형 프리플렉스거더의 강거더 상태에서 도입되는 높은 수준의 프리플렉션 응력에 대한 좌굴안정성 검토 및 좌굴보강방안을 도출하기 위해 범용프로그램인 ABAQUS를 이용하여 좌굴해석을 수행하였다. 각 지간별 최적설계를 통해 도출된 프리플렉션 하중과 유한요소해석에 의한 좌굴하중을 비교하여 안전율 1.6~1.7의 수준이 형성되도록 보강방안을 도출하였다. 각 지간별 해석결과 및 보강방안은 다음과 같다.

- 30m 프리플렉션하중: 984.6kN

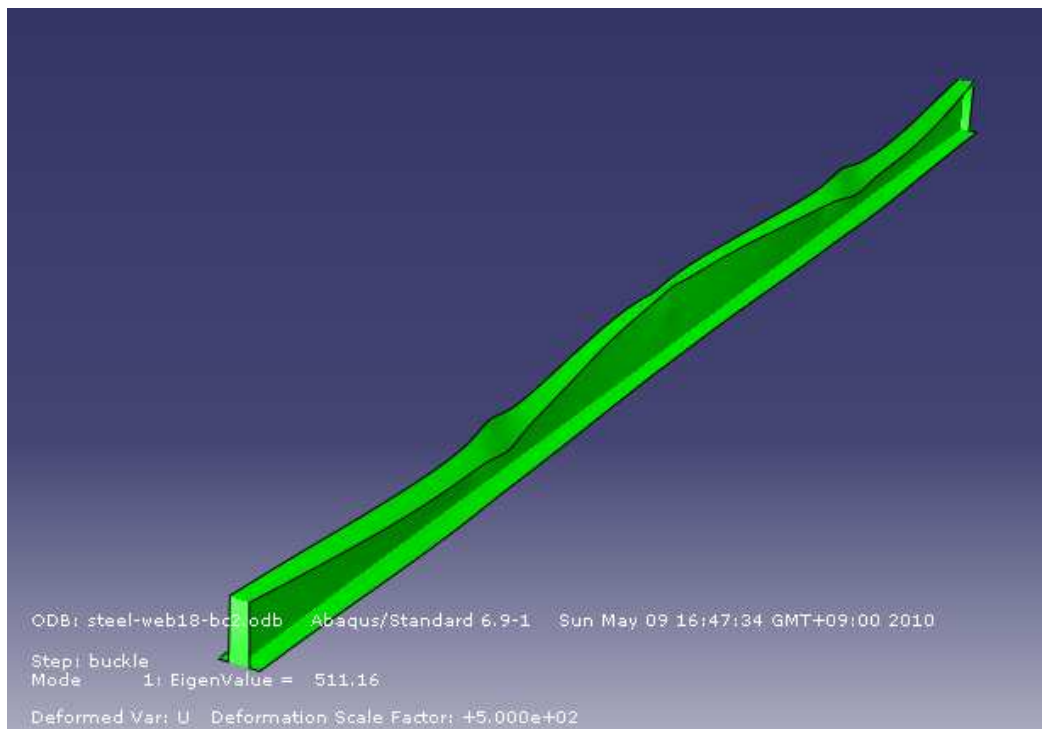
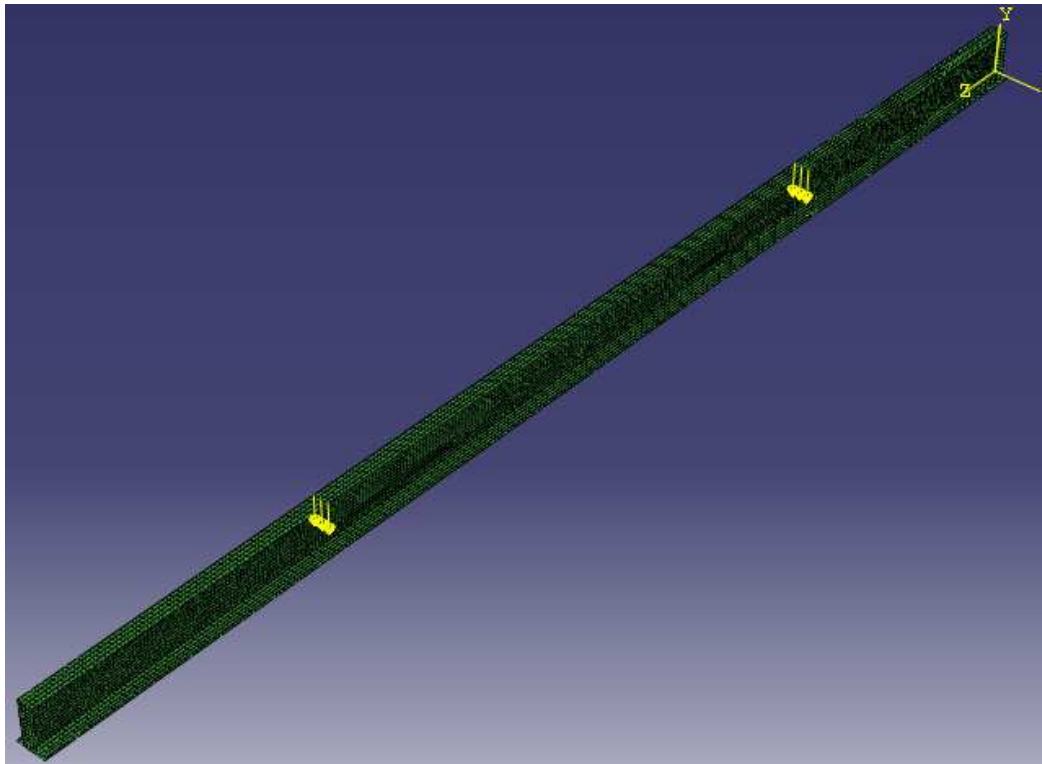
: 대상거더는 앞에서 도출된 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드 거더

: 복부두께 18mm

: 검토 케이스 7가지

No.	변수 변화		좌굴강도(kN)
1	단순지지	1/4, 3/4지점 사이 4m간격 복부 1점 좌굴방지 지점	1109.6
2	No.1 +	1/4, 3/4지점 복부상부 삼각리브	1114.5
3	No.1 +	1/4, 3/4지점 복부 사각리브	1309.3
4	No.3 +	1/2지점 복부 사각리브 추가	1309.6
5	No.1 +	4m간격 복부 2점 좌굴방지 지점	1533.5
6	No.3 +	4m간격 복부 2점 좌굴방지 지점	1645.4
7	No.6 +	0~1/4지점, 3/4지점~L 사이 중간에 복부 2점 좌굴방지 지점 추가	1992.4

-> 안전율을 고려할 때 No. 5이 적합한 것으로 판단됨



<30m거더 좌굴해석결과>

- 35m 프리플렉션하중: 1192.2kN

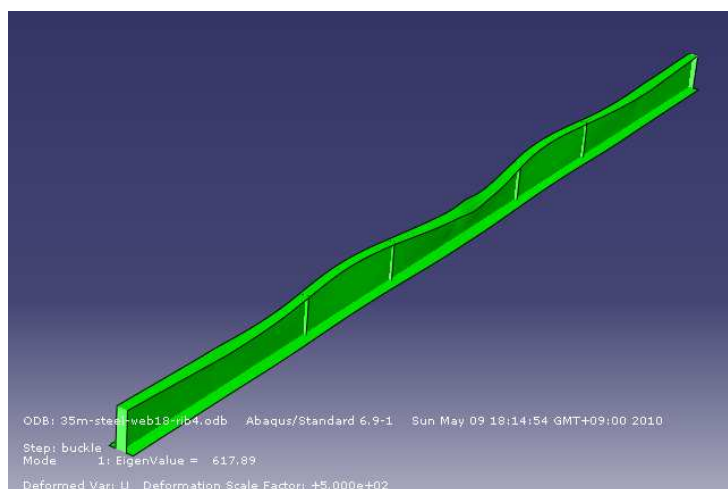
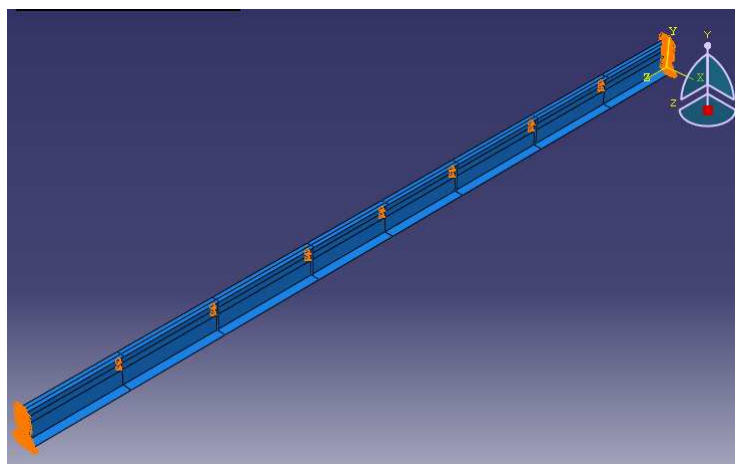
: 대상거더는 앞에서 도출된 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드 거더

: 복부두께 18mm

: 검토 케이스 5가지

No.	변수 변화		좌굴강도(kN)
1	단순지지	전구간 4m간격 복부 2점 좌굴방지 지점	1603.7
2	No.1 +	지간중앙과 1/4, 3/4지점 사이에 사각리브 추가	1853.7
3	No.2 +	복부 두께 20mm로 변경	2057.1
4	No.3 +	모든 좌굴방지 지점에 사각리브 설치	2748.9
5	No.1 +	모든 좌굴방지 지점에 사각리브 설치	2198.8

-> 안전율을 고려할 때 No. 2이 적합한 것으로 판단됨



<35m거더 좌굴해석결과>

(c) 40m 프리플렉션하중: 1414.0kN

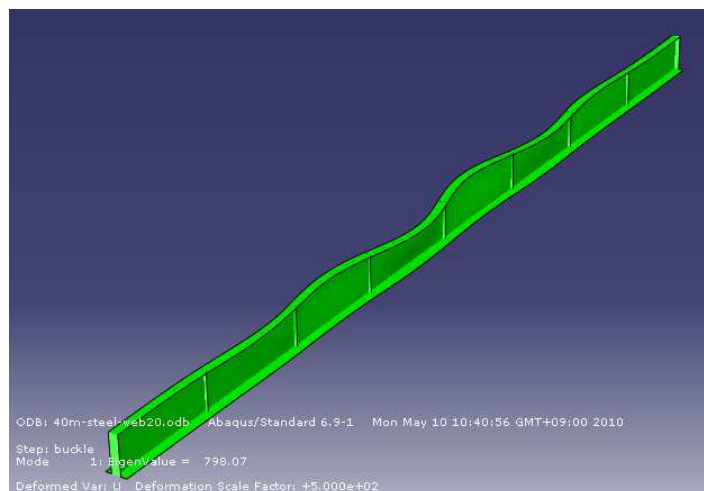
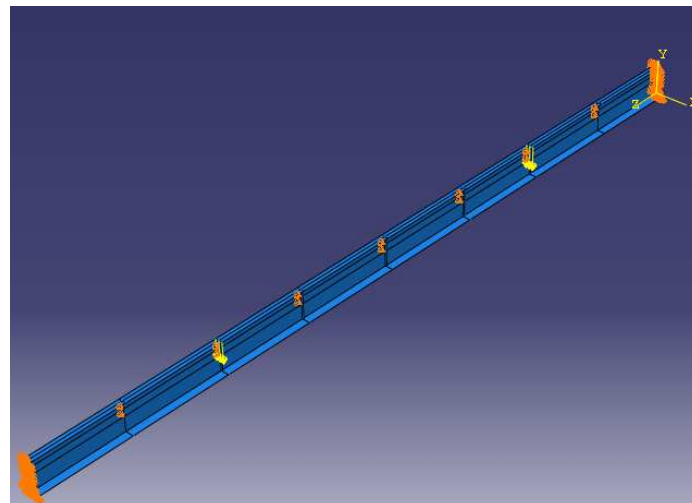
: 대상거더는 앞에서 도출된 HSB800-HSB600-HSB500 하이브리드 거더

: 복부두께 20mm

: 검토 케이스 4가지

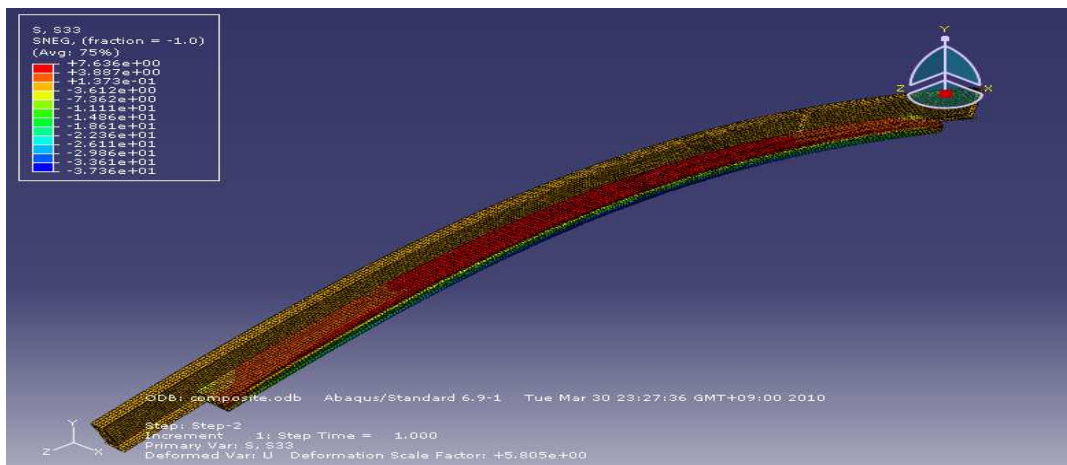
No.	변수 변화		좌굴강도(kN)
1	단순지지	전구간 4m간격 복부 2점 좌굴방지 지점 1/4, 3/4지점에 사각리브	1818.4
2	No.1 +	지간중앙과 1/4, 3/4지점 사이에 사각리브 추가	2041.9
3	No.2 +	지간중앙에 사각리브 추가	2280.0
4	No.2 +	모든 좌굴방지 지점에 사각리브 설치	2394.2

-> 안전율을 고려할 때 No. 4이 적합한 것으로 판단됨

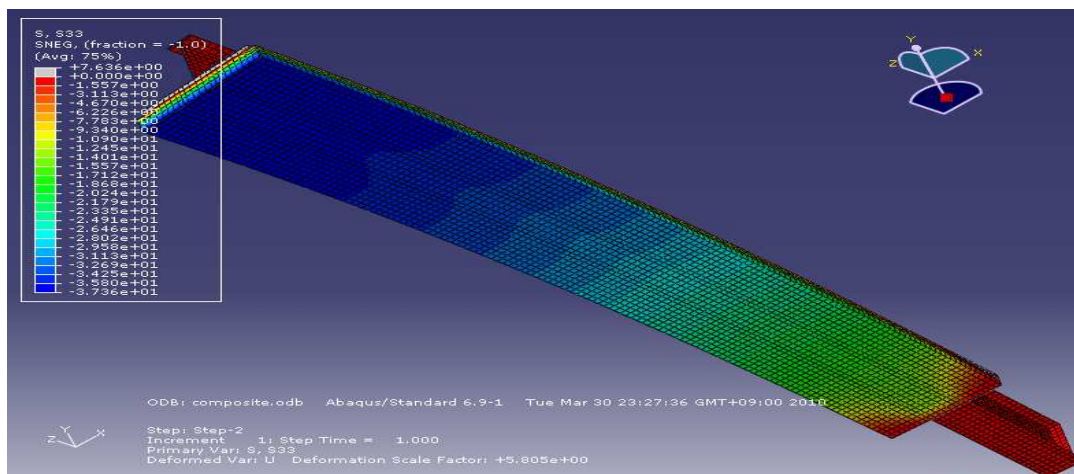


<40m 거더 좌굴해석결과>

매립형 프리플렉스거더는 토사에 매립되며 거더간이 연결되어야 하기 때문에 경제성 확보를 위해 강합성거더의 하부케이싱 콘크리트의 폭을 최대한 증대시키는 것이 유리하다. 기존의 강합성거더는 0.8~1.2m의 하부케이싱 콘크리트 폭원을 사용하고 있기 때문에 이에 2배의 값인 2m로 폭원을 산정하였다. 하지만 콘크리트 폭원이 증가하면 강재에 의해 도입되는 프리스트레스가 콘크리트의 횡방향으로 원활히 분배되는지의 여부를 확인하기 위해 추가적인 유한요소해석을 수행하였다. 최적단면으로 산출한 강재의 하부플랜지 폭 800mm에 대해 폭 2m의 하부케이싱 콘크리트와 완전부착이 이루어질 경우 강거더와 콘크리트 케이싱 간에는 원활한 응력전달이 이루어지며 shear lag 현상이 콘크리트 단부에서는 다소 발생하나 중앙부로 갈수록 횡분배가 충분히 이루어지고 있는 것으로 평가되었다. 단부의 경우에는 라멘구조에서 변곡점이 형성되는 구간으로 하중이 크지 않기 때문에 shear lag 현상이 발생하더라도 거더의 내하력에는 문제가 없는 것으로 판단된다.



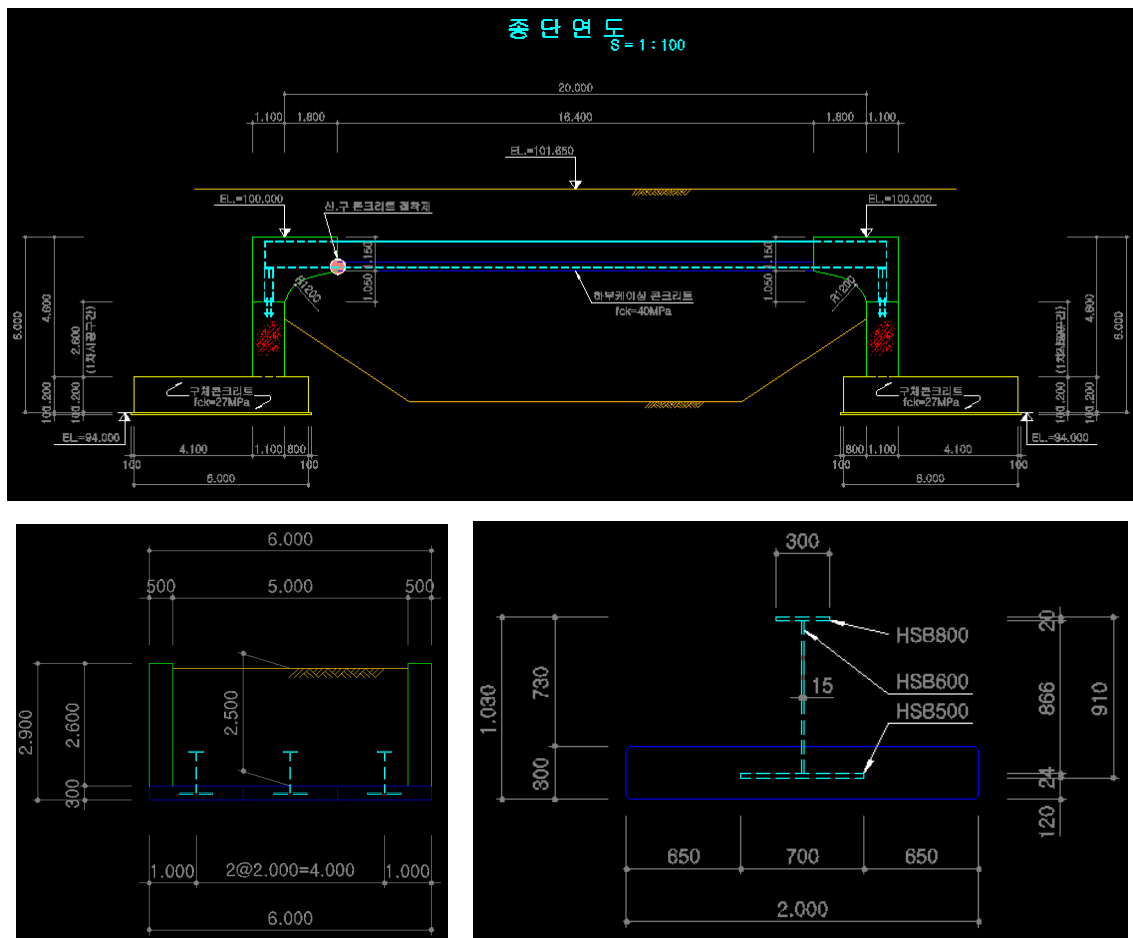
<하부케이싱 콘크리트 상면 응력 분배>



<하부케이싱 콘크리트 하면 응력 분배>

(2) 강합성거더 제작성 및 극한내하력 평가

매립형 강합성거더의 실구조물 제작에 앞서 기존 강합성거더와의 차별화되는 부분인 최소화된 상부플랜지의 가력가능 여부, 2m 폭원의 하부케이싱 콘크리트 제작 가능여부를 평가하기 위해 20m 시험체를 제작하였다. 시험체 제작은 참여기업인 길교이앤씨의 제작현장인 광고 신도시 4공구 현장에서 수행하였다. 시험체는 20m 실교량 매립형 프리플렉스 라멘교량을 설계하여 제원을 산정하였으며 형고는 1m로 제작하였다.



<시험대상 20m 강합성거더교량 일반도 및 단면도>

제작성 평가 결과 프리플렉스 하중을 재하하는 횡방향 가력지그는 하부케이싱 콘크리트 폭원 2m에 대응하여 폭 2.5m 이상 확보가 필요하였으며 300mm의 상부플랜지의 폭원에 가력용 유압잭 설치에 원활히 수행되었다.



(a) 거더 설치



(b) 유압잭 설치

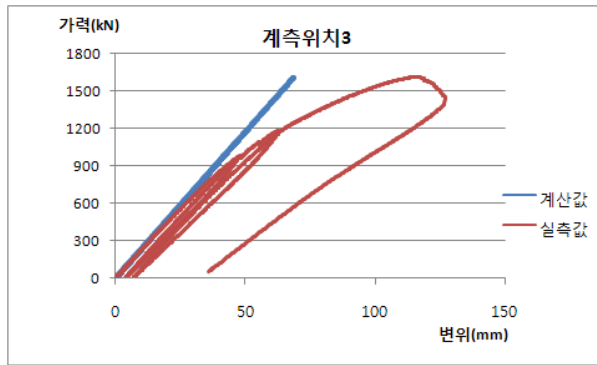


(c) 케이싱 콘크리트 타설

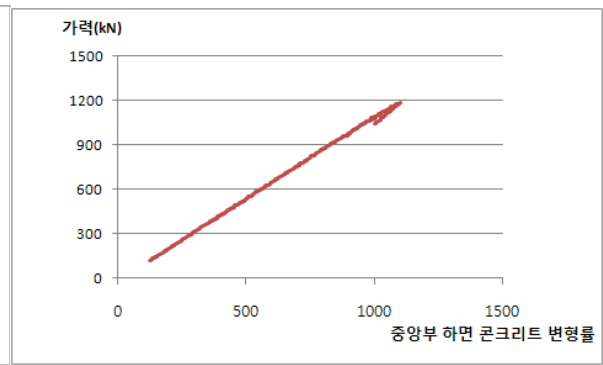
<20m 강합성거더 시험체 제작단계>

상기와 같이 제작된 시험체의 극한 내력을 평가하기 위해 2점 가력시험을 수행하였다. 양 단에서 $L/4$ 지점에 2점 재하를 수행하였으며 변위제어로 파괴 시까지의 거동을 계측하였다.

처짐의 경우 설계에서 예측한 계산값보다 다소 큰 변위가 발생하였는데 이는 3개월 여를 적치하는 동안 발생한 장기거동손실에 의해 내력이 다소 저하된 것으로 판단된다. 하지만 설계하중인 600kN까지는 탄성거동을 보이고 있어 사용성에 문제는 발생하지 않는 것으로 판단되었다. 또한, 설계하중의 2배 하중인 1200kN 까지의 반복재하에 의해 소성변형에 의한 연성거동을 확인할 수 있었다. 시험체 지간 중앙부의 하면에 부착한 콘크리트 변형율은 설계하중 이상 재하하여도 탄성거동을 나타내고 있었으며 이는 콘크리트의 불균질성에 의해 게이지 부착부위에 균열이 발생하지 않아 건전한 값을 나타내고 있었다. 3회의 반복하중 재하 후에 파괴는 복부의 좌굴에 의해 발생하였다. 20m 시험체였기 때문에 복부에 가력부 이외에는 수직보강재를 설치하지 않았았으므로 복부에 좌굴이 발생한 것으로 판단된다. 복부의 좌굴과 더불어 좌굴위치의 하부 케이싱 콘크리트는 강재의 변형에 따라 상부에 균열과 탈락 현상이 발생하였다. 좌굴발생이 설계하중의 약 2.5배의 하중에서 발생하였지만 강재와 콘크리트의 완전합성을 위한 전단연결재 및 스티럽 철근의 충분한 배치가 필요한 것으로 판단되었다.



(a) 하중-변위



(b) 콘크리트 변형률

<실험결과>



(a) 단부 강재 복부좌굴



(b) 케이싱 콘크리트 상면 파괴

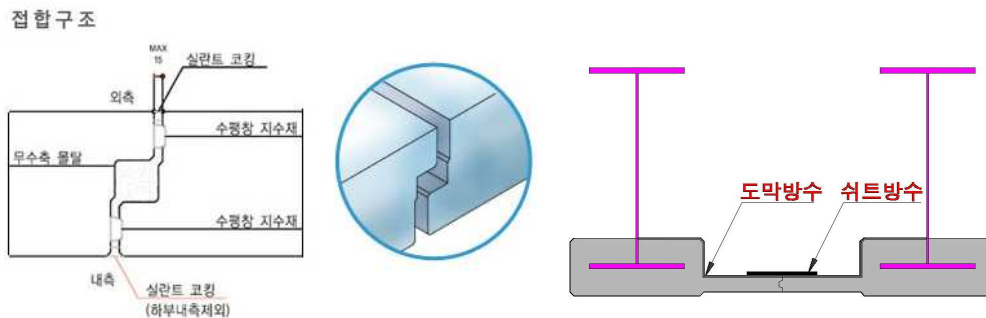
<파괴형상>

3. 매립형 강합성라멘 상세 개발

(1) 강합성거더 횡방향 연결상세

매립형 강합성거더의 거더간 횡방향 연결은 횡방향 강성 확보뿐만 아니라 토사유출 및 누수를 방지하여야 한다. 따라서 이에 대해 전단키 접합, 덮개판을 이용한 기계적 이음을 검토하였다.

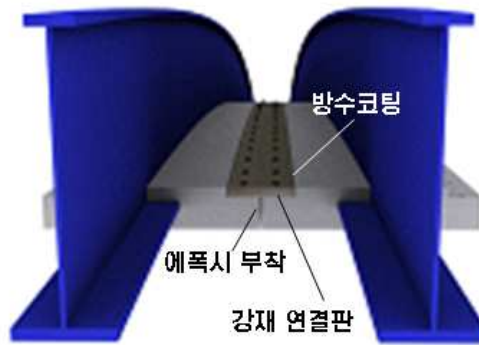
전단키를 이용하고 무수축물탈이나 방수쉬트를 설치하는 방법은 일부 구조물에서 적용되기는 하나 비교적 큰 수준의 토사하중에 의해 하부케이싱 콘크리트에 변형이 발생하여 케이싱 콘크리트 간에 약간의 틈이 발생할 수 있으며 횡방향 프리스트레스가 수반되어야 하기 때문에 이에 대한 적용은 배제하였다.



(a) 전단키, 무수축물탈 이용 연결 (b) 전단키, 쉬트방수 이용 연결

<기타 횡방향 연결상세>

따라서, 횡방향 강성확보를 위해 덮개판을 이용한 기계적 이음을 채택하였다. 미리 하부케이싱 콘크리트에 너트를 매입하고 거더 가설 후 하부케이싱 콘크리트 사시에 교축방향으로 에폭시를 도포하여 방수처리 및 부착을 수행하고 덮개 강판 볼트연결에 의해 양 거더를 연결하는 방식을 취하였다. 또한 연결판의 마감부에는 방수코팅을 실시하여 추가적인 방수효과를 도모하고자 하였다. 이에 대한 상세 및 시공방안은 특허출원을 위해 변리사와 협의중에 있으며 명세서 완성 후 즉시 출원예정이다.



<강합성거더 횡방향 연결 상세>

【요 약 서】

본 발명은 강재 I거더의 하부에 콘크리트가 합성된 강합성거더의 횡방향 연결장치에 관한 것으로써, 생태교량을 구성하기 위한 강합성거더에 토사를 매립하기 위해 상기 강합성거더를 횡방향으로 연결시키는 장치에 관한 것이다. 하부케이싱 콘크리트 양 측면 상부에 볼트홀이 구비되어 있는 다수의 강합성거더들을 횡방향으로 근접하게 교대 위에 가설한 뒤 연결강판으로 상기 볼트홀을 통해 상기 강합성거더들을 볼트연결함으로써 횡방향 강성 확보 및 토사에 매립된 후에도 누수방지가 가능하다.

【명 세 서】

【발명의 명칭】

매립형 강합성거더 횡방향 연결장치

Transverse Connection Equipment of Steel Composite Girder Filled into Soils

【도면의 간단한 설명】

도 1은 기존 생태교량 횡단면도

도 2는 매립형 강합성거더 교량 횡단면도

도 3은 본 발명의 매립형 강합성거더 횡방향 연결 상세도

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

본 발명은 매립형 강합성거더의 횡방향 연결장치에 관한 것이다. 일반적으로 강합성거더 교량은 바닥판 콘크리트에 의해 하중 분배가 되기 때문에 일정간격을 두고 횡방향으로 배치되게 된다. 하지만 생태교량을 구성하기 위해서는 최소 토피고 이상의 토사가 바닥판 콘크리트 상부에 적재되어야 하기 때문에 전체적

인 상부계획고(거더높이+바닥판 두께+최소토피고)의 증가는 불가피하다. 따라서 이러한 상부계획고를 낮게 형성하기 위해 바닥판을 사용하지 않고 강합성거더를 근접 배치하여 연결한 뒤 토사에 매립하는 매립형 강합성거더가 고안되었다.(10-0908904)

하지만 상기 강합성거더의 횡방향 연결은 근접 배치 후 PC패널 설치나 콘크리트 타설에 의한 방법으로 시공시 교량 하부의 차량 또는 보행에 지장을 줄 뿐만 아니라 교축 또는 교축직각방향으로 인장부위에 놓이기 때문에 균열을 피할 수 없는 문제가 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

본 발명은 상기 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 상기 강합성거더의 하부케이싱 콘크리트 양 측면 상부에 볼트홀을 구비하고 상기 강합성거더를 횡방향으로 근접하게 교대 위에 가설한 뒤 연결강판으로 상기 볼트홀을 통해 볼트연결함으로써 횡방향 강성 확보 및 토사에 매립된 후에도 누수방지가 가능한 매립형 강합성거더의 횡방향 연결장치를 제공하는 것에 있다.

【발명의 구성】

상기 기술적 과제를 달성하기 위하여 본 발명은 하부케이싱 콘크리트 양 측면 상부에 교축방향으로 볼트홀이 매립된 강합성거더와 볼트홀의 간격에 맞춰 일정 길이의 다수의 연결강판으로 구성된다.

【발명의 작용】

상기 하부케이싱 콘크리트 양 측면 상부에 볼트홀이 구비된 강합성거더를 횡방향으로 근접하게 교대 위에 가설한 뒤 연결강판을 교축방향으로 상기 볼트홀을 통해 볼트연결함으로써 연결강판의 강성에 의해 횡방향 강성을 확보하고 토사에 매립된 후에도 누수방지가 가능하다.

【발명의 효과】

본 발명에 의한 매립형 강합성거더의 횡방향 연결장치는 교량하부에 차량의 통행중에도 간편하게 연결강판에 의해 횡방향 연결을 할 수 있어 시공성이 뛰어나지만 뿐만 아니라 횡방향 강성 확보 및 토사에 매립된 후에도 누수방지가 가능하다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

강재 I거더의 하부에 콘크리트가 합성된 강합성거더의 횡방향 연결장치에 관한 것으로서, 하부케이싱 콘크리트 양 측면 상부에 볼트홀이 구비되어 있는 다수의 강합성거더들을 횡방향으로 근접하게 교대 위에 가설한 뒤 연결강판으로 상기 볼트홀을 통해 상기 강합성거더들을 볼트연결하는 매립형 강합성거더의 횡방향 연결장치

【청구항 2】

상기 1항에 있어,

강합성거더가 횡방향으로 연결되기 전에 근접해 있는 하부케이싱 콘크리트 측부에 교축방향으로 실링재를 마감하는 제작공정을 포함하는 강합성거더의 횡방향 연결 방법

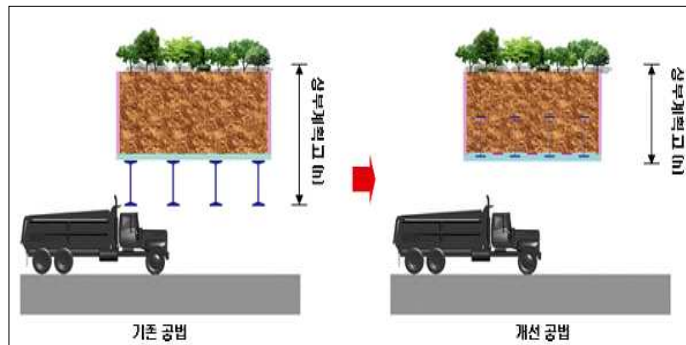
【청구항 3】

상기 1항에 있어,

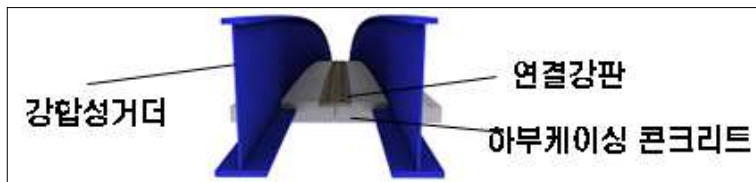
강합성거더가 횡방향으로 연결된 후에 토사가 매립되는 매립형 강합성거더교량 제작방법

도 면

도 1.

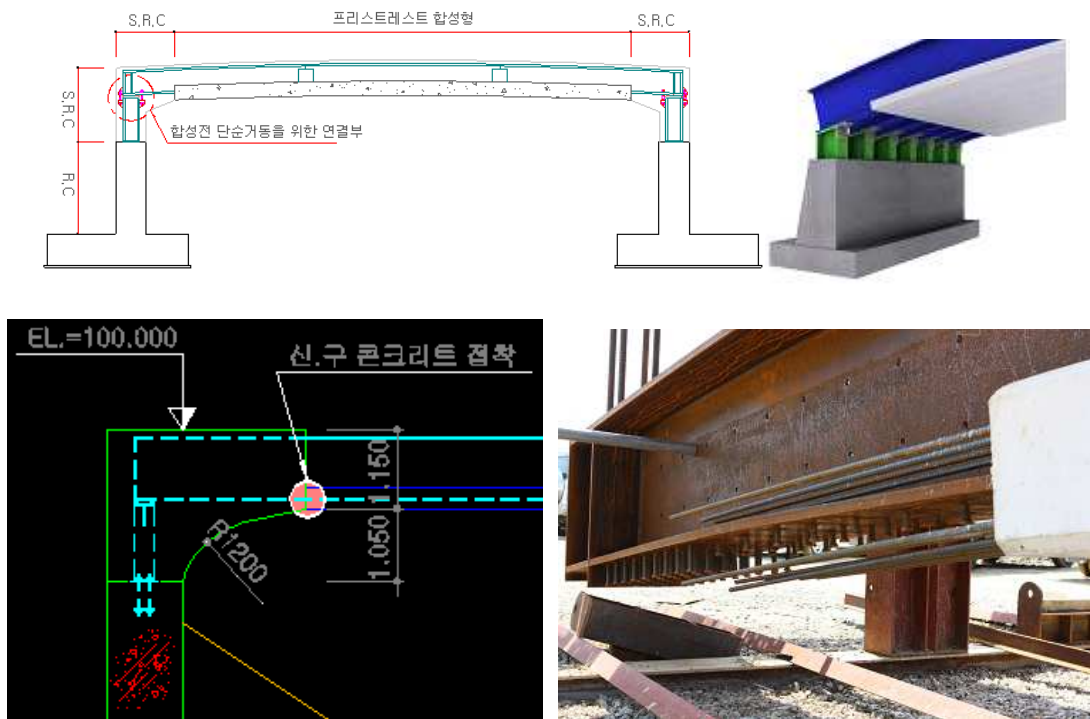


도 2.



(2) 라멘구조 지점부 연결상세

매립형 프리플렉스 거더는 생태교량에 적용되기 때문에 보다 형고를 저감할 수 있는 구조로 시공되어야 하기 때문에 라멘구조를 채택하였는데 이러한 경우 지간이 길어지게 되면 부모멘트부가 비대해져 비경제적인 구조를 형성하기 쉽다. 따라서, 강합성거더의 자중은 강합성거더가 지지하고 토피하중 및 활하중은 라멘구조가 지지하도록 시공단계를 구성하였다. 거더를 벽체위에 단순거치 후에 단부를 강봉 또는 볼트로 연결하고 헌치부 철근배근 및 콘크리트 타설을 통해 거더와 벽체의 합성을 구현하게 된다. 미리 제작되는 하부케이싱 콘크리트와 새로 타설되는 지점부 콘크리트의 연속성 확보를 위해 하부케이싱 콘크리트가 지점부와 만나는 부분쪽으로 철근을 연장배근하게 되는데 부모멘트부 철근은 최대 29mm를 사용하고 1단 배치에 의해 합성을 구현할 수 있게 된다.



<라멘구조 지점부 연결상세>

4. 매립형 강합성라멘 설계도서 개발

매립형 프리플렉스 라멘교량의 최적화 변수 연구를 위해 Excel을 이용한 간이 구조계산 프로그램을 작성하고 이에 대한 단계적 보완을 통해 구조계산서를 완성하였다. 이를 통해 본 연구과제에서 구현하고자 하는 30m, 35m, 40m 교량에 대한 구조계산서 예제를 작성하고 설계도면을 작성하였다.

(1) 지간장 30m, 35m, 40m 매립형 강합성 라멘교량 설계도면 작성

(a) 30m 매립형 강합성 라멘교량

LOAD CASE	Steel		Casing Concrete		Rebar
	fsu	fsl	fcu	fcl	fr
① 프리플렉션	-390.10	243.45	0.00	0.00	0.00
② 릴리스	349.66	-77.09	2.38	-15.79	0.00
③ P.F.BEAM 자중	-132.00	29.10	-0.90	5.96	0.00
④ 초기크리프	0.23	-3.24	-0.45	0.75	0.00
⑤ 초기건조수축	0.08	-1.08	0.07	0.03	0.00
⑥ 합성전자중	-147.61	31.90	-1.11	6.84	0.00
⑦ 합성후자중	-163.38	35.31	-1.23	7.57	0.00
⑦ 합성후자중(RE)	-179.29	95.09	-	-	103.40
⑧ 최종크리프	0.20	-2.31	-0.14	0.35	0.00
⑨ 최종건조수축	2.79	-29.02	1.55	1.08	0.00
⑩ 비고정하중(+)	-18.47	3.99	-0.14	0.86	0.00
⑩ 비고정하중(RE)	-20.27	10.75	-	-	11.69
⑩ 비고정하중(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
⑩ 비고정하중T(+)	-25.30	5.47	-0.19	1.17	0.00
⑩ 비고정하중T(RE)	-27.76	14.72	-	-	16.01
⑩ 비고정하중T(-)	3.36	-0.73	-0.03	0.16	0.00

※ (+) : 정모멘트 작용시 인장응력을 받는 콘크리트의 단면 고려(허용인장응력 이내)

(-) : 부모멘트 작용시

(RE) : 정모멘트 작용시 콘크리트 단면 무시하고 교축방향 철근 단면의 일부로 산정

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 미고려

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 고려

<하중단계별 응력집계>

LOAD COMBINATIONS		Steel		Casing Concrete		Rebar
		fsu	fsl	fcu	fcl	fr
①		-390.10	243.45	-	-	-
Allowable	Ten.	552.00	304.00	-	-	-
	Com.	-621.00	-342.00	-	-	-
Σ (①~③)		-172.44	195.46	1.48	-9.83	-
Σ (①~⑤)		-172.13	191.14	1.10	-9.05	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.00	3.00	-
	Com.	-380.00	-230.00	-21.60	-21.60	-
Σ (①+②+⑥~⑨)		-348.44	202.24	1.45	0.05	-
Σ (①+②+⑥~⑩(+))		-366.91	206.23	1.31	0.91	-
Σ (①+②+⑥~⑩(-))		-348.44	202.24	1.45	0.05	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.16	3.16	160.00
	Com.	-437.00	-230.00	-16.00	-16.00	-
Σ (①+②+⑥~⑨)		-348.44	202.24	1.45	0.05	-
Σ (①+②+⑥~⑩(+))		-373.74	207.71	1.26	1.22	-
Σ (①+②+⑥~⑩(-))		-345.08	201.51	1.42	0.21	-
Allowable	Ten.	437.00	264.50	3.63	3.63	184.00
	Com.	-494.00	-264.50	-18.40	-18.40	-

※ 압축:-, 인장:+

<조합응력 검토>

(b) 35m 매립형 강합성 라멘교량

LOAD CASE	Steel		Casing Concrete		Rebar
	fsu	fsl	fcu	fcl	fr
① 프리플렉션	-397.91	242.74	0.00	0.00	0.00
② 릴리스	364.18	-84.45	0.21	-16.27	0.00
③ P.F.BEAM 자중	-138.06	32.01	-0.08	6.17	0.00
④ 초기크리프	0.41	-4.20	-0.39	0.85	0.00
⑤ 초기건조수축	0.10	-1.00	0.07	0.04	0.00
⑥ 합성전자중	-154.07	35.01	-0.17	7.05	0.00
⑦ 합성후자중	-170.41	38.72	-0.19	7.80	0.00
⑦ 합성후자중(RE)	-183.69	97.40	-	-	104.42
⑧ 최종크리프	0.30	-2.79	-0.09	0.40	0.00
⑨ 최종건조수축	2.96	-26.13	1.62	1.25	0.00
⑩ 비고정하중(+)	-17.20	3.91	-0.02	0.79	0.00
⑩ 비고정하중(RE)	-18.54	9.83	-	-	10.54
⑩ 비고정하중(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
⑩ 비고정하중T(+)	-24.59	5.59	-0.03	1.13	0.00
⑩ 비고정하중T(RE)	-26.51	14.06	-	-	15.07
⑩ 비고정하중T(-)	3.29	-0.75	0.00	0.15	0.00

※ (+) : 정모멘트 작용시 인장응력을 받는 콘크리트의 단면 고려(허용인장응력 이내)

(-) : 부모멘트 작용시

(RE) : 정모멘트 작용시 콘크리트 단면 무시하고 교축방향 철근을 단면의 일부로 산정

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 미고려

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 고려

<하중단계별 응력집계>

LOAD COMBINATIONS		Steel		Casing Concrete		Rebar
		fsu	fsl	fcu	fcl	fr
①		-397.91	242.74	-	-	-
Allowable	Ten.	552.00	304.00	-	-	-
	Com.	-621.00	-342.00	-	-	-
Σ (①~③)		-171.79	190.30	0.13	-10.10	-
Σ (①~⑤)		-171.28	185.10	-0.19	-9.21	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.00	3.00	-
	Com.	-380.00	-230.00	-21.60	-21.60	-
Σ (①+②+⑥~⑨)		-354.95	203.10	1.38	0.23	-
Σ (①+②+⑥~⑩(+))		-372.15	207.01	1.36	1.02	-
Σ (①+②+⑥~⑩(-))		-354.95	203.10	1.38	0.23	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.16	3.16	160.00
	Com.	-437.00	-230.00	-16.00	-16.00	-
Σ (①+②+⑥~⑩(+))		-379.54	208.69	1.35	1.36	-
Σ (①+②+⑥~⑩(-))		-351.66	202.35	1.38	0.38	-
Allowable	Ten.	437.00	264.50	3.63	3.63	184.00
	Com.	-494.00	-264.50	-18.40	-18.40	-

※ 압축:-, 인장:+

<조합응력 검토>

(c) 40m 매립형 강합성 라멘교량

LOAD CASE	Steel		Casing Concrete		Rebar
	fsu	fsl	fcu	fcl	fr
① 프리플렉션	-407.63	243.55	0.00	0.00	0.00
② 릴리스	377.77	-91.99	-1.71	-16.90	0.00
③ P.F.BEAM 자중	-143.09	34.85	0.65	6.40	0.00
④ 초기크리프	0.59	-5.11	-0.30	0.97	0.00
⑤ 초기건조수축	0.11	-0.93	0.07	0.05	0.00
⑥ 합성전자중	-160.80	38.37	0.67	7.36	0.00
⑦ 합성후자중	-169.67	40.49	0.70	7.77	0.00
⑦ 합성후자중(RE)	-180.99	95.66	-	-	101.46
⑧ 최종크리프	0.46	-3.82	-0.06	0.55	0.00
⑨ 최종건조수축	2.97	-23.66	1.68	1.38	0.00
⑩ 비고정하중(+)	-15.46	3.69	0.06	0.71	0.00
⑩ 비고정하중(RE)	-16.49	8.72	-	-	9.24
⑩ 비고정하중(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
⑩ 비고정하중T(+)	-23.25	5.55	0.10	1.06	0.00
⑩ 비고정하중T(RE)	-24.80	13.11	-	-	13.91
⑩ 비고정하중T(-)	3.00	-0.72	0.01	0.14	0.00

※ (+) : 정모멘트 작용시 인장응력을 받는 콘크리트의 단면 고려(허용인장응력 이내)

(-) : 부모멘트 작용시

(RE) : 정모멘트 작용시 콘크리트 단면 무시하고 교축방향 철근을 단면의 일부로 산정

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 미고려

⑩ : 비고정하중조합에서 온도변화 고려

<하중단계별 응력집계>

LOAD COMBINATIONS		Steel		Casing Concrete		Rebar
		fsu	fsl	fcu	fcl	fr
①		-407.63	243.55	-	-	-
Allowable	Ten.	552.00	304.00	-	-	-
	Com.	-621.00	-342.00	-	-	-
$\Sigma (① \sim ③)$		-172.95	186.41	-1.06	-10.50	-
$\Sigma (① \sim ⑤)$		-172.25	180.37	-1.29	-9.48	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.00	3.00	-
	Com.	-380.00	-230.00	-21.60	-21.60	-
$\Sigma (①+②+⑥ \sim ⑨)$		-356.90	202.94	1.28	0.16	-
$\Sigma (①+②+⑥ \sim ⑩ (+))$		-372.36	206.63	1.34	0.87	-
$\Sigma (①+②+⑥ \sim ⑩ (-))$		-356.90	202.94	1.28	0.16	-
Allowable	Ten.	380.00	230.00	3.16	3.16	160.00
	Com.	-437.00	-230.00	-16.00	-16.00	-
$\Sigma (①+②+⑥ \sim ⑩ (+))$		-380.15	208.49	1.38	1.22	-
$\Sigma (①+②+⑥ \sim ⑩ (-))$		-353.90	202.22	1.29	0.30	-
Allowable	Ten.	437.00	264.50	3.63	3.63	184.00
	Com.	-494.00	-264.50	-18.40	-18.40	-

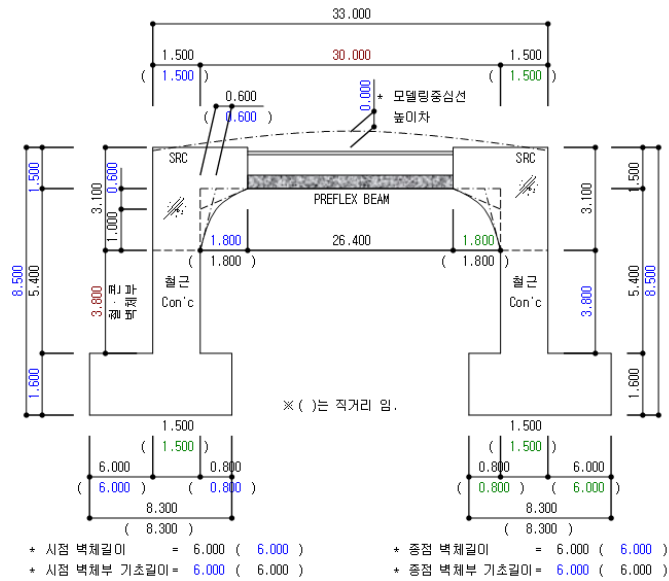
※ 압축:-, 인장:+

<조합응력 검토>

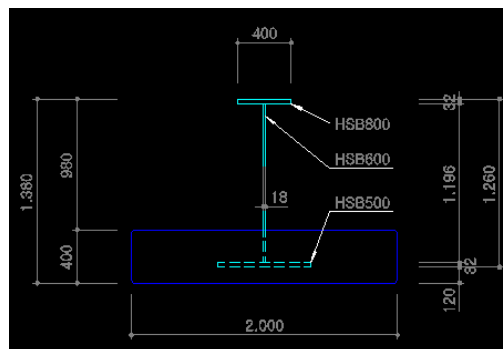
(2) 지간장 30m, 35m, 40m 매립형 강합성 라멘교량 설계도면 작성

(a) 30m 매립형 강합성 라멘교량

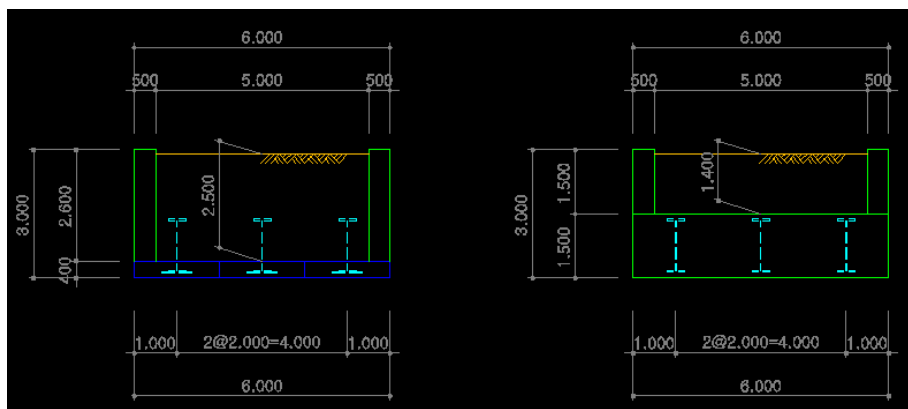
2.1 표준 종단면도 (SKEW = 90°)



<30m 강합성 라멘교량 일반도>



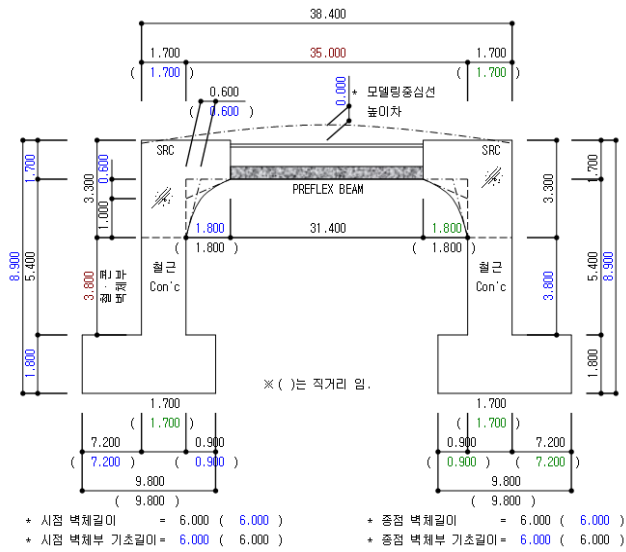
<30m 강합성 라멘교량 거더 단면도>



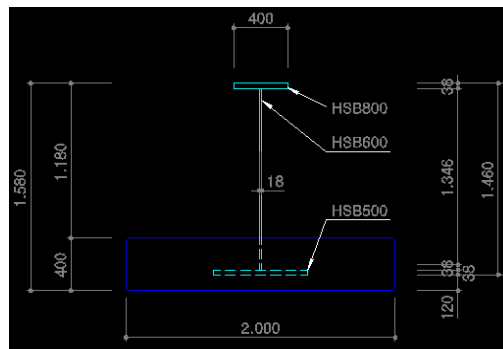
<30m 강합성 라멘교량 중앙단면(좌)/지점부단면(우)>

(b) 35m 매립형 강합성 라멘교량

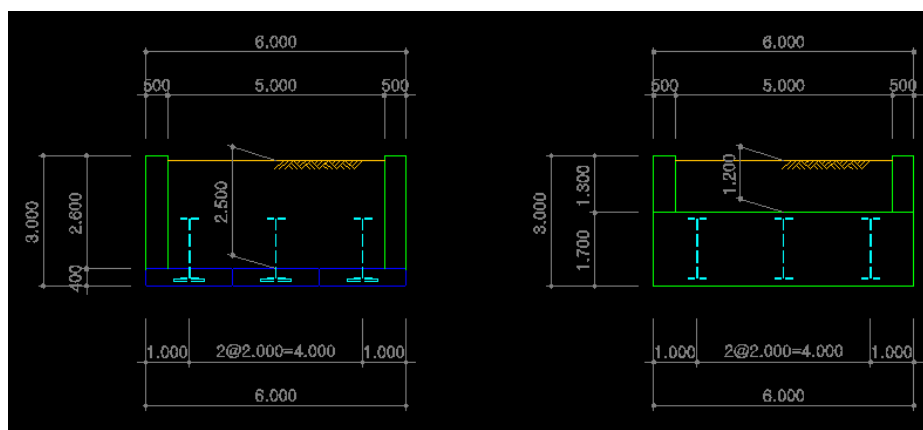
2.1 표준 종단면도 (SKEW = 90 °)



<35m 강합성 라멘교량 일반도>



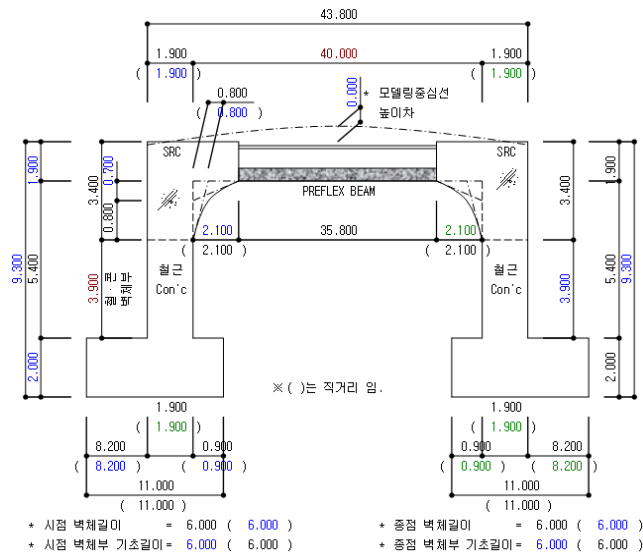
<35m 강합성 라멘교량 거더 단면도>



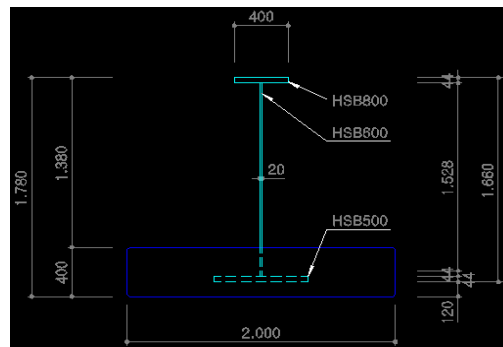
<35m 강합성 라멘교량 중앙단면(좌)/지점부단면(우)>

(c) 40m 매립형 강합성 라멘교량

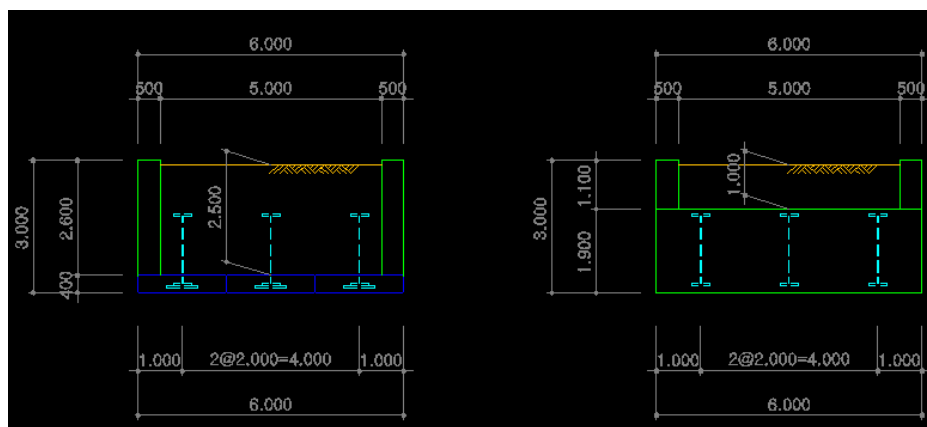
2.1 표준 종단면도 (SKEW = 90 °)



<40m 강합성 라멘교량 일반도>



<40m 강합성 라멘교량 거더 단면도>

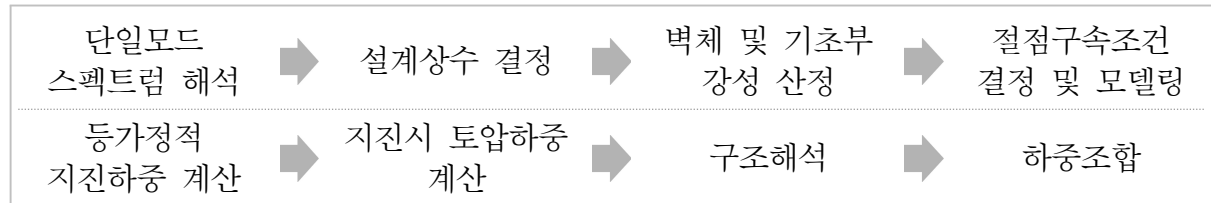


<40m 강합성 라멘교량 중앙단면(좌)/지점부단면(우)>

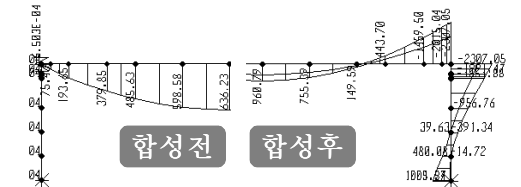
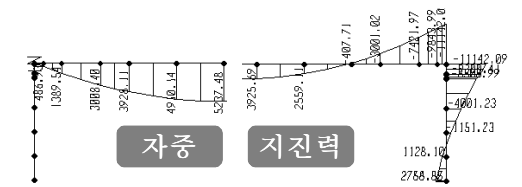
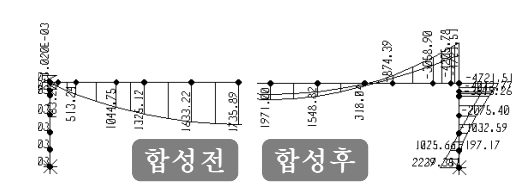
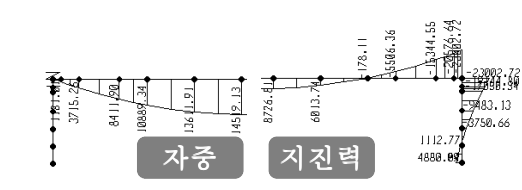
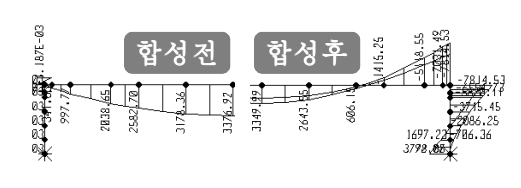
(3) 지간장 20m, 30m, 40m에 대한 구조계산서 및 상세도면

(a) 지진해석 흐름도 및 상세 검토결과

지진해석 흐름도



상시 vs 지진해석 B.M.D 비교

구분	상시 해석(극한하중)	지진시 해석																
20m	 합성전 합성후 【단위폭에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="298 1012 821 1088"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>1597.02</td><td>-2307.05</td><td>1001.94</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	1597.02	-2307.05	1001.94	 자중 지진력 【전체폭 8m에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="845 1012 1369 1088"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>1145.40</td><td>-1392.76</td><td>344.57</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	1145.40	-1392.76	344.57
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	1597.02	-2307.05	1001.94															
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	1145.40	-1392.76	344.57															
30m	 합성전 합성후 【단위폭에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="298 1359 821 1435"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>3706.89</td><td>-4721.52</td><td>2229.31</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	3706.89	-4721.52	2229.31	 자중 지진력 【전체폭 8m에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="845 1359 1369 1435"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>2905.74</td><td>-2875.34</td><td>606.73</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	2905.74	-2875.34	606.73
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	3706.89	-4721.52	2229.31															
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	2905.74	-2875.34	606.73															
40m	 합성전 합성후 【단위폭에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="298 1700 821 1778"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>6726.91</td><td>-7814.53</td><td>3778.86</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	6726.91	-7814.53	3778.86	 자중 지진력 【전체폭 8m에 대한 B.M.D】 <table data-bbox="845 1700 1369 1778"> <tr> <th>구분</th><th>빔중앙부</th><th>벽체상단</th><th>벽체하단</th></tr> <tr> <th>모멘트</th><td>5585.67</td><td>-4780.20</td><td>809.19</td></tr> </table>	구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단	모멘트	5585.67	-4780.20	809.19
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	6726.91	-7814.53	3778.86															
구분	빔중앙부	벽체상단	벽체하단															
모멘트	5585.67	-4780.20	809.19															

검토
결과

- 상시해석 결과가 지진시 보다 크게 발생됨.
- 크게 발생된 반력 및 단면력으로 구조 설계 수행

(b) 설계결과 요약 및 경제성 분석

■ 설계제원

지간	교폭	설계하중	내진설계	복토높이	지지 지반	기초형식
20~40m	8m	보도하중(3.5kN/m ²) 3등교(DB,DL-13.5)	I 등급 I 구역	1.5m	N=40이상	직접기초

■ 설계요약

20m

30m

40m

구조검토

구 분	응력 및 단면검토	비고
강재	상연 -268.2 < -380.0MPa	O.K!
	복부 -275.3 < -380.0MPa	O.K!
	하연 182.0 < 230.0MPa	O.K!
케이싱하연	0.59 < 3.16MPa	O.K!
벽체	상단 H25@125×2단	O.K!
	하단 H25@125×1단	O.K!
기 초	H29@125×1단	O.K!
지 지 력	510.5 < 600.0MPa	O.K!

※ 부호:압축(-), 인장(+)

구조검토

구 분	응력 및 단면검토	비고
강재	상연 -319.0 < -380.0MPa	O.K!
	복부 -306.2 < -380.0MPa	O.K!
	하연 193.8 < 230.0MPa	O.K!
케이싱하연	1.36 < 3.16MPa	O.K!
벽체	상단 H29@125×2단	O.K!
	하단 H32@125×1단	O.K!
기 초	H29@125×2단	O.K!
지 지 력	516.7 < 600.0MPa	O.K!

※ 부호:압축(-), 인장(+)

구조검토

구 분	응력 및 단면검토	비고
강재	상연 -312.7 < -380.0MPa	O.K!
	복부 -297.2 < -380.0MPa	O.K!
	하연 200.8 < 230.0MPa	O.K!
케이싱하연	1.10 < 3.16MPa	O.K!
벽체	상단 H32@125×2단	O.K!
	하단 H29@125×2단	O.K!
기 초	H29@125×3단	O.K!
지 지 력	521.2 < 600.0MPa	O.K!

※ 부호:압축(-), 인장(+)

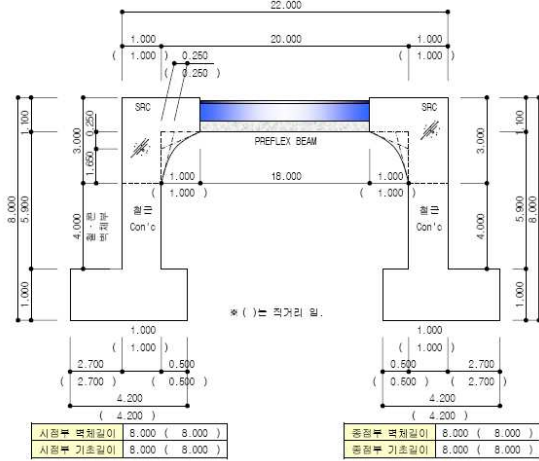
■ 경제성(면적당 전체 공사비-제경비 포함)

지간	매립형 합성라멘			기존 합성라멘			비고 ①/②
	상부	하부	계①	상부	하부	계②	
20m	117만원	61만원	178만원	150만원	78만원	228만원	0.78
30m	125만원	66만원	191만원	156만원	83만원	239만원	0.80
40m	130만원	68만원	198만원	169만원	87만원	256만원	0.77

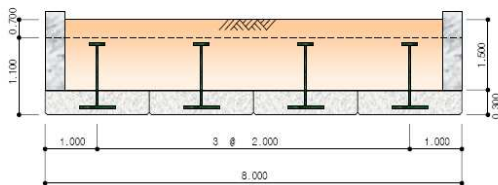
(c) 20m 구조계산서 및 구조도면

2. 표준단면도

2.1 표준 종단면도 (SKEW = 90°)



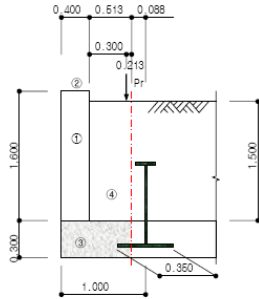
2.2 표준 횡단면도



3. 바닥판 설계(하부플랜지 콘크리트 횡방향검토)

3.1 캔틸레버부(방호벽부)

1) 단면가령



2) 최소두께검토

- 내진바닥판의 연하중에 대한 길이
 $L_o = 0.213 \text{ m}$
- 바닥판 최소두께
 $t_{o,min} = 140 \text{ mm}$ (보도부 바닥판의 최소두께로 일시적 작업상황하중 미고려)
- 바닥판 최소두께 검토
 $t_{o,use} = 300 \text{ mm} \geq t_{o,min} \rightarrow \text{OK!}$

3) 하중산정

A. 고정하중

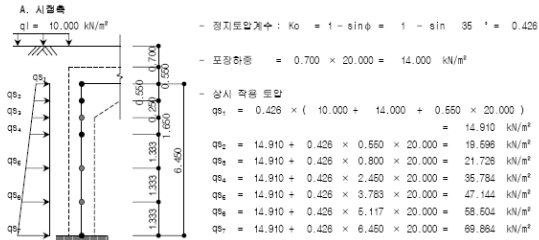
구분	두께(m)	길이(m)	단위중량(kN/m³)	중량(kN/m)	팔길이(m)	모멘트(kN·m/m)
① 상판	1.600	0.400	25.000	16.000	0.713	11.400
② 바닥판	0.300	0.913	25.000	6.844	0.456	3.122
③ 벽	1.500	0.513	20.000	15.375	0.266	3.940
④ 기단	-	-	-	1.000	0.713	0.713
Σ(Wd)	-	-	-	39.219	-	19.175

* 캔틸레버 끝단에서 방호벽 도넛까지 거리 : $x = 0.913 - 11.400 / 16.000 = 0.200 \text{ m}$

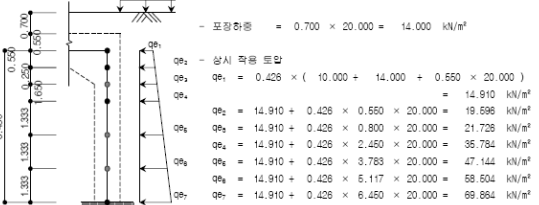
4.1.3 기타하중

1) 상시 토압

[LOAD CASE 3]



2) 풍하중



3) 온도하중

[LOAD CASE 5,6]

- 부재 상하면 온도차에 의한 온도하중 $\pm 0^\circ\text{C}$ 사용 : 부재축 직각방향
- 부재 최소단면이 700mm 이상 이므로 $\pm 10^\circ\text{C}$ 사용 : 부재축 방향

4) 건조수축

[LOAD CASE 7]

- 건조수축률 : $\epsilon = 15.0 \times 10^{-4}$
- 팽창계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$
- $\Delta T = \epsilon / \alpha = 15.0^\circ\text{C}$ 사용

5) 지점침하

[LOAD CASE 8,9]

- 지점의 불응침하량은 10 mm로 추정

5. 내진설계

5.1 등가정적 지진하중 산정

5.1.1 상부구조 자동계산

기호	상부구조 연직하중 (W) (kN/m²)	Lw (m)	Wts (kN/m)
정하중	거대 정하중면적 = 8.406	18.000	57.641
하중	단부 등하중 면적 (28.532 + 34.782) × 1/2 = 31.657	2.000	24.120
	단부 부하면적 = 34.782	1.000	13.250
	소기(Wd1)	-	95.011
정하중 고정하중(Wd2)	29.029	21.000	232.235
합계(Wd1+Wd2)	-	-	327.246

여기서, Lw : 하중의 등하중 재하길이(모달할 경우)

Bt : 교폭 = 8.000 m

Le : 유조지반 = 21.000 m

Wts : 상부구조의 등하중 길이당 하중 $\{=(W \cdot Lw / Le) \cdot Bt\}$

5.1.2 SPRING 계수 [도.시.제V-6.4]

1) 벽체 뒷재하도 강성 산정(시공)

· 흙의 변형 계수

$$E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18000 \text{ kN/m}^2$$

A. 등하중 (교축방향 : X-Direction) 변위 강성

$$K_s = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18000 \times 8.000 = 61200.0 \text{ kN/m}$$

B. 등하중 (교축방향 : Y-Direction) 회전 강성

$$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18000 \times 8.000 \times 6.450^3 = 431334.7 \text{ kN·m/rad}$$

C. Y축, Z축으로의 변위강성과 Y축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

* 지진시 교축직각방향과 교방높이방향의 원형 구조물에 영향을 미치지 않고

X, Z축의 회전은 교방강성이 커서 영향이 미미함.

2) 벽체 뒷재하도 강성 산정(중립)

· 흙의 변형 계수

$$E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18000 \text{ kN/m}^2$$

A. 등하중 (교축방향 : X-Direction) 변위 강성

$$K_s = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18000 \times 8.000 = 61200.0 \text{ kN/m}$$

B. 등하중 (교축방향 : Y-Direction) 회전 강성

$$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18000 \times 8.000 \times 6.450^3 = 431334.7 \text{ kN·m/rad}$$

C. Y축, Z축으로의 변위강성과 Y축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

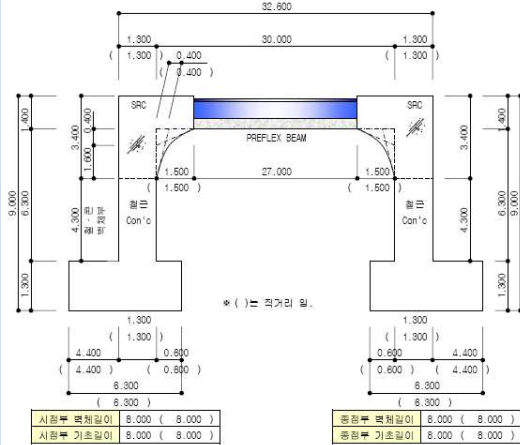
* 지진시 교축직각방향과 교방높이방향의 원형 구조물에 영향을 미치지 않고

X, Z축의 회전은 교방강성이 커서 영향이 미미함.

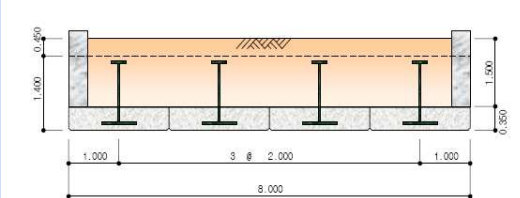
(d) 30m 구조계산서 및 구조도면

2. 표준단면도

2.1 표준 출단면도 (SKRW = 90°)



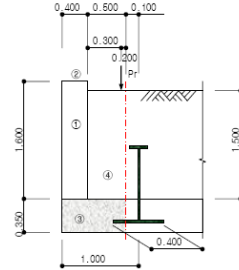
2.2 표준 출단면도



3. 바닥판 설계(하부플랜지 콘크리트 횡방향검토)

3.1 한틸레버부(방호벽부)

1) 단면가정



2) 최소두께검토

- 내외바닥판의 양방향에 대한 길이
 $L_o = 0.200 \text{ m}$
- 바닥판 최소두께
 $t_{o,min} = 140 \text{ mm}$ (보도부 바닥판의 최소두께로 일시적 적입차량하중 미고려)
- 바닥판 최소두께 검토
 $t_{o,use} = 350 \text{ mm} \geq t_{o,min} \rightarrow \text{OK}$

3) 하중산정

A. 고정하중

구분	두께(m)	길이(m)	단위중량(kN/m³)	중량(kN/m)	활길이(m)	모멘트(kN·m/m)
① 방호벽	1.600	0.400	25,000	16,000	0.700	11,200
② 바닥판	0.350	0.900	25,000	7,875	0.450	3,544
③ 배토	1.500	0.500	20,000	15,000	0.250	3,750
④ 기단	-	-	-	1,000	0.700	0.700
Σ(Wd)	-	-	-	39,875	-	19,194

* 현틀레버 끝단에서 방호벽 중심까지 거리 : $x = 0.900 - 11,200 / 16,000 = 0.200 \text{ m}$

5. 내진설계

5.1 등가정적 지진하중 산정

5.1.1 상부구조 자동계산

기호	상부구조 면적당 하중(W)	Lw	Wts
(kN/m²)	(m)	(kN/m)	(kN/m)
정적하중	거대 하중단면	$= 10.321 \times 27,000$	71,225
하중	단부 횡방향 한계	$(36,559 + 48,559) \times 1/2$	41,559
	단부 수직하중	$= 48,559 \times 1,300$	15,470
	스프링(Wsp)	-	118,581
합계	고정하중(Wd)	$= 28,417$	91,300
	합계(Wd+Wsp)	-	345,893

여기서, L_w : 하중의 등방형 재하길이(모듈형 참조)
 B_t : 교폭 = 8.000 m
 L_s : 유조지반 = 91.300 m
 Wts : 상부구조의 등방형 길이당 하중 $= (W_d / L_s) \cdot B_t$

5.1.2 SPRING 계수

[도.시 제V권 6.4]

1) 복제 뒷채움토 강성 산정(시공)

* 흙의 변형 계수
 $E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18,000 \text{ kN/m}^2$

A. 종방향 (교축방향 : X-Direction) 변위 강성

$K_s = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18,000 \times 8,000 = 61,200.0 \text{ kN/m}$

B. 횡방향 (교축직각방향 : Y-Direction) 회전 강성

$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18,000 \times 8,000 \times 7,000^3 = 508,032.0 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$

C. Y축, Z축으로의 변위강성과 X축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

* 지진시 교축직각방향과 교향높이방향의 흙은 구조물에 영향을 미치지 않고 X, Z축의 회전은 교향강성이 커서 영향이 미미함.

2) 복제 뒷채움토 강성 산정(충격)

* 흙의 변형 계수
 $E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18,000 \text{ kN/m}^2$

A. 종방향 (교축방향 : X-Direction) 변위 강성

$K_s = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18,000 \times 8,000 = 61,200.0 \text{ kN/m}$

B. 횡방향 (교축직각방향 : Y-Direction) 회전 강성

$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18,000 \times 8,000 \times 7,000^3 = 508,032.0 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$

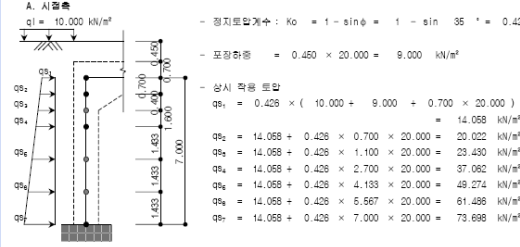
C. Y축, Z축으로의 변위강성과 X축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

* 지진시 교축직각방향과 교향높이방향의 흙은 구조물에 영향을 미치지 않고 X, Z축의 회전은 교향강성이 커서 영향이 미미함.

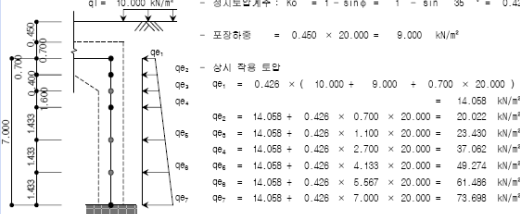
4.1.3 기타하중

1) 상시 토압

[LOAD CASE 3]



2) 풍하중



3) 온도하중

[LOAD CASE 5,6]

* 부재 상하면 온도차에 의한 온도하중 : $\pm 0^\circ \text{C}$ 사용 : 부재축 직각방향

* 부재 최소단면이 700mm 이상 이므로 : $\pm 10^\circ \text{C}$ 사용 : 부재축 방향

4) 건조수축

[LOAD CASE 7]

* 건조수축률 : $\epsilon = 15.0 \times 10^{-4}$

* 선형장계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^{-4}$

* $\Delta T = \epsilon / \alpha = 15.0^\circ \text{C}$ 사용

5) 지점침하

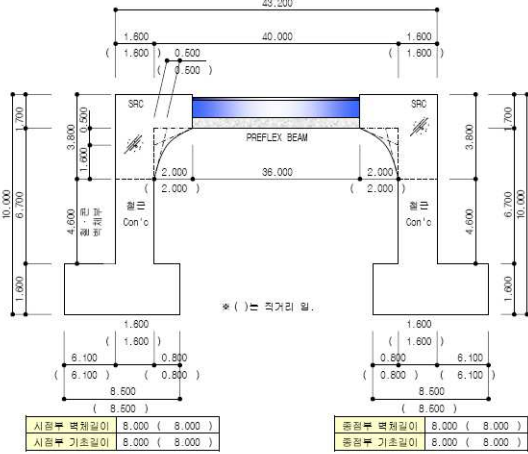
[LOAD CASE 8,9]

* 지점의 부등침하량 10 mm로 추정

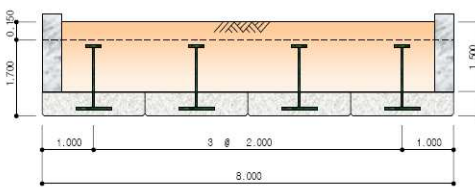
(e) 40m 구조계산서 및 구조도면

2. 표준단면도

2.1 표준 종단면도 (SKEW = 90°)



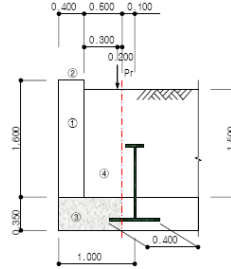
2.2 표준 횡단면도



3. 바닥판 설계(하부플랜지 콘크리트 횡방향검토)

3.1 팬틸레버부(방호벽부)

1) 단면가정



2) 최소두께검토

- 내외바닥판의 응축경에 대한 길이
 $L_o = 0.200 \text{ m}$
- 바닥판 최소두께
 $t_{o,min} = 140 \text{ mm}$ (보도부 바닥판의 최소두께로 일시적 적입차량하중 미고려)
- 바닥판 최소두께 검토
 $t_{o,use} = 350 \text{ mm} \geq t_{o,min}$ OK 0. K1

3) 하중산정

A. 고정하중

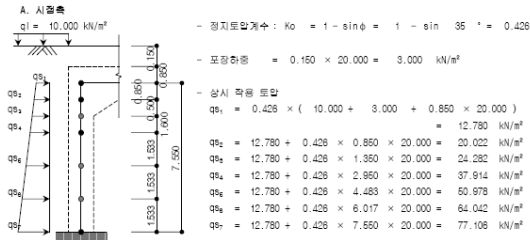
구분	두께(m)	길이(m)	단위중량(kN/m³)	중량(kN/m)	팔길이(m)	모멘트(kN·m/m)
① 방호벽	1.600	0.400	25.000	16.000	0.700	11.200
② 바닥판	0.350	0.900	25.000	7.875	0.450	3.544
③ 보도	1.500	0.500	20.000	15.000	0.250	3.750
④ 기단	-	-	-	1.000	0.700	0.700
Σ(Wd)	-	-	-	39.875	-	19.194

※ 팬틸레버 끝단에서 방호벽 도상까지 거리 : $x = 0.900 - 11.200 / 16.000 = 0.200 \text{ m}$

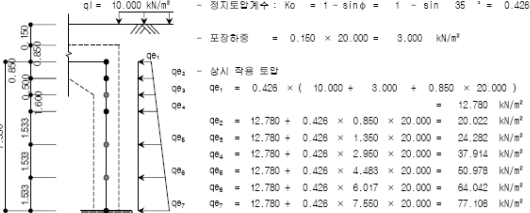
4.1.3 기타하중

1) 상시 하중

[LOAD CASE 3]



2. 온도하중



3) 건조수축

[LOAD CASE 7]

- 건조수축률 : $\epsilon = 15.0 \times 10^{-4}$
- 온도변화계수 : $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$
- $\Delta T = \epsilon / \alpha = 15.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 사용

4) 지열효과

[LOAD CASE 8.9]

- 지열의 부동화하중은 10 mm로 추정

5. 내진설계

5.1 등가정적 지진하중 산정

5.1.1 상부구조 자동계산

기호	상부구조 등가정적 하중(W) (kN/m²)	Lw (m)	Wts (kN/m)
합성전	거대 합성단면 = 11,297	36,000	78,210
하중	단부 횡방향 하중 $(44,851 + 57,351) \times 1/2 = 51,101$	4,000	39,308
	단부 수직방향 하중 = 57,351	1,600	17,648
	스개(Wd1)	-	135,164
합성후 고정하중(Wd2)	= 27,648	41,600	221,191
합계(Wd1+Wd2)	-	-	356,355

여기서, L_w : 하중의 등방향 재하길이(모듈형 참조)
 B_t : 교폭 = 8,000 mm
 L_e : 유류시간 = 41,600 mm
 Wts : 상부구조의 등방향 일일 하중 $[= (W \cdot L_w / L_e) \cdot B_t]$

5.1.2 SPRING 계수

[도.시 제 V 권 6.4]

1) 벽체 뒷채움토 강성 산정(시공)

- 흙의 변형 계수
 $E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18000 \text{ kN/m}^2$

A. 종방향 (교축방향) : X-Direction) 변위 강성

$$K_x = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18000 \times 8.000 = 61200.0 \text{ kN/m}$$

B. 횡방향 (교축직각방향) : Y-Direction) 회전 강성

$$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18000 \times 8.000 \times 7.550^3 = 591001.9 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

C. Y축, Z축으로의 변위강성과 X축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

- 지진시 교축직각방향과 교향축이 방향의 휨은 구조물에 영향을 미치지 않고
- X, Z축의 회전은 교향강성이 커서 영향이 미미함.

2) 벽체 뒷채움토 강성 산정(충격)

- 흙의 변형 계수
 $E_o = 1.2 \times N = 1.2 \times 15 = 18 \text{ MPa} = 18000 \text{ kN/m}^2$

A. 종방향 (교축방향) : X-Direction) 변위 강성

$$K_x = 0.425 \cdot E_o \cdot B = 0.425 \times 18000 \times 8.000 = 61200.0 \text{ kN/m}$$

B. 횡방향 (교축직각방향) : Y-Direction) 회전 강성

$$K_r = 0.072 \cdot E_o \cdot B \cdot H^3 = 0.072 \times 18000 \times 8.000 \times 7.550^3 = 591001.9 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

C. Y축, Z축으로의 변위강성과 X축, Z축에 대한 회전강성은 무시함.

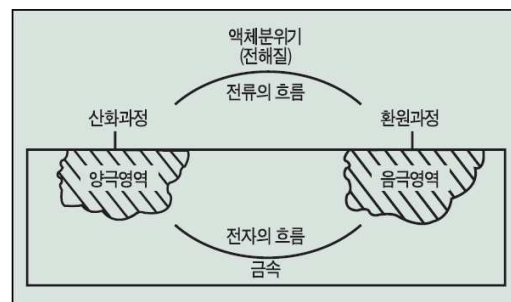
- 지진시 교축직각방향과 교향축이 방향의 휨은 구조물에 영향을 미치지 않고
- X, Z축의 회전은 교향강성이 커서 영향이 미미함.

5. 매립형 강합성라멘 부식방지방안 개발

(1) 부식방지 필요성

① 강재 부식의 정의

부식(腐蝕:Corrosion)이란 금속이 액체용액에 의해 퇴보되는 현상이라고 정의될 수 있다. 이를 다른 말로 표현하면 주위 환경과의 전기 화학적(電氣化學的) 또는 화학적(化學的) 반응에 의해 금속에 가해지는 파괴적인 공격이라고 할 수 있다. 이처럼 부식의 가장 중요한 특징은 전기화학적 기구 (電氣化學的機構: Electrochemical mechanism)에 의해 발생한다는 것이다. 부식과정의 전기화학적 성질은 다음 그림과 같다.



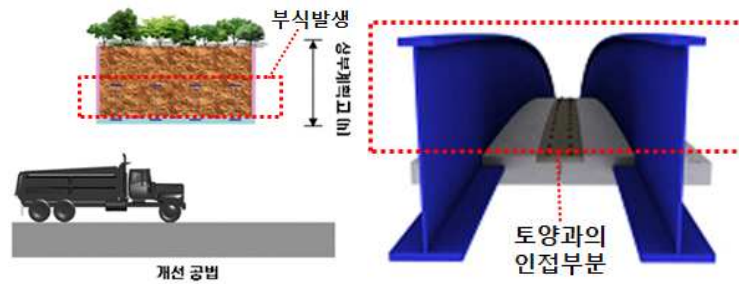
<부식과정의 전기 화학 모형>

강재의 경우, 산소 및 수분의 존재 하에서 부식이 진행되므로 비를 직접 맞는 부분에 비해 직접 맞지 않는 하부부분 및 내부부분은 발청이 상대적으로 적다. 특히 구조상 물이 고일 수 있는 부분이나 결로가 발생하는 부분은 방청이 크며 표면처리가 어려운 부분은 특히 녹 발생에 취약하므로 이 부분에 대한 표면처리에 유의하여야 한다. 그러므로 도막의 방청성능은 도료의 종류와 도막의 두께나 시공의 품질에 따라 크게 달라진다. 이러한 특성을 고려하여 도장사양, 도막두께 등을 결정하여야 할 것이다.

② 부식방지 대책의 필요성

본 연구의 매립형 프리플렉스 합성라멘의 경우에도 거더 하부에는 콘크리트로 타설이 되어있어, 강재가 직접적인 환경적인 요인에 의한 강재의 부식이 적지만, 거더의 상부단면의 경우에는 지반과 강재가 직접적으로 맞닿아 토양의

영향에 의한 거더 상부의 부식방지가 발생하기 때문에 이러한 부식방지를 위한 대책이 필요하다.



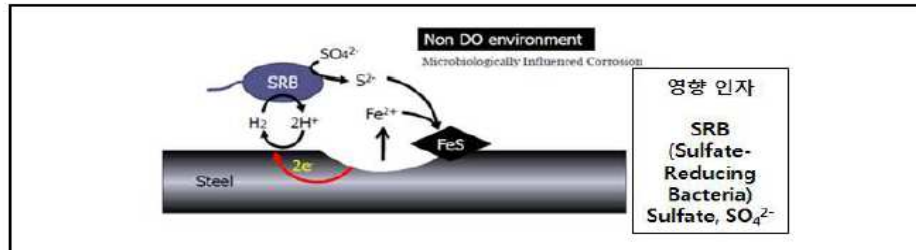
<매립형 프리플렉스 거더의 토양에 대한 방식 필요>

(2) 토양환경에 있어서의 부식특성

① 토양부식의 특성 및 원인

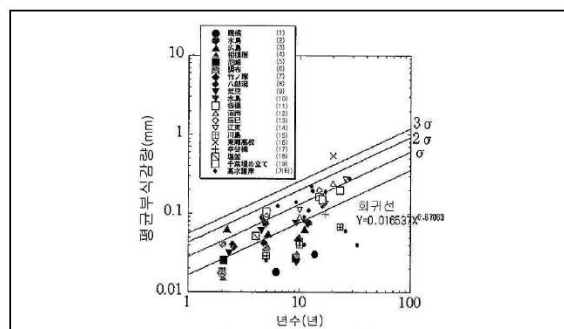
토중에서 공기의 조성은 대기 중에서의 조성보다 다르다. 그 이유는 토양에서는 생물학적인 과정이 공기의 조성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 나무뿌리의 호흡 및 물질의 분해 등은 산소를 소비하면서 CO_2 를 생성해 낸다. 따라서 토중에서는 산소 농도가 급격히 감소하는 반면 CO_2 의 농도는 반대로 증가한다. 이러한 현상은 대기와의 유통이 적을수록 심하다. 겨울에는 서리 및 물이 바깥 대기와 토중공기와의 유통을 방해하기 때문에 이러한 현상이 심하게 나타난다. 따라서 10m이상의 깊은 토중에서는 부식속도가 토양의 전기저항에 의해서 결정되지 않으며 토양 속의 물에 용해된 산소의 확산에 의해서 그리고 때로는 황산염 환원 박테리아에 의해서 결정된다. 그리하여 깊은 토중에서는 전기저항

이 적은데도 불구하고 부식속도가 느리게 되는데 그 이유는 산소의 공급이 부족하기 때문이다. 다음 그림은 용존산소량이 없는 환경에서 녹의 생성 모식도를 나타내고 있다. 한편, 혐기성 박테리아가 존재할 경우에는 깊은 토중에서 산소농도가 대단히 적은데도 불구하고 부식은 매우 빠른 속도로 발생한다.



<용존산소량이 없는 환경에서 녹의 생성 모식도>

다음 그림은 토양에 매립되어 있는 말뚝강관의 평균부식감량의 경년변화를 나타내고 있다. 년수의 경과와 함께 평균부식 감량이 증가하고 있는 경향을 알 수 있다. 이것은 외관관찰에서도 알 수 있듯이 강 표면에는 녹이 토사와 함께 고착된 것이 관찰되었다. 또한, 흙 중에서 부식에 의해 생성된 녹은 해양과 하천환경과 달라서 박리나 용출 등이 없고, 면에 멈추기 때문에 대기 중의 부식과 마찬가지로 녹에 의한 차폐효과가 발휘되어 경과년수에 따라 부식속도가 작아지는 것으로 판단된다.



<매립 말뚝강관의 평균부식감량의 경년변화>

일반적으로 토양에서 부식속도는 단위시간당 강 표면에 도달하는 산소량에 의해서 결정된다. 따라서 산소가 부족한 상태에서는 부식속도가 작다. 단, 후술하는 유산염환 원박테리아가 번식하는 경우는 산소가 없어도 박테리아에 의한 작용을 위해서 부식이 심해진다. 토양 중 산소는 지표에서 침투해오는 공기에

의한 것과 우수·N지하수에 의한 용존산소가 있다. 일반적으로 토양의 공기투과성과 산소흡착성에 좌우된다. 산소함유량은 깊은 곳에서 대폭 감소한다.

물의 pH가 낮으면(산성이 강할수록) 부식속도가 증대한다. 강의 경우, pH=4 정도로 강한 무기산과 접촉하면 수소를 발생시켜서 심한 부식이 발생한다. 탄산에는 이런 한계치가 pH=5 정도라고 한다. 또한 흙 중에 푸민산 등 유기산이 다량 함유된 경우는 pH는 중성에 가깝고 부식은 심해지는 경향이 있다. 그래서 토양의 부식성을 고려할 때는 토양에서 침출한 물의 pH뿐만 아니라 산의 종류와 함유량도 문제가 된다. 강의 부식속도는 pH=6.5 이상의 중성 또는 알칼리성의 토양의 경우는 pH보다 토양의 비저항에 의해 대부분 좌우되며, 산성 토양에는 비저항보다 pH의 영향을 받는다.

미생물은 다종다양한 물질의 합성이나 분해를 반복해서 주위환경에 영향을 받는다. 이런 미생물 중 어떤 것은 금속부식에 관여한다. 그것은 미생물이 직접 금속을 섭취하는 것이 아니라 그 번식에 의해 주위의 환경을 변화시켜서 금속이 부식하기 쉬운 환경을 만들어서 부식반응을 촉진시킨다. 다음 표는 토양부식에 관계하는 박테리아종을 나타내고 있다. 미생물 부식에 큰 영향을 미치는 유산염환원박테리아의 경우는 유기물 중의 수소를 산화시켜서 에너지를 얻고, 그 결과로 유화수소를 생성한다. 이 유화수소에 의해 강의 부식이 촉진된다. 해중에서의 부식에서 해저근방의 부식량이 커지는 경우는 침전물 중에 생식하는 유산염환원박테리아의 영향을 받은 경우가 많고, 부식생성물이 흑색으로 계란 썩은 냄새를 느끼는 경우는 유산염 환원균에 의한 것으로 판단된다.

<토양부식에 관련된 박테리아 종>

미생물	유산염환원균(SRB)	메탄생성균(MPB)	철산화세균(IOB)	이산화세균	철세균(IB)
분류	혐기성균		호기성균		
생식환경	혐기성 점토, 매립지, 퇴적지, 논환경 중에 번식하기 쉽다.		호기성의 유산성의 환경에서 번식	오기성토양, 유전, 이산화광바닥, 오수 등에 번식	주로 <i>Fe</i> , <i>Mn</i> 등을 포함한 우물물, 샘물, 용수 등 지하수에 주로 번식
지적	5.0~9.5	중성영역	2.0~2.5	2.0~3.5	6~8
영양물	SO_4^{2-} 유산등	초산 등	Fe^{2+}	S, FeS	Fe^{2+} , Mn^{2+} HCO_3^- , CO_3^{2-}
생물활동	SO_4^{2-} 를 S^{2-} 로 환원	메탄을 생성	Fe^{2+} 를 Fe^{3+} 로 산화. 생성하는 유산철은 가수분해되어 유산을 생성	이온 또는 유산철을 유산을 한다.	수산화철을 용존산소로 산화 $FeOOH$, Fe_3O_4 등 침지시킨 녹화를 형성

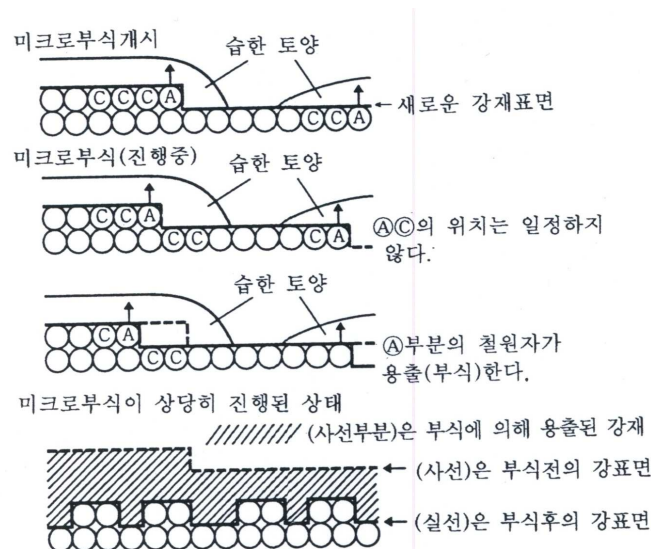
부식을 촉진시킨 인자는 전술한 산소, 산, 박테리아에 다음으로 탄산가스의 영향이 크고, 부식을 크게 촉진한다. 또한, 화산 · 온천지대에서 분출하는 아유산가스나 유화수소도 부식을 촉진시킨다. 유기물의 부패로 생기는 암모니아 등도 촉진인자의 하나이다. 특히 유화수소는 강표면에 유화물이 생겨서 국부 전지형성에 의한 부식촉진이 일어난다. 흙중에 많이 포함된 염화물 및 유산염이 일반적으로 부식을 촉진시킨다. 특히 염소 이온은 녹의 보호성을 저하시켜서 유해하다. 유산이온도 염소이온 다음으로 유해하다. 초산염 · 아초산염은 유산이온에 비해 부식에 대한 영향이 비교적 경미하다. 인산이온, 계산이온, 탄산이온은 일반적으로 부식으로 경감되고, 유리알칼리(OH^-)의 존재는 부식을 제어한다. 광산의 폐재(cinder)나 석탄재, 공장폐기물 등으로 매립된 토지는 유화물이나 무기산, 중금속 등 유해물질을 다량 포함하고 있어서 일반적으로 강한 부식성을 나타내는 경우가 많다.

토양과 접해있는 금속체 표면에는 표면상태, 화학조성 등의 사소한 차이로

인해 미시적(微視的)인 아노드부와 캐소드부로 구성되는 마이크로 부식전지(미시적인 국부전지)가 다수 형성되어 있다. 이것에 의한 부식을 마이크로 부식이라 하는데 부식의 진행에 따라 아노드와 캐소드부의 위치가 이동하면서 비교적 느린 속도로 전면에 균일한 부식이 발생된다.

마크로부식에 대해 상대적으로 자연전위(自然電位)가 낮은 부분(아노드부)과 높은 부분(캐소드부)이 거시적(巨視的)인 전지(마크로부식전지)를 형성해 아노드부의 부식이 촉진되는 것을 마크로부식이라 하며 다음과 같은 특징이 있다.

- 마이크로부식의 경우와 달리 아노드부와 캐소드부가 거시적인 면적을 보유, 각각 명확히 분리되어 있으며 그 위치는 변하지 않는다.
- 캐소드부의 면적과 아노드부의 면적비가 부식의 중요한 인자로서 부식속도에의 영향이 크다.

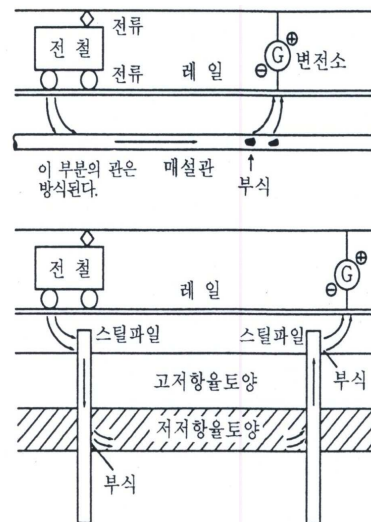


② : 아노드로 된 금속원자, ㉔ : 캐소드로 된 금속원자(아노드와 캐소드의 위치가 바뀌면서 마이크로 부식이 진행해 강재 표면이 거의 균일하게 용해된다.)

<강(鋼)표면에 있어서의 마이크로셀 구성(확대도)>

미주전류부식(迷走電流腐蝕)을 제외한 마이크로부식 및 마크로부식의 경우, 토양부식이 진행되고 있는 강(鋼)의 전위는 아노드 전위와 캐소드 전위 사이의 값을 나타낸다. 일반적으로 이 전위를 자연전위(自然電位)라 하는데, 토양 중에서 자연전위는 대부분의 경우 포화황산동전극(飽和黃酸銅電極) 기준으로 $-0.4 \sim -0.7V$ 의 범위에 있다.

미주전류란 전철이나 기타 전기설비로부터 대지(大地)로 누출되는 전류를 말하며, 주로 직류전류가 부식에 관여한다. 즉, 미주전류는 언젠가는 전원(電源)으로 되돌아오는데 그 경로(徑路)에 금속구조물이 존재할 경우 그 구조물에 유입되어 다시 토양으로 유출되는 부분에서 심한 부식이 발생한다.



매설관으로 유입되는 전류는 전철과 함께 이동해 유입부분은 방식된다. 그러나 전류가 매설관으로부터 유출하는 위치는 전철의 이동에 관계없이 변전소에 가까운 부분에 한정되기 때문에 부식이 집중된다.

<미주전류에 의한 매설관(위)과 강관 파일(아래)의 부식>

② 강재료 인자에 의한 부식

강재표면에 밀스케일(흑피)은 치밀한 녹이며 약간의 보호 작용을 가지고 있다. 그러나 불가피하게 균열이나 세공을 갖고 있어서 이 부분에서 바탕강재의 부식이 시작되어 주변부로 확대되며, 최종적으로는 밀스케일이 전부 떨어진다. 밀스케일은 높은 전위를 가지고, 강재에 대해서 음극으로 작용하기 때문에 해수중의 최대 침식깊이는 밀스케일이 부착된 강재가 밀스케일이 없는 강재보다 커지는 경우가 있다. 그러나 밀스케일은 일반적으로 반년에서 1년 정도에 소멸한다.

용접부는 용착금속부, 열영향부, 모재부에 각각 금속조직이 다르다. 또한, 사용하는 용접재료에 의해 모재부와 용착금속부와의 화학성분이 다르다. 따라서 이러한 조직 또는 화학성분의 차이에 의해 국부전지가 형성되고, 용착금속부, 열영향부 또는 모재부 중에 어느 것이 단독 부식속도보다 큰 부식속도가 되는

경우가 있다. 그러나, 이바라키 해양연구시설 파쇠대 관측 잔교((독)항만공항기술연구소)에서 10년간 사용된 강관말뚝을 잘라내서 회수한 결과에 따르면, 스파이럴 심용접부 근방에는 특히 구멍패임도 보이지 않고, 모재와 동일한 정도의 부식상태를 나타내었다.

강재의 내해수성에 대한 합금원소의 효과정도는 환경의 부식구분이나 합금원소의 조합방법 및 첨가량에 의해 변동하고, 그 변동정도는 대기환경일 때 보다 크게 된다. 해수 중에서 각종첨가원소의 부식억제효과를 다음 표에 나타낸다. 내해수강은 이런 점에 기초해서 개발된 저합금 · 강이며, 비말대용(splash zone), 해수용 및 비말 · 해수용이 있다. 내해수강의 평균부식속도는 탄소강의 1/2 ~ 1/5정도이지만, 구멍패임 현상이 나타나는 경우가 있다.

<강재의 내해수에 대한 첨가원소의 영향>

((財)沿岸開発技術研究センター, 1997)

원소	첨가량범위	비말대	해중부
C	0.2%	X	X
Si	0.2%~1.5%	O	O
Mn	0.2~2.0%	O	△
P	0.06~1.5%	◎	O
S	0.05%	X	X
Cu	0.2~0.5%	◎	△
Ni	0.1~0.5%	◎	△
Cr	0.3%~2.0%	△	◎
Al	0.2%	O	◎
Mo	0.2%	O	O

◎:매우 효과가 큼 O:효과있음 △:효과없음 x:유해

③ 각국의 강재 부식대 공제값 및 부식 평가법

1) 일본기준

부식영역에 의한 방법은 구조물의 내용년수 기간 중에 강재의 부식량에 맞는 실두께를 미리 부식영역으로 예상하는 방법이며, 토목, 건축분야에는 일반적으로 행해진다. 이런 방법은 흙 안과 같이 부식이 평균적인 경우나 부식속도가 비교적 작은 경우에 적합하지만, 해상, 해중과 같이 부식속도가 큰 경우나 예측하기 어려운 경우 및 집중부식이 발생하기 쉬운 환경에는 적합하지 않다. 토목, 건축, 항만, 어항 및 하천의 각 분야에서 강말뚝의 부식영역 및 방식법에 관한 일본 규정은 다음 표에 나타나 있다.

<강말뚝의 부식영역 및 방식법에 관한 규정(건축)>

기준명칭	부식영역	비고
국토교통성고시 제 113호 제88 (2001)	부식영역(유효한 방식조치를 할 경우를 제외하고, 1mm이상으로 한다.)	전기방식
건축기초구조설계지침 ((사)일본건축학회, 2001)	부식영역으로, 1mm로 설정하면 충분하다	표면도장(콜타르와 수지계의 강인한 도금도료에 의해 보호피막) 기타상세는 「건축용 강관말뚝시공지침·동해설」을 참조할 것
건축구조설계지침 (동경도, 2002)	예로, 「개단말뚝의 부식영역으로 외측 1mm의 경우에 강관말뚝의 말뚝재에서 정하는 허용내력」을 가하고 있다.	-

<강말뚝의 부식영역 및 방식법에 관한 규정(토목)>

기준명칭	부식영역	비고
도로교시방서 · 동해설Ⅳ하 부구조편((사) 일본도로협회,2 002)	해수나 강의 부식을 촉진시키는 공 장배수등을 받지 않고, 방식처리도 실시하지 않는 것은 상시로 수중 및 토중에 있는 부분(지하수중부를 포 함)에 대해서 1mm의 부식영역을 고 려하지 않아도 된다. 강관소일시멘트 말뚝의 경우는 강관이 소일시멘트 기둥에 매립되기 때문에 방식은 양 호하다고 판단되지만, 전술한 것과 같이 1mm의 부식영역을 고려	해수, 등의 부식을 촉진시 키는 공장폐수의 영향을 받 는 부분 및 상시건조를 반 복하는 부분은 충분한 방청 처리를 해야 한다. (1) 도 장, (2) 유기라이닝, (3) 무 기라이닝, (4) 금속라이닝, (5) 전기라이닝
수도고속도로 가시설 구조물설계요 령((재)수도고 속도로후생회, 2003)	도로교시방서의 규정에 준한다.	-
설계기준((재) 한신고속도로 공단, 1995)	부식대는 일반적으로 1mm를 고려하 는 것이 좋다. 강관말뚝의 부식영역 은 외주면, H형강말뚝은 전주면에 대해서 고려한다.	-
설계기준(안) 토목설계(일본 하수도사업단, 1992)	도로교시방서· 동해설Ⅳ 하부구조편 의 규정에 준한다. 일반적으로 2mm 를 고려한다.	해수 또는 강의 부식을 촉 진시키는 공장폐수의 영향 을 받는 부분 및 상시건습 을 반복하는 부분은 충분한 방청처리를 해야 한다. (1) 도장, (2) 유기라이닝, (3) 무기라이닝, (4) 금속라이 닝, (5) 전기방식
토질개량사업 계획설계기준 · 설계 기준서기술서 (농림수산성구 조개선국, 1995)	말뚝의 주변토에 접하는 표면은 2mm 강재로 둘러싸인 내측의 표면 은 0.5mm~6cm이상 두께의 콘크리 트에 접하는 표면은 0mm	-

주 : 토목관계의 부식영역은 2000년12월 로교시방서·
동해설의 개정 시에 종래 2mm에서 1mm로 변경됨.

<강말뚝의 부식영역 및 방식법에 관한 규정(하천)>

기준명칭	부식명칭
건설성사무연락(1979)호안용강과일시 트의 선정에 대해서	앞뒷면을 합하여 2mm, 특히, 부식이 두드러진다고 판단되는 경우는 현지 에서 적합한 부식영역을 예측
재해복구공사 설계요령(2002) ((사)전국방재협회)	1급하천 앞뒷면 합해서 2mm

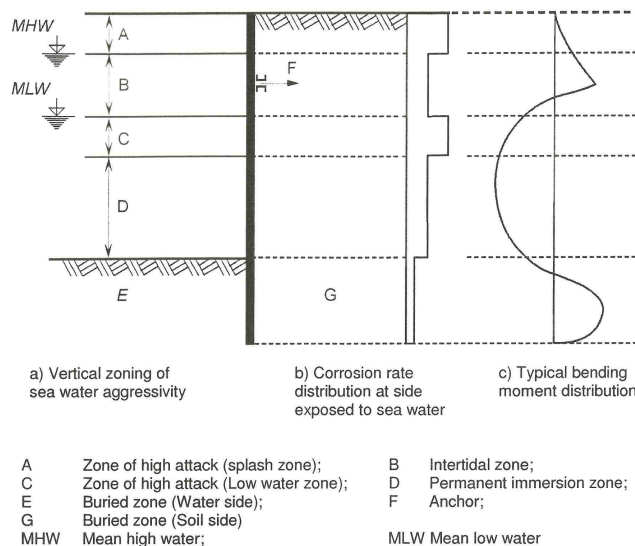
운송성 항만국 감수 (사)일본항만협회의 「항만시설의 기술상 기준 · 동해
설」에는 부식영역에 의한 방법은 원칙적으로 이용하고 있지 않다. 한편, 수산
청감수 (사)전국어항협회의 어항의 기술자료」에는 부식영역에 의한 설계를
인정하고 있다. 그러나, 어항강구조물도 항만시설과 마찬가지로 부식속도는 크
고, 집중부식도 발생하기 때문에 부식영역을 이용하는 경우에 충분히 검토할
필요가 있다. 건축 · 토목관계 기준에 의하면 방식조치를 하지 않으면, 부식영
역은 일반적으로 1mm~2mm로 규정되어 있지만, 최근에는 1mm를 적용하고
있다.

<강말뚝의 부식영역 및 방식법에 관한 규정(항만, 어항)>

기준명칭	부식영역	비고																			
항만시설의 기술상 기준·동해설((사)일본항만협회 1999)	간만대 및 해중부에서 부식환경조건에 의해서는 집중부식 등의 현저한 부식이 발생할 염려가 있어서 부식영역에 의한 방식은 이용하지 않는 것이 원칙이다. 단, 가설구조물의 경우는 부식영역에 의한 방식을 적용해도 된다. 그 때 항만시설에 이용하는 강재의 부식속도는 일반적으로 가설구조물의 조사결과를 정리한 「강재의 부식속도 표준치」를 표준으로 한다. 수치는 한쪽면의 부식속도이기 때문에 강재 양면의 상황을 고려해서, 양면의 수치를 합해서 사용한다. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">부식환경</th><th>부식속도 (mm/년)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">바다측</td><td>H.W.L이상</td><td>0.3</td></tr> <tr> <td>H.W.L~L.W.L-1.0m</td><td>0.1 ~ 0.3</td></tr> <tr> <td>L.W.L-1.0m~해저부</td><td>0.1 ~ 0.2</td></tr> <tr> <td>해저진흙층</td><td>0.03</td></tr> <tr> <td rowspan="3">육지측</td><td>육상대기중</td><td>0.1</td></tr> <tr> <td>토중(잔류수위 이상)</td><td>0.03</td></tr> <tr> <td>토중(잔류수위이하)</td><td>0.02</td></tr> </tbody> </table>	부식환경		부식속도 (mm/년)	바다측	H.W.L이상	0.3	H.W.L~L.W.L-1.0m	0.1 ~ 0.3	L.W.L-1.0m~해저부	0.1 ~ 0.2	해저진흙층	0.03	육지측	육상대기중	0.1	토중(잔류수위 이상)	0.03	토중(잔류수위이하)	0.02	2.4.3 방식법(제38조관계) 강재의 방식대책은 강재가 놓인 자연환경에 따라서 전기방식공법 또는 도장공법기타 방식공법에 의해 적절하게 한다. 이런 경우 평균간조면 이하는 전기방식공법, 식망평균간조면(L.W.L)이하 1m보다 위부분은 도장 공법에 의해 방식대책을 세우는 것을 표준으로 한다. 2.4.4 전기방식공법 (적용범위) 평균간조면(ML.WL)이하를 원칙으로 한다. (1) 도장 (2)유기라이닝 (a) 폴리에틸렌라이닝 (b)우레탄에라스토펠라이닝 (c)초후막형라이닝 (d)방식테이프라이닝 (f)FRP라이닝 (3)페도로탐라이닝 (4)무기질라이닝
부식환경		부식속도 (mm/년)																			
바다측	H.W.L이상	0.3																			
	H.W.L~L.W.L-1.0m	0.1 ~ 0.3																			
	L.W.L-1.0m~해저부	0.1 ~ 0.2																			
	해저진흙층	0.03																			
육지측	육상대기중	0.1																			
	토중(잔류수위 이상)	0.03																			
	토중(잔류수위이하)	0.02																			
어항의 기술지침((사)전국어항협회 1999)	부식영역은 30년을 고려하는 것을 표준으로 한다. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">부식환경</th><th>부식속도</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">바다측</td><td>H.W.L이상</td><td>0.3</td></tr> <tr> <td>H.W.L ~ L.W.L-1.0m</td><td>0.1 ~ 0.3</td></tr> <tr> <td>L.W.L-1.0m~해저부</td><td>0.1 ~ 0.2</td></tr> <tr> <td>해저진</td><td>0.03</td></tr> <tr> <td rowspan="3">육지측</td><td>육상대기중</td><td>0.1</td></tr> <tr> <td>토중(잔류수위 이상)</td><td>0.03</td></tr> <tr> <td>토중(잔류수위이하)</td><td>0.02</td></tr> </tbody> </table> 강재의 평균부식속도(mm/년)	부식환경		부식속도	바다측	H.W.L이상	0.3	H.W.L ~ L.W.L-1.0m	0.1 ~ 0.3	L.W.L-1.0m~해저부	0.1 ~ 0.2	해저진	0.03	육지측	육상대기중	0.1	토중(잔류수위 이상)	0.03	토중(잔류수위이하)	0.02	(1) 피복재에 의한 방식: 무기질라이닝, 금속라이닝, 도장, 유기라이닝 (2) 전기방식공법: 외부전원방식, 유전양극방식
부식환경		부식속도																			
바다측	H.W.L이상	0.3																			
	H.W.L ~ L.W.L-1.0m	0.1 ~ 0.3																			
	L.W.L-1.0m~해저부	0.1 ~ 0.2																			
	해저진	0.03																			
육지측	육상대기중	0.1																			
	토중(잔류수위 이상)	0.03																			
	토중(잔류수위이하)	0.02																			
항만공사공통 사양서((재)항만건설기술서비스센터,2002)	-	(1) 전기방식: 알루미늄합금 양극에 의한 유압양극법 (2) 방식도장 (3) 피복방식 ① 모르타라이닝 ② 페도로탕라이닝																			

2) 유럽기준

Eurocode 3의 Design of steel structures의 내구성확보를 위하여 심각한 부식이 우려되는 경우에는 부식 방지 조치를 취할 것을 규정하고 있다. 부식 방지를 위한 조치는 부식두께를 고려하는 방법, 도장을 하는 방법, 음극방식법 그리고 고부식 우려지역에 콘크리트, 모르타르 또는 그라우팅을 하는 방법 등을 제시하고 있으며, 코팅의 수명이 설계수명보다 작은 경우 부식두께는 serviceability limit state와 ultimate limitstate를 고려하여 결정하도록 규정하고 있으며, 부식 발생이 전 길이에 균등하게 발생하지 않는 경우 각 위치에 적합한 대책을 적용할 수 있도록 규정하고 있다. 부식방지 방안은 각 과업에 따라 규정이 되며, 다만, 부식두께를 고려하는 기간이 4년 이하인 경우 부식두께를 고려하지 않을 수 있다고 규정하고 있다. 다음 그림은 각 위치별 부식속도 분포도를 나타내고 있다.



<부식 속도 분포도>

지지 말뚝에 대하여는 Serviceability와 ultimate 상태를 고려하여 각 말뚝의 강도를 산정할 때 단면 주면의 부식두께를 고려해야 하며, 물과 접하고 있거나 토질(지하수 유무에 관계없음)과 접하는 경우에도 구조물의 수명을 고려하여 부식을 고려해야 한다. 이때 강관말뚝의 경우 선단으로 물이 들어올 수 없도록 폐합되었거나 내부에 콘크리트가 채워진 경우에는 강관내부의 부식은 무시할 수 있다.

시트파일에 대하여는 Serviceability와 ultimate 상태를 고려하여 각 시트

파일의 강도를 산정할 때 부식 두께를 고려해야 한다. 시트 파일의 양면이 물 또는 흙에 접해 있을 때 양면에 대하여 부식을 각 각 고려해야한다. 다만, 각 면과 접하는 흙이나 물의 부식영향이 다른 경우 부식속도를 달리 적용할 수 있다.

부식속도는 설계만을 위해서 적용해야하며 일반적인 대기 중에서 부식 속도는 0.01mm/year로 고려할 수 있으며, 해양 조건에서는 0.02mm/year의 속도를 고려할 수 있다. 부식에 영향을 주는 주요인자는 토질의 종류, 지하수위의 변화, 산소의 존재 그리고 오염물질의 유무 등이 있다.

<흙(지하수위에 관계없음)속에 있는 강관말뚝과 시트 파일의 부식 두께>

설 계 수 명 지 반 조 건	부식두께				
	5년	25년	50년	75년	100년
불교란토	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20
오염된 토사 및 공장지역	0.15	0.75	1.50	2.25	3.00
부식성 토사(늪, 습지, 유기질토)	0.20	1.00	1.75	2.50	3.25
비다짐된 일반토사	0.18	0.70	1.20	1.70	2.20
비다짐된 부식성 성토재	0.50	2.00	3.25	4.50	5.75
주) 1) 다짐된 성토재의 부식속도는 비다짐된 성토재의 부식속도보다 낮으며, 표에 제시된 값의 1/2을 적용한다. 2) 5년과 25년의 값은 실측값이며, 다른 값은 외삽하여 산정하였다.					

3) 미국기준

- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2004)

부식에 대한 다음 사항을 최소한으로 고려하도록 하고 있다. 즉 특별히 성토재, pH가 낮은 토사 및 해양환경에서의 강 말뚝기초와 황산염, 염화물, 그리고 산성에 피해를 받는 콘크리트 말뚝기초 그리고 습윤, 건조가 반복되거나 해충 또는 해양 천공충으로 부터 목재 말뚝의 부식 등이다.

현장의 전기 저항성 조사와 저항성 실험과 흙과 지하수의 pH조사결과는 부식 가능성을 평가하는데 이용할 수 있으며, 각 시험 항목별로 부식의 위험성을 나타내는 기준을 기술하면 다음과 같다. 즉 흙은 저항성이 1,000ohm-cm 이하,

pH가 5.5이하, 유기질 토에서는 pH가 5.5 ~ 8.5, 황산염의 농도가 1,000ppm 이상, 쓰레기 매립지 및 석탄재, 광산이나 산업폐수에 영향을 받은 흙, 높은 저항률을 가진 토사와 매우 낮은 저항률을 가진 알칼리성 토사가 혼합된 지역은 부식 가능성이 있다. 물은 염화물 농도가 500ppm 이상, 황화물 농도가 500ppm 이상, 광산 또는 산업폐수, 유기질함유가 높은 경우이며, 해안 경계 지역과 수분 건조가 반복되는 곳의 말뚝에 대하여도 부식에 대한 고려를 하도록 규정하고 있다.

부식속도는 Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Reinforced Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes (National Highway Institute Office of Bridge Technology, 2003)의 연구결과를 따른다. 부식방지대책으로는 코팅, 전기 음극처리나 부식두께를 고려하는 방법을 추천하고 있다. 코팅을 적용하는 경우 마찰저항이 확보되어야 하며 해당 부식 환경에 대한 수명이 증명되어야 하며, 코팅 범위는 코팅의 하부가 말뚝 설치 시 훼손되기 쉬우므로 비부식성 토사까지 몇 feet정도 더 코팅을 추가해야 한다. 또한 콘크리트로 부식지역을 보호할 수도 있으며, 이 경우 콘크리트는 투수계수가 낮도록 타설되어야 한다. 해양지역의 비말대나 공기를 접하는 지역은 니켈, 구리, 칼륨 등이 특수합금철을 사용할 수가 있으며, 철근 콘크리트의 강재에 대한 대책으로는 밀실한 콘크리트를 사용, 피복두께를 증가, 공기 포획, 콘크리트 혼합시 염화물 함량을 줄이기, 전기음극 보호, 에폭시 코팅의 방법 등이 있다.

- Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Reinforced Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes (National Highway Institute Office of Bridge Technology, 2003)

잠재적인 부식환경은 강산성 및 강알칼리성으로 구분되며, 혐기성 박테리아로 인한 부식을 일으키는 유기질 물질의 존재를 들 수 있다. 일반적으로 0.5%를 넘는 황철석 성분의 황을 함유하거나 비 알칼리성 성분을 함유하는 암은 4.5이하의 pH를 갖는 황산을 생산할 수 있다. 산성의 황산염 토사가 있는 분명한 음이온은 1,000 ~ 9,000ppm의 농도를 갖는 황산염이고 뚜렷한 양이온은 1,500 ~ 3,000ppm의 농도를 갖는 나트륨이라고 알려져 있다. 전형적인 산성 황화물 토사는 용해성 철과 염소를 함유하고 있으며, 염소의 농도는 200 ~ 600ppm으로 알려져 있다. 이러한 토사와 암은 황산화에 큰 기여하는 노란색 반점으로 알 수 있다. 알칼리 토사는 소금이나 칼슘이 있는 것으로 나타낼 수

있다. 염분이 많은 토사는 강수량이 작고 증발률이 높은 지역에 주로 있다. 염분이 있는 토사는 투수계수가 낮아 유수의 흐름이 제한된 지역에서 나타났다. 이러한 지역의 pH는 9 또는 9.5 이상이며, 점토 및 유지질이 흩어져 있다. 용해된 광물염을 포함하는 주요 부식성 용질은 양이온의 Na 이고 음이온으로 Cl 과 SO₄이다. 석회질 토사는 방해석, 백운석, 나트륨 탄산염 그리고 석고와 같은 황산염 등 많은 양의 탄산염을 포함하고 있으며, pH가 8.5 이하이다. 슬래그, 플라이 애시 그리고 광산의 잔유물 등의 산업폐기물은 산성 또는 알칼리성일 수 있다. 특히 슬래그는 산성으로 많은 양의 황산염을 포함하고 있으며, 시멘트나 석회로 처리된 토사는 pH가 12가 될 수 있다.

미주전류는 직류발생원에서 멀어짐에 따라 급속도로 그 크기가 감소되며, 30~60m 떨어지면 소멸된다고 하며, 이 거리 이내에 설치된 구조물에 대해서 AASHTO에서는 부식전문가가 위험성을 파악하도록 권장하고 있다.

다짐이 잘된 토사에서는 흙입자 간의 간극이 작아 부식이 잘 발생하지 않으며, 함수비가 25~40% 보다 큰 경우 부식속도는 증가하며, 함수비가 60~85% 일 때 부식속도가 가장 크게 나타난다.

지중에 매설된 보강재의 부식 환경 및 설계 수명에 근거하여 설계를 수행하며, 흙의 저항성, 포화도, pH, 용해된 염, 산화환원방응 정도 및 산도 등이 부식속도에 영향을 미치는 인자이다.

흙의 저항률은 전도율의 역수로 표시되며, 단위는 ohm-cm 이다. 저항률이 감소할 때 부식속도는 증가하며, 저항률이 높은 경우 일반적인 부식보다는 국부적인 부식이 발생 할 수 있다. 저항성에 대한 부식정도는 다음 표와 같다. 강재 보강재를 사용하는 보강토 옹벽의 설계에서는 포화된 상태에서 보통 3,000ohm-cm 이상을 최소 저항률로 요구한다. 저항률 측정법으로 AASHTO에서는 시험법 T-288-91을 추천하고 있다.

<저항률에 따른 부식 정도>

부식정도	저항률(ohm-cm)
Very Corrosive	<700
Corrosive	700~2,000
Moderately Corrosive	700~2,000
Mildly Corrosive	700~2,000
Non-Corrosive	>10,000

염화물은 용해성이 매우 좋아 물을 이용한 추출법으로 완전히 제거할 수 있다. AASHTO에서는 염화물의 농도를 측정하기 위한 방법으로 전기적 측정방법인 T-291-91을 채택하고 있으며, 최근에는 염화물을 포함해서 음이온을 측정하는 ASTM D-4327-88을 표준 시험법으로 채택되었다.

황산염은 황화물(Sulfides)이 흙속에서 존재할 수 있는 부분들 중에 하나를 나타낸다. AASHTO는 황산염 농도를 측정하기 위해 시험법 T-290-91을 채택하고 있다.

황화물은 철과 콘크리트를 심각하게 부식시킬 수 있는 물질로 현재 표준 시험 방법이 정립되어 있지 못하다. 용해성 염에 대한 최대 허용 수준은 다음 표와 같다.

<용해성염의 최대 허용 농도>

용해성 염	최대농도
염화물	100PPM
황산염	200PPM

pH값은 용액속에 수산화 이온농도를 나타내는 값으로 흙과 물의 중량비가 1:1인 상태로 pH를 측정한다. 강재를 사용하는 경우 pH범위는 5~10으로 추천하고 있다.

유기질의 측정은 10번체를 통과한 흙에 대하여 AASHTO T-267-86의 시험법을 적용한다.

부식속도예측은 National Bureau of Standard (NBS)의 Romanoff(1989)는 지수 방정식을 이용하여 부식속도를 예측하였다.

$$X=Ktn$$

여기서 X : 강재 두께의 감소량

K : 흙과 위치에 따른 상수

n : 흙과 위치에 따른 상수(1보다 작음)

아연 도금된 경우 부식속도와 탄소강에 대한 부식속도는 아래의 식과 같다.

$$\begin{aligned} X &= 25t^{0.65} \text{ (평균)} \\ X &= 50t^{0.65} \text{ (최대값)} \\ X &= 40t^{0.80} \text{ (평균)} \\ X &= 80t^{0.80} \text{ (최대값)} \end{aligned}$$

위의 관계식은 평균 7년간의 아연도금의 수명을 예측하기 위한 것으로 유럽에서 수행한 시험과 비교하면 과소평가하고 있다. AASHTO에서는 다음의 기준을 부식두께 산정을 위한 최대 부식속도로 적용하고 있다.

- 처음 2년간 아연 부식율 15 $\mu\text{m}/\text{yr.}/\text{side}$
- 최종까지 아연 부식율 4 $\mu\text{m}/\text{yr.}/\text{side}$
- 탄소강 부식율 12 $\mu\text{m}/\text{yr.}/\text{side}$

AASHTO에서 추천하는 설계 수명은 영구구조물은 75년이고, 교대는 100년이며, 부식에 영향을 주는 인자 및 시험방법을 요약하면 다음 표와 같다.

<철재 보강재의 부식관련 시험항목 및 기준>

시험항목	철재 보강재 만족 기준	시험법
저항성	>3,000 (ohm-cm)	AASHTO T-288-91
pH	5이상 10이하	AASHTO T-289-91
유기질 함량	1% max	AASHTO T-267-91
염화물	<100 PPM	AASHTO T-291-91
황산염	<200 PPM	AASHTO T-290-91

- Corrosion Guidelines (California Department of Transportation Division of Engineering Services Materials Engineering and Testing Services Corrosion Technology Branch, 2003)

지반에서 강관 말뚝의 부식에 영향을 주는 요인에는 흙의 최소 저항률, pH, 염화물 함유량, 황산염 함유량, 황화물 이온 함량, 수분 및 산소량 등이 있다. 이러한 물질이 흙 속에 얼마나 있는지를 측정한 결과는 흙의 부식성에 대한 지표가 될 수 있다. 그러나 부식을 일으키는데 많은 원인이 있고 반응도 복잡하므로 위에서 기술한 몇 가지 원인을 파악해도 항타말뚝의 실제 부식 속도를 결정할 수 없다. 따라서 유사한 지역에서 측정한 정보를 이용하여 부식 조건 및 부식에 영향을 주는 변수를 비교하여 부식 가능성을 결정할 수 있다. 흙속에 있는 항타말뚝의 부식속도에 영향을 미치는 주요인자는 산소이다. 일반적으로 산소의 함량은 지하수위 부근과 교란된 흙에서는 말뚝의 상부에서 크

다. 말뚝의 상부에서 흙이 교란되면 교란된 지역의 위와 아래에서 차별적인 통기 영역이 발생할 수 있고 이 부근에서 국부적인 부식이 심화된다. 이 밖에 모래 및 점토 등의 토사가 혼합되어 있거나 건설폐재, 산업폐기물, 비유기성 폐기물 등의 성토재는 부식속도를 증가시킨다. 흙의 pH가 5.5이하이고, 흙의 최소 저항률이 1,000ohm-cm이하인 경우에 부식속도가 증가된다. 부식성 토사나 부식성 물이 있는 곳에 강관말뚝을 시공하는 경우 특별한 부식 방지 대책이 필요할 수 있으며, 부식 방지 대책은 부식두께를 고려하거나 보호할 수 있는 코팅 처리 또는 음극보호(cathodic protection) 처리 등을 예로 들 수 있다. Caltran에서는 부식두께는 말뚝이 부식할 때 발생하는 손실량을 보상하기 위하여 필요한 것으로 부식성 토사나 부식성 물에 노출되는 말뚝에만 고려되어야 하며, 부식성이 없는 경우 부식두께를 고려하지 않는다. 특히 항타말뚝에 코팅방법을 적용하는 경우 항타시 손상방지 여부를 검토해야한다. 부식속도는 <표 11>과 같이 고려한다. 이때 H 파일은 양면에서 모두 부식가능성이 있으므로 <표 11>에서 제시된 속도의 2배를 고려해야하며, 강관말뚝의 내부는 부식에 가장 중요한 산소에 충분한 접촉이 이루어 지지 않으므로 부식을 고려하지 않고 말뚝의 외측면에서만 부식을 고려한다. 그리고 임시구조물로 사용되는 지보재에서는 부식을 고려하지 않는다. 또한 Bridge Memo to Designers 3-1(2000)에 의하여 다음 표의 기준이외에 물이 튀기는 비말대(Splash zone)에 대한 부식속도를 0.150mm/year의 기준을 추가하여 제시하고 있다.

<강관말뚝의 부식속도(흙 및 물이 부식성이 있는 경우)>

구분	부식속도
흙 매입부	0.025mm(0.001in)/year
침수부	0.025mm(0.001in)/year
세굴부	0.025mm(0.001in)/year

- Structure Design Guidelines (Florida Department of Transportation, 2009)

강관말뚝 및 앵커에 대한 코팅 및 부식방지 대책은 다음과 같다.

① 시트파일 : 무기 아연 프라이머와 이중의 코타르 에폭시 코팅을 적용하며, 코팅 범위는 파일의 두부에서 설계 세굴깊이나 설계지반면의 아래로 5feet 까지로 한다.

② 앵커 바 : 에폭시 수지 열수축 랩(epoxy-mastic heat shrink wrap)이나

그라우팅 및 덕트를 적용한다. 벽체와 연결부위는 콜타르 에폭시 수지 코팅을 적용한다.

③ 선단이 막힌 강관에 콘크리트를 타설하는 공법은 어떤 환경에서도 부식 방지 대책으로 적용할 수 있다.

④ 강관 및 H 파일 : 무기질 아연 프라이머 및 2번의 콜타르 에폭시로 된 3중 코팅 시스템을 사용한다.

영구 구조물에 대한 부식두께는 다음 표를 적용한다. 이 경우 설계수명은 75년을 적용하며, 부식 방지 처리가 된 경우 코팅 수명을 30년으로 고려하고 부식두께는 45년에 대하여 고려한다.

<부식두께 (단위 : mm)>

구분	부식환경			
	약부식성	중부식성	강부식성	
			Case 1	Case 2
부식방지조치 없는 흙속에 완전히 근입된 강관 및 H 파일	1.095	3.810	없음	5.715
부식방지 조치 없이 일부가 흙속에 근입된 강관 및 H 말뚝	2.286	4.572	없음	6.858
부식방지 조치 없이 물 및 부분적으로 흙속에 근입된 강관 및 H말뚝	3.81	7.620	없음	N/A
부식방지처리를 하고 물 및 흙속에 부분적으로 근입된 강관 및 H 말뚝	2.286	4.572	없음	N/A
앵커가 설치된 시트일	0	0	0	0
캔틸레버형 시트파일	1.143	2.286	3.429	3.429
부식방지 조치가 된 앵커바	2.286	4.572	6.858	6.858

a) case 1: 염화물 2,000ppm 초과, 저항성 1,000ohm-cm초과 또는 pH 6.0미만

b) case 2: 염화물 2,000ppm 미만, 저항성 5,000ohm-cm초과 이고 pH 4.9~6.0

- Corrosion of Steel Piling in Nonmarine Application (NCHRP Report 408, Transportation Research Board, 1998)

본 보고서는 NCHRP Project 10-46로 시행된 연구결과를 정리한 것으로 각

주의 교통국에서 강관말뚝의 부식가능성을 파악하는 데 도움을 줄 것으로 판단된다.

일반적으로 뚜렷한 부식은 특정 위치에서 말뚝 두께의 15%이상이 감소되는 것으로 정의하며, 화산재, 슬래그 그리고 탄재와 같은 인공 부산물에서 가장 부식속도가 크게 나타난다. 다음 표는 조사한 사례를 보여주고 있으며, 지표면 위의 담수에서의 부식은 흙속보다 더 크게 발생하고 있으며, 특히 수위가 변화하는 구간에서 심하게 나타난다. 예를 들어 Lumber 강에 시공된 강 말뚝은 지중에서 40%의 두께감소가 있으며, 수중에 서는 76%의 두께 감소가 발생했다.

<뚜렷한 부식이 있는 경우에 대한 사례조사 결과>

구분	sweet Home Road, NY	Father Baker Bridge, NY	I84/I91 인터체인지, CT	Sparrow Point, MD	Lumber River, NC	Sardis Dam Outlet, MS	Grenada Dam Spillway, MS
기간(년)	7	32	29	18	37	20.5	11.4
처음두께(mm)	-	11.074	9.525	13.970	6.604	9.525	9.525
최소두께(mm)	-	7.544	3.327	9.906	3.962	7.722	7.722
두께손실(mm)	-	3.531	6.198	4.064	2.642	1.803	1.803
두께손실(%)	-	31.9	65.1	29.1	40.0	18.9	18.9
일면 부식속도(mpy)	보통 또는 심한 단면손실	2.17	4.21	4.44	1.41	1.73	3.11
흙종류	탄재/점토	실크/슬래그 탄재	점토/석탄/재	모래/슬래그/탄재	세립 모래질 양토(loam)	사석/자갈	실트질 모래
지하수위위치	배수불량	근처	위	지하수위	0~3피트 아래	5피트아래	위
pH	-	9.0~9.3	3.8	3.7	3.4	3.0	6.4
저항성(dh m-cm)	-	733~1,113	380	1,130~4,000	1,240	610	4,000
염화물(ppm)	-	223~267	-	-	-	-	-
황화물(ppm)	-	115~176	-	-	-	-	-

말뚝의 부식에 영향을 주는 요인 지중에서 심한 부식은 차별적인 환기셀의 결과이며, 전체구조물이 지하수위 아래에 있는 경우 말뚝근처의 산소공급이 작아 차별적인 환기셀이 형성되지 않는다. 액체상태로 존재하는 용존 산소의 양은 대기 중의 200,000ppm에 비하여 8ppm으로 매우 작으며, 말뚝에 가장영향을 주는 지하수위 위치는 지하수위가 말뚝 두부 아래에 위치하는 곳이다.

지반의 함수비가 낮은 경우 부식을 일으키기 위한 충분한 물이 부족하게 되고 함수비가 높은 경우 산소가 금속표면에서 배출되어 부식속도가 느리다. Booth(1967)등에 의하면 함수비가 20%이상인 흙은 부식성이 강한 것으로 판단되며, 함수비가 20%보다 작은 경우 부식성이 없는 것으로 제시하고 있다.

흙의 종류는 말뚝의 부식에 영향을 주는 중요인자이며, 입자 분포, 흙의 층상화, 인공토사 및 이온교환 능력(cation-exchange capacity)이 부식에 영향을 준다. 즉 인공의 토사가 층상으로 이루어진 경우가 가장 부식정도가 심하게 나타났다. 최근에는 점토의 이온 교환 능력이 부식에 영향을 미치는 주요인자로 파악되었으며, 몬모리오나이트와 벤토나이트와 같은 이온교환능력이 높은 점토는 일반적인 부식과 차별적인 환기셀의 부식에 비하여 더 심한 부식을 보이는 것으로 밝혀졌다.

흙의 저항성은 지중의 강재 부식에 대한 중요 지표로 고려되며, Romanoff(1989)는 1000ohm-cm인 흙의 파이프의 57%가 보수를 해야 했으며, 11,500ohm-cm인 흙에서는 단 3%만 보수를 필요로 했다고 보고한바 있다. 다음의 다음 표는 흙의 부식성에 대한 전형적인 가이드라인이다.

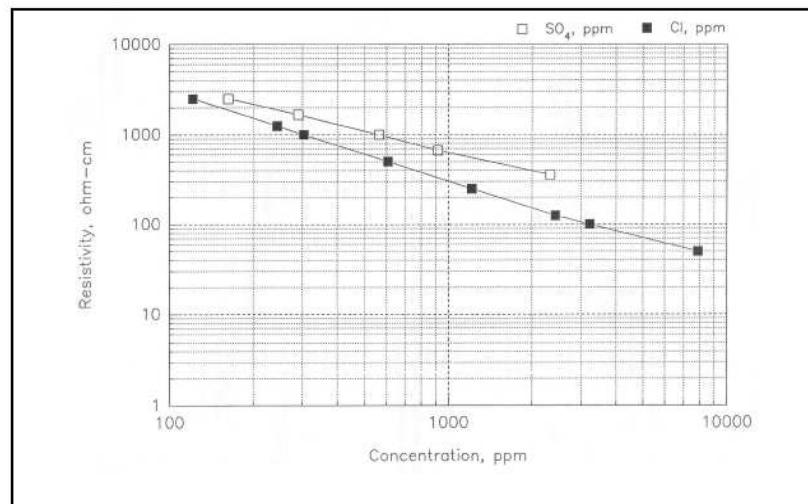
<흙의 저항성과 부식성>

저항성(ohm-cm)	부식성
0~1,000	Very Corrosive
1,000~2,000	Corrosive
2,000~10,000	Mildly Corrosive
10,000 초과	Progressively Less Corrosive

흙의 pH가 4보다 작은 경우 수소의 감소비율이 부식을 일으킬 충분히 큰 값이다. 한편, 철은 알칼리 환경에서 수동의 보호필름이 생성된다. Romanoff(1989)의 자료를 분석하여 다음 그림과 같이 부식속도를 pH와 로그

스케일로 표시한 흙의 저항성과의 관계를 구하였다.

용해성 염이 강말뚝 부식에 영향을 미친다는 직접적인 자료는 많지 않지만, 용해성염이 유해하다는 것은 일반적으로 알려져 있다. 이러한 염은 흙의 저항성을 감소시키고 금속표면에 전기화확적인 반응에 직접적인 영향을 미친다. 염화물은 금속 표면의 보호부식 필름의 파손을 촉진시키며, 황산염은 미생물에 의한 부식을 일으키는 황산염 감소 박테리아의 활동을 촉진한다. 다음 그림은 상온에서 황산칼슘과 염화나트륨 농도의 함수로 저항성을 나타낸 그림이다.



<상온에서 황산칼슘과 염화나트륨의 농도와 저항성과의 관계>

흙의 부식성과 지하 강구조물의 자유 부식 가능성과 흙의 산화환원 가능성의 2종류의 가능성 간에 상관성이 있다. 철의 자유 부식 가능성은 구조물 위의 지반에 구리-구리 황산염(copper-copper sulfate(CCS))의 보조 전극을 설치하고 높은 임피던스 전압측정기를 이용하여 철과 보조전극사이의 전압차를 측정하여 구한다. Eh의 측정도 비슷한 방식으로 하는데 다만 강구조물 대신에 백금 전극의 위상을 측정하며, Eh는 흙의 산화 또는 강도 감소를 측정하는 기준이다. 흙이 산화(호기성)되는 지역에서는 흙이 약해지는(비호기성) 지역보다 값이 더 양의 값을 갖는다. 다음 표는 철의 부식 가능성과 Eh에 근거하여 흙의 부식성에 대한 가이드라인을 제시하고 있다. 단, 이 가이드라인은 완전히 지하수위아래에 있는 말뚝에는 적용되어서는 안 된다.

<흙속의 철의 부식가능성과 Eh함수로 나타낸 부식가능성>

부식가능성	Eh mV(SHE)	부식가능성 mV (CCS)
비부식성	>400	>-400
약함(Slight)	200~400	-400~-500
보통(Moderate)	100~200	-500~-600
심함(Severe)	<100	<-600

파이프라인과 같이 지하구조물에 대한 미생물영향 부식(microbial influenced corrosion (MIC))의 피해는 이미 밝혀졌으며, 미생물은 금속에 직접적으로 부식을 일으키지 않고 부식환경을 만들어 부식을 촉진한다. 황산염 감소 박테리아 (Sulfate-reducing bacteria (SRB))는 대개 지하 파이프라인의 부식을 가속화시키는 것과 관련이 있다. 미생물은 지하수위 아래에서는 말뚝에 영향을 미치지 못하고 지하수위 부근 또는 그 윗부분에서 부식을 촉진시키는 역할을 한다.

말뚝이나 다른 지하구조물은 흙속의 미주전류에 의해 부식이 가속화되는 피해를 받을 수 있다. 미주전류는 다른 구조물을 위한 음극 보호시스템, 직류 변환 시스템, 광산활동 그리고 높은 전압의 직류 전력선 등으로 발생한다. 전류가 구조물 위로 넘어 가는 경우 구조물은 음극적으로 보호되고, 전류가 구조물을 통해서 지나가는 곳에서는 부식이 가속된다. 미주전류의 부식은 파이프라인과 같이 수평방향으로 면적이 큰 경우에 가장 피해가 크며, 전기적으로 균질한 성질을 갖는 시트파일이나 다른 말뚝에서도 미주전류에 의한 부식이 조금은 발생할 수 있다.

4) 각국의 금속의 토양 부식성 평가법

토양의 부식성을 조사하는 방법에 대해서는 몇 개의 측정법이 제안되어 있으며, 부식성의 판단기준의 제안도 다양하다. 그러나 이전의 조사방법은 부식성의 경향이 어느 정도 판단할 수 있는 것으로 추정된 부식속도는 실제로 매우 다른 경우가 많아서 사용시 주의할 필요가 있다. 현재 유사환경에서 과거의 데이터를 참고로 추정하는 것이 가장 확실하다. 참고로 독일의 공업규격(DIN) 및 미국국가규격(ANSI)에서 토양부식성평가방법을 나타내면 다음과 같다. 이것은 주로 매설배관을 대상으로 한 것이다.

- 독일공업규격(DIN50929 Teil3, 1985)에서 금속의 토양부식성 평가방법 (DIN50929-3, 1985)

이 방법은 토양부식에 관한 다양한 환경인자를 조사해서 각 인자의 평점을 구하고, 그 합계점에서 토양의 부식성을 정량적으로 평가하는 것으로, 통기차 전지부식, 콘크리트/토양 매크로셀 부식 및 이중금속접촉 부식에 대한 평가도 가능하다는 특징을 가지고 있다. DIN 50929은 다양한 재료가 매설된 환경조건에 대하여 평가점을 부여하고 있다. 다음 표는 비합금과 저합금 강재료가 균질한 토양에 매설된 경우와 불균질한 토양에 매설된 경우 토양의 부식성 평가 점수이다. 이에 근거하여, 균질한 토양의 경우 B0가, 불균질한 토양의 경우 B1이 적용되어, 다음 표와 같이 조사된다.

<토양 평가 정보 (1)>

No.	조사/계측되어진 파라미터	단위	계측범위	포인트
1	토양타입		≤ 10	Z1
	(a)응집력: 깨끗한 물질의 비율	질량%	$>10 \sim 30$	+4
			$>30 \sim 50$	+2
			$>50 \sim 80$	0
			>80	-2
				-4
	(b)늪,저습지,유기질 탄소	질량%	>5	-12
	(c)오염토양,연료탄, 슬래그, 석탄, 폐기물, 오수에 의한 오염			-12
2	토양저항률	$\Omega \cdot \text{cm}$	>5000	Z2
			$>20000 \sim 50000$	+4
			$>5000 \sim 20000$	+2
			$>2000 \sim 5000$	0
			$>1000 \sim 2000$	-2
			<1000	-4
				-6
3	수분농도		≤ 20	Z3
			>20	0
				-1
4	pH		>9	Z4
			$>5.5 \sim 9$	+2
			$4 \sim 5.5$	0
			<4	-1
				-3
5	완충력 pH4.3까지의 산도(알카리도Ks4.3)	mmol/kg	<200	Z5
			$200 \sim 1000$	0
			>1000	+1
				+3
	pH7.0까지의 알카리도(산도KB7.0)		2.5	0
			$2.5 \sim 5$	-2
			$>5 \sim 10$	-4
			$>10 \sim 20$	-6
			$>20 \sim 30$	-8
				-10

6	유화물(s ²⁻)농도	mg/kg	<5 5~10 >10	Z6
				0
				-3
				-6
7	중성염 c(CI-)과2c(SO4 ²⁻)(유출수)농도	mmol/kg	<3 3~10 >10~30 >30~100 >100	Z8
				0
				-1
				-2
				-3
				-4
8	유산염(SO4 ²⁻)농도(염산유출)	mmol/kg	,2 2~5 5~10 >10	Z8
				0
				-1
				-2
				-3

<토양 평가 정보 (2)>

No.	조사/계측되어진 파라미터	단위	계측범위	포인트
(b) 특정 장소의 구조물의 위치				
9	지하수에 대한 구조물의 위치	지하수 없음 지하수 있음 지하수가 즉시변동		Z ₉
				0
				-1
				-2
10	토양의 균질성, 수평방향 토양저항의 프로파일 : Z ₂ 의 변화 ΔZ ₂ 근방 토양대에 대하여 정의 ΔZ ₂ 근방 토양대에 대하여 정의	ΔZ ₂ < 2 2 ≤ ΔZ ₂ ≤ 3 ΔZ ₂ > 3		Z ₁₀
				0
				-2
				-4
11	토양의 균질성, 수직방향 (a) 직근의 토양	동일타입 모래의 균질한 층리 토양과 다른 성분을 포함하는 불균질한 층리		Z ₁₁
				0
	(b) 다른 토양의 층	2 ≤ ΔZ ₂ ≤ 3 ΔZ ₂ > 3		-1
				-2
12	구조물/토양전위 U _{cy/cuSO₄} 전위계측이 불가능한 경우 구조물이 없는 토양의 평가를 하는 경우	V	-0.5~-0.4>-0.4~- 0.3>-0.3	Z ₁₂
				-3
				-8
				-10

<토양의 부식성에 의한 토양의 분류와 비합금과 저합금강재의 부식 확률>

B_o 또는 B_I	토양 카테고리	토양의 부식성 ¹⁾	B_I 에 근거한 부식의 확률	
	B_o 에 근거		넓은 또는 깊은 공식	전면부식
=0	I_a	거의 부식성 없다	매우 낮다	매우 낮다
-1	I_b	약간부식성 있다.	낮다	매우 낮다
-5~-10	II	부식성 있다	중간 정도	낮다
<-10	III	매우 부식성 있다	높다	중간 정도
¹⁾ 토양의 부식성은 다른 종류의 토양 매크로 셀이 없는 경우, 자연부식의 확률에 대응한다.				

산화환원전위와 유화물농도의 평가점에 의해, 혐기성 미생물인 유산염 환원균에 의한 부식의 영향을 고려하고 있지만, 미생물의 활동은 자주 변화하기 때문에 미분적인 평가에서는 부식의 본질을 이해할 수 없다.

- 미국국가규격(ANSI/AWWA C105/A21.5, 1972)에서 주철관의 토양부식성 평가방법

다음 표에 나타낸 5항목의 환경인자 측정치에서 평가점을 구하고, 그 합계점에서 토양의 부식성을 정량적으로 평가하는 방법이다. 합계점이 10점 이상일 때, 토양의 방식에 충분한 부식성을 가지고 있음을 의미한다.

<토양부식성에 관한 조사환경인자 및 평가점(ANSI A21.5, 1972)>

측정항목	측정치	평가점
저항률 ($\Omega \cdot cm$)	<700	10
	700~1,000	8
	1,000~1,200	5
	1,200~1,500	2
	1,500~2,000	1
	>2,000	0
pH	0~2	5
	2~4	3
	4~6.5	0
	6.5~7.5	※ 0
	7.5~8.5	0
	>8.5	3
산화환원전위(mV)	>100	0
	50~100	3.5
	0~50	4
	<0	5
수분	배수가 나쁘고 항상 습윤	2
	배수가 매우 좋고, 일반적으로 습함	1
	배수가 좋고, 일반적으로 건조	0
유화물	검출	3.5
	흔적	2
	없음	0

※ 유화물이 존재하고, Redox전위가 낮을 때는 3점을 가산한다.

5) 분석 결과

이상에서 살펴본 바와 같이 본 과업의 강관말뚝 적정 부식대 공제값 제안을 위하여 각국의 지침 자료를 종합적으로 분석하였다. 그 결과 부식에 영향을 주는 주된 영향인자로는 저항률, pH, 산화환원전위 등임을 알 수 있었다. 이와 같은 지반의 환경조사 결과를 통해 적용하는 각 국가별 부식대 공제값 기준은 다음과 같다.

<각국의 부식대 공제값 최종 분석(100년 기준)>

국가	기준명칭	조건		부식두께	비고
한국	구조물기초 설계기준 (2009)	고주수위 위		30mm	일반적으로 2mm
		고조수위와 해저지표면 사이		10mm	
		바다밑 갯벌속		3mm	
		육상의 대기중		10mm	
		지하수면 위 흠속		3mm	
		지하수면 아래 흠속		2mm	
	항만 및 어항 설계기준(2005)	해 측	H.W.L 이상	30mm	-
			H.W.L~L.H.W(-) 1.0m까지	10~30mm	
				10~20mm	
				3mm	
		육 측	육상 대기중	10mm	
			토중(잔류수위이상)	3mm	
			토중(잔류수위이하)	2mm	
	도로교 설계기준 (2008)	부식단면을 고려해서 설계		-	-

국가	기준명칭	조건	부식두께	비고
일본	국토교통성고시 제 1113호 제88(2001)	유효한 방식조치를 할 경우 제외시	1mm 이상	전기 방식
	건축기초구조설계기침((사)일본건축학회, 2001)	-	1mm	표면 도장
	건축구조설계지침 (동경도, 2002)	개단말뚝	외측 1mm	-
	도로교시방서 · 동해설Ⅳ 하부구조편 ((사)일본도로협회, 2002)	특수하지 않은 수중 및 토중	1mm	특수한 경우 방청 처리
		강관소일시멘트말뚝	1mm	
	수도고속도로가시설 구조물설계요령((재)수도고속도로후생회, 2003)	도로교시방서 규정에 준함	-	-
	설계기준((재)한신고속도로공단, 1995)	상시 수중 또는 토중	2mm	-
	철도구조물등 설계표준 · 동해설기초구조물 · 말뚝토압구조물((재))철도 종합기술연구소, 2000)	강관말뚝	외측 1mm	-
		H형강 말뚝	양측 1mm	
	설계기준(안) 토목설계 (일본하수도사업단, 1992)	-	2mm	특수한 경우 방청 처리
	토질개량사업계획설계기준 · 설계기준서기술서(농림수산성구조개선국, 1995)	말뚝의 주변토에 접하는면	2.0mm	-
		강재를 둘러싸인 내측의 표면	0.5mm	
		6cm이상 두께의 콘크리트에 접하는 표면	0.0mm	
	건설성사무연락호안용 강과일시트의 선정에 대해서	-	양측1mm	-
	재해복구공사 설계요령(2002)((사)전국방재협회)	1급하천	양측1mm	-

국가	기준명칭	조건		부식두께	비고
일본	항만시설의 기술상 기준 · 동해설((사)일본 항만협회,1999)	바다 측	H.W.L이상	0.3mm/년	방식 대책은 자연 환경에 따라 결정
			H.W.L~L.H.W-1.0m	0.1~0.3 mm/년	
			L.H.W-1.0m~해저 부	0.1~0.2 mm/년	
			해저진흙층	0.03mm/년	
		육지 측	육상대기중	0.1mm/년	
			토중(잔류수위이상)	0.03mm/년	
			토중(잔류수위이하)	0.02mm/년	
	어항의 기술지침 ((사)전국어항협 회,1999)	바다 측	H.W.L이상	0.3mm/년	-
			H.W.L~L.W.L-1.0m	0.1~0.3m	
			L.W.L-1.0m~해저부	0.1~0.2 mm/년	
			해저진흙층	0.03mm/년	
		육지 측	육상대기중	0.1mm/년	
			토중(잔류수위이상)	0.03mm/년	
			토중(잔류수위이하)	0.02mm/년	
	항만공사 공동사양서 ((재)항만건설기 술 서비스센터, 2002)	-		-	전기 방식,도장 방식,피복 방식

국가	기준명칭	조건		부식두께	비고
유럽	Eurocode 2007	토중	불교란토	1.20mm	-
			오염된 토사 및 공장	3.00mm	
			부식성 토사	3.25mm	
			비다짐 부식성 성토재	5.75mm	
		육지 측	수면에서 일반적 담수	1.40mm	
			수면에서 오염된 담수	4.30mm	
			고위험지역해수	7.50mm	
			침수지역 및 조수간만지역	3.50mm	

국가	기준명칭	조건	부식두께	비고
미국	AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2004)	아연부식	0.422mm	-
		탄소강부식	1.20mm	
	National Highway Institute Office of Bridge Technology (2003)	아연부식	0.422mm	-
		탄소강부식	1.20mm	
	Corrosion Guideline (2009)	흙 매입부	2.5mm	-
		침수부	10.0mm	
		세굴부	12.5mm	
	Structure Design Guidelines (2009)	부식조치 없는 흙	1.905mm	-
		부식조치 없이 일부 흙속에 근입	2.286mm	
		부식조치 없이 일부 흙속에 근입	0.381mm	
		부식방지처리를 하고 물 및 흙속에 일부 근입	2.286mm	
		앵커가 설치된 시트파일	0mm	
		캔틸레버형 시트파일	1.143mm	
		부식방지처리 된 앵커파일	2.286mm	

(3) 매립형 프리플렉스 합성거더 부식 방지를 위한 대책

본 연구과제인 매립형 프리플렉스 합성거더의 주 목적이 도심지 생태공원의 조성하고, 장경간 터널을 구현함으로써 친환경적이고 기술적으로 진보된 토목 구조물이다.

복개터널의 경우 지반의 성토로 마무리가 되는데, 시공 완료 후 구조물의 내구성에 있어서도 최소한 70년~100년 이상 유지가 되어야 한다. 왜냐하면 복개 터널 역시 일반 터널과 비슷한 구조를 가지고 있기 때문에 상부 거더에 대한 유지관리는 터널 내부에서 이루어지기 때문이다. 일반적인 콘크리트 구조물 라멘의 경우에는 강재가 콘크리트에 의해서 피복이 되어 있기 때문에, 특별한 고려를 하지 않지만, 본 연구과제의 매립형 프리플렉스 합성거더에서 상부에 강재량 토양과 직접 접하기 때문에 부식에 대해서 고려하여야 한다.

① 재료적인 측면의 부식방지

강재 거더의 재료적인 개선을 통한 부식방지 대책으로는 크게 단면확대를 통한 부식방지 및 배후성 강을 이용한 부식방지로 나눌 수 있다.

단면의 확대를 통한 부식 대책은 본문에서와 나타난 것과 같이 강재의 부식의 가장 직접적인 요인은 토양의 조건에 따라 부식두께의 양이 달라지기 때문에, 실제 본 연구를 현장에 적용할 경우, 지반 환경을 통한 부식두께를 조절하여 단면을 제작해야 한다고 분석된다.

여러 가지 토양의 조건에 따라 제시된 부식두께로 판단할 때 본 연구의 실제 적용하는 지형적인 조건을 고려하면 주로 육지측의 지하수면에 따라 부식두께를 산정할 수 있다. ‘구조물 기초 설계기준(2009)’에서는 지하수위면 위 흠속이나 지하수위면 아래 흠속을 각각 3mm, 2mm로 규정하고 있으나, 일반적으로 2mm를 사용하고 있다. (구조물의 100년 기준으로 부식두께를 제시하였음)

최근의 보고서 (국내 강관두께 부식대 공제값 제안 연구용역(I) ; 한국지방공학회, 2010)의 경우, 토양 내부의 강재의 경우 부식속도와 부식대의 결정은 급속시험으로는 의미가 없고 장기간(일본의 경우 약 30년 소요)의 실험이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 부식대 공제에 대한 현재의 국내 기준의 적합성 평가를 위해서는 장기간의 실험보다는 외국의 실험결과를 면밀히 검토하여 국내에 도입 적용하는 것이 바람직할 것으로 평가되었다.

미국이나 유럽의 경우에도 육지측에 대한 부식 두께를 최대 3mm까지 규정하고 있으며, 특수한 지반조건의 경우에는 표면도장 또는 전기 방식을 병행하여 사용한다고 명시되어 있다.

이러한 결과를 토대로 종합하여 보면, 매립형 프리플렉스 합성 거더의 상부면에 대해서는 본문에서도 제시한 강관말뚝 및 H-pile의 환경적인 조건이 동일하기 때문에, 일반적으로 2mm를 적용하고, 최대 3mm 정도의 부식두께를 단면에 적용하여 구조물을 계산해야 한다.

② 내후성 강을 이용한 부식방지

일반강에 내식성이 우수한 구리, 크롬, 니켈, 인 등의 원소를 소량 첨가한 저합금강으로 일반강에 비해 4~8 배의 내식성을 갖는 강재이다. 내후성강이 대기에 노출되면 초기에는 일반강과 유사하게 녹이 발생하지만 시간의 경과에 따라서 그 녹의 일부가 서서히 모재에 밀착하게 되는 녹층 (안정녹층)을 형성하고, 이 녹층이 외부 대기에 대한 보호막이 되어 도장과 같은 역할을 하게 되어 더 이상의 부식 진행을 억제하게 된다.



<내후성 강재의 구분>



<일반 강과 내후성강의 부식 형태 비교>

교량용으로는 도장용 내후성강과 무도장 내후성강이 많이 쓰이고, 커튼원 소재로는 녹안정화 또는 무도장 등으로 표면 처리한 고내후성 압연강재가 주로 사용된다. 아래의 그림과 표는 내후성 강 종류와 특징을 설명하고 있다.

<내후성 강재의 종류별 특징>

종류		규격	특징	적용
용접 구조용 내후성 열간 압연 강재 (KS D 3529)	도장용 내후성강	SMAOO CP SMAOO BP SMAOO CP	- 경제성을 고려한 내후성 강으로 도장하여 사용 - 같은 도장계를 적용한 경우 일반강에 비해 재 도장주기 1.5~2배 길어 짐 - 해안지역 사용시 일반강에 비해 유리 - 미관이 중요한 경우 사용가능	- 무도장 내후성강에 비해 열악한 환경에 사용 (해안지역) - 교정, 조명타워 등 - 해상용 컨테이너 - 콘크리트 믹서
	무도장 내후성강	SMAOO AW SMAOO BW SMAOO CW	- 내후성이 높으므로 무도장으로 사용할 수 있음 - 재도장이 필요없으므로 유지관리비용 절감 및 환경 보호에 유리(상수원 보호구역 등)	
			- 비교적 경제적이고 외관도 우수함	- 조기에 균등한 외관이 필요한 k지역
			- 가장 경제적이지만 흑피 박리에 시간이 필요	- 초기외관이 중요하지 않는 지역
			- 외관은 도장한 것과 동일하고, 도장용 내후성강에 비해 경제적인	- 외관이 중요한 지역 (도심, 전원)
고내후성 압연강재 (KS D 3542)		SPA-H SPA-C	내후성이 가장 우수한 강재로서 건축용 외장재, 도로시설재, 컨테이너, 철도차량 등과 같은 교량 구조재로 사용	

특히 최근의 동향을 교량의 거더에 무도장 내후성강을 많이 사용하고 있다. 무도장 내후성강은 외관상에는 미려하지 않으나, 유지관리 비용의 절감과 환경오염방지가 가능하여 경제성과 친환경성이 우수하다. 최근 연구개발을 통해 인장강도의 경우 600MPa 이상(SMA50W)까지 구현되고 있다. 무도장 내후성강의 경우에는 많은 장점을 토대로 적용이 많이 되고 있으나 아래의 표와 같이 환경적인 제약을 받는다.

<무도장 내후성장교량 적용 환경>

기후 · 환경적 제한 요건		
대기중 염분량	강재표면이 젖어 있는 시간	유황산화물의 농도
- 비래염분량이 $0.05mdd$ $(mg/100cm^2/day)$ 이상인 해안지역	강재 표면이 젖어있는 시간이 연중 60%이하 : 상대습도 80% 초과일수가 연중 220일 이하	황산화물 농도가 $2.1mdd$ 이상인 공업지대

내후성장을 이용한 강재의 경우, 주로 교량의 거더에 주로 사용이 되며, 환경적인 제약을 갖는다. 특히 강재 표면이 젖어 있는 시간이 연중 60%이하, 상대습도 80% 초과일수가 연중 220일 이하로 규정이 되어 있다.

본 매립형 프리플렉스 합성거더의 경우 거더의 상부면이 토양에 직접적으로 맞닿고 있는 형태이기 때문에 내후성장이 토양으로 인한 부식의 영향에 대해서 검토를 하여야 한다. 하지만 우리나라의 경우, 토양에 의한 강재부식 두께에 대한 많은 연구가 이루어 지지 않아, 주로 선진국에서 연구된 규정에 근거하여 제시하였기 때문에 환경적인 제약을 갖는 무도장 내후성 강재가 다양한 토양상태에 대한 적용성 여부가 사실상 규명하기 불가능하다.

그리고 본 연구의 특징 중에 하나인 터널의 장경간화(40m)를 구현하기 위해 무도장 내후성장을 사용을 한다면, 강도 확보를 위한 강재단면을 크게 하여 장경간화 구현은 가능하나, 단면이 비대하게 설계되어 경제성이 떨어지고, 단면 확대에 따른 구조물 자체의 자중이 커져서 구조적인 안정성이 낮아진다.

최근에 POSCO에서 고성능 강(HSB500, HSB600, HSB800)이 개발되어 기존에 사용된 강재보다 훨씬 더 우수한 강재(주요 특징 : 높은 저온인성확보로 인한 한랭지역 취성파괴 위험감소, TMCP 처리를 통한 높은 인장강도 및 균일한 품질 확보 등)로 제작되었으며, 또한 HSB600W와 같은 고성능 내후성장을 제작하여 기존의 강재에 비해 더 우수성질로 부식을 고려한 강재가 제작이 되고 있다.

이러한 내용을 종합하면, 매립형 프리플렉스 합성거더의 경우 기존에 사용되어 있는 무도장 내후성 강재를 사용하는 것보다 최근에 개발된 HSB 강재를 사용하면 본 연구의 목적인 터널의 장경간화를 구현하고 터널의 부식에 의한 안정성 부분에서도 더 효과적이라 분석된다.

③ 도장 방법을 이용한 부식방지

강재의 도장의 경우, 강재의 부식을 방지하기 위해 강재 표면에 도료를 도장하여 구조물의 부식을 최대한 지연시켜 구조물의 장기간 내구성을 확보를 하는데 주 목적을 갖는다. 강재의 도장 방식은 여러 가지 종류가 있다.

<강재 도장 방법>

공법	중방식금속 혼합물피막	염화고무계도료 (일반중방식)	에폭시계 도료	세라믹계 도료
시공 순서	- 표면처리 - 1차피막(하도) - 2차피막(중도) - 3차피막(상도)	- 표면처리 - 무기질징크하도 - 염화고무도료 중, 상도	- 표면처리 - 수용성 무기징크 1,2,3차 도포	- 세라믹코팅 바탕만들기 - 무기아연말계 - 무기세라믹계 - 우레탄세라믹
장 점	- 내열성, 내후성, 방청력, 부착력, 순율우수 - 내마모성 우수 - 강인한 도막, 미관성 - 내약품성, 내충격성 - 희생양극방식 기능 - 내염성, 내구성 - Re-Coating이 용이	- 일반적인 시공성 - 국내적용 실적이 많음 - 건조가 빠름	- 내약품성 - 강인한 도막 - 미관성 - 희생양극방식가능	- 내약품성 - 강인한 도막 - 미관성 - 내구성
단점	- 일반적 도료에 비해 비교적 고가 - 작업시 접착제와 금속혼합물이 잘 혼합되도록 전동 믹서기를 이용하여 혼합하여야함 - 작업전 시공교육 필요	- 내약품성이 나쁨 - 내구성이 짧음 - 내열성이 나쁨 - 초기접착력은 우수하나, 접착력 저하(계면탈락) - 저온시 증점(점도 상승, 유동성감소) 및 겔화현상 발생	- 공사비 고가 - 수축팽창에 대한 유연성(신율)부족 - 자외선에 약해 변색을 일으키며, 재료의 변형 유발 - 고온에서 황변현상 있음 - 초기접착력은 우수하나, 접착력저하(계면탈락)	- 공사비 고가 - 수축팽창에 대한 유연성(신율)부족 - 다른 재질이므로 층간분리 현상이 나타날 수 있음
내구성	20년	3~4년	5년	10년
경제성	36, 000/m ²	18, 000/m ²	20, 000/m ²	30, 000/m ²

위와 같은 강재의 도장을 분석한 결과 최근에 교량에 많이 사용되는 세라믹계 도료 또는 에폭시계 도료의 경우, 강재의 부식방지를 위한 대안으로 될 수 있으나, 내구성에 한계를 가지고 있으며, 유지보수를 해야 한다는 관점에서 부적합 하다고 사료된다.

매립형 프리플렉스 합성거더의 경우, 거더 상부쪽이 토양에 매립이 되어 있기 때문에 도장의 유지보수를 위해 상부 지반을 절토하여 도장한다는 것은 불가능하다. 내구성의 경우에도 매립형 프리플렉스 합성거더의 거치 시키고 성토함에 따라 지반하중에 의한 거더 중앙부 변위가 크기 때문에 도장을 완료한다 하더라도 지반하중에 의한 변위로 도장이 파손될 위험을 가지고 있다.

아래의 내용은 여러 가지 도장방법의 적용성에 대해 분석하였다.

- 아연도금 도장

반 영구적으로 적용되는 아연도금의 경우에도, 부식방지를 위한 도장방법으로 매우 효과적이거나, 내구성에 문제를 가지고 있으며 아연도장을 위한 많은 단점 (큰 규모의 주형 도금을 위한 별도의 설비 요망 : 경제성이 결여, pH가 낮아서 부식성이 높고, 전처리를 철저히 해야함)을 가지고 있어 본 연구의 주 부식방지로는 부적합하다.

- 에폭시 수지 도장

여러 가지 도장 방법 중에 강관 도장을 위한 타르 에폭시 수지 도장 방법의 경우에는 38mm까지의 침하에서도 파괴되지 않는 내구성을 갖고 있으나, 도장의 수명을 가지고 있으며, 에폭시 수지계열의 특유의 취성적인 파괴 때문에 시공 중 거더의 변위가 큰 구조물에 적용시키기는 부적합 하다.

- 몰탈 뽀아붙이기 도장

다른 재료의 도장방법인 몰탈 뽀아붙이기 공법의 경우에도, 콘크리트의 재료적인 성질 때문에 강재 부식방지에 효과적이거나 주 부재의 변위에 의하여 균열 및 급작스런 취성파괴가 나타나기 때문에 부적합하다.

- 세라믹계 도장

세라믹계 도장의 경우, 다른 도장 방식에 비해 내구성이 우수하고, 강한 도막을 형성하지만 공사비가 고가이고 수축팽창에 대한 유연성이 부족 등 매립

형 프리플렉스 합성거더의 부식방지 대책으로는 부적합하다.

이와 같은 내용을 종합해 보면, 매립형 프리플렉스 합성거더에 부식방지를 위해 도장을 이용한 부식대책에 대해서는 구조물의 공용수명(100년)까지 부식방지가 되는 도장수명이 유지되지 않고, 구조물의 구조적인 변위에 의한 도장막의 취성과파괴가 발생하기 때문에 주요 부식방지 대책으로는 부적합하다. 하지만 선진국에서도 적용된 부식방지 대책의 방법으로 강재의 부식두께를 고려함과 동시에 도장을 복합적으로 적용한 것처럼, 강재부식의 활성화 최소화하기 위한 보조공법으로 사용해야 한다.

(3) 전기방식을 이용한 부식방지

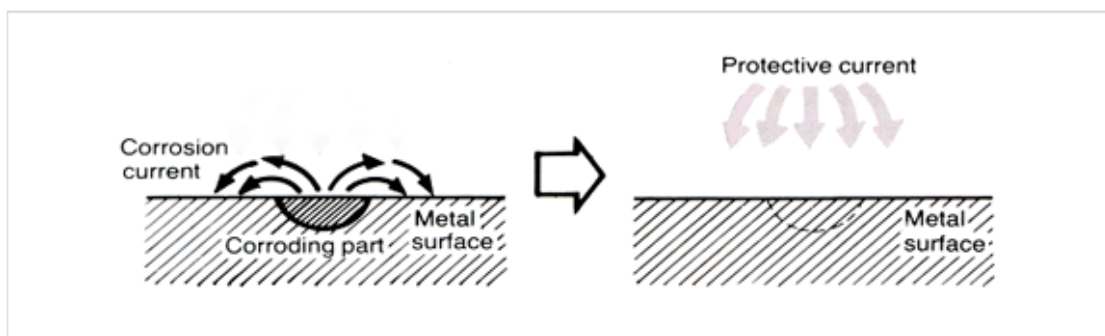
① 전기방식의 특징

전기방식 (음극화방식) 이란 금속표면에서 유출하는 전류 (부식전류) 의 반대 방향으로부터 충분한 전류 (방식전류) 를 인위적으로 계속 흘려 보내 부식전류를 소멸시키는 방법이다.

피방식체인 금속 표면의 외부에서 인위적으로 방식전류를 유입시키면 전위가 높은 음극부에 전류가 유입되어 음극부의 전위가 차차 저하되어 양극부의 전위에 도달하며, 결국 음극부 전위와 양극부 전위가 일치되어진다.

그 결과, 금속 표면에 형성된 부식 전류가 소멸되고 부식 현상이 정지되며 피방식체인 금속은 완전한 방식 상태에 이르게 된다.

이러한 원리를 응용한 방식법을 전기방식(Cathodic Protection)이라고 한다.



<강재 도장 방법>

② 전기방식의 효과 및 경제성

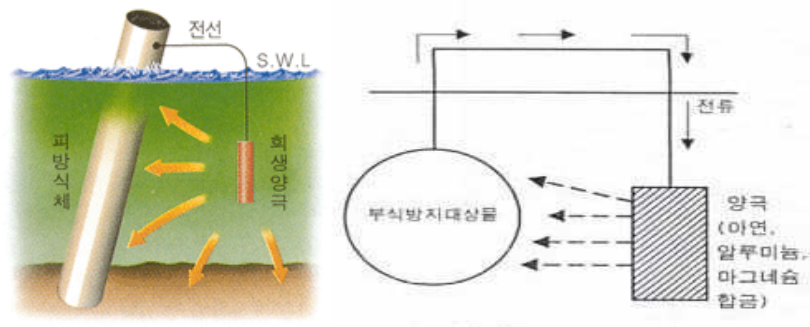
- 도장이 불가능한 환경이나 피방식체의 미세한 부분에 이르기까지 방식전류가 유입되므로 피방식체의 전명에 대해서 완벽한 효과를 얻을 수 있다.
- 구조물, 공장설비, 기기 등의 신설, 기설을 막론하고 전기방식을 시행하므로 즉시 부식이 정지되어 피방식체를 완전 방식된 상태로 유지시킨다.
- Coating, 도장, 도금 등을 시행한 피방식체에 전기방식법을 시행하므로써 이중효과를 얻을 수 있고, 손상이 되더라도 완전한 방식효과를 얻을 수 있다.
- 전기방식 시설비가 피방식체 시설비의 수 %정도에 불과하나 그 수명은 수배이상 연장시킨다.
- 설계 시 전기방식법을 적용하면 사용재료가 절약되며 경제적인 값싼 재료를 선택할 수 있다.
- 부식으로 인한 설비의 수리, 보수에 원인을 사전 방지하므로써 설비의 유지시간을 단축시킬 수 있다.
- 부식으로 인한 설비의 파손에 따른 제품원료의 오염, 손실 등을 방지할 수 있다.
- 부식에 의한 설비의 노후로 야기될 수 있는 각종 재해를 미연에 방지할 수 있다.

③ 전기 방식의 종류

- 희생양극법

희생양극법(유전양극법)이란 피방식 금속에 보다 저전위의 금속, 예를 들면 철에는 알루미늄, 마그네슘, 아연 등의 양극을 전선으로 연결 이 양 금속간의 국부 전지작용으로 발생하는 전류를 방식전류로서 이용하는 방식이다. 이러한 경우 저전위금속(유전양극)으로 부터는 전류와 더불어 금속이온(ion)이 용출되면서 시간경과에 따라 소모된다. 즉, 양극이 된 금속이 대신 희생부식하면서 피방식체의 부식을 방지하는 것이다.

현재 유전양극법에 사용되는 양극에는 고순도 아연양극, 고순도 마그네슘양극, 아연합금양극 등이 있다.



장 점	단 점
- 설치방법이 간단하다. - 방식대상체가 작은 경우 비용이 경제적이다. - 근접 타 배관에 대하여 간섭 영향이 적다. - 과방식의 염려가 없다. - 외부의 전원이 필요없다. - 유지관리비가 적다. - 양극을 분산시켜 설치하므로써 전류분포가 고르게 된다. - 위험지역에 설치하여도 아무런 이상이 없다. - 이미 설치된 시설물에서도 간단하게 시공할 수 있다.	- 방식효과 범위가 적다. - 방식대상체가 클 경우 비용이 많이 든다. - 양극의 소모로 인하여 일정기간 보충해야 한다. - 시설 후 전류조절이 불가능하다. - 비저항이 낮은 물기나 토양환경 외에는 활용하지 못한다. - 양극 설치 수량이 많다. - 시설 후 전류조절이 불가능하다. - 긴 수명을 요구하는 협소한 장소에는 양극의 부피 때문에 설치하기 곤란하다. - 환경변화에 따른 전류조절이 안된다. - 저항이 높은 환경에서는 비경제적이다.

<희생양극법의 원리 및 장단점>

<희생양극법의 종류>

Items	Al-alloy anode ALUNODE	Mg-alloy anode MAGANODE	Zn-alloy anode ZANODE	Fe-anode PURE IRON
비중	2.77	1.82	7.14	7.86
양극전위 (기준전극)	-1.10 ($Ag/AgCl$)	-1.55 ($Cu/CuSO_4$)	-1.05 $Ag/AgCl$	-0.62 ($Cu/CuSO_4$)
이론발생전기량 (Amp.hours/Kg)	2,850	2,197	820	960
전류효율(%)	92	50	95	90
유효발생전기량 (Amp.hours/Kg)	2,620	1,100	780	860

- 외부전원법

외부전원식이란 부식액 또는 토양 중에 전극을 설치, 이것을 외부직류전원 (+)단자에, 또 피방식체를 (-)단자에 각각 연결, 전극으로부터 피방식체를 향하여 전해질을 통한 방식전류를 유입시키는 방식이다. 양극의 종류에는 철, 탄소, 그라파이트, 고규소철, 연은, 백금전극 등이 있으며 피방식체의 상황에 따라 적절히 선정한다.

피방식체가 설치되어 있는 토양이나 해수 중에 외부 전원용 전극을 설치하고, 여기에 외부에서 공급되는 직류 전원의 극을 연결하고 피방식체에는 극을 접속시키면, 이때 전해질을 통하여 방식 전류가 피방식체에 유입되어 완전한 방식 상태가 된다. 외부 전원법에 사용되는 전극에는 규소철전극, 백금전극 등이 있다. 외부전원법의 장단점은 아래의 표와 같다

<외부전원법의 장단점>

장 점	단 점
- 방식효과 범위가 넓다. - 방식대상체가 클 경우 비용이 경제적이다. - 양극의 소모가 적다. - 전압 및 전류의 조정이 쉽다. - 양극 설치 수량이 적다. - 비저항으로 인한 제한이 적다. - 내소모성의 양극을 사용함으로 양극의 수명을 길게 할 수 있다. - 작은 양극으로 큰 전류를 발생시킬 수 있어 많은 전류를 필요로 하는 협소한 장소에서 유용하다. - 자동화 방식이 가능하다. - 전류조절이 가능하므로 저항이 높은 환경에서도 유용하게 사용할 수 있다.	- 방식대상체가 작은 경우에는 초기 투자비용이 많이 든다. - 강력하므로 근접 타배관에 대해 간섭을 준다. - 과방식에 주의해야 한다. - 외부의 전원이 필요하다. - 유지관리비가 있다. (전력비, 인건비) - 위험지역에 기기가 설치 될 때는 모든 기기를 방폭형으로 해야 하므로 시공비가 더욱 상승한다. - 원광석 분말과 같은 양도체를 취급하는 장소(제철공장, 탄광지역 등)에서 분진의 침투를 막기 위해 별도의 대책이 요구된다.

- 희생양극법과 외부전원법의 비교

희생양극법과 외부전원법의 비교는 아래의 표와 같다.

구분	외부전원법	희생양극법
효과성	- 대규모 구조물에 효과적 - 효과 범위가 큼 - 인접 시설물에 전식 영향의 가능성이 있음	- 소규모 구조물에 효과적 - 효과범위가 좁다 - 양극의 분산 설치가 가능하므로 전류분포가 균일함 - 인접한 타 시설물에 영향을 주지 않음
시공성	- 협소한 장소에 설치가능 - 타 공사에 영향이 없음	- 시공이 간단하고 편리함 - 타공정에 영향을 줌
경제성	- 대규모 구조물 방식시 초기 투입비는 저렴 - 지속적 전원공급이 요하므로 유지비 필요	- 소규모 구조물 : 저렴 - 대규모구조물 : 양극당 출력전류가 적어 많은 양이 설치되어야 하므로 자재비 및 인건비가 외부전원법의 약 2배 이상소요
사후 관리	- 시공 후 정류기 조정으로 전류 조절가능 - 정류기등 유지관리 필요	- 인위적 유지관리 불필요 - 전류조절이 불가능

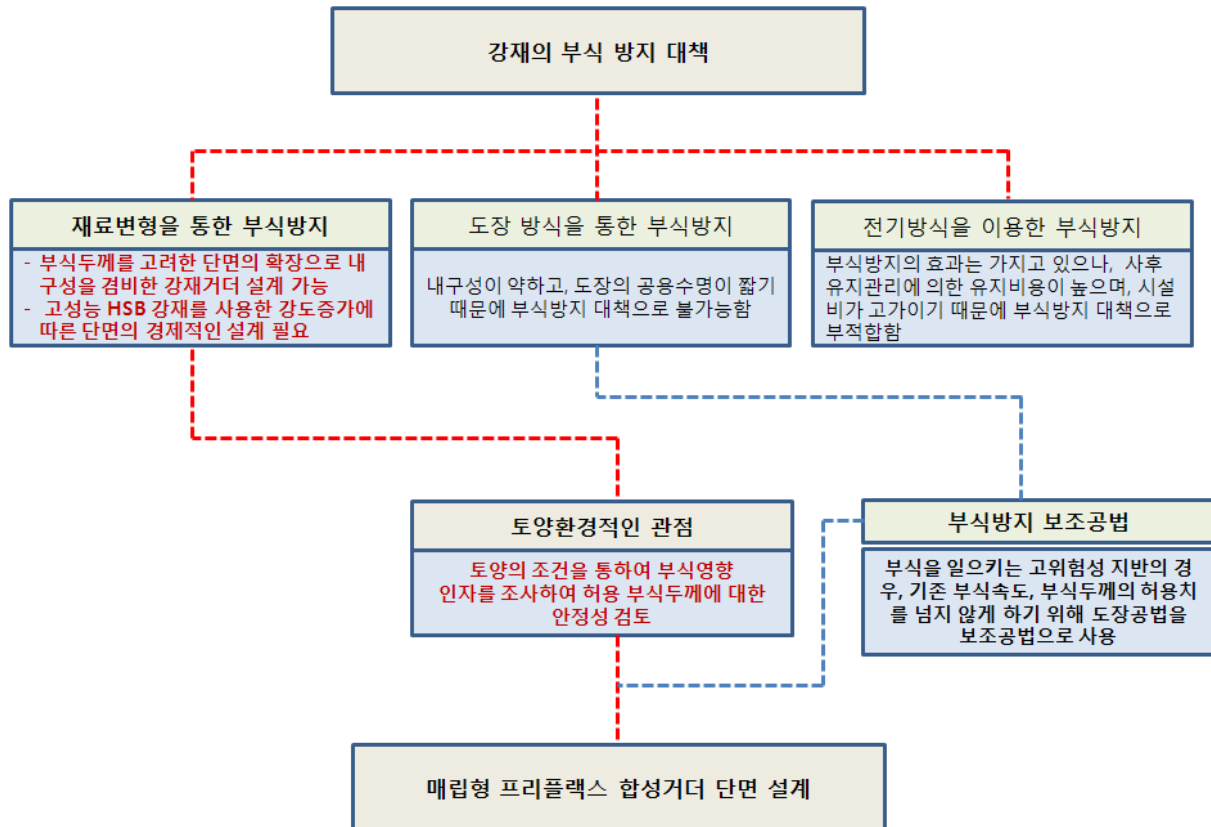
위와 같은 전기방식을 분석한 결과, 희생양극법과 외부전원법은 프리플렉스 거더 상부면의 부식을 지연시켜 줄 수 있는 효과적인 대안으로 제시할 수 있으나, 장점보다 더 큰 단점이 많기 때문에 매립형 프리플렉스 합성거더의 부식방지 대책으로 적합하지 않는다.

희생양극법의 경우에는 외부의 전원이 필요 없어서 유지관리 측면에서는 경제적이고, 기 시공된 구조물에도 쉽게 설치가 가능하다. 하지만 주기적인 희생양극의 보충이 필요하고, 긴수명을 요구하는 협소한 장소에는 양극의 부피 때문에 설치가 곤란하다는 단점을 가지고 있기 때문에 100년 이상 구조물이 유지되어야 하는 복개터널에는 부적합하다.

외부전원법의 경우에는 방식효과의 범위가 높고 자동화 방식이 가능하며, 부식방지하기 위한 양극의 소모가 적고 내소모성의 양극을 사용함으로써 양극의 수명을 길게 할 수 있다. 하지만 초기 투자비용이 너무 많이 소요되고, 외부의 전원이 필요하기 때문에 전력비, 인건비와 같은 유지관리비가 많이 소요가 된다. 외부전원법의 경우에는 복개터널 시공에 따른 사후 유지관리 비용이 많이 소요되기 때문에 적합하지 않다고 분석된다.

(4) 소 결

매립형 프리플렉스 합성거더의 부식방지 대책으로 아래와 같다.



※ 매립형 프리플렉스 합성거더의 경우, 부식방지 대책으로 부식두께를 고려한 거더단면의 확장으로 거더 안정성을 고려하는 것이 가장 효과적이라고 분석된다.

※ 강재의 부식의 주요 원인은 토양의 환경에 따라 부식속도 및 부식두께가 달라지므로, 우리나라의 강재로 된 지중구조물의 부식두께 기준과 선진국에서 연구되었던 부식방지에 대한 기술자료를 병행하여 최적의 부식두께 (적정기준 두께 : 2mm)를 적용한다.

※ 거더가 매립된 토양이 부식을 매우 활발하게 발생시킬 수 있는 영향이 있는 경우에는 부식두께를 고려한 거더의 단면설계를 하고, 도장 공법을 보조공법으로 적용함으로서 부식두께를 최소화해야 한다고 분석된다.

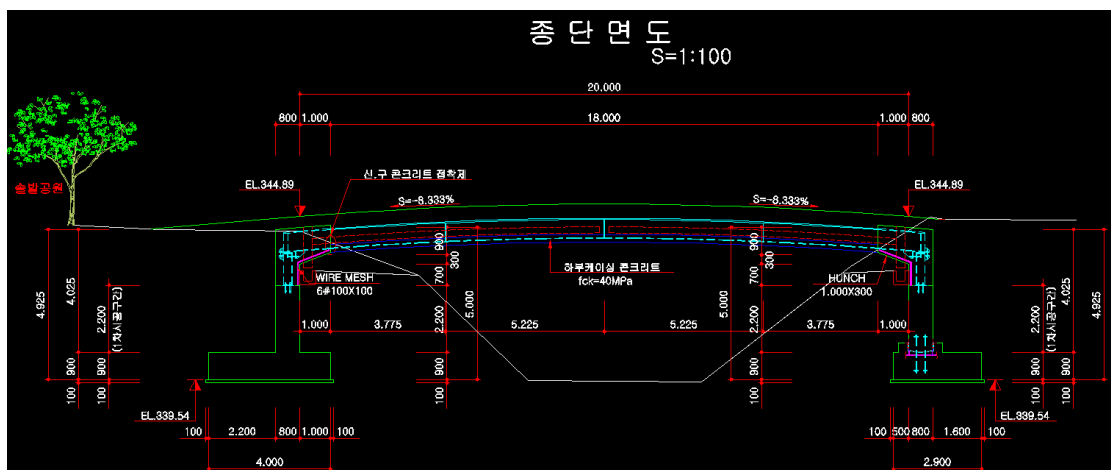
6. 매립형 강합성라멘 실구조물 구조성능 평가

(1) 강합성 라멘 실구조물 제작/시공성 평가

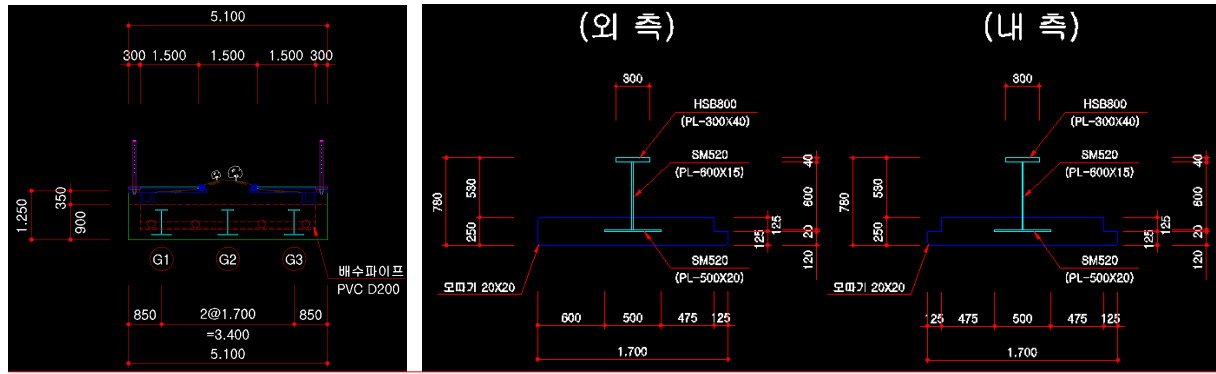
본 연구과제에서는 계획단계에서 40m 실교량 거더에 대한 제작과 이에 대한 제작성 평가를 계획하였으나, 연구과제 중반부에 테스트베드 대상 교량현장이 발굴되어 개발된 매립형 프리플렉스 거더교량의 현장적용과 이에 대한 제작/시공성을 평가하고 나아가 시공단계 고려 장기거동 해석을 통해 장기 구조성능을 검증하는 것으로 대체하였다.

① 매립형 프리플렉스 거더 교량의 테스트베드 현장적용

적용 현장은 제천 솔밭공원 내 설치되는 교량으로 지간장 20m, 폭 5m의 보도육교이다. 이 교량의 설치를 통해 솔밭공원 진입로 간격을 400m에서 200m로 줄여 시민들의 접근성을 높이도록 하였다.



<제천 솔밭공원 보도육교 현장 및 교량 종단면도>



<제천 솔밭공원 보도육교 단면도>

이 교량의 단면도는 상기 도면과 같으며, 연구결과를 적용하여 높은 수준의 응력을 받는 상부플랜지에는 HSB800을 복부에는 SM520 강재를 적용하였다.



<방수 및 방근 계획>

방수 및 방근시공은 상기와 같으며 이에 대한 상세 조사결과 및 지침(안)은 부록에 포함하였다.

이 교량은 2011년 9월에 거더제작이 착수되었으며, 11월 초 토공완료를 목표로 하여 2011년 10월 19일 현재 거더거치를 계획하고 있다. 상세 시공일정은 아래와 같다. 따라서 이 보고서는 현재까지 진행된 내용으로 기준으로 작성되었다.

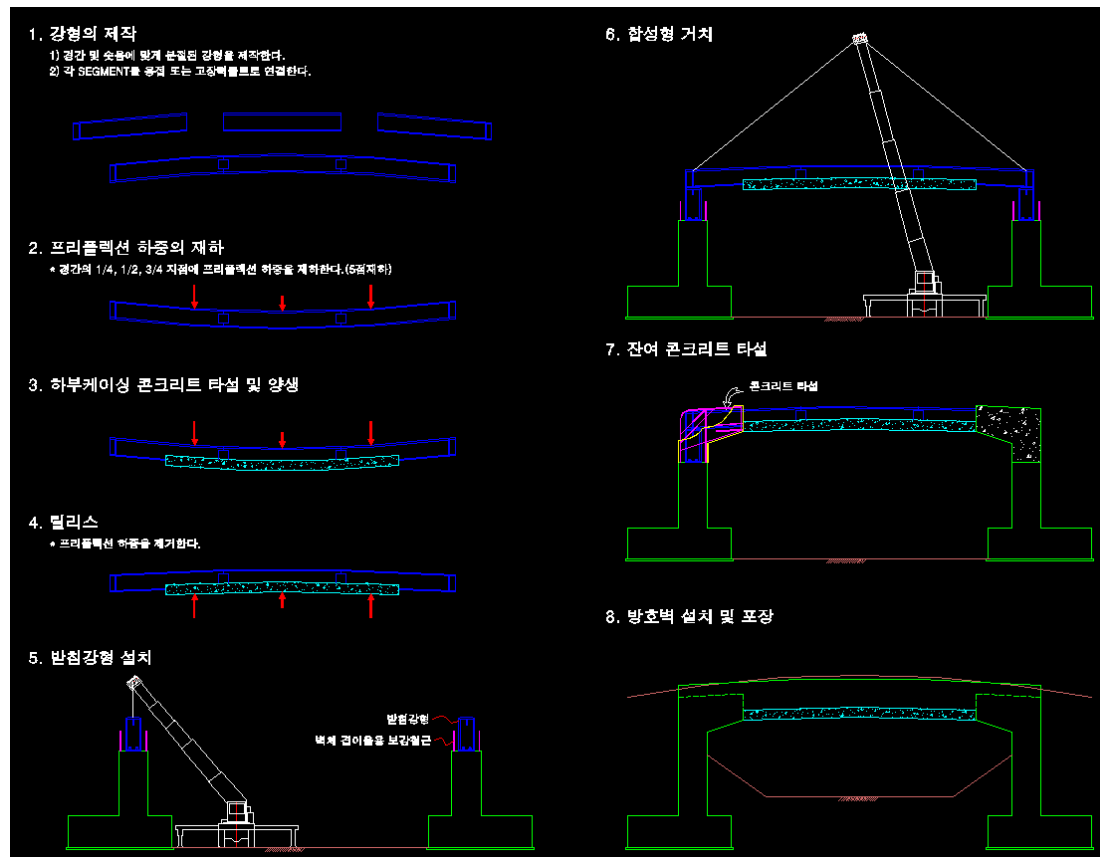
예 정 공 정 표

공량명 : 솔밭공원 인도교

공정	9월					10월																															11월														
	26	27	28	29	30	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	1	3													
제천 제작장 자재 반입			 G1~3																																																
현장 용접			 G1~3																																																
하부케이싱 철근조립					 G1					 G2								 G3																																	
P/F 하중재하						 G1							 G2								 G3																														
하부케이싱 강재거푸집설치						 G1							 G2								 G3																														
하부케이싱 레이콘 타설								 G1							 G2								 G3																												
증기양생 (10시간)								 G1							 G2								 G3																												
윤반 및 가설																								 G1~3																											
무각부벽체및 방호벽시공																																																			
방수작업																																																			
토공작업																																																			

<제천 솔밭공원 보도육교 공사 예정 공정표>

이 교량의 제작 및 시공단계는 아래 그림과 같이 (a) 강형의 제작, (b) 프리플렉션 하중의 재하, (c) 하부케이싱 콘크리트 타설 및 양생, (d) 프리플렉션 하중의 제하(릴리즈), (e) 기초 형성, (f) 기초부 받침강형 설치, (g) 합성형 거더 거치, (h) 잔여콘크리트 타설, (i) 방호벽 설치 및 성토단계로 이루어진다. 기초 형성은 콘크리트로 이루어지는데 바닥기초를 먼저 타설한 후 기둥부를 2단계로 나누어서 타설하게 된다. 이 교량에 대해 (d) 단계까지 거더 제작단계는 다음 그림과 같다.



<매립형 프리플렉스 거더 교량의 제작/시공단계>



㉠ 자재입고



㉡ 복부판 및 상하부 플랜지 절단



㉔ 거더 용접 및 기계교정



㉕ Main 마킹 및 소부재 천공



㉖ 소부재 CO2 용접 및 비파괴검사(M.T.)



㉗ 최종 검사 및 하부플랜지 구체 콘크리트 타설을 위한 운송



㉠ 캠버측정 및 취부/용접



㉡ 비파괴검사 (U.T. / R.T.)



㉢ 철근조립 및 하중재하



㉣ 거푸집 조립 및 콘크리트 품질검사



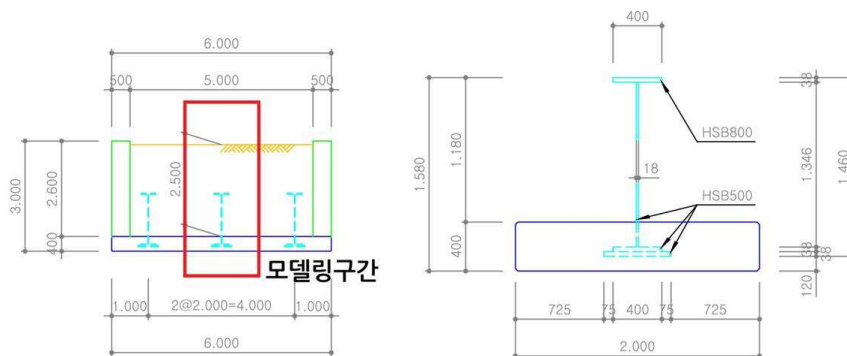
㉞ 레미콘 타설 및 증기양생

<제천 솔밭공원 보도육교 교량거더 제작단계>

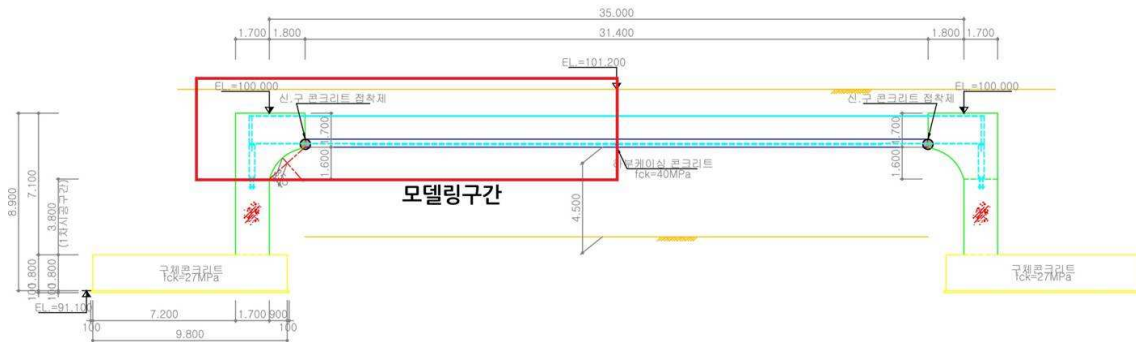
② 매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 시공단계 고려 장기거동성능 평가

매립형 프리플렉스 거더의 현장적용을 위해 제천시와 협의하는 과정에서 시간 20m, 교량과 35m 교량이 검토되었다. 교량 형식의 결정과 발주가 9월에야 이루어진 관계로 사전에 장기성능 검토를 위해 하나의 형식을 선정하였는데, 이 연구과제에서 장경간 강합성 교량 개발을 목표로 하고 있고 35m인 경우가 보다 하중조건 등에 있어서 불리하기 때문에 35m를 대상으로 시공단계를 고려한 장기거동 해석을 수행하였다. 해석을 수행하는데 있어 크립와 건조수축을 고려한 장기거동 해석에 보편적으로 사용되는 DIANA를 이용하였다.

● 해석대상 구조물은 아래 그림에서 보듯이 거더(상부플랜지, 복부판, 하부플랜지)와 하부 케이싱 콘크리트, 우각부 콘크리트, 받침강형으로 이루어져있으며, 종방향 대칭형이기 때문에 구조물의 1/2만 모델링을 하여 해석을 수행하였다. 그리고 거더의 초기 수축을 고려하지 않고 해석을 수행하였다. 해석에서 고려한 시공단계에 대한 공기는 아래 표와 같다.



(a) 횡단면도



(b) 종단면도

<구조물의 해석 단면 및 형상>

<각 공정 별 공기>

공정	공기 (day)	누계 (day)	공정	공기 (day)	누계 (day)
Preflexion 하중 재하	0	0	가설	1	10
하부 케이싱 콘크리트 양생	6.5	6.5	우각부 콘크리트 타설 후 양생	28	38
Release	0.5	7	방호벽 설치 및 복토	-	-
적치 및 운반	2	9			

● 해석은 하부 케이싱 콘크리트 타설 직 후부터 30년까지 수행하였으며, 하부 케이싱 콘크리트 (40 MPa)와 우각부 콘크리트 (27 MPa)에 대하여 건조수축과 크리프를 동시에 고려하여 응력 및 변형률이 계산하였다.

● 해석은 CEB-FIP 1990 모델을 근간으로 하는 우리나라 콘크리트 구조설계 기준의 장기거동 모델을 사용하였다.

● 합성형 라멘교의 실제 시공에서 증기양생이 적용되며 초기 재령에서 콘크리트 강도가 설계기준강도에 도달하게 된다. 이러한 특성을 반영하여 교량을 설계할 때 도로교설계기준에 따라 고려한 최종건조수축 변형률(270×10^{-6})과 극한크리프계수(2.0)를 기준으로 라멘교에 사용되는 콘크리트에 대한 장기거동 모델의 파라미터를 결정하였다.

● 극한크리프계수의 경우 28일을 기준으로 2.0이 되도록 하였고, 건조수축의 경우 재령 7일에 노출된 경우를 가정하여 최종건조수축변형률이 270×10^{-6} 이

되도록 모델의 파라미터를 정하였다.

● 거더(강재)의 상부 플랜지의 항복강도와 허용응력은 각각 690 MPa과 380 MPa이고, 거더(강재)의 복부판 및 하부 플랜지의 항복강도와 허용응력은 각각 380 MPa과 230 MPa이다. 철근의 항복강도와 허용응력은 각각 400 MPa과 160 MPa 이다.

<해석입력변수 - 콘크리트>

입력값		하부 케이싱 콘크리트	우각부 콘크리트
물성치	시멘트 종류	1종 시멘트	1종 시멘트
	28일 압축강도 (MPa)	48	35
	28일 탄성계수 (MPa)	30800	27800
	포아송비	0.18	0.18
콘크리트 구조설계 기준 (CEB-FIP 1990 모델)		- 최종크리프계수 : 20 (28일 재하시) - 최종건조수축변형률 : 270×10^6 (재령 7일 노출시)	

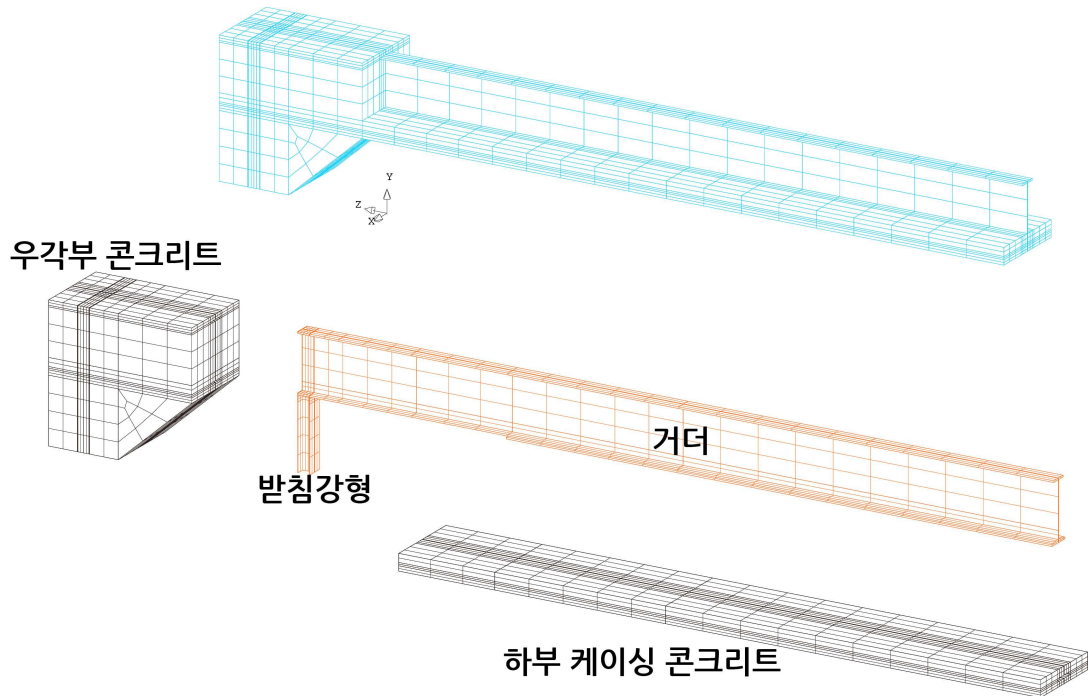
<거더(강재) 및 철근의 특성>

	상부 플랜지	복부판 및 하부 플랜지	철근
항복응력 (MPa)	690	380	400
허용응력 (MPa)	380	230	160
탄성계수 (MPa)	205,000	205,000	200,000

● 합성형 RAHMEN교 구조물 모델링

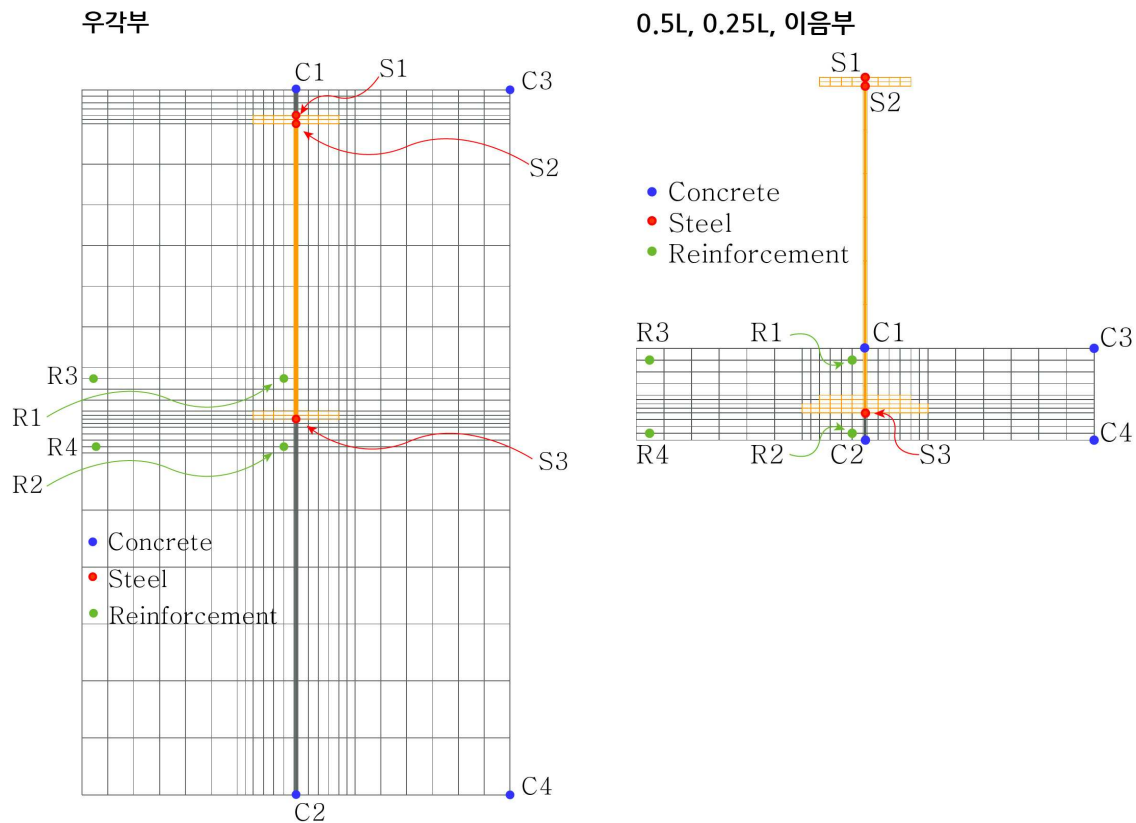
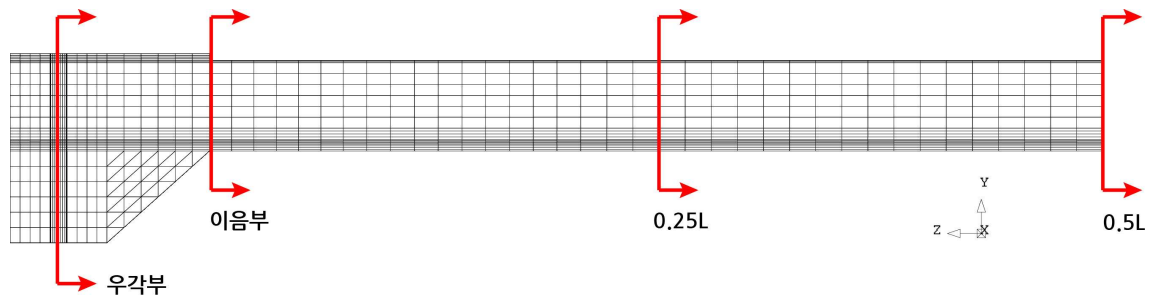
합성형 RAHMEN교 구조물은 3차원으로 모델링 하였으며, solid 요소를 사용하였다. 단면 내부의 철근은 embedded element를 사용하여 모델링 하였다. 아래 그림은 유한요소 모델링을 나타낸 것으로, 해석에 고려한 좌표축은 구조물의 횡방향으로 X, 높이방향으로 Y, 종방향으로 Z 축으로 정하였다. 합성형 RAHMEN교 구조물의 유한요소 모델링에서 절점은 39540개, 요소 35664개, 철근 요소는 495개가 사용되었다. Boundary condition은 우각부콘크리트 하단은

횡방향(X)과 높이방향(Y)으로, 하부 케이싱 콘크리트 바깥면은 횡방향(X)로, 거더와 하부 케이싱 콘크리트의 0.5L 면은 종방향(Z)으로 구속하였다.



<유한요소모델링>

아래 그림은 주요 해석결과의 출력 위치를 나타낸 것이다. 구조물의 횡방향 대칭성을 고려하여 거더를 중심으로 한쪽에 대한 결과만 출력하였다. 거더와 하부 케이싱 콘크리트의 0.5L, 0.25L, 이음부, 우각부에서 콘크리트(C1, C2, C3, C4)와 강재(S1, S2, S3)의 응력, 구조물의 시간에 따른 처짐 변화에 대한 해석결과를 출력하였다.

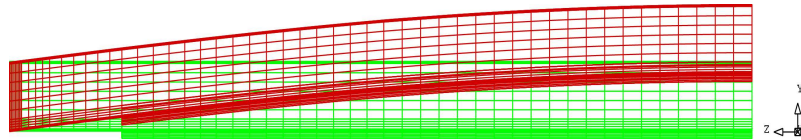


<구조물의 해석결과의 출력 위치>

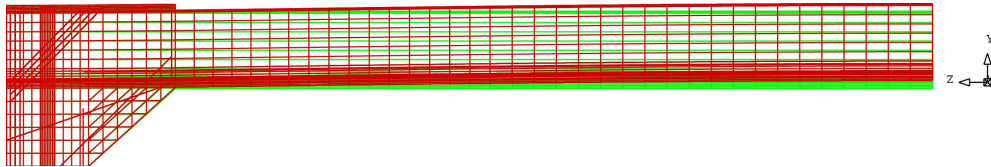
장기거동은 구조물의 사용성을 검토하는 것이므로 활하중의 영향은 거의 없다. 따라서 하중계수를 곱하지 않은 고정하중만을 고려하며, 하중의 크기가 가장 큰 경우인 복토시 토압이 작용하는 상황을 고려하여 해석을 수행하였다.

● 해석결과 - 시간에 따른 변위

아래 그림은는 합성형 RAHMEN교이 변형된 형상을 나타낸 것으로, preflexion 하중을 release 할 때와 복토가 이루어지는 시점의 변형 형상이다.

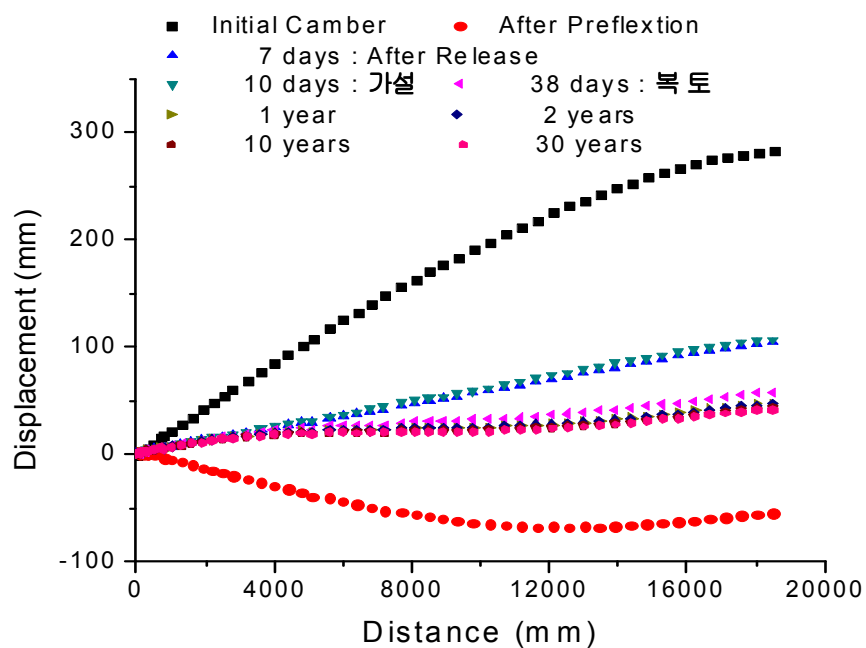


a) Preflexion 하중 Release시



(b) 방호벽 설치 및 복토시
<구조물의 변형 형상>

아래 그림은 구조물의 시간에 따른 변위를 나타낸 것으로, 해석으로부터 얻은 구조물의 변위 검토결과 30년 후 솟음이 44mm로 나타났다.

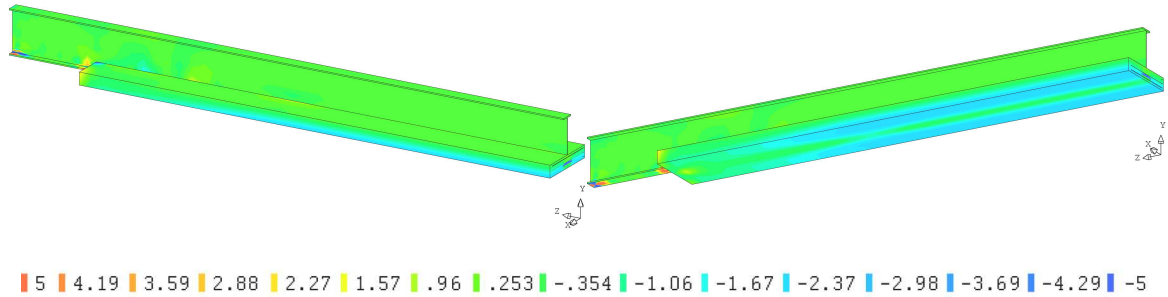


<구조물의 시간에 따른 처짐>

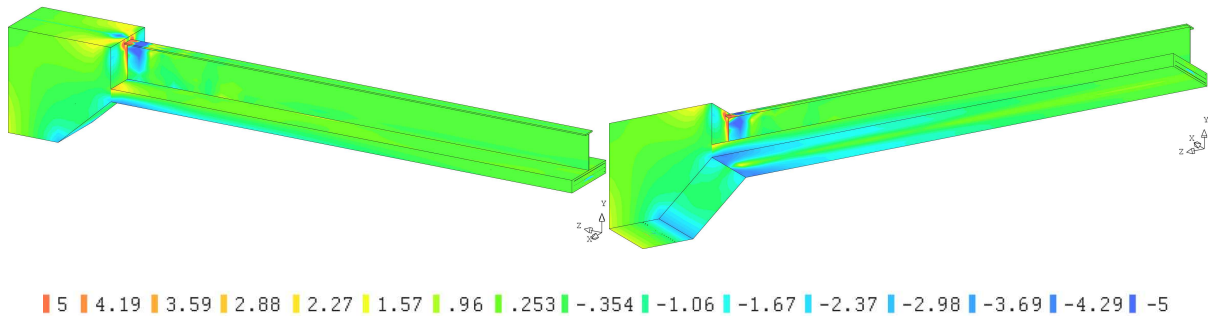
위 그림에서 보듯이 지속하중에 의하여 시간에 따라 구조물의 변위는 특정한 값으로 수렴하는 양상을 보이고 있다. 합성형 RAHMEN교 구조물의 경우 30년 후 솟음 44mm로 지속하중에 대한 허용한계값($L/480 =$ 처짐 77mm)을 만족하는 것으로 나타났다.

● 해석결과 - 시간에 따른 구조물(콘크리트, 강거더, 철근)의 응력 변화

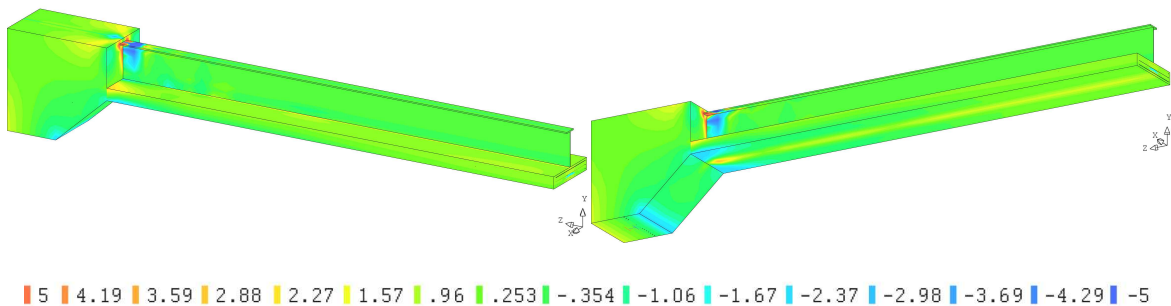
아래 그림들은 시간에 따른 구조물의 x, y, z방향 응력 분포를 나타낸 것으로, 각각의 방향에 따른 구조물의 응력 변화를 release시(7일), 복토시(38일), 1년, 30년 시점에서 나타냈다.



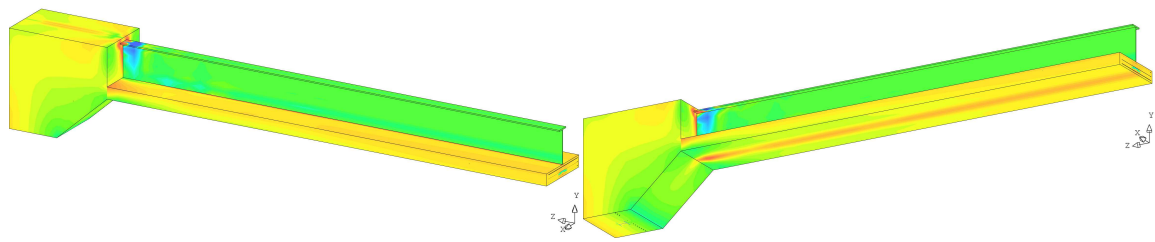
(a) Release시 (7일)



(b) 복토시 (38일)



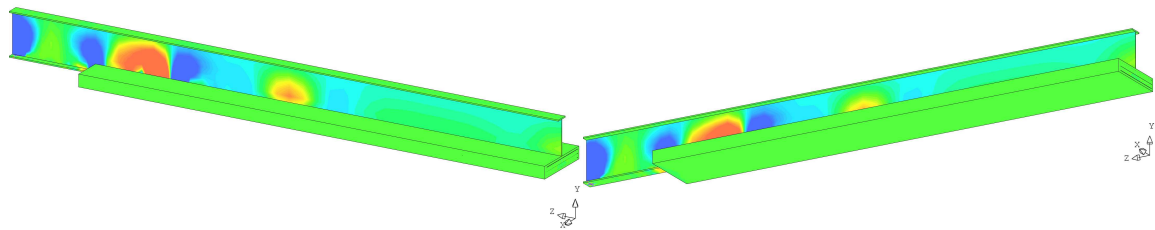
(c) 1년



5 4.19 3.59 2.88 2.27 1.57 .96 .253 -.354 -1.06 -1.67 -2.37 -2.98 -3.69 -4.29 -5

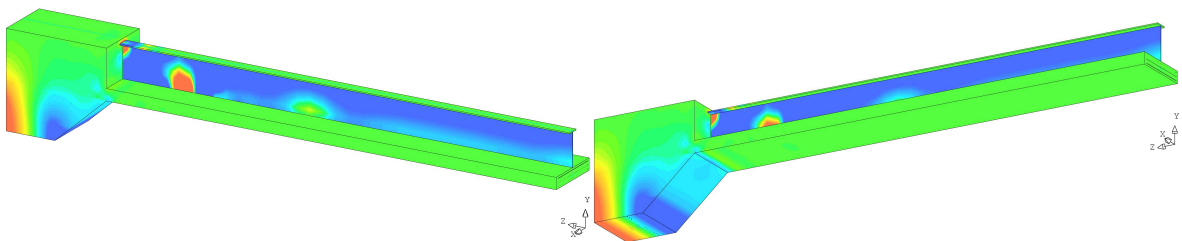
(d) 30년

<구조물의 X축 방향 응력>



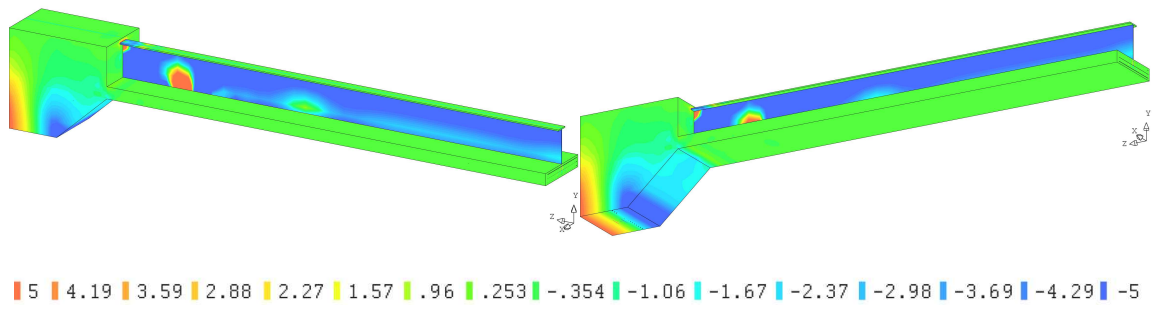
5 4.19 3.59 2.88 2.27 1.57 .96 .253 -.354 -1.06 -1.67 -2.37 -2.98 -3.69 -4.29 -5

(a) Release시 (7일)

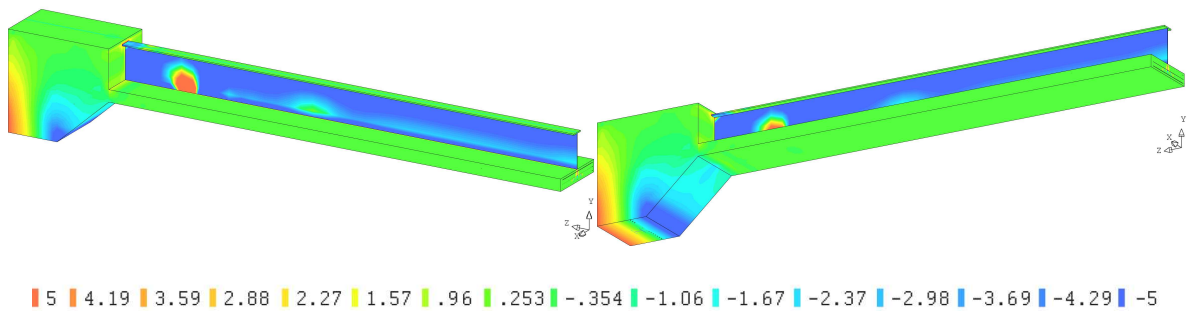


5 4.19 3.59 2.88 2.27 1.57 .96 .253 -.354 -1.06 -1.67 -2.37 -2.98 -3.69 -4.29 -5

(b) 복토시 (38일)

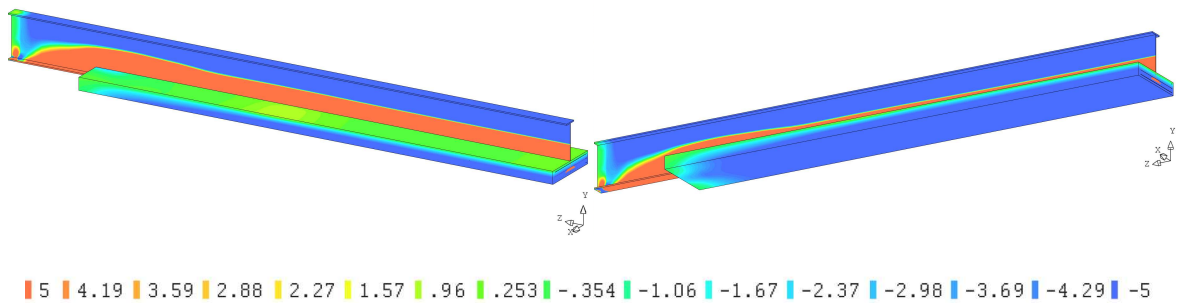


(c) 1년

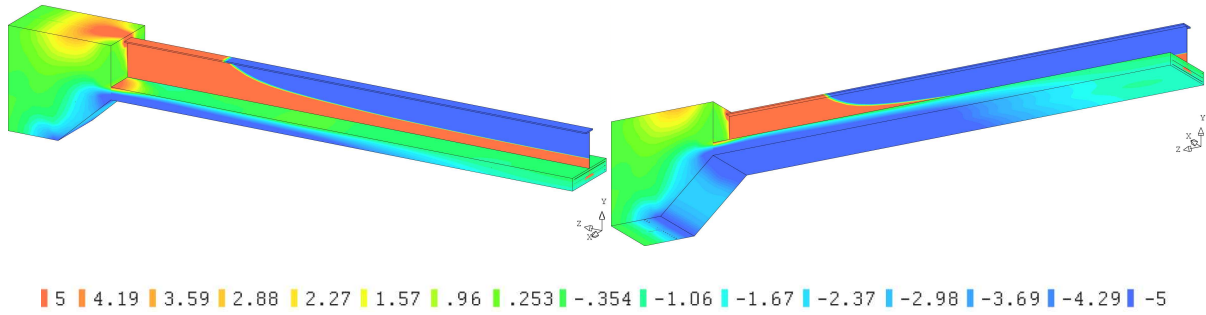


(d) 30년

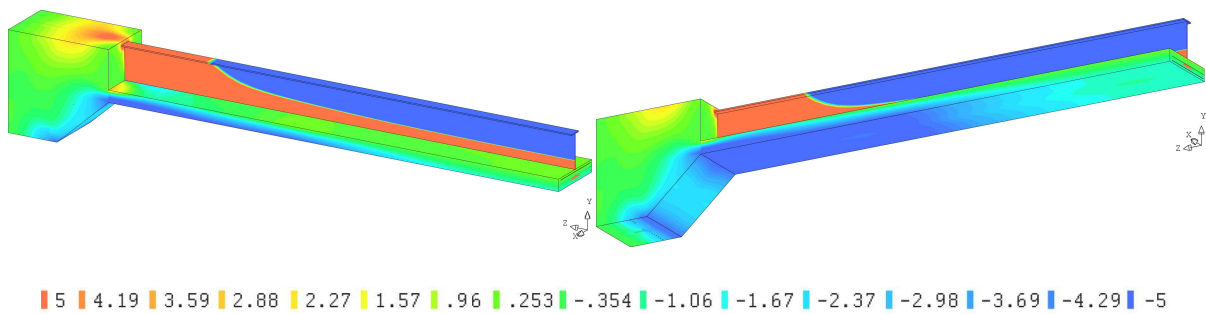
<구조물의 Y축 방향 응력>



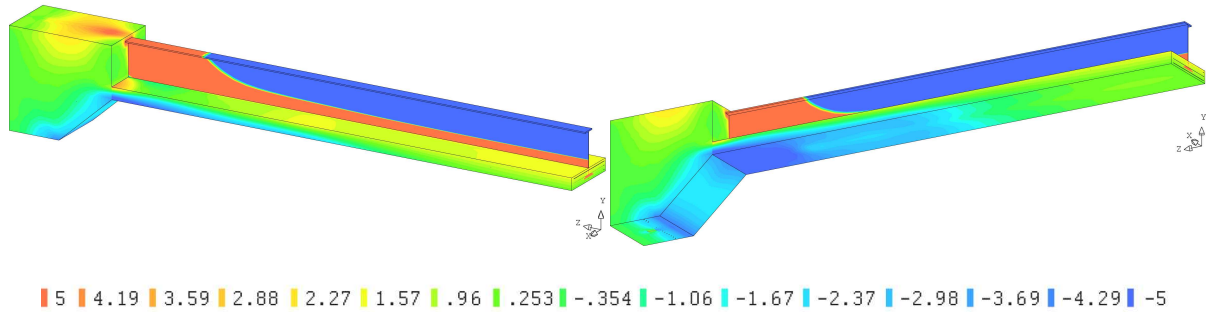
(a) Release시 (7일)



(b) 복토시 (38일)



(c) 1년

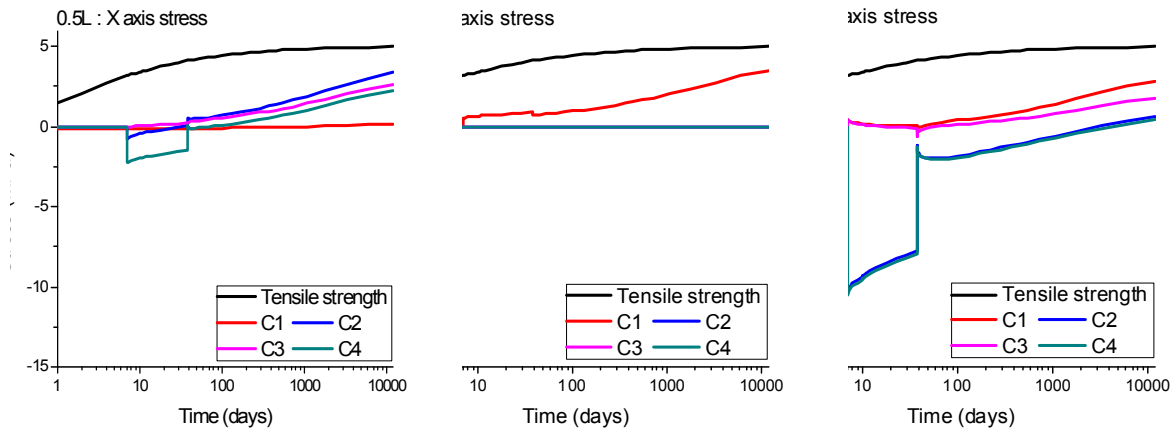


(d) 30년

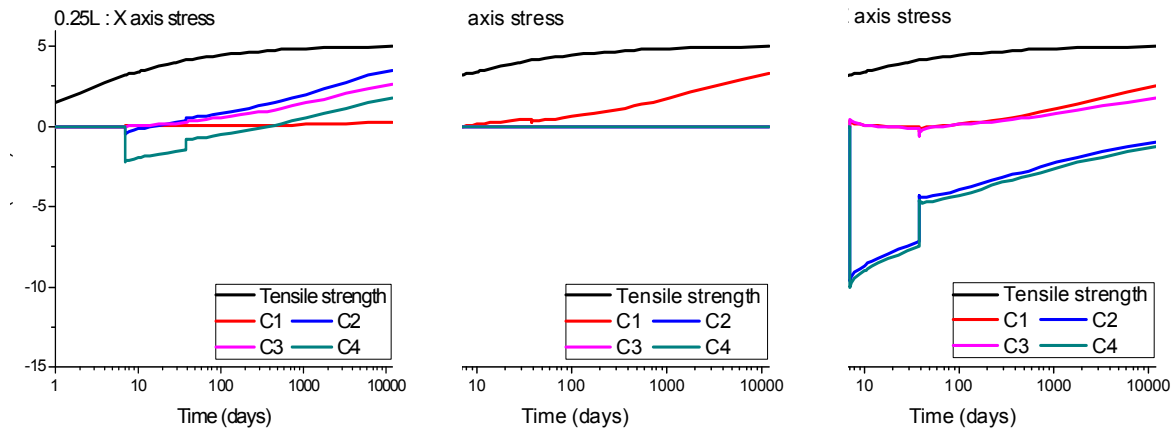
<구조물의 Z축 방향 응력>

상기 그림들에서 보듯이 크리프와 건조수축에 의한 하부 케이싱 콘크리트의 응력이 시간에 따라 변화하고 있음을 알 수 있다. 아래 그림은 시간에 따른 구조물의 응력변화를 그래프로 나타낸 것이다. 장기거동 해석의 경우 구조물의 사용상태에 대한 예측을 목표로 하며, 주로 콘크리트의 균열발생 여부가 가장 중요한 검토 대상이다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 구조물의 모든 부분에서

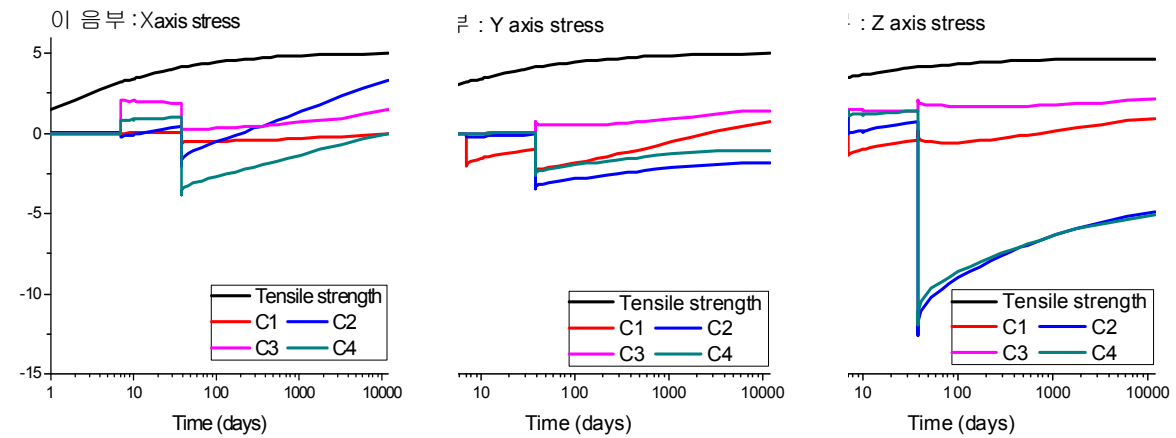
시간에 따른 응력 변화에도 인장강도를 초과하는 응력이 발생하고 있지 않으며, 구조물의 사용 기간 동안 균열이 발생하지 않을 것으로 판단된다.



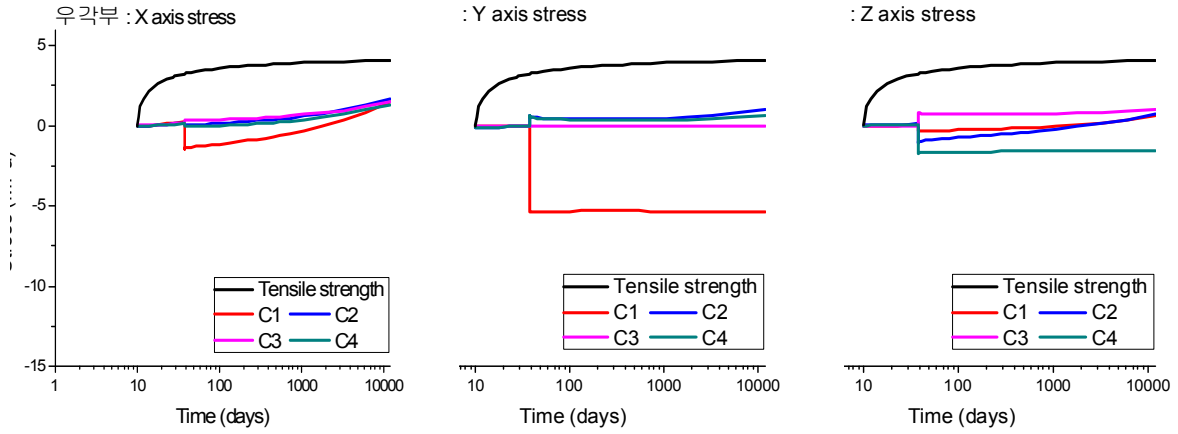
(a) 0.5 L



(b) 0.25 L

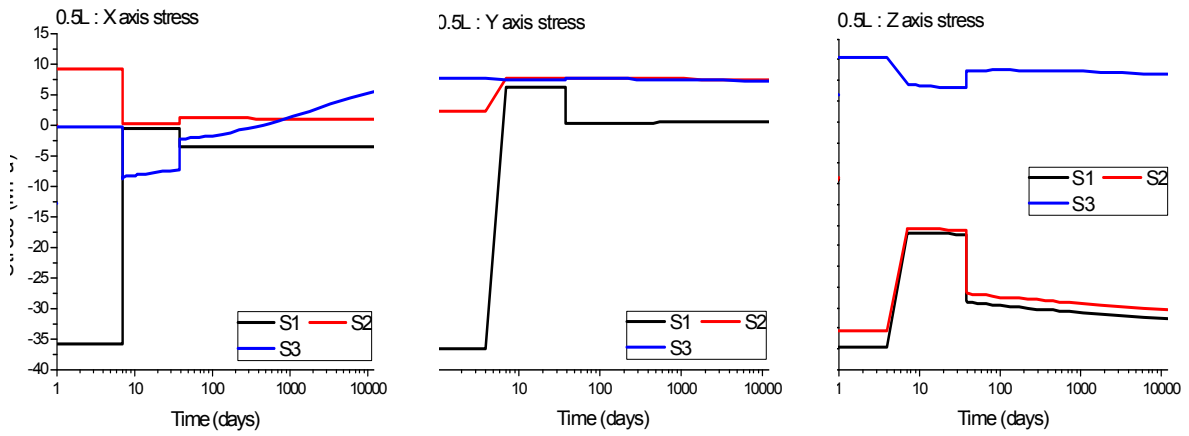


(c) 이음부

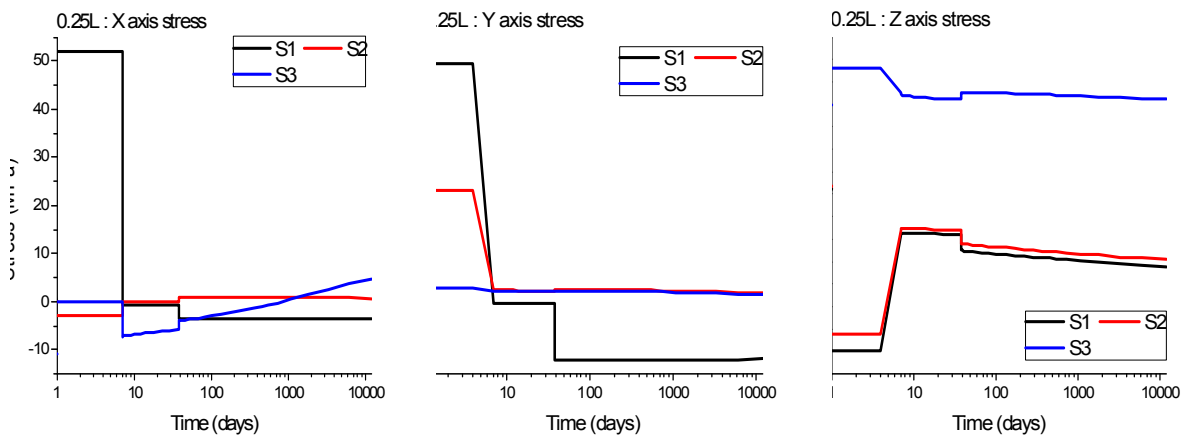


(d) 우각부

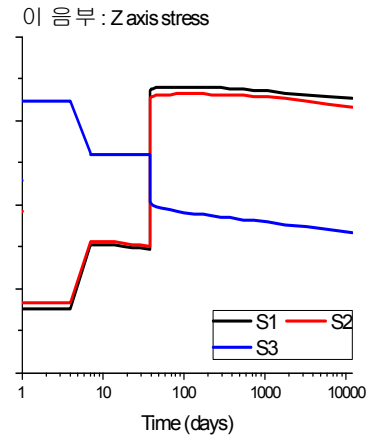
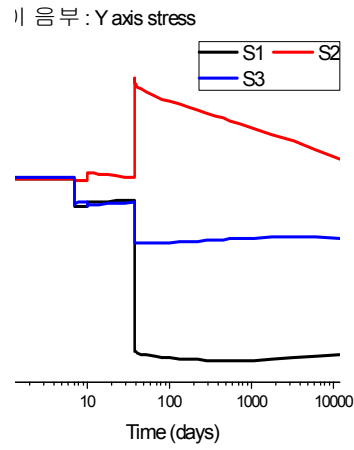
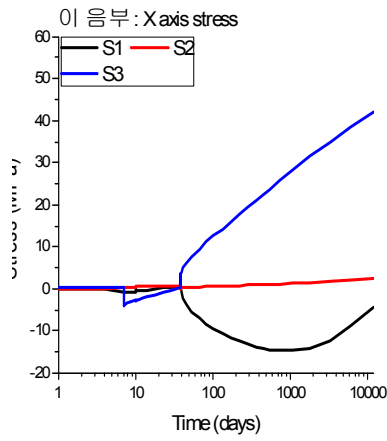
<시간에 따른 콘크리트의 응력변화>



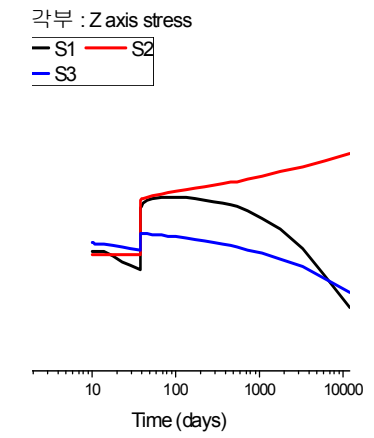
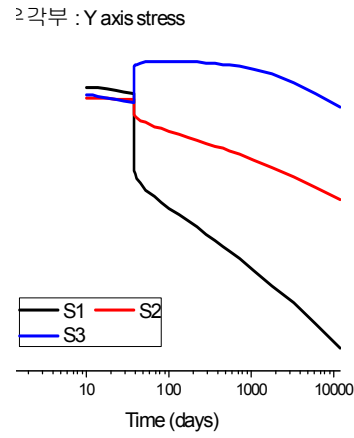
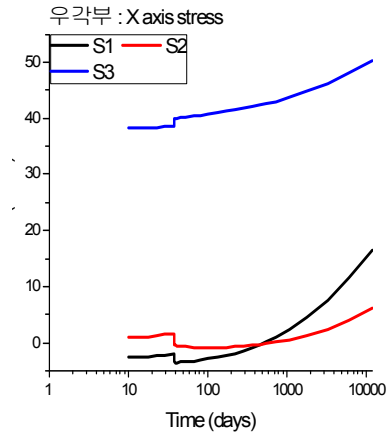
(a) 0.5 L



(b) 0.25 L

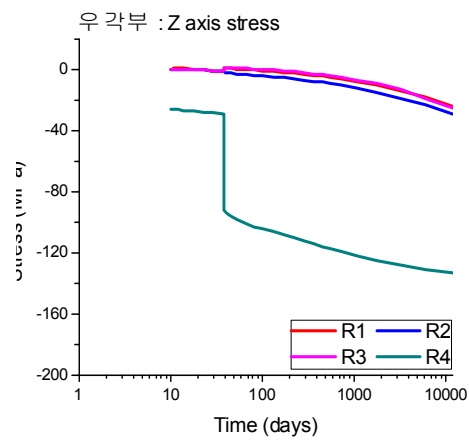
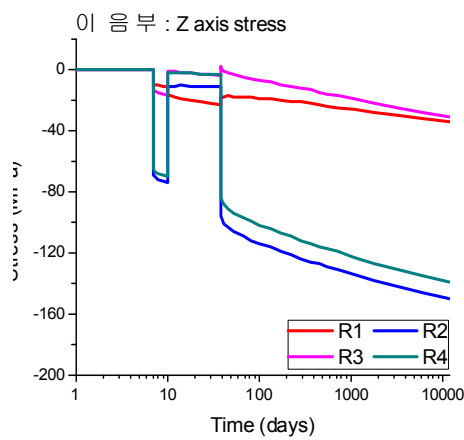
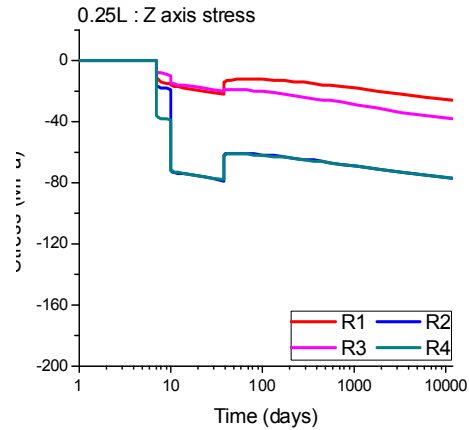
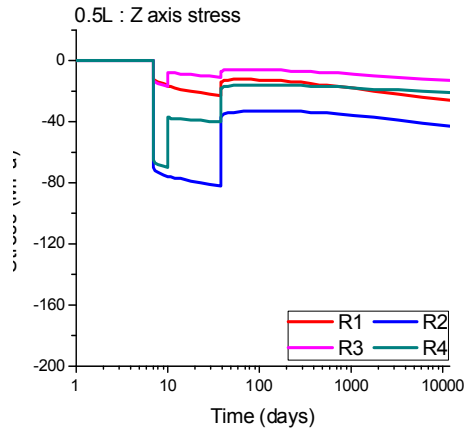


(c) 이음부



(d) 우각부

<시간에 따른 강 거더의 응력변화>



<시간에 따른 철근의 응력변화 - Z축 방향>

아래 표는 콘크리트의 시간에 따른 응력 값을 나타낸 것이다. 여기서 (+)값은 인장응력, (-)값은 압축응력이다. 해석한 결과로부터 최대인장응력 3.52 MPa, 최대압축응력 21.4 MPa로 나타났다. 최대인장응력은 인장강도를 초과하지 않으며, 압축응력 또한 압축강도의 45% 수준으로 균열 및 소성변형에 대한 안전성을 확보하고 있다.

<콘크리트의 응력 - X축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	C1	-0.130	-0.140	-0.050	-0.010	0.070	0.140
	C2	-0.760	0.570	1.250	1.630	2.620	3.400
	C3	-0.020	0.220	0.950	1.240	2.030	2.640
	C4	-2.270	0.010	0.530	0.840	1.630	2.230
0.25 L	C1	0.030	0.010	0.070	0.100	0.170	0.230
	C2	-0.470	0.550	1.360	1.740	2.740	3.520
	C3	-0.010	0.230	0.960	1.250	2.030	2.650
	C4	-2.250	-0.800	-0.010	0.320	1.140	1.750
이음 부	C1	-0.030	-0.570	-0.410	-0.360	-0.210	-0.030
	C2	-0.230	-2.000	0.480	1.030	2.330	3.340
	C3	2.080	1.900	0.480	0.610	0.960	1.510
	C4	0.780	-3.810	-1.990	-1.590	-0.690	-0.080
우각 부	C1	-	-1.420	-0.790	-0.530	0.320	1.480
	C2	-	0.030	0.340	0.490	0.990	1.690
	C3	-	0.310	0.510	0.610	0.960	1.480
	C4	-	-0.070	0.160	0.280	0.700	1.290

<콘크리트의 응력 - Y축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	C1	0.558	0.713	1.440	1.790	2.740	3.500
	C2	-0.005	0.004	-0.002	-0.004	-0.008	-0.012
	C3	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.000
	C4	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
0.25 L	C1	-0.088	0.291	1.150	1.530	2.510	3.280
	C2	-0.020	-0.008	-0.012	-0.013	-0.017	-0.020
	C3	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
	C4	-0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
이음 부	C1	-2.000	-2.230	-1.180	-0.776	0.134	0.677
	C2	-0.230	-3.450	-2.450	-2.250	-1.920	-1.890
	C3	-0.015	0.716	0.651	0.800	1.210	1.420
	C4	-0.052	-2.590	-1.590	-1.410	-1.110	-1.100
우각 부	C1	-	-5.340	-5.320	-5.330	-5.340	-5.350
	C2	-	0.620	0.419	0.449	0.644	0.989
	C3	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	C4	-	0.596	0.326	0.326	0.425	0.641

<콘크리트의 응력 - Z축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	C1	0.457	-0.357	0.860	1.200	2.110	2.830
	C2	-10.300	-1.180	-1.190	-0.809	0.037	0.624
	C3	0.455	-0.564	0.441	0.667	1.280	1.760
	C4	-10.500	-1.260	-1.300	-0.932	-0.125	0.429
0.25 L	C1	0.317	-0.284	0.568	0.898	1.810	2.530
	C2	-9.660	-4.280	-3.040	-2.560	-1.580	-0.958
	C3	0.422	-0.586	0.423	0.649	1.260	1.740
	C4	-10.000	-4.590	-3.340	-2.860	-1.910	-1.320
이음 부	C1	-4.280	-1.940	-2.530	-2.170	-1.290	-0.708
	C2	-2.140	-21.400	-13.400	-12.300	-10.600	-9.590
	C3	0.073	0.940	0.427	0.491	0.772	1.120
	C4	-0.407	-20.300	-13.200	-12.300	-10.700	-9.860
우각 부	C1	-	-0.346	-0.170	-0.087	0.201	0.618
	C2	-	-1.070	-0.486	-0.328	0.123	0.685
	C3	-	0.791	0.738	0.750	0.828	0.972
	C4	-	-1.730	-1.590	-1.570	-1.560	-1.580

아래 표는 거더(강재)의 시간에 따른 응력 값을 나타낸 것이다. 거더의 모든 응력이 허용응력의 범위 내에 있었으며, 장기변형에 따른 안전성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

<거더의 응력 - X축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	S1	-0.637	-3.470	-3.510	-3.530	-3.580	-3.610
	S2	0.194	1.150	1.050	1.010	0.900	0.813
	S3	-8.580	-2.290	-0.317	0.692	3.390	5.490
0.25 L	S1	-0.616	-3.440	-3.500	-3.520	-3.570	-3.610
	S2	0.048	1.030	0.938	0.900	0.795	0.711
	S3	-7.280	-3.940	-1.380	-0.270	2.580	4.730
이음 부	S1	-0.602	3.560	-13.800	-14.600	-12.200	-4.560
	S2	0.347	0.152	0.971	1.200	1.800	2.520
	S3	-4.110	1.730	21.100	25.600	34.900	42.200
우각 부	S1		-3.380	-0.892	0.978	7.590	16.400
	S2		0.016	-0.487	0.066	2.470	6.160
	S3		39.800	42.100	43.000	46.200	50.200

<거더의 응력 - Y축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	S1	-3.150	-16.700	-16.700	-16.600	-16.600	-16.500
	S2	-0.034	0.252	0.005	-0.114	-0.438	-0.694
	S3	-0.332	-0.103	-0.320	-0.438	-0.766	-1.030
0.25 L	S1	-3.240	-16.700	-16.700	-16.700	-16.600	-16.500
	S2	-0.168	0.134	-0.120	-0.236	-0.555	-0.808
	S3	-0.281	-0.216	-0.438	-0.556	-0.883	-1.140
이음 부	S1	-1.990	-12.400	-13.400	-13.400	-13.200	-13.000
	S2	0.006	7.620	4.770	4.210	2.890	1.550
	S3	-1.800	-4.650	-4.430	-4.340	-4.240	-4.330
우각 부	S1		-10.700	-23.500	-26.500	-33.800	-41.300
	S2		-2.280	-7.980	-9.400	-13.000	-16.900
	S3		4.790	5.650	5.090	2.520	-1.540

<거더의 응력 - Z축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	S1	-170.000	-332.000	-355.000	-359.000	-369.000	-375.000
	S2	-159.000	-311.000	-333.000	-338.000	-347.000	-354.000
	S3	192.000	218.000	224.000	223.000	219.000	216.000
0.25 L	S1	-138.000	-173.000	-192.000	-196.000	-206.000	-212.000
	S2	-128.000	-157.000	-176.000	-181.000	-190.000	-196.000
	S3	172.000	175.000	172.000	170.000	166.000	162.000
이음 부	S1	-47.300	134.000	138.000	136.000	131.000	126.000
	S2	-43.700	124.000	131.000	129.000	123.000	116.000
	S3	60.000	5.940	-15.700	-19.100	-26.200	-32.300
우각 부	S1		2.090	2.580	2.210	0.540	-2.170
	S2		2.610	3.420	3.630	4.210	4.830
	S3		1.200	0.710	0.470	-0.330	-1.440

아래 표는 철근의 시간에 따른 응력 값을 나타낸 것이다. 해석한 철근의 응력값은 모두 철근의 항복강도를 고려해 볼 때 안전성을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

<철근의 응력 - Z축 방향>

시간		7일 (release)	38일 (복토)	1년	2년	10년	30년
0.5 L	R1	-12.500	-16.200	-15.400	-17.300	-22.400	-26.300
	R2	-70.400	-39.600	-34.000	-35.300	-39.500	-42.900
	R3	-13.100	-7.930	-7.630	-8.610	-11.200	-13.100
	R4	-65.400	-19.600	-16.900	-17.600	-19.700	-21.400
0.25 L	R1	-11.700	-16.000	-15.300	-17.200	-22.300	-26.300
	R2	-17.100	-63.100	-65.500	-67.700	-73.000	-76.800
	R3	-7.390	-19.500	-25.100	-27.700	-33.800	-38.000
	R4	-36.200	-63.300	-65.800	-68.100	-73.400	-77.200
이음 부	R1	-9.870	-19.500	-22.400	-24.800	-30.400	-34.500
	R2	-69.000	-91.500	-126.000	-131.000	-142.000	-150.000
	R3	-13.200	1.340	-13.800	-17.300	-24.900	-31.200
	R4	-65.500	-79.500	-114.000	-119.000	-131.000	-139.000
우각 부	R1		0.520	-4.100	-6.390	-14.000	-24.300
	R2		-1.530	-7.990	-10.600	-18.800	-29.500
	R3		0.670	-2.960	-5.280	-13.600	-25.600
	R4		-89.000	-114.000	-119.000	-128.000	-133.000

● 매립형 프리플렉스 합성형 라멘교량의 장기거동 해석의 결과는 아래와 같이 정리될 수 있다.

- 합성형 RAHMEN교에 대한 처짐 검토결과, 30년 후 솟음 44mm로 지속하중에 대한 허용한계값($L/480 =$ 처짐 77mm)을 만족하는 것으로 나타났다.
- 콘크리트의 응력은 시간에 따른 변화에도 인장강도 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 콘크리트 균열은 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- 거더(강재)의 응력 또한 해석기간(30년) 내에서 모든 부분에서 허용응력 범위 내에 있는 것으로 나타났다.
- 철근에 작용하는 응력도 항복강도를 고려했을 때 안전성을 유지하는 것으로 나타났다.
- 합성형 RAHMEN교에 대해 크리프 및 건조수축을 고려한 장기거동 해석을 수행하였으며, 처짐, 콘크리트 응력, 거더의 응력, 철근의 응력에 대한 시간에 따른 변화를 검토하였다. 예측결과 콘크리트 균열이 발생하지 않는 것으로 나타났고, 장기변형에 따른 구조물의 안전성에도 문제가 없는 것으로 나타났다.

(2) 강합성 라멘 실구조물 극한 내하력 평가

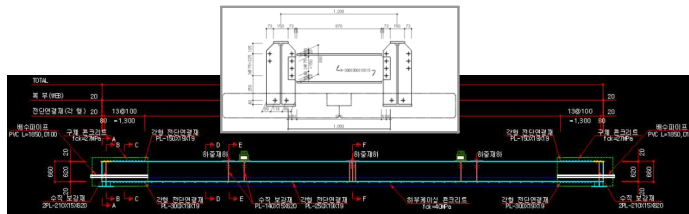
이 연구에서는 HSB800 고강도 강재를 사용한 강합성 교량거더를 2개 연속으로 구성하여 실험교량과 유사한 형태를 갖도록 시험체를 설계하여 그 성능을 평가하였다.

① 시험체 제작

교량 거더 2개를 연결한 교량 시험체로 운반무게와 실험동 설치 연건을 고려하여 15m 시험체를 설계하였으며, 상부플랜지는 HSB800 20mm, 복부 및 하부 플랜지는 SM520강재를 사용하였다. 플랜지와 복부에 다른 강종을 사용하였지만 용접상의 문제는 발생하지 않았다.

□ 강합성거더 제작성 평가 및 시험체 제작

- HSB800 이용 15m 강합성거더 시험체 설계
상부플랜지: HSB800(20mm) / 복부,하부플랜지: SM520
- HSB800-SM520 용접부 상태 평가: 양호



<15m 거더 시험체 설계>



<HSB80-SM520 용접상태-양호>
(SM520용 용접재료 사용)



<15m 거더 시험체: 2거더 연결 시공>



<숫음 도입 강거더 제작>



<강거더 거치 및 유압잭 이용 프리스트레싱 도입>



<거푸집 설치 및 콘크리트 타설>



<거푸집 탈형, 거더 완성>

<시험체 제작단계>

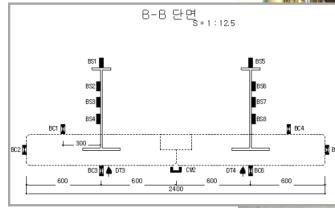
② 구조성능시험

시험결과 최대하중은 1109.0kN(4128.2kN.m)으로 나타났으며 이는 설계 극한 하중인 458.7kN(1720.3kN.m) 보다 2.4배 정도 크게 나타나며 충분한 구조성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 구조성능에 대해 해석적으로도 검토하기 위해 아래 그림과 같이 모델링 하여 비선형 해석을 수행하였다. 이때 구조적 대칭성을 고려하여 거더를 1개만 모델링 하였다. 따라서 실험결과와의 비교 시

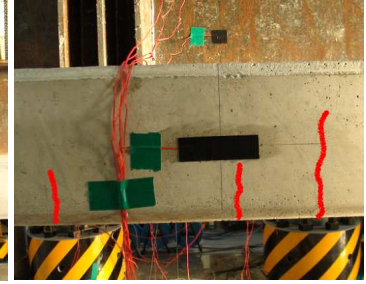
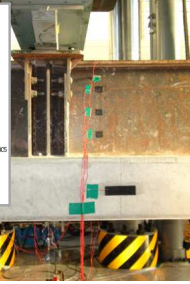
하중을 1/2로 하여 비교하였다. 해석결과 실험보다는 해석결과가 보다 강성이 크고 더 큰 극한하중을 나타내는 것으로 나타났는데 이는 구조모델링시 Mesh의 크기를 100mm로 비교적 크게 모델링 하였고, 강재의 항복 이후의 횡좌굴 거동을 고려하지 않았기 때문으로 판단된다.



<15m 2-거더 시험체 설치>

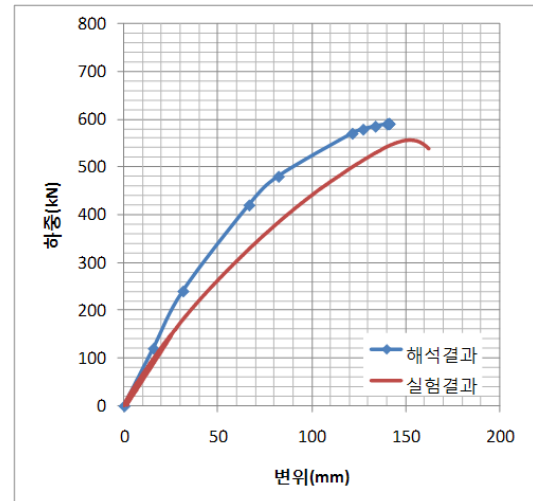
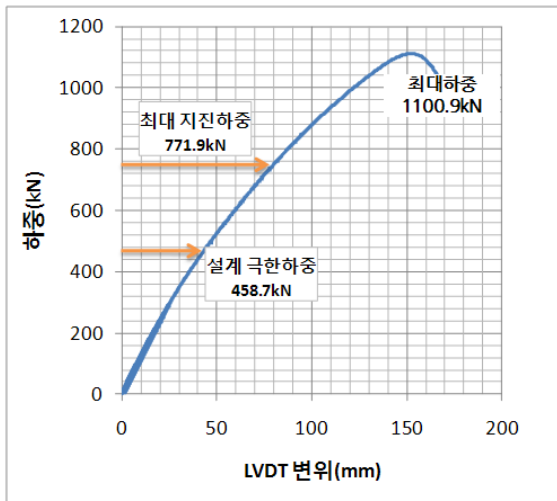


<계측계획 및 계측설치 상태>

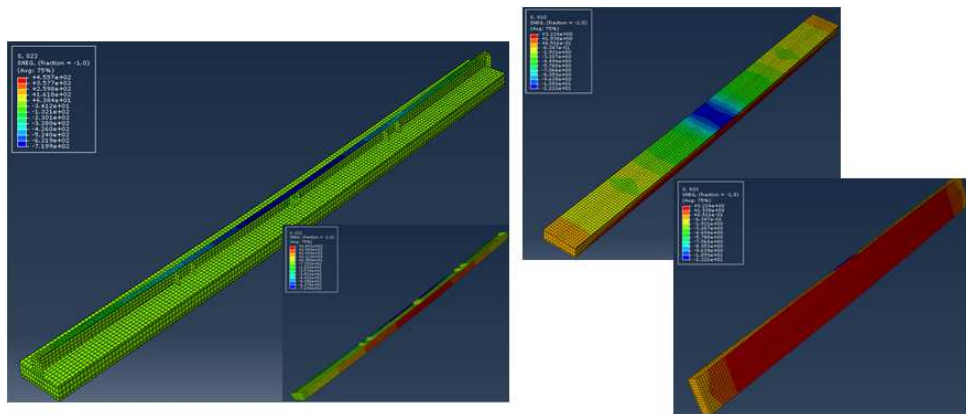


<극한하중에서의 콘크리트 균열발생>

<시험체 설치 및 계측>



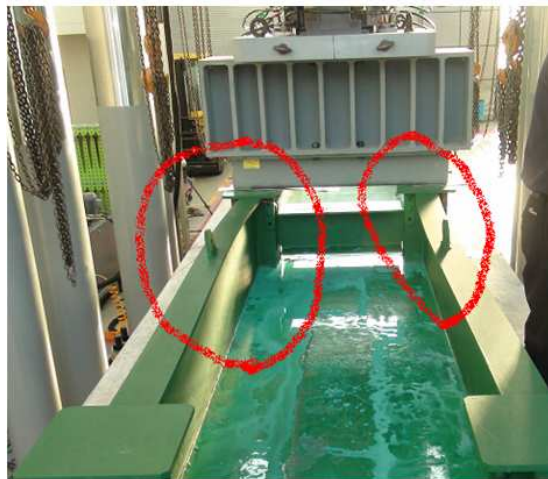
<하중변위곡선 - 실험 vs. 해석>



<극한하중 해석결과 - 응력 분포>

강합성 거더는 제작단계에서 프리스트레싱을 작용하여 강거더의 상부 플랜지가 콘크리트 하부 플랜지와 합성 이후에도 압축응력 상태가 유지된다. 시험체의 경우 아래 표와 같이 134.7MPa(657 $\mu\epsilon$)이 도입되었다. 시험결과 극한상태에서 상부 플랜지에는 3350 $\mu\epsilon$ 의 변형률이 발생하였다. 즉, 상부 플랜지의 최종 변형률은 4007 $\mu\epsilon$ 로 추정할 수 있으며, 상부플랜지는 항복에 도달한 것으로 평가할 수 있다. 이러한 결과로부터 상부 플랜지에 HSB800을 사용하여 슬림하게 하더라도 강도를 충분히 활용할 수 도록 설계가 가능한 것으로 판단된다.

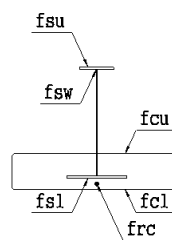
매립형 프리플렉스 거더는 강재 플랜지는 작고 콘크리트 면적을 크게하는 것을 특징으로 하고 있어 강거더와 콘크리트 플랜지의 합성거동이 중요하다. 이에 대해 앞에서 이미 해석적으로 검토해본 바가 있다. 아래의 실험결과에서도 역시 단면 내에서 변형률 분포가 선형으로 나타나며 강거더와 콘크리트의 완전합성 거동이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.



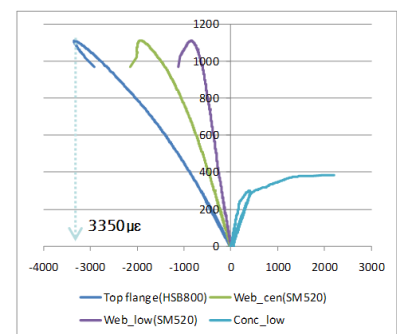
<시험체의 파괴형상 - 강재 항복 후 좌굴>

LOAD CASE	Steel			Casing Concrete	
	fsu	fsw	fsl	fcu	fcl
① 프리플렉스	-299.72	-284.04	217.50	0.00	0.00
② 릴리스	226.43	218.42	-37.97	1.85	-11.27
③ P.F.BEAM 자중	-62.17	-59.97	10.42	-0.51	3.09
④ 초기크리프	0.48	0.40	-2.03	-0.28	0.43
⑤ 초기건조수축	0.28	0.24	-1.15	0.06	0.02
Σ (①~⑤)	-134.70	-124.95	186.77	1.12	-7.73

<강합성거더 제작단계에서의 응력변화>

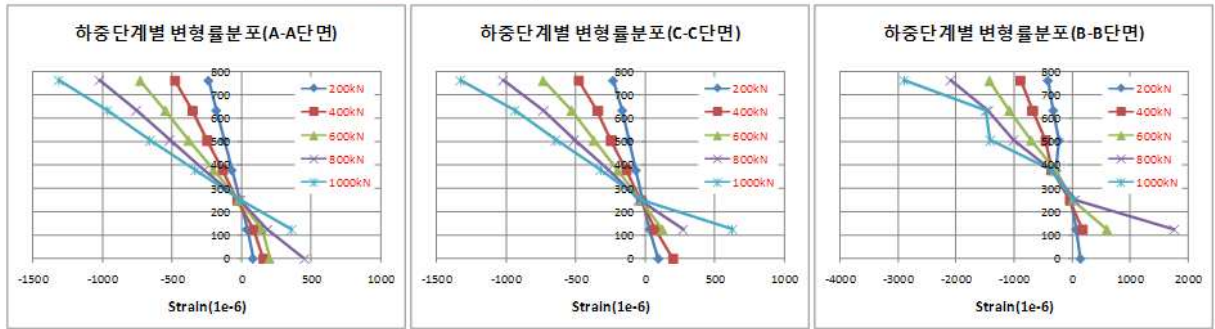
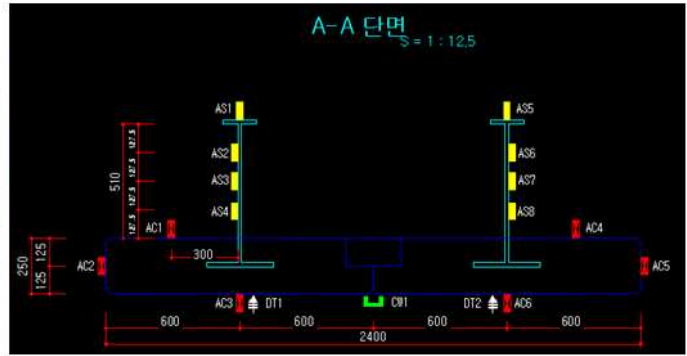


<응력검토위치>



<하중-변형률 곡선>

<하중에 따른 변형률 변화>



<거더 내 위치에 따른 변형률 분포>

(3) 강합성 거더 연결부 방수성능 평가

상기 구조성능 시험에 앞서 교량 시험체를 대상으로 방수실험을 실시하였으며, 휨하중에 의해 극한 상태에 도달했을 때 방수방근층의 상태를 확인하였다. 적용한 방법은 내근용 방수시트 위에 U-FRP 도막적층을 갖는 공법으로 기존의 무기질 탄성 복합공법과 비교를 위해 교량을 반으로 나누어 2종류를 한꺼번에 시공하였다. 실험동 여건을 고려하여 1일차에 상기 2종을 시공하고 2일차에 바로 방수실험을 실시하였으며 곧이어 하중재하시험을 실시하였다.

기존 공법의 경우 도막 1차 시공과 양생을 거친 후 도막 2차 시공을 하는 단계가 요구되는 반면, 내근용 방수시트위 U-FRP 도막적층 공법은 시트 시공 후 바로 도막을 시공하여 시공시간 단축이 가능했다. 2일 차에 방수실험을 하면서 기존 공법의 경우 충분한 양생시간에 도달하지 않아 도막의 들뜸과 벗겨짐이 나타났다. 또한, 시험체가 최종 극한하중에 도달했을 때, 즉, 콘크리트를 포함한 거더에 변형이 크게 발생했을 때 U-FRP 공법의 경우 건전한 상태를 유지하였으나, 기존 공법의 경우 크랙이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 매립형 프리플렉스 거더 교량은 기존의 무기질 탄성 복합공법 보다는 내근용 방수시트 위에 U-FRP 도막적층을 갖는 공법이 보다 적합한 공법으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

① 내근용 방수시트위 U-FRP도막적층 공법



바탕 면처리



함수율 측정



시트 시공



도막 시공

② 무기질 탄성 복합방수공법



바탕 면처리



프라이머

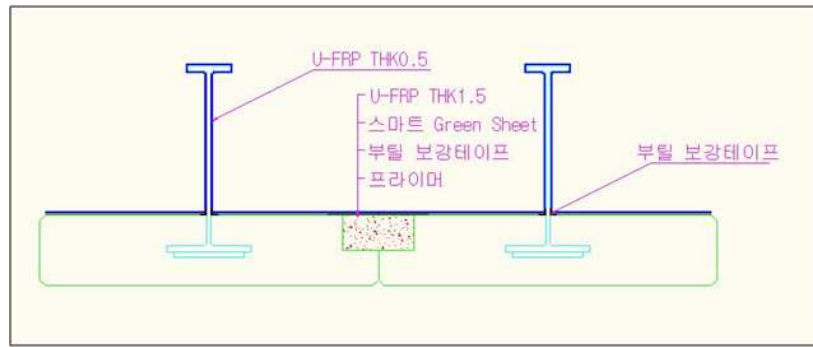


도막 1차

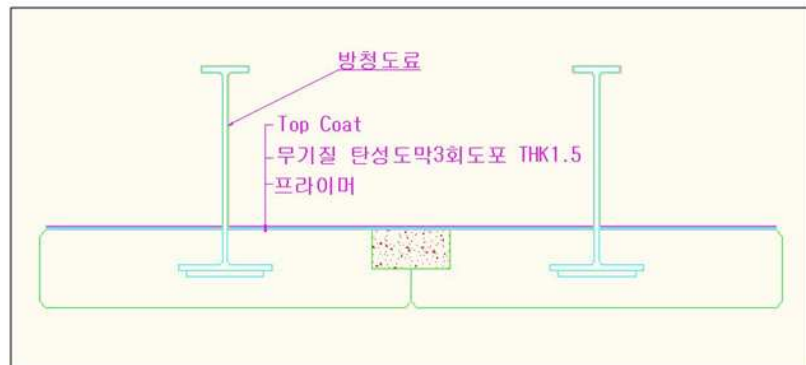


도막 2차

<방수공법 시공단계>



내근용 방수시트위 U-FRP도막적층 방수,방근공법



무기질 탄성 복합방수 공법

<방수공법 단면도>



담수시험



휨강도측정치 :설계강도(30톤)초과 107톤



타공법 결과: 불량



스마트그린 결과: 양호

<실험 종료 후 도막상태>

(4) 강합성 라멘교량 배수 및 식생 검토

방수 실험을 하면서 동시에 아래 그림과 같이 배수실험을 실시하였다. 시험체에서는 PVC 배수구 드레인을 콘크리트 단부에 설치하여 성능에 문제가 없음을 확인하였으나 실 구조물에서는 내구성과 장기성능을 고려하여 내식성을 갖는 강재 파이프를 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 배수와 관련된 추가 성능 검증은 제천 솔밭공원 테스트베드의 모니터링을 통해 이루어질 예정이다. 식생 관련해서는 환경부 발간 “생태통로 설치 및 관리지침”에 따라 식생 토심 70cm 이상을 확보하도록 하였으며, 이를 테스트베드 구조물에 적용하여 성능을 모니터링 할 것이다.



<배수실험>

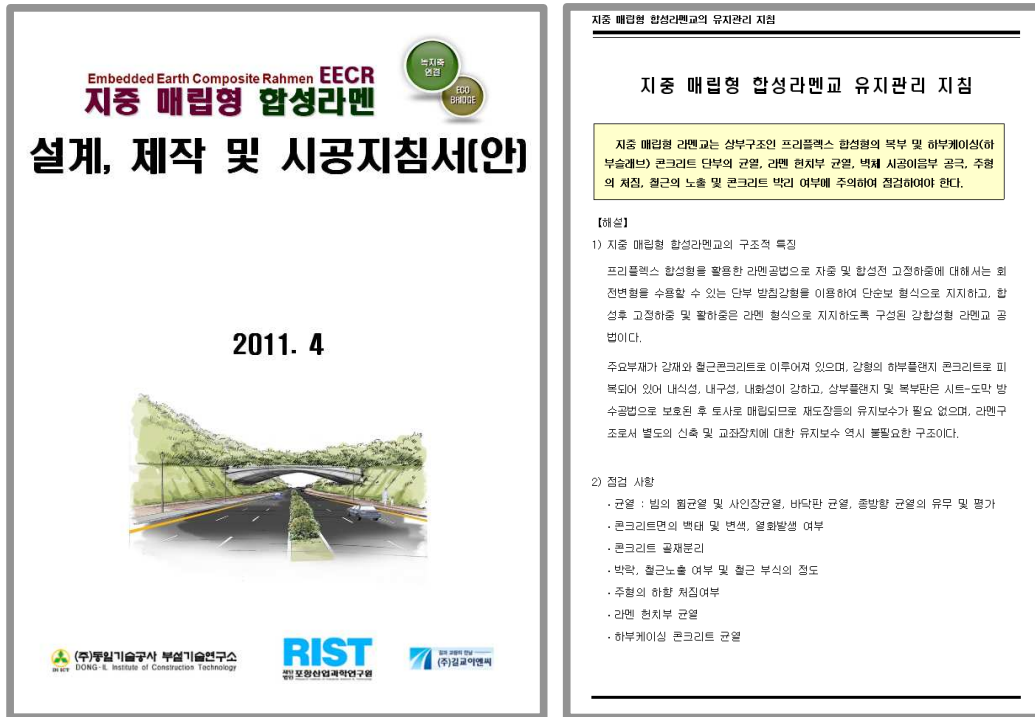


<환경부 발간 생태통로 설치 및 관리지침>

7. 매립형 강합성라멘 교량 설계 및 시공 지침(안) 개발

(1) 설계 및 제작/시공지침(안) 및 유지관리지침(안) 개발

매립형 프리플렉스 합성라멘의 설계/제작지침 및 유지관리지침은 아래 그림과 같이 작성되었으며 상세내용은 부록에서 확인해볼 수 있다.



<매립형 프리플렉스 합성라멘 교량의 설계/제작지침>

(2) 기초를 고려한 강합성 라멘교량의 경제성 비교분석 및 타당성 분석

매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 경제성 분석은 기획재정부 계약예규 2200.04-160-9(2011.05.13) “예정가격 작성기준”에 의거 작성되었으며, 전문기관인 (사)동양경제정보연구소를 통해 이루어졌다. 원가분석 결과 상세내용은 부록에서 확인할 수 있다.

비교대상 교량으로는 기존에 사용되는 형식의 교량으로 길교이앤씨와 스틸엔콘 크리트(S&C)의 지간장 40m, 교폭 10m의 교량과 비교하였으며, 장경간화의 효과를 분석하기 위해 매립형 프리플렉스 합성라멘의 경우 지간장 40m를 20m로 나누고 중간에 교각을 두는 구조에 대해서도 경제성을 비교분석하였다. 매립형 프리플렉스 합성라멘은 기존 형식과 달리 바닥판 시공 프로세스를 삭제할 수 있어서 기존대비 공사비를 20% 이상 절감할 수 있는 것으로 평가되었다. 장경간화를 통해 교량 중간에 교각을 설치하지 않을 경우 거더의 추가적인 보강이 요구되어 공사비의 절감은 크지 않으나 교각설치를 하지 않음으로 인해 교통통제를 최소화할 수 있고 교각 설치를 위한 요구면적을 없앨 수 있어 도로 폭을 효과적으로 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

<경제성 비교분석결과 요약>

공법명 : 매립형 프리플렉스 합성라멘 경제성 분석

(단위 : 원)

명 칭	규격	단위	재료비	노무비	경비	합계
◎ 길교 합성형라멘 (L=40.0m, B=10.0m)		식	540,602,313	450,546,054	48,750,217	1,039,898,584
◎ S&C (L=40.0m, B=10.0m)		식	500,064,244	475,198,567	48,763,827	1,024,026,638
◎ 매립형 단경간 (L=40.0m, B=10.0m)		식	317,180,871	382,678,132	90,846,624	790,705,627
◎ 매립형 연속경간 (L=2@20.0m, B=10.0m)		식	313,082,178	406,209,624	90,768,708	810,060,510

주) 1. 부가가치세 별도 금액임

2. 공사내역집계표 참조.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에 의 기여도

제 1 절 연구목표의 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
프리스트레스 도입방안 도출	100	▶5점재하 프리플렉션/틸리즈 방안 도입 검토 ▶프리플렉션시 보강방안 도출
거더 상연 보강방안 도출	100	▶녹화를 위한 상부플랜지 폭원 결정 (400~500mm) 및 HSB800 도입방안 검토
단면 최적화 변수 연구	100	▶하부플랜지 폭원 및 형고/지간 변수 DOE(실험계획법)에 의한 지간별 최적단면 산출
유한요소해석(좌굴/휨분배)	100	▶30m 지간 대상 복부두께 및 상부플랜지 폭 변수로 좌굴검토 및 압축응력 분배효과 검토
강합성거더 제작성 평가	100	▶강합성거더 시험체 제작성 평가
강합성거더 극한내하력 평가	100	▶강합성거더 시험체 설계 및 실험
강합성거더 횡방향 연결상세 개발	100	▶강재 볼트연결 검토 ▶전단키/몰탈 접합 검토
라멘구조 지점부 연결상세 개발	100	▶지점부 단순지지 후 강결방식 검토 ▶철근 및 거푸집 상세 도출
부식방지 방안 도출	100	▶용융아연도금 조사 ▶부식두께 확보방안 조사 ▶전기방식 방안 조사
구조계산서 및 설계도면 개발	100	▶30/35/40m 간이구조계산서 및 도면 개발
매립형 프리플렉스 거더 교량의 테스트베드 현장적용	100	▶제천 솔밭공원 보도육교 현장적용 중
매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 시공단계 고려 장기거동성능 평가	100	▶장경간(35m) 매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 크리프, 건조수축을 고려한 시공단계별 해석
강합성 라멘 실구조물 극한 내하력 평가	100	▶15m 2거더 교량의 제작 및 극한하중시험
강합성 거더 연결부 방수성능 평가	100	▶15m 2거더 교량의 방수성능 평가 및 방수방근시스템 제안
강합성 라멘교량 배수 및 식생 검토	100	▶기존 규정 검토 및 테스트베드 현장을 통한 성능평가 모니터링
설계 및 제작/시공지침(안) 개발	100	▶매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 설계/제작지침 개발
유지관리지침(안) 개발	100	▶매립형 프리플렉스 합성 라멘교량의 유지관리 지침 개발
기초를 고려한 강합성 라멘교량의 경제성 비교분석 및 타당성 분석	100	▶공인기관을 통한 경제성 비교분석

제 2 절 연구성과 및 관련분야 파급효과

1. 직접적 연구성과

과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	
						목표수준		측정방법	검증방법		
											목표치
1	매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 시공기술 개발	1-1	매립형 장경간 강합성라멘 최적구조 개발	①	최대지간장	30m	40m	구조계산서 확인	설계도서 확인	0.3	
				②	상부계획고	4m	4m	구조계산서 확인	설계도서 확인	0.3	
		1-2	매립형 장경간 강합성라멘 설계/시공 기술 개발	①	비용절감	10%	10%	공사비비교	공사비 비교내역 확인	0.3	
				②	공기단축율	50%	50%	공기비교	사공지침 확인	0.1	
사업연계지표						성과지표	목표치	달성치	증빙	달성율 (%)	가중치
						신소재/신공법	5건	5건	특허/시작품 /설계도면 확인	100	0.1
						시작품제작	1건	1건	15m 시작품 사진	100	0.1
						사업화/제품화	1건	1건	홍보브로셔	100	0.2
						기술매뉴얼	2건	2건	지침(안)	100	0.05
						특허출원건수	1건	1건	특허출원증명원	100	0.1
						학술지 게재건수	1건	-	등재 논문집	-	0.05
						기술이전건수	1건	1건	기술이전계약서	100 (‘11.10.19 현재 계약협의완료)	0.2
						현장적용 비용절감	20%	20%	경제성 비교분석결과	테스트베드 현장적용	0.2

2. 파급 효과

가. 기술적 측면

1차년도 연구진행을 통해 매립형 강합성 라멘교량의 적용성 평가를 통해 실용화를 위한 타당성 검토를 완료하였으며, 2차년도 연구를 통해 실용화 기반을 구축하였음. 이 기술은 선진수준 이상의 기술로 평가됨.

구조물 분야	개발 기술명	비교항목	현재수준 (2009)	연구종료시점 (2011)
교량	매립형 강합성라멘 생태교량	상부계획고	6.0m →	4.0m
		최대경간	25m →	40m
		현장공기	30일 →	7일
선진수준과의 기술 격차			-1년 →	+2년

나. 사회·경제적 측면

- 복개 라멘구조의 단면슬림화와 터널공간의 장경간화를 통해 고효율 저비용 시공이 가능
- 공사기간을 50% 이상 축소하며, 규격화된 제품으로 검증된 부재를 사용할 수 있어, 해외의 동아시아나 개발도상국 현장에 바로 적용하여 기술력 수출에 기여
- 장경간화된 복개라멘구조로 대도시 같은 경우 도로위에 대규모의 사회 기반시설(공원, 유원지 등)을 만들어 도시민의 편익을 제공하고 이로 인한 새로운 부가가치 창출(새로운 기반시설로 인한 일자리창출 및 도시생활영역확대)
- 도로 위의 새로운 기반시설로 우리나라의 첨단화 그린도시로 발전하여 새로운 무형 자산 가치 창출(관광 도시로 성장)
- 새로운 친환경적인 기술을 바탕으로 기존의 각종 공해(소음, 방재, 진동)를 저감 시키는 새로운 개념의 IT기반 기술접목하여 첨단 그린 도시로 도약을 하는 기여 제공
- 도심지의 복개터널의 적용으로 도심지의 사람들에게 친환경적인 장소를 제공함으로써 생활의 질 향상

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 활용방안

1. 연구성과의 활용방안

- 도심지 고속도로 설치로 인한 좌우 단절구간(경인고속도로, 경부고속도로 축)의 연결과 상부생태 공원화에 적용시 별도의 부지나 보상비용 없이 도시미관 개선 및 시민들의 삶의 질 향상 가능



<경인고속도로 좌우 생태 단절구간>

- 이러한 친환경적인 복개라멘의 확대로 강원 산지의 경우 장마나 태풍에 의한 도로 유실 및 파괴방지를 방지하기 위해 본 공법을 적용하여 초기 공사비의 경우는 증가할 수 있지만, 매년 일어나는 재해를 막는 차원에서 장기적으로는 효율적이기 때문에 산지부분의 도로에 적용 가능
- 신도시 및 뉴타운등의 계획도시 건설시 장대폭원 및 장경간 복개구조물로 지역간 녹지축의 연결 및 생활권의 연속성 부여, 아울러 수변접근로 확보(한강 접근로 : 강변북로 덮개화 등)
- 기존의 지하터널보다도 구조적으로 안전하고 더 큰 공간을 제공하기 때문에 지하 대피용과 같은 안전시설에도 적용가능
- 현장 제작으로 주형거치 후 거더간 및 지점부를 연결 시공함으로써 동바리가 필요 없으며 시공이 간단하고 공기단축이 가능하고 통행량이 많은 고속도로 및 철도횡단 구조물에 매우 효과적임
- 본 기술을 활용하여 지하도로 구간의 도로에서 대형 주거지나 상업지구

(백화점 등 대규모시설)에 바로 연결 할 수 있는 매개체 역할가능



<평택 소사별 택지개발사업지구(좌), 용인서천지구 택지개발사업(우) 조감도>

2. 연구결과의 기업 활용방안

가. 참여기업의 현황분석

번호	기업명	업종	매출액 (2008)	고용현 황	연구결과 활용 발전전망
1	동일기술공사	엔지니어링	824억원	770명	국내외 생태교량 설계
2	길교이앤씨	전문시공	94억원	24명	국내외 생태교량 제작/시공
3	삼우공간건축사사무소	감리	112억원	170명	국내외 생태교량 감리

나. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

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

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상당	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	동일기술공사	공동연구 및 신기술 적용	○			○	○	○		○	
2	길교이앤씨	경쟁력 우위 신제품 판매	○	○	○	○	○	○	○	○	
3	삼우공간 건축사사무소	신형식 감리기술 확보	○				○	○			
합계			3	1	1	2	3	3	1	2	0

3. 타 산업에 미치는 효과

- 매립형 강합성 라멘교량은 고강도의 강재에 콘크리트를 합성하여 강성을 증대시킨 구조물로 건설재료 제조업체(강재, 시멘트, 골재 등)의 동반 성장 및 경쟁력 강화가 가능하며, 다양한 구조부재가 적용되는 타 산업뿐만 아니라 그 적용 효율을 극대화하기 위해 신소재 개발 촉진 가능
- 공법 아이디어 개발, 적용성 평가 및 구조시스템 개발이라는 근본적인 기술공통성을 갖는 연구부문에서 기술적인 교류가 가능
- 이번 연구의 성공사례는 건설 산업분야에 발전적 경쟁의식을 고취하도록 유도하여 건설산업 전반의 고부가가치화를 위한 공동개발로 연계될 가능성이 높음

4. 정부 정책과의 연계 방안

- 신공법의 원활한 실용화를 위해서는 4년마다 개정되는 도로/철도교 설계 기준 및 표준시방서 집필 및 심의위원들로부터 연구결과의 자문을 얻어 기준 개정시 적극 반영할 예정임
- 정부과제를 통한 연구결과의 공신력을 통한 표준화 기틀을 확립할 예정임

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음.

제 7 장 참고문헌

- 이대혁 , 김재순 , 이희근 , 김성운 , 수치해석에 의한 터널 복공의 역학적 거동 및 균열 특성에 관한 연구 , 터널과 지하공간 V .8 , pp.146-156 , 한국암반공학회 , 1998
- 이대혁 , 김영근 , 이희근 , 모형 실험에 의한 터널 복공의 역학적 거동 및 균열 특성에 관한 연구 , 터널과 지하공간 V.8 , pp.53-66 , 한국암반공학회 , 1998
- 김종우, 불연속면의 방향성에 따른 아치형 터널의 변형거동, 産業科學研究 (Journal of Industrial science researches) Vol.16 No.219-227 (9쪽) [1998]
- 유건선 , 실험 및 수치해석에 의한 복개 터널 주위의 지압 및 터널복공의 역학적 거동에 관한 연구 서울대학교 , 1997
- 유건선 , 이상덕 , 이정인 , 아치형태의 복개터널에 작용하는 토압과터널 복공의 변형거동에 관한 실험적 연구 , 대한토목학회논문집 V.19- , III-4 , pp.737-744 , 1999
- 김은섭 , 이상덕 , 지하박스구조물에 작용하는 토압에 관한 실험적 연구 , 한국지반공학회논문집 V.15 , -4. 8 , pp 235-246 , 1999
- 김택곤 , 원심 모형시험 및 수치해석에 의한 사질토 지반내 터널 복공의 역학적 거동에 관한 연구 서울대학교 , 1999
- 한국지반공학회 , , 복개식 개착터널 구조 안정 연구 보고서 1999
- 심도식 박병수 이종호 복개터널 역해석에 의한 지반물성값 추정에 관한 연구 道立 江原專門大學 論文集 (Journal of the Kangwon Province College) Vol.2 No.-71-80 (10쪽) [1999]
- 이정인, 이상덕, 유건선, 아치형태의 복개터널에 작용하는 토압과 터널복공의 변형거동에 관한 실험적 연구 大韓土木學會 論文集 Vol.19 No.4 [1999]
- 이규세, 오민수, 프리캐스트 아치구조물의 강성변화에 따른 지반-구조물 상호작용 특성에 관한 연구 공과대학논문집 Vol.1 No.2 197-203 (7쪽) [1999]
- 이상덕 , 지중 박스구조물에 작용하는 토압 , 한국지반공학회논문집 V.16-1, 2, pp.243-250 [2000]
- 이석원, 박시현, 최순욱, 배규진, 복개 터널구조물의 현장 시공에 따른 계층 분석 사례 한국암반공학회 Vol.13 No.2 [2003]
- 환경부, 생태통로 설치 및 관리지침, 2010.6

- Karl H. L. , Carl H. , Cathv B. A , An arch- shaded culvert built by the Inflatable form , Proc. of 13rd national conerence pp.243-254 , ASCE , 1999
- Ted D. B. , Daniel W. M , Elaine M. , Performance of Multiple Retention Systems during Cut and Cover tunnel construction , Proc. of 13rd national conerence pp. 888-899 , ASCE , 1999
- Demetrious C. K. , Peter F. , Ching L.W. , Daniel M. , Richard K. , Deformations during Cut-and-Cover Construction of MUNI Metro Turnback Project , ASCE J. Geotech and Geoenv. Eng. V .126- , 4 , pp. 344-359 , 2000
- William D O , The behaviour of tunnels at great depth under large static and dynamic pressures , Tunnelling and underground space technology No.16 , pp.41-48 , 2001
- 尾野公戚威 等 , 偏壓を受ける坑口部を長孔注入ルーフ工で克服 , トンネルと地下 V.12 , pp.7-14 , 1992
- 阿部公一 , , トンネル工法カルパートの設計・施工とその評価高速道路と自動車 V.37- , 11 , pp. 23-32 , 1994
- 三木全博央 , 野口典孝 , 小畑敏子 , 高盛土下のカルバートの作用土圧軽減対策に関する検討 , 土木學會第 53回年次學術講演會概要集III-B23O pp 450-461 , 1998
- ACI committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI 209 R-92 (American concrete Institute, Detroit, 1992); minor update of the original 1972 version).
- Branson, D. E, "Deformation of Concrete Structures", McGraw-Hill, 1977.
- "CEB-FIP Model Code", 1978
- CEB, "Structural Effects of Time-Dependent Behavior of Concrete", Georgi Publishing Company, 1984.
- "CEB-FIP Model Code, Design Code" (Thomas Telford, London, 1990)
- CEB Report by TG9, "Evaluation of the Time Dependent Behavior of Concrete", CEB Bulletin No. 199, 1990.
- Bazant, Z. P. and Panula, L., "Practical Prediction of Time Dependent Deformations of Concrete", Parts I-VI, Mater. Struct. 11 (1978) 307-316, 317-328, 425-434, Ibid. 12 (1979) 169-183.

- Bazant, Z. P., Kim, Joong-Koo and Panula, L., "Improved Prediction Model for Time Dependent Deformations of Concrete", 'Part 1-Shrinkage', Ibid. 24 (1991), 327-345 ; 'Part 2-Basic creep', Ibid. 24(1991) 409-420 ; 'Part 3-Creep at drying', Ibid. 25 (1992) 21-28 ; 'Part 4-Temperature effects', Ibid. 25 (1992) 84-94 ; 'Part 5-Cyclic load and cyclic humidity', Ibid. 25 (1992) 163-169.
- RILEM 107-GCS, "Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures- model B3", Mater. Struct. 28(1995) 357-365.
- Neville, A.M., Dilger, W.H., and Brooks, J.J., "Creep of Plain and Structural Concrete," Construction Press, 1983, London
- Z.P. Bazant, and S. Baweja, "Justification and Refinements of Model B3 for Concrete Creep and Shrinkage, 1. Statistics and Sensitivity," Materials and Structures, RILEM, Vol. 28, 1995, pp.415~430.
- Z.P. Bazant, and S. Baweja, "Justification and Refinements of Model B3 for Concrete Creep and Shrinkage, 2. Updating and Theoretical Basis," Materials and Structures, RILEM, Vol. 28, 1995, pp.488~495

부 록

1. 설계제작 및 시공지침
2. 유지관리지침
3. 공인기관 경제성 분석결과

Embedded Earth Composite Rahmen **EECR**
지중 매립형 합성라멘



설계, 제작 및 시공지침서(안)

2011. 10



 (주)동일기술공사 부설기술연구소
DONG-IL Institute of Construction Technology

RIST
재단 포항산업과학연구원
FHA Research Institute of Pohang Industrial Science & Technology

 길과 교량의 만남 ———
(주)길교이엔씨

목 차

제 1 장 총 칙	1
1.1 적용범위	1
1.2 용어의 정의	2
제 2 장 사용재료 및 물리상수	4
2.1 사용재료	4
2.2 설계 계산에 사용하는 재료의 물리상수	6
제 3 장 설계 및 해석	8
3.1 적용범위	8
3.2 설계 일반사항	8
3.3 설계방법	9
3.4 설계하중	9
3.5 설계 하중조합 및 설계강도	9
3.6 상부구조	10
3.7 하부구조	11
3.8 내진설계	12
제 4 장 지중 매립형 합성라멘교의 제작 및 설치	13
4.1 일반사항	13
4.2 강합성 지중라멘교 제작 및 설치	14
4.3 프리플렉스 합성형 제작	17
4.4 프리플렉스 합성형 운송 및 설치	25
제 5 장 지중(복토) 구조물의 방수 및 방근	27

5.1 일반사항	27
5.2 재료	29
5.3 시공	31
5.4 기타 주의사항	34

제1장 총 칙

1.1 적용범위

- (1) 본 지침은 합성형 라멘교 형식으로 프리스트레스가 도입된 거더를 지중에 매립하는 공법으로 상부슬래브를 거더 하면에 두어 성토(盛土)시 토피고의 높이를 축소하며, 지중구조물에 있어 거더 높이만큼의 형하공간을 확보하는 복개구조(생태통로)에 적용된다.
- (2) 이 지침에 규정되어 있지 않은 사항에 대해서는 국토해양부에서 제정한 관련 설계기준과 설계지침 등에 따른다.

【해설】

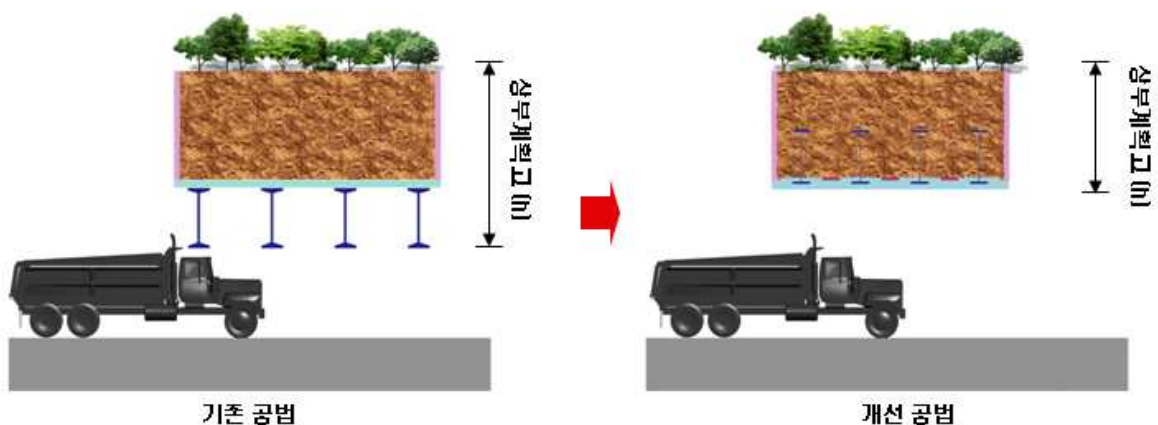
- 1) 본 지침은 라멘교에 있어 자중 및 합성전 고정하중에 대해 회전/이동변형을 수용할 수 있는 받침강형 및 등근 받침판을 이용하여 프리플렉스 합성형을 단순보 형식으로 가설한 다음, 벽체와 하면에 슬래브를 구성하는 거더를 연결 작용하중에 대하여 라멘의 구조형식으로 거동하도록 하는 지중 매립형 합성라멘교의 설계, 제작 및 시공에 대한 지침서이며, 지침서의 규정 및 관련규격을 준수하고, 제작 및 시공관리를 체계적이고 효율적으로 운영함으로써 안전성을 확보하며, 제작원가를 절감하고, 제품의 고품질화를 달성하는데 그 목적이 있다. 본 지침서에 명시되어 있지 아니한 사항에 대하여는 도로교설계기준, 콘크리트구조설계기준, 도로설계요령 제3권 교량편, 고속도로교량의 내진설계편람, PREFLEX 합성형 표준시방서 및 동해설(안), PREFLEX 합성형 설계제작 및 시공지침서의 내용을 따른다. 또한 본 구조물이 생태통로에 적용되는 복개 구조물인점을 고려하여 “생태통로 설치 및 관리지침 제정(2003년 11월 환경부)” 및 “생태통로 설치 및 관리지침 개정(2010년 6월 환경부)”의 관련규정에도 따른다.
- 2) 지중 매립형 합성라멘(Embedded Earth Composite Rahmen)은 생태통로 및 녹지축 연결 복개공법으로 ① 지중매립 형태로 거더를 매립한 높이만큼의 형하공간 확보에 유리하며, ② 프리플렉스 합성라멘구조로 장경간(40.0m)이 가능하며, ③ 길이에 따른 일괄가설로 시공성이 향상되고, ④ 중간벽체를 구성하지 않아, 도심지 공사시 교통통제에 따른 민원발생을 최소화할 수 있다.

1.2 용어의 정의

본 지침에 수록된 주요 용어의 정의는 프리플렉스 거더, 합성라멘, 지중 매립형 합성라멘으로 정의된다.

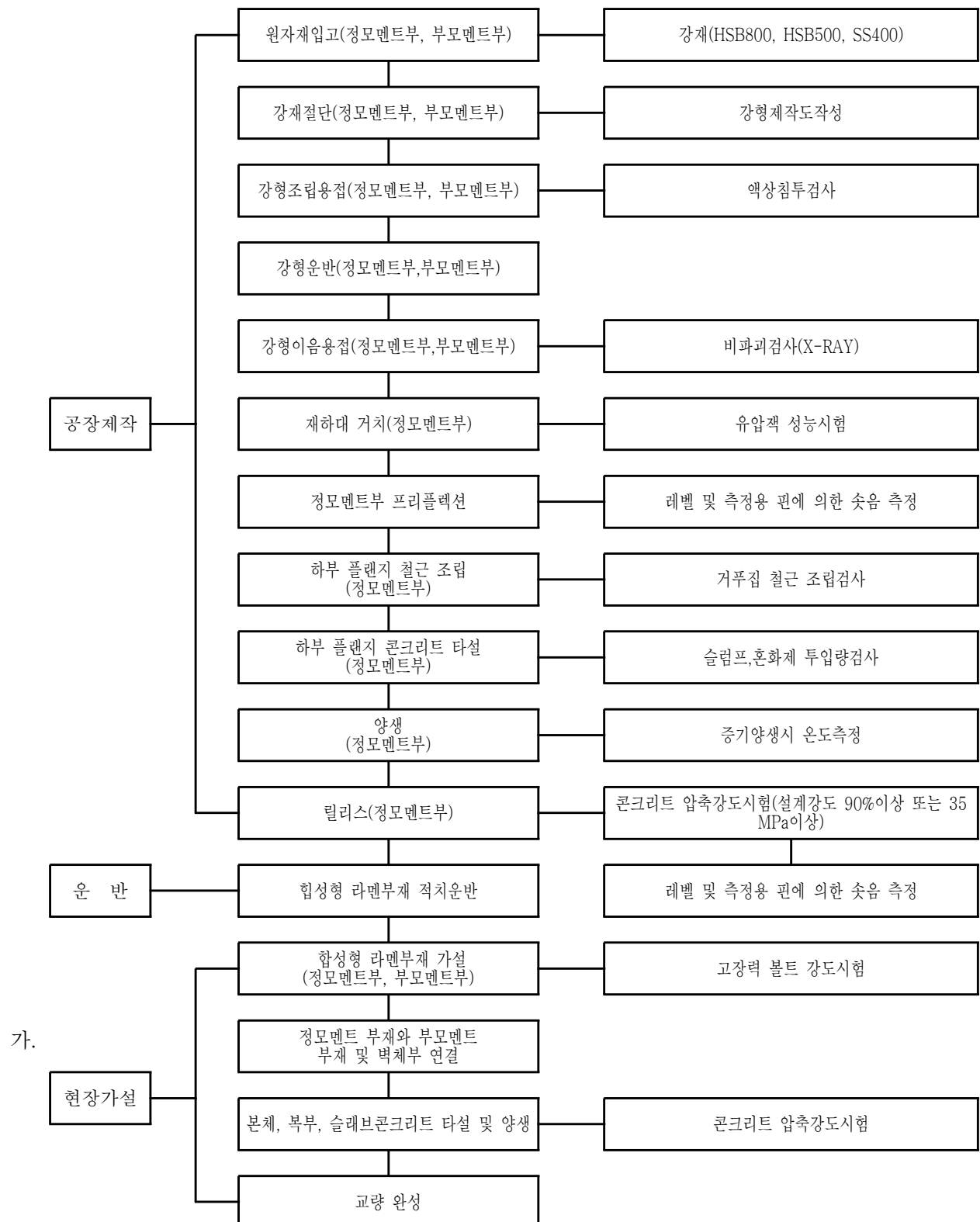
【해설】

- 1) 프리플렉스 거더(Preflex Girder) : I형 단면의 강형에 휨변형을 일으키는 하중을 가한 상태에서 인장측 하부 플랜지 주위에 콘크리트를 타설하고 양생시킨 후 강형에 재하한 하중을 제거하여 하부콘크리트에 압축 프리스트레스를 도입한 강형을 말한다.
- 2) 합성라멘교(Composite Rahmen) : 합성전 고정하중에 대해 회전/이동변형을 수용할 수 있는 받침강형 및 등근 받침판을 이용하여 프리플렉스 거더를 단순보 형식으로 가설한 다음, 벽체와 상부 슬래브를 연결 작용하중에 대하여 라멘의 구조형식으로 거동하도록 하는 형식을 말한다.
- 3) 지중 매립형 합성라멘(Embedded Earth Composite Rahmen) : 지중 매립형 합성라멘교는 합성라멘교(Composite Rahmen)에서 프리플렉스 거더(Preflex Girder)의 상부슬래브를 거더의 하면에 위치하여 거더가 지중에 매립되도록 하여 토피고에 의한 토사하중 및 형하공간을 축소한 공법을 말한다.



지중 매립형 합성라멘(Embedded Earth Composite Rahmen)

4) 지중 매립형 합성라멘(Embedded Earth Composite Rahmen)의 시공순서



제2장 사용재료 및 물리상수

2.1 사용재료

2.1.1 강 재

- (1) 프리플렉스 강재의 주거더 상부플랜지는 HSB800으로 항복강도는 $F_{sy} = 690\text{Mpa}$ 을 적용한다.
- (2) 프리플렉스 강재의 복부 및 하부플랜지는 HSB500으로 항복강도는 $F_{sy} = 380\text{Mpa}$ 을 적용한다.
- (3) 라멘부 받침 및 우각부 강재는 SS400으로 항복강도는 $F_{sy} = 325\text{Mpa}$ 을 적용한다.

【해설】

1) 도로교 설계기준(2010) 3.2.5 판두께에 따른 기준항복점 및 인장강도

강종	HSB500	HSB600	HSB800
강재의 판두께(mm)	100 이하	100 이하	80 이하
기준항복점(MPa)	380	450	690
인장강도(MPa)	500 이상	600 이상	800 이상

2) 도로교 설계기준(2010) 3.3.2 강재의 허용응력

강종 강재판두께(mm)	HSB500	HSB600	HSB800
80 이하	230	270	380
80 초과 100 이하			-

3) HSB 강재에 대한 상세한 기준은 “KS D3868 교량구조용 압연 강재”에서 찾아 볼 수 있다.

2.1.2 콘크리트

콘크리트의 설계기준강도는 F_{ck} 는 다음과 같다.

- (1) 하부 플랜지 콘크리트의 설계기준강도(최종)는 $F_{ck} = 40\text{Mpa}$ 이며 프리 플렉션 하중 재하시에는 설계기준강도는 36Mpa ($F_{ci} = 0.9F_{ck}$)이다.
- (2) 하부 바닥판 콘크리트의 설계기준강도는 $F_{ck} = 40\text{Mpa}$ 이다.
- (3) 하부구조인 우각부, 벽체, 기초의 설계기준강도는 27Mpa 이다.
- (4) 시멘트는 일반적으로 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 적합한 것 또는 이와 동질 이상의 것을 사용하여야 한다.

【해설】

- 1) HSB800 및 HSB500의 고강을 주형으로 사용하므로 하부플랜지 콘크리트에 강도가 낮은 콘크리트를 사용하게 되면 프리스트레스 도입시 일시적으로 하부플랜지 콘크리트가 허용압축강도 범위를 벗어나는 경우와 하부플랜지의 콘크리트 상단의 허용 인장강도를 벗어나 시공상의 문제가 발생할 수 있으므로 고강도 콘크리트를 사용하는 것이 좋다.
- 2) HSB800 및 HSB500의 고강을 주형으로 사용하고 복부가 강재 노출구조로 작용되는 점을 고려하여 하여야 하며, 하부 플랜지는 프리스트레스가 도입된 압축부재의 역할과 슬래브로의 역할을 담당하므로 콘크리트의 타설은 동시 타설을 고려하였으며 시공조건을 감안크리프 건조수축의 영향이 적은 고강도 콘크리트를 타설하는 것이 좋다.

2.2 설계 계산에 사용하는 재료의 물리상수

단면의 결정, 응력, 처짐의 계산에 사용하는 강재와 콘크리트의 탄성계수는 다음과 같다.

- (1) 강재의 탄성계수로 고강도 강판인 HS800 및 HS500은 $E_s = 210,000\text{MPa}$ 를 사용한다.
- (2) 콘크리트의 설계기준강도(F_{ck})는 도로교 설계기준의 제2장 사용재료 2.3.2.2 콘크리트에 규정된 값 이상의 것을 표준으로 한다.
- (3) 콘크리트의 탄성계수는 다음의 규정에 따른다.

- ① 콘크리트 할선탄성계수는 콘크리트의 단위질량 m_c 의 값이 $1,450 \sim 2,500 \text{ kg/m}^3$ 인 콘크리트의 경우 다음과 같이 계산하여야 한다.

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

다만, 보통 골재를 사용한 콘크리트($W_c=2,300\text{kg/cm}^3$)에서는 다음을 이용할 수 있다.

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

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + 8 \text{ (MPa)}$

- ② 크리프 계산에 사용되는 콘크리트의 초기접선탄성계수와 할선탄성계수와의 관계는 다음과 같다.

$$E_c = 0.85 E_{ci}$$

- (4) 콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6로 가정한다.
- (5) 콘크리트의 전단탄성계수는 다음에 의해 계산하는 것으로 한다.

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

여기서, E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa) ν : 포아송비

【해설】

- (1) 설계계산에 사용되는 탄성계수를 규정한 것으로서 도로교 설계기준 2.3 사용재료의 2.3.3 설계계산에 사용하는 물리상수 규정에 따른다.
- (2) 설계계산에 사용되는 콘크리트의 설계기준강도를 규정한 것으로 도로교설계기준 제2장 사용재료의 규정에 따른다.
- (3) 설계계산에 사용되는 탄성계수를 규정한 것으로서 도로교 설계기준 2.3 사용재료의 2.3.3 설계계산에 사용하는 물리상수 규정에 따르나 1차 프리스트레스 이후부터 슬래브 타설까지의 기간이 짧은 경우에는 콘크리트의 탄성계수는 위 식보다 작은 반면에 작용응력은 비교적 크기 때문에 이 기간 동안의 계산에 사용되는 탄성계수는 상기 식으로부터 구한 값의 90%를 취하는 것이 적당하다.

제3장 설계 및 해석

3.1 적용범위

- (1) 이 장은 거더와 기둥 및 벽체가 강결된 교량의 상부구조와 접합부의 설계에 적용한다.
- (2) 기둥 및 벽체(연직부재)의 설계는 「도로교설계기준」 ‘제5장 하부구조’의 규정을 따른다.

3.2 설계 일반사항

- (1) 교량의 거동에 영향을 미치는 구성요소는 원칙적으로 설계 계산에 포함시키고, 주 검토단면 이외에 응력상 주의해야 할 부분은 구조물의 중요도에 따라 검토여부를 결정한다.
- (2) 구조계산서에는 적용시방서, 문헌, 설계조건을 반드시 명시함과 동시에 원식, 가정조건, 계산과정을 순서대로 기재하여야 한다.

【해설】

- (2) 1) 지중에 매립된 합성라멘교로서 지중과 관련된 설계조건을 명확하게 제시하여야 한다.
- 2) 프리플렉스 거더와 하부구조가 복합된 구조로 부재별 설계기준 및 설계강도 등을 정확하게 명기하여야 한다.
- 3) 프리플렉스 거더를 하이브리드 단면으로 적용할 경우 각 강재의 종류 및 항복강도를 명기해야 하며, 강종조합 및 복부두께는 [도·설 3.8.4.2]를 따라야 한다.

3.3 설계방법

지중매립형 합성라멘교의 설계방법은 주형 부분과 우각부, 교대, 기초로 구분하여 적용하며 다음과 같다.

- (1) 지중매립형 합성라멘의 주거더 부분인 프리플렉스 합성형과 우각부인 SRC부에 대하여 허용응력설계법을 적용한다.
- (2) 지중매립형 합성라멘의 교대 벽체부, 교각 기둥부 및 기초에 대하여는 강도설계법을 적용한다.

【해설】

- (1) 주거더인 프리플렉스 합성형과 우각부인 SRC 부재는 시공순서나 시공조건에 따라 동일 단면내의 응력분포가 다르기 때문에 미리 산정한 조건에 따라 매 시공단계별 응력을 산출하고 누적한 후 허용응력과 비교하여 일정한 안전도가 확보되도록 설계하여야 한다.
- (2) 교대 벽체부, 교각 기둥부 및 기초의 철근콘크리트의 설계방법은 [도·설 4.4]‘강도설계법’의 규정에 따른다.

3.4 설계하중

교량의 설계하중은 「도로교설계기준」 ‘1.3 교량의 등급’에 의하여 설계활하중 등급을 정하고, 그 적용은 같은 설계기준 ‘2.1 하중’에 따른다.

3.5 설계 하중조합 및 설계강도

지중매립형 합성라멘의 설계하중 및 증가계수는 허용응력설계법을 적용하는 경우 「도로교설계기준」 ‘2.2.2 허용응력설계법’에 따르도록 하고, 강도설계법을 적용하는 경우 같은 설계기준의 ‘2.2.3 강도설계법’에 따르도록 한다.

3.6 상부구조

3.6.1 프리플렉스 합성형

- (1) 상부구조인 프리플렉스 합성형의 설계는 「프리플렉스합성형 표준시방서 및동해설(안)(대한토목학회)」, 「철도설계기준」 ‘18.3 프리플렉스 합성 거더교’ 및 「도로교설계기준」을 따른다.
- (2) 식생 면적을 넓히기 위해 상부 플랜지의 폭을 줄일 목적으로 상부 플랜지의 항복강도가 복부 및 하부판의 항복강도보다 높은 하이브리드 단면을 적용할 수 있다.

【해설】

- (1) 「도로교설계기준」은 프리플렉션하중 재하단계에서 강재의 허용응력을 규정하고 있지 않으므로 「프리플렉스합성형 표준시방서및동해설(안)」 또는 「철도설계기준」에 명시된 강재의 허용응력을 사용한다.
- (2) 하이브리드 거더에서는 복부판의 최대 휨응력이 허용응력을 초과하는 것이 허용되지만 사용하중 상태에서는 복부판의 최대 휨응력이 항복강도에 이르지 않도록 주의해야 한다. 하이브리드 단면에 대한 강종조합과 복부판의 최소두께는 [도·설 3.8.4.2]를 따른다.

3.6.2 하부 슬래브

- (1) 하부 슬래브의 두께와 설계지간 및 설계모멘트는 「도로교설계기준」 ‘3.6 바닥판’을 따른다.
- (2) 상부 슬래브와 달리 현장에서 연속되게 제작되지 않으므로 특별한 이음 구조 없이는 캔틸레버판으로 설계되어야 한다.

【해설】

- (2) 전 구간 캔틸레버판이므로 바닥판 단면 내에 발생하는 면내압축력을 고려한 경험적 설계법을 적용해서는 안된다.

3.6.3 우각부

- (1) 우각부 설계는 「도로교설계기준」 ‘4.12.4 라멘부재 절점부’를 따른다.
- (2) 라멘교의 절점부에 있어 보강철근은 단면력이 확실히 전달되도록 배치하여야 한다.

【해설】

- (2) 우각부에 배치된 상부강재는 하부강재에 단순교 방식으로 가설되므로 모멘트의 전달을 기대하기 힘들므로 강재의 휨강성을 고려하지 않은 상태에서 보강철근량을 결정하여야 한다.

3.7 하부구조

3.7.1 교대부

- (1) 교대부의 설계는 시공단계를 고려하여 검토하여야 한다.
- (2) 교대부에 작용하는 토압은 「도로교설계기준」 ‘5.5.9 토압’ 및 ‘6.6.3 교대’의 규정을 따른다.

【해설】

- (1) 지중매립형 합성라멘은 기초구조, 교대부, 상부구조 순으로 시공되며, 각 공정에 따른 경계조건을 고려하여 설계한다.

3.7.2 기초

- 기초의 설계는 「도로교설계기준」 ‘5.5 기초의 설계에 관한 일반사항’의 규정을 따른다.

3.8 내진설계

- (1) 지중매립형 합성라멘의 내진설계는 「도로교설계기준」 ‘제6장 내진설계’를 따른다.
- (2) 단일모드 스펙트럼 해석법을 기본으로 하며 정밀한 해석을 요하는 교량에 대해서는 다중모드 스펙트럼 해석법을 적용한다.

【해설】

- (1) 설계하중과 조합은 [도·설 2.2.3] 및 [도·설 6.4.4]를 따른다. 직선교이며 직교인 경우 1축 방향 구조해석에 의한 2축 방향 분격이 발생되지 않으므로 하중조합은 간단해지며, 횡방향 강성이 매우 크므로 횡방향 해석을 생략할 수 있다.
- (2) 등가정적 지진하중은 [도·설 6.5.3]에 따른다.

제4장 제작 및 설치

4.1 일반사항

합성형 라멘교 형식으로 프리스트레스가 도입된 거더를 지중에 매립하는 공법의 제작 및 시공에 관한 지침이다

- (1) 상부슬래브를 거더 하면에 두어 성토(盛土)시 토피고의 높이를 축소하며, 지중구조물에 있어 거더 높이만큼의 형하공간을 확보하는 복개구조(생태통로)에 적용 된다.
- (2) 라멘교로 자중 및 합성전 고정하중에 대해 회전/이동변형을 수용할 수 있는 받침강형 및 등근 받침판을 이용하여 프리플렉스 합성형을 단순보 형식으로 가설한 다음, 벽체와 지중매립된 거더 하면의 바닥판을 합성 후 작용하는 하중에 대해 라멘교 형식으로 거동하도록 하는 지중 매립형 합성라멘교의 제작 및 가설에 대한 지침이다.

【해설】

지중매립형 합성라멘교를 제작하는 데에 본 지침서의 규정 및 관련규격을 준수하고, 제작관리를 체계적이고 효율적으로 운영함으로써 제작원가를 절감하고 제품의 고품질화를 달성하는데 그 목적이 있다. 본 지침에 명시되어 있지 아니한 사항에 대하여는 도로교설계기준, 콘크리트구조설계기준, 구조계산서, 설계도면, 수량산출서 등에 따른다.

4.2 강합성 지중라멘 제작 및 설치

4.2.1 콘크리트의 사용 및 관리

- (1) 콘크리트의 설계기준강도, 슬럼프 및 굽은 골재의 최대치수는 설계도서에 준용한다.
- (2) 콘크리트 펌프의 기종은 콘크리트의 종류, 품질, 관의 지름을 포함한 배관조건, 타설장소, 1회의 타설량, 타설속도 등을 고려하여 선정하여야 한다.
- (3) 콘크리트 진동기의 형식, 크기, 숫자는 부재단면의 두께와 면적, 한번에 운반되는 콘크리트의 양, 굽은 골재의 최대치수, 잔골재율, 콘크리트 반죽질기 등을 고려하여 확보하여야 한다.

4.2.2 철근의 사용 및 관리

- (1) 철근 및 용접 철망은 깨끗하여야 하며 들뜬 녹 등의 유해한 부식, 더러움, 흙, 변형 등이 없는 것이어야 한다.
- (2) 철근은 KS D 3504 또는 동등 이상의 제품이어야 하며, 철근콘크리트용 재생 봉강은 KS D 3527에 적합한 것이어야 하며, 시험을 통하여 품질이 확인된 제품을 사용하여야 한다

4.2.3 강합성 지중라멘의 시공

- (1) 착공 전에 콘크리트 공사의 골재원, 소요 골재의 운반, 레미콘 사용 또는 B/P 설치계획, 콘크리트 생산계획 등을 포함한 콘크리트 공사 시공계획서를 작성하여 야 한다.
- (2) 콘크리트 타설 전에 타설 위치, 소요인원, 타설장비, 타설 순서 및 다짐 방법 등을 포함한 콘크리트 타설 계획서를 작성하여야 한다.
- (3) 구조물 시공전 콘크리트 균열에 대한 균열제어계획을 수립하고, 거푸집 제거와 동시에 구조물 부위별 균열조사 및 면 조사를 하여 그 기록을 제출하여야 한다. 또한 균열이 발생되었을 경우에는 균열의 발전여부 등을 계속 추적하여야 하며 이에 대한 보수·보강 대책을 강구하여 보수·보강하여야 한다.
- (4) 콘크리트를 치게 될 표면은 깨끗하고, 철근설치에 적합한 상태인지 확인하여야 한다.
- (5) 콘크리트에 매설된 품목, 정착장치, 철근 및 강봉 템플렛 등이 필요한 대로 제자리에 설치되어 있는지 확인하여야 한다.
- (6) 철근은 설계도면, 시공 상세도에 따라 설치하여야 하며, 철근과 콘크리트의 부착을 저해할 수 있는 각종 이물질은 제거하여야 한다.
- (7) 철근 조립 후 콘크리트 타설까지 장시간 경과가 예상될 경우 철근 부식 방지를 위한 별도 조치를 하여야한다.

4.2.4 받침강형 및 앵커장치 설치

지중매립형 합성라멘교의 우각부 강형을 벽체에 강결하기 위한 앵커의 설치는 다음과 같이 설치한다.

- (1) 벽체의 콘크리트 타설 전 벽체 거푸집의 각 모서리 좌표를 확인하여야 하고, 확인된 좌표를 근거로 받침강형 고정용 앵커장치의 설치위치를 확인한다.
- (2) 시공시에는 앵커, 앵커 플레이트 및 너트의 제원 및 수량을 파악하고 설계도서 및 현장 조사된 좌표를 근거로 앵커장치의 설치위치를 표시하여야 한다.
- (3) 앵커장치의 설치는 설계도면에서 확인한 다음 벽체부 연직철근에 표시하고 앵커장치 설치용 철근을 배치하여야 한다.
- (4) 설치용 철근 위로 앵커장치를 설치한 후 그 위치 및 간격을 확인한 다음 설치용 철근과 맞닿는 앵커장치면을 가용접하여 단단히 고정하여야 한다.

지중 매립형 합성라멘교의 우각부 강형과 연결될 받침강형의 설치는 다음과 같이 설치한다.

- (1) 1차시공벽체의 콘크리트 양생 후 받침강형을 설치한다.
- (2) 스틸줄자 또는 실을 이용하여 각 벽체 위에 설치된 받침강형들 간의 정렬상태를 확인하여야 한다.
- (3) 앵커볼트의 조임 방법은 너트의 밀착을 확인한 후에 직경 36mm 이하 앵커볼트의 경우 60°, 직경 36mm 초과하는 앵커볼트의 경우 30° 회전시킨다.
- (4) 받침강형 설치시 철근 및 용접 철망은 깨끗하여야 하며 들뜬 녹 등의 유해한 부식, 더러움, 흙, 변형 등이 없는 것이어야 한다.
- (5) 철근은 KS D 3504 또는 동등 이상의 제품이어야 하며, 철근콘크리트용 재생 봉강은 KS D 3527에 적합한 것이어야 하며, 시험을 통하여 품질이 확인된 제품을 사용하여야 한다

【해설】

지중 매립형 합성라멘교를 제작하는 데에 본 지침서의 규정 및 관련규격을 준수하고, 제작관리를 체계적이고 효율적으로 운영함으로써 제작원가를 절감하고 제품의 고품질화를 달성하는데 그 목적이 있다.

4.3 프리플렉스 합성형 제작

4.3.1 프리플렉스 합성형 제작 일반사항

- (1) 설계도서에 대한 검토를 수행 제작 후 문제가 발생되지 않도록 하여야 하며 추가적으로 SHOP DRAWING을 실시하여 현장적용에 대한 문제점을 해결한다.
- (2) 강재를 제작하기위한 MARKING 작업시 절단 후 부재치수 오차가 1mm이내가 되기 위한 MARKING 치수 정밀도를 확보 하도록 한다.
 - ① 치수허용차 : 0.5mm이내
 - ② 대각선 허용차 : $L \times (1/1000)$ 이내, 3mm이내
- (3) 절단 및 절삭은 직선 부재의 경우 레일에 의한 자동가스 절단으로 하며, 기타 부재는 NC 컷팅기 또는 SHAPE 컷팅기를 이용하여 절단한다.
- (4) 주요부재의 판 절단은 주응력 방향과 판절단 방향을 일치시켜야 하며, 절단작업 착수 전 재단도 (NESTING PLAN)를 작성 실시하여야 한다.
- (5) 판이음 조립은 재편의 조립정밀도는 완성시 “부재의 정밀도 기준”을 만족시키도록 하여야 하며 재편을 조립할 경우의 개선부분 정밀도를 갖도록 하여야 한다.
- (6) 용접시공 시험은 제작현장에서 작용되는 모든 용접법에 대하여 승인된 용접 절차 사양서(WPS)에 따라 용접시공 시험을 실시하여야 한다.
- (7) 고장력 볼트는 KSB 1010(이음용 강재)의 규정에 맞아야 하며, 볼트의 길이는 연결되는 부재의 총 두께에다 와샤와 너트를 박을 수 있는 길이에 6~10mm를 더한 길이를 5mm단위로 절상한 길이로 결정한다.
- (8) 볼트 조이기는 적절한 계기를 부착한 렌치를 사용하여 너트를 돌리는 방법으로 조여야 하며, 렌치의 작업공간이 부족할 때는 발주자 대리인의 승인을 얻어 너트를 돌리지 않고 볼트를 돌려 조일 수 있으며, 계기를 부착한 렌치는 최소 볼트 인장력보다 5~10%의 인장력을 더 발휘할 수 있는 것이어야 한다.
 - ① 볼트의 길이가 88.9mm(3.5in) 미만일 때 1/3회전
 - ② 볼트의 길이가 200mm미만 또는 직경의 8배 미만일 때 1/2회전
 - ③ 볼트의 길이가 200mm미만 또는 직경의 8배 이상일 때 2/3회전

【해설】

- (2) MARKING에 대하여 주요 부재의 마킹시 험가공을 하는 곳이나 완성후에도 남은 구간은 흠을 내서는 안되며 마킹시 기재한 재질, 부재 NO. 등이 재단도 및 띠철과 형판에 기재된 것과 일치하는지를 검사하며, 변형이나 외관상 결함이 없는지, 수축변형을 고려한 마킹을 했는지, 재단도의 캠버와 마킹 캠버가 일치하는지, 대각선길이 및 실 부재치수는 재단도와 일치하는지를 검사하여야 한다.
- (3) 절단 및 절삭은 모재의 기계적 성질에 주는 영향이 적고, 절단면의 정밀도가 좋아야 하며, 구멍 뚫기로 구멍 뚫는 경우는 정밀도를 확인한 후 사용한다. 또한 이음구멍 모서리부는 면깎기 (갈기)를 하며 개개의 공경은 허용차에 맞는 드릴 지름을 선정한다. 드릴은 누적 사용기간을 정해 교체 시기를 결정하여 교체하여야 하며, 구멍의 직각도는 1/20 이하로 한다.
- (4) 주요부재의 절단은 주응력방향이 압연방향과 일치하는지, 도장의 부착강도 증대를 위해 외부에 노출된 절단면의 모서리는 2mm 이상, 기타 노출된 절단면의 모서리는 0.5mm이상으로 모서리 사상을 하는지 확인하여야 한다. 가스절단면의 정도는 2차 부재의 자유단에 노치가 1mm이내인지, 거칠기는 1차 부재에는 50S, 2차 부재는 100S 이내인지 확인하여야 한다. 또한 절단 부재의 치수와 개선각도는 도면과 일치하여야 하며 개선각도의 허용오차는 $\pm 5^\circ$ 이내인지 검측하고 가스절단으로 인한 변형이 있는지를 확인하여야 한다.
- (6) 용접 작업자의 자격요건은 KS, AWS D1.1, ISO 9606 적용하며 수동작업 (피복아아크 용접법 등) : KSB 0885 용접기술 검정에 있어서 시험 방법 및 판정기준 A-2F, A-2WM, A-2C와 자동용접(서브머지드 아크 용접법) : KSB 0885 A-2F 또는 ISO 9606, 반자동용접(FLUX CORED 아크 용접법) : KSB 0885 A-2F 또는 ISO 9606을 따른다.

4.3.2 프리플렉스 합성형 강형 가조립

- (1) 강구조물은 제작 후 공장에서 가조립을 실시하여야 하며, 이때 솟음량, 선형, 규격, 현장 이음부의 간격 및 볼트구멍의 정확도에 대하여는 조립 정밀도의 기준에 따라야 하고, 공장의 가조립은 전체 구조물을 일시에 조립하도록 진행하여야 한다.
- (2) 지면에서 약 700 mm 높이에 견고한 기초로 받침 지지대를 세우고, 지지대 위에서 똑바로 세워 조립하여야 한다.
- (3) 가 조립의 순서는 설치되는 장소에 따라 현장조건을 감안하여 결정하여야 한다.
- (4) 공장 가 조립에서 주부재의 접합에는 드리프트 핀이나 가조임 볼트를 사용하여야 한다. 이때 사용하는 드리프트 핀이나 볼트의 최소수량은 볼트구멍 개수의 25 % 이상, 복부판의 경우에는 15 % 이상이어야 한다.

4.3.3 프리플렉스 합성형 강형 제작

- (1) 프리플렉스 합성형은 강거더의 휨변형에 의하여 프리스트레스를 도입하는 공법을 사용하므로, 강거더 완성시, 프리플렉션 전, 프리플렉션 시, 릴리스 전, 릴리스 직후, 프리플렉스 합성형 가설 시, 교량완성 시의 각 시공단계에 있어서 주거더의 형상 또는 변형을 측정하여 프리스트레스의 도입을 확인하여야 한다.
- (2) 제작장은 거더 제작과 야적에 충분한 면적을 확보해야 하며, 제작중 지반의 부등침하가 발생하지 않도록 충분한 지지력을 확보해야 한다. 또한 제작된 거더의 반출이 용이한 곳이며, 홍수위(H.W.L)이상의 안전한 곳에 위치하여야 한다.
- (3) 재하대, 횡 지지장치 및 회전틀의 기초는 설계서에서 정하는 대로 하고, 그 두께는 200mm를 표준으로 한다.
- (4) 제작장의 면적은 지간, 주형개수, 거푸집의 유용계획 및 제작장 사이클(Cycle)에 따라 다르나 대체로 최소 3,000m² 이상이 확보되어야 하며, 확보가 어려울 시 현장 여건에 맞춰 제작장을 분산시킬 수 있다.
- (5) 프리플렉스 합성형의 제작용 주요기기와 프리플렉스 합성형의 가설용 주요장비는 규정된 것을 사용하여야 한다.

【해설】

- (5) 프리플렉스 합성형의 제작용 주요기기는 ① 강거더 조립 및 볼트 체결공 : 임시체결볼트, 드립트핀, 스페너, 콤푸레샤, 임팩트렌치, 토오크렌치, 캘리브레이터, 인양와이어, 크레인, 인양클램프(하카), 큰 해머 ② 강거더 정착 및 프리플렉션 : 크레인, 인양와이어, 인양클램프(하카), 재하장치(재하대, 재하보, 턴버클스패너), 프리플렉션 장치(프리플렉션 틀, 잭, 펌프, 콧손), 횡지지장치(횡지지재, 횡지지로울러, 턴버클) ③ 하부플랜지 철근 및 거푸집 : 철근가공기, 용접기, 거푸집 동바리, 강재거푸집, U크립, 비계재료 ④ 하부플랜지 콘크리트 및 양생 : 콘크리트 버킷, 바이브레이터, 크레인, 전천후시트하우스(weather sheet house), 온도계, 보일러설비, 콘크리트 시험기 ⑤ 릴리스, 회전 및 이동 : 프리플렉션 장치, 프리플렉션 틀, 잭, 펌프, 콧손, 회전틀, 크레인, 인양와이어 ⑥ 복부콘크리트 : 목재거푸집, 압입단관, 콘크리트 버킷, 크레인, 양생쉬트, 바이브레이터로 이루어진다.
- (5) 프리플렉스 합성형의 가설용 주용장비는 크레인에 의한 가설 : 크레인, 트레일러, 인양와이어, 받침구, 재크, 비계재료와 밀어넣기에 의한 가설인 원치, 공사용 임시거더, 도르레, 와이어, 대차, 레일, 침목, 문형지주, 체인블럭, 크레인, 인양와이어, 잭, 비계재료를 사용한다.

4.3.4 프리플렉스 합성형 강형 운반

- (1) 강거더의 수송에 있어서는 적재화물자체와 수송차량이 특수하므로, 통행 도로의 관리부처와 협의하여 통행승인을 얻어야 한다.
- (2) 이음판은 될 수 있으면 주거더 이음부에 볼트로 임시조임을 하고, 공장에서 드리프트핀을 꽂았던 위치를 표시하여야 한다.
- (3) 앵커볼트 받침, 그 밖의 작은 부재는 같은 것 끼리 모아 볼트로 조이거나 포장 또는 나무상자에 넣고 내용물의 품명, 종류, 치수, 수량을 명기해야 한다.
- (4) 현장조립을 요구하는 부재에 대해서는 조립부호를 보기 쉬운 개소에 페인트로 기입하며, 한 개의 중량이 2톤 이상인 부재는 중량 및 중심위치를 보기 쉬운 곳에 표기해야 한다.

4.3.5 프리플렉션 하중재하

프리플렉션 재하방식은 5점재하방식을 이용하여 사용하중에 의한 모멘트 형상에 맞게 프리플렉션하중을 도입할 수 있는 방식으로 전 부재에 최적의 압축응력을 도입한다.

【해설】

1) 프리플렉션 하중의 도입은 아래와 같이 실시해야 한다.

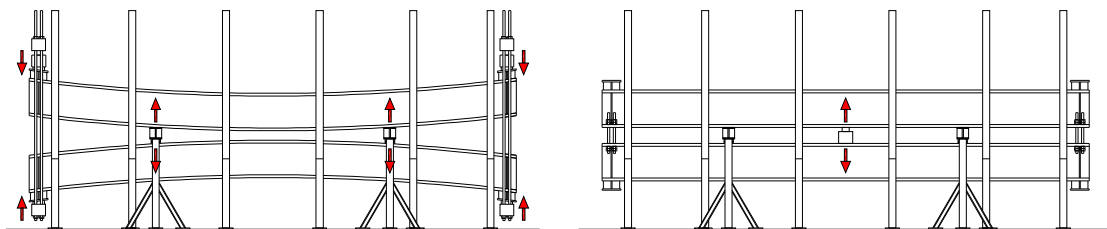
- ① 강거더 지점에 프리플렉션 특, 책을 설치하고 강거더의 중심선과 틀의 중심선은 실추를 이용하여 신중히 설치한 다음에 강거더의 솟음을 측정해야 한다. 솟음 측정은 레벨(측량기)과 강재자를 이용하여 복부판의 상단을 측정하는데 측정점은 양지점과 지간의 중앙부로 한다.
- ② 강거더 제작시 용접등에 의한 잔류응력을 제거하기 위하여 소성변형법, 피닝법, 열처리등의 방법을 이용하는 것이 좋다.
- ③ 프리플렉션하중은 소정의 하중보다 충분한 용량의 책 및 펌프를 사용하고, 천천히 유압펌프를 작동시켜 양측에 같은 응력이 도입되도록 펌프의 압력계를 읽으면서 시행해야 한다.
- ④ 하중속도는 5 ton/min 정도로 하고, 급격한 가압이 되지 않도록 한다.

- ⑤ 설계하중의 단위는 Ton이며 Digital Pressure Gauge의 단위는 kg/cm^2 이므로 관리직원은 단위를 환산하여 작업에 임할 수 있도록 한다.

예) 설계하중 85.79 Ton일 경우 압력(300 Ton Jock의 단면적 433.74cm^2)

$$\text{압력} = [(85.79 \times 10^3) \div 433.74] = 207 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

- ⑥ 응력도입 작업중에 특히 강거더에 비틀림이 생기지 않도록 실추를 확인하면서 시행하여야 한다.
- ⑦ 프리플렉션하중을 가한 다음 강거더의 솟음을 측정하여 소정 처짐량의 적부를 확인해야 한다.
- ⑧ 설계서의 처짐량을 준 다음 강거더의 양단에 체결볼트 4개씩으로 변위를 고정하고 강거더의 솟음을 측정하여야 한다.



5점재하도(4점재하 후 중앙에 추가의 유압잭 적용)

- ⑨ 초기 4점재하 후 위 그림에 표현된 것과 같이 중앙에 추가의 유압잭을 설치하여 하중을 가하되 그 주의사항은 상기 4점재하와 동일하다.
- 2) 프리플렉션 하중의 재하관리는 아래와 같이 실시해야 한다.

- ① 필요한 장비는 K.S 1급품 줄자이며 강거더 양단부의 수직보강재와 중앙부를 측정할 수 있는 위치에 설치해야 한다.
- ② 줄자는 지면과 수직이 될 수 있도록 팽팽하게 설치해야 한다.
- ③ 솟음량 Check 요령시 프리플렉션 Camber 값이 5.21cm 일 경우 상, 하부 강거더 Camber 값은 $104.2\text{mm}(=52.1\text{mm} \times 2\text{본})$ 이다.

위 치	좌측(mm)	중앙(mm)	우측(mm)	숫음량(mm)
상. 하부 강 거더 간격	500	606.7	505	104.2

$$\begin{aligned}
 * \text{숫음량(mm)계산방법} &= \{ \text{좌측}(500\text{mm}) + \text{우측}(505\text{mm}) \} / 2 - \text{중앙}(606.7\text{mm}) \\
 &= \text{숫음량}(104.2\text{mm})
 \end{aligned}$$

3) 프리플렉션 하중 작업시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 하중 재하시에는 프리플렉션 작업 중 작업자가 임의적으로 작업하지 않도록 관리자는 철저히 관리해야 하며, 하중 재하시 강거더의 변형, Guide의 낙하, Oil 유출 등이 일어나는지 주의 깊게 관찰해야 한다.
- ② Camber Check시에는 예상 밖의 값이 측정되었다면 우선 줄자의 이상 유무를 확인해야 하며, 프리플렉션 작업시 허용범위는 $\pm 10\%$ 로 한다.(가능하면 + 측 유도)
- ③ 프리플렉션 작업은 강형의 완성시, 강형의 완성시, 프리플렉션 후. 적치 후에는 강거더의 숫음을 측정해야 한다.

4.3.6 릴리스

- (1) 콘크리트를 타설할 때 채취한 공시체에 대한 압축강도시험을 실시하여 소정의 강도(35MPa 이상)를 확인한 다음 릴리스 작업을 시행하여야 한다.
- (2) 릴리스 작업은 프리플렉션 작업과 동일한 장치를 사용하여 실시하는데, 양측의 유압펌프의 압력계를 읽으면서 두 값의 오차가 거의 없도록 매우 천천히 하중을 줄여서 콘크리트에 응력을 도입하여야 한다.
- (3) 릴리스 작업의 순서는 다음과 같다.
 - ① 프리플렉션틀을 프리플렉스 합성형 지점 위에 정착시킨다.
 - ② 유압잭에 유압펌프를 접속시킨다.
 - ③ 유압펌프를 작동시켜 체결볼트가 헐거울 때까지 하중을 가한다.(이때 하중은 보통 프리플렉션하중 보다 2~3ton 높다.)
 - ④ 하중을 정지시키고 체결볼트를 풀어준다.
 - ⑤ 하중을 5ton/min의 속도로 천천히 릴리스한다.
 - ⑥ 하중을 완전히 릴리스한 다음, 잭과 프리플렉션틀을 제거한다.
- (4) 릴리스시에 도입된 프리스트레스의 관리는 처짐값으로 하며, 이때 온도 차에 의한 쏏음의 변화를 고려하여야 한다.
- (5) 릴리스에 있어서는 릴리스 직전, 릴리스 직후, 임시적치상태에서 프리플렉스 합성형의 쏏음을 측정하고 처짐을 구하여야 한다.

4.4 프리플렉스 합성형 운송 및 설치

4.4.1 프리플렉스 합성형 운송

- (1) 운송 전 부재 순서별로 조립기호를 기입하고 스프라이스 플레이트도 부재에 맞게 운송한다.
- (2) 운송된 부재에 결함이 있을 경우에는 결함부위를 수정하여야 하며, 수정 작업시 그 재질이 손상되지 않도록 교정작업을 실시하고 가열시 600 ℃를 초과해서는 안된다.
- (3) 부재는 직접 지면에 닿지 않도록 받침대를 고이고 받침대와 부재 접촉면 사이에 고무판 등을 설치하여 부재 도장부위가 손상되지 않도록 하여야 한다.

5.4.2 프리플렉스 합성형 현장조립 및 가설

설계도서 규정에 의거하여 제작 완료된 프리플렉스 합성형을 대상의 교량이 설치될 장소로 운반하여 현장에서 조립 가설하는 공정을 말한다.

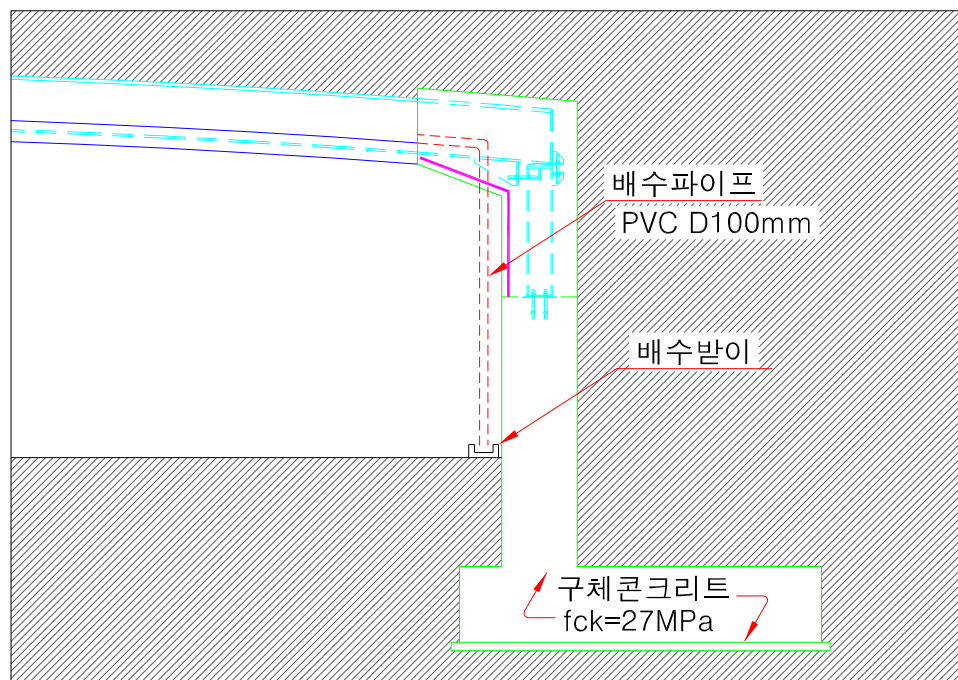
【해설】

1) 현장 조립은 다음과 같이 시행하여야 한다.

- ① 부재의 접촉면은 조립하기 전에 청소하여야 하며, 조립기호와 조립순서에 따라 정확하게 조립하고 부재는 신중하게 취급하여 손상이 없도록 주의하여야 한다.
- ② 합성형의 조립을 위한 받침대 및 비계는 비틀림, 경사, 전도 등의 우려가 없는 좋은 지반에 소정의 솟음을 고려하여 견고하고 수평하게 설치하여야 한다.
- ③ 임시 버팀대에 의하여 부재를 설치할 때에는 가설이 완료될 때까지 버팀대를 유지시켜 구조물의 솟음이나 비틀림 등에 의해 손상이 발생하지 않도록 견고하게 시공하여야 한다.
- ④ 임시조임용 볼트 및 드리프트핀의 합계는 볼트수의 1/2을 표준으로 하고 드리프트핀의 수는 구멍을 맞추기에 필요한 정도로 하고 볼트의 수를 될 수 있는 한 증대시켜야 한다.
- ⑤ 합성형의 조립에는 소요 고장력 볼트수의 1/2 이상의 가체결 볼트 및 드

리프트핀을 사용하고, 볼트구멍을 잘 맞추어 볼트조임을 하여야 한다. 이때 드리프트핀에 의하여 구멍이 확대되거나 손상되지 않도록 하여야 한다.

- ⑥ 현장 조립품을 일체로 운반하여 설치할 경우에는 조립부재의 길이, 중량 및 형상을 고려하여 충분한 용량의 장비와 소요대수를 산출하여야 하며 부재의 변형이 발생하지 않도록 안전하게 설치하여야 한다.
 - ⑦ 조립완료 검사는 캠버량 검측, 이음부 볼트구멍의 정밀도, 이음부에서의 부재사이의 간격에 유의하여 행하여야 한다.
- 2) 가설은 합성형의 설치는 승인된 시공도면에 따라 설정된 기선과 표고에 맞추어 정확하게 설치하여야 한다.
 - 3) 강봉의 가설은 강봉의 연결은 바닥판 콘크리트 타설시 프리플렉스 합성형의 전도방지 및 위치고정과, 단부에서 프리플렉스 합성형의 회전 및 수평변위를 구속시키지 않는 한도 내에서 결합해야 하며, 변위를 구속시키지 않기 위해 강봉을 지지 및 연결 PLATE에 결합하되 체결부에 소정의 GAP 및 홀에 여유를 두어야 한다. 일반적으로 GAP은 3mm를 표준으로 한다. 그리고 강봉 체결작업은 양단부를, 합성형 가설과 동시에 실시하여야 한다.
 - 4) 배수구는 거더 하부콘크리트 상단부에 설치하며 교대 전면 하단으로 배치되며 배수 지점에는 배수받이를 설치하여야 한다. 단, 배수파이프는 직경 100mm를 표준으로 하되, 교량의 규모에 따라 변경 적용될 수 있다.



제5장 지중(복토) 구조물의 방수 및 방근

5.1 일반사항

5.1.1 적용범위

본 시방서는 구조물의 옥상, 지하층 상부, 인공지반 및 생태교량 상부 등에 누수방지는 물론 인공 지반 녹화를 위한 방근성을 가진 공법으로 내근성을 갖는 고분자필름 및 주방근층(U-FRP)보강용 유무기 복합섬유를 라미네이팅한 자착식 부틸고무시트에 FRP용 합성수지를 함침시킨 시트-도막 복합 방수공법으로서 취약한 시트간 조인트를 부틸고무로 접합시키고 2중보강포에 함침된 일체화된 미려한 U-FRP도막을 형성하여, 녹화로 인한 식물 뿌리로부터 구조물과 방수층을 보호하는 방근성을 포함한 방수공법(SMART-GREEN공법)이며 이를 이용한 인공 지반 녹화용 방수공사에 적용한다.

5.1.2 참조규격

- ① KS F 4934 자착식 미가황 고무화 아스팔트 방수 시트
- ② KS F 3211 지붕용 도막 방수제
- ③ KS A 1107 점착 테이프 및 점착 시트 시험방법
- ④ KS M 6518 가황고무 물리 시험 방법
- ⑤ KS M 3331 액상수지의 기본 물성 방법
- ⑥ KS F 4938 인공지반녹화용 방수 및 방근재료의 방근성능 시험방법
- ⑦ KS F 4922 폴리우레아수지 도막 방수재

5.1.3 제출물

- ① 자재 공급원 승인서
- ② 시공계획서
 - 가. 공정계획서
 - 나. 인원, 장비 투입계획서
 - 다. 안전관리 계획서
- ③ 카다로그
- ④ 견본

5.1.4 재료의 보관 및 취급

- ① 방수자재는 시공순서에 의해 반입하고 반입된 자재는 시공순서에 따라 사용한다.
- ② 반입된 자재의 보관은 직사광선을 피하고 통풍이 잘 되는 그늘진 곳에 보관한다.
- ③ 보관 장소 주위에서 화기 사용을 금지하고 창고나 그 외 보관 장소에는 화재예방을 위하여 항상 소화기 등을 비치하여야 한다.
- ④ 방수재는 가급적 물에 접촉되지 않도록 보관하여야 한다.
- ⑤ 시공을 위하여 실외에 임시로 보관하여 사용하는 경우에는 각재(100mm이상) 위에 합판을 깔고 적재하되 빗물, 이슬, 직사광선 등을 차단할 수 있는 방수포 또는 PE필름 등으로 덮개를 씌워서 보관해야 한다.
- ⑥ 숙경성으로 주제와 경화제 혼합시 수초이내에 경화되므로, 주제와 경화제는 별도의 용기에 보관하고 장비를 사용하여 시공하여야 한다.

5.1.5 현장 조건

① 환경조건

가. 강우, 강설 시에 방수 공법을 시행해서는 안 된다.

나. 강풍이 불거나 기온이 고온인 경우에는 시공에 주의하여야 한다.

② 바탕상태

방수공사 직전의 콘크리트 바탕상태는 다음조건을 만족해야 한다.

가. 바탕 면은 충분히 건조되어 수분이 손에 묻어나지 않을 정도이어야 한다.

나. 콘크리트 면은 평탄하고, 들뜸, 취약부분 및 돌기부 등으로 결함 부분이 없는 양호하게 건출된 상태이어야 한다.

다. 치켜 올림부위는 요철부분이 없도록 깨끗이 마감된 상태이어야 한다.

▶ 신축인 경우

- 바닥 콘크리트 타설시 기계 미장 또는 쇠퇴손으로 미장 마감 한다

- 배수구 쪽으로 향한 구배는 정밀 시공하여 물고임 현상이 발생되지 않도록 하고 배수구는 콘크리트에 묻히는 부분을 잘 시공하고 배수를 감안하여 배수구를 설치한다.

▶ 보수인 경우

- 기존 방수층의 보수는 전면보수를 원칙으로 하되 노후심화 정도에 따라 보수 부위를 조정하여 부분 보수 할 수 있다.
- 보수시 방수층 절거후 평탄성 및 구배가 불량할 경우 필요에 따라 Levelling 몰탈 미장을 한다.
- 방수층 제거시 제거부위의 단차 발생 부분과 배수구 주위의 보수가 필요한곳은 완벽히 보수 후 시공한다.

5.1.6 유지관리

- ① 시공이 완료된 후 후속공정 공사 등으로 인해 손상된 방수층은 즉시 새로운 자재로 공사감리원이 승인한 방법에 의거, 수정 및 보완되어야 한다.
- ② 누수현상이 발생되면 시공사는 즉시 누수원인을 조사하여 가장 적절한 보수방법을 결정하고 공사 감리원의 승인을 얻어 보수작업에 임해야 한다.

5.2 재료

5.2.1 재료명

재 료 명	포 장 단 위	성 분
프라이머(SP-150)	18ℓ/CAN	부착 강화 고무 프라이머
시트(SS-450B)	1m x 10m/ROLL	방수, 방습, 방진, 내근용 고무시트
폴리코트(SF-300U)	20kg/SET	방수, 방습, 방근용 초속경화용 도막제

5.2.2 세부사항

1) 프라이머(SP-150)

프라이머는 바탕면과 방수재와의 부착 강화용 특수 프라이머로서, 침투성과 부착성능이 우수해야 하고 탄성이 있는 재질이어야 한다.

2) 시트 (SS-450B)

- ① 시트는 원료고무 100%를 주재료로 하여 여기에 보강재, 충전재, 노화방지를 균일하게 혼합한후 시트형태로 성형한후 권취하여 제조한 방수재로서 높은 신장율과 점착능력으로 시트와 시트간 점착 연결시 자착 특성에 의거 별도의 점착제 없이도 일체화하는 고유특성 과 고무자체의 방수, 방습, 방진성을 갖는 방수재이다.

- ② 시트 상부에 적층된 화학섬유 매트는 내근용 필름과 폴리에스테르 장섬유 부직포 및 펄프가 주성분으로 이루어진 합포지로서 두께 0.2mm이상 적층되고 내후성,내약품성 내충격성및 치수 안정성이 좋아야 한다.

3) 폴리코트(SF-300U)

- ① 기계적 물성이 우수한 2액형 초속경 수지로서 방수 방습 방근이 뛰어나며 탄력적이고 매끄러운 막을 형성하며 스프레이방식으로 구조물 형상 적응능력이 탁월한 수지이다.
- ② 기계적, 물리적, 화학적 물성이 매우 우수하고 특히 내마모성,내충격성,내수성,내약품성이 우수하고 시공시에 도막의 두께를 자유롭게 조절할 수 있으며 콘크리트뿐만 아니라 철판,알루미늄, 등 다양한 피착면에 우수한 접착력을 나타낸다.

4) 사용 시 주의사항

- ① 규정된 재료이외의 물질은 혼입을 절대 금한다.
- ② 재료의 현장 반입 시 규정된 포장방법에 의해 반입되도록 하고 감리, 감독자의 검수를 받은 후 사용한다.
- ③ 필요시 전문기술자를 파견하여 품질관리 및 시공지도를 실시한다.
- ④ 방수공사 작업 시 안전관리에 만전을 기하고 사고발생시 긴밀한 협조로 상호 협의하여 처리토록 한다.

5.3 시공

5.3.1 프라이머 도포

- ① SMART PRIMER는 솔, 로라, 헤라, 주걱, 스프레이 등을 이용한다.
- ② 도포량은 SMART PRIMER 0.3ℓ/m²을 기준으로 하되 거친 바탕일 경우에는 면갈기 등의 방법으로 바탕정리 후 기준량을 균일하게 바탕 면에 도포하여야 한다.
- ③ 도포 순서는 구배한 높은 바닥부터 먼저 도포하고 골고루 분포되도록 교차방향으로 도포하여 시공한다.
- ④ 일부 요철면 도포시 프라이머가 고여 있으면 안 되므로 요철부위를 평활하게 한 후 건조가 잘 될 수 있도록 도포한다.
- ⑤ SMART PRIMER층의 건조 상태를 지측검사 확인 후 SMART SHEET를 시공한다.
- ⑥ 일부 유성 프라이머 성분에는 인화성 물질 있으므로 화재와 유해가스에 대한 철저한 대비가 필요하므로 방재도구와 배풍기 가스검지기 및 안전장구(마스크 등)를 착용하여 시공하도록 한다. 수성일 경우에는 예외로 한다.
- ⑦ 프라이머 사용시에는 반드시 프라이머 용기에 표기 되어 있는 사용설명서를 충분히 숙지하여야 하며 주의사항에 대한 제반조치를 점검, 준비한 후 사용하여야 한다.

5.3.2 시트 시공

- ① 프라이머 시공후 방수층이 완전 건조되면 시트를 시공한다.
- ② 시트 시공 시에는 구배가 낮은 곳 에서 부터 높은 곳으로 시공한다.
- ③ 구조물의 벽체와 연결되는 부위는 코너부 보강후 시트를 시공한다.
- ④ 시트와 바닥, 시트와 시트 연결부에 공기 층 제거를 위하여 수동 롤러나 손으로 안쪽에서 바깥쪽으로 눌러준다.
- ⑤ 프라이머와 시트사이에 공극부분이 생기지 않도록 한다
- ⑥ 시트를 시공시에는 시트를 펼친 상태에서 한쪽 끝단을 바닥방수층에 부착한 후에 하부에 부착 되어 있는 이형지를 바닥면에서 45도로 당기면서 제거하고 시트는 바닥면에 밀실하게 부착시키면서, 연속적으로 같은 방법으

로 시공한다.

- ⑦ 시트 끝 단부 처리는 시트가 박리 되지 않도록 SEALING 처리하는 방법으로 떨어지지 않도록 한다.
- ⑧ 시트 부착이 완료된 후에 들뜸 부분이 없도록 충분히 밀착되었는지 확인하여야 한다.
- ⑨ 시트와 시트의 연결 이음부 정착 길이는 20mm 이상 이어야한다

5.3.3 폴리코트 시공

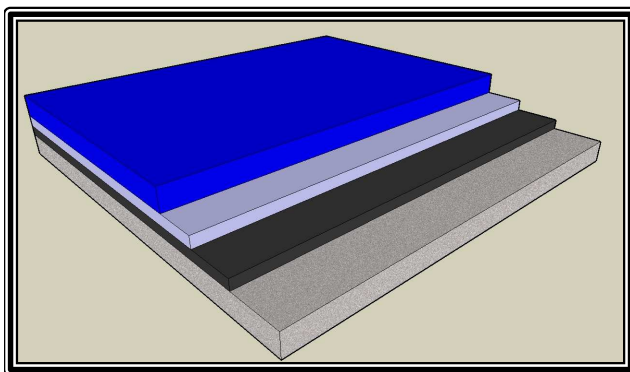
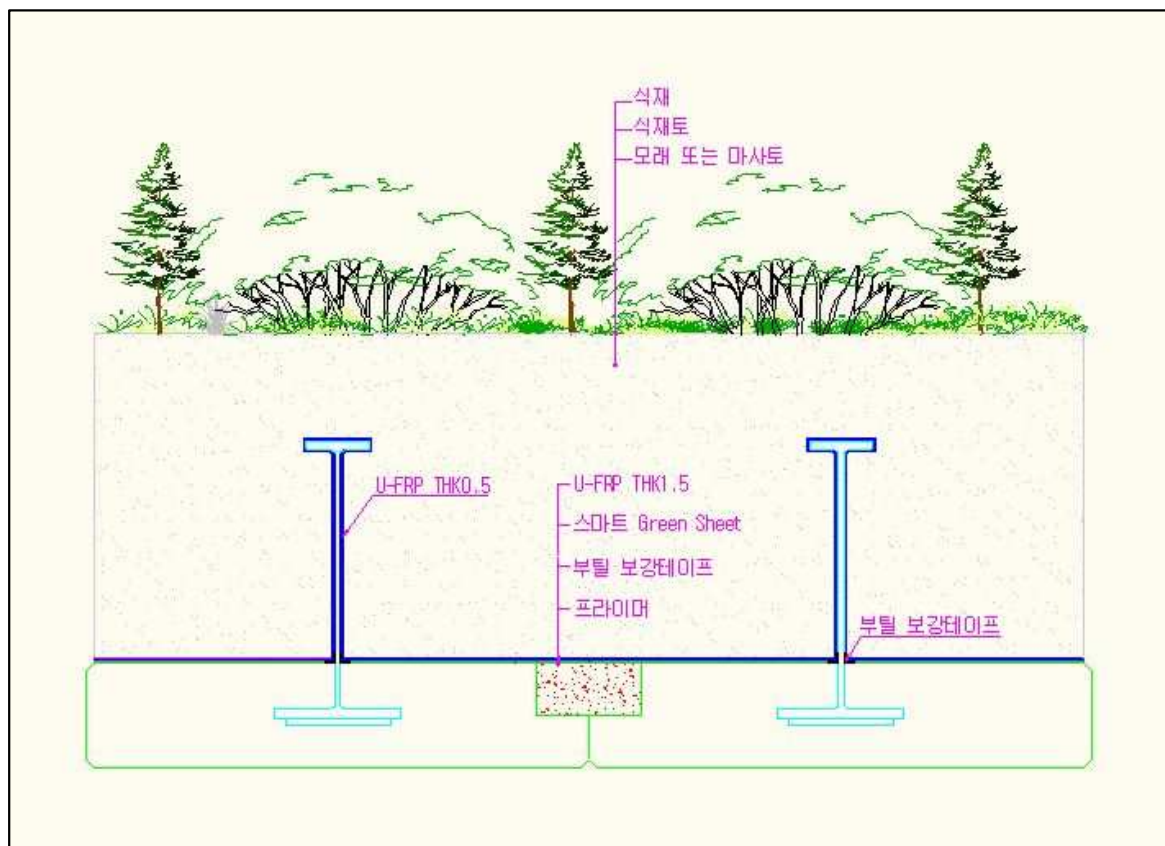
- ① 도포전 바탕면 위에 먼지,이물질등 불순물이 제거 되었는지 확인하여야 한다.
- ② 사용전 수지를 충분히 교반하여(30분이상) 사용하도록 한다
- ③ 도포후 핀홀에 발생하는 부위는 제조업자가 추천하는 퍼티로 메우고 난 후 스프레이하여 소정의 두께로 재도포 하여야 한다.
- ④ 방수,방근막의 두께는 현장시방에 따라 조정을 할수 있다.
- ⑤ 마감층이 외부로 노출되는 부위(녹화외부분)는 자외선 차단도막(TOP COAT)재를 추가로 도포하여 마감한다.
- ⑥ 도포장비는 제품 제조업체에서 지정하는 장비를 사용하여야 양호한 도막을 얻을 수 있다.

5.3.4 시공 마감

- ① 기타 부착 철물 부위, 패드 부위, 루프드레인, 트렌치 부분의 시공은 별도 시방 및 설계도면에 준하여 시공한다.
- ② 현장의 설계에 따라 보호몰탈 설치, 토양층 시공, 식생층 설치 등의 후속 공정을 한다.
- ③ 벽체 시공은 토양층까지 방수 방근처리하며 상부 노출부위는 필요에 따라 노출용 우레탄 도막으로 처리한다.
- ④ 녹화부위가 아닌 바닥 노출부위는 시공후 필요에 따라 UV저항용 도막재를 도포한다.
- ⑤ 시공완료 후에는 청결상태를 유지하여 후 공정 작업이 가능하도록 한다.

5.3.5 시공단면도

본 공법은 생태교량으로서 성토로 인한 식재가 불가피한 구조물로서 현장조건은 동일한 것(식재용 토사로 성토)으로 간주될 수 있으며, 아래와 같이 토사와 접하는 강거더 웹부와 플렌지부는 0.5mm 방식처리하고 부식두께를 확보해야함. 또한, 식재의 뿌리가 콘크리트 균열유발을 방지하기위한 방근시스템으로서 아래와 같이 폴리머재료와 시트를 이용한 방근처리를 적용해야함.



- 폴리코트(U-FRP)
- 시트(SS-450B)
- 프라이머(SP-150)
- 바탕 콘크리트

5.4 기타 주의사항

- ① 후 공정 전에는 방수시트 겹침 부위의 부착 상태, 손상 유무 등 결함부위가 발생되지 않도록 철저히 확인점검 한다.
- ② 공사가 완료되면 공사장 주변의 청소와 함께 정리 정돈을 철저히 한다.
- ③ 시공후 담수시험 필요시 현장관계자와 협의하여 실시한다.
- ④ 기온이 5℃ 이하일 경우에는 현장 여건에 따라 공사를 중지시킬수도 있다.
- ⑤ 시공 전 액상수지 종류는 장비를 사용하여 충분히 교반한 후 사용 하도록 한다.

지중 매립형 합성라멘교 유지관리 지침

지중 매립형 라멘교는 상부구조인 프리플렉스 합성형의 복부 및 하부케이싱(하부슬래브) 콘크리트 단부의 균열, 라멘 현치부 균열, 벽체 시공이음부 공극, 주형의 처짐, 철근의 노출 및 콘크리트 박리 여부에 주의하여 점검하여야 한다.

【해설】

1) 지중 매립형 합성라멘교의 구조적 특징

프리플렉스 합성형을 활용한 라멘공법으로 자중 및 합성전 고정하중에 대해서는 회전변형을 수용할 수 있는 단부 받침강형을 이용하여 단순보 형식으로 지지하고, 합성후 고정하중 및 활하중은 라멘 형식으로 지지하도록 구성된 강합성형 라멘교 공법이다.

주요부재가 강재와 철근콘크리트로 이루어져 있으며, 강형의 하부플랜지 콘크리트로 피복되어 있어 내식성, 내구성, 내화성이 강하고, 상부플랜지 및 복부판은 시트-도막 방수공법으로 보호된 후 토사로 매립되므로 재도장등의 유지보수가 필요 없으며, 라멘구조로서 별도의 신축 및 교좌장치에 대한 유지보수 역시 불필요한 구조이다.

2) 점검 사항

- 균열: 빔의 횡균열 및 사인장균열, 바닥판 균열, 종방향 균열의 유무 및 평가
- 콘크리트면의 백태 및 변색, 열화발생 여부
- 콘크리트 골재분리
- 박락, 철근노출 여부 및 철근 부식의 정도
- 주형의 하향 처짐여부
- 라멘 현치부 균열
- 하부케이싱 콘크리트 균열

3) 점검요령

지중 매립형 합성라멘교의 점검은 교량의 상태를 파악하기 위한 광범위한 조사과정을 통칭하는 것으로서 이에 대한 점검절차는 다음과 같다.

① 점검계획의 수립

점검을 효과적으로 수행하기 위하여 필요한 준공도면, 구조계산서, 보수이력 등의 자료를 수집, 검토하고 현장조사를 통한 사전점검을 실시하여 계획을 수립한다. 또한, 준공이후 시방서 및 제 기준의 변경사항을 검토하여 현행 기준과의 차이점을 파악한다.

② 육안검사

순찰과 유사한 성격의 점검으로서 공용중인 지중 매립형 합성라멘교의 전반적인 상태파악을 위해 시행하는 점검이다.

여기에서는 육안 및 망원경, 거울 등의 보조기구를 사용하여 점검자가 도보로 접근 가능한 교량의 전반적인 외관 상태를 관찰하는 수준으로서, 손상상태 평가는 교량에 대한 전반적인 외관 상태에서 나타나는 손상 및 결함상태를 조사, 평가한다.

③ 장비에 의한 측정

육안검사에 의하여 나타난 결함의 유무 및 범위에 대한 확인이 필요할 때 비파괴시험 및 재료시험 등을 통한 교량의 손상정도를 측정한다.

④ 상태평가

육안검사 및 비파괴시험, 재료시험결과를 종합 분석하여 교량의 안전성 및 내구성, 사용성 여부에 대한 평가를 시행한다. 필요할 경우 재하시험을 통한 내하력평가를 수행하여 지중 매립형 합성라멘교의 활하중 지지능력을 평가하여 교량 구조부재의 저항능력을 산정토록 한다.

原 價 計 算 報 告 書

所 管 : (주)동일기술공사

品 種 : 매립형 프리플렉스 합성라멘 경제성 분석

規 格 : 과업지시서 참조

提供 : 社團法人 東洋經濟情報研究所
DONGYANG ECONOMIC INFORMATION RESEARCH INSTITUTE

주 의 사 항

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 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

(재)포항산업과학연구원 TEL 032)200-2457

■ 문의처 : (주)동일기술공사 TEL 02) 3400-5611

09기술혁신-E04

매립형 프리플렉스 합성라멘 복개구조물과 조립형 덮개 구조물 시공기술 개발 연구보고서

■ 발행일 / 2011. 10. 25.

■ 발행처 / (재) 포항산업과학연구원 토목연구본부

인천광역시 연수구 송도동 180-1 포스코 글로벌 R&D센터

TEL : 032) 200-2457