제 출 문

대구동부순환도로 귀하

귀 사업소와 2022년 03월 11일에 계약 체결한 “연호고가교 정밀안전진단 및 내진성능평가 기술용역”에 대한 과업을 성실히 수행하고 그 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2022년 06월 09일

주식회사 명 성 엔 지 니 어 링
경기도 성남시 분당구 야탑로 69번길 18
대표이사 김 선 무 (인)

연호고가교 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	연호고가교 정밀안전점검 및 내진성능평가 기술용역	진단기간	2022.03.11 ~ 2022.06.09		
관리주체명	대구동부순환도로(주)	대표자	대구동부순환도로장		
공동수급	독자수행 100%	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	도로	종 류	도로교량	종 별	1종
준공일	2002년 08월 24일	진단금액 (천원)	107,882	**안전등급**	**B**
시설물 위치	대구광역시 수성구 연호동	시설물규모	L=410.0m, B=28.9m		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	-
진단 주요결과	◦ 거더외부 도장박리 ◦ 거더내부 도장들뜸, 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 ◦ 가로보 이물질퇴적(조류서식) ◦ 바닥판하면 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트 누수 ◦ 하부구조 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 누수흔적, 파손, 표면오염(녹물) ◦ 교량받침 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 본체 도장박리 ◦ 신축이음 후타재 균열(폭 0.3㎜미만), 파손, 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격 ◦ 교면포장 양호 ◦ 배수시설 양호 ◦ 난간 및 연석 균열(0.3mm미만) ◦ 램프구간 포장 아스콘 균열, 파손, 포트홀, 난간 및 연석 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차
주요 보수・보강	◦ 표면처리, 단면보수(방청), 도장보수, 실란트충전, 정비, 주의관찰

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
사업책임	정 지 운	2022.03.11 ~ 2022.06.09	특 급
분야책임	이 상 훈	2022.03.11 ~ 2022.06.09	특 급
참여기술자	장진원 외 6인	2022.03.11 ~ 2022.06.09	특급~초급

※일반 참여기술자 현황은 참여기술자 명단 참조

라. 참고사항

- 차기 안전점검 및 진단 시 중점점검부위 : 거더 도장손상, 볼트부식, 바닥판하면 종조인트부 누수, 백태, 교대 흉벽 파손, 백태, 신축이음 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등

연호고가교 정밀안전진단 실시결과요약표

책임기술자 종합의견
• 외관조사 결과, 교량의 안전성을 저해할 만한 바닥판 및 거더 등의 주요부재에 중대한 결함이 되는 손상은 없으며 대체로 표면손상이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 주요 손상으로는 각 부재의 전반적인 균열, 거더 도장손상, 부식, 교대 흉벽 파손, 백태, 교량받침 부식, 신축이음 후타재 파손, 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등이 있으며 내구성 저하방지를 위한 보수 및 정비가 필요한 상태이다. 신축이음 및 교량받침에 발생된 경미한 손상은 교량의 신축거동에 대한 기능성과 주행차량 영향 등의 사용성에 문제가 없는 상태이다. • 콘크리트 비파괴시험 결과, 콘크리트 부재의 강도는 양호한 것으로 측정되었으며 철근탐사 시험결과 피복두께 및 배근간격은 전반적으로 양호한 것으로 측정되었다. 탄산화는 진행속도가 양호하여 철근부식의 우려는 없는 것으로 분석되었다. 염화물 함유량 시험결과 염분에 의한 철근부식 우려는 없는 것으로 검토되었다. • 강재 비파괴시험 결과, 거더 내부의 맞대기 용접부는 내부결함이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 도막두께는 거더 내, 외부 모든 구간에서 기준을 만족한 것으로 확인되었다. • 대상교량의 상태평가 결과, 환산결함도 점수가 0.178로 상태평가 등급은 'B'로 산정되었다. • 구조해석을 통한 안전성평가 결과, 설계하중(DB-24)에 대한 바닥판 및 거더의 구조적인 안전율은 1.0 이상이며 기본내하력은 설계하중을 상회하고 있는바, 대상교량의 안전성 평가 결과는 기준 'A'로 평가되었다. • 내진성능 상세평가 결과 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토되었다. 따라서 추후 보강방안은 필요 없을 것으로 판단된다. • 밀안전진단 종합평가 결과, 기준 'B'로 평가되어 안전등급은 "B등급(양호)"으로 지정되었다. 대상 교량은 안전성 및 사용성이 양호한 상태로 판단되며 외관조사에서 나타난 부분적인 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 교량의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 정 지 운 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	b	· 균열(0.3㎜미만), 백태, 파손	· 표면처리, 단면보수, 주의관찰
	거더(Steel Box)	b	· 외부 도장박리 · 내부 도장들뜸, 박락, 볼트부식	· 도장보수, 실란트충전, 정비, 주의관찰
	2차부재	a	· 이물질퇴적	· 정비, 주의관찰
하부구조	교대 및 교각(기초)	b	· 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 백태, 파손	· 표면처리, 단면보수, 주의관찰
교량받침		b	· 받침콘크리트 균열(0.3㎜미만), 본체 도장박리	· 표면처리, 도장보수
신축이음		c	· 후타재 균열(0.3㎜미만), 파손	· 주의관찰
기타부재	교면포장	a	· 양호	· 주의관찰
	배수시설	a	· 양호	· 주의관찰
	난간 및 연석(콘크리트)	b	· 균열(0.3㎜미만)	· 표면처리

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결과
바닥판	강도설계법	캔틸레버부, 중앙지간부 검토결과 소요안전율을 확보한 상태로 검토됨	1.346	A
거더(Steel Box)	허용응력법	정모멘트 및 부모멘트 최대부 등에 대한 종방향 검토결과 소요안전율을 확보한 상태로 검토됨	1.219	A

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용 여부	결과	검토결과 요약
교각기둥	Y	O.K	변위 및 전단성능평가 결과 공급역량이 소요역량 이상으로 양호
교량받침받침부	Y	O.K	받침본체 및 앵커볼트 강재 파괴, 콘크리트 파괴, 프라이아웃 파괴에 대하여 공급역량이 소용역량 이상으로 양호
교각기초	Y	O.K	말뚝 및 직접기초 모두 전도, 활동, 휨, 전단 등에 대하여 공급역량이 소용역량 이상으로 양호
받침지지길이	Y	O.K	받침지지길이 양호

라. 현장시험 (비파괴 및 추가시험)

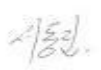
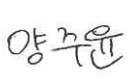
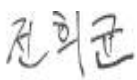
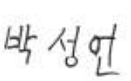
<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="4">시험부위</th><th colspan="2">시험 결과</th><th>검토 의견</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(MPa)</td><td colspan="4">보정 코어강도</td><td colspan="2">상부 24.3,
하부 36.7~36.8</td><td rowspan="4">설계기준 대비 상부구조는 105.9~118.5%, 하부구조는 101.9~108.5%로 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">보정계수의 결정</td><td colspan="2">반발경도법(1.0506)</td></tr>
<tr><td colspan="4">상부구조
(설계기준 : 27MPa)</td><td colspan="2">28.6~32.0</td></tr>
<tr><td colspan="4">하부구조
(설계기준 : 24MPa)</td><td colspan="2">27.5~29.3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">탄산화
깊이
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조</td><td>진행깊이</td><td colspan="2">9.0~12.0</td><td rowspan="4">실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 'a'등급으로 평가됨</td></tr>
<tr><td>잔여깊이</td><td colspan="2">30.0~33.0</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">하부구조</td><td>진행깊이</td><td colspan="2">10.0~12.0</td></tr>
<tr><td>잔여깊이</td><td colspan="2">75.0~84.5</td></tr>
<tr><td rowspan="8">철근탐사
(배근간격/
피복두께)
(㎜)</td><td rowspan="2">상부
구조</td><td rowspan="2">바닥판</td><td>주근</td><td>117~259</td><td>41~52</td><td rowspan="8">배근간격은 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 측정되었으며, 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 구간의 경우 실측 피복이 다소 부족한 것으로 조사됨</td></tr>
<tr><td>배력근</td><td>100~118</td><td>44~57</td></tr>
<tr><td rowspan="6">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>수직철근</td><td>127~128</td><td>55~56</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>250</td><td>52~86</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각
(기둥)</td><td>수직철근</td><td>134~143</td><td>117~119</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>150~307</td><td>84~119</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각
(코핑)</td><td>수직철근</td><td>182~217</td><td>86~101</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>243~300</td><td>89~100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(kg/m³)</td><td colspan="4">상부구조</td><td colspan="2">0.0226~0.0339</td><td rowspan="2">'a'등급으로 평가되어 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td colspan="4">하부구조</td><td colspan="2">0.0339</td></tr>
<tr><td rowspan="2">균열깊이
측정</td><td colspan="2">상부구조</td><td>Cw=0.1mm</td><td colspan="2">14.1</td><td rowspan="2">실측 피복두께 초과하지 않음</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부구조</td><td>Cw=0.2mm</td><td colspan="2">17.2</td></tr>
<tr><td>초음파
탐상시험</td><td colspan="4">거더 내부</td><td colspan="2">96개소 양호</td><td>판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았음</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도막두께
측정
(μm)</td><td colspan="4">거더 내부</td><td colspan="2">175~209</td><td rowspan="2">전반적으로 기준 이상의 두께를 확보하고 있는 상태임</td></tr>
<tr><td colspan="4">거더 외부</td><td colspan="2">194~303</td></tr>
</table>

연호고가교 현황표

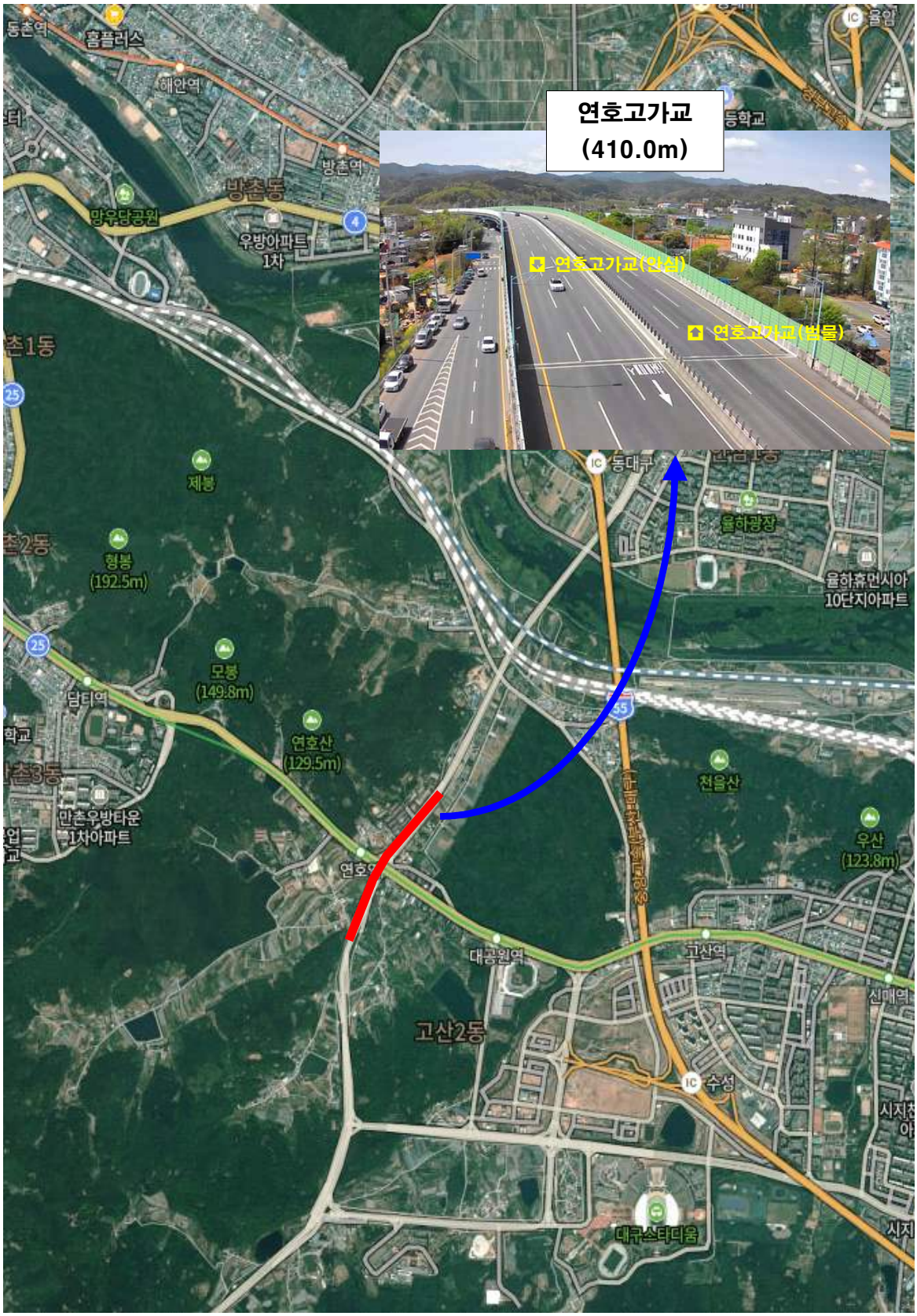
작성일 : 2022년 05월 30일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>연호고가교</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2003-0000494</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년원일</td><td>2002년 08월 24일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>동부교량-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">대구광역시 수성구 연호동</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24(DL-24)</td><td colspan="2">노선명
(이정)</td><td>범안로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제
원</td><td>연
장</td><td colspan="4">L=410.0m (3@50m+60m+4@50m)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=28.9m, 왕복 6차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구
조
형
식</td><td>상
부</td><td>Steel Box Girder</td><td rowspan="2">기
초
형
식</td><td>교
대</td><td>파일기초</td></tr>
<tr><td>하
부</td><td>교대 : 역T형식(RTA)
교각 : 다주식 라멘형</td><td>교
각</td><td>P1, P2 : 파일기초
P3~P7 : 직접기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>납면진받침(L.R.B)</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1 : Finger Joint
A2 : 저소음굴절형 Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">시 공 사</td><td>코오롱건설(주)</td><td colspan="2">설 계 사</td><td>(주)도화종합기술공사</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>S7,8 하면 체육시설 설치</td><td colspan="2">교 고</td><td>6m</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설
내용</td><td colspan="4">방음벽</td></tr>
</table>

정밀안전진단 참여기술진 명단

참여구분	직 위	성 명	기술등급	참여기간	서 명
사 업 책임기술자	이 사	정 지 운	특급	'22년 03월 11일~06월 09일	
분 야 책임기술자	부 장	이 상 훈	특급	'22년 03월 11일~06월 09일	
참여기술자	부 장	장 진 원	특급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	부 장	서 동 진	특급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	부 장	황 상 윤	특급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	과 장	양 주 윤	초급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	과 장	손 기 영	초급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	주 임	전 희 균	초급	'22년 03월 11일~06월 09일	
	사 원	박 성 언	초급	'22년 03월 11일~06월 09일	

시설물의 위치도


연호고가교
(410.0m)
연호고가교(안심)
연호고가교(범물)
동촌역
홈플러스
해안역
율암
등학교
방촌역
방촌동
망우당공원
우방아파트
1차
제봉
동대구
율하광장
율하휴먼시아
10단지아파트
형봉
(192.5m)
모봉
(149.8m)
담티역
연호산
(129.5m)
만촌우방타운
1차아파트
천을산
우산
(123.8m)
대공원역
고산역
신매역
고산2동
수성
대구스타디움

시설물의 전경사진



측면 전경



상부 전경



상부구조 전경 - 외부



상부구조 전경 - 내부



하부구조 전경 - 교대(A1)



하부구조 전경 - 교대(A2)



하부구조 전경 - 교각(P1)



하부구조 전경 - 교각(P3)



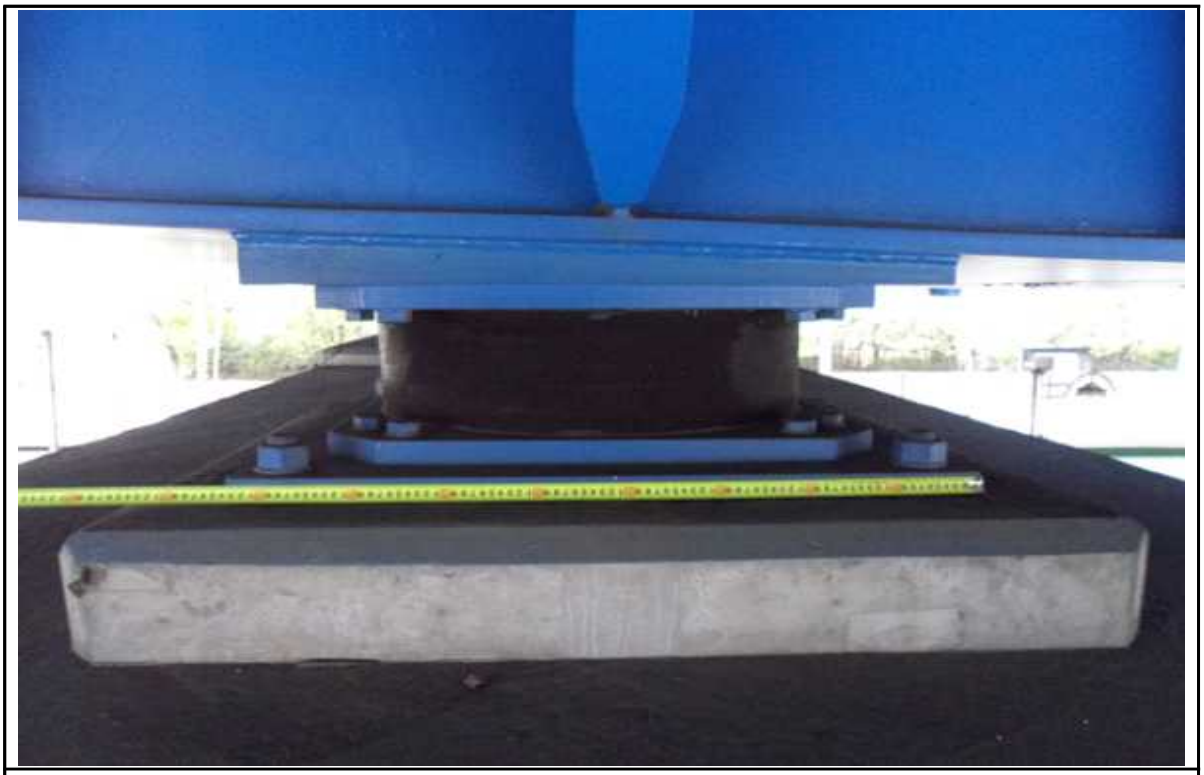
신축이음 전경(A1)



신축이음 전경(A2)



교량받침 전경(양방향 가동단)



교량받침 전경(양방향 가동단)



방호벽 및 방음벽 전경



중앙분리대 전경



배수구 전경



배수관 전경

연호고가교 정밀안전진단 과업요약문

1. 과업의 목적

본 용역은 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 제12조 및 동법 시행령 제10조에 따라 정기적으로 실시하는 정밀안전진단으로써, 정밀한 외관조사와 시험·측정장비 및 기기를 사용하여 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 검토·분석·평가하여 적절한 보수·보강방법을 제시함으로써 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성 및 사용성을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화 하는데 그 목적이 있다.

2. 과업수행 내용

과업항목	과업 내용
자료수집 및 분석	• 준공도면, 구조계산서, 특별시방서 • 실시설계 종합보고서 • 지반조사 보고서 • 시설물관리대장 • 기존 안전점검·정밀안전진단 실시결과 검토·분석 • 보수·보강이력 검토·분석
현장조사 및 시험	• 교량의 제원 및 시공상태 조사 • 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등 - 신축이음, 교량받침 등 기능상태 조사 • 현장재료시험 등 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달 속도시험 등), 철근탐사 시험, 탄산화 깊이측정, 균열깊이 측정, 염화물함유량 시험(제설재에 의한 손상부 건전도 평가) - 강재 시험 : 강재 비파괴시험(도막두께 조사, 초음파 탐상시험) 등
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 및 재료시험 결과분석 • 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 • 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견
안전성평가 및 내진성능평가	• 조사, 시험, 측정결과의 분석 • 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 • 내하력 및 구조 안전성평가 • 내진성능평가 • 시설물의 안전성평가 및 내진성능평가 결과에 대한 소견
종합평가	• 시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 • 안전등급 지정
보수·보강 방법	• 보수·보강 방법 제시 • 시설물 유지관리 방안 제시
보고서 작성	• 관리주체 협의(자문위원회 심의 등) • CAD 도면 작성 및 보고서 작성

3. 과업수행 기간

2020.03.24 ~ 2020.12.18 (270일간)

4. 자료수집 및 분석

1) 주요 점검 및 진단 이력사항

번호	구분	일시	결과	수행기관
1	정밀안전점검	2003.04.25	A등급	(주)한국건설안전기술단
2	정밀안전점검	2005.07.05	A등급	(주)혜성안전기술원
3	정밀안전점검	2007.05.31	A등급	부계기술단(주)
4	정밀안전점검	2009.06.30	A등급	(주)동화엔지니어링
5	정밀안전진단 (하자)	2012.06.30	B등급	(주)아워브레인
6	정밀안전점검	2014.04.05	B등급	(주)삼우기술
7	정밀안전점검	2016.04.03	B등급	(주)우림종합엔지니어링
8	정밀안전진단	2017.06.09	B등급	(주)우림종합엔지니어링
9	정밀안전점검	2019.06.09	B등급	(주)명성엔지니어링
10	정밀안전점검	2021.06.09	B등급	주식회사 다인기술단

2) 보수・보강 이력사항

구 분	일 자	내 용	비 고
1	2011년 03월	교면포장 재포장(오버레이 등, 227300천원)	㈜협우건설
2	2012년 12월	연호고가교 아래 배수로 보수공사(40,760천원)	㈜삼우케미칼
3	2013년 05월	중분대 및 난간 콘크리트 중성화 방지공사(125,000천원)	㈜일송테크
4	2015년 11월	거더 도장공사(840,718천원)	㈜합동건설
5	2016년 04월	교면포장 재포장(절삭후 재포장, 10,000천원)	대익건설(주)
6	2017년 07월	신축이음 교체(A1 : 핑거조인트, A2 : 저소음 내진형) (231,375천원)	(주)새움씨앤씨
7	2018년 05월	종조인트부 유도배수관 탈락 및 변형으로 인한 재설치(S7~S8)(9,680천원)	(주)천수
8	2018년 12월	포장 절삭, 교면방수(BAS 교량복합방수공법) 후 아스콘포장 및 시설물 설치(441,334천원)	(주)대남건설
9	2019년 09월	거더외부, 교량받침, 바닥판, 교대, 교각 균열 표면처리, 단면보수, 재도장 등(11,545천원)	(주)천수
10	2020년 08월	방호벽 균열 백대 표면처리, 중분대 단면파손 보수, 배수관 길이부족 연장, 바닥판 백태 표면처리, 거더 외부 도장박리 재도장 등(14,916천원)	(주)천수

3) 자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 대구광역시 4차 순환도로(고산국도～안심국도)건설 실시설계 - 구조 및 수리계산서 - 구조물도 등	◇ 구조계산서 및 구조물도는 당시 설계기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 설계도면과 실측 제원 비교시 주요 부재에 대하여 전반적으로 동일함	◇ 2018년 전구간 재포장 실시되었으므로 보수이후 신규손상 발생 여부에 대한 검토가 필요함 ◇ 유도배수관 재설치이후 신규손상 발생에 대한 검토가 필요함 ◇ 구조계산서 등을 검토한 결과 내진설계가 적용된 것으로 확인되었으나 준공후 내진성능평가가 미실시되어 금회 내진성능평가를 수행하여야 함.
유 지 관 리 자 료	◇ 정밀안전점검 및 정밀안전진단 보고서	◇ 공사중 및 준공후 20년간 공용하면서 안전성에 문제가 없는 양호한 상태로 검토됨 ◇ 2018년 전구간 재포장, 유도배수관 재설치 등의 보수가 실시되었음 ◇ 일부 기발생된 손상에 대하여 보수가 필요한 상태임	
	◇ 보수・보강 이력	◇ 보수 및 보강 이력은 관리주체에 제공받아 검토하였으며 대체로 내구성 저하 방지를 위한 보수가 실시됨	

5. 외관조사

구분		주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
거더	외부	◦강재 거더 외부는 기 발생한 박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리 등이 일부 발생된 상태이다.	▪도장박리 - 약 20년의 공용기간중 외기노출 및 경년열화에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보 및 도장손상에 따른 부식을 방지하기 위한 도장보수를 실시하는 것이 필요하다.
	내부	◦강재 거더 내부는 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등이 조사되었다.	▪도장들뜸, 박락 - 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다. ▪표면오염 - 현장 이음부 틈을 통해서 유입된 누수흔적으로 판단되며, 우천시 우수유입에 따른 2차손상 발생 우려가 있으므로 현장 이음부 실란트 충전을 통한 보수가 필요하다. ▪실링처리미흡 - 우수유입 방지를 위한 실란트 충전이 요구된다. ▪점검등 덮개탈락, 파손, 불량 - 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 필요하다. ▪기공 - 시공미흡 등에 의한 것으로 손상의 정도가 경미하므로 주의관찰이 요구된다.
2차부재		◦가로보는 전반적으로 양호하나 이물질 퇴적(조류서식)이 1개소 조사되었다.	▪이물질퇴적(조류서식) - 정비를 통한 보수가 필요하며, 기 손상외에 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.
바닥판		◦데크플레이트 구간은 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레러부에 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트부 누수가 조사되었다.	▪균열(0.3mm미만) - 대체로 초기 건조수축에 의해 발생된 방향성이 없는 표면균열로 판단되며, 비구조적인 손상이나 우수유입, 온도변화 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 내구성 확보 차원에서 표면처리 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪백태 - 손상부를 통한 우수유입, 수분접촉, 종조인트 누수 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. ▪박리 - 시공시 다짐불량, 외부충격, 우수유입, 온도변화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 정도는 경미하나 내구성 확보차원의 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪종조인트 누수 - 종조인트부로 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
하부구조	◦기 발생한 교각 코핑부 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 표면오염(녹물) 등이 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 장기간 우수 및 외기에 의한 수분접촉시 표면열화에 따른 박리 또는 내부 철근의 부식 팽창 등에 의해 박락이 발생될 수 있으므로 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪ 백태 - 신축이음부 우수유입, 외기노출, 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. ▪ 표면오염(녹물), 누수흔적 - 신축이음부 우수유입, 외기노출 등에 의한 것으로 판단되며, 진전여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다. 보수시 신축이음부와 연계된 보수가 필요하다. ▪ 파손 - 시공미흡, 우수유입, 온도변화 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다.
교량받침	◦전반적인 가동상태는 양호하며 외관조사 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 조사되었다. ◦교대 및 교각의 교량받침 연단거리는 설계기준을 만족하고 연단거리 부족으로 인한 이상 징후가 발견되지 않는 양호한 상태임. ◦받침장치 가동 여유량 검토 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 표면처리를 실시하는 것이 필요하고, 보수시 표면정리, 적합한 보수재 사용 등에 대해 주의를 기울여야 한다. ▪ 도장박리 - 시공미흡, 우수유입, 외기노출, 공용기간 경과 등에 의해 발생한 손상으로 장기적인 내구성 확보를 위하여 도장보수가 필요하다.
신축이음	◦본체는 전반적으로 작동상태는 양호하며, 차수판 손상(차수커버 볼트탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 균열(0.3mm미만), 파손, 신축이음 하부 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격이 조사되었다. ◦신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.	▪ 후타재 균열(0.3mm미만), 파손 - 건조수축, 차량의 반복적인 윤하중, 온도변화, 공용기간 경과에 의한 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하므로 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상의 증가 및 확대시 일괄보수를 실시하는 것이 요구된다. ▪ 흡음재 탈락 - 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 차량 통행시 소음 등의 영향이 크지않은 바 주의관찰이 요구된다. ▪ 접속부 포장균열, 이격 - 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
교면포장	◦ 재포장된 이후 차량 주행성저하, 침하, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 공용기간 경과, 차량의 윤하중, 온도변화, 우수유입 등에 의해 신규 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
배수시설	◦ 배수구 막힘, 퇴적, 배수관 및 고정철물 손상 등의 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
난간, 연석	◦ 기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 델리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 금회 미보수 및 추가된 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.
교량 점검시설	◦ 연호고가교의 점검시설은 미설치된 상태이다.	-
램프구간 포장	◦ 기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 조사되었다.	▪ 아스콘 균열, 파손, 포트홀 - 차량의 반복적인 윤하중, 공용기간 경과, 시공초기 다짐불량, 배합불량, 시공미흡 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 조사된 손상은 차량통행에 중대한 영향을 미치는 손상이 아닌 바 지속적인 주의관찰을 실시하고 향후 손상의 진전시 보수대책 수립이 요구된다.
램프구간 난간 및 연석	◦ 기 발생한 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 미보수 및 추가 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차가 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 표면보수, 주입보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다. ▪ 파손, 재료분리, 철근노출 - 차량 충격, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관확보를 위해 단면보수를 실시하는 것이 요구된다. ▪ 단차 - 시공초기 옹벽 시공 이후 잔류침하에 의한 손상으로 추정되며, 현재 균열모니터를 통해 유지관리중인 것으로 확인되고, 진전여부에 대한 지속적인 계측 및 주의관찰이 요구된다.
하중조사	● 본 교량에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었다.	

6. 내구성 조사

시험명	시험부위			시험 결과		검토 의견
비파괴 강도 (MPa)	보정 코어강도			상부 24.3, 하부 36.7~36.8		설계기준 대비 상부구조는 105.9~118.5%, 하부구조는 101.9~108.5%로 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단됨
	보정계수의 결정			반발경도법(1.0506)		
	상부구조 (설계기준 : 27MPa)			28.6~32.0		
	하부구조 (설계기준 : 24MPa)			27.5~29.3		
탄산화 깊이 (㎜)	상부구조		진행깊이	9.0~12.0		실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 'a'등급으로 평가됨
			잔여깊이	30.0~33.0		
	하부구조		진행깊이	10.0~12.0		
			잔여깊이	75.0~84.5		
철근탐사 (배근간격/ 피복두께) (㎜)	상부 구조	바닥판	주근	117~259	41~52	배근간격은 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 측정되었으며, 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 구간의 경우 실측 피복이 다소 부족한 것으로 조사됨
			배력근	100~118	44~57	
	하부 구조	교대	수직철근	127~128	55~56	
			수평철근	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직철근	134~143	117~119	
			수평철근	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직철근	182~217	86~101	
			수평철근	243~300	89~100	
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부구조			0.0226~0.0339		'a'등급으로 평가되어 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨
	하부구조			0.0339		
균열깊이 측정	상부구조	Cw=0.1mm		14.1		실측 피복두께 초과하지 않음
	하부구조	Cw=0.2mm		17.2		
초음파 탐상시험	거더 내부			96개소 양호		판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았음
도막두께 측정 (μm)	거더 내부			175~209		전반적으로 기준 이상의 두께를 확보하고 있는 상태임
	거더 외부			194~303		

7. 상태평가

개별교량명 : 연호고가교

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				지점번호	받침	하부구조		내구성요소			
구분	형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음		교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1	STB	a	b	a	a	a	b	b	A1	a	b	q	x	x	x	x
S2	STB	b	b	a	a	a	b	x	P1	b	b	q	a	a	x	x
S3	STB	b	b	a	a	a	b	x	P2	b	b	q	a	a	x	a
S4	STB	b	b	a	a	a	b	x	P3	b	b	q	a	a	x	x
S5	STB	b	b	a	a	a	b	x	P4	b	b	q	x	x	x	x
S6	STB	a	a	a	a	a	b	x	P5	b	b	q	a	a	a	x
S7	STB	b	b	a	a	a	b	x	P6	b	b	q	a	x	a	x
S8	STB	b	b	a	a	a	b	x	P7	a	b	q	x	a	x	x
								c	A2	b	b	q	x	x	x	x
평균		0.18	0.19	0.10	0.10	0.10	0.20	0.30		0.18	0.20	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10
가중치		18	20	5	7	3	2	9		9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치)/가중치합		0.032	0.038	0.005	0.007	0.003	0.004	0.027		0.016	0.040	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001

1. 환산결함도 점수 = 0.178
2. 상태평가 결과 = B

8. 안전성평가

1) 안전성평가 결과

① 강합성거더

구 분			허용응력설계법에 의한 안전성평가	안전성 평가등급
G1 (외측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{155.829}{85.845+41.613} = 1.223$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{78.387+37.998} = 1.633$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190.000}{81.695+31.710} = 1.675$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{80.463+34.898} = 1.647$	A
G2 (내측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{155.829}{84.873+42.963} = \mathbf{1.219}$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{77.500+39.231} = 1.628$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{81.090+36.071} = 1.622$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{78.264+36.681} = 1.653$	A

② 바닥판

구분		바닥판	S.F(안전율)	안전성평가등급
바닥판 캔틸레버부	공칭강도 ØMn (kN・m)	122.08	1.377	A
	극한강도 Mu (kN・m)	88.63		
바닥판 중앙부	공칭강도 ØMn (kN・m)	105.88	**1.346**	A
	극한강도 Mu (kN・m)	78.66		

2) 안전성평가 결론

연호고가교 상부구조에 대한 구조검토 결과, 바닥판의 경우 최소안전률이 1.346, 거더에 대한 검토결과 1.219로 안전율이 1.0을 상회하는 것으로 평가되었으며, 내하율에 의한 기본내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

9. 내진성능 평가

연호고가교에 대한 내진성능 상세평가 결과 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토되었다. 따라서 추후 보강방안은 필요 없을 것으로 판단된다.

구 분		공급역량	소요역량	평가
교각부 평가(변위성능평가, m)				
P1	교축방향	3.526	1.000	O.K
	교축직각방향	1.000	1.000	O.K
P2	교축방향	2.897	1.000	O.K
	교축직각방향	3.403	1.000	O.K
교각부 평가(전단성능평가, kN)				
P1	교축방향	9,357	1,751	O.K
	교축직각방향	11,501	1,273	O.K
P2	교축방향	9,021	1,812	O.K
	교축직각방향	9,565	2,233	O.K

구 분			공급역량	소요역량	공급/소요	평가
받침부 평가(kN)						
A1	교축방향	받침본체	3,084	2,494	1.237	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	1,556	208	7.488	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	12,073	2,494	4.841	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,001	208	4.817	O.K
	교축직각방향	받침본체	3,084	2,057	1.499	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	1,556	171	9.080	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	1,063	171	6.203	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,001	171	5.841	O.K
P1	교축방향	받침본체	5,400	5,151	1.048	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	429	8.158	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	13,083	5,151	2.540	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	429	3.228	O.K
	교축직각방향	받침본체	5,400	4,339	1.244	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	362	9.683	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	1,135	362	3.138	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	362	3.832	O.K
P4	교축방향	받침본체	5,400	4,509	1.198	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	376	9.318	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	13,083	4,509	2.901	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	376	3.687	O.K
	교축직각방향	받침본체	5,400	4,792	1.127	O.K
		앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	399	8.768	O.K
		앵커볼트-콘크리트파괴	1,135	399	2.842	O.K
		앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	399	3.470	O.K

구 분				공급역량	소요역량	공급/소요	평가
기초부 평가							
P1	안전성 검토	수평변위	교축	15.000	0.545	27.536	O.K
			교축직각	15.000	0.174	86.428	O.K
		연직 압축지지력	교축	4,344.9	815.2	5.330	O.K
			교축직각	4,344.9	520.6	8.346	O.K
		연직 인발지지력	교축	592.8	0.0	-	O.K
			교축직각	592.8	0.0	-	O.K
	말뚝응력검토	휨인장응력	교축	210.0	52.6	3.989	O.K
			교축직각	210.0	22.2	9.478	O.K
		휨압축응력	교축	210.0	78.1	2.687	O.K
			교축직각	210.0	61.4	3.422	O.K
		휨전단응력	교축	120.0	4.4	27.060	O.K
			교축직각	120.0	3.2	37.203	O.K
	단면검토	휨	교축	66,552	18,169	3.663	O.K
			교축직각	23,168	6,611	3.505	O.K
		전단	교축	46,385	12,328	3.763	O.K
			교축직각	12,207	3,612	3.379	O.K
P4	안전성 검토	전도	교축	2.600	1.375	1.890	O.K
			교직	9.880	0.809	12.217	O.K
		지지력	교축	8.249	2.000	4.124	O.K
			교직	46.179	2.000	23.089	O.K
		활동	교축	5.406	1.200	4.505	O.K
			교직	4.385	1.200	3.654	O.K
	단면검토	휨	교축	69,482	27,246	2.550	O.K
			교직	24,193	11,164	2.167	O.K
		전단	교축	48,402	11,897	4.069	O.K
			교직	12,737	7,257	1.755	O.K
받침지지길이 평가							
A1		받침지지길이(mm)		1,485	315	4.715	O.K

10. 종합평가 및 안전등급의 지정

1) 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
연호고가교	0.178	B	1.219(거더) 1.346(바닥판)	A	**B**
종합평가	• 연호고가교의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 “B”로 평가됨 • 안전성평가 결과 양방향 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 • 상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 연호고가교는 “B”로 평가됨				

2) 안전등급 지정

연호고가교에 대한 상태평가 및 안전성평가 결과 시설물의 상태는 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 안전등급 “B등급” 으로 평가되었다.

구조물명	안전등급
연호고가교	B등급(양호)

11. 보수·보강 및 유지관리 방안

1) 부재별 보수·보강 일람표

구 분		손 상 현 황	단 위	손상물량	개소	보수·보강방안	우선순위
거더외부 (STEEL BOX)		도장박리	㎡	4.40	57	도장보수	2
거더내부 (STEEL BOX)		도장들뜸, 박락	㎡	2.78	7	도장보수	2
		표면오염	㎡	5.00	1	실란트충전	3
		볼트부식	개소	22	22	도장보수	2
		실링처리미흡	개소	2	2	실란트충전	3
		점검등덮개탈락, 파손, 불량	개소	17	17	정비	3
		기공	개소	1	1	주의관찰	-
가로보		이물질퇴적(조류서식)	개소	1	1	정비	3
바닥판하면		균열(0.3mm미만)	m	7.50	9	표면처리	2
		백태	㎡	1.66	11	표면처리	2
		박리	㎡	0.09	9	단면보수	2
		종조인트 누수	m	10.00	1	주의관찰	-
하부구조	교대	균열(0.3mm미만)	m	4.90	4	표면처리	2
		백태	㎡	0.04	1	표면처리	2
		누수흔적	㎡	28.4	5	주의관찰	-
		파손	㎡	1.29	2	단면보수	2
	교각	균열(0.3mm미만)	m	56.10	47	표면처리	2
		망상균열	㎡	106.0	29	표면처리	2
		백태	㎡	0.24	12	표면처리	2
		표면오염(녹물)	㎡	5.00	1	주의관찰	-
교량받침	받침 콘크리트	균열(0.3mm미만)	m	7.20	27	표면처리	2
	본체	도장박리	㎡	1.97	19	도장보수	2
신축이음	후타재	균열(0.3mm미만)	m	21.5	67	주의관찰	-
		파손	㎡	0.02	2	주의관찰	-
	하부, 접속부	흡음재탈락	m	2.00	1	주의관찰	-
		접속부 포장균열, 이격	m	10.0	1	주의관찰	-
난간 및 연석		균열(0.3mm미만)	m	619.4	684	표면처리	2
램프구간	포장	아스콘 균열	m	23.60	7	주의관찰	-
		아스콘 파손	㎡	0.09	3	주의관찰	-
		포트홀	㎡	0.04	1	주의관찰	-
	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	20.00	21	표면처리	2
		균열(0.3mm이상)	m	5.80	5	주입보수	2
		망상균열	㎡	195.0	6	표면처리	2
		파손	㎡	0.28	2	단면보수	2
		재료분리	㎡	23.2	2	단면보수	2
		철근노출	㎡	0.26	3	단면보수(방청)	2
		단차	개소	1	1	주의관찰	-

2) 보수 · 보강 개략공사비

구분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
거더외부		도장박리	도장보수	4.4	6.6	㎡	110	726	2
거더내부		도장들뜸, 박락	도장보수	2.78	4.17	㎡	110	459	2
		표면오염	실란트충전	5	6	개소	11	66	3
		볼트부식	도장보수	22	2.2	㎡	110	242	2
		실링처리미흡	실란트충전	2	2	개소	11	22	3
		점검등덮개탈락, 파손, 불량	정비	17	17	개소	32	544	3
가로보		이물질퇴적(조류서식)	정비	1	1	개소	32	32	3
바닥판하면		균열(0.3mm미만)	표면처리	7.5	2.81	㎡	75	211	2
		백태	표면처리	1.66	2.49	㎡	75	187	2
		박리	단면보수	0.09	0.14	㎡	250	35	2
하부구조	교대	균열(0.3mm미만)	표면처리	4.9	1.84	㎡	70	129	2
		백태	표면처리	0.04	0.06	㎡	70	4	2
		파손	단면보수	1.29	1.94	㎡	250	485	2
	교각	균열(0.3mm미만)	표면처리	56.1	21.04	㎡	70	1,473	2
		망상균열	표면처리	106	159	㎡	70	11,130	2
		백태	표면처리	0.24	0.36	㎡	70	25	2
교량받침	받침 콘크리트	균열(0.3mm미만)	표면처리	7.2	2.7	㎡	70	189	2
	본체	도장박리	도장보수	1.97	2.96	㎡	55	163	2
난간 및 연석		균열(0.3mm미만)	표면처리	619.4	232.28	㎡	70	16,260	2
램프구간	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	표면처리	20	7.5	㎡	70	525	2
		균열(0.3mm이상)	주입보수	5.8	8.7	m	64	557	2
		망상균열	표면처리	195	292.5	㎡	70	20,475	2
		파손	단면보수	0.28	0.42	㎡	300	126	2
		재료분리	단면보수	23.2	34.8	㎡	300	10,440	2
		철근노출	단면보수(방청)	0.26	0.39	㎡	400	156	2

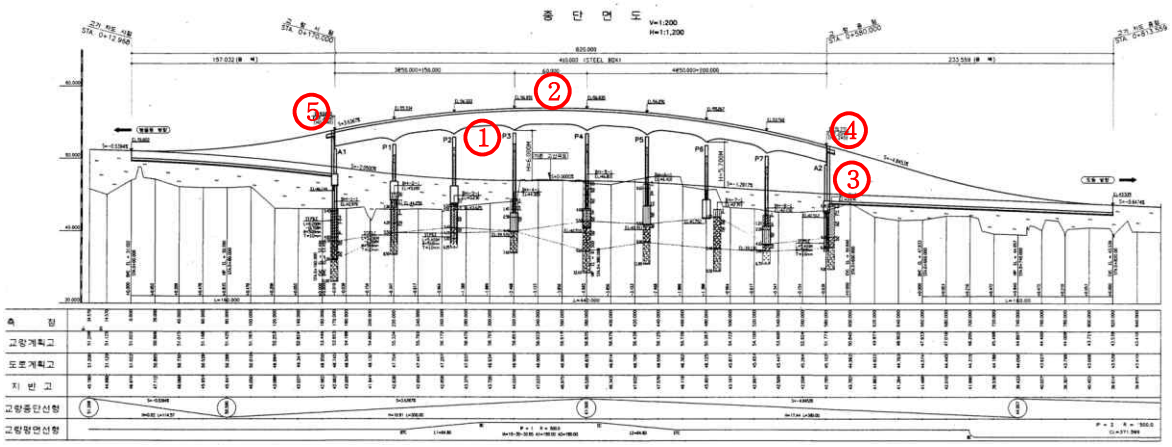
순공사비 합계(천원)		64,661
제경비(순공사비×50%, 천원)		32,331
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위	-
	2순위	95,996
	3순위	996
유지보수 개략공사비 총계		96,992

※ 순공사비는 가시설, 접근장비, 교통통제 등 부대비용을 제외한 금액임.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였으며 균열(폭 0.3㎜ 미만)의 표면처리는 손상 길이에 폭(0.25m)을 곱하여 보수 물량을 산출함.

3) 유지관리 방안

구 분		점 검 내 용
강박스 거더	내부	· 우수유입, 바닥 물고임 및 부식 · 도장부식 및 현장이음부 볼트 손상 · 보강재 변형 발생 여부 · 출입구 방치
	외부	· 도장 손상 및 부식 · 플랜지 변형 및 처짐 · 복부판 부식 및 국부좌굴 · 2차부재(가로보, 세로보, 브라켓) 도장손상 및 부식
바닥판		· 하면 균열의 진전 여부, 백태 및 누수 동반 여부 · 하면 캔틸레버부 들뜸, 박락, 가로등 지주부 철근노출 등의 단면손상 진전여부
신축이음		· 신축이음부 누수 및 부식 정도 · 후타재 이격, 단차 진전으로 충격이나 진동음이 심한 정도 · 하절기 유간협착 유무, 유간 이물질 퇴적 여부 · 후타재 균열, 박리, 박락 진전 여부
받침장치		· 앵커볼트 손상여부 · 받침장치 부식 유무 · 무수축몰탈 및 받침콘크리트 균열, 재료분리 진전 여부
교대		· 균열의 진전 여부 · 철근노출, 들뜸 발생부위 확대 여부 · 교좌면 및 두부면의 물고임, 콘크리트 박리 발생 유무 · 뒷채움부 침하 및 교대 기울음 · 법면 배수로 균열, 파손 진전, 토사유실 유무
교각 및 기초		· 균열의 진전 여부 · 기초의 침하 여부
기타	교면 포장	· 아스콘 마모 진전, 표면 균열 여부 · 신축이음 경계 아스콘 손상, 접속부 아스콘 침하 진전 여부
	난간 연석	· 콘크리트 난간 균열 진전, 피복부족에 의한 들뜸, 박락 및 철근노출 진전 여부 · 줄눈부 실란트 열화, 외측 누수로 인한 주변부재 열화 유발여부
	배수 시설	· 배수구 막힘, 체수 등 · 배수관 누수 여부, 배수관 유출구 주변 콘크리트 부재 열화 발생 유무

4) 중점 유지관리 사항



① 거더 도장손상, 볼트부식



S3-G3 도장들뜸(범물방향)



S3-G3 SP 볼트부식(범물방향)

② 바닥판하면 종조인트부 누수, 백태



S3 종조인트부 누수



S4 백태(범물방향)

③ 교대 흉벽 파손, 백태



A2 흉벽 파손



A2 흉벽 백태

④ 신축이음 접속부 포장균열, 이격





A2 접속부 포장균열, 이격(범물방향)

⑤ 난간 및 연석 방호벽 단차 등





램프구간 단차(시점)

12. 종합결론

연호고가교에 대한 준공후 3회차 정밀안전진단 결과, 안전등급 “B”로 평가되었다. 본 교량은 주부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 저하방지를 위하여 일부의 보수가 필요한 상태로 평가되었다.

외관조사, 내구성조사, 시설물의 상태평가 및 안전성평가, 내진성능 평가 등 본 과업의 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

1) 연호고가교

① 현장조사, 시험 및 상태평가 결과

○ 외관조사 결과, 교량의 안전성을 저해할 만한 바닥판 및 거더 등의 주요부재에 중대한 결함이 되는 손상은 없으며 대체로 표면손상이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 주요 손상으로는 각 부재의 전반적인 균열, 거더 도장손상, 부식, 교대 흉벽 파손, 백태, 교량받침 부식, 신축이음 후타재 파손, 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등이 있으며 내구성 저하방지를 위한 보수 및 정비가 필요한 상태이다. 신축이음 및 교량받침에 발생된 경미한 손상은 교량의 신축거동에 대한 기능성과 주행차량 영향 등의 사용성에 문제가 없는 상태이다.

○ 콘크리트 비파괴시험 결과, 콘크리트 부재의 강도는 양호한 것으로 측정되었으며 철근탐사 시험결과 피복두께 및 배근간격은 전반적으로 양호한 것으로 측정되었다. 탄산화는 진행속도가 양호하여 철근부식의 우려는 없는 것으로 분석되었다. 염화물 함유량 시험결과 염분에 의한 철근부식 우려는 없는 것으로 검토되었다.

○ 강재 비파괴시험 결과, 거더 내부의 맞대기 용접부는 내부결함이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 도막두께는 거더 내, 외부 모든 구간에서 기준을 만족한 것으로 확인되었다.

○ 대상교량의 상태평가 결과, 환산결함도 점수가 0.178로 상태평가 등급은 ‘B’로 산정되었다.

② 구조 안전성평가 및 내진성능평가 결과

○ 구조해석을 통한 안전성평가 결과, 설계하중(DB-24)에 대한 바닥판 및 거더의 구조적인 안전율은 1.0 이상이며 기본내하력은 설계하중을 상회하고 있는바, 대상 교량의 안전성 평가 결과는 기준 'A'로 평가되었다.

○ 내진성능 상세평가 결과 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토되었다. 따라서 추후 보강방안은 필요 없을 것으로 판단된다.

③ 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

○ 연호고가교의 정밀안전진단 종합평가 결과, 기준 'B'로 평가되어 안전등급은 "B 등급(양호)"으로 지정되었다. 대상 교량은 안전성 및 사용성이 양호한 상태로 판단되며 외관조사에서 나타난 부분적인 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 교량의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

④ 시설물의 사용제한의 필요성 여부

○ 내구성능의 현저한 저하 또는 구조적 안전성에 문제가 될 만한 사항은 발생되지 않은 상태로서 시설물의 사용제한은 필요치 않은 것으로 검토되었다.

⑤ 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

○ 거더 도장손상은 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다. 바닥판하면 종조인트 누수, 백태 등의 경우 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 표면처리, 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다. 교대 흉벽 파손, 백태의 경우 시공미흡, 우수유입 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수, 표면처리가 필요하다. 신축이음 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등의 경우 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡, 시공이후 잔류침하 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.

제1장 서 언

1.1 과업의 목적

1.2 시설물의 개요 및 이력사항

1.3 과업의 범위 및 내용

1.4 과업의 수행방법

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

1.6 과업수행 일정

1.7 교량 기호의 정의

제1장 서 언

1.1 과업의 목적

본 용역은 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 제12조 및 동법 시행령 제10조에 따라 정기적으로 실시하는 정밀안전진단으로써, 정밀한 외관조사와 시험·측정장비 및 기기를 사용하여 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 하기 위하여 구조적 안전성 및 결함의 원인 등을 검토·분석·평가하여 보수·보강방법을 제시함으로써 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성 및 사용성을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화 하는데 그 목적이 있다.

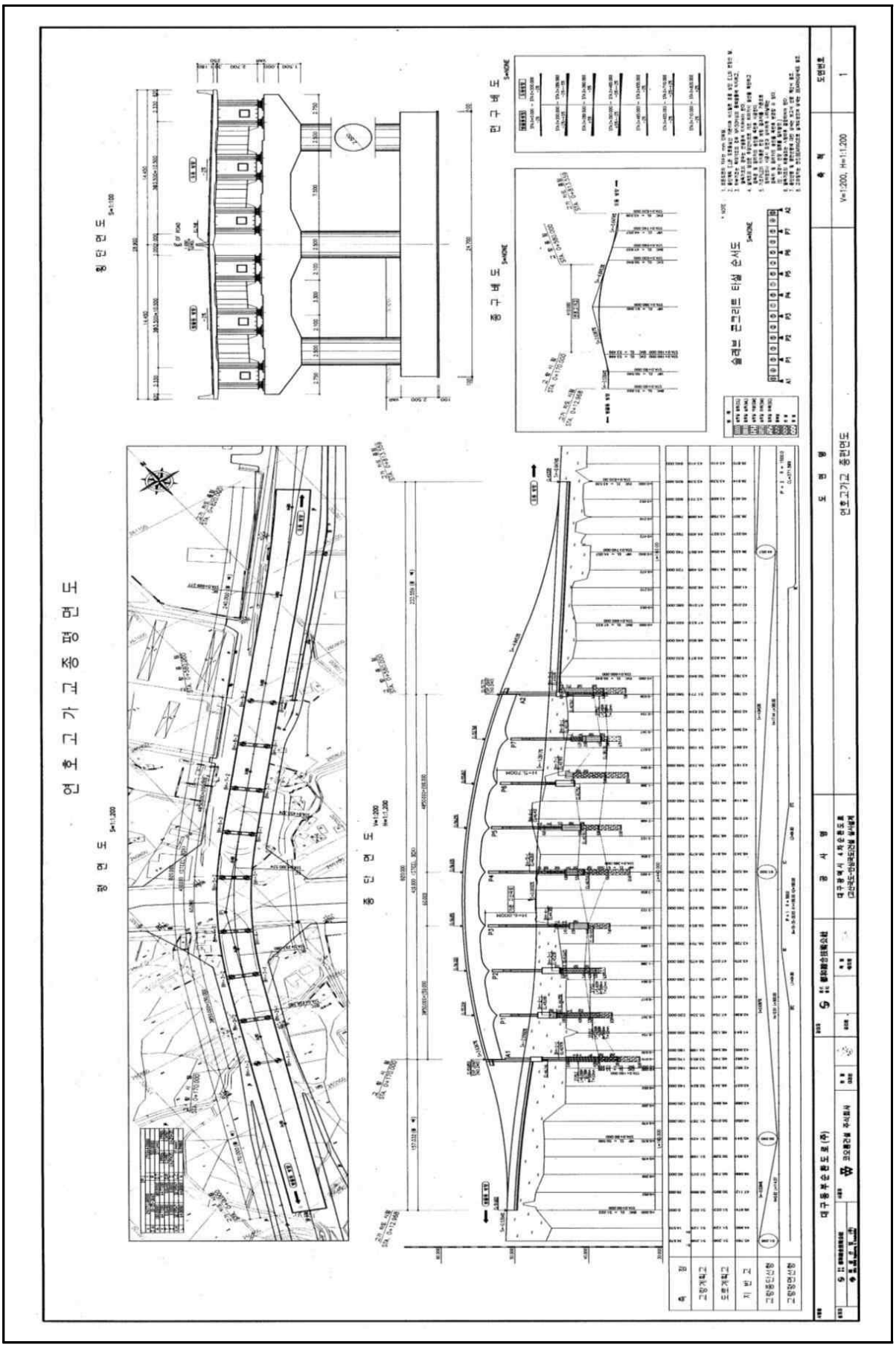
1.2 시설물의 개요 및 이력사항

1.2.1 교량의 현황

본 교량의 현황은 다음과 같다.

<표 1.1> 교량 현황

구 분			내 용
교 량 명			연호고가교
위 치			대구광역시 수성구 연호동
설계하중			DB-24(DL-24)
종 별			1종
상부구조	형 식		Steel Box Girder 교
	교 폭		B = 28.9m (왕복 6차로)
	연 장		L=410.0m (3@50m+60m+4@50m)
하부구조	교대	형 식	역T형
		기 초	파일기초
	교각	형 식	다주식 라멘형
		기 초	P1,P2 : 파일기초, P3~P7 : 직접기초
교면포장			아스팔트 포장
난 간			콘크리트 방호벽, 중분대, 방음벽
신축이음			Finger Joint(A1), 저소음굴절형 Joint(A2)
교량받침			납면진받침(L.R.B)
설 계 사			(주)도화종합기술공사
시 공 사			코오롱건설(주)
관리주체			대구동부순환도로(주)
준공년도			2002년 08월 24일
교차시설물			S7,8 하면 체육시설 설치(게이트볼)



<그림 1.1> 종・평면도

1.2.2 이력사항

본 교량은 2004년 11월 20일 준공되었으며 주요 이력사항은 다음 <표 1.2>와 같다. 주요한 이전 점검결과 내용 및 보수·보강 이력은 '제2장' 에 상세하게 기술하였다.

<표 1.2> 주요 이력사항

번호	구분	일시	결과	수행기관
1	정밀안전점검	2003.04.25	A등급	(주)한국건설안전기술단
2	정밀안전점검	2005.07.05	A등급	(주)혜성안전기술원
3	정밀안전점검	2007.05.31	A등급	부계기술단(주)
4	정밀안전점검	2009.06.30	A등급	(주)동화엔지니어링
5	정밀안전진단(하자)	2012.06.30	B등급	(주)아워브레인
6	정밀안전점검	2014.04.05	B등급	(주)삼우기술
7	정밀안전점검	2016.04.03	B등급	(주)우림종합엔지니어링
8	정밀안전진단	2017.06.09	B등급	(주)우림종합엔지니어링
9	정밀안전점검	2019.06.09	B등급	(주)명성엔지니어링
10	정밀안전점검	2021.06.09	B등급	주식회사 다인기술단

1.3 과업의 범위 및 내용

1.3.1 과업의 범위

대상 교량 시설물의 정밀안전진단 범위는 <표 1.3>에서 정하는 바에 따라 다음과 같다.

<표 1.3> 대상 교량 시설물의 정밀안전진단 범위

구 분	시설물명		비 고
주요부재	상부구조	바닥판, 거더	
	하부구조	교대 및 교각, 기초	
	받침	교량받침	
	기타부재	신축이음, 배수시설, 난간 및 연석, 교면포장	
보조부재	2차부재	가로보	
부속시설	점검시설	점검사다리, 점검통로 등	

1.3.2 과업의 내용

본 과업을 수행하기 위하여 실시한 정밀안전진단 세부내용은 <표 1.4>와 같다.

가) 정밀안전진단

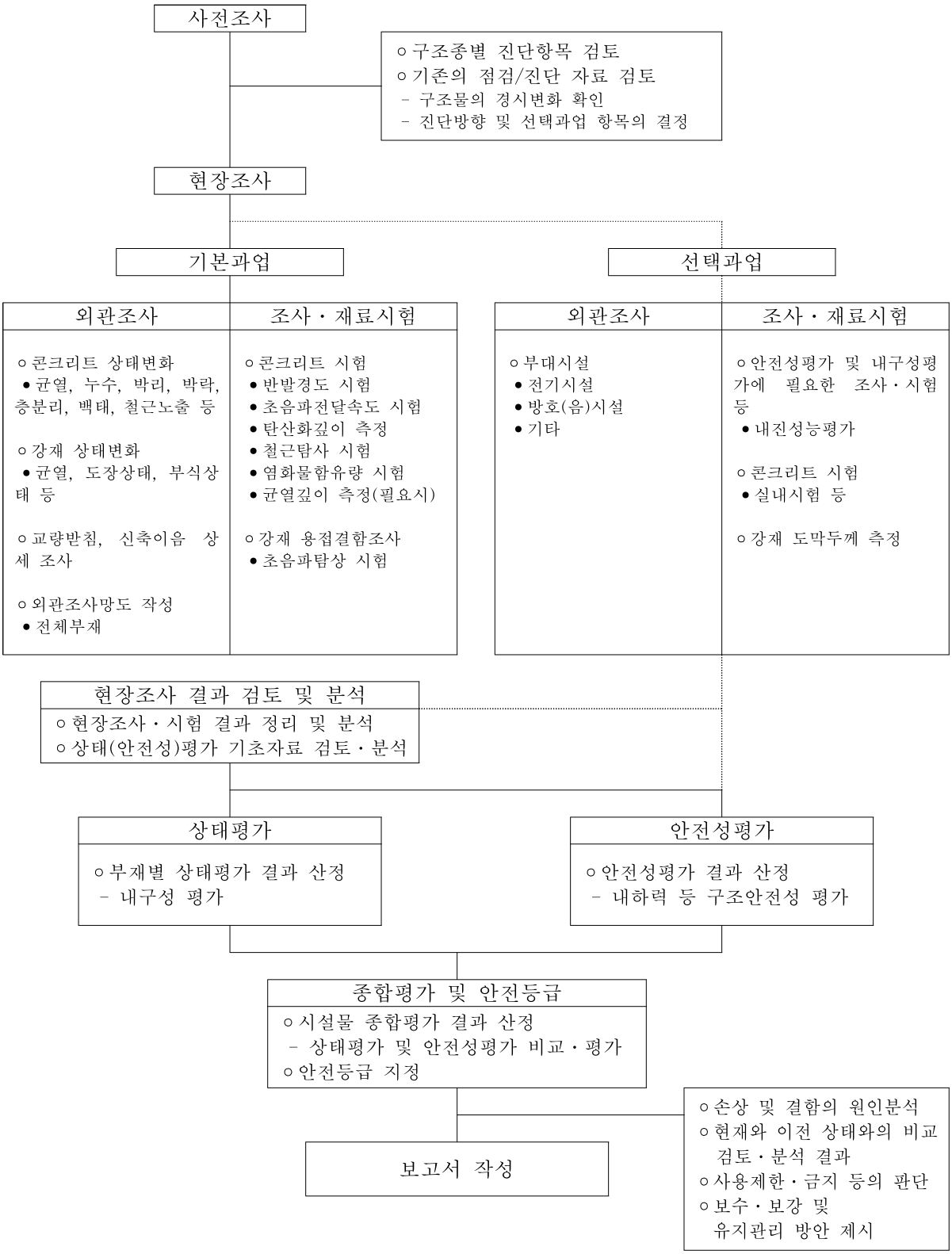
<표 1.4> 과업의 내용

과업항목	과업 내용
자료수집 및 분석	• 준공도면, 구조계산서, 특별시방서 • 실시설계 종합보고서 • 지반조사 보고서 • 시설물관리대장 • 기존 안전점검・정밀안전진단 실시결과 검토・분석 • 보수・보강이력 검토・분석
현장조사 및 시험	• 교량의 제원 및 시공상태 조사 • 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식 및 접합(연결부) 상태 등 - 신축이음, 교량받침 등 기능상태 조사 • 현장재료시험 등 - 콘크리트 시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달 속도시험 등), 철근탐사 시험, 탄산화 깊이측정, 균열깊이 측정, 염화물함유량 시험(제설재에 의한 손상부 건전도 평가) - 강재 시험 : 강재 비파괴시험(도막두께 조사, 초음파 탐상시험) 등
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 및 재료시험 결과분석 • 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 • 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견
안전성평가 및 내진성능평가	• 조사, 시험, 측정결과의 분석 • 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토・분석 • 내하력 및 구조 안전성평가 • 내진성능평가 • 시설물의 안전성평가 및 내진성능평가 결과에 대한 소견
종합평가	• 시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 • 안전등급 지정
보수・보강 방법	• 보수・보강 방법 제시 • 시설물 유지관리 방안 제시
보고서 작성	• 관리주체 협의 • CAD 도면 작성 및 보고서 작성

1.4 과업의 수행방법

1.4.1 과업수행 절차

본 과업에 대한 정밀안전진단 과업수행 흐름도는 <그림 1.2>과 같다.



<그림 1.2> 정밀안전진단 흐름도

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

본 교량의 정밀안전진단 현장조사 및 시험에 사용된 장비는 <표 1.5>과 같다.

<표 1.5> 사용장비 및 시험기기 일반사항

구분	기기명	측정항목	사진
휴대 장비	줄자	손상부위 및 부재단면 측정	
	균열 게이지	균열폭 측정	
	망치	부재 들뜸 및 공동 확인	
	디지털 카메라 / 비디오 카메라	손상 및 각종 현황 촬영	
	버니어 캘리퍼스	부재단면 및 탄산화 깊이 측정	
비파괴 시험 장비	반발경도측정기 (Schmidt Hammer-NR)	콘크리트 강도 추정	
	초음파 탐사기 (Pundit)	콘크리트 강도 추정 및 균열 깊이 측정	
	철근 탐사기 (RC Radar NJJ-95A)	철근 배근상태 및 피복두께 측정	
	탄산화 시험 용액 (1% 페놀프탈레인 용액)	탄산화 깊이 측정	
	도막두께 측정기 (Elcometer)	강재 도막 측정	
	초음파 탐상기 (D-20, USM 35)	강재 용접부 결함 조사	
접근장비	고소작업차	교각 및 바닥판 근접조사	
	교량점검차	교각 및 바닥판 근접조사	

1.6 과업수행 일정

본 교량의 정밀안전진단 과업수행 일정은 <표 1.6>과 같다.

<표 1.6> 과업수행 일정

공 종	3월		4월			5월			6월			비 고
	21	31	10	20	30	10	20	31	10	20	30	
1. 사전조사 · 착수 및 예비답사 · 관계도서 수집, 분석 · 안전점검, 보수이력 수집 및 검토 · 현장조사 계획수립	■	■	■									-03.11 착수
2. 현장조사 · 외관조사 · 내구성 조사 · 조사결과 정리 · 조사결과 분석				■	■	■	■					-현장조사 (4/11～4/22) -2차조사 (5/19)
3. 상태, 종합평가, 안전등급 지정					■	■	■	■				
4. 안전성평가 및 내진성능평가 · 안전성평가 · 내진성능평가					■	■	■	■				
5. 보수·보강 방안, 유지관리 방안 · 공법, 우선순위 및 시기 · 유지관리전략 제안					■	■	■	■				
6. 보고회 · 중간, 최종								■				
7. 보고서 작성 · 작성 및 보완 · 준공 · FMS입력					■	■	■	■	■	■	■	-06.09 준공예정

1.7 교량 기호의 정의

대상 교량의 정밀안전진단을 수행하면서 진단의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 <표 1.7>과 같이 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

<표 1.7> 교량 기호의 정의

구 분		사용기호	비 고
공통	경간	S	Span
	거더	G	Girder
	바닥판	SL	Slab
	받침장치	Sh	Shoe
	신축이음	EJ	Expansion Joint
상부 구조	좌측복부판	L-Web	Left-Web
	우측복부판	R-Web	Right-Web
	상부플랜지	U-Flan	Upper-Flange
	하부플랜지	L-Flan	Lower-Flange
	격벽	D	Diaphragm
	수직보강재	V-Stif	Vertical-Stiffener
	수평보강재	H-Stif	Horizontal-Stiffener
	가로보	CB	Cross Beam
	거더이음부	Sp	Splice
하부 구조	교대	A	Abutment
	교각	P	Pier

- 일련번호 (n)
  - 시점(고령)방향에서 종점(진주)방향으로 일련번호를 정한다.
- 교량받침장치 및 거더의 표시는 시점에서 종점을 바라볼 때 중앙분리대에서 외측 방향으로 번호를 부여함.
- 신축이음장치(Expansion Joint)는 하부구조 ID를 첨부시켜 지정한다.
  예) EJ1(A1)

제2장 자료수집 및 분석

2.1 자료조사

2.2 설계도면 및 구조계산서 검토

2.3 기존 점검 및 진단자료 분석

2.4 보수·보강 이력

2.5 시설물의 내진설계 여부 확인

2.6 기타 관련 자료

2.7 자료분석 결과요약

제2장 자료수집 및 분석

2.1 자료조사

정밀안전진단을 실시함에 있어 해당 구조물의 설계도서, 시공과정, 시공당시의 상황 및 보수·보강 이력 등을 검토하는 것은 현재 결함의 원인과 같은 구조물의 상태를 추정하는데 매우 중요하다. 따라서 관리주체로부터 본 과업과 관련된 자료를 입수하여 정리하였으며 그 목록은 <표 2.1>과 같다.

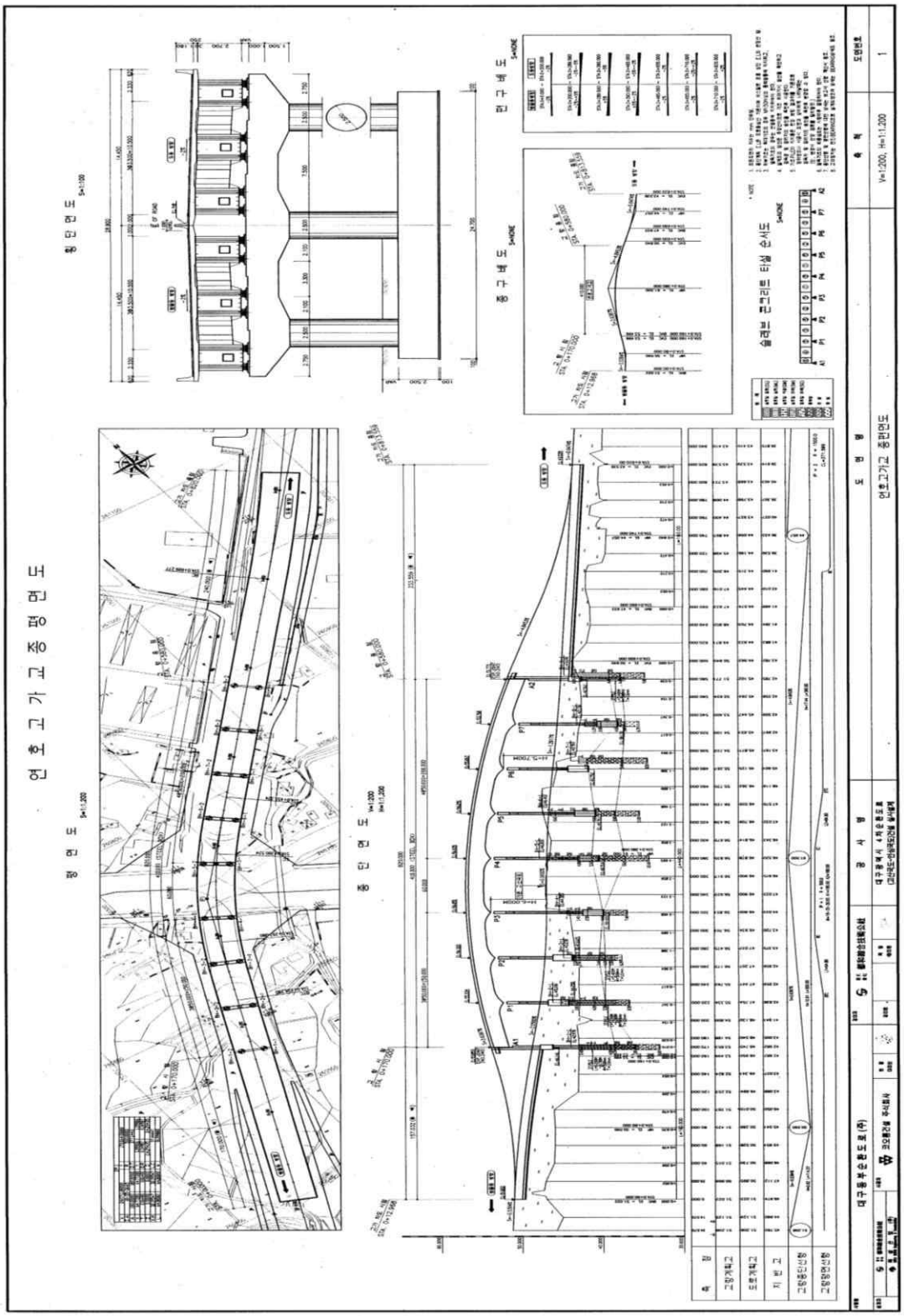
<표 2.1> 자료조사 목록

보존대상 목록		보유 현황	비 고
설계 도서	◇ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	일부	◇ 대구광역시 4차 순환도로(고산국도~안심국도)건설 실시설계 - 구조 및 수리계산서 - 구조물도 등
	◇ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상·하부 구조물도, 거더, 신축이음, 받침장치 상세도	○	
시설물 관리대장	◇ 기본현황 ◇ 상세제원 ◇ 유지관리 이력	○	◇ 시설물관리대장 ◇ FMS
시공 관련 자료	◇ 시공관련 자료 ◇ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리·선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 주요 구조부위에 대한 계측 관련자료 ◇ 사고기록	미보유	-
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	◇ 2003년~2021년 정밀안전점검 및 정밀안전진단 자료 등
보수·보강 자료		○	◇ FMS

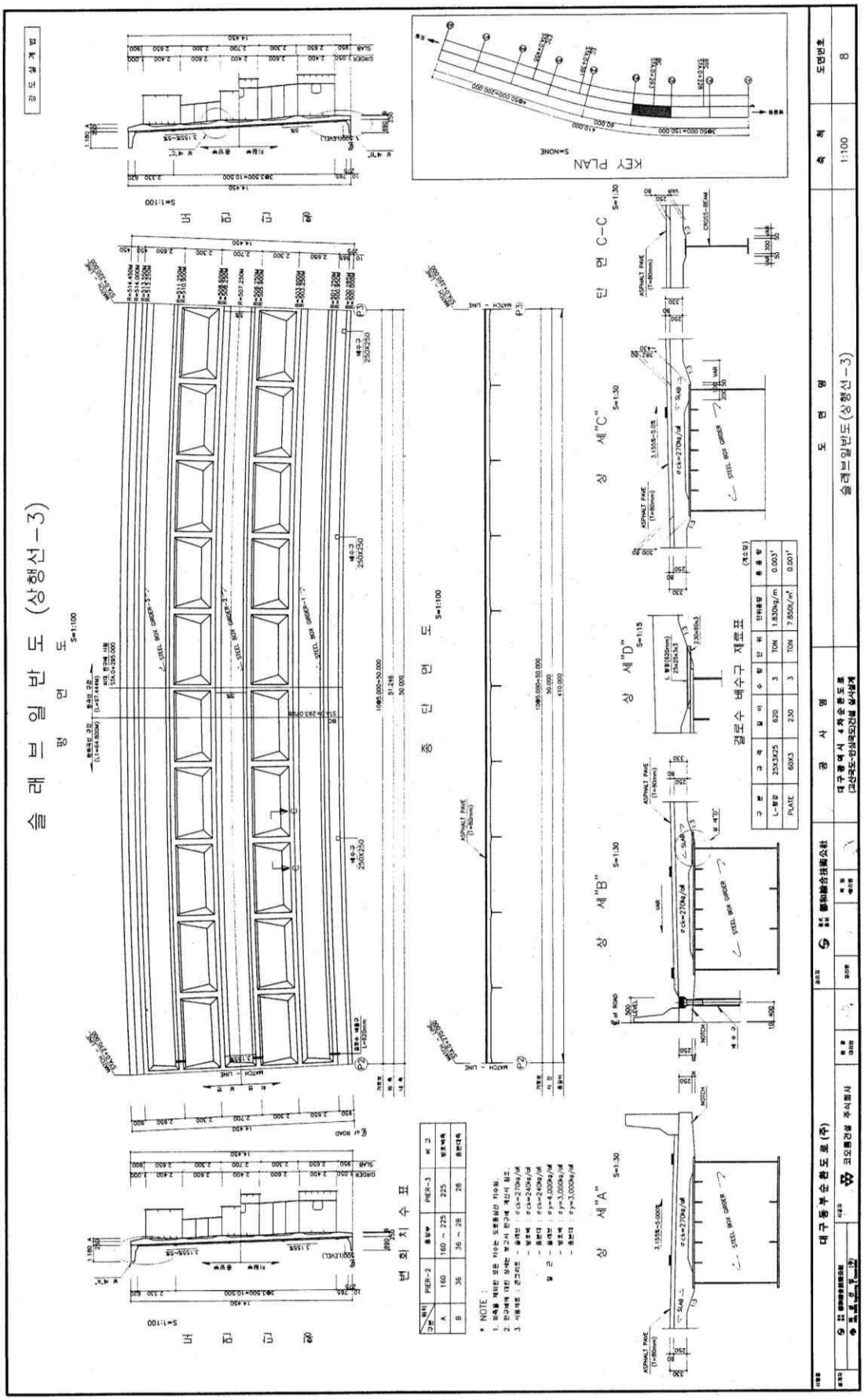
2.2 설계도면 및 구조계산서 검토

대상 교량의 준공도면과 구조계산서를 확인한 결과는 다음과 같다.

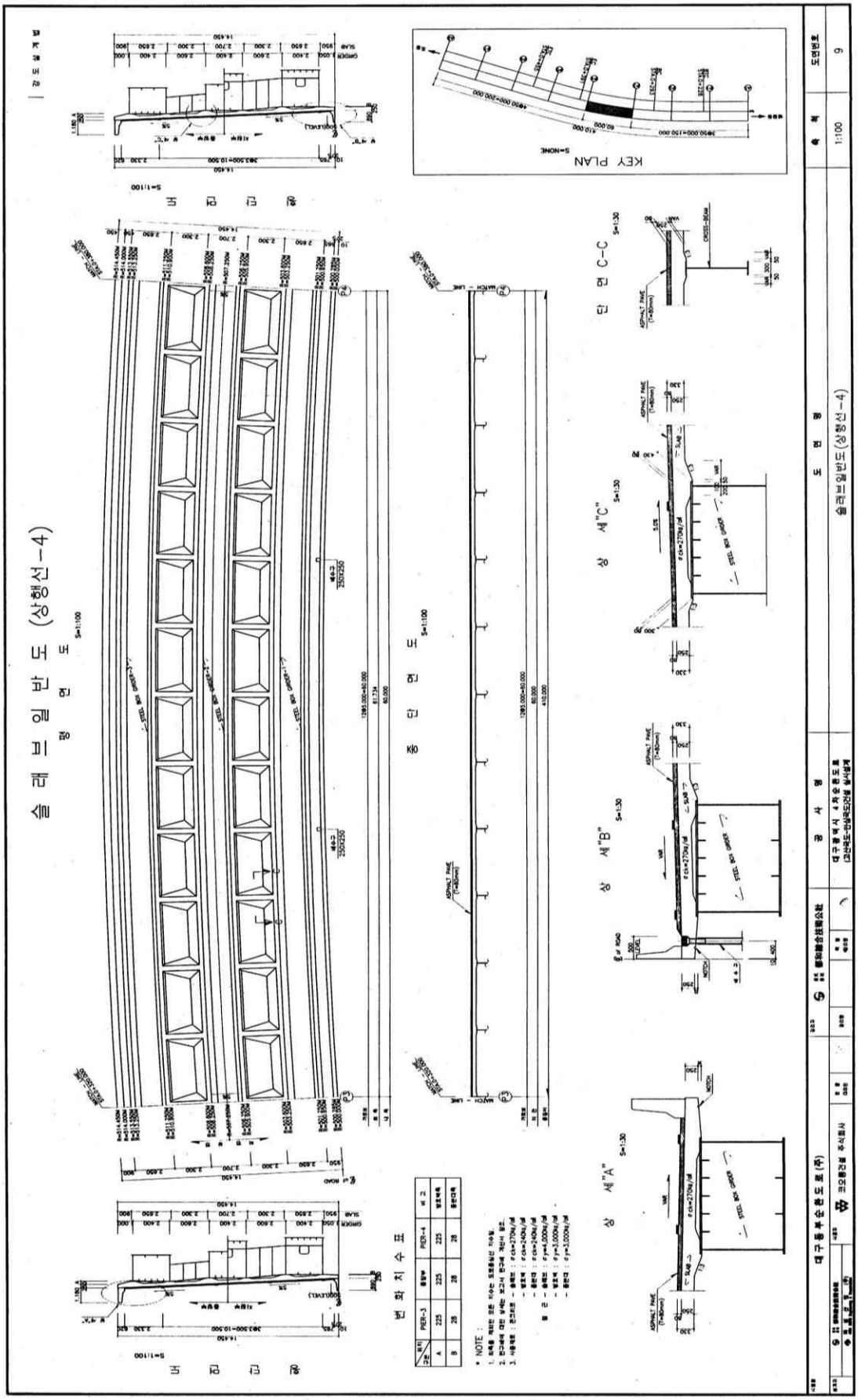
2.2.1 주요 설계도면



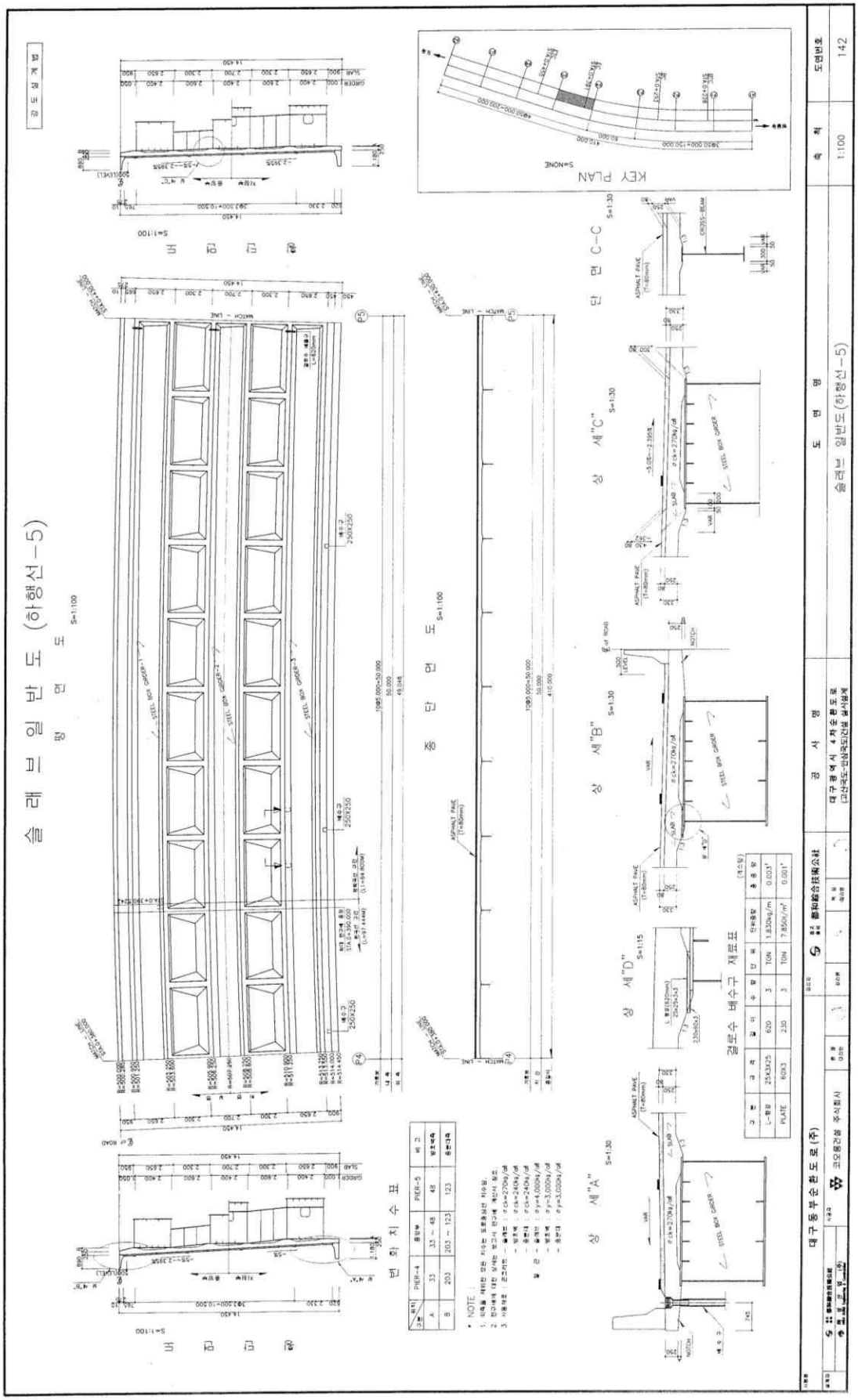
<그림 2.1> 종 · 평면도



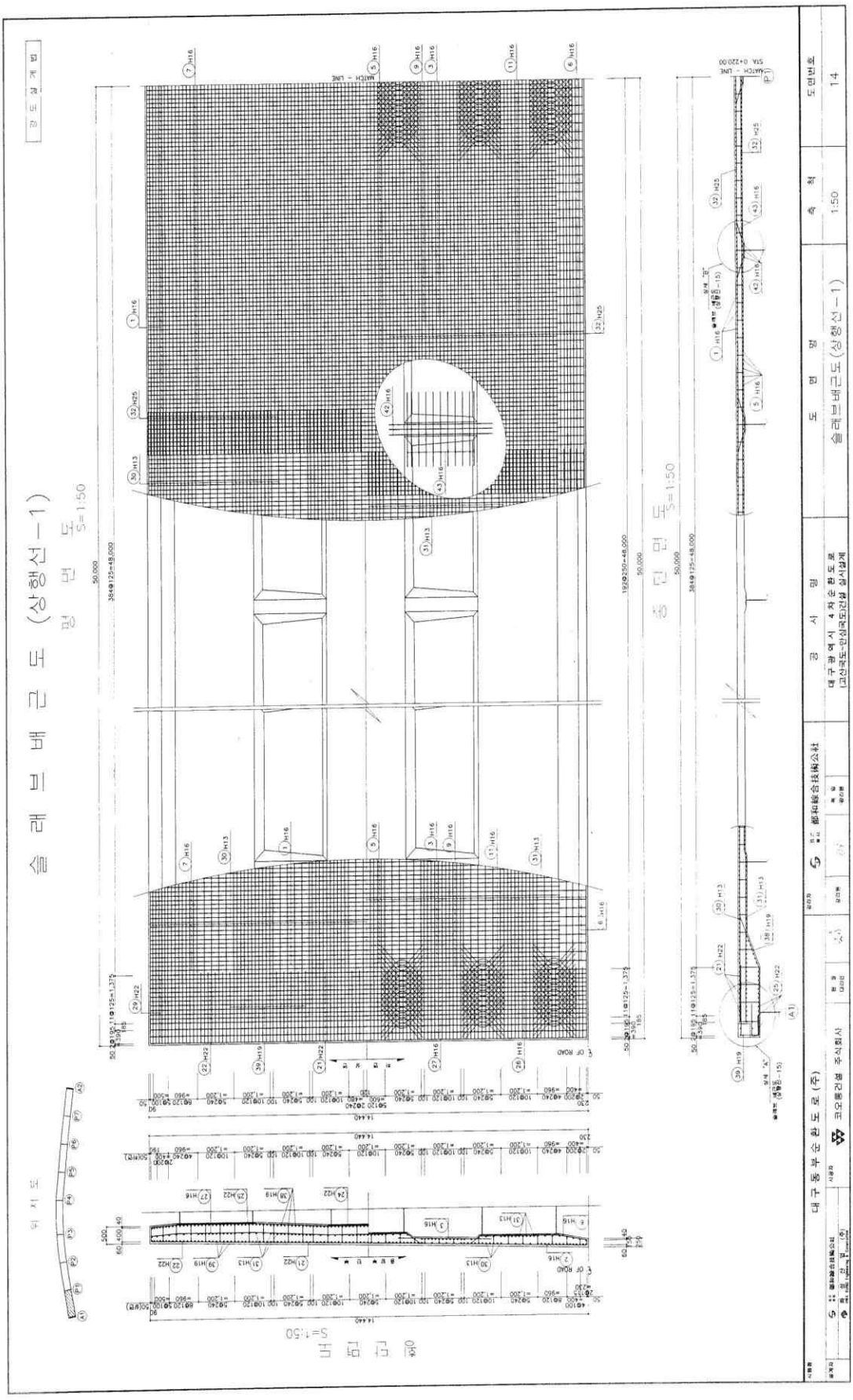
<그림 2.2> 슬래브 일반도(1)



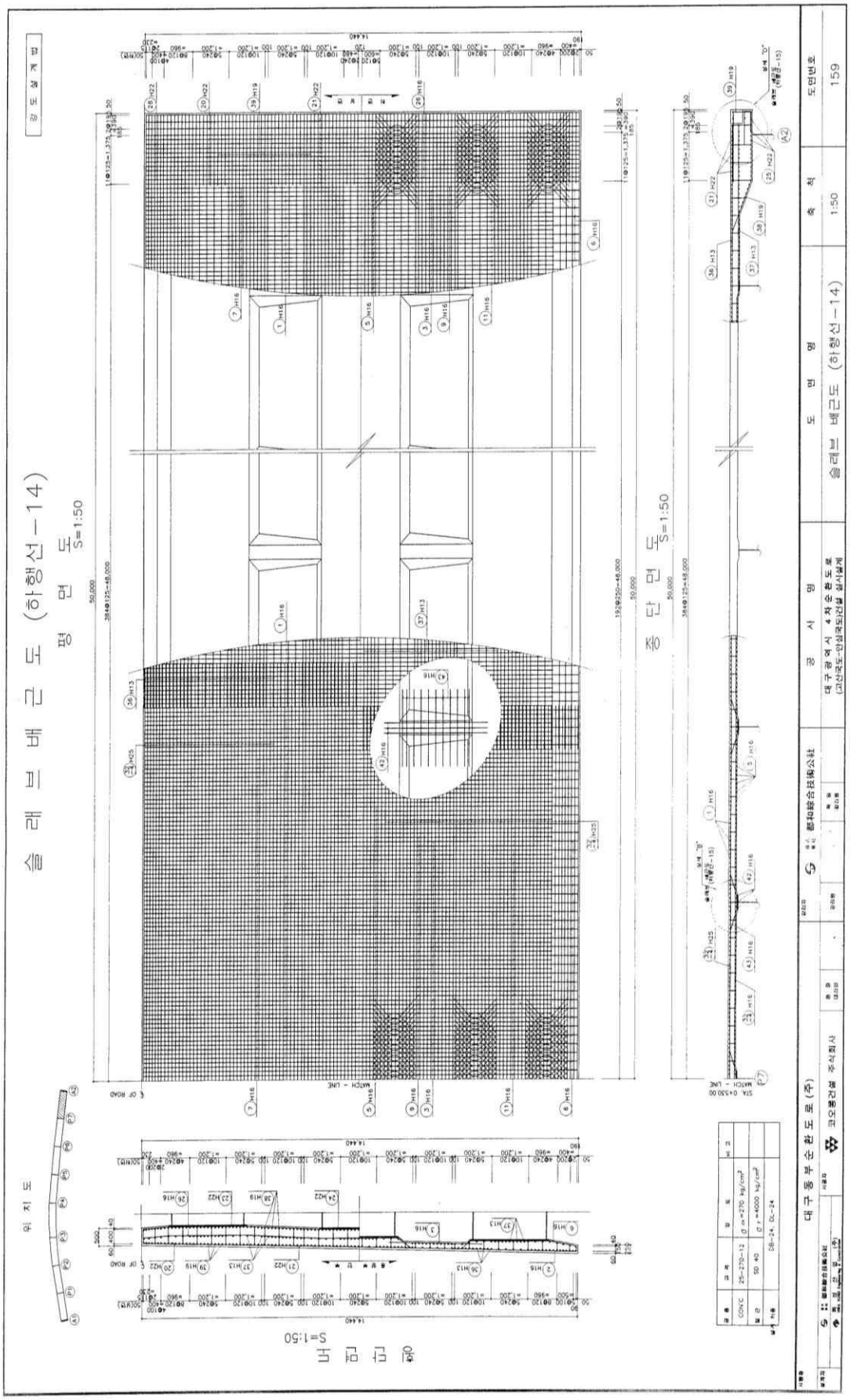
<그림 2.3> 슬래브 일반도(2)



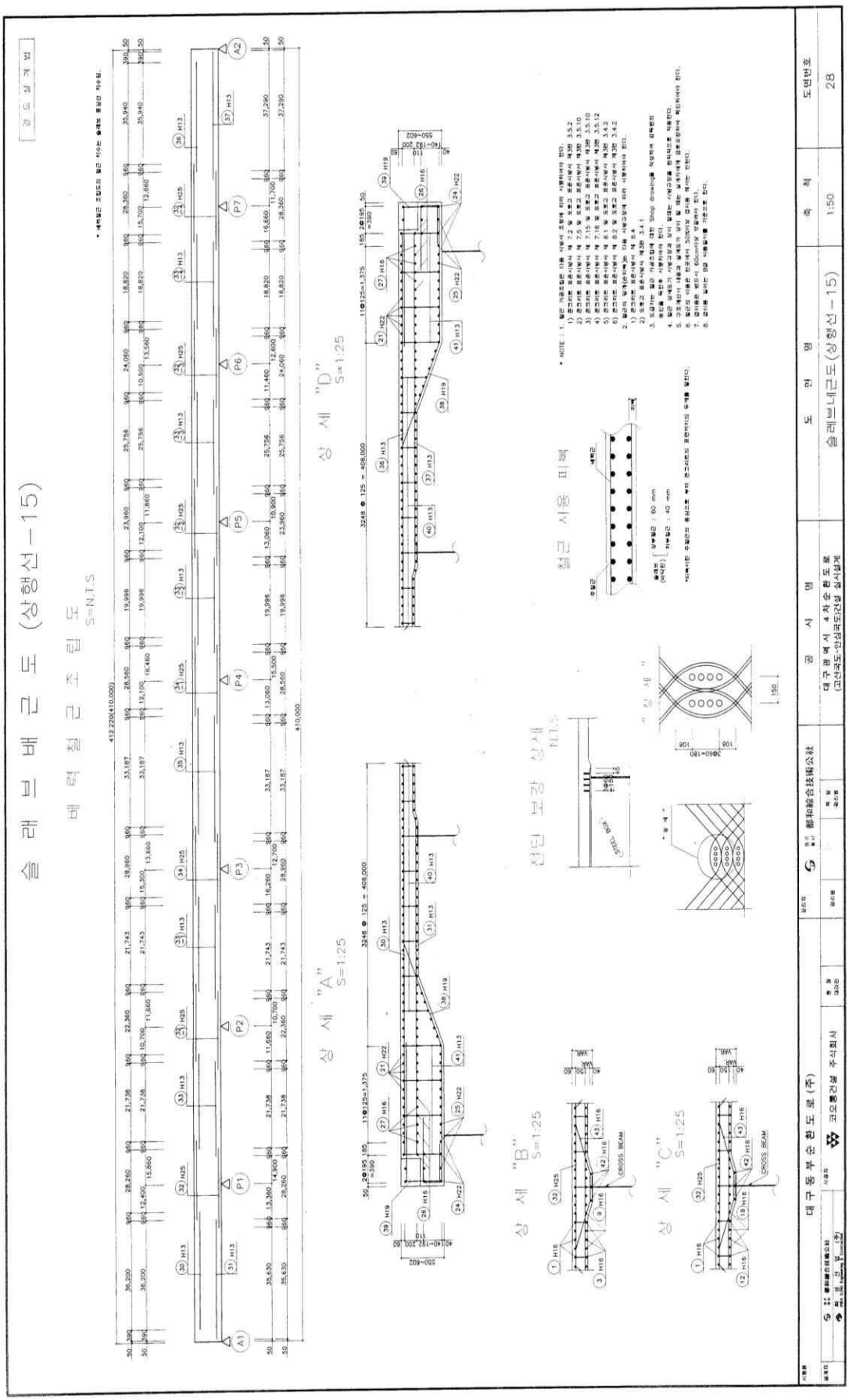
<그림 2.4> 슬래브 일반도(3)



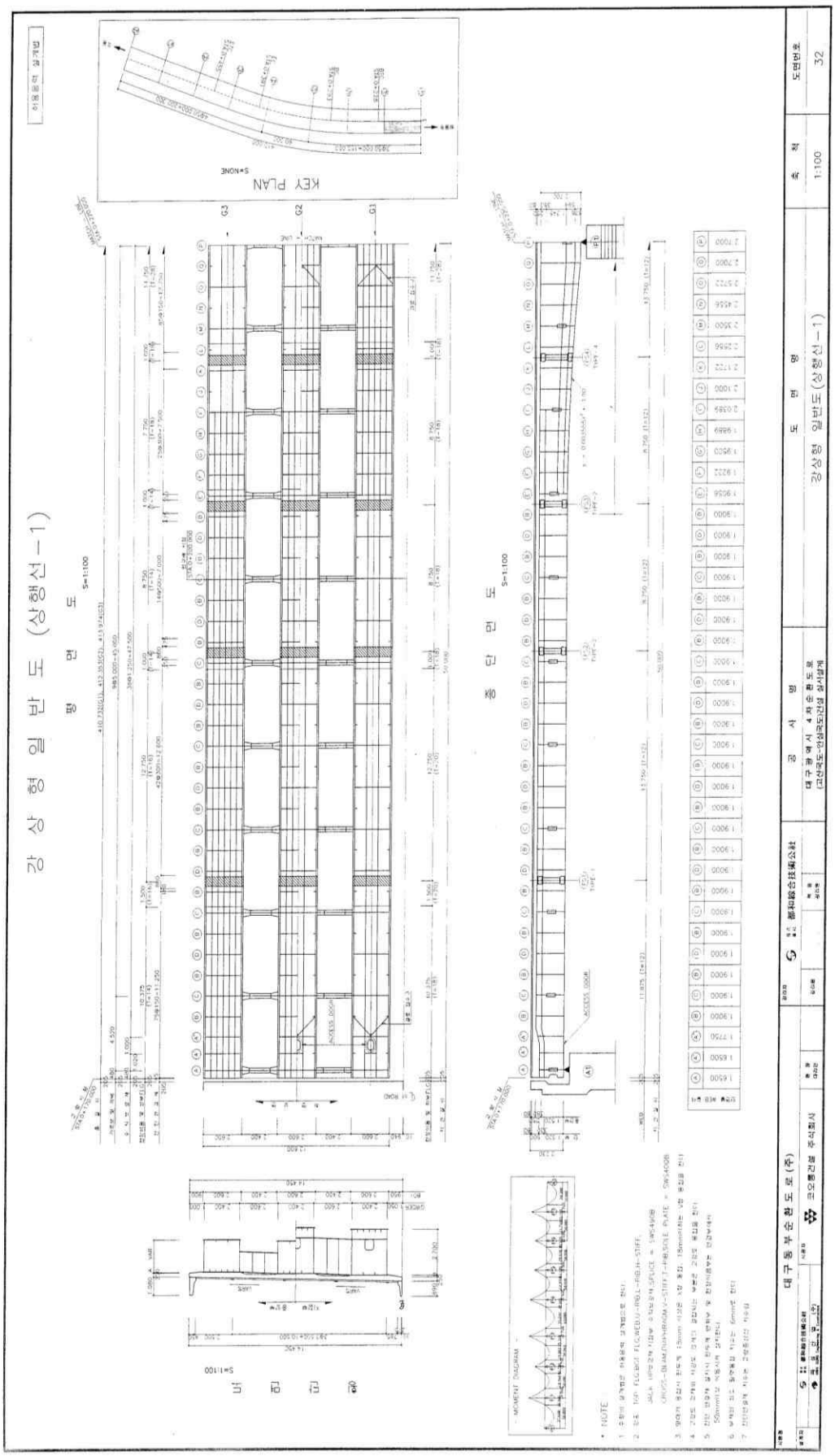
<그림 2.5> 슬래브 배근도(1)



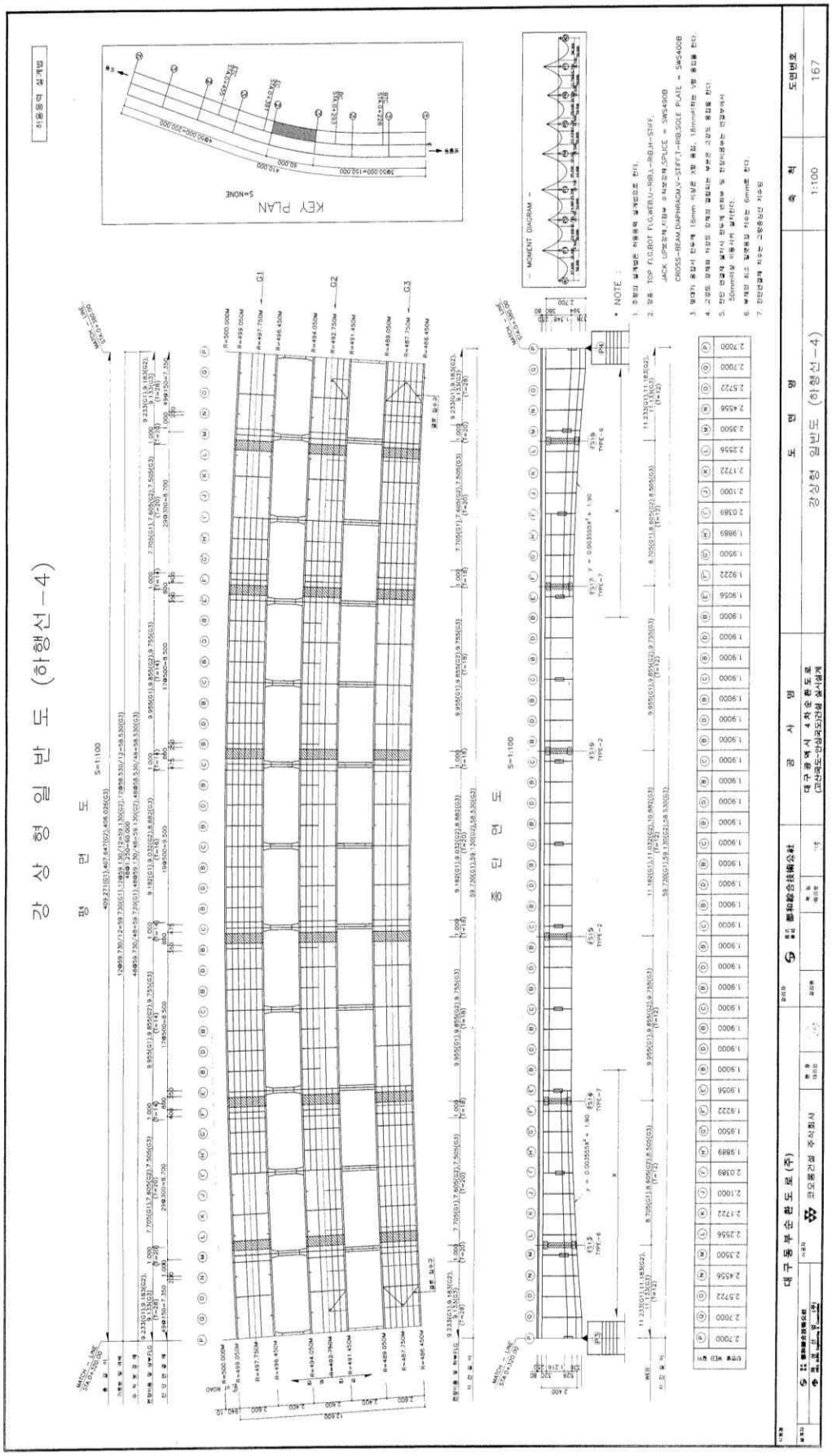
<그림 2.6> 슬래브 배근도(2)



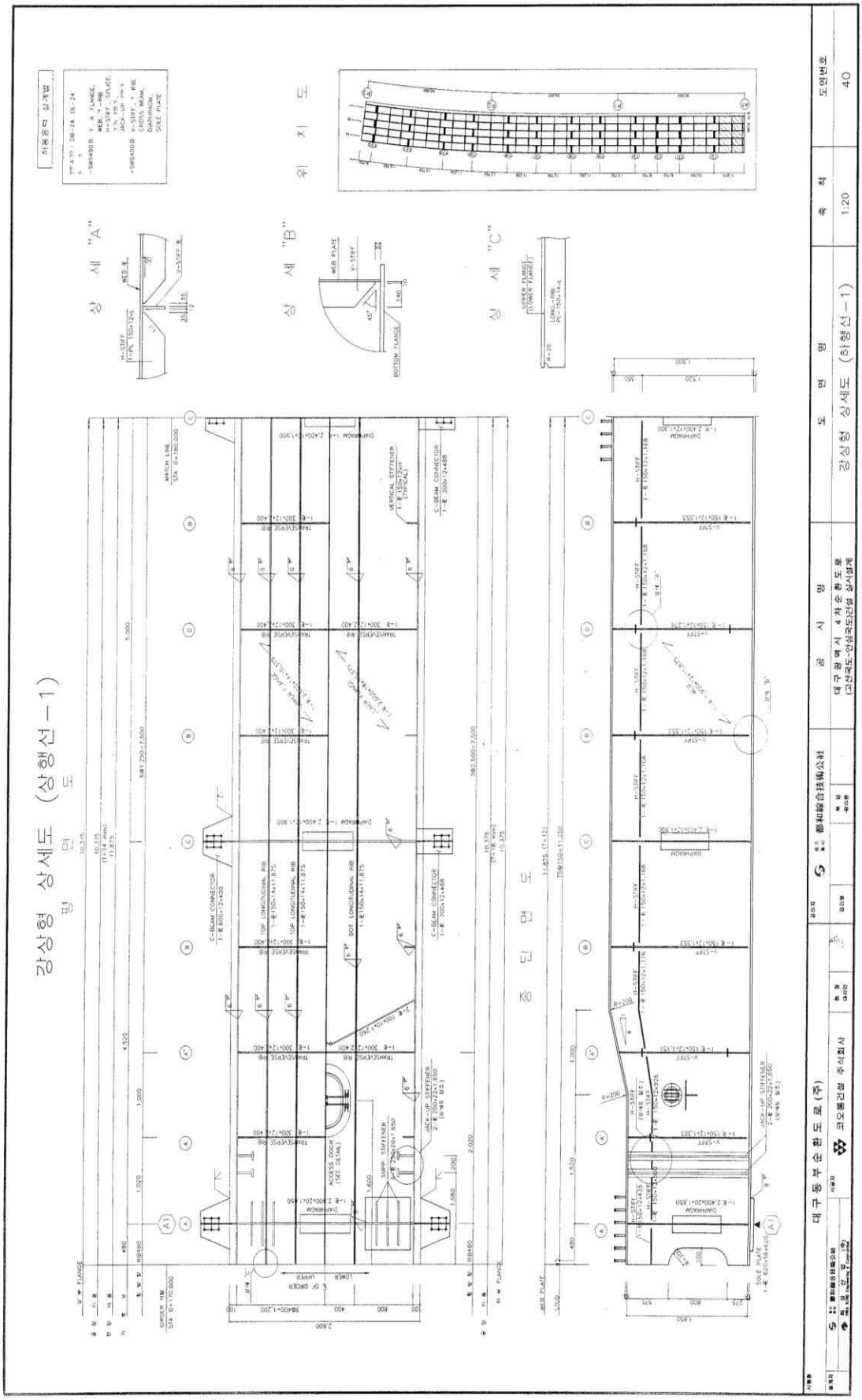
<그림 2.7> 슬래브 배근도(3)



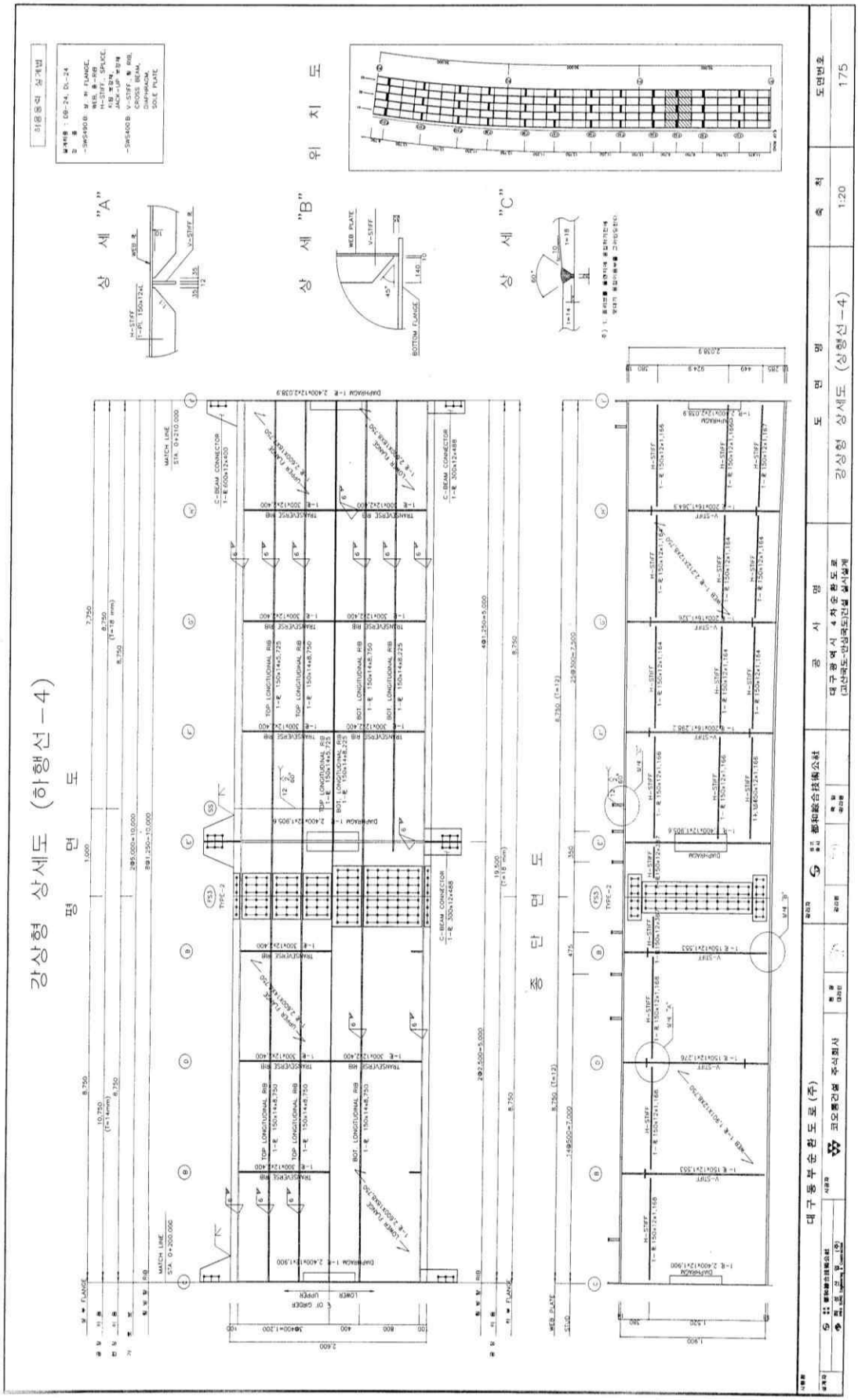
<그림 2.8> 강상형 일반도(1)



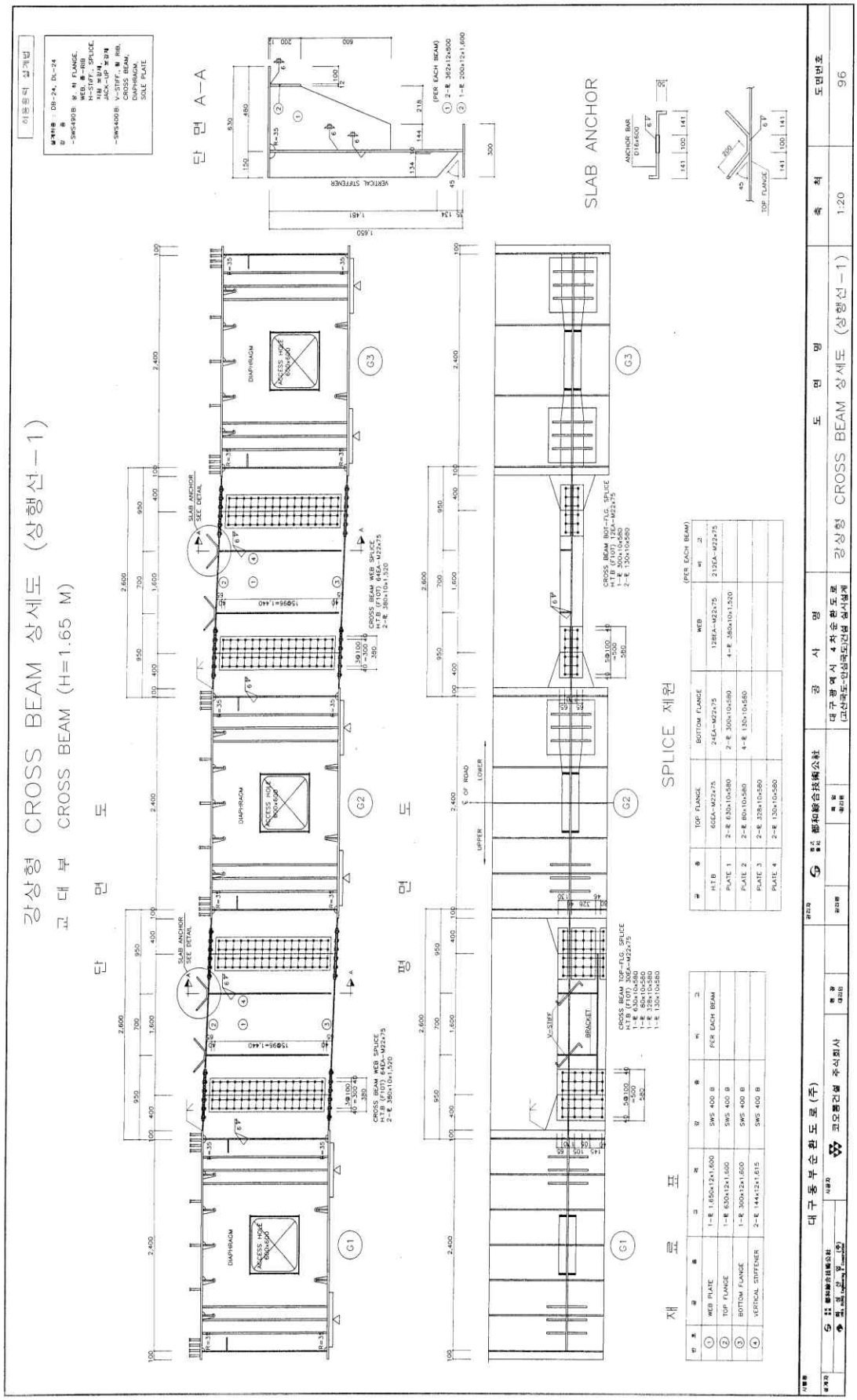
<그림 2.9> 강상형 일반도(2)



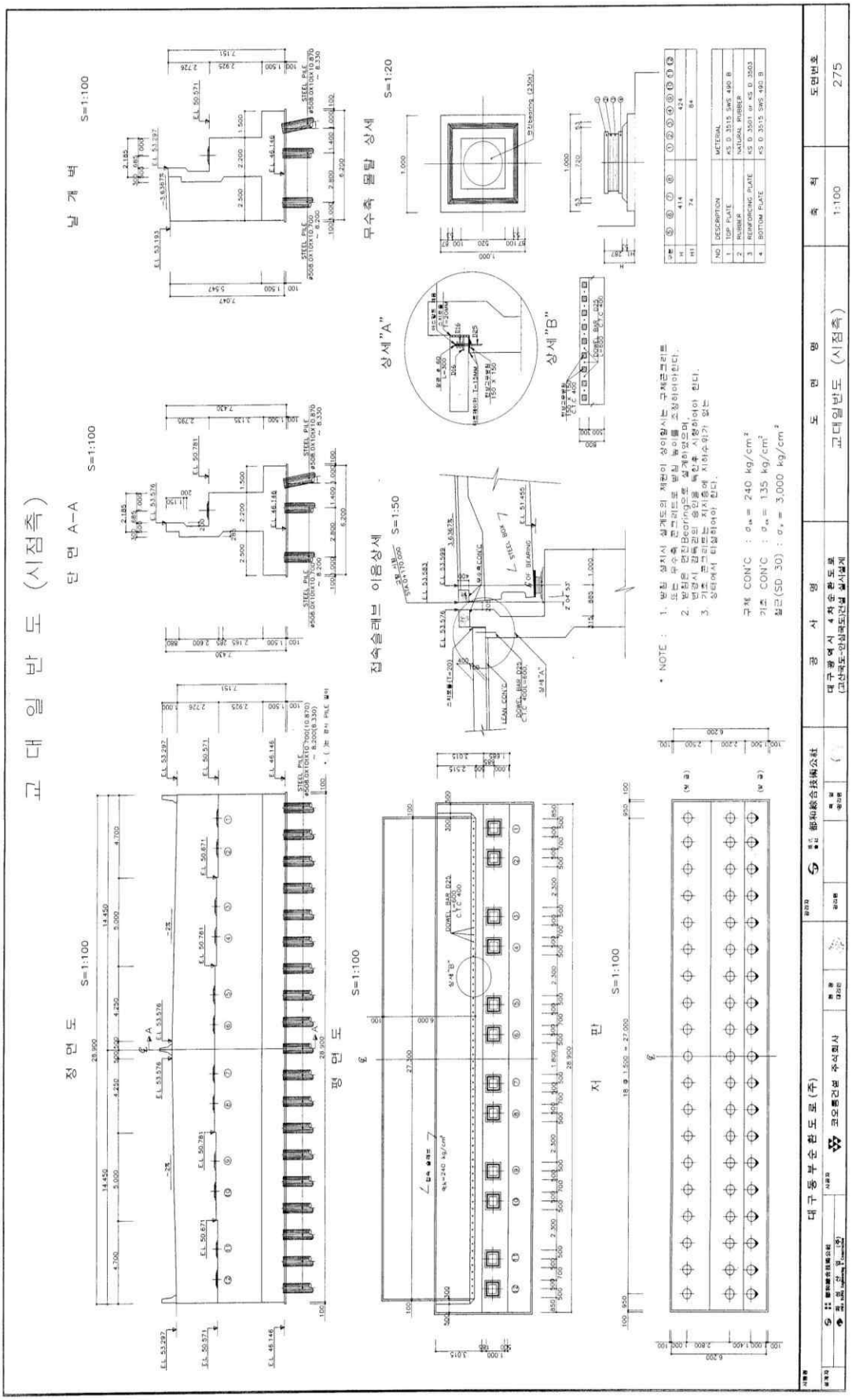
<그림 2.10> 강상형 상세도(1)



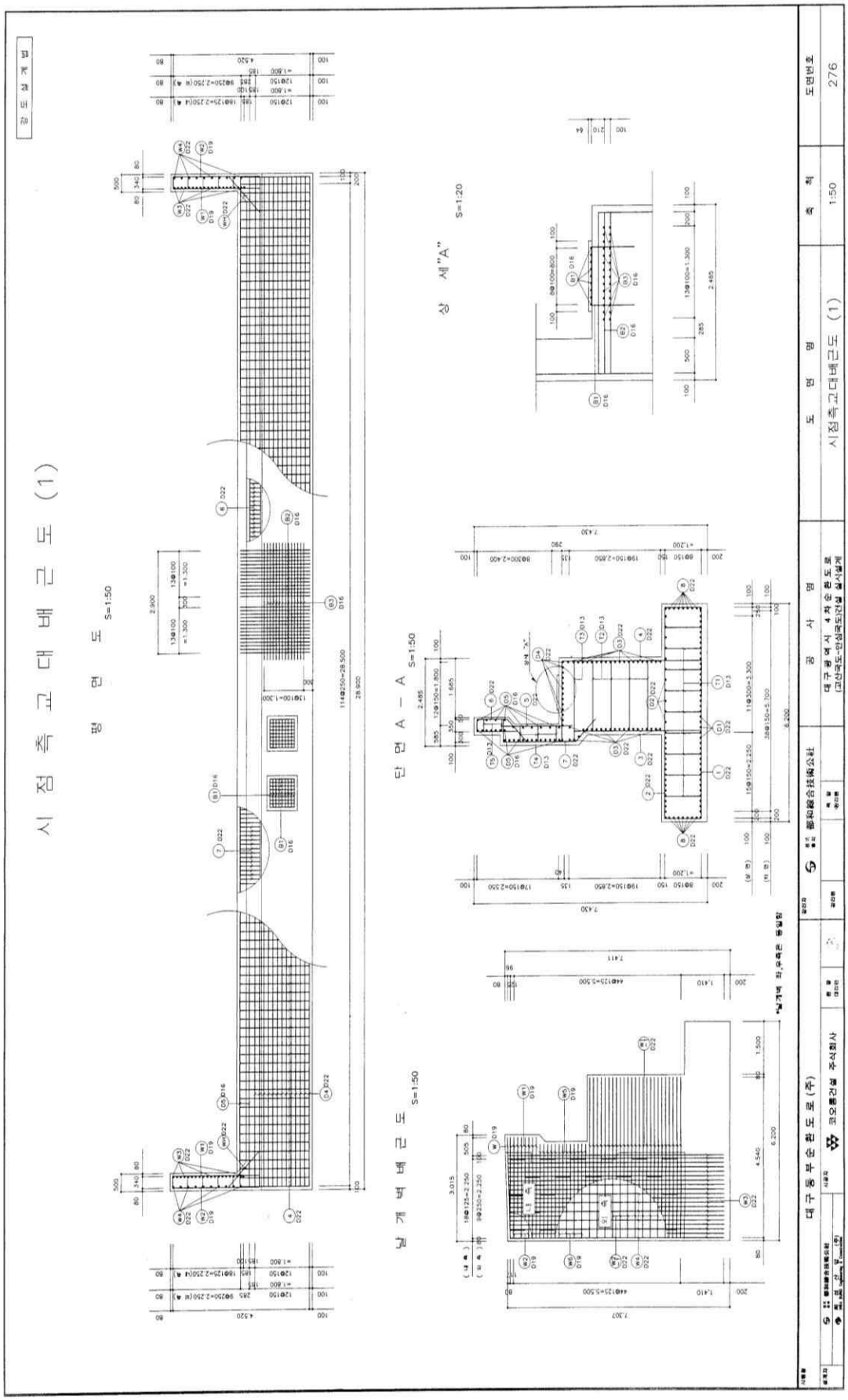
<그림 2.11> 강상형 상세도(2)



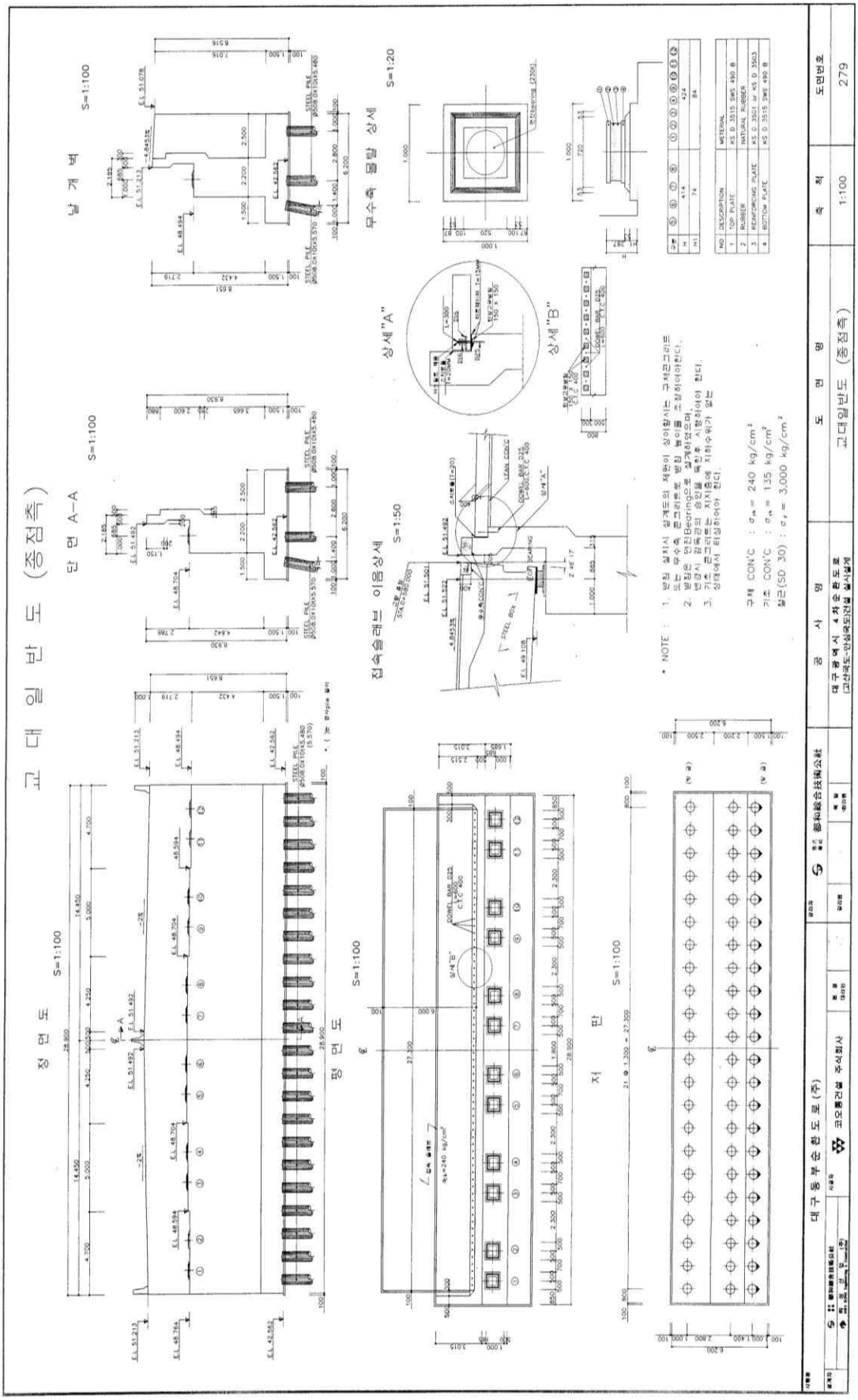
<그림 2.12> 강상형 CROSS BEAM 상세도



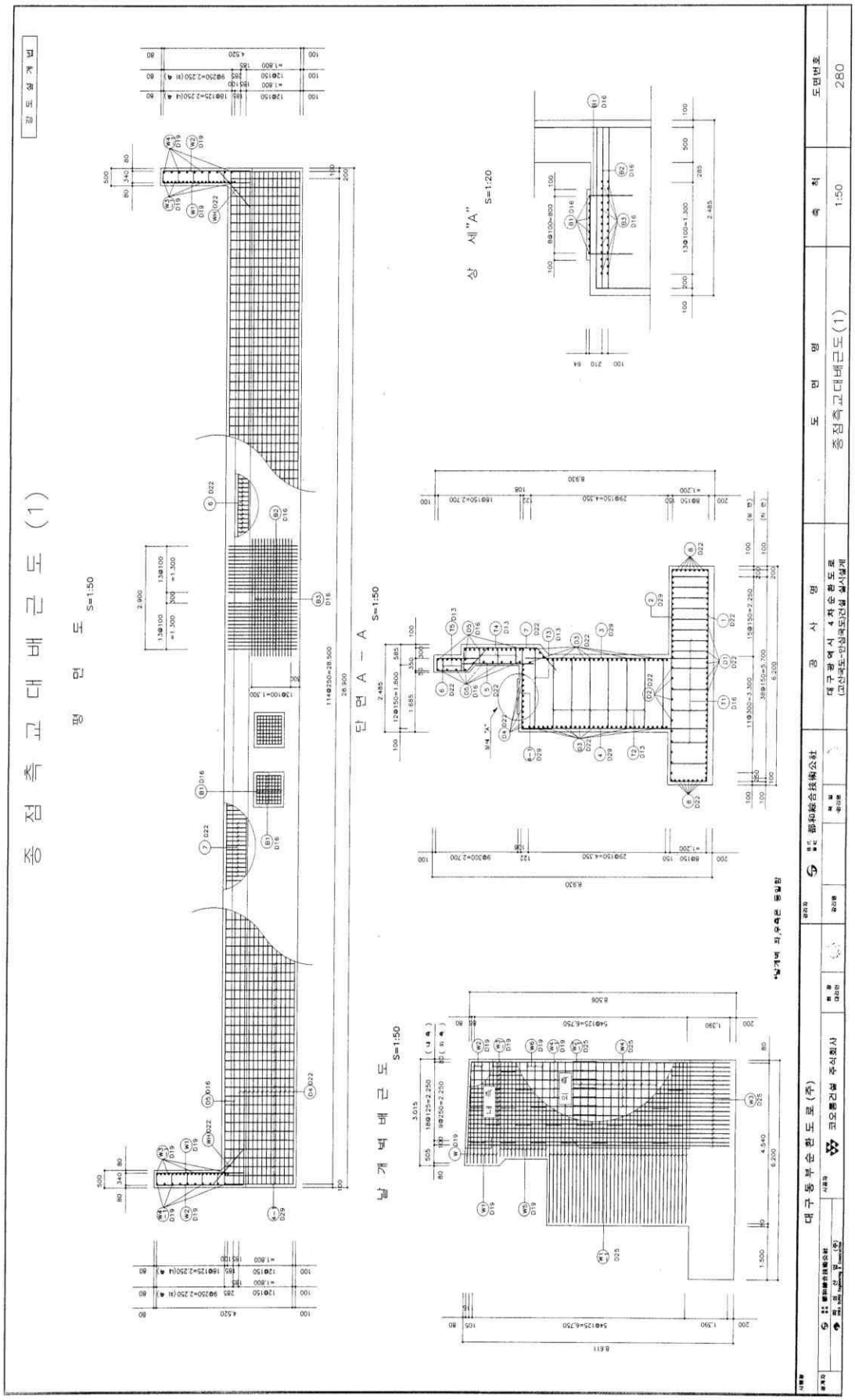
<그림 2.13> 시점부 교대 일반도



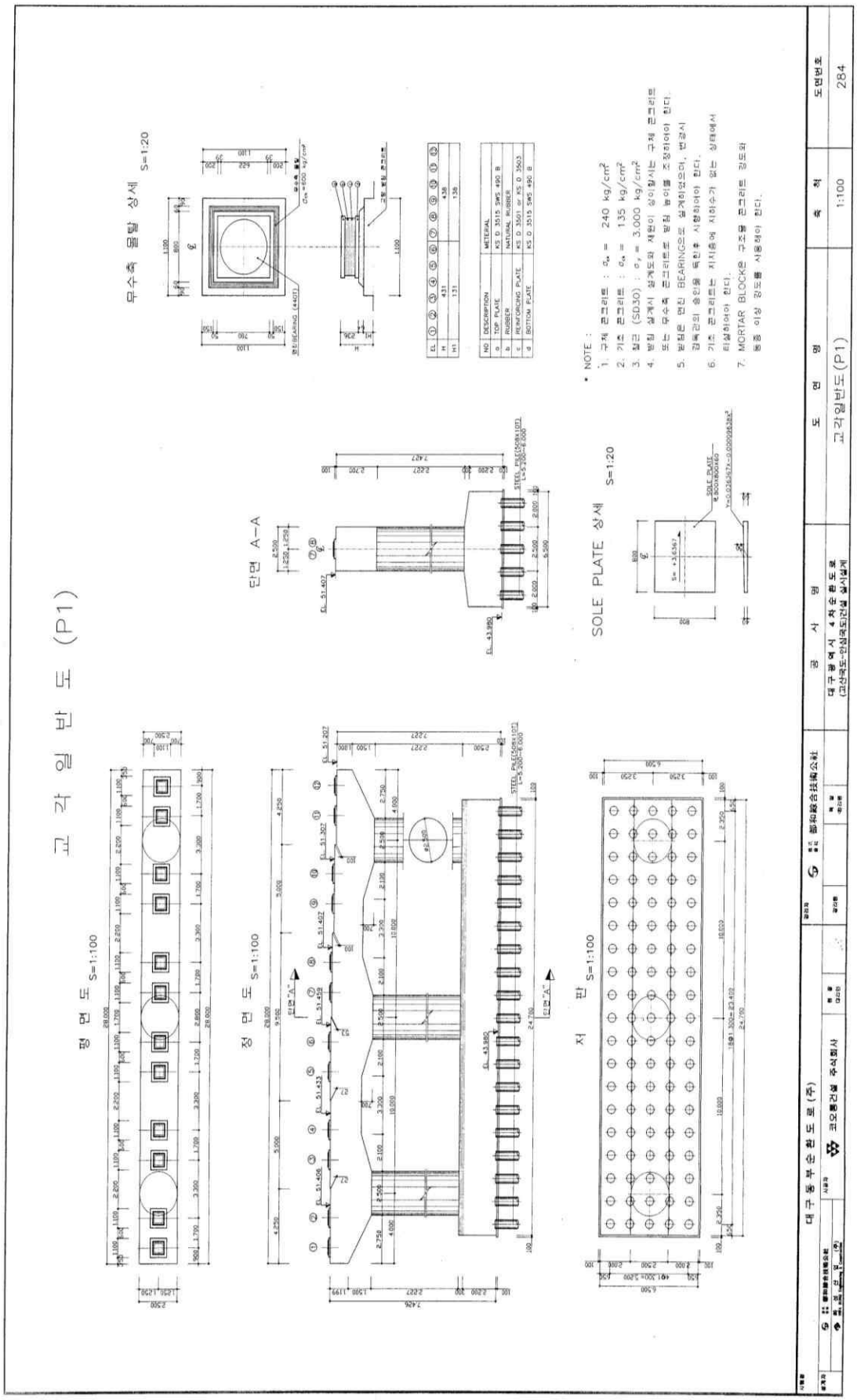
<그림 2.14> 시점부 교대 배근도



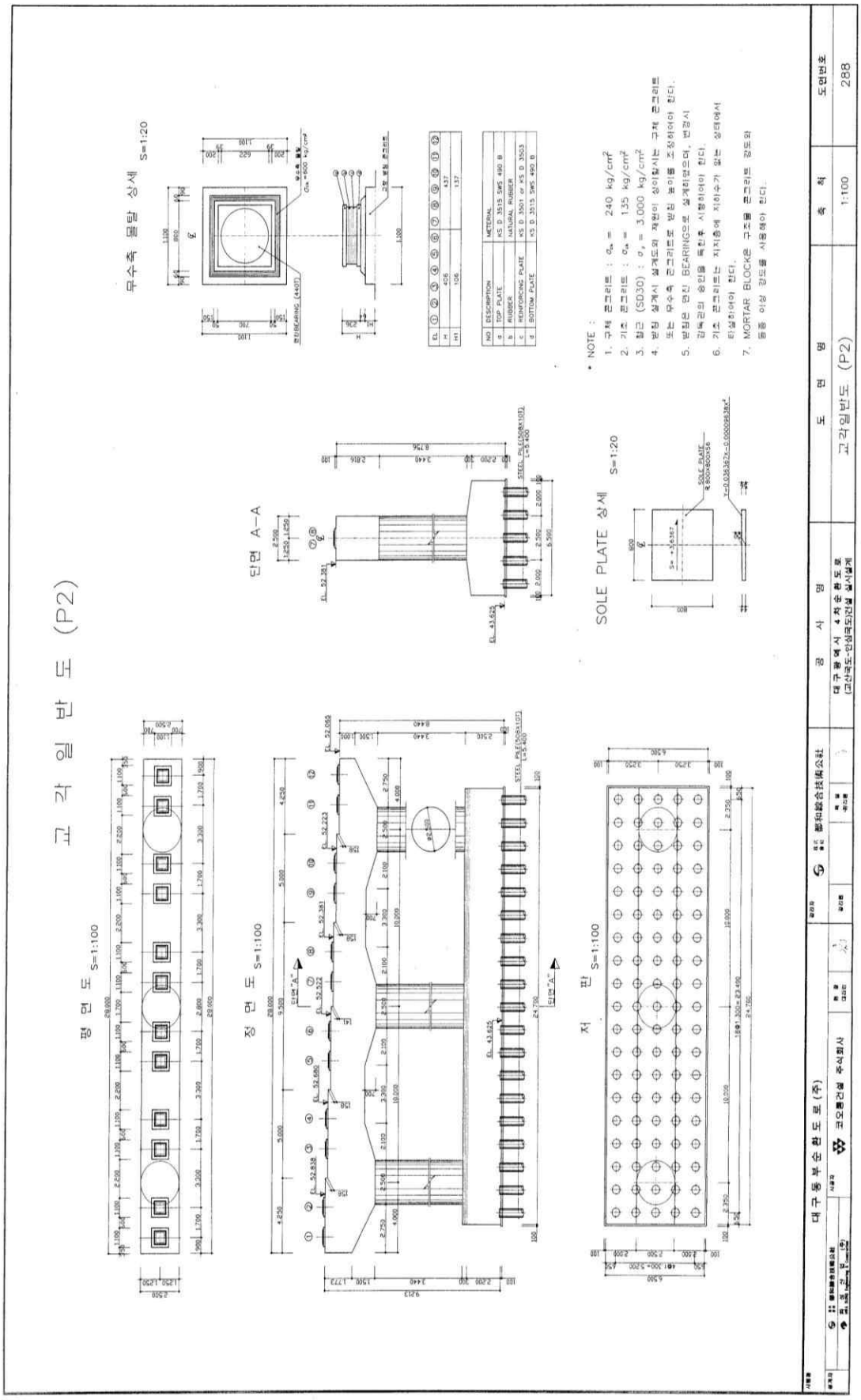
<그림 2.15> 종점부 교대 일반도



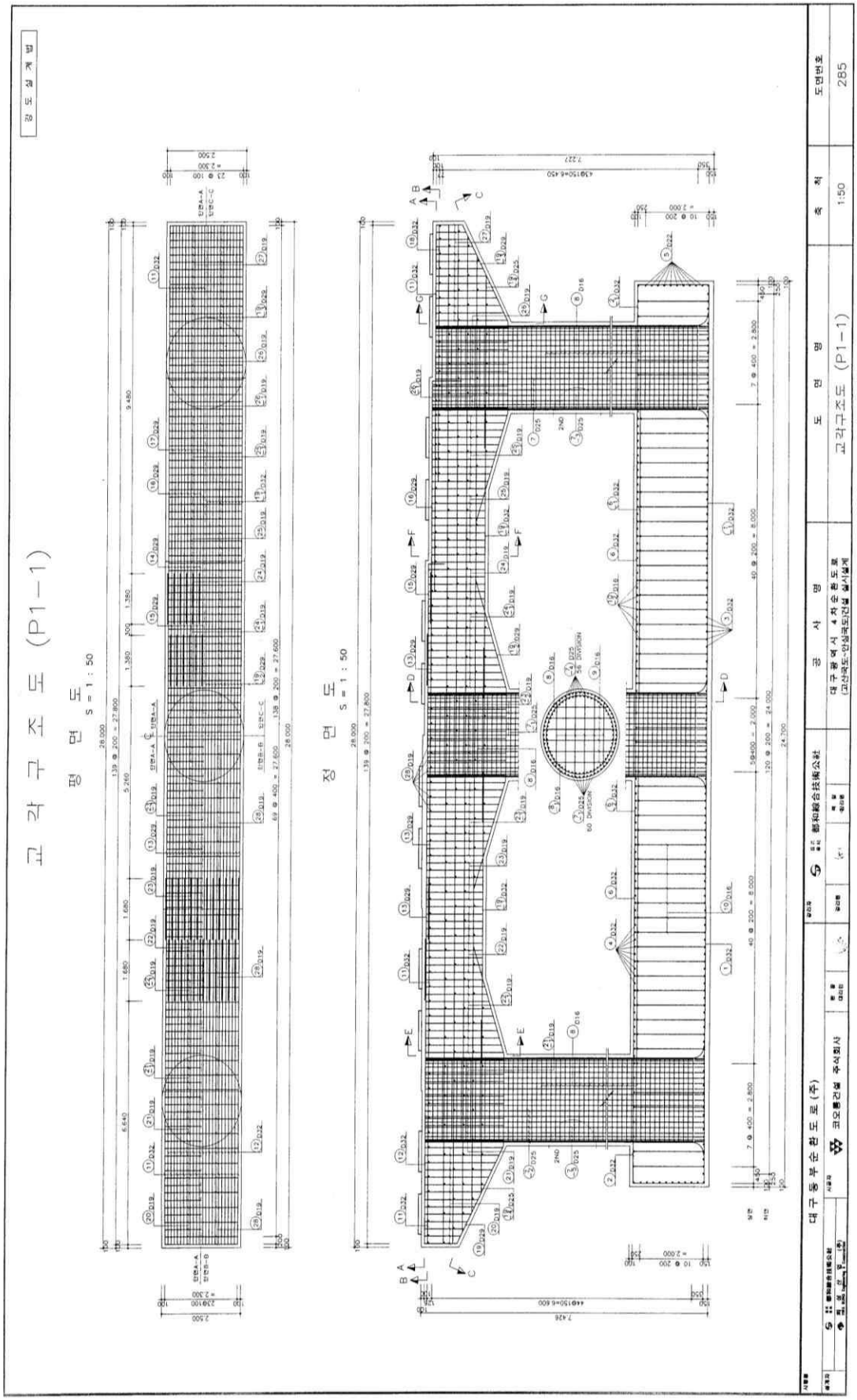
<그림 2.16> 중점부 교대 배근도



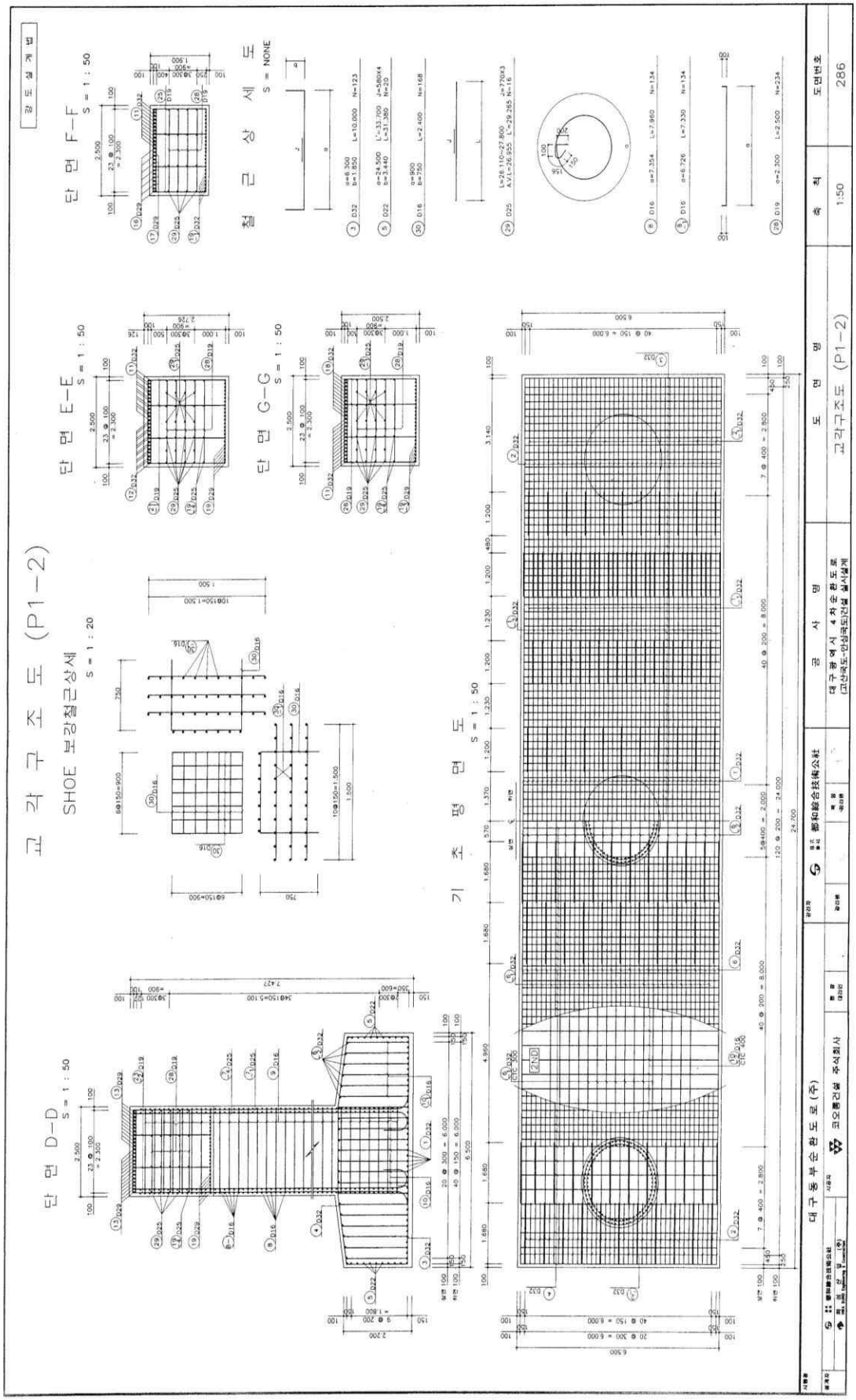
<그림 2.17> 교각 일반도(1)



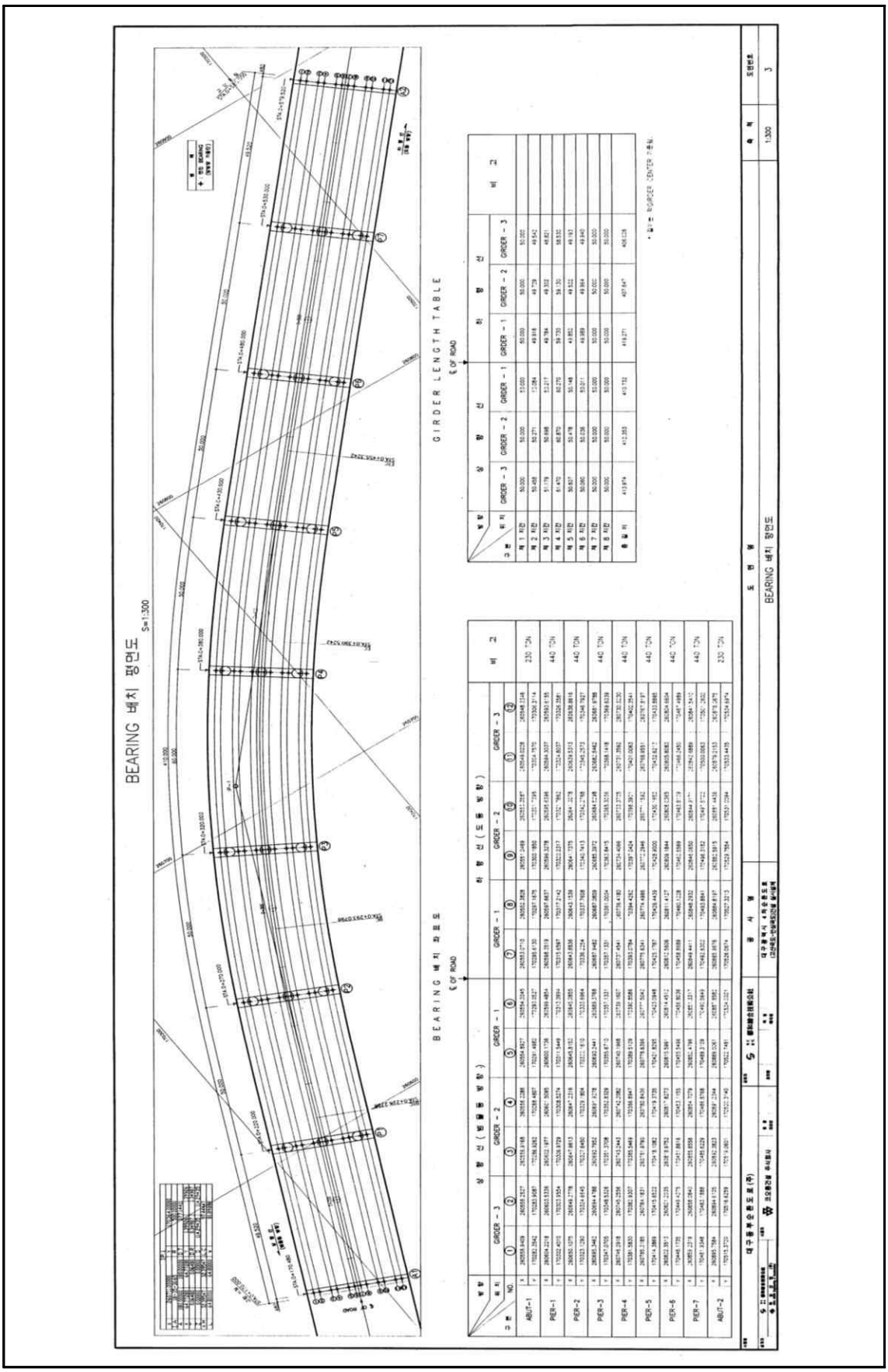
<그림 2.18> 교각 일반도(2)



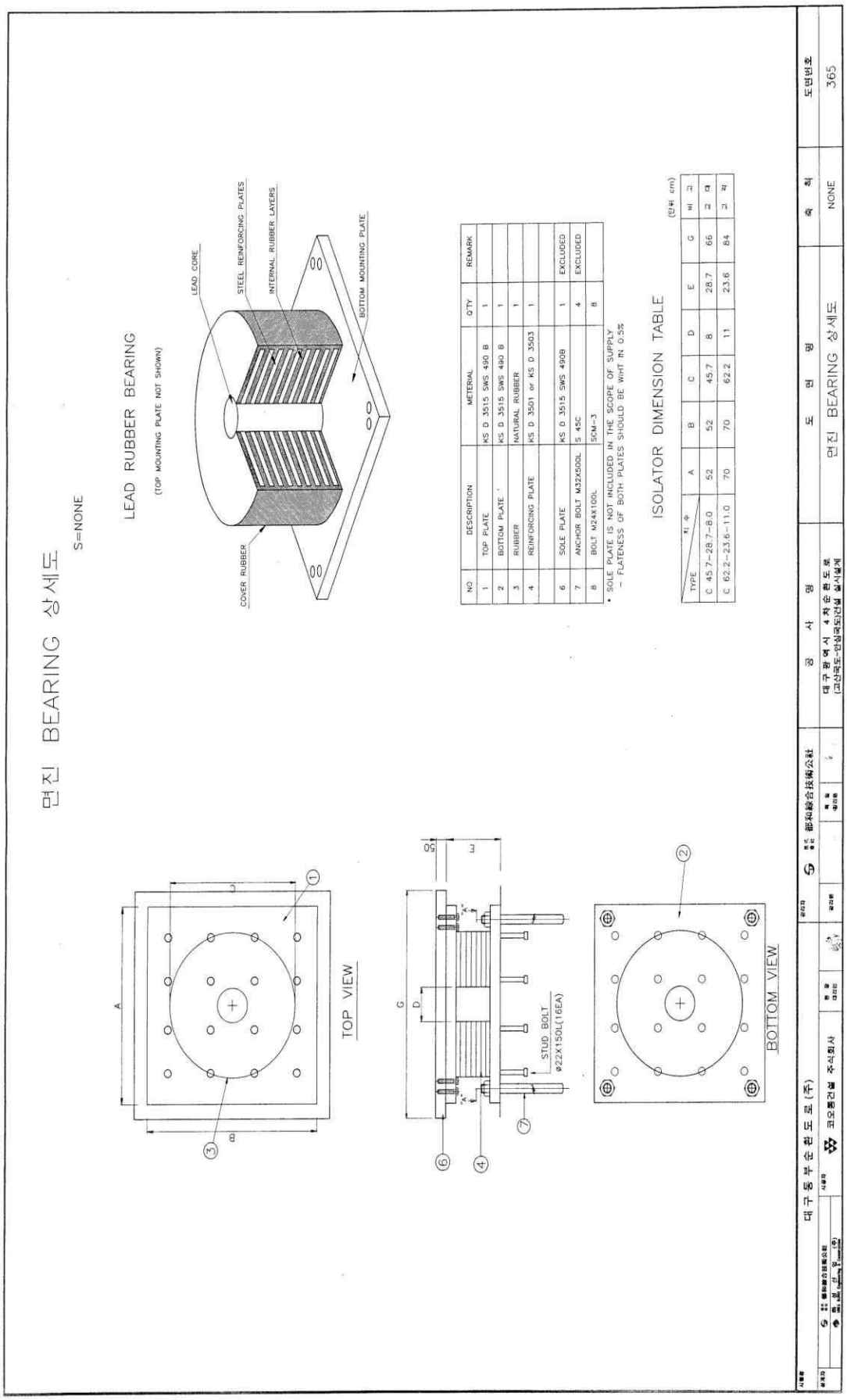
<그림 2.19> 교각 구조도(1)



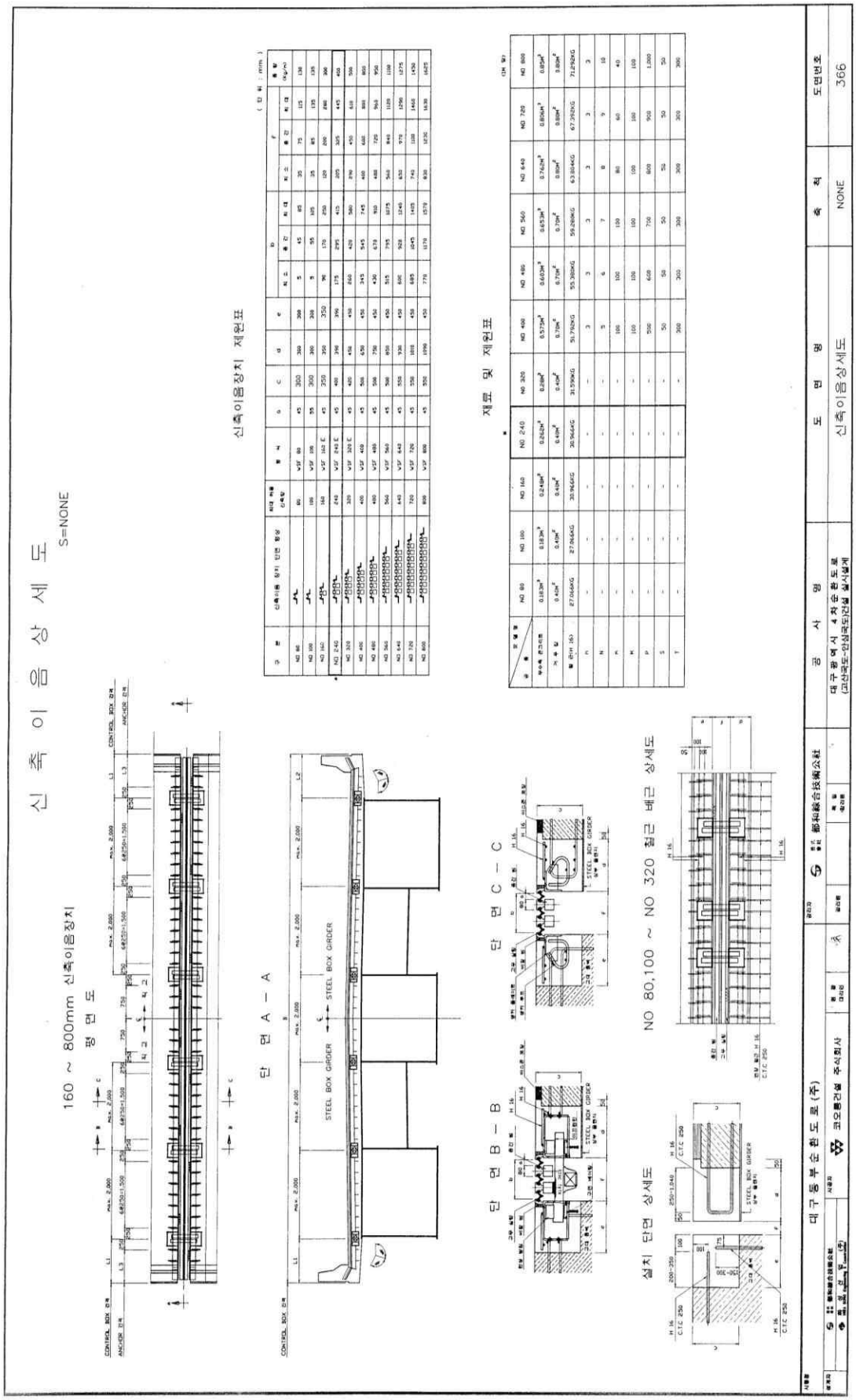
<그림 2.20> 교각 구조도(2)



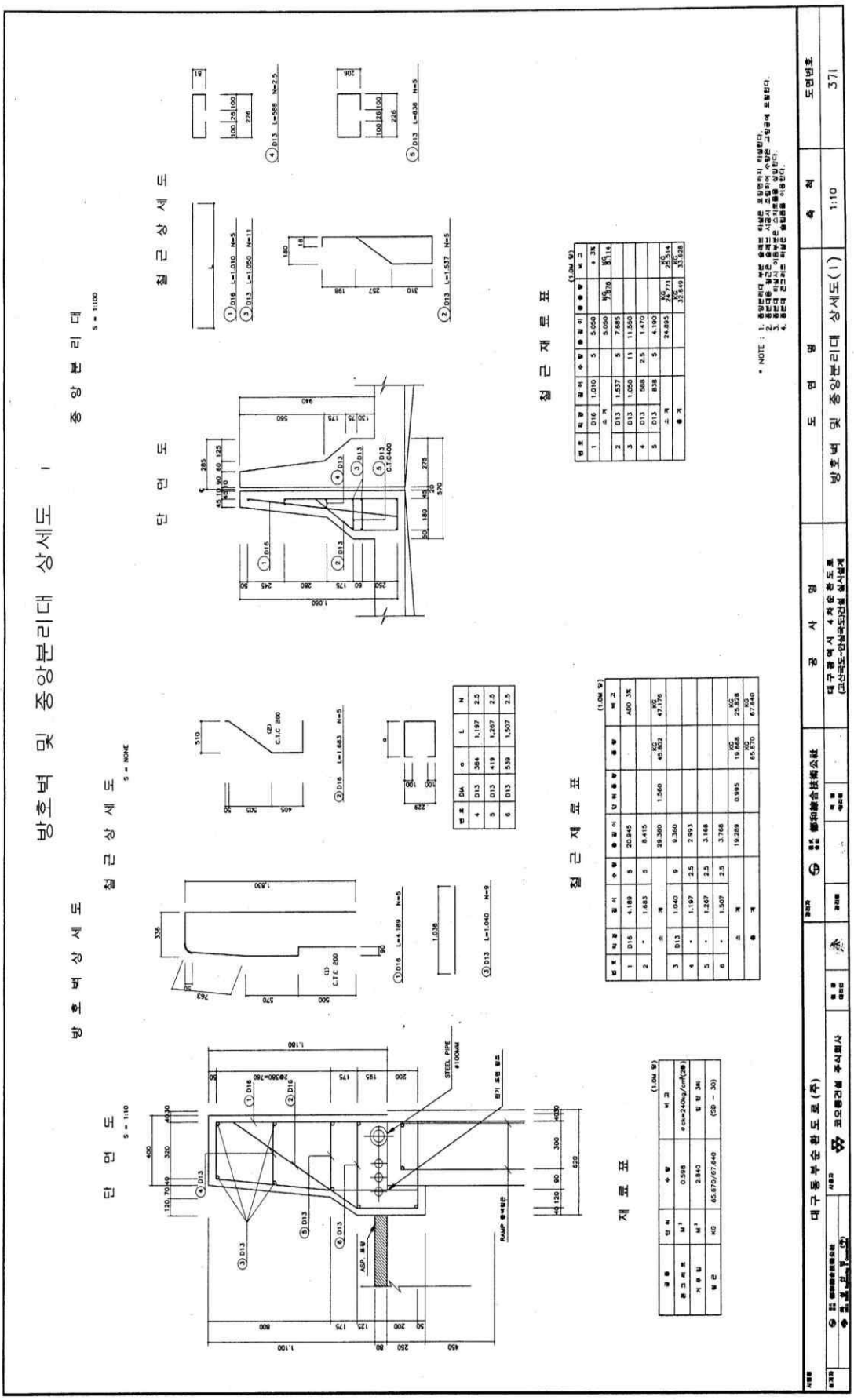
<그림 2.21> 교량받침 배치 평면도



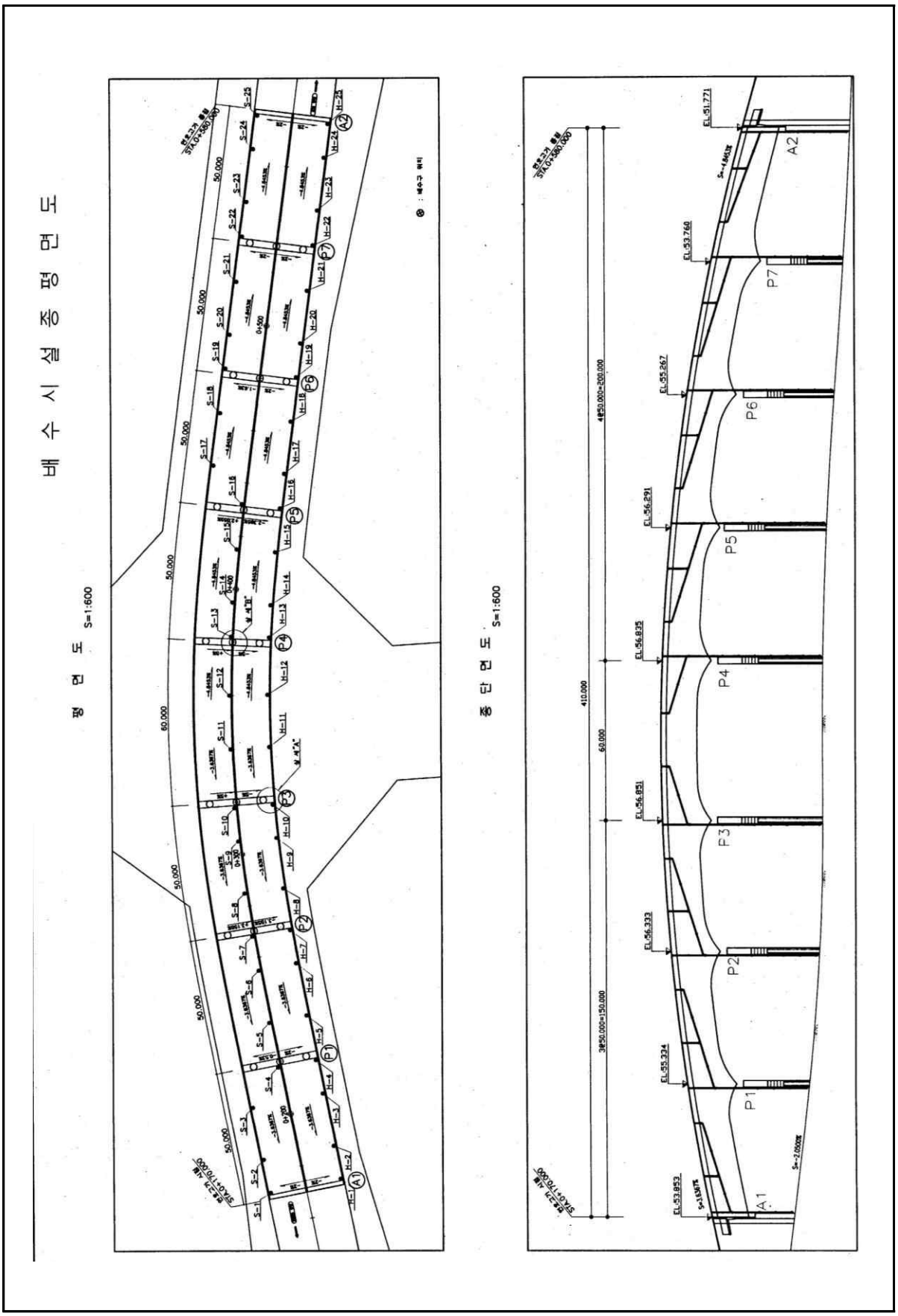
<그림 2.22> 교량받침 상세도



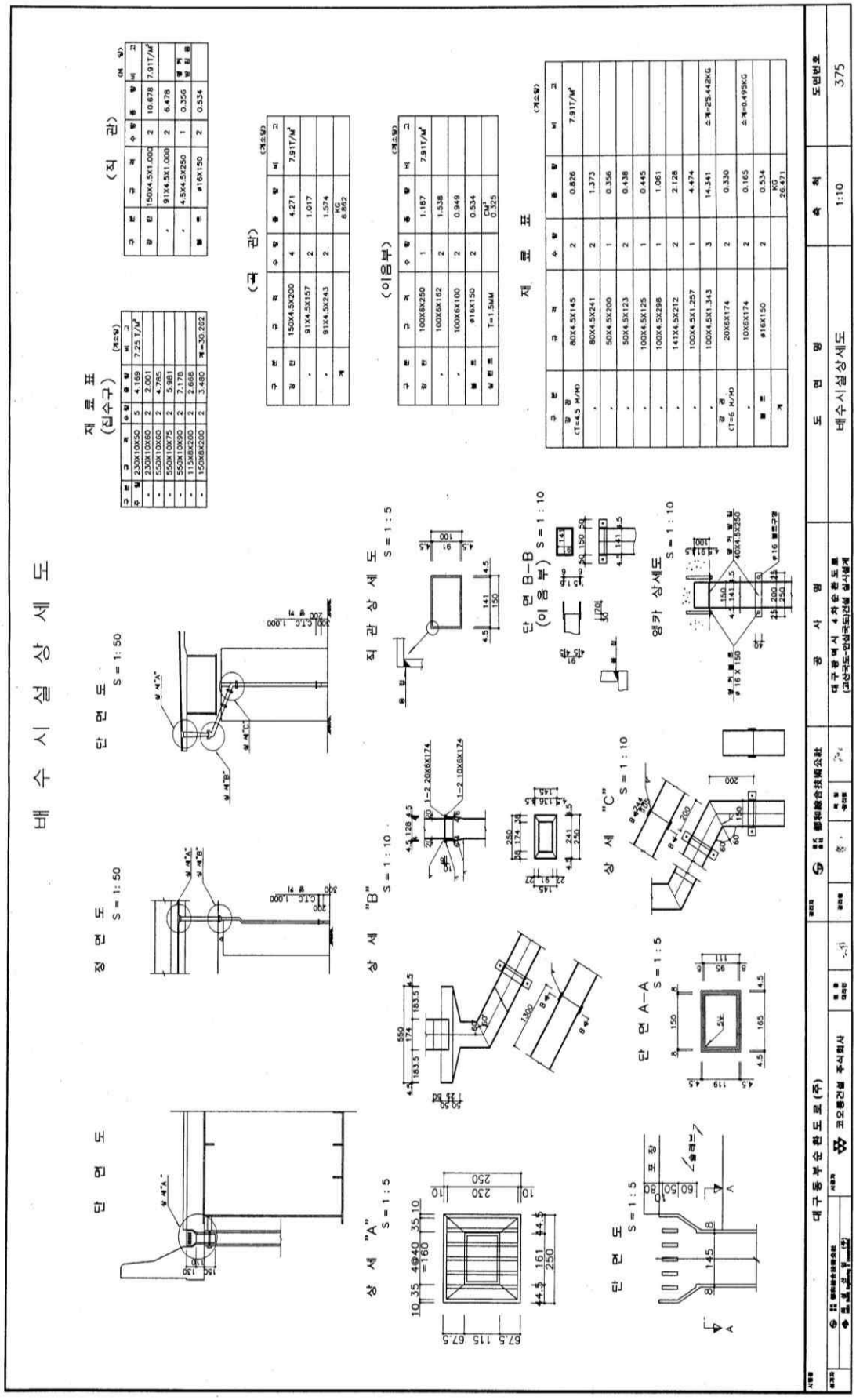
<그림 2.23> 신축이음장치 상세도



<그림 2.24> 방호벽 및 중앙분리대 상세도



<그림 2.25> 배수시설 평면도



<그림 2.26> 배수시설 상세도

2.2.2 구조계산서

가) 설계기준

1. 설 계 조 건

1.1 일 반 사 항

1) 교 량 형 식 : 8경간 연속 STEEL BOX GIRDER

2) 연 장 : 3 @ 50 + 60 + 4 @ 50 = 410.000 M

3) 폭 원 : 28.900 M

4) 교 량 등 급 : 1 등 교 (DB 24)

5) 곡 선 반 경 : R = 500 M

6) 사 각 (SKEW) : 0 °

1.2 하 중 조 건

1) 사 하 중

㉠ 철근 콘크리트 : 2.50 t/m³
㉡ 아 스 콘 포 장 : 2.30 t/m³
㉢ 강 재 : 7.85 t/m³

2) 활 하 중

㉠ 차 륜 하 중 : DB-24 Pf = 2.4 ton
Pr = 9.6 ton

㉡ 차 선 하 중 : DL-24 w = 1.27 ton/m
Pm = 10.8 ton
Pf = 15.6 ton

㉢ 충 격 계 수 :

$$i = \frac{15}{40 + L} \leq 0.3$$

3) 바닥판 콘크리트의 크리프 - 합성형 (도.시 p242)

· 바닥판콘크리트의 크리프계산(합성형)에 쓰이는 크리프 계수 : $\psi 1 =$ 2.0

4) 바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차 - 합성형 (도.시 p245)

· 바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차 : $\Delta T =$ 10.0 °C

· 바닥판 콘크리트와 강재들보의 선팽창계수: $\alpha =$ 0.000012

5) 바닥판 콘크리트의 건조수축 - 합성형 (도.시 p246)

· 최종수축률 : $\varepsilon =$ 0.00018

· 크리프계수 : $\psi 2 = 2\psi 1 =$ 4.0

1.3 사 용 재 료

1) 바닥판 콘크리트

㉠ σck = 270 kg/㎠

㉡ Ec = 250000 kg/㎠ (도.시 p96)

2) 철 근

㉠ σy = 4000 kg/㎠

㉡ Es = 2040000 kg/㎠ (도.시 p95)

3) 강 재

주 부 재 : SWS 490B 부 부 재 : SWS 400B

1.4 허 용 응 력

1.4.1 강 재 (도.시 p124 ~ p125, p130)

1) 허용축방향 인장응력 및 허용휨인장응력

(kg/㎠)

강 종	SS40 SWS400 SMA41	SWS490	SWS490Y SWS520 SMA50	SWS570 SMA58
축 방 향 인 장 응 력	1400	1900	2100	2600

2) 허용축방향 압축응력 (국부좌굴 무시)

(kg/㎠)

강 종	SS40 SWS400 SMA41	SWS490	SWS490Y SWS520 SMA50	SWS570 SMA58
축 방 향 압 축 응 력	$\ell/\gamma \leq 20$ 1400	$\ell/\gamma \leq 15$ 1900	$\ell/\gamma \leq 14$ 2100	$\ell/\gamma \leq 18$ 2600
	$20 < \ell/\gamma \leq 93$ 1400 $-8.4(\ell/\gamma-20)$	$15 < \ell/\gamma \leq 80$ 1900 $-13(\ell/\gamma-15)$	$14 < \ell/\gamma \leq 76$ 2100 $-15(\ell/\gamma-14)$	$18 < \ell/\gamma \leq 67$ 2600 $-22(\ell/\gamma-18)$
	$93 < \ell/\gamma$ $\frac{12000000}{6700+(\ell/\gamma)^2}$	$80 < \ell/\gamma$ $\frac{12000000}{5000+(\ell/\gamma)^2}$	$76 < \ell/\gamma$ $\frac{12000000}{4500+(\ell/\gamma)^2}$	$67 < \ell/\gamma$ $\frac{12000000}{3500+(\ell/\gamma)^2}$
비 고	· ℓ : 부재의 유효좌굴 길이 (cm) · γ : 부재 총단면의 부재 2차 반경 (cm)			

1.5 설 계 방 법

1) STEEL BOX GIRDER : 허용응력 설계법

2) 바닥판 SLAB : 강도설계법

1.6 참 고 문 헌

1) 도 로 교 표 준 시 방 서 - 건 설 교 통 부 1996년

2) 콘 크 리 트 표 준 시 방 서 - 건 설 교 통 부 1996년

3) 도 로 설 계 요 령 - 한국도로공사 1992년

나) 구조검토 결과 요약

1) 상부구조(바닥판)

3.4. 배력철근량 계산 (도.시 p450)

120 / √ 2.600 = 74.42 % > 67 % ∴ 사용철근량의 67 % 이상 배근

15.888 × 0.67 = 10.645 ㎠

∴ USE As = H 13 @ 120 = 10.558 ㎠ (8.33 EA/M)

TOTAL = 10.558 ㎠

3.5 사 용 성 검 토

1) 중 앙 부

M = Md + Ml = 0.547 + 3.328 = 3.875 T.M

㉠ 처 짐 : 처짐계산을 하지 않을 경우 최소두께 검토 (콘.시 p146)

$$t\,min = \left(\frac{2.600}{28}\right) \times \left(0.4 + \frac{4000}{7000}\right)$$

= 0.090 m = 9.0 cm < 25 cm ∴ O.K

㉡ 균 열

- 인장철근 제원 : As = 15.89 ㎠ dc = 4 cm d = 21 cm

B = 100 cm p = As / (B × d) = 0.0076

- 유효인장 단면적

A = 2 × dc × B/n = 2 × 4 × 100 / 8 = 100 ㎠

- 철근의 인장 응력

k = - n.p + √(2np +(np)²) = - 8 × 0.0076

+ √ (2× 8 × 0.0076 + (8 × 0.0076)²)= 0.293

j = 1 - k / 3 = 1 - 0.293 / 3 = 0.902

$$\sigma s = M / (As \cdot d \cdot j) = \frac{3.875 \times 1E+05}{15.89 \times 21 \times 0.902}$$

= 1287.425 kg/㎠ < σsa = 2000 kg/㎠

∴ O.K

- 콘크리트의 응력

$$\sigma c = 2M/(k \cdot j \cdot b \cdot d^2) = \frac{2 \times 3.875 \times 1E+05}{0.293 \times 0.902 \times 100 \times 441}$$

= 66.577 kg/㎠ < σca = 108 kg/㎠

∴ O.K

㉢ 휨 철근의 분포를 제한하는 수 Z 산정 (도.시 P402)

$z = \sigma s \sqrt[3]{(dc \cdot A)}$

(외노출)

= 1287 × ³√(4 × 100) = 9486 kg/㎠ < 23170 kg/㎠

∴ O.K

2) 캔틸레버부

M = Md + Ml = 1.225 + 1.920 = 3.145 T.M

㉠ 처 짐 : 처짐계산을 하지 않을 경우 최소두께 검토 (콘.시 p146)

$$t\,min = \left(\frac{1.000}{10}\right) \times \left(0.4 + \frac{4000}{7000}\right)$$

= 0.097 m = 9.7 cm < 30 cm ∴ O.K

㉡ 균 열

- 인장철근 제원 : As = 15.89 ㎠ dc = 6 cm d = 24 cm

B = 100 cm p = As / (B × d) = 0.0066

- 유효인장 단면적

A = 2 × dc × B/n = 2 × 6 × 100 / 8 = 150 ㎠

- 철근의 인장 응력

k = - n.p + √(2np +(np)²) = - 8 × 0.0066

+ √ (2 8 × 0.0066 + (8 × 0.0066)²)= 0.277

j = 1 - k / 3 = 1 - 0.277 / 3 = 0.908

$$\sigma s = M / (As.\ d.\ j) = \frac{3.145 \times 1E+05}{15.89 \times 24 \times 0.908}$$

= 908.352 kg/㎠ < σsa = 2000 kg/㎠
∴ O.K

- 콘크리트의 응력

$$\sigma c = 2M/(k \cdot j \cdot b \cdot d^2) = \frac{2 \times 3.145 \times 1E+05}{0.277 \times 0.908 \times 100 \times 576}$$

= 43.465 kg/㎠ < σca = 108 kg/㎠
∴ O.K

㉢ 휨 철근의 분포를 제한하는 수 Z 산정 (도.시 P402)

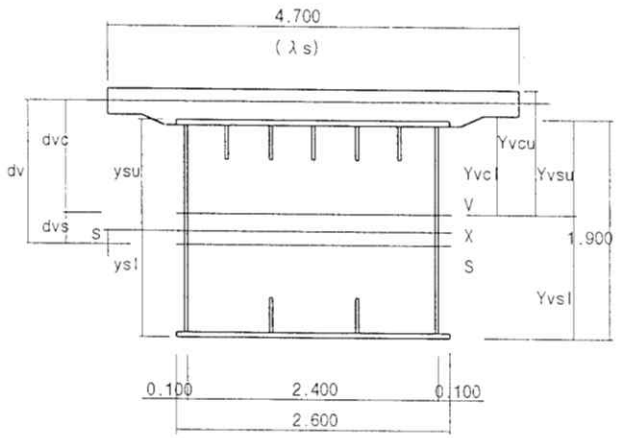
z = σs ³√(dc . A)

= 908.4 × ³√(6 × 150) = 8770 kg/㎠ < 23170 kg/㎠ (외노출)
∴ O.K

2) 상부구조(거더)

6. 주형 단면 검토

(1) SECTION TYPE : 1 (244절점 + 0.375M지점)



- 슬래브 유효폭 (λs): 470.00 cm
- 슬래브 두께 (ts): 25.00 cm
- 헌치 (th): 5.00 cm
- 플랜지 폭 (전체폭): 260.00 cm
- 상연플랜지 폭 (bfu): 260.00 cm
- 상연플랜지 두께 (tu): 1.40 cm
- 상연종리브 두께 : 1.40 cm
- 상연종리브 높이 : 15.00 cm
- 상연종리브 갯수 : 5 EA
- 웨브 두께 (tw): 1.20 cm
- 웨브 높이 (hw): 190.00 cm
- 웨브 갯수 : 2 EA
- 하연종리브 두께 : 1.40 cm
- 하연종리브 높이 : 15.00 cm
- 하연종리브 갯수 : 2 EA
- 하연플랜지 폭 (bfs): 260.00 cm
- 하연플랜지 두께 (tl): 1.80 cm
- σck : 270 kg/cm^2
- Es : 2.10E+06 kg/cm^2
- Ec : 2.50E+05 kg/cm^2
- n (Es/Ec) : 8
- k : 0.362

○설계 단면력

구 분	휨모멘트(T.M)	전단력(T)	TORSION(T.M)
합성전사하중	842.560	30.322	0.109
합성후사하중	246.365	9.367	-1.632
활하중	507.011	42.510	-61.622
지점침하	34.315	0.000	0.000

○단면 제원

· 주부재 사용강종 : SWS 490B

구 분	b (cm)	h (cm)	A (cm^2)	Y (cm)	A×Y (cm^3)	I_0 (cm^4)	A×Y^2 (cm^4)
UPPER FLANGE 1 - 260.00 × 1.4	260.0	1.4	364.00	-95.7	-34834.8	59.5	3333690.4
UPPER RIB 5 - 15.00 × 1.4	1.4	15.0	105.00	-87.5	-9187.5	1968.8	803906.3
WEB PL 2 - 190.00 × 1.2	1.2	190.0	456.00			1371800.0	
LOWER RIB 2 - 15.00 × 1.4	1.4	15.0	42.00	87.5	3675.0	787.5	321562.5
LOWER FLANGE 1 - 260.00 × 1.8	260.0	1.8	468.00	95.9	44881.2	126.4	4304107.1
TOTAL			1435.00		4533.9	1374742.1	8763266.2
CON'C (N= 8)	470.0	25.0	1468.75	-112.5	-165234.4	76497.4	18588867.2

⑦ 전 단 응 력 검 토

· 횡전단응력

$\tau b = S / Aw = 82199.000 / 456.000 = 180.261\ kg/cm^2$

· 비틀림에 의한 전단응력

$\tau s = Mt / (2 \cdot F \cdot tw)$

Mt : 비틀림 모멘트 (t·m) = 63.145 t·m

F : 폐단면부의 박판두께 중앙선으로 둘러싸인 면적 (m^2) = 46213.920 cm^2

tw : 박판두께 (m) = 1.200 cm

$\therefore \tau s = 6314500.0 / (2 \times 46213.920 \times 1.200) = 56.932\ kg/cm^2$

· 전단응력 합계

$\tau = \tau b + \tau s = 180.261 + 56.932 = 237.193\ kg/cm^2$

$\tau < \tau a = 1100.00\ kg/cm^2 \quad \therefore$ O.K

⑧ 조 합 응 력 검 토

$f = 0.65 \cdot (\varphi/n)^2 + 0.13 \cdot (\varphi/n)^2 + 1.0$

$= 0.65 \times (0.00 / 6) + 0.13 \times (0.00 / 6) + 1.00$

$= 1.00$

$\longrightarrow \varphi = (\sigma 1 + \sigma 2) / \sigma 1 \fallingdotseq 0.0$

n : 종방향 보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수 - 6

f : 응력 구배 계수 φ : 응력 구배

$\sigma 1, \sigma 2$ 보강된 판의 양연의 응력
(단, $\sigma 1 \geq \sigma$ 이며 압축 응력을 정으로 한다.)

· 인장 FLANGE의 허용응력 : $\sigma ta = 1900.00\ kg/cm^2$

· 압축 FLANGE의 허용응력

$t \geq \dfrac{b}{24 \cdot f \cdot n} = \dfrac{240.00}{24 \times 1.00 \times 6} = 1.667$ cm

$\dfrac{b}{24 \cdot f \cdot n} > t \geq \dfrac{b}{48 \cdot f \cdot n} = \dfrac{240.00}{48 \times 1.00 \times 6} = 0.833$ cm

USE 압축 FLANGE 두께 1.40 cm

$\therefore \sigma ca = 1900 - 39 \times \{ b / (t \cdot f \cdot n) - 24 \} = 1721.714\ kg/cm^2$

· 철근콘크리트의 허용응력 : $\sigma ca = 0.30\ \sigma ck = 81.00\ kg/cm^2$

$\sigma ta = 0.07\ \sigma ck = 18.90\ kg/cm^2$

ii) 응 력 집 계

하중조합	CONCRETE			STEEL			
	작용응력(kg/cm²)		허용응력	작용응력(kg/cm²)		허용응력(kg/cm²)	
	상 연	하 연	(kg/cm²)	상 연	하 연	상 연	하 연
1				828.600	-779.338	1721.714	1900.000
1+2	32.948	21.123	81.000	983.960	-1355.036	1721.714	1900.000
1+2+3	26.127	17.899	81.000	1042.276	-1330.083	1979.971	1900.000
1+2+3+4	15.964	7.336	81.000	1165.389	-1281.221	1979.971	1900.000
1+2+3+4±5	26.682	19.256	93.150	1308.646	-1350.165	2238.229	2185.000
1+2+3+4±5+6	28.183	20.218	93.150	1315.722	-1376.387	2238.229	2185.000

※ 응력의 부호 : (-) 인장응력, (+) 압축응력

iii) 합 성 응 력 검 토

- 상 연 $(\sigma / \sigma a)^2 + (\tau / \tau a)^2$
  $= (1165.389 / 1979.971)^2 + (237.193 / 1100.000)^2$
  $= 0.393 < 1.200 \quad \therefore$ O.K

- 하 연 $(\sigma / \sigma a)^2 + (\tau / \tau a)^2$
  $= (-1355.036 / 1900.000)^2 + (237.193 / 1100.000)^2$
  $= 0.555 < 1.200 \quad \therefore$ O.K

iv) 항복에 대한 안전도 검토(도.시 P249)

- 하중조합 : 1.3×(합성전사하중 + 합성후사하중) + 2.1×(활하중+충격)
  + 1.0×(크리프 + 건조수축 + 온도변화)

구 분	CONCRETE			STEEL		
	작용응력(kg/cm²)		항복점응력	작용응력(kg/cm²)		항복점응력
	상 연	하 연	(kg/cm²)	상 연	하 연	(kg/cm²)
합선전사하중	0.000	0.000	-	828.600	-779.338	-
합선후사하중	10.774	6.907	-	50.805	-188.262	-
활하중+충격	22.173	14.215	-	104.555	-387.436	-
크 리 프	-6.821	-3.224	-	58.316	24.953	-
건조 수축	-10.162	-10.563	-	123.113	48.862	-
온도 변화	± 10.718	± 11.920	-	± 143.257	± 68.943	-
지점 침하	1.501	0.962	-	7.076	-26.222	-
극한 하중(1)	34.370	14.088	162	1408.040	-2092.846	3200
극한 하중(2)	55.806	37.927	162	1694.554	-1954.960	3200

※ 항복응력 : $\sigma cy = 3/5 \cdot \sigma ck = 162$ kg/cm², $\sigma sy = 3200$ kg/cm²

3) 하부구조

1. 일 반 단 면

교대높이 7.700 m

저 판 폭 6.200 m

저판길이 28.900 m

2. 설 계 조 건

* 흙의 단위중량 (γt) : 1.900 t/m^3

CON'C의 단위중량 (γc) : 2.500 t/m^3

흙의 내부마찰각 (ϕ) : 35.000 deg

흙의 점착력 (c) : 0.000 t/m^2

배면 연직 경사각 : 0.000 deg

노면 수평 경사각 : 0.000 deg

* 기 초 바 닥 N치 : 10.000

* 흙과 콘크리트의 마찰각

o 상시

안정검토시 (RANKINE 토압사용) : 0.000 deg

단면검토시 (COULOMB 토압사용, $\phi/3$) : 11.667 deg

o 지진시

MonoNobe Okabe 공식사용 : 0.000 deg

직접기초 - Kh = 0.5A

경사말뚝 - Kh = 1.5A

3. 작용하중계산 및 안정검토

RANKINE 토압계수 Ka = 0.271

지진시 토압계수 Ke = 0.403

1) CASE-1 (상부공가설전, 수위고려, 활하중 미재하시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	0.000	140.437	0.000
흙자중	27.990	0.000	140.167	0.000
상부공하중	0.000	0.000	0.000	0.000
토압	0.000	17.350	0.000	47.210
지표재하	0.000	0.000	0.000	0.000
부력	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	75.444	17.350	280.604	47.210

2) CASE-2 (상시, 수위무시, 활하중 재하시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	0.000	140.437	0.000
흙자중	27.990	0.000	140.167	0.000
상부공하중	43.975	1.438	109.939	7.201
토압	0.000	17.350	0.000	47.210
지표재하	2.515	0.000	12.430	0.000
합계	121.935	18.788	402.975	54.411

3) CASE-3 (상시, 수위무시, 활하중 비재하시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	0.000	140.437	0.000
흙자중	27.990	0.000	140.167	0.000
상부공하중	28.760	1.438	71.900	7.201
토압	0.000	17.350	0.000	47.210
지표재하	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	104.204	18.788	352.504	54.411

4) CASE-4 (지진시, 수위무시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	6.643	140.437	15.486
흙자중	27.990	3.918	140.167	17.858
상부공하중	28.760	4.026	71.900	20.162
토압	0.000	22.704	0.000	87.413
지표재하	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	104.204	37.293	352.504	140.920

5) CASE-5 (상시, 수위고려, 활하중 재하시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	0.000	140.437	0.000
흙자중	27.990	0.000	140.167	0.000
상부공하중	43.975	1.438	109.939	7.201
토압	0.000	17.350	0.000	47.210
지표재하	2.515	0.000	12.430	0.000
부력	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	121.935	18.788	402.975	54.411

6) CASE-6 (상시, 수위고려, 활하중 비재하시)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	0.000	140.437	0.000
흙자중	27.990	0.000	140.167	0.000
상부공하중	28.760	1.438	71.900	7.201
토압	0.000	17.350	0.000	47.210
지표재하	0.000	0.000	0.000	0.000
부력	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	104.204	18.788	352.504	54.411

7) CASE-7 (지진시, 수위고려)

항목	연직력 N(t)	수평력 H(t)	저항모멘트 Mx (t.m)	전도모멘트 My (t.m)
교대 자중	47.454	6.643	140.437	15.486
흙자중	27.990	3.918	140.167	17.858
상부공하중	28.760	4.026	71.900	20.162
토압	0.000	22.704	0.000	87.413
지표재하	0.000	0.000	0.000	0.000
부력	0.000	0.000	0.000	0.000
합계	104.204	37.293	352.504	140.920

4. 연직벽의 단면검토

1) 단면력 산정 (하중계수를 적용 : 극한하중)

구 분		상 시	지 진 시
토 압 계 수		0.246	0.403
토 압	q_1 (h = 0.000 m)	0.418	0.000
	q_2 (h = 6.200 m)	5.337	8.072
토압에 의한 단면력	Mu (t.m)	39.546	77.577
	Su (t)	17.840	25.025
SHOE 마찰에 의한 단면력	Mu (t.m)	6.558	
	Su (t)	1.869	
벽체 자중에 의한 관성력	Mu (t.m)		10.350
	Su (t)		4.405
상부하중에 의한 관성력	Mu (t.m)		18.362
	Su (t)		5.234
계	Mu (t.m)	46.104	106.289
	Su (t)	19.710	34.664

그러므로 극한모멘트 (Mu) = 106.289 t.m

극한전단력 (Su) = 34.664 t

2) 단면검토

극한 모멘트 (Mu) = 10628903.000 kg.cm

극한 전단력 (Su) = 34664.332 kg

단위 폭 (B) = 100.0 cm

유효 높이 (D) = 210.0 cm

피 복 두 께 (D') = 10.0 cm

*** 소요철근량 계산 ***

극한모멘트 (Mu) = 10628903.000 kg.cm

평형모멘트 (Mb) = $0.85 \times \sigma ck \times A \times B \times (D-A/2) \times 0.85$

= 311780800.000 kg.cm

여기서 $A = K \times X$ = 119.783

$\sigma ck < 280$

$K = 0.85$

$\sigma ck > 280$

$K = 0.85-(\sigma ck-280) \times 0.007/10$

$X = 6120 \times D/(6120+\sigma y)$ = 140.921 cm

--- Mu < MB ---

인장철근량 (As) = Mu/(σy×(D-AC/2)×0.85) = 19.988 cm²

여기서 A = (0.85×σck×B×D-SQRT((0.85×σck×B×D)²

-2×σck×B×Mu))/(0.85×σck×B) = 2.939 cm

단면철근비 (P) = As/(B×D) = 0.001

최대철근비 (Pmax) = 0.75×0.85×σck×A/(σy×D) = 0.029

최소철근비 (Pmin) = 14/σy = 0.005

--- P < PMIN 인 경우 ---

균열모멘트 (Mc) = Zc(σcb+N/Ac) = 24993652.000 kg.cm

Mc : 균열모멘트

Zc : 콘크리트부재의 단면계수

σcb : 콘크리트의 휨인장강도

설계 모멘트의 4/3 배 (4/3 Mu) = 14171871.000 kg.cm

설계휨모멘트의 4/3배가 균열모멘트 이하이므로

설계상 필요한 철근을 배치한다.

사용철근량 : As = 19.988 cm²

그러므로 As = 19.988 이상 사용하여야 한다.

그러므로 사용철근량 As = D22 @ 12.5 = 30.97 cm²

설계모멘트강도 ØMn = 0.85×(As×σy×(D-A/2))

= 16403549.000 kg.cm

*** 전단력 검토 ***

극한전단력 Su = 34664.332 kg

콘크리트 전단설계강도 φSc = 120697.641 kg

φSc = 120697.641 kg > Su = 34664.332 kg

그러므로 STIRRUP이 필요없다.

2.3 기존 점검 및 진단자료 분석

대상 교량은 2002년 8월 24일 준공 이후 정기적으로 안전점검이 시행되었으며 그 결과에 의한 유지관리가 실시되고 있는 상태이다. 현재까지 실시한 안전점검 중 정밀안전점검 및 정밀안전진단시 조사된 주요한 손상내용 및 분석결과는 다음과 같다.

2.3.1 기존 정밀안전점검 분석

<표 2.2> 기존 정밀안전점검 분석

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
1	2003.02.24. ~ 2003.04.25	(주)한국건설안전기술단	A	1) 교면포장(외관상태 양호: 아스콘변형 및 파손에 대해 주기적 관찰필요) 2) 방호벽(반사경: 반사경재설치, 미세균열다수: 주의관찰필요) 3) 중앙분리대(대균열: 퍼티공법, 중균열:수지주입) 4) 바닥판하면(백태.누수: 주의관찰) 5) 신축이음(외관상태양호: 주의관찰 필요
	정밀안전점검	유홍렬		☞ 검토의견 - 전반적으로 양호한 상태이며, 조사된 손상에 대한 주의관찰이 필요함.
2	2005.05.12. ~ 2005.07.05	(주)혜성안전기술원	A	1) 교량안전시설(델리네이터 파손)일부 손상, 미세균열 등이 발생되었으나 전반적으로 교량안전성에 문제가 없으므로 정밀안전진단 필요성 없음.
	정밀안전점검	정갑출		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 델리네이터 교체, 미세균열 표면처리 등이 필요함.
3	2007.04.05. ~ 2007.05.31	부계기술단(주)	A	1) 0.2mm이하 균열, 델리네이터 파손, 교량받침 녹발생
	정밀안전점검	장용순		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 지속적 관찰, 델리네이터 교체, 교량받침 재도장이 필요함.

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
4	2009.04.07. ~ 2009.06.30	(주)동화엔지니어링	A	1) 상부구조 교면포장에 균열이 조사되었으나 주행성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 지속적 관찰을 하며 균열의 진행여부에 따라 보수여부를 판단한다. 2) 난간 및 연석에 상태는 대체로 양호하나 0.2mm이하의 균열이 많이 발견되었고 이 또한 구조적 결함을 유발하는 균열로의 진행에 지속적인 관찰을 요한다. 3) 하부구조에 폭 0.2mm이하의 일방향 균열이 발생한 상태로, 균열폭, 균열패턴을 감안하여 볼 때 구조적인 균열보다는 하중 및 건조수축에 의한 비구조적인 균열로 판단되며 현 상태에서의 보수보다는 균열폭의 변화여부를 주의관찰하고 향후 손상의 진전이 확인될 시 보수여부를 결정함이 바람직할 것으로 판단된다. 4) 배수시설은 전반적으로 양호한 것으로 나타났으나, 소량의 이물질 또한 발견되었다. 현시점에서 배수에 영향을 미치지는 않으나 청소를 하여 배수에 이상이 없도록 지속적인 관리가 필요하다. 5) 신축이음에는 토사퇴적, 후타재 균열 부분부식이 발견되었고 이들은 신축이음의 기능을 저해하는 요인들이다. 토사퇴적은 즉시 청소를 요하며 후타재 균열과 신축이음 부분부식은 지속적인 관찰로 신축이음의 기능을 유지해야 할 것이다. 6) 바닥판 하면 및 Box 거더는 별다른 이상이 없는 양호한 상태이나 도장탈락 및 부분적인 부식을 관찰하여 구조적 기능적 결함을 사전에 방지해야 한다.
	정밀안전점검	이상협		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 적절한 보수 및 주의관찰이 필요함.
5	2012.03.05. ~ 2012.06.30	(주)아워브레인	B	1) 교량의 안전성을 저해할 만한 손상(주형의 처짐 및 변형, 받침의 파손 등)은 없으며, 신축이음 및 받침장치의 가동상태 등 교량의 전반적인 신축거동 또한 양호한 상태로 나타났다. 다만, 교량의 내구성 측면 및 유지관리차원에서 보수를 요하는 손상이 일부 발생된 상태이며, 주요 손상으로는 바닥판하면 균열, 주형내부 우수유입 및 도장손상, 하부구조 균열, 신축장치 후타재 균열 등이다. 2) 콘크리트 비파괴시험 결과, 콘크리트의 강도 및 탄산화, 철근 배근상태 등은 전반적으로 설계기준이나 시방기준에 만족하는 것으로 평가되었다. 3) 강재 비파괴시험 결과, 주형의 맞대기 용접부는 내부결함이 없는 양호한 상태로 나타났으며, 주형 내, 외부에 대한 도막두께 또한 양호한 상태로 측정되었다. 4) 상태평가 결과, 환산결함도 점수가 0.233으로 산정되어 상태평가등급은 'B'로 평가되었다. 5) STB 구간에 대한 구조해석 및 재하시험 결과, 모든 부재에서 안전율이 1.0 이상으로 설계하중(DB(DL)-24)를 만족하고 있으며, 공용내하력 평가결과 설계하중을 상회하고 있는바, 대상교량의 안전성 평가 결과는 기준 'A'로 평가되었다. 6) 연호고가교의 정밀안전진단 종합평가 결과, 상태평가등급은 "B"이다.
	정밀안전진단 (하자)	유근무		☞ 검토의견 - 연호고가교에 대한 정밀안전진단 결과, 안전등급은 'B'로 평가되었다. 본 교량은 주부재 및 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태로 나타났다.

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
6	2014.02.15. ~ 2014.04.05	(주)삼우기술	B	1) 주요 손상으로는 신축장치 후타재 균열 및 교대, 교각 미세균열 등으로 시설물의 구조적 안전성에 영향을 미치는 수준은 아닌 것으로 판단되나, 향후 구조물의 내구성 및 사용성 확보를 위하여 손상 부위에 대한 적절한 보수 및 지속적인 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다
	정밀안전 점검	이달재		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 후타재 보수, 재도장, 표면처리 등의 적절한 보수 및 주의관찰이 필요함.
7	2016.02.19. ~ 2016.04.03	(주)우림종합 엔지니어링	B	1) 교면포장 : 망상균열, 포장패임, 미끄럼방지 포장탈락 2) 교명주 : 교명판유실, 설명판유실 3) 방호벽 : 긁힘, 균열, 방호벽 침하 4) 신축이음 : 후타재균열, 이물질퇴적 5) 바닥판하면 : 유도배수관 주변누수 6) 거더외부 : 도장박리, 박락 7) 거더내부 : 누수흔적, 부식, 실리콘마감부족 8) 받침장치 : 도장박리, 박락 9) 교각 : 균열, 배수관 주변파손, 백태
	정밀안전 점검	김길만		☞ 검토의견 - 연호고가교의 현장조사(외관조사, 내구성조사)에 의한 상태평가 결과『B등급(0.132)』으로 평가되었으며, 금회 조사된 결함 및 손상부위에 대해서는 단기적인 보수와 중점유지관리 항목들에 대한 주기적인 점검이 시행된다면 내구성 및 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 유지관리 하는데는 문제가 없을 것으로 판단된다.
8	2017.03.02. ~ 2017.06.09	(주)우림종합 엔지니어링	B	1) 교면포장 망상균열, 패임, 미끄럼방지 포장 국부파손 2) 콘크리트 방호난간 균열, 백태, 철근노출 3) 신축이음장치 A2 이상음 발생 4) 거더외부 도장박락, 내부부식, 도장박락, 실링처리 미흡 5) 교각 기둥하단부 배수관 길이부족에 의한 콘크리트 침식
	정밀안전 진단	김길만		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 재포장 및 교면방수, 신축이음장치 교체, 강재 재도장, 실링보수, 배수관 길이연장 및 교각하부 단면보수 등의 보수 및 주의관찰이 필요함.

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
9	2019.04.22. ~ 2019.06.09	(주)명성엔지니어링	B	1) 교면포장 : 램프구간 아스콘 균열 2) 방호벽 및 중앙분리대 : 균열(cw=0.3mm내·외), 파손 및 재료분리, 백태 3) 배수시설 : 상태양호 4) 신축이음 : 후타재균열, 하부 누수흔적, 흡음재탈락 5) 바닥판 : 균열(cw=0.3mm미만), 백태 6) 거더 : 도장박리 7) 받침장치 : Plate부식, 받침콘크리트 균열(cw=0.3mm미만), 받침콘크리트 파손 8) 교대 및 교각 : 균열(cw=0.3㎜미만), 파손 및 철근노출, 누수흔적
	정밀안전 점검	이상훈		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 단면보수, 표면처리, 주입보수 등의 적절한 보수 및 주의관찰이 필요함.
10	2021.04.19. ~ 2021.06.09	주식회사 다인기술단	B	1) 바닥판 균열(W<0.3㎜), 바닥판 백태 2) 거더 도장박리 3) 교대 균열(W<0.3mm), 교대 누수흔적, 교대 파손, 교각 균열(W<0.3mm), 교각 파손 4) 받침콘크리트 균열 5) 아스콘 균열, 파손, 포트홀 6) 방호벽 균열, 방호벽 접속부 단차, 데리네이트 파손, 방호벽 망상균열, 들뜸, 박리, 방호벽 표면 재료분리, 방호벽 파손, 철근노출, 접속부 포장균열, 이격 7) 차수커버 볼트탈락, 차수커버 철판절단, 후타재 균열
	정밀안전 점검	김병춘		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 표면처리, 도장보수, 아스팔트실링, 아스팔트팻칭, 주입보수, 데리네이트 설치, 볼트재설치, 차수커버 재설치 등의 보수 및 주의관찰이 필요함

2.3.2 기존 정밀안전진단 분석

<표 2.3> 기존 정밀안진진단 분석

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
1	2017.03.02. ~ 2017.06.09	(주)우림종합엔지니어링	B	• 연호고가교는 안전등급 B의 전체적으로 양호한 상태의 교량으로 금회 외관조사 결과 지적된 손상에 대해서는 내구성 및 사용성확보 차원의 보수가 일부 필요한 것으로 판단된다. • 현장 및 실내 시험을 통한 추정강도는 설계기준을 만족하고 있으며, 철근탐사를 통한 배근간격 및 피복두께는 측정부위에 따라 다소 편차는 있으나 전반적으로 설계 상태에 양호하게 조사 되었다. 탄산화 및 염화물함유량의 경우 b등급 이상을 유지하고 있는 양호한 상태로 평가되었다. • 강재비파괴 시험결과, 맞대기 용접부 96개소에 대한 초음파탐상 실시 결과 'KS B 0896'의 판정등급기준에 의거 판정되어 전체 불합격 결함은 조사되지 않은 양호한 것으로 판정되었다. • 본 교량의 안전성 검토를 통한 강박스 거더와 바닥판 슬래브의 기본내하력 및 공용내하력 평가 결과 내하율 1.0 이상으로 설계활하중 DL(DB)-24를 만족하는 것으로 평가 되었다. • 연호고가교의 외관조사에 의한 상태평가 결과는 『B』 등급이고, 구조안전성 평가 결과는 『A』 등급으로, 종합평가는 『B』 등급으로 평가되었으며, 금회 조사된 결함 및 손상 부위에 대하여는 보고서에 제시된 보수·보강과 중점유지관리 항목들에 대한 주기적인 점검이 시행된다면 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
	정밀안전진단	김길만		☞ 검토의견 - 금회 조사된 결함 및 손상 부위에 대하여는 보고서에 제시된 보수·보강과 중점유지관리 항목들에 대한 주기적인 점검이 시행된다면 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다

가) 외관조사 분석

구 분	점검 결과	검토의견
바닥판	데크플레이트 거치부 일부 부식을 제외하고는 전반적으로 양호 종조인트부 우수유입에 의한 콘크리트 백태가 일부 발생 및 유도배수시설 이음부 누수가 조사	종조인트부 누수 확인 및 백태 손상 진전여부
강재주형 및 2차부재	거더 외부는 부분 도장보수가 이루어져 전반적으로 양호하며, 국부 도장 박락이 조사 내부의 상태는 일부 부식, 도장 박리, 박락, 실링처리 미흡이 발생	내부 실링처리 확인 및 도장손상 추가 및 진전여부
교대 및 교각	일부 균열, 망상균열, 기둥하부 침식 등의 손상이 발생	균열 진전여부, 신규손상 발생여부 확인
교량받침	국부 도장 박락이 경미하게 조사	도장박락 진전여부, 가동여유량 검토
신축이음	A2측 신축이음 장치부 베어링 탈락에 의한 이상음이 발생하여 신축이음장치에 대한 교체가 필요	신축이음 교체여부
교면포장	망상균열, 국부파손, 시종점 토공구간의 아스콘 패임, 미끄럼방지포장 국부 파손이 조사	주행차량 영향여부 확인
배수시설	배수관은 P1~P3 교각기둥 하부 배수관 길이부족에 의한 침식이 발생	배수 지장여부 확인, 2차손상 발생 여부
난간, 연석	균열(c/w=0.3mm미만, 이상)이 다수 조사되었으며, 일부 균열부 백태 동반 손상이 조사 하단부 피복부족에 의한 철근노출 및 망상균열이 일부 구간에서 조사	균열, 철근노출 진전 여부 확인

나) 비파괴조사 분석

구 분	시험 결과	검토의견
콘크리트 강도	· 보정코어강도 : 24.3 (상부), 33.7 ~ 42.7 MPa (하부) · 상부구조(범물) 비파괴 강도 : 27.3 ~ 30.0 MPa (반발경도법) · 상부구조(안심) 비파괴 강도 : 27.1 ~ 29.9 MPa (반발경도법) · 하부구조 비파괴 강도 : 24.2 ~ 25.5 MPa (반발경도법) · 설계기준강도(상부구조: 27 MPa, 하부구조: 24 MPa)를 상회하는 것으로 측정됨.	대체로 양호한 것으로 판단됨, 반발경도 및 초음파 전달속도를 이용한 비파괴 강도 검토
탄산화 시험	· 상부구조 탄산화 깊이 : 10.7~12.5 ㎜ (기준 a) · 하부구조 탄산화 깊이 : 8.5~11.8 ㎜ (기준 a) · 탄산화 잔여 깊이가 최소 30㎜ 이상이며 일부 피복두께가 작은 구간은 주기적인 측정을 통한 주의관찰 필요함.	대체로 양호한 것으로 판단됨, 탄산화 깊이 진행상태 및 측정부위의 실측피복과 비교 검토
철근탐사 시험	· 배근간격 : 상·하부구조 모두 대체로 설계상태와 일치함. · 피복두께 : 상·하부구조 모두 설계값 이상으로 측정됨.	대체로 양호한 것으로 판단됨, 일부 피복두께가 작은 구간 측정 확인
염화물함유량시험	· 상부구조 염화물 함유량 : 0.4526 kg/㎥ (기준 b) · 하부구조 염화물 함유량 : 0.0634 kg/㎥ (기준 a)	조사수량 지침에 맞게 추가 검토
초음파 탐상시험 (UT)	· 강재거더 내부 맞대기용접부 조사개소 : 96 개소(S1~S8) · 불합격 개소 : 0 개소 · KS B 0896의 판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았음.	조사 개소수를 동일하게 측정

다) 상태평가 평가 분석

1) 범물방향

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호		구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1	A1	STB	a	a	a	c	a	b	c	a	b	Q	-	a	-	-
S2	P1	STB	a	a	a	a	a	a	-	a	b	Q	a	a	-	-
S3	P2	STB	b	a	a	b	a	b	-	a	b	Q	-	-	-	-
S4	P3	STB	a	a	b	b	a	a	-	a	b	Q	-	a	-	-
S5	P4	STB	b	a	a	b	a	a	-	a	b	Q	-	-	-	-
S6	P5	STB	b	a	a	a	a	a	-	a	b	Q	a	a	-	-
S7	P6	STB	b	a	a	a	a	a	-	a	b	Q	-	-	-	-
S8	P7	STB	b	a	a	a	a	b	-	a	b	Q	a	a	-	-
/	A2	STB	-	-	-	-	-	-	c	a	b	Q	-	a	-	-
평균			0.163	0.100	0.113	0.175	0.100	0.138	0.400	0.100	0.200	0.000	0.100	0.100	0.000	0.000
가중치			18	20	5	7	3	2	9	9	20	0	4	3	0	0
(평균x가중치) /가중치합			0.029	0.020	0.006	0.012	0.003	0.003	0.036	0.009	0.040	0.000	0.004	0.003	0.000	0.000
1. 환산결함도 점수 =													0.165			
2. 상태평가 결과 =													B			

2) 안심방향

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호		구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1	A1	STB	b	a	b	b	a	c	c	a	b	Q	-	a	b	-
S2	P1	STB	a	a	a	b	a	b	-	a	b	Q	a	a	-	-
S3	P2	STB	b	a	a	b	a	b	-	a	b	Q	-	-	-	-
S4	P3	STB	b	a	a	b	a	b	-	a	b	Q	-	a	-	-
S5	P4	STB	b	b	a	b	a	b	-	a	b	Q	-	-	-	-
S6	P5	STB	a	b	a	a	a	a	-	a	b	Q	a	a	-	-
S7	P6	STB	a	a	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-	-	-
S8	P7	STB	a	b	a	b	a	c	-	a	b	Q	a	a	-	-
/	A2	STB	-	-	-	-	-	-		b	b	Q	-	a	-	a
평균			0.150	0.138	0.113	0.175	0.100	0.238	0.400	0.111	0.200	0.000	0.100	0.100	0.200	0.100
가중치			18	20	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균x가중치) /가중치합			0.027	0.028	0.006	0.012	0.003	0.005	0.036	0.010	0.040	0.000	0.002	0.002	0.004	0.001
1. 환산결함도 점수 =													0.175			
2. 상태평가 결과 =													B			

라) 안전성 평가 분석

1) 안전성평가 분석

① 안전성평가 결과

ⓐ 바닥판의 안전성평가 결과

구 분	휨 모멘트(kN · m)	바닥판	안전율	안전성 평가등급
바닥판 캔틸레버부	공칭강도 ϕM_n (kN · m)	122.08	1.377	A
	극한강도 Mu (kN · m)	88.63		
바닥판 중간부	공칭강도 ϕM_n (kN · m)	105.88	1.346	A
	극한강도 Mu (kN · m)	78.66		

ⓑ 거더의 안전성평가 결과

구 분			허용응력설계법에 의한 안전성평가	검토 결과
G1 (외측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{155.829}{85.845+41.613} = 1.223$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{78.387+37.998} = 1.633$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{81.695+31.710} = 1.675$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{80.463+34.898} = 1.647$	A
G2 (내측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{155.829}{84.873+42.963} = 1.219$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{77.500+39.231} = 1.628$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{81.090+36.071} = 1.622$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{190}{78.264+36.681} = 1.653$	A

② 내하력평가 결과

ⓐ 바닥판의 기본 내하력 산정 결과

내하율(RF) =	$\frac{\Phi Mn - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$	=	$\frac{105.88 - 1.3 \times 5.469}{2.15 \times 33.280}$	= 1.380
기본내하력(P)	Ks × RF × Pr =		1.0 × 1.380 × 24 =	DB 24이상

바닥판의 안전성은 양호한 것으로 나타났고, 기본내하력도 설계내하력 이상인 것으로 평가되었다.

ⓑ 거더의 기본 내하력 산정 결과

구 분	G1(상연)		G1(하연)	
	중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
허용응력 (f_a), MPa	155.829	190.000	190.000	190.000
고정하중응력 (f_d), MPa	85.845	81.695	78.387	80.463
활하중응력 (f_l), MPa	41.613	31.710	37.998	34.898
내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$	1.682	3.416	2.937	3.139
기본내하력 P= K_s× RF× P_r	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상

구 분	G2(상연)		G2(하연)	
	중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
허용응력 (f_a), MPa	155.829	190.000	190.000	190.000
고정하중응력 (f_d), MPa	84.873	81.090	77.500	78.264
활하중응력 (f_l), MPa	42.963	36.071	39.231	36.681
내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$	1.652	3.019	2.868	3.046
기본내하력 P= K_s× RF× P_r	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상

거더 내하력 평가 결과 기본 내하력이 설계활하중인 DB-24, DL-24의 내하력을 상회하는 것으로 나타나 대상교량의 사용성 측면과 안전성 측면에서 설계내하력 이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

2.3.3 기존 정밀안전점검 분석

<표 2.4> 기존 정밀안진진단 분석

번호	점검·진단 기간	점검 및 진단 기관명	상태 등급	주요점검· 진단내용
	점검·진단 구분	점검·진단 책임기술자		검토·분석내용
1	2021.04.19. ~ 2021.06.09	주식회사 다인기술단	B	• 바닥판 균열(W<0.3㎜), 바닥판 백태 • 거더 도장박리 • 교대 균열(W<0.3mm), 교대 누수흔적, 교대 파손, 교각 균열(W<0.3mm), 교각 파손 • 받침콘크리트 균열 • 아스콘 균열, 파손, 포트홀 • 방호벽 균열, 방호벽 접속부 단차, 데리네이트 파손, 방호벽 망상균열, 들뜸, 박리, 방호벽 표면 재료분리, 방호벽 파손, 철근노출, 접속부 포장균열, 이격 • 차수커버 볼트탈락, 차수커버 철판절단, 후타재 균열
	정밀안전 점검	김병춘		☞ 검토의견 - 조사된 손상에 대한 표면처리, 도장보수, 아스팔트실링, 아스팔트팻칭, 주입보수, 데리네이트 설치, 볼트재설치, 차수커버 재설치 등의 보수 및 주의관찰이 필요함

가) 외관조사 분석

구 분	점검 결과	검토의견
바닥판	바닥판은 대부분 Deck Plate로 마감된 상태로서 측면 캔틸레버 구간에서 건조수축에 의한 균열 및 백태가 간헐적으로 조사되었다.	균열 및 백태 손상 진전 여부
강재주형 및 2차부재	강박스구간은 강재변형, 용접부 균열, 연결부 볼트 이완 등 구조적인 결함은 없는 상태이나 외부 표면에서 도장박리 등의 표면손상이 일부 조사되어 내구성 저하 방지를 위한 국부적 보수가 필요할 것으로 사료된다. 2차부재는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.	도장손상 추가 및 진전 여부
교대 및 교각	교대, 교각부에서 균열, 파손 등의 현상이 소규모로 발생된 상태로 일부 손상에 대해서는 국부적 보수가 요구되나 전반적 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다.	균열, 파손 등 진전여부, 신규손상 발생여부 확인
교량받침	받침장치는 면진받침으로서 편기 및 파손 등의 특별한 가동 장애요소는 없는 것으로 나타났고 받침콘크리트에 균열이 일부 조사되었으나 현시점에서 보수필요성은 없을 것으로 사료된다.	균열 진전 여부, 가동여유량 검토
신축이음	신축이음장치는 강재계열로서 통행 및 신축 거동에 영향을 미칠 결함 및 손상은 발견되지 않았으며 차수커버 및 후타재 콘크리트에서 강판절단, 콘크리트 균열 등의 손상이 일부 조사되었다.	균열 등의 손상 진전여부, 보수 및 보수부 확인

구 분	점검 결과	검토의견
교면포장	교면포장은 지속적인 관리로 인해 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었으나 시점램프구간에서 아스콘 균열 및 경미한 파손, 포트홀 등의 손상이 간헐적 조사되었다.	램프구간 손상 진전여부
배수시설	배수시설은 측면 방호벽 앞으로 유도배수를 설치한 상태로서 배수구 주변 물고임 등의 현상은 없으며 시설 부족에 따른 구조적 문제점은 없는 것으로 판단되고 외관상태도 양호한 것으로 조사되었다.	배수 지장여부 확인
난간, 연석	난간 및 중분대는 콘크리트 방호벽으로서 0.1mm 내외의 수직균열 및 재료분리, 파손, 피복부족에 따른 철근 노출, 보수도막 들뜸 등의 손상이 간헐적 발생된 상태이나 대부분 소규모의 경미한 상태로서 손상규모에 따른 국부적 보수가 바람직 할 것으로 사료된다.	균열, 철근노출, 파손 등 진전 여부 확인

나) 비파괴조사 분석

구 분	시험 결과	검토의견
콘크리트 강도	· 상부구조 비파괴 강도 : 27.1 ~ 28.9 MPa (반발경도법) · 하부구조 비파괴 강도 : 24.6 ~ 28.0 MPa (반발경도법) · 설계기준강도(상부구조: 27 MPa, 하부구조: 24 MPa)를 상회하는 것으로 측정됨.	대체로 양호한 것으로 판단됨, 적정 수량에 맞는 비파괴 강도 검토
탄산화 시험	· 상부구조 탄산화 깊이 : 4.0~9.0 ㎜ (기준 a) · 하부구조 탄산화 깊이 : 6.0~8.0 ㎜ (기준 a) · 일반적인 구간에서 탄산화에 의한 부식발생 우려는 없을 것으로 판단됨.	대체로 양호한 것으로 판단됨, 탄산화 깊이 진행상태 및 측정부위의 실측피복과 비교 검토

다) 상태평가 평가 분석

1) 범물방향

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소	
번호		구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)
S1	A1	STB	a	b	a	a	a	b	b	b	b	Q	a	a
S2	P1	STB	a	a	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-
S3	P2	STB	a	a	a	a	a	b	-	b	b	Q	-	-
S4	P3	STB	a	b	a	a	a	b	-	b	b	Q	-	-
S5	P4	STB	a	a	a	a	a	b	-	a	a	Q	-	-
S6	P5	STB	a	a	a	a	a	b	-	b	b	Q	-	-
S7	P6	STB	a	a	a	a	a	b	-	b	b	Q	-	-
S8	P7	STB	n	b	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-
/	A2	STB	-	-	-	-	-	-	b	a	b	Q	-	-
평균			0.113	0.138	0.100	0.100	0.100	0.200	0.200	0.156	0.189	-	0.100	0.100
가중치			18	20	5	7	3	2	9	9	20	-	4	3
(평균x가중치) /가중치합			0.020	0.028	0.005	0.007	0.003	0.004	0.018	0.014	0.038	-	0.004	0.003
1. 환산결함도 점수 =													**0.144**	
2. 상태평가 결과 =													**B**	

2) 안심방향

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소	
번호		구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)
S1	A1	STB	a	b	a	a	a	b	b	b	b	Q	b	-
S2	P1	STB	a	b	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-
S3	P2	STB	a	a	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-
S4	P3	STB	a	b	a	a	a	b	-	b	b	Q	-	a
S5	P4	STB	b	a	a	a	a	b	-	b	b	Q	a	-
S6	P5	STB	a	a	a	a	a	b	-	a	a	Q	-	-
S7	P6	STB	a	b	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	-
S8	P7	STB	a	b	a	a	a	b	-	a	b	Q	-	a
/	A2	STB	-	-	-	-	-	-	b	a	b	Q	-	-
평균			0.113	0.163	0.100	0.100	0.100	0.200	0.200	0.133	0.189	-	0.150	0.100
가중치			18	20	5	7	3	2	9	9	20	-	4	3
(평균x가중치) /가중치합			0.020	0.033	0.005	0.007	0.003	0.004	0.018	0.012	0.038	-	0.006	0.003
1. 환산결함도 점수 =													**0.147**	
2. 상태평가 결과 =													**B**	

라) 종합결론

1) 교량 전 구간에 결함도 지수를 이용한 상태평가 등급이 『B』 (0.145)로 나타나 종합 안전등급은 『B등급』으로 평가되었다.

2) 현재 교량의 구조적 문제점에 따른 정밀안전진단 필요성은 없을것으로 판단되며, 발생된 결함 및 손상에 대해서도 시급한 보수를 요하는 손상은 없으며 장기적 관점에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 사료된다.

3) 전회차 점검이후 보수를 통한 손상의 감소로 인해 상태점수가 일부 상향된 상태로서 보고서에 제시된 유지관리 항목들에 대한 지속적인 관리가 시행된다면 구조물의 안전성 및 사용성을 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

2.4 보수 · 보강 이력

대상 교량에 대한 보수 · 보강 이력은 FMS의 시설물관리대장 및 관리주체로부터 제공받은 사항이며 대체로 내구성, 주행차량의 안전 및 주행성 저하방지 차원의 보수가 시행된 것으로 판단된다.

<표 2.5> 보수 · 보강 이력

구 분	일 자	내 용	비 고
1	2011년 03월	교면포장 재포장(오버레이 등, 227300천원)	㈜협우건설
2	2012년 12월	연호고가교 아래 배수로 보수공사(40,760천원)	㈜삼우케미칼
3	2013년 05월	중분대 및 난간 콘크리트 중성화 방지공사(125,000천원)	㈜일송테크
4	2015년 11월	거더 도장공사(840,718천원)	㈜합동건설
5	2016년 04월	교면포장 재포장(절삭후 재포장, 10,000천원)	대익건설(주)
6	2017년 07월	신축이음 교체(A1 : 핑거조인트, A2 : 저소음 내진형) (231,375천원)	(주)새움씨앤씨
7	2018년 05월	종조인트부 유도배수관 탈락 및 변형으로 인한 재설치(S7~S8)(9,680천원)	(주)천수
8	2018년 12월	포장 절삭, 교면방수(BAS 교량복합방수공법) 후 아스콘포장 및 시설물 설치(441,334천원)	(주)대남건설
9	2019년 09월	거더외부, 교량받침, 바닥판, 교대, 교각 균열 표면처리, 단면보수, 재도장 등(11,545천원)	(주)천수
10	2020년 08월	방호벽 균열 백대 표면처리, 중분대 단면파손 보수, 배수관 길이부족 연장, 바닥판 백태 표면처리, 거더 외부 도장박리 재도장 등(14,916천원)	(주)천수

2.5 시설물의 내진설계 여부 확인

본 교량에 적용된 내진설계 관련 내용은 '대구광역시 4차 순환도로(고산국도~안심국도)건설 실시설계'에서 발췌하였다.

2.5.1 내진설계 내용

내진설계 (Seismic Analysis)

(1) 교량의 내진등급 : 내진 1등급 (도시 P166)

(2) 가속도계수 (A) : 0.14

(3) 지반계수 (S) : 1.0

(4) 해석방법 : Single Mode Spectral Analysis Method

(5) 응답수정계수 (R)

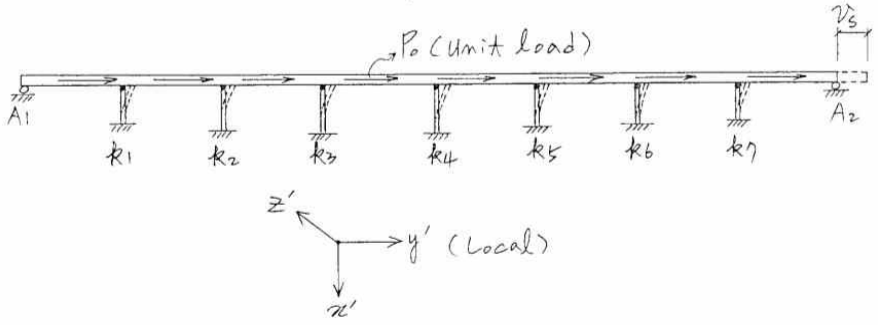
- 기둥 본체 : 다주가주 R = 5
- 연결부분 : 상부구조와 교대 R = 0.8
  교각, 말뚝가주 R = 1.0
  교각과 확대기초 R = 1.0
- 확대기초 : $R = 5 \times \frac{1}{2} = 2.5$

(6) 교량 제원

- 8경간 연속 강합성 상자형 교
- L = 3@50 + 60 + 4@50 = 410 m
- 교각 : 철근콘크리트 다주형 교각
- 교대 : 캔틸레버식 교대
- 교폭 : B = 28.9 m
- 교량등급 : 1등교 (DB-24)

3. 종방향 지진하중

(1) 종방향 진동 Mode에 대한 주요 Model



(13) 종방향 지진운동에 의한 교량의 부재력

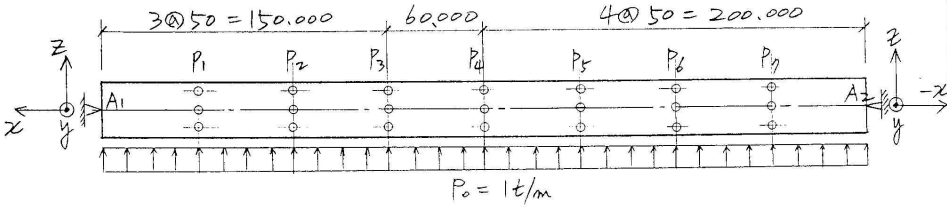
위치		종전단력 : V_y' (tom)	종모멘트 : M_z' (tm)
ABUT.1		0	0
PIER.1		319.722	187.415 (151.495)*
PIER.2		319.722	1115.990 (223.198)*
PIER 3	기둥본체	319.722	1835.524 (367.105)*
	연결부분	319.722	1835.524
	확대기초	319.722	1835.524 (734.210)*
PIER.4		319.722	1725.220 (345.044)*
PIER.5		319.722	1524.115 (304.823)*
PIER.6		319.722	1155.315 (231.063)*
PIER.7		319.722	856.375 (171.275)*
ABUT.2		0	0

( )* : 교대및 기둥의 응답수정계수 (R) 0.8 및 5 로 나눈값
기둥의 휨모멘트 및 전단력은 나누지 않음.
확대기초에서 R : 교각(기둥)의 R값의 $\frac{1}{2}$ 사용 ($\because 2.5$)

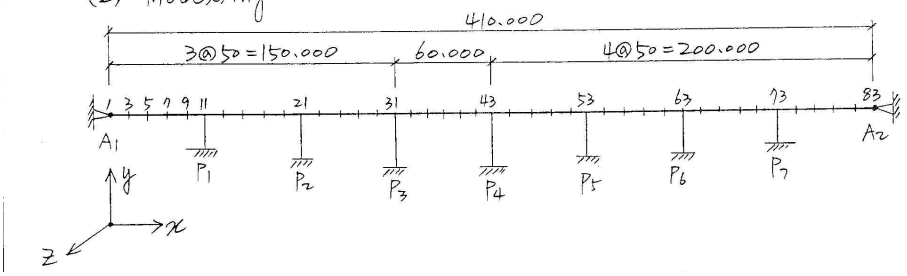
※ PIER의 경우는 기둥 1개소당 부재력 임.

4. 횡方向 지진하중

(1) Structural Analysis Program (SAP90)을 이용하여 횡방향 單位荷重 ($P_o = 1\ t/m$)에 의한 횡方向 變位를 계산.



(2) Modelling



※. 횡방向 變位 $V_s(x)$는 5m 간격으로 결정하고
횡방向 지진하중강도 $P_e(x)$는 10m 간격으로 결정하여
횡방向 지진하중을 계산함.

○. 상부구조 (Superstructure) 하중

상행선 = 1.817 + 1.286 + 8.202 = 23.305 t/m

하행선 = 1.817 + 1.286 + 8.202 = 23.305 t/m

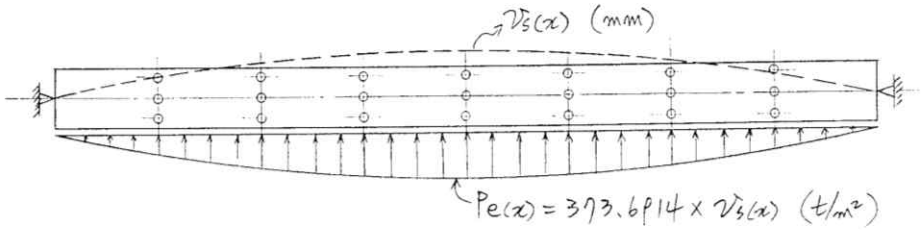
(8) 횡방향 지진하중 강도 ($P_e(x)$)

$$P_e(x) = \frac{\beta \cdot C_s \cdot W(x) \cdot V_s(x)}{g}$$

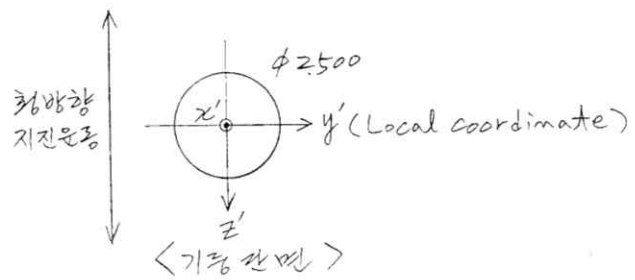
$$= \frac{84.301 \times 0.1684 \times 23.305 \times V_s(x)}{0.8817}$$

$$= 373.6914 \times V_s(x) \quad t/m^2$$

※. 위와 같이 결정된 횡방향 지진하중 $P_e(x)$의 값은
(4)의 TABLE에 표기 하였으며,
이 값($P_e(x)$)을 작용시켜 각 교각의 부재력을
전산해석 program을 이용하여 계산함.



〈등가정적 지진하중〉



〈기둥 단면〉

5. 처대 지진력

: 산정을 위해 해석결과로 부터 처대지진력과 처대 휨모멘트를 발고있는 PIER 4 와 ABUT.1 , ABUT 2 에 대해 하중경우1 (LOAD CASE 1), 하중경우 2 (LOAD CASE 2) 의 처대 부재력을 정리함.

위치	부재력		하중경우 1 (1.0종+0.3횡)	하중경우 2 (1.0횡+0.3종)
ABUT.1	Vz' (횡전단력, t)		0+20.725×0.3=6.218	20.725+0 =20.725
ABUT.2	Vz' (횡전단력, t)		0+10.300×0.3=3.090	10.300+0 =10.300
PIER 3	Vy' (종전단력, t)		318.722+0 = 318.722	0+318.722×0.3= 95.917
	Vz' (횡전단력, t)		0+183.459×0.3=55.038	183.459+0 =183.459
	Mzz' 종모멘트 (t·m)	기둥 몸체	367.105+0 =367.105	0+367.105×0.3=110.132
		연결 부분	1835.524+0 = 1835.524	0+1835.524×0.3= 550.657
		확대 기초	734.210+0 =734.210	0+734.210×0.3=220.263
	Myy' 횡모멘트 (t·m)	기둥 몸체	0+370.580×0.3=111.174	370.580+0 =370.580
		연결 부분	0+1852.901×0.3=555.870	1852.901+0 =1852.901
		확대 기초	0+741.160×0.3=222.348	741.160+0 =741.160

※. 전단력의 단위 : tom , 휨모멘트의 단위 : t·m 임.

6. 산개 변위

: 종방향 지진운동에 의한 종방향 변위 (교대)

N = 0.0016 m = 1.6 mm

: 최소 받침 지지 길이 (교대)

N = 200+0.0017L+0.0067H (mm) (도시P775)

= 200+0.0017×410×1000 + 0.0067×8.043×1000

= 950.9 mm

∴ 교대의 최소 받침 지지 길이 N = 951 mm 임.

2.5.2 내진성능평가 필요여부

본 교량은 설계시 내진설계가 적용되었으나 준공 이후 내진성능평가가 실시되지 않았으므로 금회 정밀안전진단에서 내진성능평가를 실시하여야 하며 그 내용은 본 보고서 '제6장 내진성능 평가' 에 수록하였다.

2.6 자료분석 결과요약

본 과업의 효과적인 용역 수행을 위하여 건설관련 자료와 유지관리 자료 등을 입수하였으며, 수집 자료를 검토한 결과 및 진단과업 진행방향은 다음과 같다.

<표 2.6> 자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 대구광역시 4차 순환도로(고산국도～안심국도)건설 실시설계 - 구조 및 수리계산서 - 구조물도 등	◇ 구조계산서 및 구조물도는 당시 설계기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 설계도면과 실측 제원 비교시 주요 부재에 대하여 전반적으로 동일함	◇ 2018년 전구간 재포장 실시되었으므로 보수이후 신규손상 발생 여부에 대한 검토가 필요함 ◇ 유도배수관 재설치이후 신규손상 발생에 대한 검토가 필요함 ◇ 구조계산서 등을 검토한 결과 내진설계가 적용된 것으로 확인되었으나 준공후 내진성능평가가 미실시되어 금회 내진성능평가를 수행하여야 함.
유 지 관 리 자 료	◇ 정밀안전점검 및 정밀안전진단 보고서	◇ 공사중 및 준공후 20년간 공용하면서 안전성에 문제가 없는 양호한 상태로 검토됨 ◇ 2018년 전구간 재포장, 유도배수관 재설치 등의 보수가 실시되었음 ◇ 일부 기발생된 손상에 대하여 보수가 필요한 상태임	
	◇ 보수・보강 이력	◇ 보수 및 보강 이력은 관리주체에 제공받아 검토하였으며 대체로 내구성 저하 방지를 위한 보수가 실시됨	

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요
3.2 하중조사
3.3 외관조사
3.4 콘크리트 내구성 조사
3.5 강재 내구성 조사
3.6 내구성 조사 결과요약

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

본 과업의 대상 교량인 '연호고가교'는 대구광역시 수성구 연호동에 위치하고 있으며, 총연장 410.0m, 교폭은 28.9m의 왕복 6차선 교량으로 상부구조는 분리되었으나 하부구조는 일체형으로 시공된 상태이다. 곡선교로서 상부구조는 Steel Box Girder 형식이며 최대경간장은 60.0m 이며, 하부구조는 역T형 교대(A1, A2), 다주식 라멘형 교각(P1~P7)으로 구성되어있다. 교량의 기하하적 형상은 교량 중앙부에서 시점으로 3.6367%, 종점으로 -4.8453% 의 경사를 이루며, 횡단구배는 안심방향으로 -2% 의 경사를 이루고 있다.

2002년 08월 24일에 준공되어 약 20년이 경과된 본 교량에 대한 외관조사는 교량 물리적, 기능적 결함을 발견하고 구조적인 안전성의 판단을 목적으로 부재 전체에 대하여 가능한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 사전 현장답사를 통해 주변 교통여건을 파악하여 현장접근에 필요한 고소작업차 등의 장비 동원과 일정계획을 수립하여 교량의 외관상태를 조사하였다.

외관조사는 주요부재 및 보조부재에 대하여 현재 상태를 확인하며, 특히 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무와 향후 유지관리시 중점점검사항을 고려하여 실시하였다. 외관조사시 확인된 결함과 손상내용에 대해서는 사진을 촬영하고 외관조사망도에 수록하여 향후 보수·보강 및 점검 등의 유지관리에 효율적으로 활용될 수 있도록 하였다.



<그림 3.1> 연호고가교 측면 전경

<표 3.1> 부재별 조사항목

구 분		조 사 항 목	비 고
상부 구조	바닥판	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리 • 누수, 백태, 표면오염	
	강재 거더	• 강재 균열, 파손, 변형, 용접부 손상 • 연결부 부식, 이완, 이상음, 볼트 파손 • 표면상태 오염, 부식, 가로보 연결불량 • 강박스 거더 내부로의 우수 유입	
하부 구조	교대	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료분리 • 교대의 이동 및 회전 유무, 거더 또는 바닥판과 협착 유무	
	교각	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리	
	기초	• 세굴, 침하, 파손, 침식	
교면포장		• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 물고임(체수)	
배수시설		• 파손, 배수관 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치불량	
연석 및 난간		• 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	
교량 받침	탄성 받침	• 균열, 부식, 변형, 파손 • 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손	
신축이음		• 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 • 후타재의 균열, 파손, 단차, 포장면 사이 이격	



<그림 3.2> 고소작업차 등을 이용한 외관조사

3.2 하중조사

본 교량에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>상부구조 안심방향 전경</td><td>상부구조 범물방향 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>하부구조 전경(A1)</td><td>하부구조 전경(P3)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>방호벽 제원 측정</td><td>방음벽 제원 측정</td></tr>
</table>

3.3 외관조사

3.3.1 상부구조

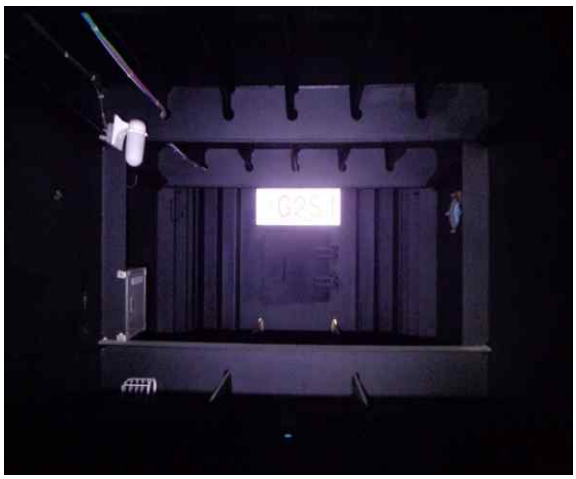
가) 강박스 거더

연호고가교의 주부재인 Steel Box Girder는 각 방향별 3열로 총 6열 배치되어 있는 상태이다.

거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였다. 특히, 피로균열 발생부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장 손상 등 안전성 및 내구성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.




거더 외부 전경

거더 내부 전경

1) 외관조사 결과

① 거더 외부

강재 거더 외부는 기 발생한 박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리 등이 일부 발생된 상태이다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>S4-G1 도장박리(안심방향)</td><td>S5-G3 도장박리(안심방향)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>S4-G1 도장박리(범물방향)</td><td>S8-G1 도장박리(범물방향)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">S2-G3 도장박리 보수실시(안심방향)</td></tr>
</table>

<표 3.2> 거더 외부 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
거더외부	도장박리	㎡	4.40	57	

구분	손상현황
	도장박리(㎡)
S1	-
S2	-
S3	-
S4	0.94
S5	0.35
S6	-
S7	0.37
S8	2.74
합계	4.40

② 거더 내부

강재 거더 내부는 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등이 조사되었다.



S1-G2 도장박락(범물방향)



S3-G3 SP 볼트부식(범물방향)



S3-G3 도장들뜸(범물방향)



S5-G3 표면오염(범물방향)



S4-G2 기공(PIN홀)(범물방향)



S1-G2 점검등 덮개탈락(스위치BOX)(범물방향)



S7-G1 기보수부 상태양호(안심방향)



S3-G3 SP 실링부 상태양호(안심방향)

<표 3.3> 거더 내부 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
거더내부	도장들뜸, 박락	㎡	2.78	7	
	표면오염	㎡	5.00	1	
	볼트부식	개소	22	22	
	실링처리미흡	개소	2	2	
	점검등덮개탈락, 파손, 불량	개소	17	17	
	기공	개소	1	1	

구분	손상현황					
	도장들뜸, 박락 (㎡)	표면오염 (㎡)	볼트부식 (개소)	실링처리미흡 (개소)	점검등덮개탈락, 파손, 불량 (개소)	기공 (개소)
S1	0.1	-	-	-	2	-
S2	0.1	-	-	-	3	-
S3	2.58	-	22	-	4	-
S4	-	-	-	-	5	1
S5	-	5.00	-	-	2	-
S6	-	-	-	-	-	-
S7	-	-	-	2	1	-
S8	-	-	-	-	-	-
합계	2.78	5.00	22	2	17	1

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

① 거더 외부

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기점검 이후 도장박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리가 추가 조사되었다.

<표 3.4> 거더 외부 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
도장박리	㎡/개소	30.57 / 33	4.40 / 57	▼26.17 / ▲24	보수,신규

② 거더 내부

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등에 대한 손상이 추가 조사되었다.

<표 3.5> 거더 내부 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
도장들뜸, 박락	㎡/개소	- / -	2.78 / 7	▲2.78 / ▲7	신규
표면오염	㎡/개소	- / -	5.00 / 1	▲5.00 / ▲1	신규
볼트부식	개소	- / -	22 / 22	▲22 / ▲22	신규
실링처리미흡	개소	- / -	2 / 2	▲2 / ▲2	신규
점검등덮개탈락, 파손, 불량	개소	- / -	17 / 17	▲17 / ▲17	신규
기공	개소	- / -	1 / 1	▲1 / ▲1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

① 거더 외부

- 도장박리 - 약 21년의 공용기간중 외기노출 및 경년열화에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보 및 도장손상에 따른 부식을 방지하기 위한 도장보수를 실시하는 것이 필요하다.

② 거더 내부

- 도장들뜸, 박락, 볼트부식 - 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다.
- 표면오염 - 현장 이음부 틈을 통해서 유입된 누수흔적으로 판단되며, 우천시 우수유입에 따른 2차손상 발생 우려가 있으므로 현장 이음부 실란트 충전을 통한 보수가 필요하다.
- 실링처리미흡 - 우수유입 방지를 위한 실란트 충전이 요구된다.
- 점검등 덮개탈락, 파손, 불량 - 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 필요하다.
- 기공 - 시공미흡 등에 의한 것으로 손상의 정도가 경미하므로 주의관찰이 요구된다.

나) 가로보

연호고가교의 2차부재는 가로보가 있으며 가로보는 약 5.0m 간격으로 설치되어있는 상태이다.




가로보 전경

1) 외관조사 결과

가로보는 전반적으로 양호하나 이물질퇴적(조류서식)이 1개소 조사되었다.

	
S4-G2~3 이물질퇴적(조류서식)	가로보 상태 양호

<표 3.6> 가로보 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
가로보	이물질퇴적 (조류서식)	개소	1	1	

구분	손상현황
	이물질퇴적(조류서식) (개소)
S1	-
S2	-
S3	-
S4	1
S5	-
S6	-
S7	-
S8	-
합계	1

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 이물질퇴적(조류서식)이 1개소 추가 조사되었다.

<표 3.7> 가로보 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
이물질퇴적 (조류서식)	개소	- / -	1 / 1	▲1 / ▲1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 이물질퇴적(조류서식) - 정비를 통한 보수가 필요하며, 기 손상외에 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.

다) 콘크리트 바닥판

연호고가교의 바닥판은 철근콘크리트 구조로 시공되어있는 상태이며, 캔틸레버부를 제외한 내측은 데크플레이트가 시공되어있다.



바닥판하면 전경(데크플레이트)



바닥판하면 전경(캔틸레버부)

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 데크플레이트 구간은 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레러부에 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트부 누수가 조사되었다.



S3 종조인트부 누수



S3 백태(범물방향)



S4 백태(범물방향)



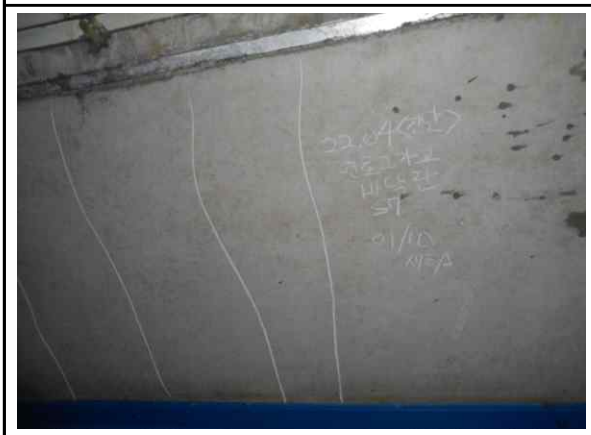
S7 균열(Cw=0.1mm)(범물방향)



S2 백태(안심방향)



S4 백태(안심방향)



S7 균열(Cw=0.1mm)(안심방향)



데크플레이트부 상태양호

<표 3.8> 바닥판 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
바닥판 하면	균열(0.3mm미만)	m	7.50	9	
	백태	㎡	1.66	11	
	박리	㎡	0.09	9	
	종조인트 누수	m	10.00	1	

구분	손상현황			
	균열(0.3mm미만)(m)	백태(㎡)	박리(㎡)	종조인트 누수(m)
S1	-	-	-	-
S2	-	0.25	-	-
S3	-	0.08	0.03	10.0
S4	-	0.65	-	-
S5	1.50	-	0.06	-
S6	-	-	-	-
S7	6.00	0.50	-	-
S8	-	0.18	-	-
합계	7.50	1.66	0.09	10.0

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트 누수 등의 손상이 추가 조사되었다.

<표 3.9> 바닥판 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	1.5 / 3	7.50 / 9	▲6.00 / ▲6	신규
백태	㎡/개소	0.18 / 2	1.66 / 11	▲1.48 / ▲9	신규
박리	㎡/개소	- / -	0.09 / 9	▲0.09 / ▲9	신규
종조인트 누수	m/개소	- / -	10.00 / 1	▲10.0 / ▲1	신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 대체로 초기 건조수축에 의해 발생된 방향성이 없는 표면균열로 판단되며, 비구조적인 손상이나 우수유입, 온도변화 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 내구성 확보 차원에서 표면처리 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 백태 - 손상부를 통한 우수유입, 수분접촉, 종조인트 누수 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다.
- 박리 - 시공시 다짐불량, 외부충격, 우수유입, 온도변화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 정도는 경미하나 내구성 확보차원의 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 종조인트 누수 - 종조인트부로 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다.

3.3.2 하부구조

본 교량의 하부구조는 철근콘크리트 구조로써 교대는 역T형이며, 기초는 파일기초이다. 교각은 다주식 라멘형(P1~P7)으로 기초는 파일기초(P1, P2), 직접기초(P3~P7)로 시공되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교대 A1 전경</td><td>교대 A2 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교각 P1 전경</td><td>교각 P3 전경</td></tr>
</table>

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 기 발생한 교각 코핑부 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 표면오염(녹물) 등이 조사되었다.

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">A1 흉벽 파손</td></tr>
</table>



A1 흉벽 균열(Cw=0.2mm)



A2 흉벽 백태



A2 흉벽 파손



P1 코핑 균열(Cw=0.2mm)



P1 코핑 표면오염(녹물)



P1 코핑 백태



P3 기둥 망상균열



P6 코핑 균열(Cw=0.2mm)



P6 기둥 파손 보수실시

<표 3.10> 하부구조 외관조사 결과

구분		손상현황	단위	손상물량	개소	비고
하부구조	교대	균열(0.3mm미만)	m	4.90	4	
		백태	㎡	0.04	1	
		누수흔적	㎡	28.4	5	
		파손	㎡	1.29	2	
	교각	균열(0.3mm미만)	m	56.10	47	
		망상균열	㎡	106.0	29	
		백태	㎡	0.24	12	
		표면오염(녹물)	㎡	5.00	1	

구분	손상현황					
	균열 (0.3mm미만) (m)	망상균열 (㎡)	백태 (㎡)	누수흔적 (㎡)	표면오염 (녹물) (㎡)	파손 (㎡)
A1	4.90	-	-	24.4	-	1.20
A2	-	-	0.04	4.00	-	0.09
P1	17.10	20.00	0.24	-	5.00	-
P2	3.80	14.00	-	-	-	-
P3	8.10	12.00	-	-	-	-
P4	4.00	15.25	-	-	-	-
P5	12.60	37.00	-	-	-	-
P6	9.00	-	-	-	-	-
P7	1.50	7.75	-	-	-	-
합계	61.00	106.00	0.28	28.4	5.00	1.29

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 교각 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 누수흔적, 파손, 표면오염(녹물) 등이 추가 조사되었다.

<표 3.11> 하부구조 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
교대	균열(0.3mm미만)	m/개소	3.4 / 3	4.90 / 4	▲1.50 / ▲1	보수
	백태	㎡/개소	- / -	0.04 / 1	▲0.04 / ▲1	신규
	누수흔적	㎡/개소	2.7 / 4	28.4 / 5	▲25.7 / ▲1	신규
	파손	㎡/개소	1.2 / 1	1.29 / 2	▲0.09 / ▲1	신규
교각	균열(0.3mm미만)	m/개소	20.1 / 18	56.10 / 47	▲36.0 / ▲29	보수
	망상균열	㎡/개소	23.7 / 9	106.0 / 29	▲82.3 / ▲20	신규
	백태	㎡/개소	- / -	0.24 / 12	▲0.24 / ▲12	신규
	표면오염(녹물)	㎡/개소	/	5.00 / 1	▲5.00 / ▲ 1	신규
	파손	㎡/개소	0.08 / 1	- / -	▼0.08 / ▼ 1	보수

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 장기간 우수 및 외기에 의한 수분접촉시 표면열화에 따른 박리 또는 내부 철근의 부식 팽창 등에 의해 박락이 발생될 수 있으므로 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 필요하다.
- 백태 - 신축이음부 우수유입, 외기노출, 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다.
- 표면오염(녹물), 누수흔적 - 신축이음부 우수유입, 외기노출 등에 의한 것으로 판단되며, 진전여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다. 보수시 신축이음부와 연계된 보수가 필요하다.
- 파손 - 시공미흡, 우수유입, 온도변화 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다.

3.3.3 교량받침

본 교량의 교량받침은 납면진받침(L.R.B)으로 거더당 2개소씩 배치되어 있으며, 총 108개소가 설치되어있다. 교량받침은 상부구조의 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재로써 본 조사에서는 과반력 및 부반력 발생여부, 온도변화에 의한 신축거동 여부뿐만 아니라 강재부식, 콘크리트 손상 여부 등 내구성, 기능성 등에 대한 조사를 실시하였다.

교량받침 현황 및 배치도는 다음과 같다.

: 양방향 가동단

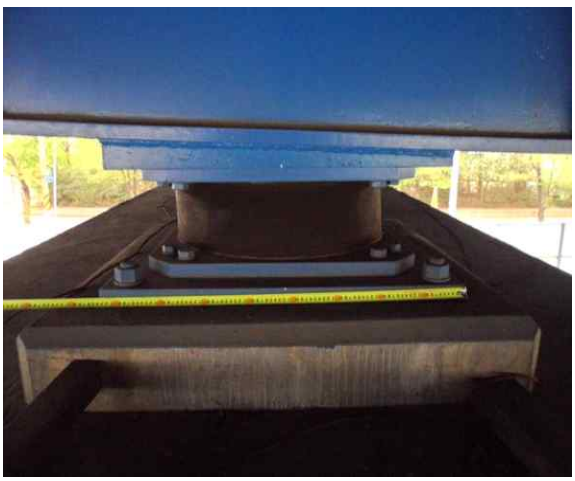
구분		A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	A2	계
230 TONF		12								12	24
440 TONF			12	12	12	12	12	12	12		84



양방향 가동단



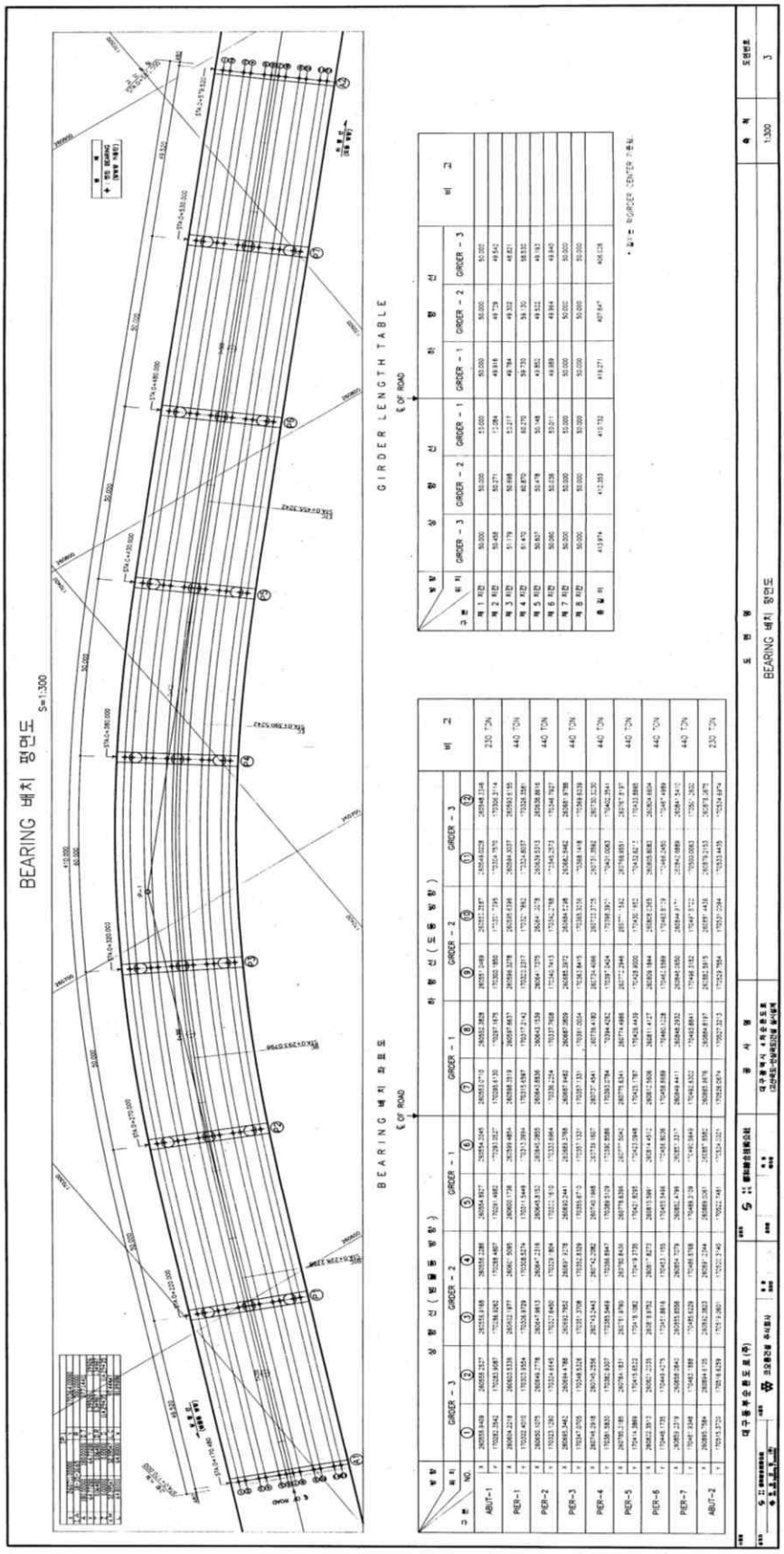
양방향 가동단



양방향 가동단



양방향 가동단



교량받침 배치도

가) 외관상태

1) 외관조사 결과

전반적인 가동상태는 양호하며 외관조사 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 조사되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>A2-SH10 받침콘크리트 균열(폭:0.1mm)</td><td>P2-SH5 상부플레이트 도장박리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>P2-SH9 하부플레이트 도장박리</td><td>P5-SH4 받침콘크리트 균열(폭:0.2mm)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>A2-SH8 받침콘크리트 균열 보수실시</td><td>P5-SH2 받침콘크리트 균열 보수실시</td></tr>
</table>



P3-SH7 받침콘크리트 균열(Cw=0.2mm)

<표 3.12> 교량받침 외관조사 결과

구분		손상현황	단위	손상물량	개소	비고
교량받침	받침콘크리트	균열(0.3mm미만)	m	7.20	27	
	본체	도장박리	㎡	1.97	19	

구분	손상현황	
	받침콘크리트 균열(0.3mm미만) (m)	본체 도장박리 (㎡)
A1	-	-
A2	0.80	-
P1	0.90	1.35
P2	0.90	0.33
P3	0.30	0.05
P4	1.00	-
P5	-	0.15
P6	3.30	0.09
P7	-	-
합계	7.20	1.97

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 추가 조사되었다.

<표 3.13> 교량받침 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
받침콘크리트	균열(0.3㎜미만)	㎡/개소	9.0 / 45	7.20 / 27	▼1.80 / ▼18	보수,신규
본체	도장박리	㎡/개소	- / -	1.97 / 19	▲1.97 / ▲19	신규

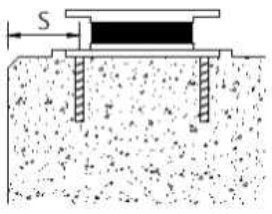
3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 표면처리를 실시하는 것이 필요하고, 보수시 표면정리, 적합한 보수재 사용 등에 대해 주의를 기울여야 한다.
- 도장박리 - 시공미흡, 우수유입, 외기노출, 공용기간 경과 등에 의해 발생한 손상으로 장기적인 내구성 확보를 위하여 도장보수가 필요하다.

나) 연단거리 조사

받침장치는 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위로 연단거리가 짧으면 고정단에서는 교각 및 교대의 전면에서 콘크리트가 파손되거나 받침이 파손되며 가동단에서는 받침이 벗어나 심한 경우 주형이 낙하할 수도 있다. 따라서 교량의 교축방향의 받침 연단과 하부구조 정부(頂部)연단 사이의 거리는 다음 값(S) 이상이어야 한다.

교량의 받침 연단거리 측정은 다음과 같이 측정한다.



<고무받침>

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L

도로교설계기준 (2010)

- S1~S3, S5~S8 : L=50.0m → S = 200 + 5×50.0 = 450㎜
- S4 : L=60.0m → S = 200 + 5×60.0 = 500㎜




연단거리 측정

<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과

구분		경간길이 (시/종, m)	최소연단거리 (시/종, ㎜)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(㎜)	종점측(㎜)		
A1	Sh1	-/50	-/450	-	760	양호	
	Sh2	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh3	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh4	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh5	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh6	-/50	-/450	-	760	양호	
	Sh7	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh8	-/50	-/450	-	770	양호	
	Sh9	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh10	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh11	-/50	-/450	-	750	양호	
	Sh12	-/50	-/450	-	760	양호	
P1	Sh1	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	870	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	890	양호	
	Sh4	50/50	450/450	880	890	양호	
	Sh5	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	870	880	양호	
	Sh8	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	890	양호	
	Sh12	50/50	450/450	890	890	양호	

<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과(계속)

구분		경간길이 (시/종, m)	최소연단거리 (시/종, ㎜)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(㎜)	종점측(㎜)		
P2	Sh1	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	900	양호	
	Sh4	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	880	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh10	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	
P3	Sh1	50/60	450/500	890	880	양호	
	Sh2	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh3	50/60	450/500	900	870	양호	
	Sh4	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh5	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh6	50/60	450/500	900	890	양호	
	Sh7	50/60	450/500	900	890	양호	
	Sh8	50/60	450/500	900	880	양호	
	Sh9	50/60	450/500	890	890	양호	
	Sh10	50/60	450/500	890	870	양호	
	Sh11	50/60	450/500	890	870	양호	
	Sh12	50/60	450/500	890	870	양호	
P4	Sh1	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh2	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh3	60/50	500/450	900	870	양호	
	Sh4	60/50	500/450	880	870	양호	
	Sh5	60/50	500/450	890	880	양호	
	Sh6	60/50	500/450	890	880	양호	
	Sh7	60/50	500/450	890	870	양호	
	Sh8	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh9	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh10	60/50	500/450	900	880	양호	
	Sh11	60/50	500/450	900	870	양호	
	Sh12	60/50	500/450	900	870	양호	
P5	Sh1	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh3	50/50	450/450	880	870	양호	
	Sh4	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh6	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh7	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	

<표 3.14> 교량받침 연단거리 조사 결과(계속)

구분		경간길이 (시/종, m)	최소연단거리 (시/종, ㎜)	실측연단거리		평가	비고
				시점측(㎜)	종점측(㎜)		
P6	Sh1	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	870	양호	
	Sh3	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh4	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh5	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh9	50/50	450/450	890	860	양호	
	Sh10	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh11	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh12	50/50	450/450	890	870	양호	
P7	Sh1	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh2	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh3	50/50	450/450	890	880	양호	
	Sh4	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh5	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh6	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh7	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh8	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh9	50/50	450/450	900	880	양호	
	Sh10	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh11	50/50	450/450	900	870	양호	
	Sh12	50/50	450/450	900	870	양호	
A2	Sh1	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh2	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh3	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh4	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh5	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh6	50/-	450/-	690	-	양호	
	Sh7	50/-	450/-	690	-	양호	
	Sh8	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh9	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh10	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh11	50/-	450/-	700	-	양호	
	Sh12	50/-	450/-	700	-	양호	

교대 및 교각의 받침장치 연단거리는 설계기준을 만족하고 연단거리 부족으로 인한 이상징후가 발견되지 않는 양호한 상태이다.

다) 가동여유량 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

① 교량받침은 탄성으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.

② 교량받침의 신축거동상태 검토 시에는 이동량 측정 당시의 실측 온도를 이용하여 검토를 실시하였다.

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방, STB교))에 따른 여유량 검토

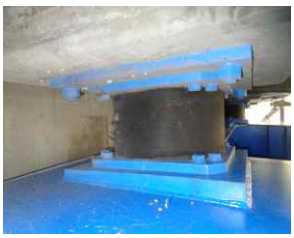
① 받침 허용이동량의 경우, 상판 제원을 측정하여 도면 정보와 비교하였다.

② 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

- 온도변화에 의한 신축량 $\Delta \ell t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$

여기서 ΔT : 온도변화, L : 신축거더 길이, α : 선팽창계수(강교 : 1.2×10^{-5})

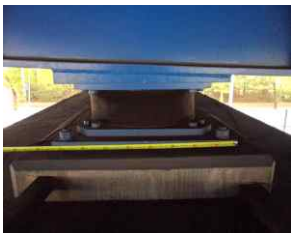
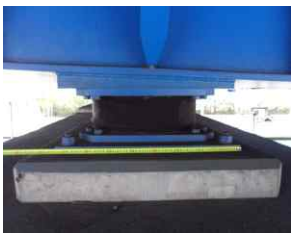
3) 현장조사(2022.04.14.)

			
A1-SH1	A1-SH2	A1-SH3	A1-SH4
			
A1-SH5	A1-SH6	A1-SH7	A1-SH8
			
A1-SH9	A1-SH10	A1-SH11	A1-SH12

			
P1-SH1	P1-SH2	P1-SH3	P1-SH4
			
P1-SH5	P1-SH6	P1-SH7	P1-SH8
			
P1-SH9	P1-SH10	P1-SH11	P1-SH12
			
P2-SH1	P2-SH2	P2-SH3	P2-SH4
			
P2-SH5	P2-SH6	P2-SH7	P2-SH8
			
P2-SH9	P2-SH10	P2-SH11	P2-SH12

			
P3-SH1	P3-SH2	P3-SH3	P3-SH4
			
P3-SH5	P3-SH6	P3-SH7	P3-SH8
			
P3-SH9	P3-SH10	P3-SH11	P3-SH12
			
P4-SH1	P4-SH2	P4-SH3	P4-SH4
			
P4-SH5	P4-SH6	P4-SH7	P4-SH8
			
P4-SH9	P4-SH10	P4-SH11	P4-SH12

			
P5-SH1	P5-SH2	P5-SH3	P5-SH4
			
P5-SH5	P5-SH6	P5-SH7	P5-SH8
			
P5-SH9	P5-SH10	P5-SH11	P5-SH12
			
P6-SH1	P6-SH2	P6-SH3	P6-SH4
			
P6-SH5	P6-SH6	P6-SH7	P6-SH8
			
P6-SH9	P6-SH10	P6-SH11	P6-SH12

			
P7-SH1	P7-SH2	P7-SH3	P7-SH4
			
P7-SH5	P7-SH6	P7-SH7	P7-SH8
			
P7-SH9	P7-SH10	P7-SH11	P7-SH12
			
A2-SH1	A2-SH2	A2-SH3	A2-SH4
			
A2-SH5	A2-SH6	A2-SH7	A2-SH8
			
A2-SH9	A2-SH10	A2-SH11	A2-SH12

<표 3.15> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	조사일 온도 (℃)	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)0	신축 거더 길이 (L, m)	최대 받침 이동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	150	51.4	71.6
P1	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	38.9	54.1
P2	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	26.3	36.7
P3	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	13.8	19.2
P4	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	1.3	1.7
P5	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	150	13.8	19.2
P6	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	100	26.3	36.7
P7	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	38.9	54.1
A2	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	50	51.4	71.6

1) 조사일 : 2022년 4월 14일(10.9℃)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	5↓	51.4	71.6	195	205	±200	O.K
	Sh2	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh3	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh4	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh5	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh6	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh7	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh8	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh9	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh10	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh11	5↓			195	205	±200	O.K
	Sh12	5↓			195	205	±200	O.K

※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P1	Sh1	0	38.9	54.1	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P2	Sh1	0	26.3	36.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P3	Sh1	0	13.8	19.2	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P4	Sh1	0	1.3	1.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K

※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)

주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

<표 3.16> 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		이동 허용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P5	Sh1	5↓	13.8	19.2	170	160	±165	O.K
	Sh2	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh3	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh4	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh5	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh6	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh7	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh8	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh9	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh10	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh11	5↓			170	160	±165	O.K
	Sh12	5↓			170	160	±165	O.K
P6	Sh1	0	26.3	36.7	165	165	±165	O.K
	Sh2	0			165	165	±165	O.K
	Sh3	0			165	165	±165	O.K
	Sh4	0			165	165	±165	O.K
	Sh5	0			165	165	±165	O.K
	Sh6	0			165	165	±165	O.K
	Sh7	0			165	165	±165	O.K
	Sh8	0			165	165	±165	O.K
	Sh9	0			165	165	±165	O.K
	Sh10	0			165	165	±165	O.K
	Sh11	0			165	165	±165	O.K
	Sh12	0			165	165	±165	O.K
P7	Sh1	5↑	38.9	54.1	160	170	±165	O.K
	Sh2	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh3	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh4	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh5	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh6	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh7	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh8	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh9	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh10	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh11	5↑			160	170	±165	O.K
	Sh12	5↑			160	170	±165	O.K
A2	Sh1	5↓	51.4	71.6	205	195	±200	O.K
	Sh2	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh3	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh4	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh5	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh6	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh7	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh8	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh9	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh10	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh11	5↓			205	195	±200	O.K
	Sh12	5↓			205	195	±200	O.K

※ 이동방향 : ↑ (A1방향, 시점), ↓ (A2방향, 종점)
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

받침장치 가동 여유량 검토 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.

3.3.4 신축이음

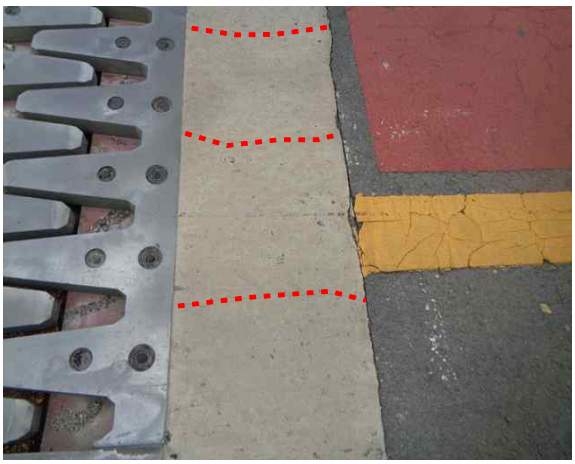
신축이음은 교량받침과 연동되어 온도나 하중에 대한 상부구조의 신축거동을 수렴하는 중요 장치로써 본체와 후타재로 구분되며, 본 교량의 신축이음은 2017년도에 교체되었고 Finger Joint(A1), 저소음 굴절형 Joint(A2) 형식으로 시공된 상태이다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Exp.J1(A1) 전경</td><td>Exp.J2(A2) 전경</td></tr>
</table>

가) 외관상태

1) 외관조사 결과

본체는 전반적으로 작동상태는 양호하며, 차수판 손상(차수커버 볼트탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 균열(0.3mm미만), 파손, 신축이음 하부 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격이 조사되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>A1 후타재 균열(Cw=0.2mm)(범물방향)</td><td>A2 접속부 포장균열, 이격(범물방향)</td></tr>
</table>



A2 하부 흡음재 탈락(안심방향)



A2 후타재 파손(안심방향)



A1 차수판 보수실시(안심방향)



A2 차수판 보수실시(범물방향)

<표 3.17> 신축이음 외관조사 결과

구분		손상현황	단위	손상물량	개소	비고
신축이음	후타재	균열(0.3mm미만)	m	21.5	67	
		파손	㎡	0.02	2	
	흡음재탈락		m	2.00	1	
	접속부 포장균열, 이격		m	10.0	1	

구분	손상현황			
	후타재 균열 (0.3mm미만) (m)	후타재 파손 (㎡)	흡음재탈락 (m)	접속부 포장균열, 이격 (m)
A1	18.1	-	-	-
A2	3.4	0.02	2.00	10.0
합계	21.5	0.02	200	10.0

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 차수판 손상(차수커버 볼트 탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 파손이 추가 조사되었다. 기존 후타재 균열(0.3mm미만)의 경우 물량 산정오류로 인해 금회 정정하였다.

<표 3.18> 신축이음 기 정밀점검 결과 비교

손상현황		단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
후타재	균열(0.3㎜미만)	m/개소	90.7 / 67	21.5 / 67	▼69.2 / -	기존물량 산정오류
	파손	㎡/개소	- / -	0.02 / 2	▲0.02 / ▲1	신규
흡음재탈락		m/개소	2.00 / 1	2.00 / 1	- / -	-
접속부 포장균열,이격		m/개소	10.0 / 1	10.0 / 1	- / -	-
차수커버 볼트탈락		개소	9 / 9	- / -	▼ 9 / ▼9	보수
차수커버 철판절단		개소	1 / 1	- / -	▼ 1 / ▼1	보수

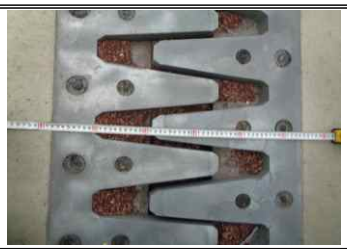
3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

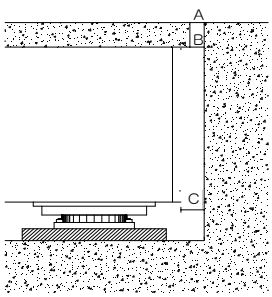
- 후타재 균열(0.3mm미만), 파손 - 건조수축, 차량의 반복적인 윤하중, 온도변화, 공용기간 경과에 의한 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하므로 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상의 증가 및 확대시 일괄보수를 실시하는 것이 요구된다.
- 흡음재 탈락 - 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 차량 통행시 소음 등의 영향이 크지않은 바 주의관찰이 요구된다.
- 접속부 포장균열, 이격 - 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.

나) 신축이음 유간검토

본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 신축이음장치, 바닥판, 거더에 대한 유간을 측정하였고, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

1) 현장조사

구분		신축이음장치 유간(A)	바닥판 유간(B)	거더 유간(C)
범물 방향	A1			
	A2			
안심 방향	A1			
	A2			



< 측정 개요도 >

<표 3.19> 신축이음 유간 측정 결과

측정위치		측 정 값(㎜)			비 고
		신축이음장치(A)	바닥판(B)	거더(C)	
범물 방향	EXP.J1(A1)	114	150	136	Finger Joint
	EXP.J2(A2)	-	134	144	JHR Joint
안심 방향	EXP.J1(A1)	105	125	119	Finger Joint
	EXP.J2(A2)	-	137	142	JHR Joint

※저소음 굴절형 조인트(JHR Joint)는 유간을 하부만 고려함에 따라 상부유간은 고려하지 않음.

▪ 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방, STB교))에 따른 여유량 검토

- 온도변화에 의한 신축량 $\Delta \ell t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$

여기서 ΔT : 온도변화, L : 신축거더 길이

α : 선팽창계수(강교 : 1.2×10-5)

<표 3.20> 신축이음 신축이동량 산정

구 분	조사일 온도 (℃)	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	계산 이동량(㎜)	
		동절기	하절기			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
EXP.J1(A1)	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	205.0	51.4	71.6
EXP.J2(A2)	10.9	20.9	29.1	1.2×10^{-5}	205.0	51.4	71.6
1) 조사일 : 2022년 4월 14일(10.9℃) 2) 검토온도 : -10℃ ~ +40℃(보통지방)							

<표 3.21> 신축이음장치 가동여유량 검토결과

구 분			계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
			최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
범물 방향	EXP.J1 (A1)	신축이음장치	51.4	71.6	114	240	74.6	42.4	O.K
		바닥판			150	-	-	78.4	O.K
		거더			136	-	-	64.4	O.K
	EXP.J2 (A2)	신축이음장치	51.4	71.6	-	240	-	-	O.K
		바닥판			134	-	-	62.4	O.K
		거더			144	-	-	72.4	O.K
안심 방향	EXP.J1 (A1)	신축이음장치	51.4	71.6	105	240	83.6	33.4	O.K
		바닥판			125	-	-	53.4	O.K
		거더			119	-	-	47.4	O.K
	EXP.J2 (A2)	신축이음장치	51.4	71.6	-	240	-	-	O.K
		바닥판			137	-	-	65.4	O.K
		거더			142	-	-	70.4	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K									

신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

3.3.5 기타

비구조체인 교면포장, 배수시설, 난간 등과 같은 기타 시설물에 대한 외관조사 결과는 다음과 같다.

가) 교면포장

본 교량의 교면포장은 아스팔트 포장(T=80mm)으로 시공되었으며, 각 방향별 3차로 총 6차로로 구성되어있다.



교면포장 전경(안심방향)



교면포장 전경(범물방향)

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 재포장된 이후 차량 주행성저하, 침하, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



교면포장 상태양호(안심방향)



교면포장 상태양호(범물방향)

<표 3.22> 교면포장 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
교면포장	상태양호	-	-	-	

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 점검이후 신규손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

<표 3.23> 교면포장 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
상태양호	-	-	-	-	

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 공용기간 경과, 차량의 윤하중, 온도변화, 우수유입 등에 의해 신규 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

나) 배수시설

본 교량의 배수시설은 교량의 횡구배에 맞게 설치되어 있으며, 육교형(S1~S8) 배수관으로 연결되어있는 상태이다.



배수구 전경



배수관 전경

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 배수구 막힘, 퇴적, 배수관 및 고정철물 손상 등의 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.

	
배수구 상태양호(범물방향)	배수구 상태양호(안심방향)

<표 3.24> 배수시설 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
배수시설	상태양호	-	-	-	

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 점검이후 신규손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

<표 3.25> 배수시설 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
상태양호	-	-	-	-	-

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.

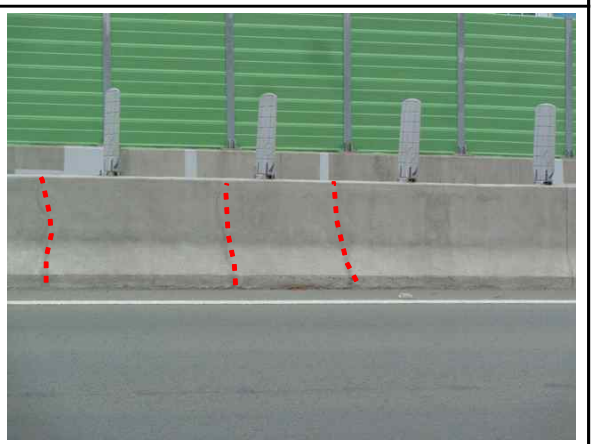
다) 난간 및 연석

교면 외측(안심방향, 범물방향)에는 콘크리트 방호벽 및 방음벽, 중앙부에는 콘크리트 중앙분리대가 시공되어있다.

	
외측 방호벽 및 방음벽	내측 중앙분리대

1) 외관조사 결과

기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 델리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 금회 미보수 및 추가된 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.

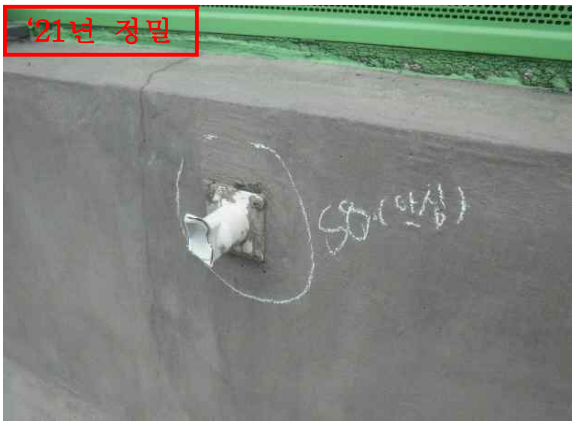
	
S5 방호벽 균열(Cw=0.2mm)(범물방향)	S7 방호벽 균열(Cw=0.2mm)(범물방향)
	
S3 방호벽 균열(Cw=0.2mm)(안심방향)	S8 중분대 균열(Cw=0.2mm)(안심방향)



S8 방호벽 균열 보수실시(범물방향)



S1 중분대 파손 보수실시(범물방향)





S8 방호벽 델리네이터 보수실시(안심방향)

<표 3.26> 난간 및 연석 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	619.4	684	

구분	손상현황
	균열(0.3mm미만)(개소)
S1	36.8
S2	45.8
S3	93.6
S4	124.0
S5	98.4
S6	92.8
S7	85.2
S8	42.8
합계	619.4

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 델리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 균열(0.3mm미만)이 추가 조사되었다.

<표 3.27> 난간 및 연석 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	658.6 / 694	619.4 / 684	▼39.2 / ▼10	보수
파손	㎡/개소	0.04 / 1	- / -	▼0.04 / ▼ 1	보수
보수부들뜸	㎡/개소	0.06 / 1	- / -	▼0.06 / ▼ 1	보수
델리네이터 파손	개소	1 / 1	- / -	▼ 1 / ▼ 1	보수

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.

라) 점검시설

연호고가교의 점검시설은 미설치된 상태이다.

마) 램프구간 포장

램프구간 포장은 아스팔트 포장으로 시공되었으며, 각 방향별 3차로 총 6차로로 구성되어있다.



램프구간 포장(안심방향)



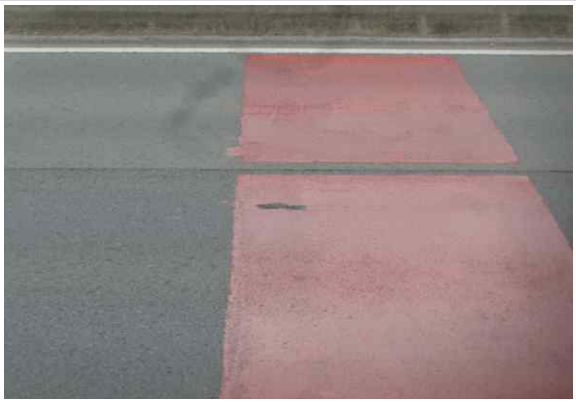
램프구간 포장(범물방향)

1) 외관조사 결과

기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 조사되었다.



램프구간 아스콘 균열(안심방향, 시점)



램프구간 아스콘 파손(범물방향, 시점)



램프구간 포트홀(범물방향, 시점)



램프구간 아스콘 균열(범물방향, 종점)

<표 3.28> 램프구간 포장 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
램프구간 포장	아스콘 균열	m	23.60	7	
	아스콘 파손	㎡	0.09	3	
	포트홀	㎡	0.04	1	

구분	손상현황		
	아스콘 균열(m)	아스콘 파손(㎡)	포트홀(㎡)
시점	20.00	0.09	0.04
종점	3.60	-	-
합계	23.60	0.09	0.04

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 추가 조사되었다. 기존 아스콘 파손의 손상크기 확인에 대한 오류를 정정하였다.

<표 3.29> 램프구간 포장 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
아스콘 균열	m/개소	20.0 / 4	23.60 / 7	▲3.60 / ▲ 3	신규
아스콘 파손	㎡/개소	0.16 / 1	0.09 / 3	▼0.07 / ▲ 2	신규, 물량정정
포트홀	㎡/개소	0.05 / 2	0.04 / 1	▼0.01 / ▼ 1	보수,신규

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 아스콘 균열, 파손, 포트홀 - 차량의 반복적인 윤하중, 공용기간 경과, 시공초기 다짐불량, 배합불량, 시공미흡 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 조사된 손상은 차량통행에 중대한 영향을 미치는 손상이 아닌 바 지속적인 주의관찰을 실시하고 향후 손상의 진전시 보수대책 수립이 요구된다.

바) 램프구간 난간 및 연석

램프구간 외측(안심방향, 범물방향)에는 콘크리트 방호벽 및 방음벽, 중앙부에는 콘크리트 중앙분리대가 시공되어있다.



외측 방호벽 및 방음벽



내측 중앙분리대

1) 외관조사 결과

기 발생한 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차가 조사되었다.



램프구간 균열(Cw=0.2mm)(안심방향, 종점)



램프구간 망상균열(범물방향, 시점)



램프구간 균열(Cw=0.3mm)(범물방향, 종점)



램프구간 균열 보수실시(범물방향, 종점)



램프구간 보수부 상태양호(안심방향, 시점)



램프구간 단차(범물방향, 시점)

<표 3.30> 램프구간 난간 및 연석 외관조사 결과

구분	손상현황	단위	손상물량	개소	비고
램프구간 난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	20.00	21	
	균열(0.3mm이상)	m	5.80	5	
	망상균열	㎡	195.0	6	
	파손	㎡	0.28	2	
	재료분리	㎡	23.2	2	
	철근노출	㎡	0.26	3	
	단차	개소	1	1	

구분	손상현황						
	균열(0.3mm 미만) (m)	균열(0.3mm 이상) (m)	망상균열 (㎡)	파손 (㎡)	재료분리 (㎡)	철근노출 (㎡)	단차 (개소)
시점	-	-	180.0	0.24	23.2	-	1
종점	20.0	5.80	15.0	0.04	-	0.26	-
합계	20	5.80	195.0	0.28	23.2	0.26	1

2) 기 정밀점검 결과와의 비교 분석

기 정밀점검 결과를 토대로 손상을 비교검토한 결과, 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만, 이상)이 추가 조사되었다.

<표 3.31> 램프구간 난간 및 연석 기 정밀점검 결과 비교

손상현황	단위	'21년 정밀	금회진단	증감량	비고
균열(0.3mm미만)	m/개소	21.10 / 22	20.00 / 21	▼1.10 / ▼1	보수,신규
균열(0.3mm이상)	m/개소	17.40 / 10	5.80 / 5	▼11.6 / ▼5	보수
망상균열	㎡/개소	195.0 / 6	195.0 / 6	- / -	-
파손	㎡/개소	0.56 / 4	0.28 / 2	▼0.28 / ▼2	보수
재료분리	㎡/개소	23.20 / 2	23.2 / 2	- / -	-
철근노출	㎡/개소	0.26 / 3	0.26 / 3	- / -	-
보수부들뜸,박리	㎡/개소	0.31 / 2	- / -	▼0.31 / ▼2	보수
단차	개소	1 / 1	1 / 1	- / -	-

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

- 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 표면보수, 주입보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.
- 파손, 재료분리, 철근노출 - 차량 충격, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관확보를 위해 단면보수를 실시하는 것이 요구된다.
- 단차 - 시공초기 옹벽 시공 이후 잔류침하에 의한 손상으로 추정되며, 현재 균열모니터를 통해 유지관리중인 것으로 확인되고, 진전여부에 대한 지속적인 계측 및 주의관찰이 요구된다.

3.3.6 외관조사 결과요약

가) 금회 진단 외관조사 결과요약

<표 3.32> 금회 진단 외관조사 결과요약

구분		주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
거더	외부	◦강재 거더 외부는 기 발생한 박리에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 국부적인 도장박리 등이 일부 발생된 상태이다.	▪도장박리 - 약 20년의 공용기간중 외기노출 및 경년열화에 의해 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보 및 도장손상에 따른 부식을 방지하기 위한 도장보수를 실시하는 것이 필요하다.
	내부	◦강재 거더 내부는 도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공 등이 조사되었다.	▪도장들뜸, 박락 - 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다. ▪표면오염 - 현장 이음부 틈을 통해서 유입된 누수흔적으로 판단되며, 우천시 우수유입에 따른 2차손상 발생 우려가 있으므로 현장 이음부 실란트 충전을 통한 보수가 필요하다. ▪실링처리미흡 - 우수유입 방지를 위한 실란트 충전이 요구된다. ▪점검등 덮개탈락, 파손, 불량 - 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 필요하다. ▪기공 - 시공미흡 등에 의한 것으로 손상의 정도가 경미하므로 주의관찰이 요구된다.
2차부재		◦가로보는 전반적으로 양호하나 이물질 퇴적(조류서식)이 1개소 조사되었다.	▪이물질퇴적(조류서식) - 정비를 통한 보수가 필요하며, 기 손상외에 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다.
바닥판		◦데크플레이트 구간은 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레버부에 균열(0.3mm미만), 백태, 박리, 종조인트부 누수가 조사되었다.	▪균열(0.3mm미만) - 대체로 초기 건조수축에 의해 발생된 방향성이 없는 표면균열로 판단되며, 비구조적인 손상이나 우수유입, 온도변화 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 내구성 확보 차원에서 표면처리 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪백태 - 손상부를 통한 우수유입, 수분접촉, 종조인트 누수 등의 원인에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. ▪박리 - 시공시 다짐불량, 외부충격, 우수유입, 온도변화 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상의 정도는 경미하나 내구성 확보차원의 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪종조인트 누수 - 종조인트부로 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
하부구조	◦기 발생한 교각 코핑부 파손에 대한 보수가 실시되었으며, 균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 파손, 누수흔적, 표면오염(녹물) 등이 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 장기간 우수 및 외기에 의한 수분접촉시 표면열화에 따른 박리 또는 내부 철근의 부식 팽창 등에 의해 박락이 발생될 수 있으므로 내구성 확보를 위한 보수를 실시하는 것이 필요하다. ▪ 백태 - 신축이음부 우수유입, 외기노출, 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 표면처리를 통해 구조물의 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직하다. ▪ 표면오염(녹물), 누수흔적 - 신축이음부 우수유입, 외기노출 등에 의한 것으로 판단되며, 진전여부에 대한 주의관찰을 실시하는 것이 요구된다. 보수시 신축이음부와 연계된 보수가 필요하다. ▪ 파손 - 시공미흡, 우수유입, 온도변화 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수가 필요하다.
교량받침	◦전반적인 가동상태는 양호하며 외관조사 결과, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만)에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 받침콘크리트 균열(0.3mm미만), 플레이트 도장박리 등이 조사되었다. ◦교대 및 교각의 교량받침 연단거리는 설계기준을 만족하고 연단거리 부족으로 인한 이상 징후가 발견되지 않는 양호한 상태임. ◦받침장치 가동 여유량 검토 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 표면처리를 실시하는 것이 필요하고, 보수시 표면정리, 적합한 보수재 사용 등에 대해 주의를 기울여야 한다. ▪ 도장박리 - 시공미흡, 우수유입, 외기노출, 공용기간 경과 등에 의해 발생한 손상으로 장기적인 내구성 확보를 위하여 도장보수가 필요하다.
신축이음	◦본체는 전반적으로 작동상태는 양호하며, 차수판 손상(차수커버 볼트탈락, 철판절단)에 대한 보수가 실시되었으며, 후타재 균열(0.3mm미만), 파손, 신축이음 하부 흡음재 탈락, 접속부 포장균열, 이격이 조사되었다. ◦신축이음 유간을 검토한 결과, 온도변화에 따른 수축 및 신장시 모든 신축이음에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.	▪ 후타재 균열(0.3mm미만), 파손 - 건조수축, 차량의 반복적인 윤하중, 온도변화, 공용기간 경과에 의한 것으로 판단되며, 손상의 정도가 경미하므로 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상의 증가 및 확대시 일괄보수를 실시하는 것이 요구된다. ▪ 흡음재 탈락 - 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 차량 통행시 소음 등의 영향이 크지않은 바 주의관찰이 요구된다. ▪ 접속부 포장균열, 이격 - 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.

구분	주요 결함 및 외관조사 결과	검토 의견
교면포장	◦ 재포장된 이후 차량 주행성저하, 침하, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 향후 공용기간 경과, 차량의 윤하중, 온도변화, 우수유입 등에 의해 신규 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
배수시설	◦ 배수구 막힘, 퇴적, 배수관 및 고정철물 손상 등의 문제가 없는 양호한 상태로 조사되었다.	▪ 현재 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직하다.
난간, 연석	◦ 기 발생한 균열(0.3mm미만), 파손, 보수부 들뜸, 델리네이터 파손에 대한 보수가 일부 실시되었으며, 금회 미보수 및 추가된 균열(0.3mm미만)이 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만) - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.
교량 점검시설	◦ 연호고가교의 점검시설은 미설치된 상태이다.	-
램프구간 포장	◦ 기 발생한 포트홀에 대한 보수가 실시되었으며, 미 보수 및 추가 조사된 아스콘 균열, 파손, 포트홀이 조사되었다.	▪ 아스콘 균열, 파손, 포트홀 - 차량의 반복적인 윤하중, 공용기간 경과, 시공초기 다짐불량, 배합불량, 시공미흡 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 조사된 손상은 차량통행에 중대한 영향을 미치는 손상이 아닌 바 지속적인 주의관찰을 실시하고 향후 손상의 진전시 보수대책 수립이 요구된다.
램프구간 난간 및 연석	◦ 기 발생한 균열, 파손, 보수부들뜸, 박리에 대한 보수가 실시되었으며, 미보수 및 추가 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차가 조사되었다.	▪ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열 - 건조수축 및 구속응력, 온도변화, 수화열 등에 의해 발생된 것으로 내구성 및 미관 확보 차원의 표면보수, 주입보수를 실시하는 것이 요구되며, 보수시 철저한 시공관리를 통해 재손상이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다. ▪ 파손, 재료분리, 철근노출 - 차량 충격, 다짐미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 및 미관확보를 위해 단면보수를 실시하는 것이 요구된다. ▪ 단차 - 시공초기 옹벽 시공 이후 잔류침하에 의한 손상으로 추정되며, 현재 균열모니터를 통해 유지관리중인 것으로 확인되고, 진전여부에 대한 지속적인 계측 및 주의관찰이 요구된다.
하중조사	● 본 교량에 대한 준공도면과 현재 부재의 상태를 확인한 결과, 준공도면과 일치하는 것으로 확인되었다.	

나) 기 정밀점검('21년) 외관조사 결과와의 비교

<표 3.33> 기 정밀점검 외관조사 결과 비교

구분		2021년 정밀점검 결과	금회 진단결과
거더		◦ 외부 **도장박리** ◦ 내부 상태양호	◦ 외부 **도장박리** ◦ 내부 **도장들뜸 및 박락, 표면오염, 볼트부식, 실링처리미흡, 점검등 덮개탈락, 파손, 불량, 기공**
가로보		◦ 상태양호	◦ **이물질퇴적(조류서식)**
바닥판		◦ 균열(0.3mm미만), 백태	◦ 균열(0.3mm미만), 백태, **박리, 종조인트 누수**
하부구조		◦ 교대 균열(0.3mm미만), 누수흔적, 파손 ◦ 교각 균열(0.3mm미만), 망상균열, **파손**	◦ 교대 **균열(0.3mm미만), 누수흔적, 백태, 파손** ◦ 교각 **균열(0.3mm미만), 망상균열, 백태, 표면오염(녹물)**
교량받침		◦ 받침콘크리트 **균열(0.3mm미만)**	◦ 받침콘크리트 **균열(0.3mm미만)** ◦ 본체 **도장박리**
신축이음		◦ 후타재 균열(0.3mm미만), 흡음재탈락, 접속부 포장균열, 이격, **차수커버 볼트탈락, 차수커버 철판절단**	◦ 후타재 균열(0.3mm미만), **파손,** 흡음재탈락, 접속부 포장균열, 이격
교면포장		◦ 상태양호	◦ 상태양호
배수시설		◦ 상태양호	◦ 상태양호
난간, 연석		◦ 균열(0.3mm미만), **파손, 보수부들뜸, 델리네이터 파손**	◦ 균열(0.3mm미만)
램프구간	포장	◦ 아스콘 균열, **파손, 포트홀**	◦ 아스콘 균열, **파손, 포트홀**
	난간	◦ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, **보수부들뜸, 박리,** 단차	◦ 균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 파손, 재료분리, 철근노출, 단차
검토의견		• 기 정밀안전점검(2021년)과의 비교 결과, 기 발생된 손상에 대한 보수가 일부 완료된 것으로 조사되었으나 신규 발생된 손상도 일부 확인됨. • 고소작업차, 점검사다리 등을 이용한 근접조사를 통해 신규발생 손상이 전반적으로 증가하였으며, 도장손상, 단면손상 등은 내구성 확보를 위한 보수가 필요함.	

※ 밑줄 표시 : 기 정밀점검 - 보수완료, 금회진단 - 신규발생 손상

3.4 콘크리트 내구성 조사

3.4.1 개요

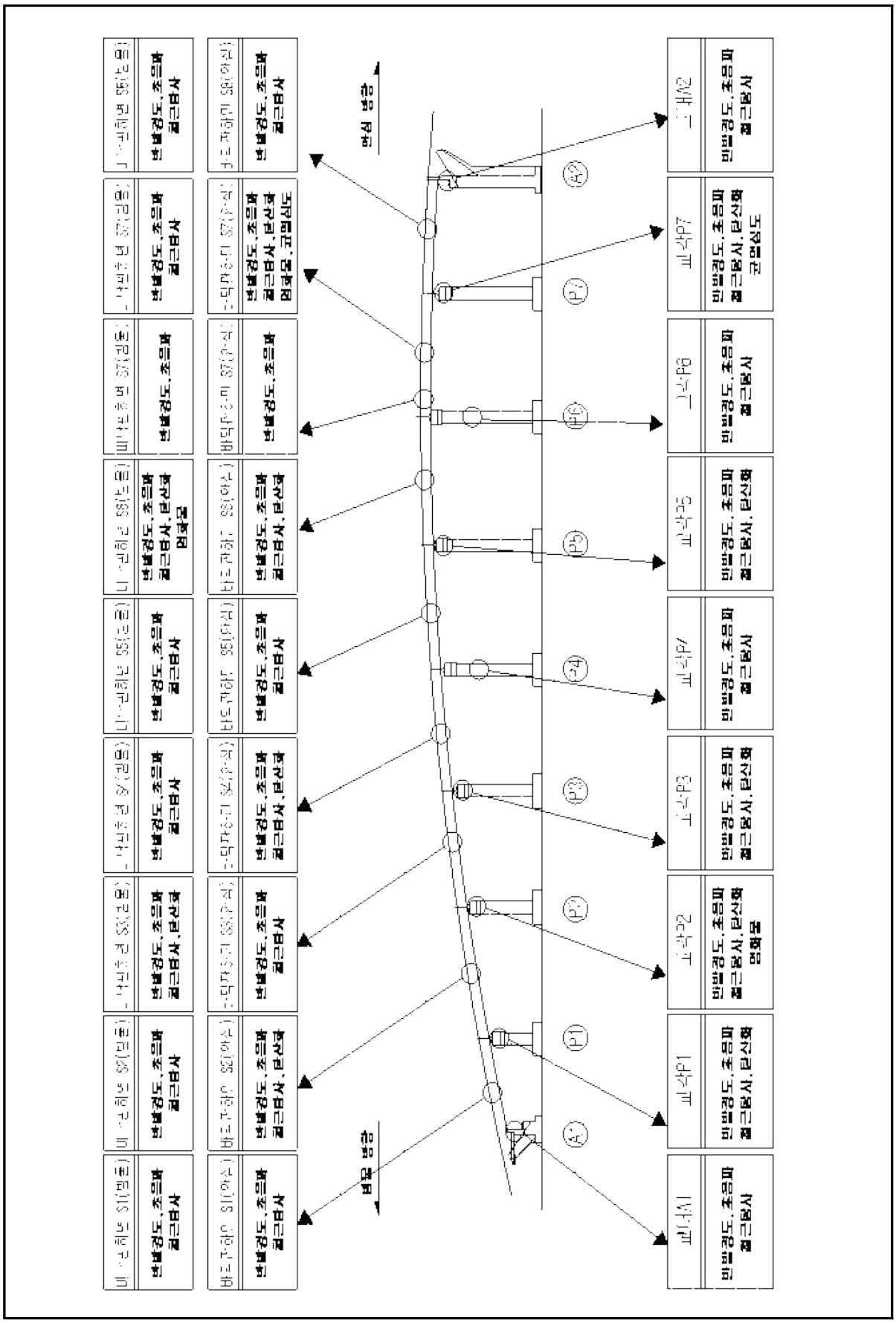
본 과업의 내구성 조사를 위한 시험은 콘크리트 부재에 대한 강도 조사, 탄산화 시험, 철근 배근상태 조사와 강재에 대한 용접부 결함 조사 등을 수행하였으며 각 시험의 내용 및 결과는 다음 절에 상세히 기술하였다.

조사항목별 조사수량은 세부지침을 토대로 하여 관리주체와 협의하여 실시하였다.

<표 3.34> 부재별 내구성 조사 부위 총괄표

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조 (Steel Box)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
초음파 전달속도시험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
철근탐사 시 험	• 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	9	9	18	9	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이상: 6~9개소[1]				6	5	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상[2]				2	1	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정				1	1	
강재용접부 초음파탐상시험	• 박스거더교 : 2개소/경간별 거더				96	-	맞대기 용접부
강재거더 도막두께측정	• 박스거더교				36	-	

주1) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시
주2) 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시


연호고가교
교대 A1
교각 P1
교각 P2
교각 P3
교각 P4
교각 P5
교대 A2
교각 P6
교각 P7
교대 A3
교각 P8
교각 P9
교대 A4
교각 P10
교각 P11
교대 A5
교각 P12
교각 P13
교대 A6
교각 P14
교각 P15
교대 A7
교각

3.4.2 콘크리트 강도 조사

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 반발경도시험

콘크리트의 표면 경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다.

반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격하여 반발도(R)와 콘크리트 압축강도(Fc′)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도(R)

슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면의 타격시 내부에 중추의 반동량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도의 크기에 따라 콘크리트의 압축강도를 추정한다.

외관조사 결과에 의해서 결정된 측정개소에 대해서 표면 평활작업을 하여 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값(R_m)을 구한다.

산술평균값 R_m 에 대해 RILEM Recommendation 에 따라 각 반발경도의 값이 R_m±20% 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R 을 결정한다. 제외된 반발치가 4개 이상일 때는 측정지점의 반발경도값(R) 은 버린다. 여기서 측정된 반발치의 값들이 많은 편차를 보이고 있으면 보편적으로 콘크리트의 품질이 불균질하다고 평가될 수 있을 것이다.

② 보정반발경도(R_0)

보정반발경도 R_0 은 다음 (식 3.1)과 같이 측정경도 R 에 보정값 ΔR_1 및 ΔR_2 을 더한 값으로 한다.

$$R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 \quad \cdots\cdots \text{(식 3.1)}$$

여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정 값

- 타격 방향에 따른 반발경도의 보정(ΔR_1)

수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다.

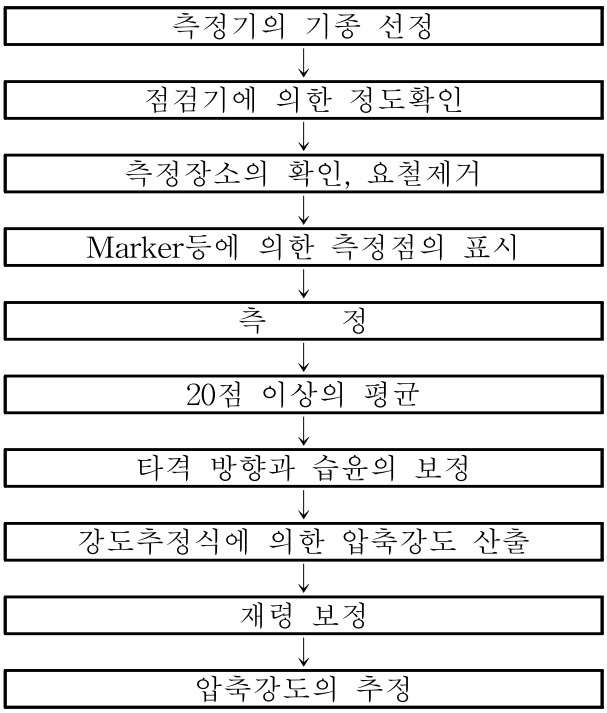
하향 타격(-90°)의 경우에는 Schmidt Hammer 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 ＋값으로 수정해 주고, 상향의 타격(+90°)의 경우에는 반대현상에 의해서 －값으로 수정해 주어야 한다.

<표 3.35> 타격방향에 대한 보정값

반발경도	보 정 값				비고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	상향수직타격 +90°
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	하향수직타격 -90°
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 반발경도 보정(ΔR_2)

- 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 보정값 3을 더한다.
- 측정위치가 완전히 젖어있는 경우 보정값 5를 더한다.



<그림 3.4> 반발경도법에 의한 압축강도 추정도

③ 압축강도의 추정

보정반발경도 R_0로부터 압축강도(Fc)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과같다.

- 일본재료학회

$$Fc = -18.0 + 1.27 \cdot R_0 \ (MPa) \quad \cdots\cdots \text{(식 3.2)}$$

- 일본건축학회

$$Fc = (7.3 \cdot R_0 + 100) \times 0.098 \ (MPa) \quad \cdots\cdots \text{(식 3.3)}$$

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 (식 3.4)와 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 <표 3.36>과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot Fc \quad \cdots\cdots \text{(식 3.4)}$$

<표 3.36> 재령계수 α 값

재령(일)	28	100	300	500	1000	3000
α	1.00	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 초음파 탐사 시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로써 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파법에 의한 압축강도의 추정

초음파 전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 (식 3.5)에 의해서 구한다.

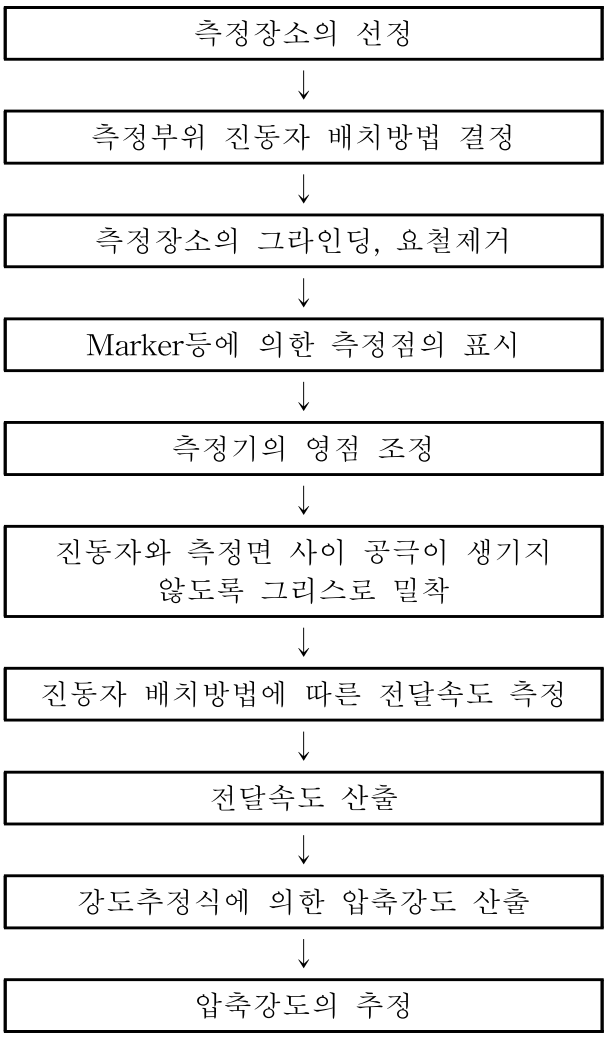
$$\text{전달속도}(Velocity) = \frac{\text{전달길이}(Path \leq ngth)}{\text{전달시간}(Transit\ \ Time)} \quad \cdots\cdots \text{(식 3.5)}$$

초음파 탐사를 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있으며, 본 과업에서 간접법으로 구한 초음파 전달속도는 근사적으로 (식 3.6) 과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 \cdot V_i \quad \cdots\cdots \text{(식 3.6)}$$

여기서, V_d : 직접법(Direct method)에 의한 초음파 속도

V_i : 간접법(Indirect method)에 의한 초음파 속도



<그림 3.5> 초음파 속도법에 의한 압축강도 추정도

또, 간접법을 수행한 동일 조건의 구조물, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법)속도를 측정하여 현장에서 측정된 표면파(간접법)속도와 상관관계를 통한 초음파 전달속도를 근사적으로 환산하여 이용할 수 있다.

간접법은 일정거리를 등간격으로 떨어진 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)를 측정한다. 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도 V_i 로 한다.

회기직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性) 검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 (식 3.7)에 의해 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma(X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma(X_i - \overline{X})^2 \Sigma(T_i - \overline{T})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식 3.7)}$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$ 는 거리 및 전달시간의 평균값

② 비파괴 강도의 추정

본 과업에서는 3점 이상의 회귀직선식에서 r^2 값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i 를 계산한다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음식을 사용한다.

- 일본건축학회

$$Fc' = (215 \cdot V_p - 620) \times 0.098 \ (MPa) \quad \cdots\cdots \ (식\ 3.8)$$

- 일본재료학회

$$Fc' = (102 \cdot V_p - 117) \times 0.098 \ (MPa) \quad \cdots\cdots \ (식\ 3.9)$$

여기서, Fc' : 콘크리트 강도 (MPa)

V_p : $V_p = V_d$ 로써 $V_p \approx 1.05 \cdot V_i$

3) 코어 압축강도 시험

이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 이로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 다만, 금회 진단에서는 구조물의 손상을 최소화 하기 위하여 철근배근 순간격이 100mm이상인 교대에서만 코어를 채취하여 시험하였다.

콘크리트의 각종 물성적, 역학적시험을 실시하며, 통상 비파괴시험에 의한 강도와 비교 분석한다.

① 압축강도 시험

- 코어 크기의 영향

콘크리트구조설계기준(KDS 14 20 01)에 의하면 콘크리트의 압축강도용 공시체는 ø150×300mm를 기준으로 하므로 ø100×200mm 코어를 채취한 경우에는 강도보정계수 0.97을 곱하여 보정한다.

- 높이/직경비의 영향

채취된 코어 공시체로 KS F 2422에 준하여 압축강도시험을 한다. 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 작아질수록 겉보기 압축강도는 커진다. 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가되는 코어 공시체의 압축강도로 환산한다.

<표 3.37> 압축강도의 보정계수

높이와 직경의 비(h/d)	보정계수(KS F 2422)	비 고
2.00	1.00	・h/d 가 중간값일 경우 직선 보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

• 매입철근 지름의 영향

코어를 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과, 5~10% 정도의 압축강도가 감소된다고 보고되고 있다. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하된다.

• 코어 채취 위치와 방향의 영향

코어는 일반적으로 구조물의 최상단에서 가장 낮은 강도를 갖고 밑으로 깊이가 커질수록 코어의 강도는 증가하지만 300mm 이상의 두께에서는 더 이상의 강도증가는 없는 것으로 보고되고 있다. 수평방향으로 코어를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전형적으로 8%가량 강도가 감소한다는 사실이 실험적으로 입증되었다.

• 재령의 영향

실제의 구조물에서는 표준 공시체의 양생조건과 동일한 양생방법을 기대할 수 없기 때문에 콘크리트 구조물이 재령이 경과함에 따라 강도가 증가한다 할지라도, 표준 양생한 공시체의 28일 압축강도보다 항상 크지는 않다. 따라서, 현장 양생한 구조물의 코어강도는 표준 공시체의 28일 압축강도와 같게 보는 것이 일반적이며, 코어강도에 대해서는 재령에 대한 보정은 하지 않는다.

② 비파괴 강도・압축강도와의 보정계수

각종 비파괴강도를 이용하여 구조물의 전반적인 강도를 추정하는 경우에는 시험위치에서 채취한 코어강도를 이용하여 비파괴강도를 보정하는 것이 원칙이다. 따라서 부재 종류별로 코어 압축강도와 코어 또는 코어채취 위치에서 얻은 비파괴강도(반발경도법, 초음파법)간의 상관관계를 구하기 위하여 RILEM Recommendation Part 2 기준에 제시된 (식 3.10)을 사용하여 보정계수 C_t 를 구한다.

$$C_t = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\frac{R_{pr}}{R_{st}} \quad \cdots\cdots (3.10)$$

여기서, C_t : 보정계수

R_{pr} : 코어압축강도 (MPa)

R_{st} : 비파괴강도 (MPa)

각 비파괴강도의 보정계수를 비교하여 가장 1.0에 근접하는 비파괴강도식을 선정하고, 이식으로 계산한 강도값에 보정계수를 곱한 강도를 구조물의 비파괴강도로 한다.

나) 시험결과 분석

콘크리트 비파괴 강도를 추정하기 위하여 반발경도시험과 초음파탐사시험을 상부구조 18개소, 하부구조 9개소의 동일위치에서 수행하였다.



<그림 3.6> 콘크리트 강도조사

1) 비파괴 시험법에 의한 압축강도

반발경도 측정은 R.C. Radar 로 철근의 위치를 조사하여 철근이 없는 부위를 선정한 후, 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인더로 제거한 후 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부위에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였다. 초음파탐사시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 구리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10㎝간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상구조물의 콘크리트 비파괴 강도를 평가하기 위하여 반발경도법, 초음파속도법의 시험결과를 비교, 분석하여 그 결과를 다음 표에 나타내었다.

<표 3.38> 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도(상부구조)

(단위 : MPa)

시험위치				비파괴시험		반발경도법		초음파 속도법		설계 기준 강도
				반발경도 (R_0)	초음파속도 (Vd, ㎜/㎲)	(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)	
상부구조	바닥판	범물	S1	51.9	4.366	30.2	29.6	31.2	32.2	27
			S2	52.4	4.234	30.5	29.8	28.4	30.9	
			S3	52.3	4.209	30.5	29.7	27.9	30.6	
			S4	48.1	4.218	27.2	27.9	28.1	30.7	
			S5	50.4	4.232	29.0	28.9	28.4	30.8	
			S6	48.4	4.171	27.3	28.0	27.1	30.2	
			S7(단부)	49.4	4.172	28.2	28.4	27.1	30.2	
			S7(중앙)	51.4	4.395	29.8	29.3	31.8	32.5	
			S8	49.9	4.193	28.6	28.7	27.6	30.4	
		안심	S1	49.3	4.170	28.1	28.4	27.1	30.2	
			S2	51.3	4.295	29.7	29.3	29.7	31.5	
			S3	49.1	4.198	28.0	28.3	27.7	30.5	
			S4	48.8	4.242	27.7	28.2	28.6	30.9	
			S5	48.2	4.183	27.3	27.9	27.4	30.3	
			S6	51.7	4.183	30.0	29.5	27.4	30.3	
			S7(단부)	50.4	4.212	28.9	28.9	28.0	30.6	
			S7(중앙)	51.1	4.193	29.5	29.2	27.6	30.4	
			S8	50.5	4.190	29.1	28.9	27.5	30.4	

<표 3.39> 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도(하부구조)

(단위 : MPa)

시험위치			비파괴시험		반발경도법		초음파 속도법		설계 기준 강도
			반발경도 (R_0)	초음파속도 (Vd, ㎜/㎲)	(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)	
하부구조	교대	A1	47.1	4.060	26.3	27.4	24.8	29.1	24
		A2	48.1	4.088	27.1	27.9	25.4	29.4	
	교각	P1	47.3	4.101	26.5	27.5	25.7	29.5	
		P2	47.4	4.055	26.6	27.5	24.7	29.1	
		P3	48.0	4.096	27.0	27.8	25.5	29.5	
		P4	46.9	4.030	26.2	27.3	24.2	28.9	
		P5	47.8	4.099	26.9	27.7	25.6	29.5	
		P6	47.9	4.129	26.9	27.7	26.2	29.8	
		P7	49.0	4.056	27.9	28.3	24.7	29.1	

2) 코어 압축강도

2017년 정밀안전진단시 코어 채취를 하여 압축강도 시험을 하여 그 결과를 본 보고서에 참조하였으며, 시험결과는 아래 표와 같다.

<표 3.40> 보정 코어강도(2017년 정밀안전진단)

(단위 : MPa)

위치			시험압축강도(A)	설계기준강도(B)	(A/B) × 100(%)
연호 고가교	상부	S1	24.3	27.0	90
	하부	P1	36.7	24.0	153
		P4	36.8	24.0	153

3) 비파괴 강도의 추정

① 비파괴 강도·코어 압축강도와의 보정계수

콘크리트 비파괴 강도는 코어의 압축강도와 코어 채취부위에서 시행한 비파괴 시험강도를 RILEM 추천식 Part2 기준의 (식 3.10)를 응용하여 상관계수를 구하고 상관도가 가장 좋은 압축강도 추정식에 의해서 압축강도를 추정하기로 한다. 다음 표는 코어강도를 이용하여 각 시험방법에 대한 보정계수를 구한 것이다.

<표 3.41> 보정계수의 결정

(단위 : MPa)

위치			보정 코어강도	구분	반발경도법		초음파 속도법	
					(식 3.2)	(식 3.3)	(식 3.8)	(식 3.9)
상부	범물	S1	24.3	비파괴 강도	30.2	29.6	31.2	32.2
	안심				28.1	28.4	27.1	30.2
하부	P1		36.7	비파괴 강도	28.1	28.4	27.1	30.2
	P4		36.8	비파괴 강도	27.7	28.2	28.6	30.9
보 정 계 수(C_t)					**1.0506**	1.0510	1.0588	1.1359

② 추정 비파괴 강도 조사 결과

위의 표와 같이 각 방법에 의해 보정계수를 구한 결과, 1.0에 가장 근접하는 비파괴 식인 일본재료학회(식 3.2)에 의한 강도 보정계수 값을 사용하여 비파괴강도를 추정하였다.

<표 3.42> 추정 비파괴 강도

(단위 : MPa)

시험위치				일본재료학회 (식 3.2)	코어 보정계수	**추정 비파괴 강도**	비고
상부구조	바닥판	범물	S1	30.2	1.0506	31.7	
			S2	30.5	1.0506	32.0	
			S3	30.5	1.0506	32.0	
			S4	27.2	1.0506	28.6	
			S5	29.0	1.0506	30.5	
			S6	27.3	1.0506	28.7	
			S7(단부)	28.2	1.0506	29.6	
			S7(중앙)	29.8	1.0506	31.3	
			S8	28.6	1.0506	30.0	
		안심	S1	28.1	1.0506	29.5	
			S2	29.7	1.0506	31.2	
			S3	28.0	1.0506	29.4	
			S4	27.7	1.0506	29.1	
			S5	27.3	1.0506	28.7	
			S6	30.0	1.0506	31.5	
			S7(단부)	28.9	1.0506	30.4	
			S7(중앙)	29.5	1.0506	31.0	
			S8	29.1	1.0506	30.6	
하부구조		교대	A1	26.3	1.0506	27.6	
			A2	27.1	1.0506	28.5	
		교각	P1	26.5	1.0506	27.8	
			P2	26.6	1.0506	27.9	
			P3	27.0	1.0506	28.4	
			P4	26.2	1.0506	27.5	
			P5	26.9	1.0506	28.3	
			P6	26.9	1.0506	28.3	
			P7	27.9	1.0506	29.3	



<그림 3.7> 콘크리트 강도조사 결과 (상부구조(범물방향))



<그림 3.8> 콘크리트 강도조사 결과 (상부구조(안심방향))



<그림 3.9> 콘크리트 강도조사 결과 (하부구조)

<표 3.43> 콘크리트 강도조사 결과

(단위 : MPa)

구분		시험방법	추정강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
연호고가교	상부	반발경도법 (일본재료학회)	28.6~32.0	27.0	105.9~118.5
	하부		27.5~29.3	24.0	101.9~108.5

상부구조는 28.6~32.0 MPa로 설계기준강도의 105.9~118.5% 수준이며, 하부구조는 27.5~29.3 MPa로 설계기준강도의 101.9~108.5% 수준으로 측정되었다.

따라서, 본 교량의 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

<표 3.44> 기 진단 및 정밀안전점검 콘크리트 강도조사 결과 비교

(단위 : MPa)

구분		2017년 진단	2021년 정밀	금회 진단	설계기준강도
연호고가교	상부	27.1~30.0	27.1~28.9	28.6~32.0	27.0
	하부	24.2~25.5	24.6~28.0	27.5~29.3	24.0

기 진단 및 정밀안전점검 결과와 비교한 결과, 측정위치가 상이하여 콘크리트 강도 범위의 차이가 다소 있으나, 전반적으로 설계기준 강도를 하회하는 지점은 없으므로 본 교량의 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도저하가 없는 것으로 판단된다.

3.4.3 탄산화 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCO_3} + \underset{\text{물}}{H_2O} \quad \cdots\cdots \text{(식 3.10)}$$

(pH 12~13) (대기중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 (식 3.10) 에서 시멘트의 수화 반응에서 생성되는 수산화칼슘 [$Ca(OH)_2$]은 pH 12~13정도의 강 알카리성을 나타내지만 대기중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%) 와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH 가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반 환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다.

콘크리트 내부의 pH 가 11 이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6} ㎜ 두께의 수산화물(γ-$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH 가 11 보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창 압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 표면에 균열, 박리, 박락 등을 초래하기 때문에 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

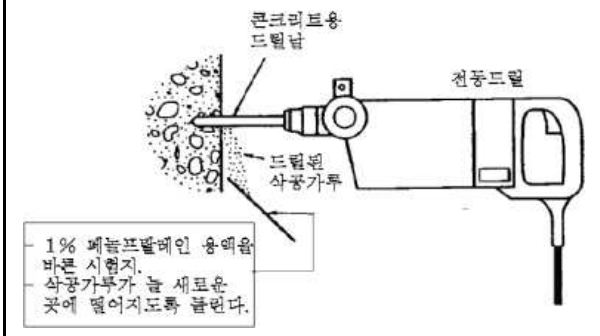
2) 탄산화 깊이의 측정

본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액) 으로 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정하였다.

콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 콘크리트 구조물에서 깎아낸 면에서 시험하는 경우, 코어 공시체를 이용하는 경우, 드릴을 이용하는 경우 등이 있으며 본 과업에서는 <그림 3.10>와 같이 ø10㎜의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트 가루를 이용하여 탄산화 깊이를 시험하였으며 이 방법은 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인 용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화 깊이로 정하고 있으며 pH 8.2~10.0 이상의 알칼리측에서 홍색으로 발색하며 중성측에서는 무색으로 나타나게 되는데, 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 깊이계, 버어니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

나) 시험결과 분석

콘크리트의 탄산화 깊이측정은 상부구조 5개소, 하부구조 6개소에서 드릴링 방법으로 수행하였으며 후술되는 철근탐사시험 결과와 비교 · 검토하였다.



드릴에 의한 탄산화 깊이측정 방법



드릴링(바닥판)



드릴링(교각)



버니어캘리퍼스를 이용한 깊이 측정

<그림 3.10> 드릴에 의한 탄산화 깊이 측정

1) 시험결과 분석

경화 콘크리트의 탄산화 평가는 시멘트의 종류, 콘크리트의 품질 환경조건에 따라 다르지만 일반적으로 철근 피복두께 수치와 함께 <표 3.45>에 의한 기준(시설물의 안전 및 유지관리 세부지침, 2021. 12.)으로 나타낸다.

<표 3.45> 탄산화 상태평가 기준

기준	탄산화잔여깊이	철근부식의 가능성
a	◦ 30㎜ 이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	◦ 10㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	◦ 0㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	◦ 0㎜ 미만	철근부식 발생
e	-	-

현장에서 드릴링에 의한 탄산화 시험결과는 다음 <표 3.46>에 정리하였으며 (식 3.11)에 의해 향후 탄산화의 철근까지 도달기간을 추정하였다.

$$C = A \times \sqrt{t} \quad \cdots\cdots (식\ 3.11)$$

여기서, C : 탄산화 깊이(㎜)

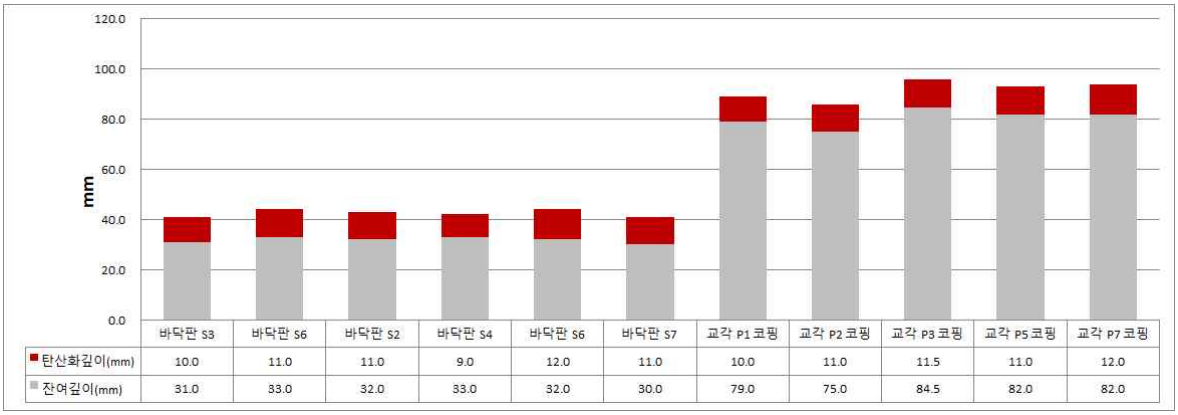
A : 탄산화속도 계수(㎜/$\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

<표 3.46> 탄산화 깊이 측정 결과

위치					탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복 두께 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	상태 평가 기준	탄산화속도 계수 (A)	철근도달 기간(t_d) (잔존수명)	비고
연호고가교	상부구조	바닥판	범물	S3	10.0	41.0	31.0	a	2.236	316	드릴링
				S6	11.0	44.0	33.0	a	2.460	300	
			안심	S2	11.0	43.0	32.0	a	2.460	286	
				S4	9.0	42.0	33.0	a	2.012	416	
				S6	12.0	44.0	32.0	a	2.683	249	
				S7	11.0	41.0	30.0	a	2.460	258	
	하부구조	교각		P1	10.0	89.0	79.0	a	2.236	1564	
				P2	11.0	86.0	75.0	a	2.460	1202	
				P3	11.5	96.0	84.5	a	2.571	1374	
				P5	11.0	93.0	82.0	a	2.460	1410	
				P7	12.0	94.0	82.0	a	2.683	1207	

단, 재령(t) = 16, 잔존수명예측(t_d) = (실측피복두께/탄산화속도계수)^2-재령 (단위 : 년)



	바닥판 S3	바닥판 S6	바닥판 S2	바닥판 S4	바닥판 S6	바닥판 S7	교각 P1 코핑	교각 P2 코핑	교각 P3 코핑	교각 P5 코핑	교각 P7 코핑
탄산화깊이(mm)	10.0	11.0	11.0	9.0	12.0	11.0	10.0	11.0	11.5	11.0	12.0
잔여깊이(mm)	31.0	33.0	32.0	33.0	32.0	30.0	79.0	75.0	84.5	82.0	82.0

<그림 3.11> 탄산화 깊이 측정 결과

대상 구조물의 탄산화 진행정도를 검토한 결과, 탄산화 잔여깊이를 30mm이상 확보하고 있는 것으로 조사되어 평가결과 “a”등급으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 평가되었다.

2) 기 진단 및 정밀안전점검 결과와의 비교

<표 3.47> 기 진단 및 정밀안전점검 탄산화 깊이 결과 비교

구분			2017년 진단	2021년 정밀	금회 진단	비고
상행선	탄산화 깊이(㎜)	상부구조	10.7~14.8	4.0~9.0	9.0~12.0	
		하부구조	8.5~11.8	6.0~8.0	10.0~12.0	

기 진단 및 정밀안전점검 결과와 비교한 결과, 상부 및 하부구조의 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.4.4 철근탐사 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

철근 콘크리트 구조물에서 기존 구조물의 구조내력을 검토, 구조부재의 배근상태(철근직경, 배근간격, 피복두께 등)를 조사하기 위하여, 구조체를 손상시키지 않고 실시하는 비파괴 조사 방법으로 전자기유도 방식과 전자파레이더 방식 등이 있으며 본 과업에서는 전자파레이더 방식으로 수행하였다. 시험 결과는 준공도면의 배근상태와 비교・분석하였다.

1) 전자파레이더 방식

해당 물체 내에 송신된 전자파가 전기적 특성(유전율 및 전도율)이 다른 물질(철근, 매설물, 공동 등)의 경계에서 반사파를 일으키는 성질을 이용해 콘크리트 표면으로부터 내부를 향해 전자파를 안테나로부터 방사하여 목표물에서 반사해 온 신호를 안테나로 수신한 후 콘크리트 내부의 상태를 수직 단면도로 본체 표시기에 나타내어 준다.



<그림 3.12> 전자파 레이더법에 의한 철근탐사장비의 장치 구성도

나) 시험 결과 분석

철근의 피복두께가 부족할 경우 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 철근탐사시험은 콘크리트 내에 배근되어 있는 실제 철근의 배근상태 및 피복두께를 비교·검토하기 위하여 실시하였으며, 본 시험에서는 R.C. Radar를 사용하여 전자파 레이더법으로 각 구조부재에 대하여 시험을 수행하였으며, 그 결과는 <표 3.48>에 나타내었다.

철근탐사 시험은 상부구조 18개소, 하부구조 9개소에서 수행하였다.




철근탐사

<그림 3.13> 철근탐사 시험

1) 시험결과 분석

<표 3.48> 철근탐사 시험 결과

위치			구분	배근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
				설계값	실측값	설계값	실측값
상부구조	범물방향	S1 바닥판하면	주근	125	132	40	52
			배력근	120	104	40	44
		S2 바닥판하면	주근	250	251	40	41
			배력근	120	100	40	57
		S3 바닥판하면	주근	250	248	40	41
			배력근	120	105	40	44
		S4 바닥판하면	주근	250	252	40	41
			배력근	120	100	40	44
		S5 바닥판하면	주근	250	254	40	47
			배력근	120	103	40	52
		S6 바닥판하면	주근	250	248	40	44
			배력근	120	100	40	47
		S7 바닥판하면	주근	250	252	40	49
			배력근	120	105	40	47
		S8 바닥판하면	주근	125	133	40	46
			배력근	120	108	40	44
	안심방향	S1 바닥판하면	주근	125	117	40	42
			배력근	120	118	40	44
		S2 바닥판하면	주근	250	253	40	43
			배력근	120	100	40	57
		S3 바닥판하면	주근	250	246	40	52
			배력근	120	103	40	55
		S4 바닥판하면	주근	250	249	40	42
			배력근	120	101	40	55
		S5 바닥판하면	주근	250	250	40	44
			배력근	120	104	40	57
		S6 바닥판하면	주근	250	255	40	44
			배력근	120	105	40	57
		S7 바닥판하면	주근	250	259	40	41
			배력근	120	106	40	44
		S8 바닥판하면	주근	125	122	40	45
			배력근	120	103	40	55

<표 3.48> 철근탐사 시험 결과(계속)

위치		구분	배근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
			설계값	실측값	설계값	실측값
하부 구조	A1 교대 흉벽	수직근	125	127	50	56
		수평근	300	250	50	86
	A2 교대 흉벽	수직근	125	128	50	55
		수평근	300	250	50	52
	P1 교각 코핑	수직근	200	182	100	89
		수평근	300	265	100	94
	P2 교각 코핑	수직근	200	200	100	86
		수평근	300	243	100	89
	P3 교각 코핑	수직근	200	189	100	96
		수평근	300	256	100	96
	P4 교각 기둥	수직근	120	134	100	119
		수평근	150	307	100	84
	P5 교각 코핑	수직근	200	217	100	101
		수평근	300	293	100	93
	P6 교각 기둥	수직근	120	143	100	117
		수평근	150	150	100	119
	P7 교각 코핑	수직근	200	212	100	94
		수평근	300	300	100	100

본 과업 대상 교량에 대하여 전자파 레이더법으로 철근탐사를 수행하여 설계도면의 철근배근도와 비교한 결과, 배근간격은 구간별 시공오차를 고려하면 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 나타났다. 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 지점에서 실측피복이 작거나 크게 측정되어 시공이 다소 미흡했던 것으로 판단된다.

2) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.49> 기 진단 철근탐사 시험 결과 비교

구분				2017년 진단		금회 진단		비고
				배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
연호고가교	상부구조	바닥판	주근	233~252	32.0~42.5	117~259	41~52	
			배력근	-	-	100~118	44~57	
	하부구조	교대	수직철근	133~134	58.0~72.0	127~128	55~56	
			수평철근	-	-	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직철근	125~152	75~145	134~143	117~119	
			수평철근	-	-	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직철근	193~203	70~80	182~217	86~101	
			수평철근	-	-	243~300	89~100	

기 진단결과와 비교한 결과, 배근간격은 측정위치에 따른 편차가 있으나 설계 도면과 유사하게 측정되어 철근배근 상의 문제는 없는 것으로 판단되며, 피복두께는 기 진단결과와 마찬가지로 일부구간에서 작거나 크게 시공된 것으로 확인되었다.

3.4.5 염화물 함유량 시험

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 크게 구분할 수 있다. 하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로써 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로써는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 사용, ② 경화 촉진제로써 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로써 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당량으로써 0.3~1.2kg/m^{3}정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m^{3}정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m^{3}정도로 되어있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

'시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2021. 12.)' 및 콘크리트 표준시방서 내

구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³을 강재 부식발생 한계농도로써 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지 않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정

② 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (2021. 12.)

<표 3.50> 염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	◦ 염화물 ≤ 0.3kg/m³	염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	◦ 0.3kg/m³< 염화물 < 1.2kg/m³	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	◦ 1.2kg/m³≤ 염화물 < 2.5kg/m³	향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	◦ 염화물 ≥ 2.5kg/m³	철근 부식발생
e	-	-

나) 시험결과 분석

염화물 함유량 시험은 3개소(상부구조 2개소, 하부구조 1개소)에서 깊이별로 시료(분말)을 채취하여 시험을 실시하였다.



바닥판 시료 채취



교각 시료 채취

<그림 3.14> 염화물 시료 채취

1) 시험결과 분석

염화물 함유량 시험 결과, 콘크리트 표면에서 철근 피복에 가까워질수록 그 양이 감소하는 양상으로 측정되었다. 이는 공용 중 제설작업 시 살포하는 염화칼슘이 콘크리트 표면에 부착되어 나타나는 현상으로 판단되며, 염화물은 철근 부식에 영향을 미치는 열화요인으로 이에 대한 상태평가는 철근피복 깊이에 가까운 값을 측정값으로 이용하였다.

염화물 함유량은 측정 전 개소에서 0.3kg/㎥ 이하로서 상태평가기준 'a'로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다.

<표 3.51> 염화물 함유량 시험 결과

위치				깊이 (mm)	염화물 함유량		등급	염화물 상태평가 기준
					Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
연호고가교	상부구조	범물	S6 바닥판 하면	0~10	0.0043	0.0973	a	판정결과 a : 염화물 ≤ 0.3 b : 0.3 < 염화물 < 1.2 c : 1.2 ≤ 염화물 < 2.5 d : 염화물 ≥ 2.5 e : -
				10~20	0.0024	0.0543	a	
				20~30	0.0010	0.0226	a	
		안심	S7 바닥판 하면	0~10	0.0044	0.0996	a	
				10~20	0.0030	0.0679	a	
				20~30	0.0015	0.0339	a	
	하부구조		P2 교각	0~20	0.0037	0.0837	a	
				20~40	0.0034	0.0769	a	
				40~60	0.0015	0.0339	a	

단, 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량

2) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.52> 기 진단 염화물 함유량 시험 결과 비교

구분			2017년 진단	금회 진단	비고
연호고가교	염화물 함유량 (kg/㎥)	상부구조	0.4526	0.0226~0.0339	
		하부구조	0.0634	0.0339	

기 진단결과와 비교한 결과, 상부 및 하부구조의 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.4.6 균열 깊이 측정

가) 시험 내용 및 평가 기준

균열 깊이를 측정하기 위한 기본은 초음파의 발·수신자를 균열 부근에 설치하여 검출되는 파의 종류(종파, 횡파, 표면파) 및 검출항목(전파시간, 주파수, 위상 등)에 따라 많은 방법이 제안되고 있으나 일반적으로 Tc-To 법이 많이 이용되며, 본 과업에서도 Tc-To 법을 적용한다.

Tc-To 법의 원리는 종파용 발·수신자를 균열 개구부를 중심으로 등간격 L/2(=x)으로 설치하여 균열선단부를 회절한 초음파의 전파시간 Tc 를 구한다. 또한, 부근의 균열이 없는 부분에서 발·수진자를 똑같이 거리 L(=2x) 만큼 설치하여 전파시간 To를 구하여, 균열깊이를 추정한다.

균열면이 콘크리트의 표면과 직각으로 발생되어 있으며, 균열 주위의 콘크리트는 어느 정도 균질한 것이라고 가정하여 유도한 것으로 측정된 Tc-To 로 부터 다음 식을 적용하여 균열의 깊이를 구한다.

$$C = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_C^2)}{(T_O^2)} - 1} \quad \cdots\cdots\cdots\

나) 시험여부

대상 교량의 바닥판 및 교각에서 균열폭 0.1~0.2mm 균열 중 임의로 대표손상을 선정하였으며, 초음파속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

<표 3.53> 균열깊이 측정결과

위치		균열폭 (㎜)	전달거리 (㎜)	초음파 전달시간 (μSec)		균열깊이 (㎜)	설계 피복두께 (㎜)	비고
				건전부 (To)	균열부 (Tc)			
연호 고가교	바닥판 S7 (안심방향)	0.1	150	33.0	45.2	14.1	41.0	
	교각 P7	0.2	150	34.4	52.4	17.2	94.0	

균열깊이 측정결과, 상부구조 균열깊이 14.1mm, 하부구조 균열깊이 17.2mm로 측정되어 조사부위의 피복 두께 내의 표면균열로 검토되었으며, 균열에 의한 구조물 손상이나, 철근부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았다.

3.5 강재 내구성 조사

3.5.1 초음파 탐상 시험(UT)

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

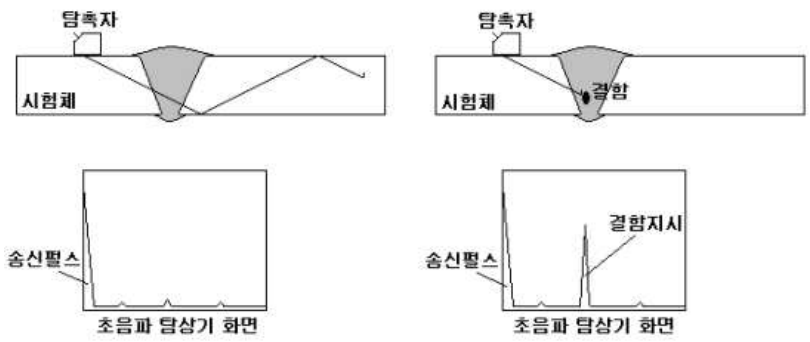
초음파 탐상 시험은 고주파수(20,000Hz 이상)의 음파 즉, 초음파를 검사할 매질내로 전파시켜 시험체 내의 내부결함을 검출하는 비파괴검사법의 하나이다.

초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 구분되며, 수직법은 탐촉자와 시험체의 접촉면에 수직방향으로 초음파를 전파시키는 검사방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜서 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

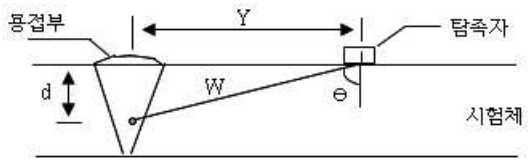
2) 방법(사각법)

일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 방법은 시험체에 탐촉자를 놓고, 진동자에서 발생한 초음파 펄스를 시험체 중으로 진행시킨다. 초음파 펄스의 진행방향에 결함이 없으면 초음파는 <그림 3.16>의 좌측과 같이 시험체 내를 진행하다가 소멸되고, 결함이 있으면 <그림 3.17>의 우측과 같이 반사한 초음파 펄스가 탐촉자로 되돌아와서 수신된다. 이것을 브라운관상에서 펄스신호로 표시하여 관찰 분석함으로써 결함의 존재 및 위치를 알아내어 평가할 수 있다.

본 시험에서는 70°로 초음파를 입사하였다.



<그림 3.16> 초음파 탐상 시험 원리



계산식 Y = W · SinΘ
d = W · CosΘ

여기서, Y : 입사점-결함거리
d : 결함깊이
W : 초음파 이동거리
Θ : 입사각(70°)

<그림 3.17> 초음파 탐상(사각법) 시험 개요도

3) 특성

① 금속의 조직검사에 유용하다. (라미네이션, 미세한 불연속부의 검출, RT로는 검사가 어려운 매우 두꺼운 주물의 검사)

② RT와는 달리 작업자의 안전관리상 문제가 없다.

③ 즉석으로 결함유무를 판단할 수 있어 신속하다.

④ 검사대상물의 모양에 많은 제한이 있다. (형상이 복잡하거나, 너무 얇아도 결함검출이 어렵다.)

⑤ 금속자체의 조직에 따라 영향을 많이 받은다.

⑥ 표면결함의 검출이 어렵다.

4) 평가

초음파 탐상 검사 방법 및 결함 지시에 대한 등급분류는 <표 3.54>에 있는 한국산업규격 KS B 0896 '강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법 및 시험결과의 등급 분류방법' 의 등급분류표를 적용하였다.

<표 3.54> 결함의 등급 분류

영역	결함의 크기(㎜)					
	M검출 레벨은 Ⅲ, L검출 레벨은 Ⅱ와 Ⅲ			Ⅳ		
판두께 / 등급	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6 이하	t/3 이하	20 이하	4 이하	t/4 이하	15 이하
2급	9 이하	t/2 이하	30 이하	6 이하	t/3 이하	20 이하
3급	18 이하	t 이하	60 이하	9 이하	t/2 이하	30 이하
4급	3급을 초과하는 것					

5) 판정기준

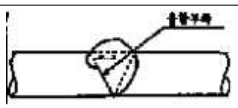
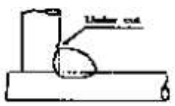
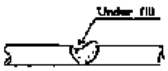
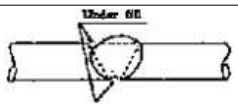
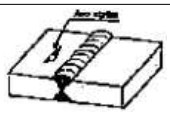
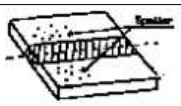
강도로교 용접 및 도장요령(1998, 건설교통부)에 의거하여 합·부를 판정하였다.

<표 3.55> 용접부 결함의 합·부 판정기준

검 사 부 위	합 격 기 준	비 고
인장 및 교번하중이 작용하는 부재의 용접부	2급 이상	KS B 0896
압축 및 전단응력이 작용하는 부재의 용접부	3급 이상	

나) 용접부에 발생하는 결함

<표 3.56> 용접부에 발생하는 대표적인 결함

결 함 내 용	설 명	비 고
균열 Crack	용접부의 작은 단면에 걸리는 하중이 금속의 응력값을 초과할 때 발생한다. 균열은 모재 또는 용접금속에서도 나타나며 다른 결함, Notch 등과 함께 나타나기도 한다.	
융합부족(LF) Lack of fusion	그림과 같이 용접 금속과 모재사이가 완전하게 융합이 되지 아니한 상태.	
용입부족(IP) Incomplete Penetration	그림과 같이 용융금속의 두께가 모재두께 보다 적게 용입이 이루어진 상태.	
언더 컷 Under cut	용접사 기량 또는 용접조건 불량 등의 원인에 의하여 그림과 같이 움푹패인 형상으로, 도로교 표준시방서 15.3.3의 (12)에 의하면 0.3~0.8mm 까지 허용됨.	
언더 필 Under fill	용융금속이 덜 채워진 형상. 	
아크 스트라이크 Arc strike	용접을 시작할 때 용접봉을 모재쪽에 대고 Arc를 발생시킴으로 인하여 모재가 움푹 패인 현상으로 응력집중의 원인이 됨.	
기공 Porosity	이물질이나 수분에 의해 용접부 내부에 가스가 발생되어 용접금속 외부로 빠져 나오지 못하고 내부에서 기포를 형성한 상태.	
블로 홀 Blow hole (Pit)	이물질이나 수분의 존재에 의하여 발생된 가스가 용접비드 표면에 빠져 나오면서 발생된 작은 구멍.	
용접 Bead 상태불량 -과대한 용접 덧붙임 -Bead 표면의 과대한 요철	도·시(표 15.3.7)에 의하면 용접 Bead 폭 B에 따라 용접 덧붙임 높이 h값이 규정되어 있으며, 이 규정을 초과하는 덧붙임, 용접 Bead 표면의 과대한 요철 등이 발생.	
스패터 Spatter	용접시 용융 Pool로부터 모재쪽으로 튀겨 나온 조그마한 금속 알갱이를 말한다.	
슬래그 혼입 Slag Inclusion	용접봉 피복 등이 용접 금속내에 혼입된 상태. 용접 내부의 슬래그는 강도를 저하시키며, 표면의 슬래그는 도장박리의 원인이 됨.	

다) 시험결과 분석




거더내부 맞대기 용접부 초음파 탐상 시험

<그림 3.18> 초음파 탐상(사각법) 시험

본 교량의 거더 내부 하부플랜지의 맞대기용접부에 대하여 초음파탐상시험으로 조사한 결과, 총 96개소 모두 'KS B 0896'의 판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았다.

교량 부위별 시험 내용은 다음 <표 3.57>과 같다.

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연호고가교	G1-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G1-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G1-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G1-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G1-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G1-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G1-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G1-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G1-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G1-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G1-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G1-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G1-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G1-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G1-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G1-S8-P16		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(융합 불량), ND : 결함없음

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)(계속)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연호고가교	G2-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G2-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G2-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G2-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G2-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G2-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G2-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G2-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G2-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G2-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G2-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G2-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G2-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G2-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G2-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G2-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G3-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G3-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G3-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G3-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G3-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G3-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G3-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G3-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G3-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G3-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G3-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G3-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G3-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G3-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G3-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G3-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G4-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G4-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G4-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G4-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G4-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G4-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G4-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G4-S4-P8		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(융합 불량), ND : 결함없음

<표 3.57> 맞대기 용접부 경간별 결함 내역(UT)(계속)

구분		하부플랜지				
		결함 유	결함 무	결함종류	합 · 부 판정	결함발생 현황
연호고가교	G4-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G4-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G4-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G4-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G4-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G4-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G4-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G4-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G5-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G5-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G5-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G5-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G5-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G5-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G5-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G5-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G5-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G5-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G5-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G5-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G5-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G5-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G5-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G5-S8-P16		○	ND	합	결함없음
	G6-S1-P1		○	ND	합	결함없음
	G6-S1-P2		○	ND	합	결함없음
	G6-S2-P3		○	ND	합	결함없음
	G6-S2-P4		○	ND	합	결함없음
	G6-S3-P5		○	ND	합	결함없음
	G6-S3-P6		○	ND	합	결함없음
	G6-S4-P7		○	ND	합	결함없음
	G6-S4-P8		○	ND	합	결함없음
	G6-S5-P9		○	ND	합	결함없음
	G6-S5-P10		○	ND	합	결함없음
	G6-S6-P11		○	ND	합	결함없음
	G6-S6-P12		○	ND	합	결함없음
	G6-S7-P13		○	ND	합	결함없음
	G6-S7-P14		○	ND	합	결함없음
	G6-S8-P15		○	ND	합	결함없음
	G6-S8-P16		○	ND	합	결함없음

※ 결함 - PO : Porosity(기공), CR : CRACK(균열), IP : Incomp Pene.(용입 불량), LF : Lack of Fusion(융합 불량), ND : 결함없음

3.5.2 도막두께 측정

가) 시험 내용 및 평가 기준

1) 개요

강재에 있어서 도장의 상태 및 도막의 두께는 구조물의 내구성능을 판단하는 기준이 된다. 도장막의 부족은 강재의 부식을 촉진시키고 결과적으로 내구성능을 저하시키는 요인으로 작용한다. 본 측정은 강거더의 도막두께를 측정하여 현재의 도장상태를 확인하고 내구성능의 저하여부를 판단하고자 실시하였다.

① 시험장비

ELCOMETER

② 시험방법

도막두께는 도막두께 Gauge 를 사용하여 일정의 Standard 두께를 가진 필름에 교정한 후 강재에 기 도장된 부위의 두께를 측정하는 것이다.

Gauge 를 이용한 측정법은 다음과 같다.

- Wet Thickness Gauges

  도료가 굳지 않은 상태에서 도장막 두께를 측정하는 방법으로 비교적 오차가 크고 도료의 종류에 따라 조금씩 방법이 달라지는 단점이 있다.

- Dry Film Thickness Gauges

  도장막을 통과시킨 자력 또는 저항값 감소율을 측정하여 도장두께를 산출하는 방법이며, 접촉식으로 Probe를 도장막 표면에 접촉시키면 디지털 혹은 아나로그 방식으로 두께가 표시된다. 현재 가장 많이 사용되는 장비이다.

- Tooke Scratch Gauges

  정해진 각도의 칼날로 도장막을 직선으로 그어 잘려진 면의 단면길이를 휴대용 현미경으로 도장막을 측정하는 방법이다.

③ 측정기준

일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되며 일반환경용에도 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고 특수환경용 도장은 우레탄계마감 중방식 도장과 자연건조형 불소수지 마감 중방식 도장 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다.

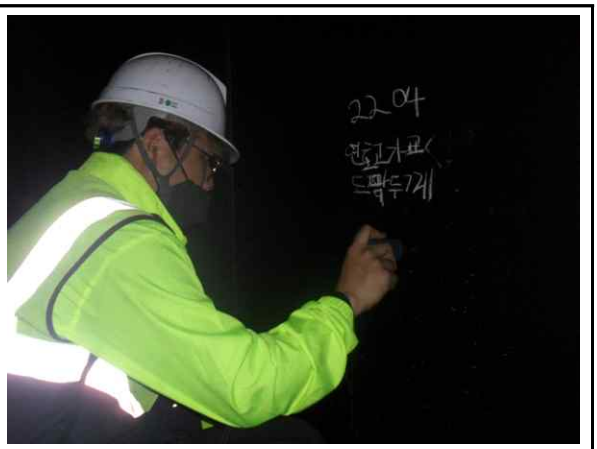
대상 구조물의 주요 구조부재인 거더 외부의 도장은 폴리우레탄계 내후성중방식, 내부는 에폭시계마감으로 실시되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

<표 3.58> 일반환경용 도장(중방식 마감)

구분	도장 계열	고정		도료명칭 또는 방법	도막두께 (μm)	도장횟수	비고
교량 외부	GEB	1차 표면처리		SSPC SP10			
		전처리 프리미어		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC SP10			
		공장 도장	제1중	무기질 아연말도료	75	1	
			제2중	미스트 코트	60	1	
			제3중	염화고무계 도료		1	
		공장도장/ 현장도장	제4중	염화고무계 도료	60	1	
		계			195		
교량 내부	GIB	1차 표면처리		SSPC SP10			
		전처리 프리미어		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC SP10			
		공장 도장	제1중	무기질 아연말도료	75	1	
			제2중	미스트 코트	75	1	
			제3중	역청질계 도료		1	
		계			150		



거더 외부 도막두께 측정



거더 내부 도막두께 측정

<그림 3.19> 도막두께 측정

나) 시험결과 분석

도막두께 측정은 거더 내부 18개소, 거더 외부 18개소에서 5 Spot씩 각 개소당 5회 반복 측정하였으며, 조사결과는 아래와 같다. 거더 내부의 도막두께는 200~289μm, 외부는 275~332μm 로 측정되었다. 일반 환경용 중방식 도장계열 기준과 비교할 때 거더 내·외부 모두에서 기준 도막두께(내부 150μm, 외부 195μm) 이상의 두께를 확보하고 있는 상태이다.

<표 3.59> 도막두께 측정 결과

시험위치				Spot 평균값(㎛)					평균값 (㎛)	판정기준 (㎛)	평가	비고
				1	2	3	4	5				
거더 내부	범물 방향	S1	G1	237	238	226	228	232	232	150	만족	
			G2	224	226	222	219	227	224		만족	
			G3	238	248	244	242	247	244		만족	
		S4	G1	234	248	239	239	242	240		만족	
			G2	238	234	232	233	233	234		만족	
			G3	256	265	259	266	259	261		만족	
		S8	G1	242	243	249	247	239	244		만족	
			G2	199	198	203	200	199	200		만족	
			G3	201	202	211	208	208	206		만족	
	안심 방향	S1	G1	245	244	251	252	241	247		만족	
			G2	252	262	258	255	257	257		만족	
			G3	273	277	283	276	279	278		만족	
		S4	G1	283	285	280	279	283	282		만족	
			G2	272	278	268	274	272	273		만족	
			G3	265	269	261	258	259	262		만족	
		S8	G1	292	288	293	285	287	289		만족	
			G2	264	272	265	274	270	269		만족	
			G3	270	274	271	276	266	271		만족	
거더 외부	범물 방향	S1	G1	287	285	292	293	295	290	195	만족	
			G2	288	287	295	292	286	290		만족	
			G3	287	288	284	282	296	287		만족	
		S4	G1	303	312	307	308	306	307		만족	
			G2	322	321	314	318	318	319		만족	
			G3	288	276	282	279	279	281		만족	
		S8	G1	297	304	311	315	314	308		만족	
			G2	288	282	289	286	278	285		만족	
			G3	276	282	282	279	289	282		만족	
	안심 방향	S1	G1	277	276	268	282	274	275		만족	
			G2	288	295	292	281	295	290		만족	
			G3	301	299	303	292	295	298		만족	
		S4	G1	270	282	288	276	278	279		만족	
			G2	315	322	316	317	319	318		만족	
			G3	311	314	308	315	315	313		만족	
		S8	G1	294	292	299	297	296	296		만족	
			G2	334	325	331	334	335	332		만족	
			G3	311	305	299	297	306	304		만족	

다) 기 진단 결과와의 비교

<표 3.60> 기 진단 도막두께 측정 결과 비교

구분			2017년 진단	금회 진단	비고
연호 고가교	도막두께 측정 (μm)	거더 내부	208~292	175~209	
		거더 외부	262~345	194~303	

기 진단결과와 비교한 결과, 측정위치에 따른 편차가 있으나 거더 내·외부 모두에서 기준 도막두께(내부 150μm, 외부 195μm) 이상의 두께를 확보하고 있는 양호한 상태로 확인되었다.

3.6 내구성 조사 결과요약

3.6.1 금회 진단 내구성 조사 결과요약

<표 3.61> 금회 진단 내구성 조사 결과요약

시험명	시험부위			시험 결과		검토 의견
비파괴 강도 (MPa)	보정 코어강도			상부 24.3, 하부 36.7~36.8		설계기준 대비 상부구조는 105.9~118.5%, 하부구조는 101.9~108.5%로 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 판단됨
	보정계수의 결정			반발경도법(1.0506)		
	상부구조 (설계기준 : 27MPa)			28.6~32.0		
	하부구조 (설계기준 : 24MPa)			27.5~29.3		
탄산화 깊이 (㎜)	상부구조		진행깊이	9.0~12.0		실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 'a'등급으로 평가됨
			잔여깊이	30.0~33.0		
	하부구조		진행깊이	10.0~12.0		
			잔여깊이	75.0~84.5		
철근탐사 (배근간격/피복두께) (㎜)	상부구조	바닥판	주근	117~259	41~52	배근간격은 대체로 설계값과 일치하는 양호한 상태로 측정되었으며, 피복두께는 대체로 설계값을 만족하고 있으나 일부 구간의 경우 실측 피복이 다소 부족한 것으로 조사됨
			배력근	100~118	44~57	
	하부구조	교대	수직철근	127~128	55~56	
			수평철근	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직철근	134~143	117~119	
			수평철근	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직철근	182~217	86~101	
			수평철근	243~300	89~100	
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부구조			0.0226~0.0339		'a'등급으로 평가되어 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨
	하부구조			0.0339		
균열깊이 측정	상부구조	Cw=0.1mm		14.1		실측 피복두께 초과하지 않음
	하부구조	Cw=0.2mm		17.2		
초음파 탐상시험	거더 내부			96개소 양호		판정기준에 의거 불합격 결함은 조사되지 않았음
도막두께 측정 (μm)	거더 내부			175~209		전반적으로 기준 이상의 두께를 확보하고 있는 상태임
	거더 외부			194~303		

3.6.2 기 진단 및 정밀안전점검 내구성 조사 결과와의 비교

<표 3.62> 기 진단 및 정밀안전점검 내구성 조사 결과 비교

시험명	시험부위			2017년 진단		2021년 정밀		금회 진단		비고
비파괴 강도 (MPa)	보정 코어강도			24.3(상부) 33.7~42.7(하부)		-		24.3(상부) 33.7~42.7(하부)		추정식, 측정 위치에 따른 편차로 인해 정밀한 비교가 어려우나 전반적으로 강도상에는 문제가 없는 상태로 판단됨
	보정계수의 결정			일본재료학회 (1.0506)		-		일본재료학회 (1.0506)		
	상부구조 (설계기준:27MPa)			27.1~30.0		27.1~28.9		28.6~32.0		
	하부구조 (설계기준:24MPa)			24.2~25.5		24.6~28.0		27.5~29.3		
탄산화 깊이 (㎜)	상부구조		진행 깊이	10.7~14.8		4.0~9.0		9.0~12.0		측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨.
			잔여 깊이	20.5~41.2		28.0~36.0		30.0~33.0		
	하부구조		진행 깊이	8.5~11.8		6.0~8.0		10.0~12.0		
			잔여 깊이	62.7~67.0		70.0~76.0		75.0~84.5		
철근탐사 (배근간격/ 피복두께) (㎜)	상부구조	바닥판	주근	233~252	32.0~42.5	-	-	117~259	41~52	배근간격은 측정위치에 따른 편차가 있으나 설계 도면과 유사하게 측정되어 철근배근 상의 문제는 없는 것으로 판단되며 피복두께는 기 진단 결과와 마찬가지로 일부구간에서 작거나 크게 시공된 것으로 확인됨
			배력근	-	-	-	-	100~118	44~57	
	하부구조	교대	수직 철근	133~134	58.0~72.0	-	-	127~128	55~56	
			수평 철근	-	-	-	-	250	52~86	
		교각 (기둥)	수직 철근	125~152	75~145	-	-	134~143	117~119	
			수평 철근	-	-	-	-	150~307	84~119	
		교각 (코핑)	수직 철근	193~203	70~80	-	-	182~217	86~101	
			수평 철근	-	-	-	-	243~300	89~100	
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부구조			0.4526		-		0.0226~0.0339		측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없으며, 염화물에 의한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨
	하부구조			0.0634		-		0.0339		
균열깊이 (균열깊이/ 피복두께) (mm)	상부구조			-		-		14.1 (Cw=0.1mm)		실측 피복두께 초과하지 않음
	하부구조			-		-		17.2 (Cw=0.1mm)		
초음파 탐상시험	거더			양호: 96개소		-		양호: 96개소		전반적으로 양호함
도막두께 측정 (μm)	거더 내부			208~292		-		175~209		전반적으로 양호함
	거더 외부			262~345		-		194~303		

제4장 시설물의 상태평가

4.1 개요

4.2 상태평가 결과

4.3 상태평가 결과요약

제4장 시설물의 상태평가

4.1 개요

4.1.1 상태평가 항목 및 기준

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 '시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2021. 12.)'의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

가) 부재별 상태평가 적용범위

○ 부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 한 전체 상태평가 기준과 부합하도록 조정하였다. 교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 사용성 및 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

<표 4.1> 부재별 상태평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블	a, b, c, d, e
	2차부재(가로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초, 주탑	a, b, c, d, e
받침	교량받침	a, b, c, d, e
기타부재	신축이음, 난간 및 연석, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d
콘크리트 재료	탄산화, 염화물	a, b, c, d

나) 구조형식에 따른 부재별 가중치

<표 4.2> 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목		슬래브교 량	거더교량							라멘교		
				일반 거더교			바닥판·거더 일체형		아치,트러스		거더 없음	거더있음 (복개구조물)	
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	콘크리트 바닥판	강 바닥판			
상부	바닥판		34	18	18	-	20	20	15		34	20	21
	주 형		-	20	25	37	18	20	23		-	21	23
	2차부재		-	5	-	11	5	3	5		-	5	-
하부	교대/교각		20	13	13	18	13		13		34	22	24
	기초		7	7	7	7	7		7		7	7	7
받침	교량받침		10	9	9	14	9		9		3	3	3
기타	신축이음		10	9	9	-	9		9		3	3	3
	교면포장		7	7	7	-	7		7		7	7	7
	배수시설		3	3	3	-	3		3		3	3	3
	난간/연석		2	2	2	6	2		2		2	2	2
콘크리트	탄산화	상부	2	2		-	-	2	2	-	4		
		하부	2	2		4	4	2	2	4			
	염화물	상부	2	2		-	-	2	2	-	3		
		하부	1	1		3	3	1	1	3			

<해 설>

- 하부구조물이 무근콘크리트로 시공된 경우, 하부구조물의 탄산화 및 염화물 항목에 할당된 가중치를 상부구조물의 탄산화 및 염화물 항목의 가중치에 포함시킨다.
- 하부구조물은 무근콘크리트, 상부구조물은 강재로 시공된 경우, 상부구조물의 탄산화 및 염화물 항목에 할당된 가중치는 상부구조물의 상태평가항목(바닥판, 거더)의 가중치에 균등배분하고 하부구조물의 탄산화 및 염화물 항목에 할당된 가중치는 하부구조물(교대/교각)의 가중치에 포함시킨다.
- 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
- 기초에 대한평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.

4.1.2 상태평가등급 산정 절차

가) 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

○ 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최저값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.

○ 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최저값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.

나) 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, <표 4.3>의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

<표 4.3> 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq x < 0.13$	$0.13 \leq x < 0.26$	$0.26 \leq x < 0.49$	$0.49 \leq x < 0.79$	$0.79 \leq x$

4.2 상태평가 결과

4.2.1 상태평가

하부구조 일체형 교량으로 상부구조 또한 일체형으로 보고 상태평가 결과를 검토하였다.(부록4.2 참조)

가) 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

균열율은 폭 0.2㎜이상의 균열을 대상으로 산정한다.

<표 4.4> 콘크리트 바닥판 상태평가 결과

구분	1방향 균열				2방향 균열		열화 및 손상						평가결과
	균열폭(㎜)		균열율(%)		균열폭(㎜)		누수 및 백태(%)		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	-	a	-	a	-	a	-	a	없음	a	없음	a	**a**
S2	-	a	-	a	-	a	10% 미만	b	없음	a	없음	a	**b**
S3	-	a	-	a	-	a	10% 미만	b	2% 미만	b	없음	a	**b**
S4	-	a	-	a	-	a	10% 미만	b	없음	a	없음	a	**b**
S5	0.1	b	-	a	-	a	-	a	2% 미만	b	없음	a	**b**
S6	-	a	-	a	-	a	-	a	없음	a	없음	a	**a**
S7	0.1	b	-	a	-	a	10% 미만	b	없음	a	없음	a	**b**
S8	-	a	-	a	-	a	10% 미만	b	없음	a	없음	a	**b**

2) 거더(강박스거더)

<표 4.5> 거더 상태평가 결과

구분	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
	부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**
S2	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**
S3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	2% 미만	b	**b**
S4	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**
S5	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**
S6	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S7	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**
S8	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	10% 미만	b	없음	a	**b**

3) 가로보

<표 4.6> 가로보 상태평가 결과

구분	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가결과
	부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S2	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S3	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S4	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S5	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S6	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S7	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**
S8	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	**a**

4) 교대 및 교각

<표 4.7> 콘크리트 교대 및 교각 상태평가 결과

구분	균열, 변위				열화 및 손상				평가결과
	균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
A1	0.2	b	없음	a	2% 미만	b	없음	a	**b**
P1	0.2	b	없음	a	2% 미만	b	없음	a	**b**
P2	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
P3	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
P4	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
P5	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
P6	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
P7	0.2	b	없음	a	없음	a	없음	a	**b**
A2	-	a	없음	a	2% 미만	b	없음	a	**b**

5) 기초

기초에 대한 상태평가 결과, 전반적으로 기초가 노출되어 있지 않은 상태로 점검불가인 'q'로 평가되었다.

<표 4.8> 기초 상태평가 결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가결과
	균열폭 (㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (㎜)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P3	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P5	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P6	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
P7	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	**q**

6) 교량받침

<표 4.9> 교량받침 상태평가 결과

구분	받침 본체		받침 콘크리트				평가결과
	탄성받침(부식, 파손 등)		균열폭(㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	손상없음	a	없음	a	없음	a	**a**
P1	도장박리	b	0.3미만	b	없음	a	**b**
P2	도장박리	b	0.3미만	b	없음	a	**b**
P3	도장박리	b	0.3미만	b	없음	a	**b**
P4	손상없음	a	0.3미만	b	없음	a	**b**
P5	도장박리	b	없음	a	없음	a	**b**
P6	도장박리	b	0.3미만	b	없음	a	**b**
P7	손상없음	a	없음	a	없음	a	**a**
A2	손상없음	a	0.3미만	b	없음	a	**b**

7) 신축이음

<표 4.10> 신축이음 상태평가 결과

구분	본 체 (이물질, 파손, 누수 등)		후타재				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	없음	a	미세균열	b	없음	a	b
A2	없음	a	미세균열	b	파손	c	c

8) 교면포장

<표 4.11> 교면포장 상태평가 결과

구분	포장불량				배 수 (물고임 등)		평가 결과
	포장불량율 (%)		포장손상에 따른 주행 및 통행 영향				
S1	없음	a	없음	a	없음	a	a
S2	없음	a	없음	a	없음	a	a
S3	없음	a	없음	a	없음	a	a
S4	없음	a	없음	a	없음	a	a
S5	없음	a	없음	a	없음	a	a
S6	없음	a	없음	a	없음	a	a
S7	없음	a	없음	a	없음	a	a
S8	없음	a	없음	a	없음	a	a

9) 배수시설

<표 4.12> 배수시설 상태평가 결과

구 분	평가내용	평가결과
S1	양호	a
S2	양호	a
S3	양호	a
S4	양호	a
S5	양호	a
S6	양호	a
S7	양호	a
S8	양호	a

10) 난간 및 연석

<표 4.13> 난간 및 연석 상태평가 결과

구분	콘크리트						평가결과
	균열폭(㎜)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상길이(%)		
S1	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S2	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S3	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S4	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S5	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S6	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S7	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**
S8	0.2	b	양호	a	양호	a	**b**

11) 탄산화

<표 4.14> 탄산화 상태평가 결과

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부 구조	바닥판 S3(범물)	31.0	< 탄산화 잔여 깊이 > ・a : 30㎜이상 ・b : 10㎜이상~30㎜미만 ・c : 0㎜이상~10㎜미만 ・d : 0㎜미만	a
	바닥판 S6(범물)	33.0		a
	바닥판 S2(안심)	32.0		a
	바닥판 S4(안심)	33.0		a
	바닥판 S6(안심)	32.0		a
	바닥판 S7(안심)	30.0		a
하부 구조	교각 P1	79.0		a
	교각 P2	75.0		a
	교각 P3	84.5		a
	교각 P5	82.0		a
	교각 P7	82.0		a

12) 염화물

<표 4.15> 염화물 상태평가 결과

구분			전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부 구조	바닥판 S6(범물)	20~30㎜	0.0226	< 전염화물 이온량 > ・a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ ・b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ ・c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ ・d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	a
	바닥판 S7(안심)	20~30㎜	0.0339		a
하부 구조	교각 P2	40~60㎜	0.0339		a

13) 공중이 이용하는 부위(추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개)

공중이 이용하는 부위 중 도로포장의 경우 교면포장, 도로부 신축이음부의 경우 교량 신축이음 외관조사 자료를 참고하여 작성하였으며, 추락방지시설, 환기구 등의 덮개는 미설치된 것으로 확인되었다.

<표 4.16> 공중이 이용하는 부위 상태평가 결과

구분	공중이 이용하는 부위							
	추락방지시설		도로포장		도로부 신축이음부		환기구 등의 덮개	
S1 (A1)	-	-	양호	a	미세균열	b	-	-
S2 (P1)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S3 (P2)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S4 (P3)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S5 (P4)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S6 (P5)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S7 (P6)	-	-	양호	a	-	-	-	-
S8 (P7)	-	-	양호	a	-	-	-	-
(A2)	-	-	양호	a	미세균열, 파손	c	-	-

나) 시설물 전체 상태평가 결과

연호고가교의 외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않았으나, 내구성 차원의 손상에 따라 “B”로 평가되었다.

<표 4.17> 상태평가 결과

개별교량명 : 연호고가교																
부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				지점 번호	받침	하부구조		내구성요소			
구분	형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음		교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1	STB	a	b	a	a	a	b	b	A1	a	b	q	x	x	x	x
S2	STB	b	b	a	a	a	b	x	P1	b	b	q	a	a	x	x
S3	STB	b	b	a	a	a	b	x	P2	b	b	q	a	a	x	a
S4	STB	b	b	a	a	a	b	x	P3	b	b	q	a	a	x	x
S5	STB	b	b	a	a	a	b	x	P4	b	b	q	x	x	x	x
S6	STB	a	a	a	a	a	b	x	P5	b	b	q	a	a	a	x
S7	STB	b	b	a	a	a	b	x	P6	b	b	q	a	x	a	x
S8	STB	b	b	a	a	a	b	x	P7	a	b	q	x	a	x	x
								c	A2	b	b	q	x	x	x	x
평균		0.18	0.19	0.10	0.10	0.10	0.20	0.30		0.18	0.20	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10
가중치		18	20	5	7	3	2	9		9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치)/가중치합		0.032	0.038	0.005	0.007	0.003	0.004	0.027		0.016	0.040	0.000	0.002	0.002	0.002	0.001
1. 환산결함도 점수 =																0.178
2. 상태평가 결과 =																B

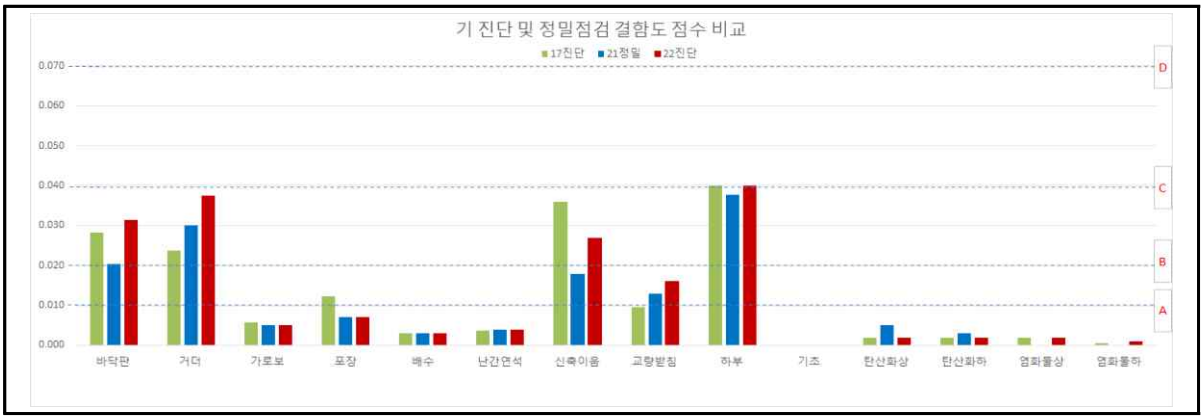
4.2.2 기 진단 및 정밀안전점검 결과와의 비교

상태평가 결과, 기준 “B”로 평가되었으며 2017년 정밀안전진단 이후 일부 부재에 대한 보수가 완료되었으나, 금회 진단까지 기간동안 신규손상이 추가적으로 발생된 것으로 조사되었으며, 중대한 결함에 해당되는 손상은 없는 것으로 평가되었다.

기 진단 이후 일부 균열, 도장박리, 파손 등에 대한 보수 및 재포장이 실시되었으나, 부재별 균열, 백태, 박리, 파손, 도장손상, 볼트부식 등의 손상이 증가됨에 의해 환산결함도 점수가(0.169 ⇨ 0.178) 소폭 증가된 것으로 검토되었다.

<표 4.18> 기 진단 및 정밀안전점검 상태평가 결함도 점수 비교

구 분		2017년 진단		2021년 정밀		금회 진단		결함도 점수 변화요인
		등급	평균	등급	평균	등급	평균	
상부구조	바닥판	a~b	0.028	a~b	0.020	a~b	0.032	· 균열, 백태 증가 → 결함도 점수 증가
	거더	a~b	0.024	a~b	0.030	a~b	0.038	· 일부 도장박리 보수실시, 도장손상, 볼트부식 증가 → 결함도 점수 증가
2차부재	가로보	a~b	0.006	a	0.005	a	0.005	· 변동없음(손상 거더외부 포함)
기타부재	포장	a~c	0.012	a	0.007	a	0.007	· 재포장 실시 → 결함도 점수 감소
	배수	a	0.003	a	0.003	a	0.003	· 변동없음
	난간, 연석	a~c	0.004	b	0.004	b	0.004	· 변동없음
	신축이음	c	0.036	b	0.018	b~c	0.027	· 일부 손상보수 → 결함도 점수 감소
받침	교량받침	a~b	0.009	a~b	0.013	a~b	0.016	· 균열, 부식 증가 → 결함도 점수 증가
하부구조	하부	b	0.040	a~b	0.038	a~b	0.040	· 변동없음
	기초	q	0.000	q	0.000	q	0.000	· 변동없음
내구성 요소	탄산화(상부)	a	0.002	a~b	0.005	a	0.002	· 변동없음
	탄산화(하부)	a	0.002	a	0.003	a	0.002	· 변동없음
	염화물(상부)	b	0.002	X	-	a	0.002	· 변동없음
	염화물(하부)	a	0.001	X	-	a	0.001	· 변동없음
합 계		B	0.169	B	0.145	B	0.178	· (결함도 점수 평균 × 가중치) / 가중치합



<그림 4.1> 기 진단 및 정밀안전점검 결과와의 부재별 상태평가 결과 비교

4.3 상태평가 결과 요약

4.3.1 상태평가 결과 요약

<표 4.19> 상태평가 결과 요약

구조물명	상태평가 결과		비고
	환산결함도점수	기준	
연호고가교	0.178	B	
검토의견	• 연호고가교의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 “B”로 평가됨		

제5장 시설물의 안전성평가

5.1 개요
5.2 구조해석 및 안전성 검토
5.3 안전성평가 등급 산정
5.4 내하력 평가

제5장 시설물의 안전성평가

5.1 개요

본 과업 대상 교량인 연호고가교는 대구광역시 수성구 연호동에 위치하고 있으며 범물 및 안심방향 모두 총연장 410m, 교폭 14.4m 의 8경간 연속, 3련 Steel Box Girder교로써 활하중 DB-24, DL-24 으로 설계되었다.

금회 시설물의 안전성평가는 구조물의 강도저하나 단면손실, 고정하중의 변화 등이 없는 상태로서 과업지시서에 따라 재진단인 경우 전차진단보고서의 안전성평가 결과를 활용하였다.

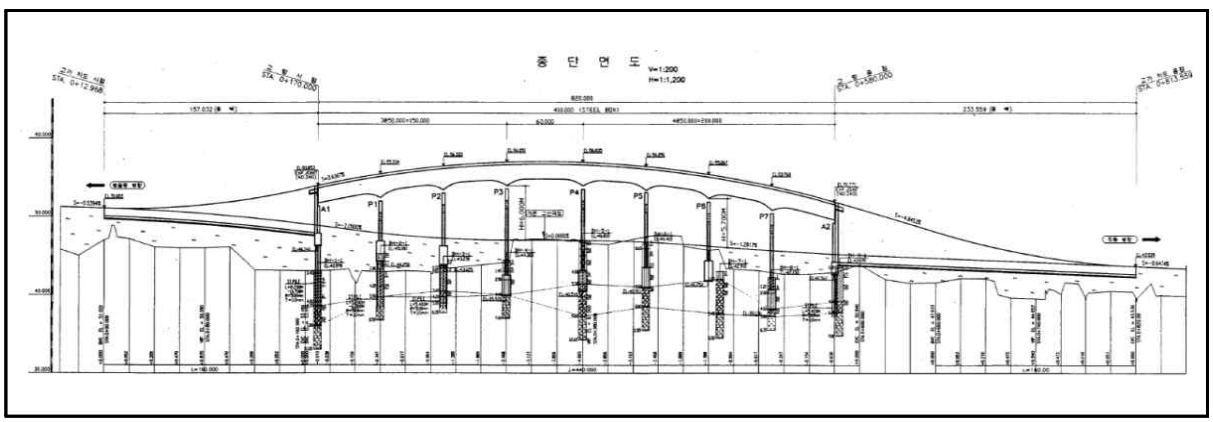
지간별, 상부구조 형식별로 구분할 경우 총 1가지 형태로 분류할 수 있는데, 상세한 구분은 <표 5.1>에 나타내었다.

<표 5.1> 상부구조 형식

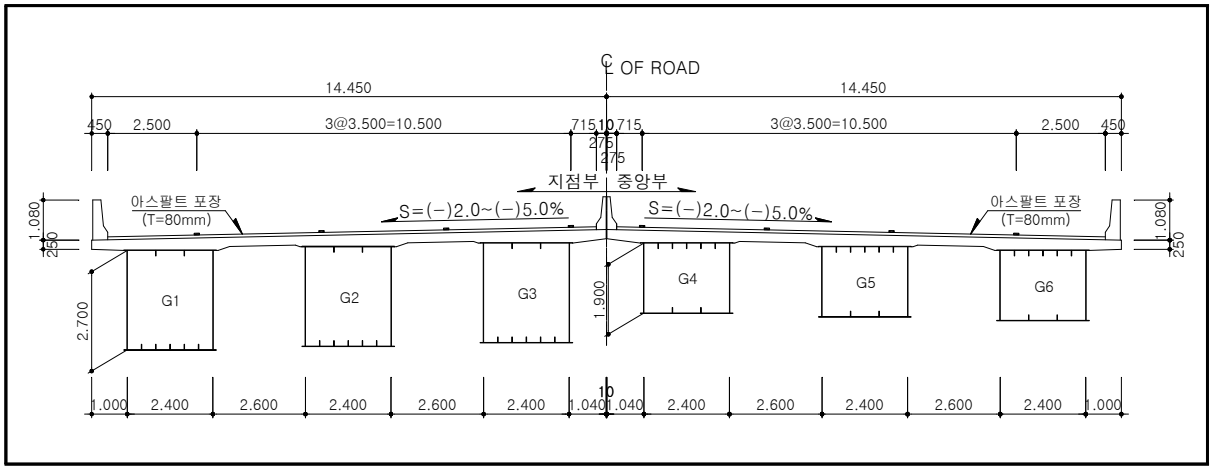
상부구조	구간	연속구분	지간구분	거더수
강상자형교	S1~S8	8경간연속	L=3@50m+60m+4@50m=410m	3

※ ▭ : 구조안전성평가 대상교량

본 구조 검토는 연호고가교 범물방향의 안전성 검토와 공용내하력을 평가하는데 그 목적이 있으며 본 검토에서 재료의 물성치 및 단면 특성치는 준공도면과 구조계산서를 기준으로 작성하였다. 또한, 안전성 평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 편심 이동재하가 가능한 범용 구조해석 프로그램인 Midas/Civil 을 이용하였으며 구조해석 및 안전성 검토 방법은 다음과 같다.



a) 종단면도



b) 횡단면도

<그림 5.1> 종단면도 및 횡단면도

5.2 구조해석 및 안전성검토

5.2.1 단면 특성

연호고가교는 강주형 거치, 바닥판 콘크리트 타설후 콘크리트가 경화하기 까지는 강거더만의 합성전 단면이 자중에 저항하고, 바닥판 콘크리트 경화 후 재하되는 하중에 대해서는 강거더와 바닥판이 일체로 하중에 저항하는 활하중 합성형임을 감안하여 해석모델을 하중 형태에 따라 구분하여 적용한다.

가) 구조형식

· 8경간 연속 강상형교(Steel Box Girder)

나) 교량제원

· 연 장(L) : 3@50.0 + 60.0 + 4@50.0 = 410.0m

· 교 폭 : B = 14.450 m

· 곡선반경 : R = 500m

다) 사용재료의 역학적 특성

강박스 거더교 구간에 사용된 구조재료의 물성치와 허용치는 다음과 같다.

1) 강재(SM490)

· 허용인장응력 : f_y = 190 MPa

· 탄성계수 : E_s = 2.0×10^6 MPa

· 단위중량 : γ_s = 7,850 kg/m^3

2) 콘크리트

· 설계기준강도(f_{ck}) = 27.0 MPa(안전측으로 설계값 반영)

· 허용압축응력 (f_{ca}) = 10.8 MPa

· 탄성계수 : E_c = 8500√27+4 = 26,701 MPa

라) 단면물성

대상구간 강박스 거더의 구조해석 시 사용된 대표적인 강성은 <표 5.2~5.3>와 같다.

<표 5.2> 단면 TYPE 분류

단면 TYPE	상부플랜지		하부플랜지		웨브	비고
	두께(㎜)	Rib(EA)	두께(㎜)	Rib(EA)	두께(㎜)	
T1	14	5	20	2	12	S1 외측
T2	14	5	20	2	12	S1 내측
T3	28	2	28	5	12	P3 외측
T4	28	2	28	5	12	P3 내측

<표 5.3> 단면 계수 산정결과(정모멘트부)

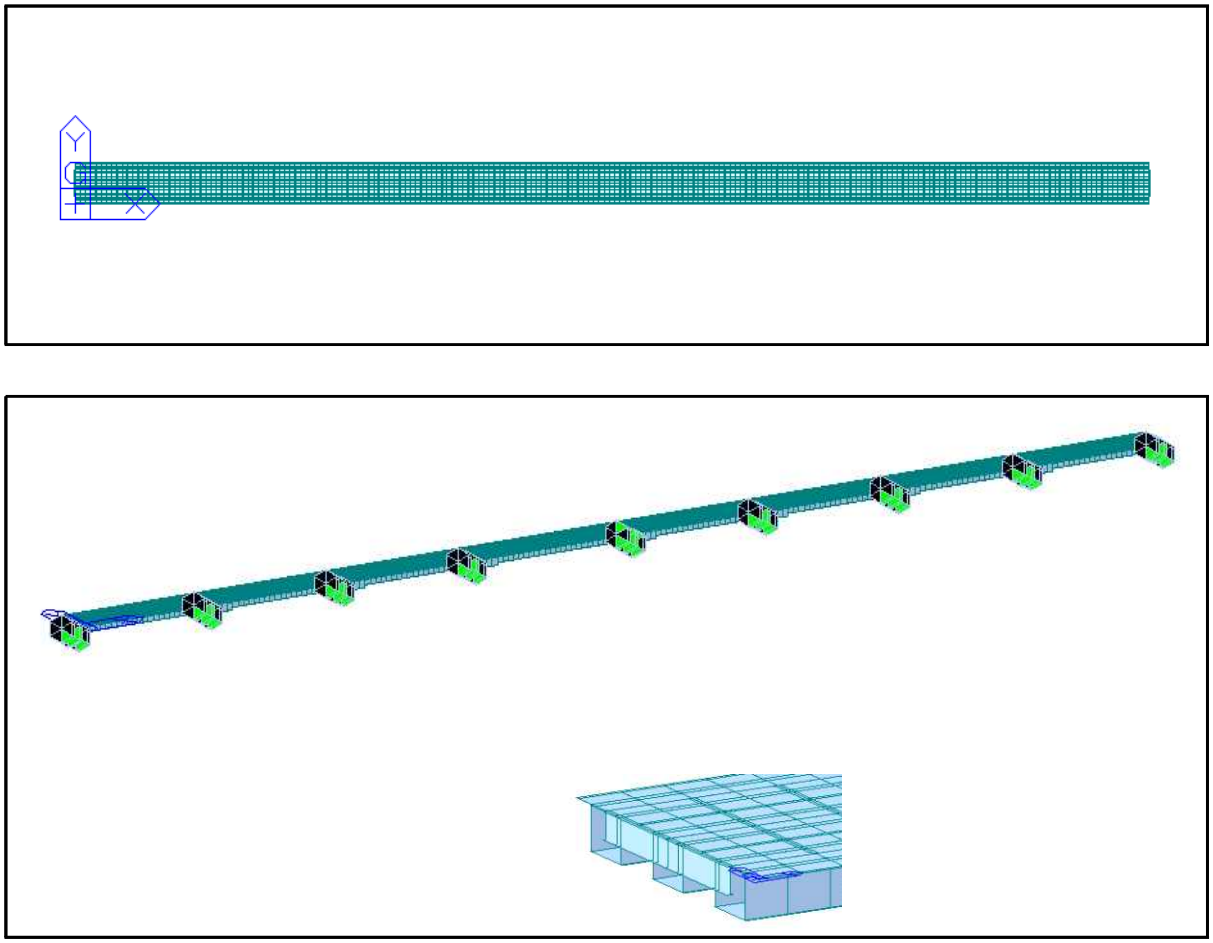
해당부재		A(㎟)	Ycu(㎜)	Ysu(㎜)	Ysl(㎜)	Ix(㎜4)
TYPE 1	합성전	148700	-	1028	-906	105646430052
	합성후	295575	723	437	-1497	210938632760
TYPE 2	합성전	148700	-	1028	-906	105646430052
	합성후	304950	705	419	-1515	214240843668

<표 5.4> 단면 계수 산정결과(부모멘트부)

해당부재		Ar(㎟)	A(㎟)	Yru(㎜)	Ysu(㎜)	Ysl(㎜)	Ix(㎜4)
TYPE 3	합성전	-	225100	-	1414	-1342	333901347276
	합성후	38428	263528	1400	1188	-1568	412831722370
TYPE 4	합성전	-	225100	-	1414	-1342	333901347276
	합성후	40536	265636	1389	1177	-1579	416500605024

5.2.2 해석모델

대상교량의 구조해석모델은 <그림 5.2>과 같으며, 2-Layer System Model을 적용하였다. 바닥판 콘크리트는 평판-쉘요소로 모델링하였고, 강박스 거더는 박스거더의 상면을 기준으로 프레임요소로 모델링하였으며, 바닥판과 강박스 거더는 강체연결요소(Rigid Link)를 사용하여 강박스 거더와 바닥판의 합성작용을 모델링하였다.



<그림 5.2> 구조해석 모델

5.2.3 하중산정

대상교량의 구조안전성 검토를 위하여 고려된 하중은 고정하중, 설계활하중(DL(DB)-24)과 온도하중, 콘크리트 바닥판의 건조수축 및 크리프 등이다.

가) 고정하중

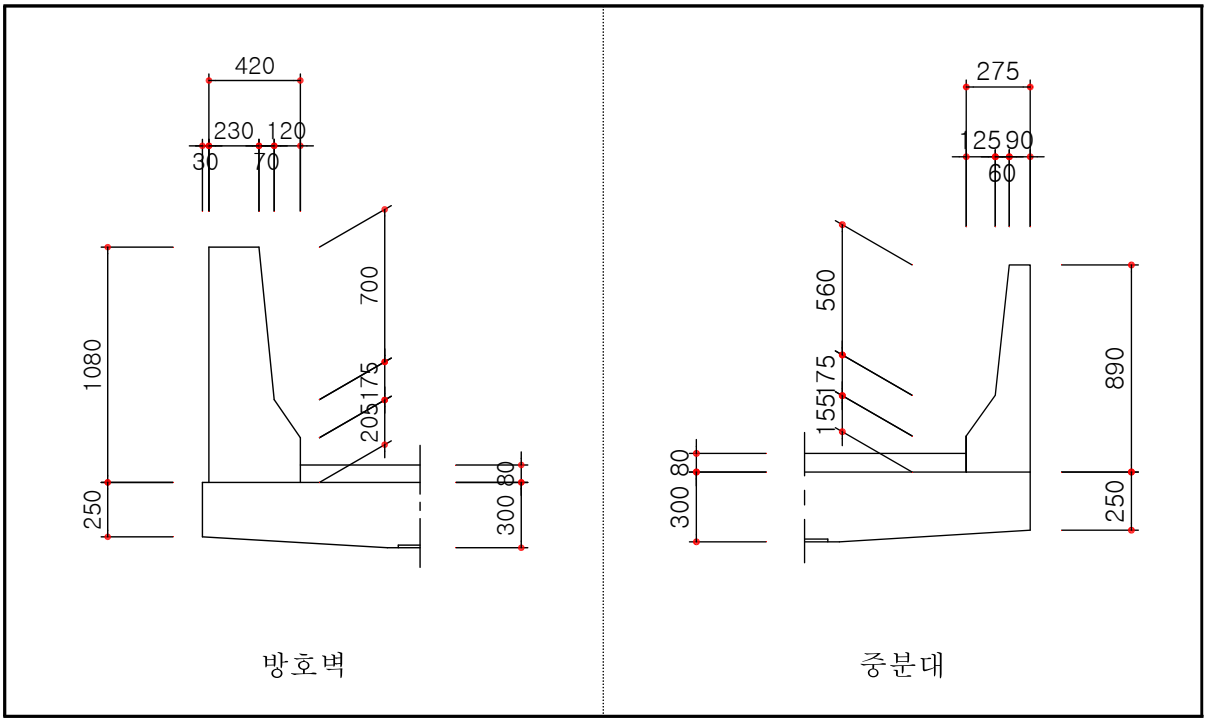
강재의 자중과 콘크리트 바닥판의 자중은 구조해석프로그램 내에서 자동으로 고려하도록 하였다. 포장 및 연석, 보도로 인한 자중은 바닥판을 모델링한 플레이트-쉘

요소에 압력하중(Pressure Load)으로 고려하였다.

1) 포장 : 0.08 × 23 kN/m^3 = 1.84 kN/m^2

2) 방호벽 :0.3346㎡ × 25kN/㎥ = 8.365kN/m

※ 방음벽 및 방호벽



나) 설계활하중

설계활하중은 DL-24가 지배적이므로 설계차선 4차선에 대해서 최대단면력을 발생시키는 경우에 대해서 구조검토를 수행하였다. 이때 보도활하중은 3.5kN/m2을 고려하였다.

· 연석간의 교폭(Wc) = 14.45m,

· 차로수(N) = 4차로(12.8 ≤ Wc < 16.4)

· 설계차로폭(W) = $\frac{14.45-(0.45+0.275+0.01)}{4}$ = 3.429≤ 3.60m이므로

표준 차선폭 3.429m이지만 곡선교이므로 3.0m 마다 연속시켜서 4차선까지 재하하였다.

· 충격계수 i = $i = \frac{15}{40+L}$

- 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8경간 중앙부 : 15 / (40 + 50) = 0.167

- 4경간 중앙부 : 15 / (40 + 60) = 0.150

- P1, P2, P5, P6, P7 지점부 : 15 / (40 + (50 + 50) / 2) = 0.167
- P3, P4 지점부 : 15 / (40 + (50 + 60) / 2) = 0.158

대상교량은 곡선교량으로 차량의 편심재하에 대한 설계가 중요한 교량이므로 표준차로폭이나 설계차로폭에 관계없이 DL하중을 표준점유폭인 3m마다 연속시켜서 설계차로수 이내로 최대의 편심효과가 일어날 수 있도록 고려하였다.

다) 지점침하

지점침하는 20mm를 적용하였다.

라) 바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차

바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차는 ±10℃를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재들보 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α는 1.2×10-6으로 한다.

마) 바닥판 콘크리트의 건조수축

건조수축에 의한 최종 수축 변형율(εs)는 도로교 설계기준에 제시되어 있는 27×10-5을 적용하였다.

바) 바닥판 콘크리트의 크리프

합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 Φ1은 2.0을 사용하였다.

사) 하중조합

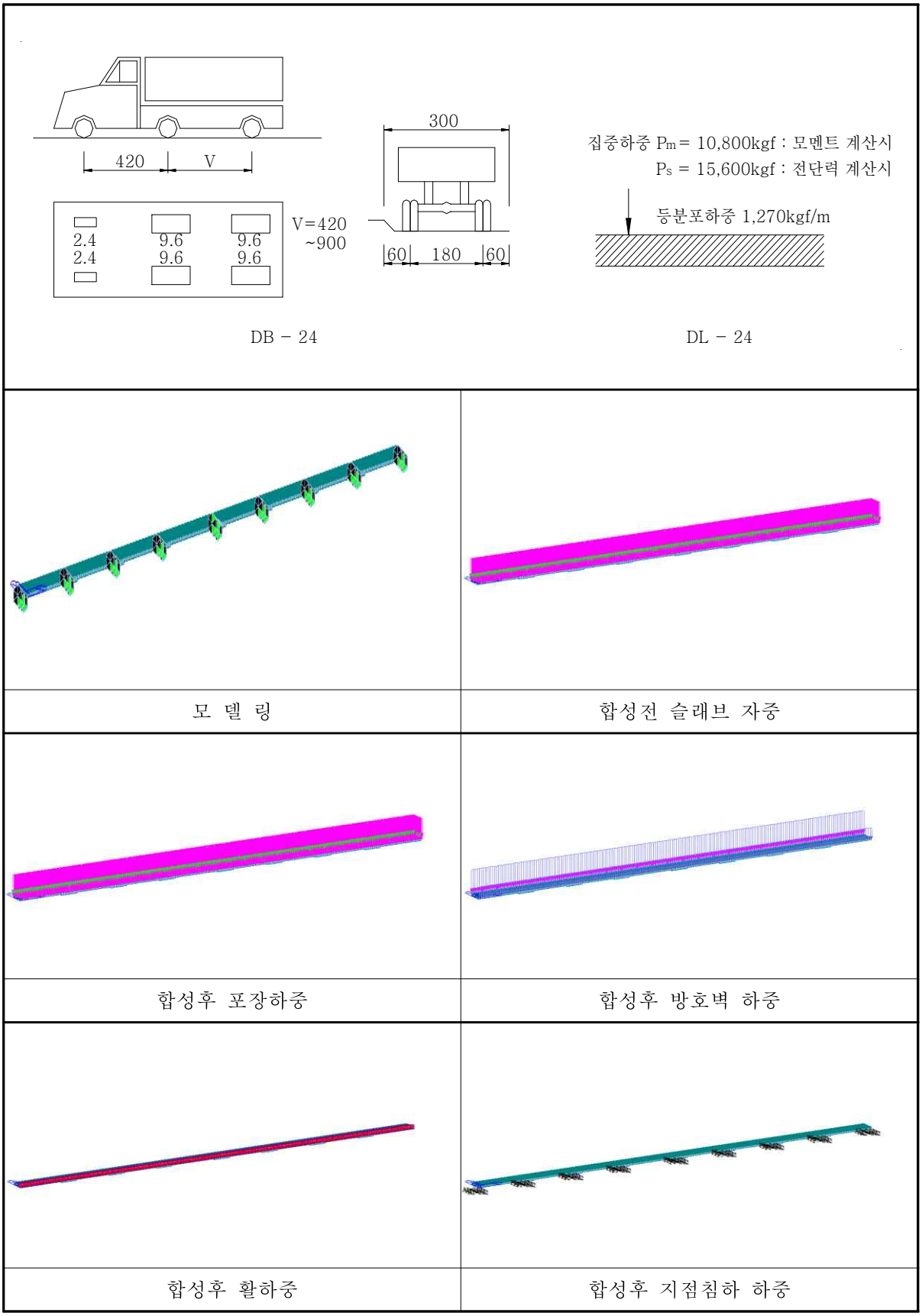
대상교량의 구조안전성 검토를 위해 고려된 하중조합은 다음과 같다.

· LC1 = 고정하중+활하중(DL-24)+지점침하

· LC2 = 고정하중+활하중(DL-24)+지점침하+건조수축+크리프

· LC3 = 고정하중+활하중(DL-24)+지점침하+건조수축+크리프+온도(±10℃)

아) 하중재하도



<그림 5.3> 하중재하도

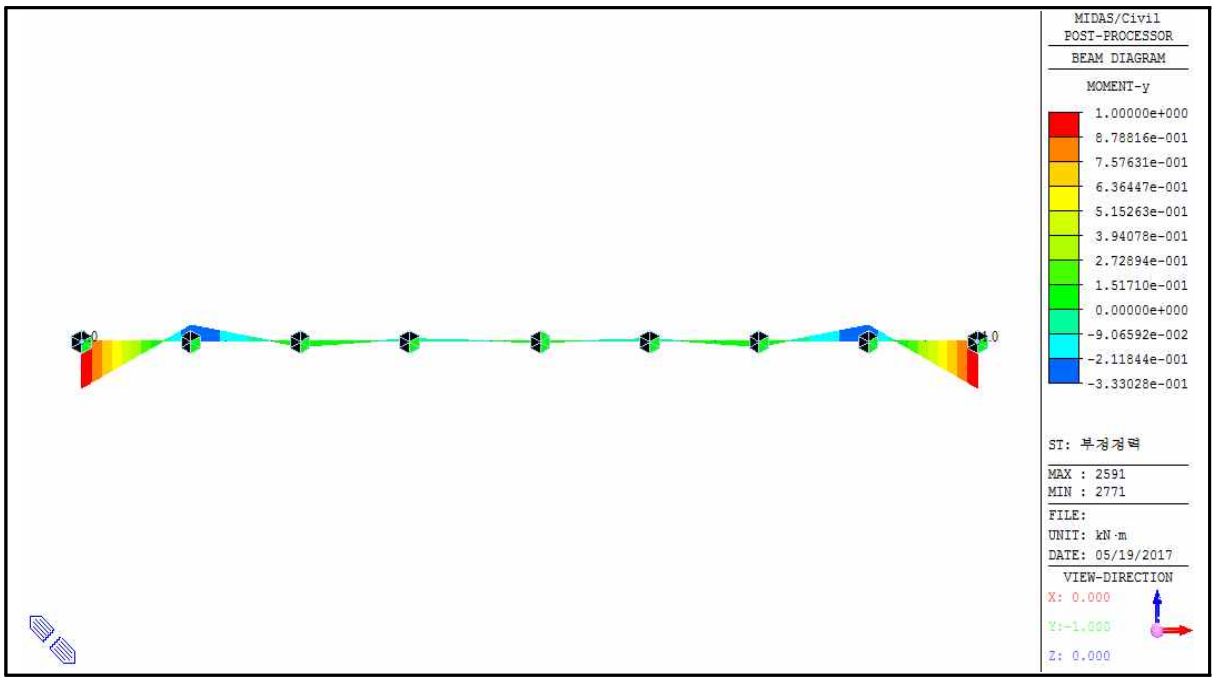
5.2.4 구조해석 결과

가) 2차 부정정력에 의한 검토 : 건조수축, 크리프, 온도하중

콘크리트와 강재 합성형 교량에서는 고정하중, 활하중에 대한 영향 이외에도 건조수축, 크리프, 온도하중에 의한 응력이 발생한다. 또한 2경간 이상의 연속교인 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의한 부정정력이 추가적으로 발생하는데 이 추가적으로 발생하는 모멘트를 2차모멘트라 한다.

■ 연속교로 인한 부정정력

건조수축, 크리프, 온도하중에 의해 연속교에 발생하는 2차모멘트의 영향을 강재 거더에 고려하기 위하여 거더의 양단에 단위모멘트를 작용시켜 K값을 구하고, 이 값을 응력산정식에 적용하여 강재거더의 응력을 검토하도록 한다.

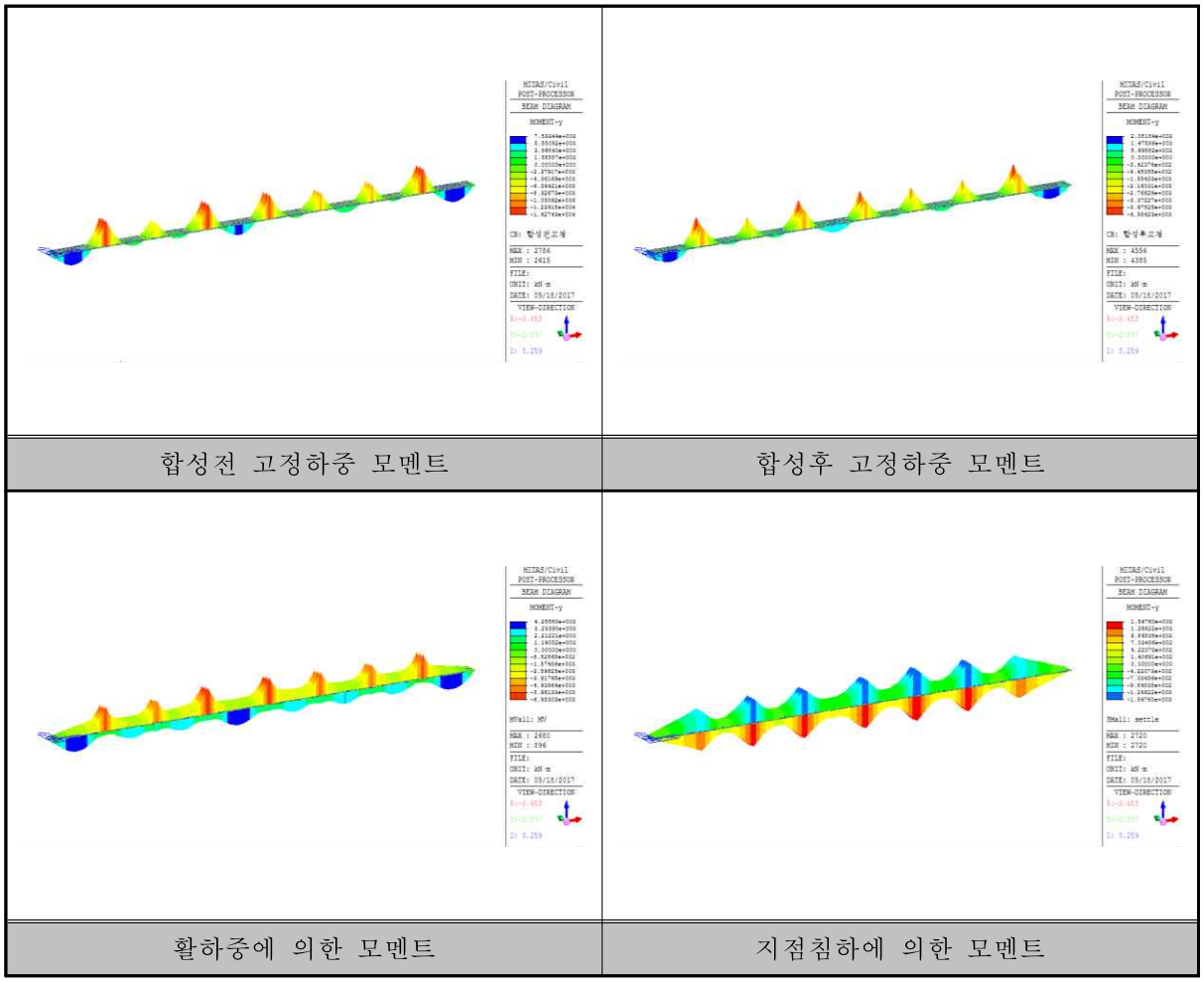


<그림 5.4> 부정정력에 의한 영향을 고려하기 위한 K값 산정

<표 5.5> K값 산정

구분	S1	P3	비고
	T1, T2	T3, T4	
k	0.520	-0.33	

나) 구조해석에 의한 부재력 산정결과



합성전 고정하중 모멘트 | 합성후 고정하중 모멘트

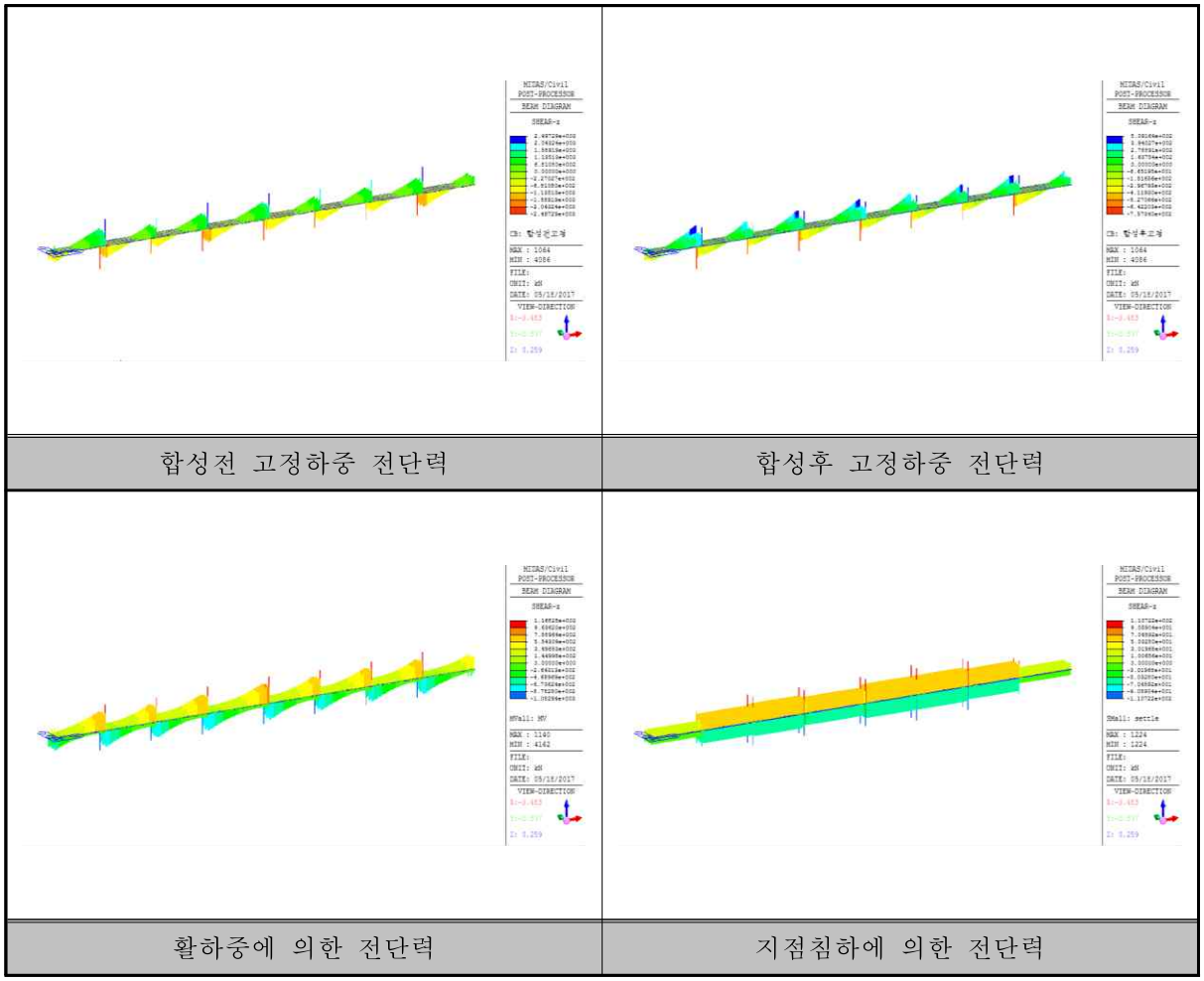
활하중에 의한 모멘트 | 지점침하에 의한 모멘트

<그림 5.5> 구조해석에 의한 모멘트 산출 결과

<표 5.6> 부재력 집계(모멘트)

구 분		G1		G2	
		중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
모멘트	합성전 고정하중	7,269.310	-13,677.980	7,318.750	-14,025.730
	합성후 고정하중	2,048.010	-4,503.360	1,892.880	-3,573.660
	활하중+ 지점침하	4,538.460	-8,072.290	4,687.320	-8,339.000

※ 부록 구조해석 모델링 참조



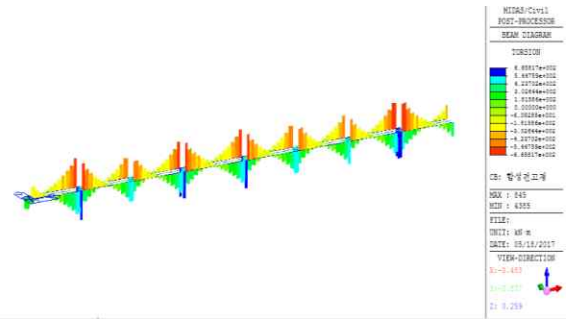
합성전 고정하중 전단력	합성후 고정하중 전단력
활하중에 의한 전단력	지점침하에 의한 전단력

<그림 5.6> 구조해석에 의한 전단력 산출 결과

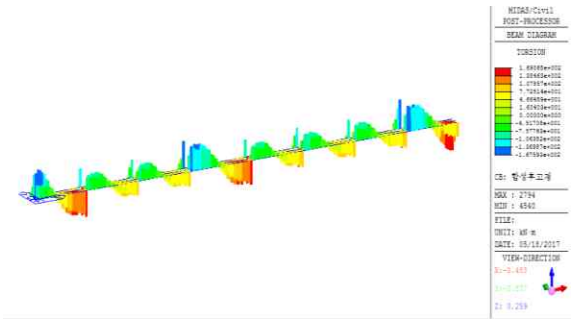
<표 5.7> 부재력 집계(전단력)

구 분		G1		G2	
		중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
전단력	합성전 고정하중	182.760	1,302.380	219.100	1,310.430
	합성후 고정하중	113.890	469.370	112.570	308.390
	활하중+ 지점침하	172.250	775.070	185.670	833.870

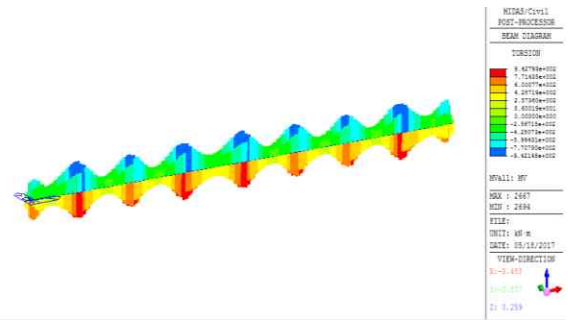
※ 부록 구조해석 모델링 참조



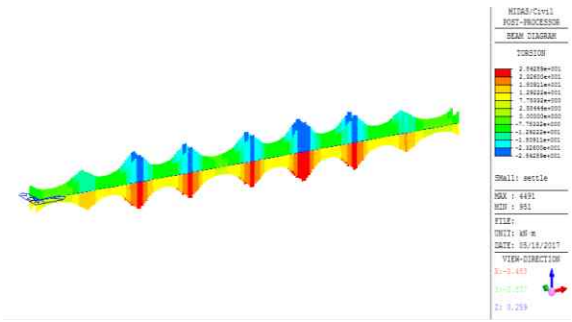
합성전 고정하중 비틀림 모멘트



합성후 고정하중 비틀림 모멘트



활하중에 의한 비틀림 모멘트



지점침하에 의한 비틀림 모멘트

<그림 5.7> 구조해석에 의한 비틀림모멘트 산출 결과

<표 5.8> 부재력 집계(비틀림)

구 분		G1		G2	
		중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
비틀림	합성전 고정하중	-	647.400	-	-158.950
	합성후 고정하중	-	-158.950	-	-83.390
	활하중+ 지점침하	167.320	850.140	168.570	-942.790

※ 부록 구조해석 모델링 참조

<표 5.9> 부재력 집계

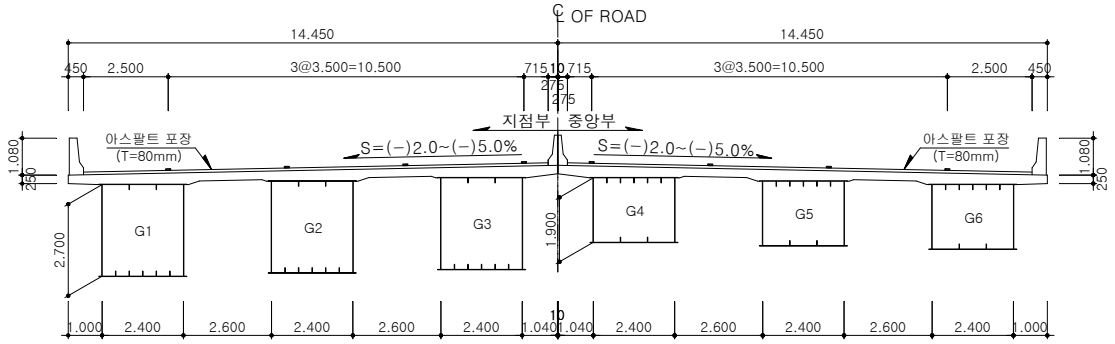
구 분		G1		G2	
		중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
모멘트 (kN・m)	합성전 고정하중	7,269.310	-13,677.980	7,318.750	-14,025.730
	합성후 고정하중	2,048.010	-4,503.360	1,892.880	-3,573.660
	활하중+지점침하	4,538.460	-8,072.290	4,687.320	-8,339.000
전단력 (kN)	합성전 고정하중	182.760	1,302.380	219.100	1,310.430
	합성후 고정하중	113.890	469.370	112.570	308.390
	활하중+지점침하	172.250	775.070	185.670	833.870
비틀림 (kN・m)	활하중+지점침하	167.320	850.140	168.570	-942.790

다) 부재 응력검토 결과

<표 5.10> 응력검토 결과

구 분			각 부재별 최대작용응력(MPa)			
			고정하중	활하중	작용응력	허용응력
G1 (외측)	정모멘트부 (S1)	상연	85.845	41.613	127.458	155.829
		하연	-78.387	-37.998	-116.385	190.000
	부모멘트부 (P3)	상연	-81.695	-31.710	-113.404	190.000
		하연	80.463	34.898	115.361	190.000
G2 (내측)	정모멘트부 (S1)	상연	84.873	42.963	127.836	155.829
		하연	-77.500	-39.231	-116.730	190.000
	부모멘트부 (P3)	상연	-81.090	-36.071	-117.162	190.000
		하연	78.264	36.681	114.945	190.000

5.2.5 바닥판



가) 캔틸레버부

1) 바닥판 제원

- 바닥판 두께 : H = 300mm
- 피복두께 : t = 60mm
- 유효높이 : d = 300 - 60 = 240mm
- 설계기준강도 : fck = 27.0MPa

2) 최소두께의 검토

- 연속판의 경우 t = 80L + 230 = 80×0.39 + 230=261.2mm < 300mm ---- O.K

3) 계수모멘트 산정

- 고정하중

Wd = 17.560 kN

Md = 12.736 kN·m

- 활하중(DB-24)

Ml = 33.521 kN·m

- 계수모멘트

$M_u = 1.3D + 2.15L(1+i)$ = 88.63 kN·m

4) 설계모멘트 산정

- 사용철근량 : As(C.T.C 125) = H16 × 8 = 1,589 mm2

$M_d = \Phi M_n = 0.85 A_s f_y (d - a/2)$ = 122.08 kN·m

5) 안전성 검토

- ΦMn = 122.08 kN·m > Mu = 88.63 kN·m ---- O.K

나) 중앙부

1) 바닥판 제원

- 바닥판 두께 : H = 250mm

- 피복두께 : t = 40mm

- 유효높이 : d = 250 - 40 = 210mm

- 설계기준강도 : fck = 27.0MPa

2) 최소두께의 검토

- 연속판의 경우 t = 40L + 130 = 234.0mm < 250mm ---- O.K

3) 계수모멘트 산정

- 고정하중

Md = 5.469 kN·m

- 활하중(DB-24)

Ml = 33.280 kN·m

- 계수모멘트

$M_u = 1.3D + 2.15L(1+i)$ = 78.66 kN·m

4) 설계모멘트 산정

- 사용철근량 : As(C.T.C 125) = H16 × 8 = 1,589 mm2

$M_d = \Phi M_n = 0.85 A_s f_y (d - a/2)$ = 105.88 kN·m

5) 안전성 검토

- ΦMn = 105.88 kN·m > Mu = 78.66 kN·m ---- O.K

5.3 안전성평가 등급 산정

외관상태와 내구성조사를 근거로 교량구조물의 대표등급을 산정하는 경우 구조물의 실제적인 안전성에 대한 효과적인 고려가 곤란하다. 따라서 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단시에는 안전성 평가 결과에 의하여 안전성평가등급을 산정하도록 한다.

5.3.1 안전성 평가 기준

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀육안검사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다. 안전성 검토는 대상교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고 있다.

또한 교량의 안전성 평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나, 내하력은 활하중 여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다. 따라서 안전성평가는 교량의 안전율 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 안전성평가등급을 산정한다.

<표 5.11> 구조물의 안전성 평가기준

등급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦ 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$ ◦ 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

5.3.2 안전성 평가등급 산정결과

가) 강합성 거더(허용응력설계법)

<표 5.12> Steel Box Girder에 대한 안전성 평가

구 분			허용응력설계법에 의한 안전성평가	안전성 평가등급
G1 (외측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{155.829}{85.845+41.613} = 1.223$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{78.387+37.998} = 1.633$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190.000}{81.695+31.710} = 1.675$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{80.463+34.898} = 1.647$	A
G2 (내측)	정모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{155.829}{84.873+42.963} = \mathbf{1.219}$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{77.500+39.231} = 1.628$	A
	부모멘트부	상연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{81.090+36.071} = 1.622$	A
		하연	$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}} = \frac{190}{78.264+36.681} = 1.653$	A

나) 콘크리트 바닥판(강도설계법)

<표 5.13> 바닥판에 대한 안전성 평가

구분		바닥판	S.F(안전율)	안전성평가등급
바닥판 캔틸레버부	공칭강도 ØMn (kN・m)	122.08	1.377	A
	극한강도 Mu (kN・m)	88.63		
바닥판 중앙부	공칭강도 ØMn (kN・m)	105.88	**1.346**	A
	극한강도 Mu (kN・m)	78.66		

다) 안전성 평가 결과

<표 5.14> 안전성 평가결과

부 재	SF(안전율)	등 급
강합성 거더	1.219	A
콘크리트 바닥판	1.346	A

5.4 내하력 평가

본 교량은 Steel Box Girder교로서 설계시 허용응력에 의한 단면검토를 실시하여 강도 설계법(바닥판) 및 허용응력 설계법(주형)에 의한 내하력을 평가한다.

현재 교량의 상태는 전반적으로 양호한 상태이고, 단면부재치수가 설계기준에 일치하므로 재료응력 등 단면상수는 설계기준에 따라 적용하였다.

5.4.1 허용응력 설계법에 의한 내하력평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 되며 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교시방서의 규정에 의거하여 부재의 종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 중성화, 염해, 동해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한한 정확히 고려하여야 하며 활하중은 현행 도로교 표준시방서의 설계활하중을 사용한다. 허용응력법에 의한 내하율은 다음 식으로 계산한다.

· 내하율 : $RF = \dfrac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$

f_a : 재료의 허용응력

f_d : 고정하중에 의한 응력

f_l : 설계활하중에 의한 응력(도로교의 경우 DB 또는 DL 하중)

i : 충격계수로서 재하시험으로부터 실측한 최대충격계수를 사용함이 원칙이나 동적재하시험을 실시하지 않은 경우 도로교 표준시방서 제시한 설계 충격계수를 사용한다.

이 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

· 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_s : 응력(처짐 or 변형율)보정계수($= \dfrac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$)

재하시험을 실시하지 않은 경우 1로 적용한다

P_r : 설계하중

5.4.2 강도 설계법에 의한 내하력평가

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정시 단면강도는 단면의 현재 상태를 고려한 설계기준을 고려하여 도로교설계기준 및 콘크리트설계기준의 공칭강도와 강도감소계수에 따라 계산한다. 교량설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차를 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다.

그러나, 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준서의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 의거하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력평가시 내하율 산정 방식은 아래와 같다.

· 내하율 $(RF) = \dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$

$$\phi M_n = A_p \times f_{ps} \times (d_p \times \frac{a}{2})$$

여기서, ϕM_n : 극한 저항모멘트 γ_d : 고정하중 계수

M_d : 설계 고정하중모멘트 γ_l : 활하중 계수

M_l : 설계 활하중모멘트 i : 이론상 충격계수

이 내하율로부터 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

· 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_s : 응력(처짐 or 변형율)보정계수($= \dfrac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$)

재하시험을 실시하지 않은 경우 1로 적용한다

P_r : 설계하중

5.4.3 내하력산정 결과

가) 강합성 거더(허용응력설계법)

<표 5.15> 거더 기본내하력 산정

구 분	G1(상연)		G1(하연)	
	중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
허용응력 (f_a), MPa	155.829	190.000	190.000	190.000
고정하중응력 (f_d), MPa	85.845	81.695	78.387	80.463
활하중응력 (f_l), MPa	41.613	31.710	37.998	34.898
내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d}{f_l\ (1+i)}$	1.682	3.416	2.937	3.139
기본내하력 P= $K_s \times RF \times P_r$	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상

구 분	G2(상연)		G2(하연)	
	중앙부(S1)	지점부(P3)	중앙부(S1)	지점부(P3)
허용응력 (f_a), MPa	155.829	190.000	190.000	190.000
고정하중응력 (f_d), MPa	84.873	81.090	77.500	78.264
활하중응력 (f_l), MPa	42.963	36.071	39.231	36.681
내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d}{f_l\ (1+i)}$	1.652	3.019	2.868	3.046
기본내하력 P= $K_s \times RF \times P_r$	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상	DB 24이상

거더 내하력 평가 결과 기본 내하력이 설계활하중인 DB-24, DL-24의 내하력을 상회하는 것으로 나타나 대상교량의 사용성 측면과 안전성 측면에서 설계내하력 이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

나) 바닥판(강도설계법)

· 내하율 $(RF) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)} = \frac{105.88 - 1.3 \times 5.469}{2.15 \times 33.280} = 1.380$

· 기본내하력 (P) = $K_s \times RF \times P_r$ = 1.0 × 1.380 × 24 = DB 24이상

바닥판의 안전성은 양호한 것으로 나타났고, 기본내하력도 설계내하력 이상인 것으로 평가되었다.

5.4.4 안전성평가 검토결과

연호고가교 상부구조에 대한 구조검토 결과, 바닥판의 경우 최소안전률이 1.346, 거더에 대한 검토결과 1.219로 안전율이 1.0을 상회하는 것으로 평가되었으며, 내하율에 의한 기본내하력 평가 결과 전구간에서 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

제6장 내진성능 평가

6.1 내진성능평가 기준

6.2 내진성능평가

6.3 내진성능평가 결과요약

제6장 내진성능 평가

6.1 내진성능평가 기준

6.1.1 개요

1980년대 중반까지만 해도 원전구조물과 같은 특수구조물을 제외하고는 토목 및 건축구조물의 설계 시 내진설계의 개념이 도입되지 않았었다. 그러나 1980년 후반 건축물에 대한 내진설계규준이 제정되어 건축물의 설계 시 지진하중에 해당하는 등가 횡방향력을 고려하기 시작하였으며 1990년에 들어서면서 토목구조물에도 내진설계의 개념이 도입되어 신설교량의 설계 시에 내진설계를 수행하도록 설계기준에 명시되었다.

최근의 국내 교량 설계시에는 내진설계를 필수적으로 수행하므로 내진설계에 대한 기준과 사례가 풍부하지만 기존교량에 대한 내진성능평가와 내진보강에 대한 사례는 그다지 많지 않다. 1999년도부터 시설안전기술공단에서 일반교량에 대한 내진성능 평가방법과 내진보강 방법에 대한 연구가 수행되었으며 2004년도에 기존교량의 내진성능 평가요령으로 한국시설안전기술공단이 내진성능평가에 대한 기준을 작성하였다.

본 과업에서는 교량 내진성능평가 수행 시 변경된 내진설계기준(2018. 내진설계 일반 : KDS 17 10 00→지진하중변경)을 적용하여 내진성능평가를 수행하였다. 또한 기존시설물(교량) 내진성능 평가요령·해설 및 예제집(2015. 국토교통부, 한국시설안전공단)에 근거하여 내진성능평가를 수행하였으며, 평가지침에서 규정하고 있지 않은 사항에 대해서는 다음과 같은 설계기준 및 지침 등을 참고하였다.

(1) 기존시설물(교량) 내진성능 평가요령·해설 및 예제집
(2015. 국토교통부, 한국시설안전공단)
(2) 콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2012)
(3) KDS 17 10 00 : 2018 (내진설계 일반)
(4) Guide Specification for Seismic Isolation Design(AASHTO)
(5) 도로교 설계기준(한국도로교통협회)
(6) 도로공사 표준시방서(국토교통부)
(7) 도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙(국토교통부)
(8) 고속도로공사 전문시방서(한국도로공사)

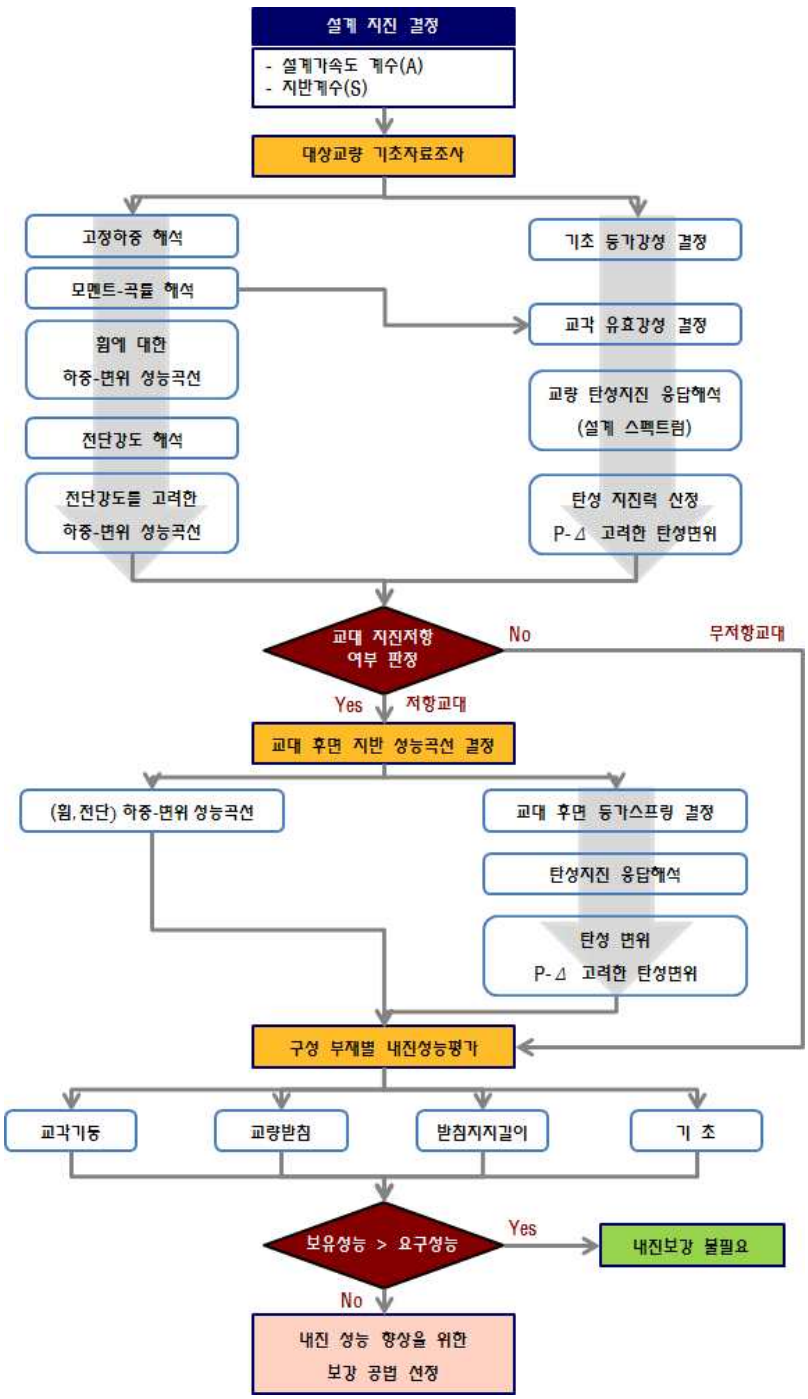
6.1.2 내진성능평가 지침 분석

본 과업의 내진성능에 대한 평가기준은 기본적으로 국토해양부 평가요령을 준용하였으며, 다음 표에 일반적으로 내진성능평가에 관한 평가요령에 대해서 정리하였다.

구 분	국토해양부 평가요령 [국토해양부, 2015.12]
교대 해석모델링 추가	교대 및 교대 후면 지반의 거동특성 미반영
기초 해석모델링 방법	지진시 구조물의 동적거동을보다 정확히 예측하기 위해서 스프링으로 치환하여 기초와 지반의 상호작용을 고려하여 해석한다.
겹침이음 된 교각의 콘크리트 극한변형률 및 최대 변위연성도	소성힌지 위치내 축방향철근의 겹침이음 비율이 0%에 0.004로 정의하고 있고 나머지는 지침과 동일 겹침이음 50% : 0.003~0.004 (2단 이상 배근) 겹침이음 100% : 0.0007~0.002
사각 보정 방법 (제한적)	3차원 모델링을 전제조건으로 하기 때문에 특별한 언급 없음
단경간 교량의 내진성능 평가	단간경 교량의 내진성능 평가에 대한 언급 없음.
받침부 및 교각 평가시 지진력	보강 전 및 보강 후의 설계용 지진력은 동일하게 탄성지진력과 교각의 휨강도 중 작은 값

6.1.3 내진성능평가 절차

기존교량의 내진성능평가는 구성부재의 내진성능을 파악하기 위해서 실시하는 것이며 구성부재가 보유하고 있는 보유성능(Capacity)과 지진에 의해 요구되는 요구성능(Demand)을 비교하여 평가한다. 주요한 구성부재는 교각기둥, 교량받침, 받침지지길이, 기초이다.



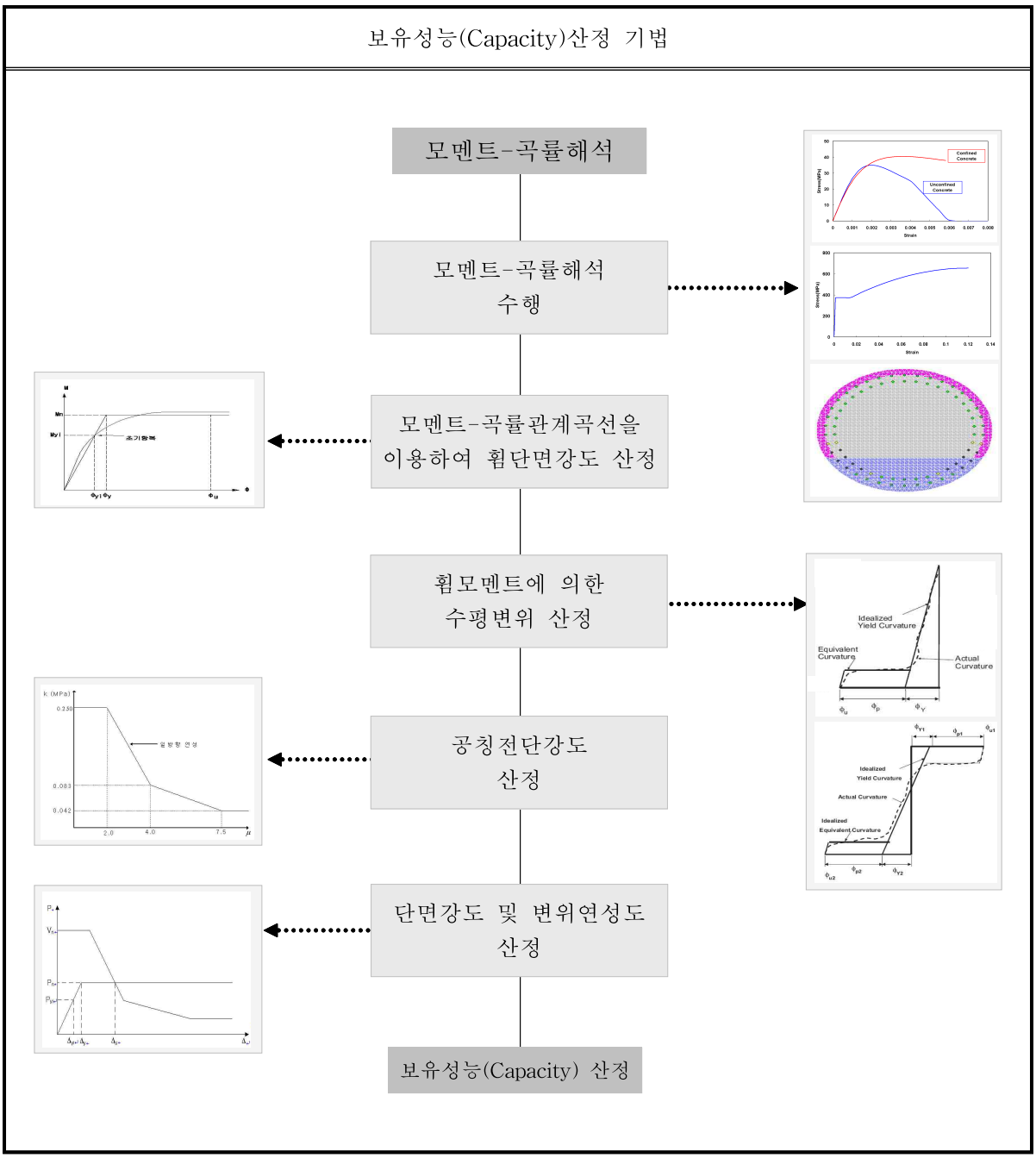
<그림 6.1>내진성능평가 흐름도

1) 보유성능(Capacity)을 산정하기 위해 지침에서 제공한 요령에 따라 모멘트-곡률해석(Moment-Curvature Analysis)을 수행하고 기존교각의 모멘트-곡률곡선을 산정하였다.

2) 기존교각의 철근콘크리트 단면을 비선형의 구속단면, 비구속단면 및 주철근으로 모델링하여 모멘트-곡률해석을 수행

3) 초기항복휨강도 및 공칭휨강도에서의 모멘트-곡률을 분석하여 부재의 등가탄성강도(공급역량)를 산정

보유성능(Capacity)산정 기법



6.1.4 지진해석방법

일반적인 교량형태에 따른 지진해석방법에는 크게 단일모드 스펙트럼 해석법과 다중모드 스펙트럼 해석법 중에서 설계자의 판단에 따라 타당한 방법을 사용하여 선형 탄성해석을 하는 것을 원칙으로 한다. 보다 정밀한 해석을 필요하다고 판단되는 교량에 대해서는 시간이력해석법 또는 발주처가 인정하는 검증된 해석법을 사용하여 선형 혹은 비선형해석을 수행할 수 있다.

<표 6.1>지진해석방법

해석방법	적용교량 형식	적용
단일모드 스펙트럼해석법	- 질량분포가 일정하고 경간 사이의 강성비가 거의 일정한 정형구조형태를 가진 교량 - 첫번째 진동모드가 대부분의 동적응답을 지배하는 교량	
다중모드 스펙트럼해석법	- 비정형 교량으로 진동모드간의 연계효과가 큰 교량이나 내부 중심각이 있는 곡선교량 - 고차의 진동모드가 동적응답에 기여할 것 같은 교량 - 본 과업에서는 다중모드 스펙트럼해석으로 평가하는 것이 바람직하여 다중모드 스펙트럼해석방법으로 실행	○
시간이력해석법	- 기하학적 형태가 복잡한 구조를 가진 교량 - 지진격리받침의 비선형특성을 고려한 지진격리교량 - 사장교, 현수교 등 예상하지 못하는 구간에 소성힌지가 발생할 가능성이 충분히 있는 교량	

6.1.5 지진력의 조합

① 교량의 각 구성부재에 작용하는 지진력의 크기는 교각에 의하여 전달되는 지진하중을 기본으로 하며 이는 내진성능 평가기준 지진에 대한 응답스펙트럼에서 구한 지진력의 크기와 교각의 단면강도 중 작은 값으로 한다.

② 탄성지지력의 조합은 30% 규칙을 따른다.

$$\text{COM1} \quad [F_E^L]_{com1} = 1.0 \times [F_E^L]_L + 0.3 \times [F_E^L]_T$$

$$[F_E^T]_{com1} = 0.3 \times [F_E^T]_L + 1.0 \times [F_E^T]_T$$

$$\text{COM2} \quad [F_E^L]_{com2} = 0.3 \times [F_E^L]_L + 1.0 \times [F_E^L]_T$$

$$[F_E^T]_{com2} = 1.0 \times [F_E^T]_L + 0.3 \times [F_E^T]_T$$

$$\left[F_E^L\right]_{comb} = \max\left\langle \left[F_E^L\right]_{com1}, \left[F_E^L\right]_{com2} \right\rangle$$

$$\left[F_E^T\right]_{comb} = \max\left\langle \left[F_E^T\right]_{com1}, \left[F_E^T\right]_{com2} \right\rangle$$

여기서,$[F_E^L]_{comb}$: 교축방향의 조합탄성지진력

$[F_E^L]_L$: 교축방향 입력지반운동에 대한 교축방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_L$: 교축방향 입력지반운동에 대한 교축직각방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_{comb}$: 교축직각방향의 조합탄성지진력

$[F_E^L]_T$: 교축직각방향 입력지반운동에 대한 교축방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_T$: 교축직각방향 입력지반운동에 대한 교축직각방향의 탄성지진력

F 는 변위(Δ), 전단력(V), 모멘트(M)를 말하며, 위첨자는 응답방향, 아래첨자는 입력지반운동의 방향을 말한다.

③ 스펙트럼해석의 경우는 응답가속도(탄성지진응답계수, Cs)의 크기를 결정하여 계산한다. 단경간 교량 또는 일점고정 연속교의 교축방향과 같이 단자유도로 모델링 가능한 구조의 탄성지진력은 다음과 같이 간략하게 계산이 가능하다. 그러나, 다경간 연속교의 상부구조는 일반적으로 교축직각방향에 대해서는 모든 교각에서 적어도 하나 이상의 고정받침에 의해 지지되므로 지진시 관성력은 고정받침에 의해 지지된 모든 교각으로 분담된다.

$$F_E = W \times C_s$$

④ 교축 및 교축직각방향의 지진하중은 탄성지진력(FEQ)과 단면강도(Fn)를 비교하여 작은 것으로 한다. 이 하중을 기본으로 하여 교량의 각 구성부재에 요구되는 소요역량을 계산한다.

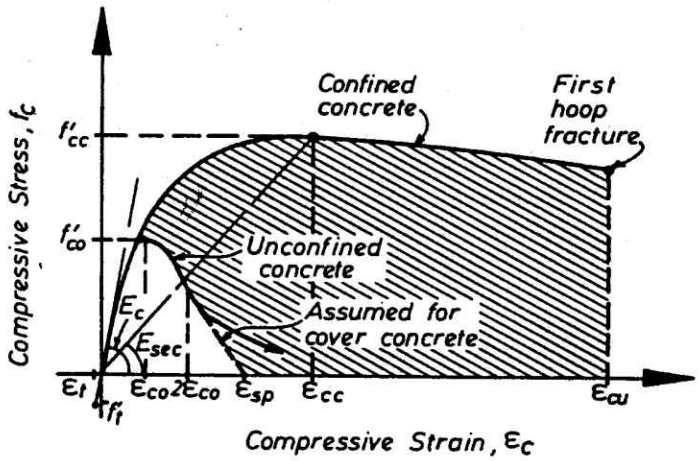
$$F_{EQ}^L = Min\ [F_n^L, F_E^L] \qquad \text{교축방향}$$

$$F_{EQ}^T = Min\ [F_n^T, F_E^T] \qquad \text{교축직각방향}$$

6.1.6 콘크리트의 재료모델

평가지침에서는 교각의 모멘트-곡률해석에서 콘크리트 재료 해석모델은 횡방향철근의 구속효과를 고려한 횡구속 압축 응력-변형률 모델과 횡방향철근의 구속효과를 무시한 비횡구속 압축 응력-변형률 모델을 선택적으로 적용하며 철근 재료 해석모델은 변형경화를 고려한 응력-변형률 모델을 적용하게끔 되어 있다.

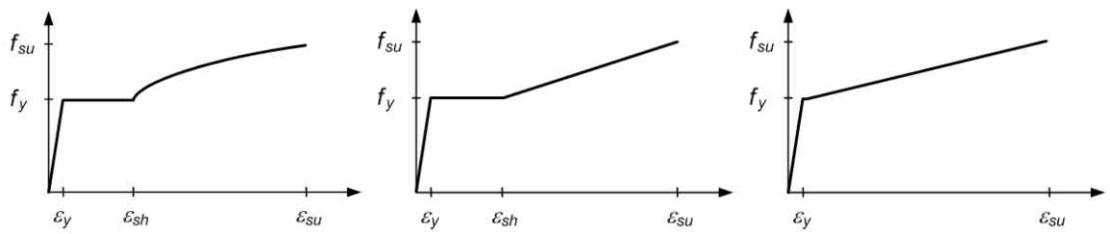
콘크리트 재료모델은 콘크리트 압축응력 변형률 관계를 실제 거동과 유사하게 예측할 수 있는 적절한 모델로 Mander 등의 제안식을 제시하고 있어 본 과업에서도 콘크리트 재료모델로 Mander Model을 사용하였다.



<그림 6.2>Mander 등의 콘크리트 압축응력 변형률 모델

6.1.7 철근재료모델

평가지침에서는 교각의 모멘트-곡률해석에서의 교각의 모멘트-곡률 해석에 적용되는 철근 모델은 실제 거동을 예측할 수 있는 적절한 모델을 사용하여야 한다. 적절한 모델은 변형경화를 고려한 응력-변형률 모델을 의미하며 아래그림과 같은 세 가지 형태의 모델 중 하나를 선택하여 사용할 수 있다.



<그림 6.3>철근의 강도 및 변형률

<표 6.2>철근의 강도 및 변형률

철근 종류	f_y	f_{su}	ε_y	ε_{sh}	ε_{su}
SD240	240 MPa	390 MPa	0.0012	0.0115	0.128
SD300	300 MPa	440 MPa	0.0015	0.022	0.125
SD350	350 MPa	490 MPa	0.00175	0.022	0.122
SD400	400 MPa	560 MPa	0.002	0.022	0.120
SD500	500 MPa	620 MPa	0.003	0.012	0.080

6.1.8 소성힌지부의 축방향 철근 겹이음 적용

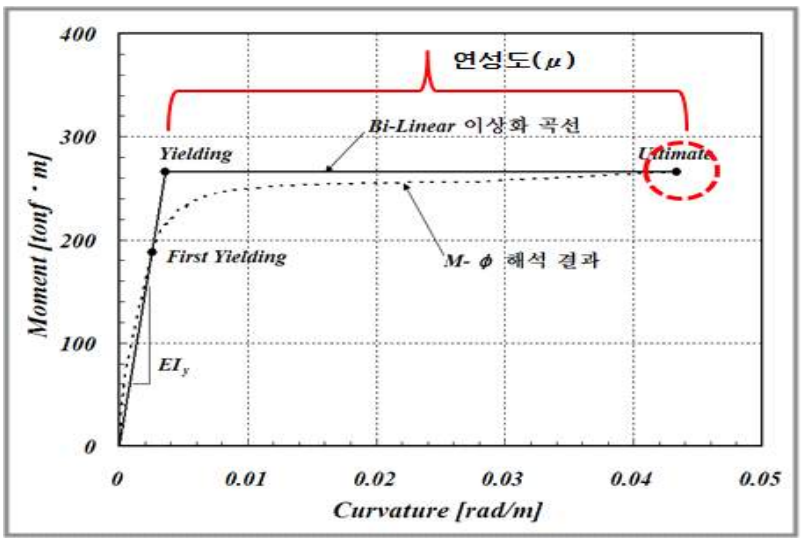
(1) 검토의 필요성

① 교각의 내진성능평가에서는 단순히 강도만의 평가가 아니라 연성능력을 고려한 연성에 대한 검토가 필요함.

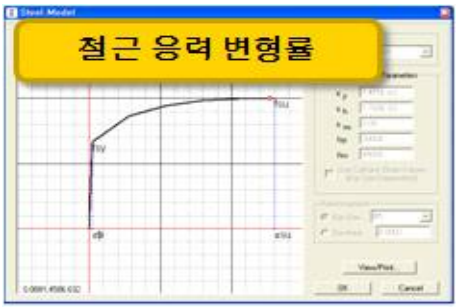
② 연성에 대한 검토는 최대 휨모멘트가 발생하는 소성힌지부에서의 모멘트 곡률해석을 통하여 실시함.

③ 모멘트 곡률해석에 필요한 항목으로는 콘크리트와 철근의 재료 물성치로 연성능력을 좌우하는 항목은 콘크리트의 극한변형률이며 극한변형률은 겹침이음의 유무에 따라 상이함.

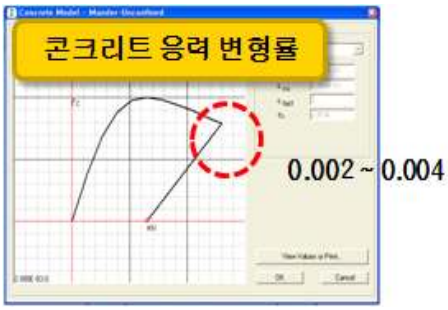
④ 따라서 겹침이음의 유무로 교각의 연성에 대한 능력이 상이하며 결과적으로 내진성능이 다르게 평가되므로 소성힌지부에 겹침이음의 유무에 대한 판단이 필요함.



모멘트 곡률 해석



철근의 물성치



콘크리트 물성치

(2) 모멘트 곡률해석 기준

① 철근콘크리트 교각의 모멘트 곡률해석에는 콘크리트와 철근에 대한 적절한 재료모델을 적용해야 하며 축방향 철근의 이음상세와 횡방향 철근에 의한 횡구속 정도를 고려하여 극한상태를 정의하여야 함. (교량 내진성능평가 지침)

② 소성힌지영역에서 축방향철근의 겹침이음이 있는 경우에는 축방향 철근 겹침이음부의 부착파괴에 의하여 극한변형률이 감소되어 공급연성도는 작아지므로 극한변형률을 감소시켜 공칭휨강도를 계산하여야 함. (기존교량 내진성능 평가요령)

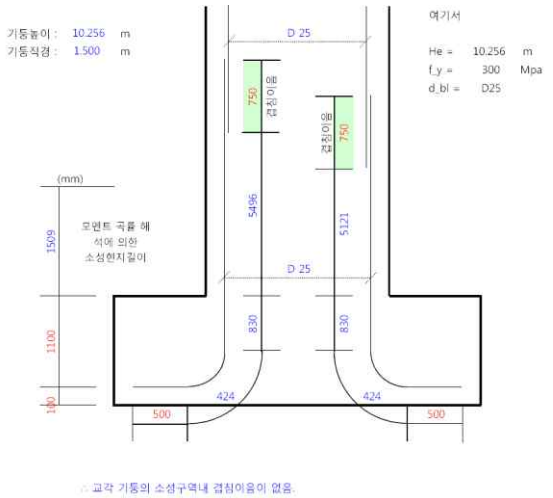
③ 겹침이음의 정도에 따라 콘크리트 극한변형률을 3단계로 나누어 적용하도록 함.

④ 겹침이음 유무에 따른 기준별 콘크리트 극한변형률

(3) 문제점 및 검토방안

문제점	검토방안
1. 기존설계도서에 의한 축방향철근 겹이음 위치 파악은 설계도서 상에서 판단하기 어려운 상태임. 2. 코어채취를 통한 현장조사로 겹이음 위치를 확인할 수 있으나 코어채취로 인한 구조물의 손상이 발생하므로 지양토록 함.	1. 기존 설계도서를 분석하여 활용하는 방안으로 철근상세 도면의 철근길이 등을 가지고 추정하여 판단함. 2. 소성힌지 구역 내에 축방향철근 겹이음의 유무를 준공 당시의 시공방법 및 유사 설계사례를 참조로 판단하여 상식적이고 합리적인 축방향 철근 겹이음의 유무를 판단함. 3. 철근탐사는 일반적으로 장비 진행방향에 직교한 철근의 간격을 탐지하는 것으로 철근의 두께 및 겹이음의 유무를 측정할 수 없으므로 계산결과와의 비교분석 자료로 사용함. 4. 철근의 길이 8.0m를 가지고 기초 하단에서부터의 높이를 계산하여 소성힌지 구역 내에 겹이음 유무를 판단함.

(4) 철근 겹이음 적용 결과 예시

소성힌지 구간 산정식	겹이음 여부 판단
소성힌지 길이 계산은 교각높이, 주철근 직경, 교각 직경을 가지고 산정하는 방법이 있으며 이 중에서 최대값을 해당 교각의 소성힌지 구역 높이로 결정함. ① 0.08He+0.022fy dbl He : 교각높이, fy : 철근강도, dbl:철근직경 ② 0.44fy dbl ③ D (교각직경) ④ He/6 (He : 교각높이) ⑤ 450mm	

6.1.9 지진구역 및 지진위험도

① 지진구역

지진구역	행정구역	
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부1
II	도	강원 북부2, 제주
1 강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 2 강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초		

② 지진구역계수

지진구역	I	II
지진구역계수, Z	0.11	0.07

③ 위험도계수

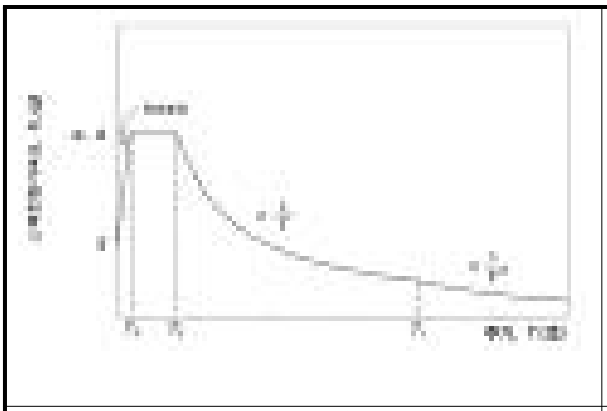
평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

④ 지반의 분류

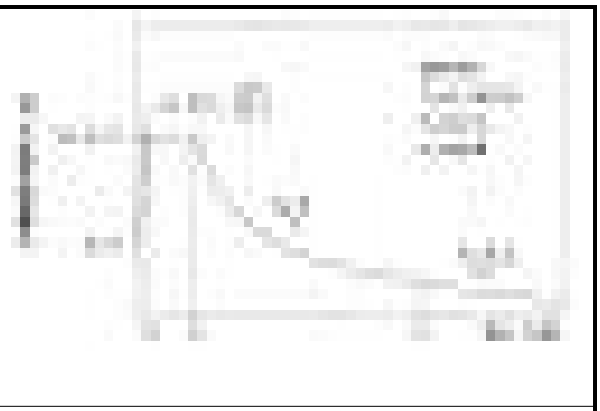
국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 다음과 같이 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6의 6종으로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층으로 정의한다.

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층평균전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

⑤ 설계지반운동의 특성 표현



<표 6.3>가속도표준설계응답스펙트럼 (암반지반S1)



<표 6.4>가속도표준설계응답스펙트럼 (토사지반 S2~S5)

구분	α_A (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_o	T_S	T_L
수 평	2.8	0.06	0.3	3

지반종류	단주기지반증폭계수, F_a			장주기지반증폭계수, F_v		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

6.2 내진성능평가

6.2.1 교량제원

교 량 명 : 연호고가교

교량등급 : 1등급(DB-24)

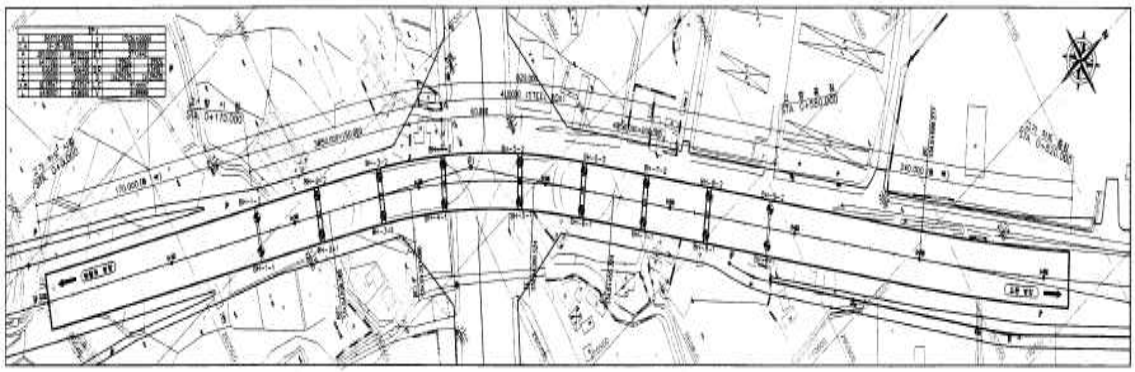
교량형식 : Steel Box Girder교

교　　장 : 3@50.0+60.0+4@50.0=410.0m

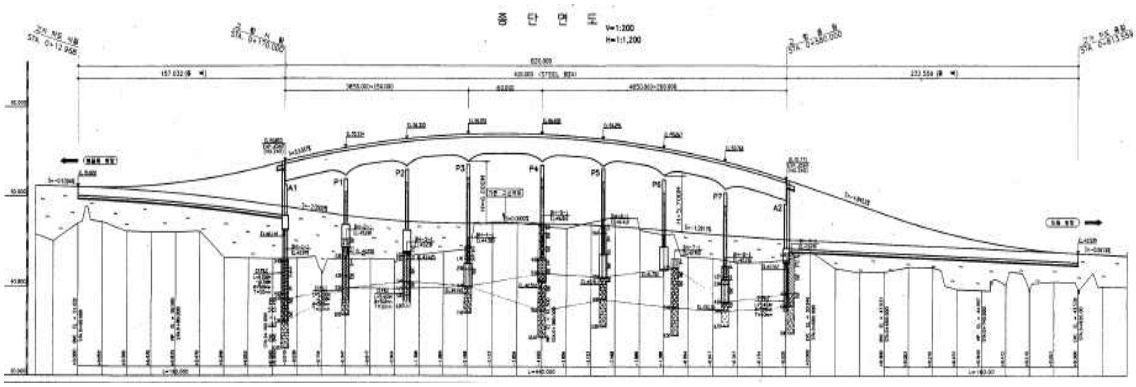
교 량 폭 : B = 28.900m

하부콘크리트강도 : 24 MPa

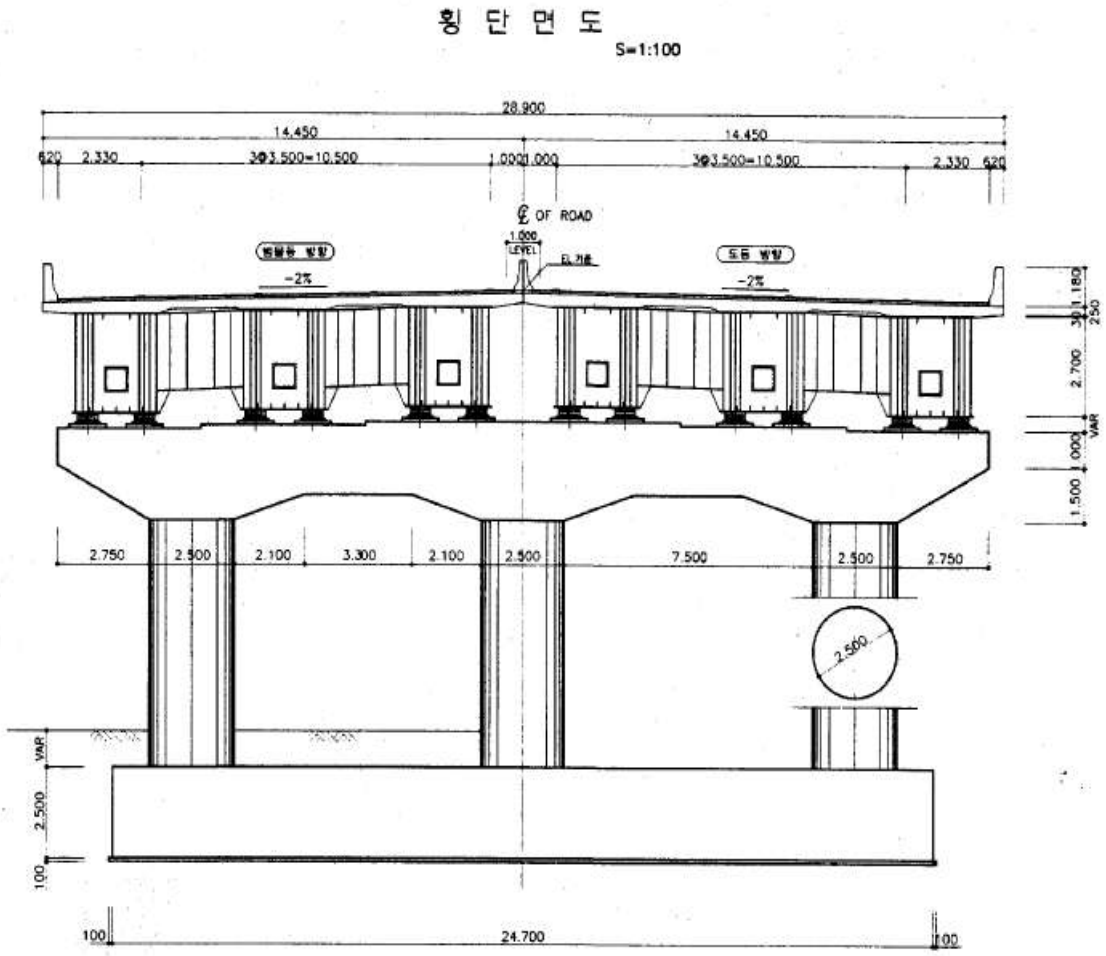
하부철근강도 : 300 MPa



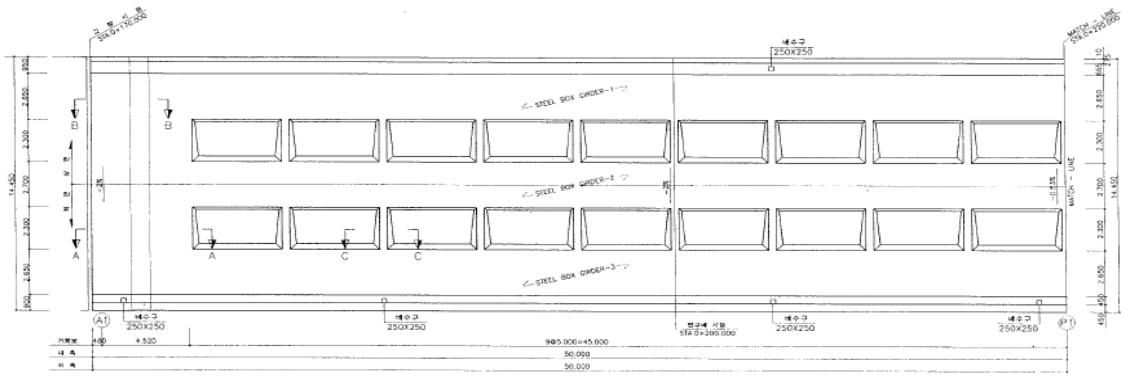
<그림 6.4>연호고가교 평면도



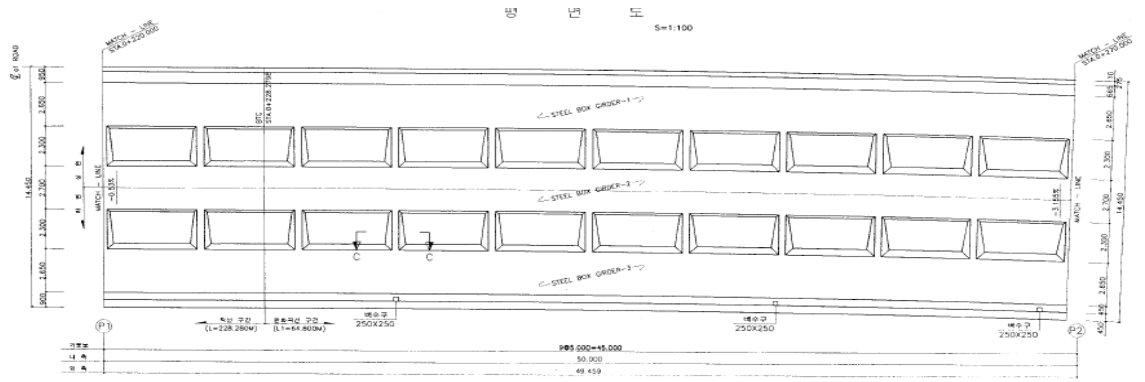
<그림 6.5>연호고가교 종단면도



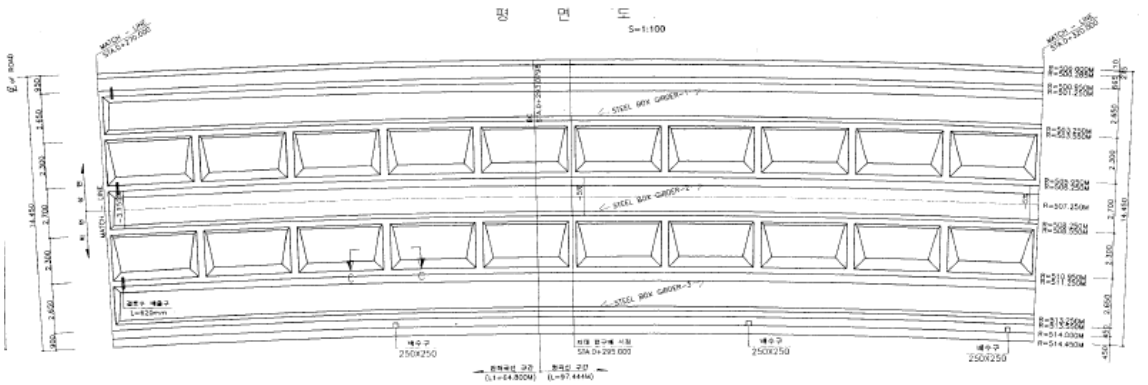
<그림 6.6>연호고가교 횡단면도



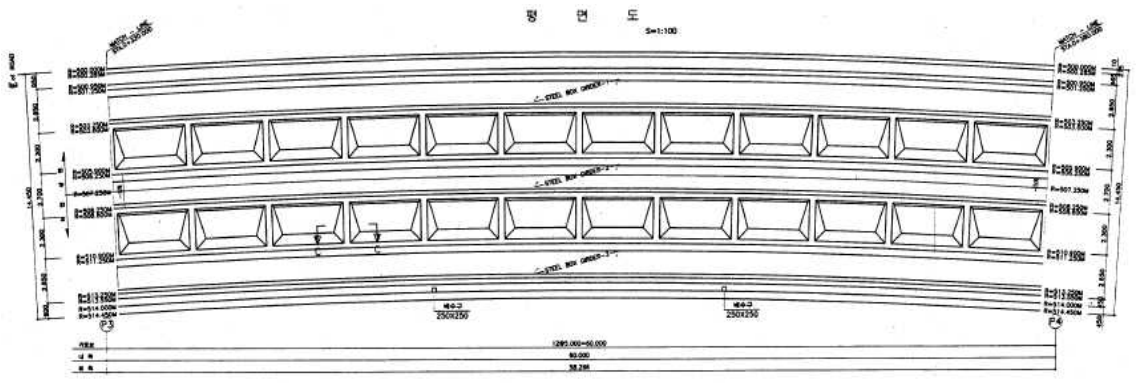
<그림 6.7>연호고가교 상부 일반도(1)



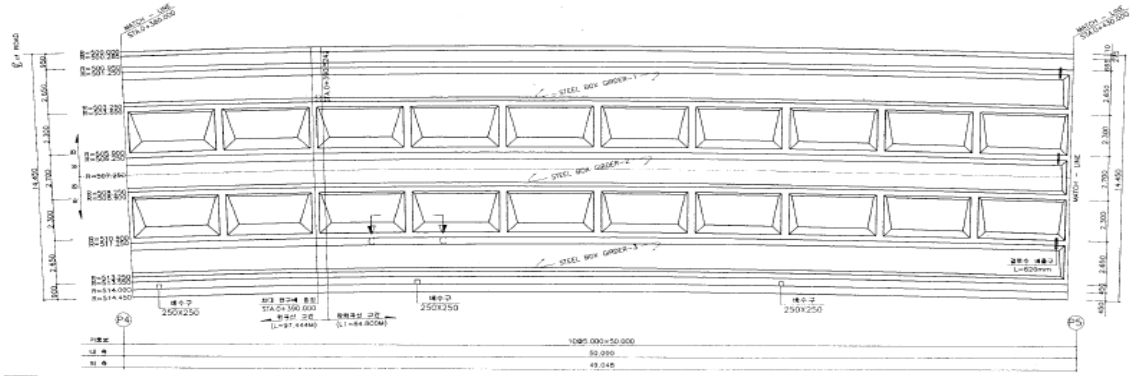
<그림 6.8>연호고가교 상부 일반도(2)



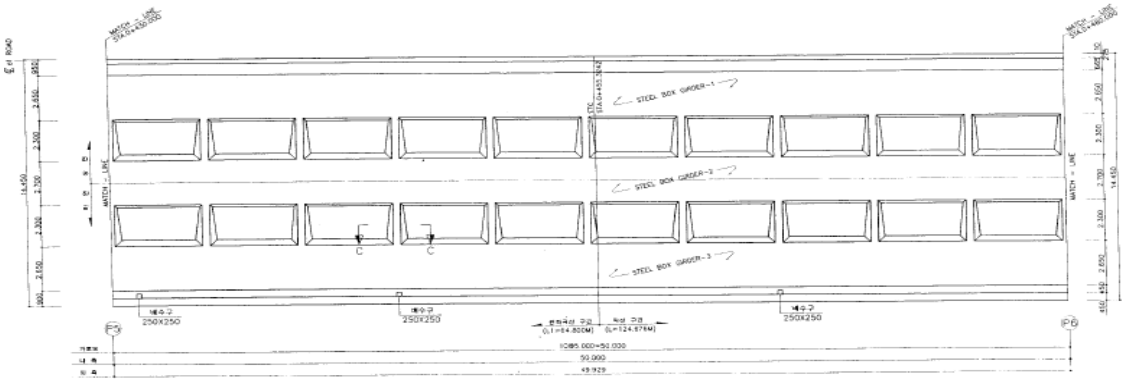
<그림 6.9>연호고가교 상부 일반도(3)



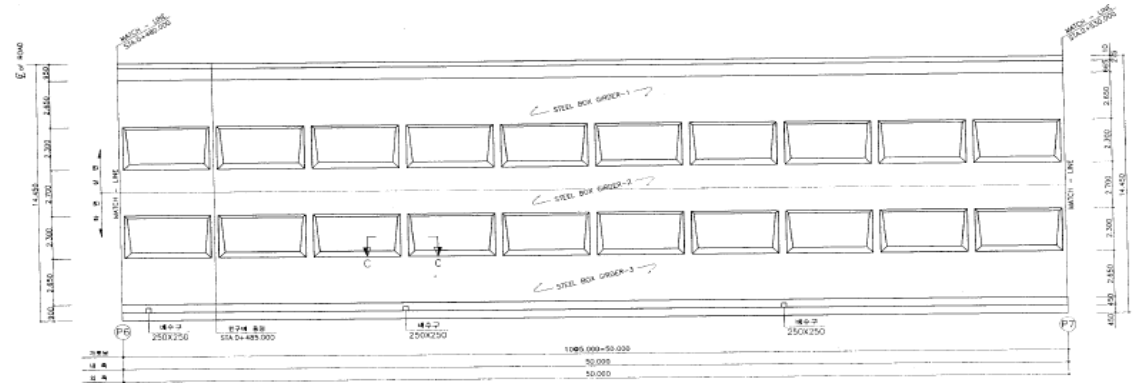
<그림 6.10>연호고가교 상부 일반도(4)



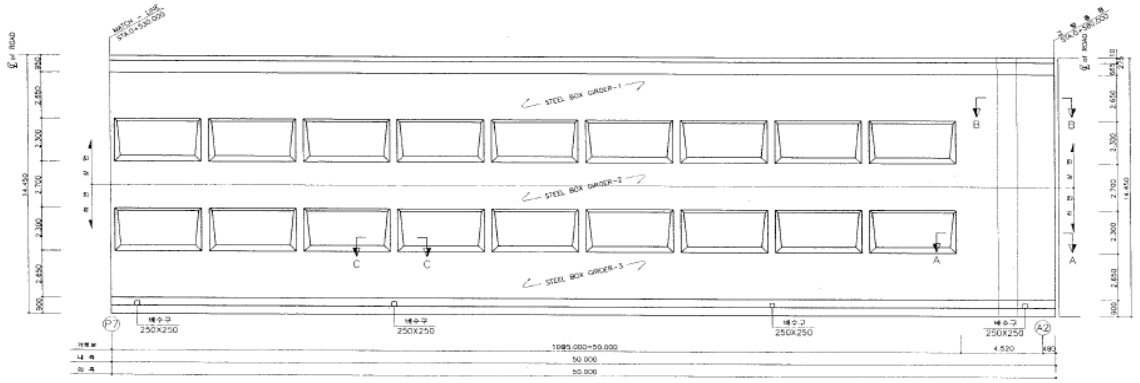
<그림 6.11>연호고가교 상부 일반도(5)



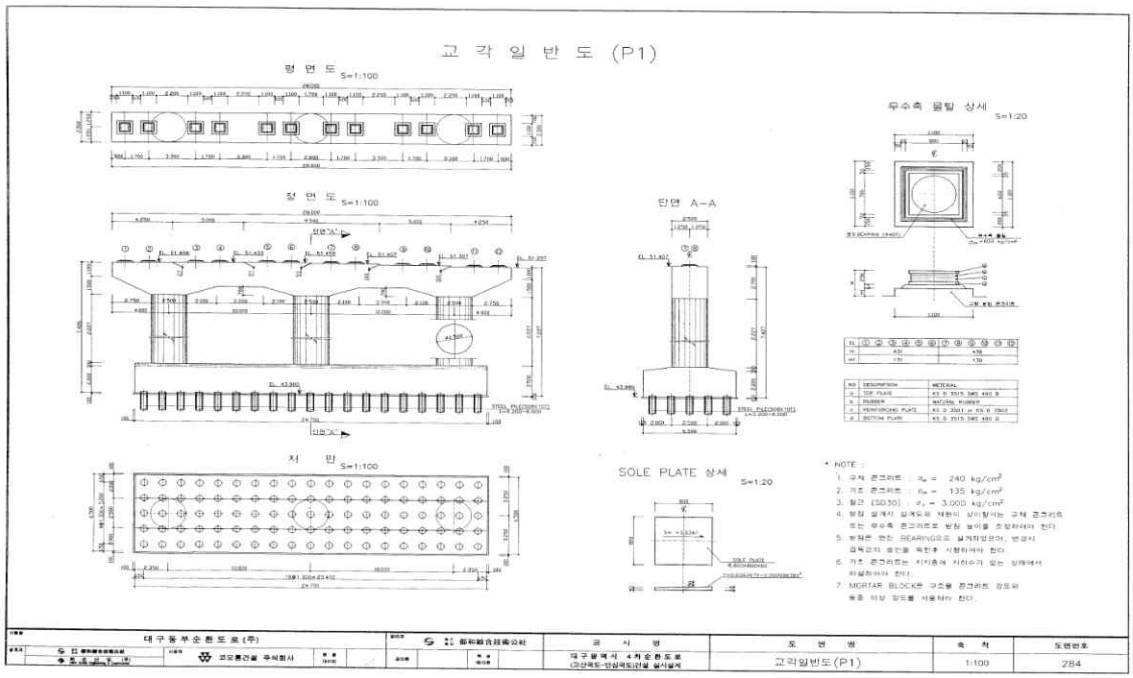
<그림 6.12>연호고가교 상부 일반도(6)



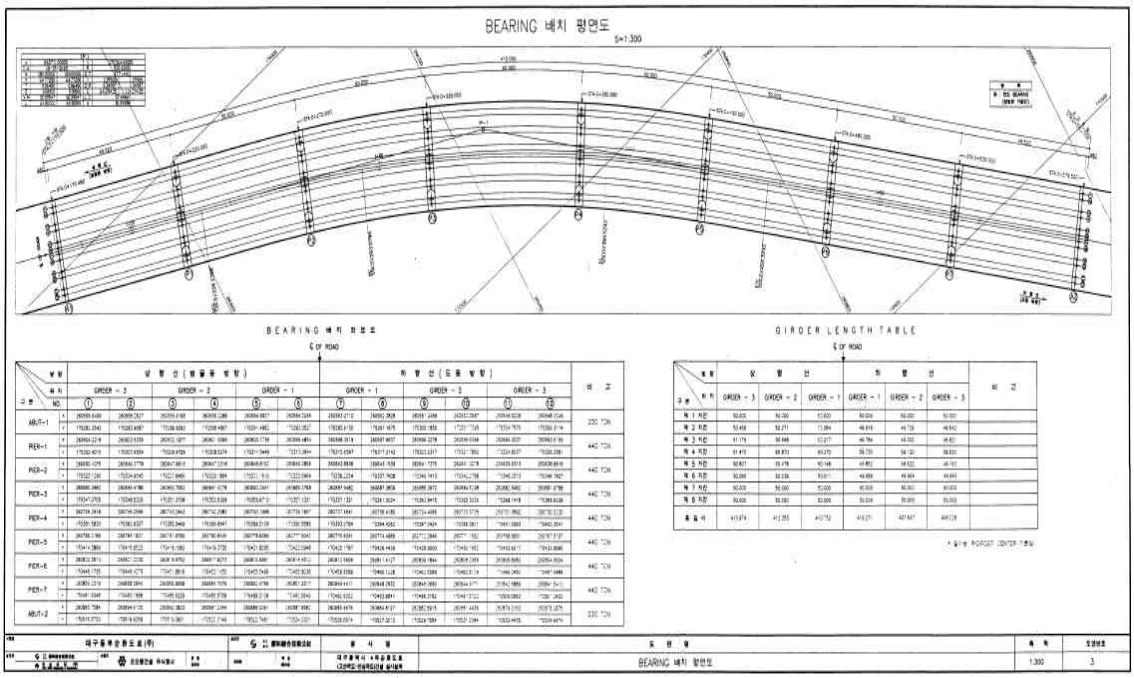
<그림 6.13>연호고가교 상부 일반도(7)



<그림 6.14>연호고가교 상부 일반도(8)



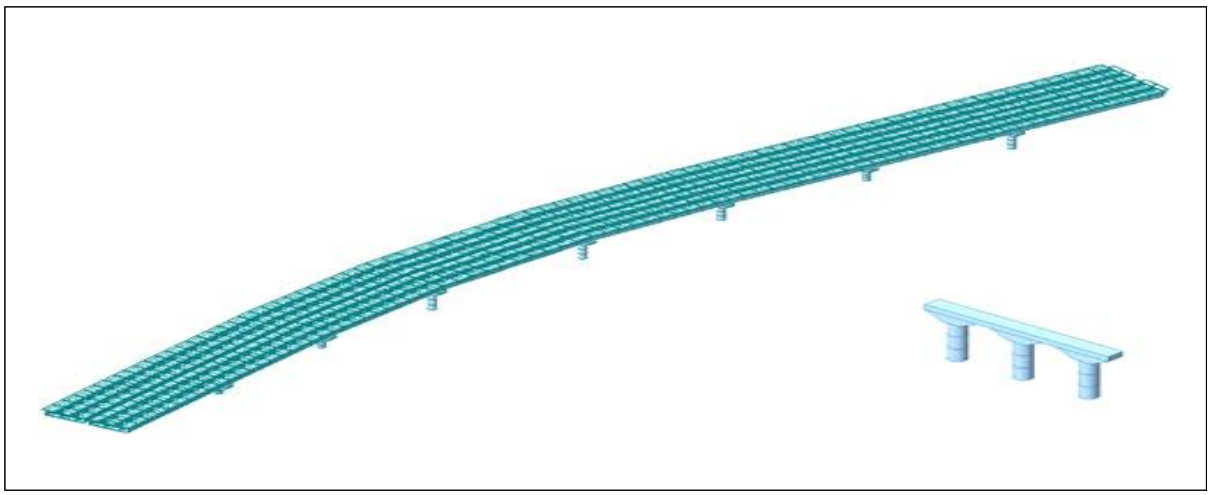
<그림 6.15>연호고가교 교각 일반도



<그림 6.16>연호고가교 교량받침 배치도

6.2.2 구조해석 모델

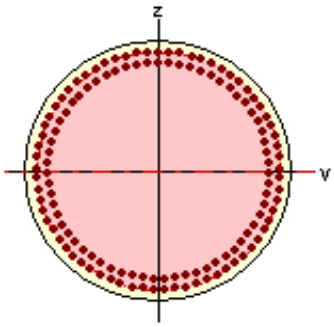
교량 상부구조의 모델링은 상부구조의 도심과 주형하단까지는 강체연결(Rigid link)로 주형하단에서 교각상단까지는 교량받침의 배치를 고려하여 변위에 대한 자유도를 연결한다. 또한, 받침종류에 따라서 적절한 내진저항 능력을 반영할 수 있도록 탄성연결 또는 비선형 강성연결 기능을 적용 한다. 해석프로그램은 MIDAS Civil을 이용하였다.



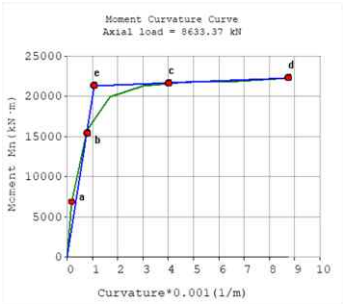
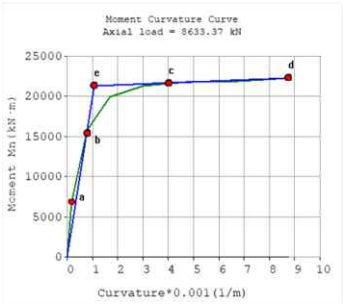
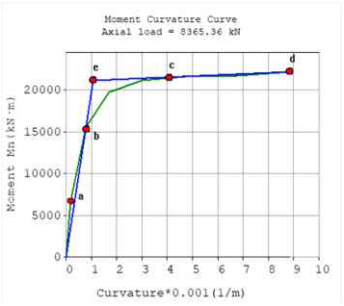
<그림 6.17>연호고가교 교량 구조해석 모델링

6.2.3 모멘트-곡률 해석

교각의 최대 휨모멘트가 발생하는 단부구역(소성힌지구역)에 축방향 철근의 겹침이음 상태에 따라 연성능력이 크게 변화한다. 이를 모멘트-곡률 해석에서 반영하기 위해서는 겹침여부를 판정하여 겹침이음 비율에 따라 콘크리트 극한변형률 및 이에 따른 변위연성도를 제한하여야 한다.

구 분	특 성	단 면 형 상
εco:콘크리트의 최대변형률	0.002	
εcu: 콘크리트의 극한변형률	0.004	
f′c=f′cc: 콘크리트 압축 강도	24	
εy: 항복변형률	0.00150	
εsh: 경화시 변형률	0.0115	
εsu: 극한시 변형률	0.125	
fsy: 항복강도	300	
fsu: 극한강도	440	

① P1 교각의 모멘트-곡률 곡선

		
교축방향 모멘트-곡률 해석	교축직각방향(하단) 모멘트-곡률 해석	교축직각방향(상단) 모멘트-곡률 해석

▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,376	0.000807	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,303	0.001085	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,314	0.008736	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,376	0.000807	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,303	0.001085	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,314	0.008736	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

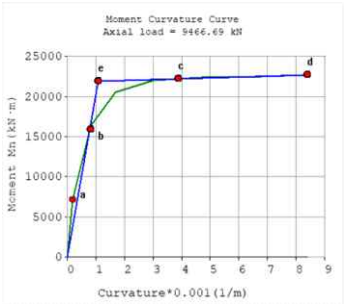
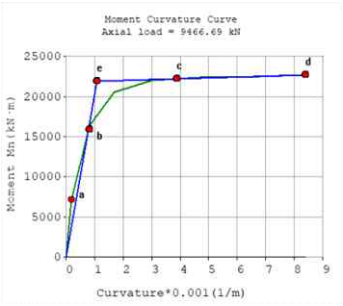
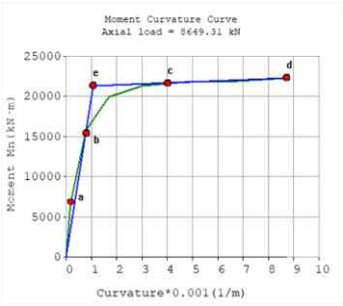
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,218	0.000803	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,115	0.001084	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,132	0.008843	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.397	1.917	0.761
교축직각방향	0.397	1.917	0.761

② P4 교각의 모멘트-곡률 곡선

		
교축방향 모멘트-곡률 해석	교축직각방향(하단) 모멘트-곡률 해석	교축직각방향(상단) 모멘트-곡률 해석

▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,872	0.000816	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,861	0.001089	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,696	0.008399	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,872	0.000816	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,861	0.001089	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,696	0.008399	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

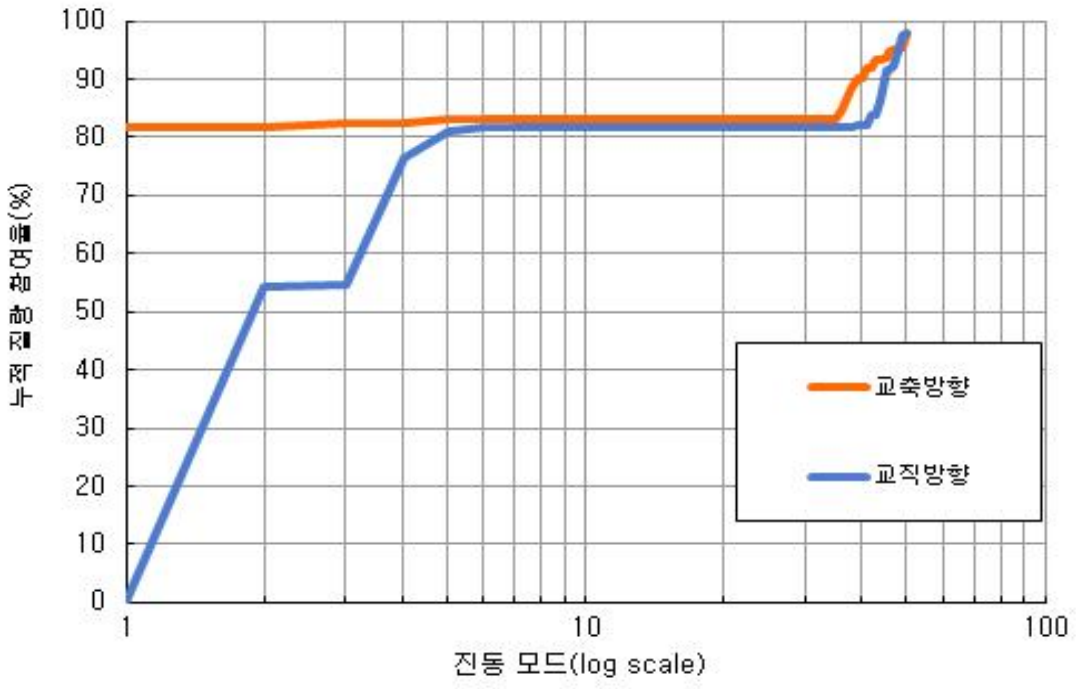
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN{\cdot}m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	15,386	0.000807	$M_{yi}^{L}, \varnothing_{yi}^{L}$
항복시	21,314	0.001085	$M_{y}^{L}, \varnothing_{y}^{L}$
극한시	22,324	0.008729	$M_{u}^{L}, \varnothing_{u}^{L}$

▪ 유효강성 산정

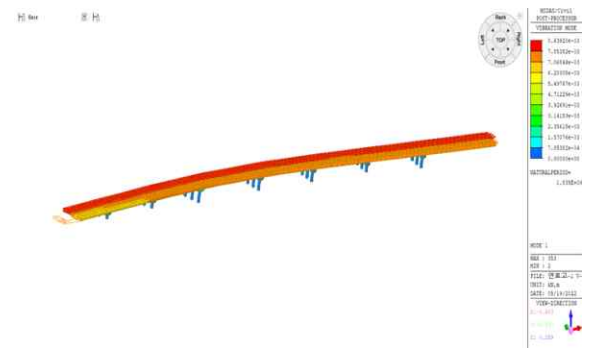
구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.406	1.917	0.778
교축직각방향	0.406	1.917	0.778

6.2.4 지진해석결과

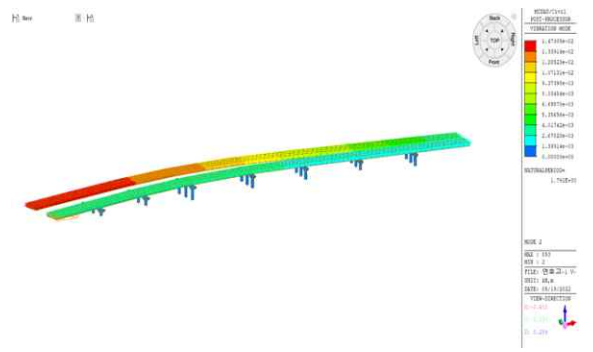


고유치 해석결과로 방향별 유효 질량 참여율

① 주요 모드 형상 (Mode Shape)



교축방향 T = 1.8346 (1Mode)



교축직각방향 T = 1.7905 (2Mode)

② 대표 검토 교각 부재력 집계

▪ 교각 1

1) 해석결과

부재력	지진시	
	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,365.4	
하단축력(kN)	8,633.4	
상단변위(mm)	3.3	0.7
상단전단력(kN)	1,738.9	1,182.6
하단전단력(kN)	1,736.4	1,273.1
상단모멘트(kN·m)	5,163.9	1,301.3
하단모멘트(kN·m)	9,723.3	1,689.2

2) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	지진시	
	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,365.4	
하단축력(kN)	8,633.4	
상단변위(mm)	0.0	0.0
상단전단력(kN)	14.2	0.2
하단전단력(kN)	14.2	0.2
상단모멘트(kN·m)	34.6	0.4
하단모멘트(kN·m)	66.0	0.8

3) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	8,365.4	8,365.4	P
하단축력(kN)	8,633.4	8,633.4	Pbot
상단변위(mm)	3.3	0.7	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	1,753.1	1,182.8	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	1,750.6	1,273.3	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	5,198.6	1,301.7	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	9,789.2	1,690.0	[ME]comb

▪ 교각 4

1) 해석결과

부재력	지진시	
	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,649.3	
하단축력(kN)	9,466.7	
상단변위(mm)	24.9	3.0
상단전단력(kN)	1,927.3	1,865.5
하단전단력(kN)	1,794.1	2,231.1
상단모멘트(kN·m)	3,975.6	6,690.5
하단모멘트(kN·m)	17,752.9	7,614.0

2) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	지진시	
	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,649.3	
하단축력(kN)	9,466.7	
상단변위(mm)	0.2	0.0
상단전단력(kN)	17.4	2.3
하단전단력(kN)	17.4	2.3
상단모멘트(kN·m)	51.2	14.2
하단모멘트(kN·m)	164.5	1.3

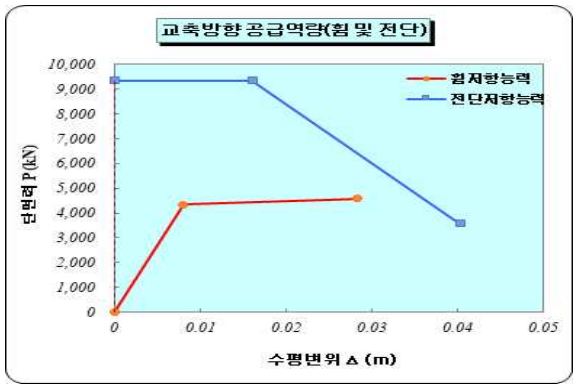
3) 방향별 하중조합

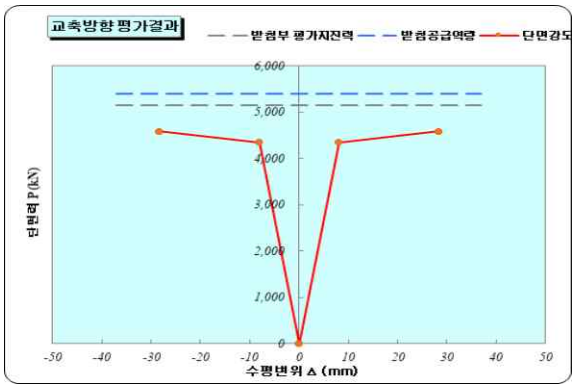
부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	8,649.3	8,649.3	P
하단축력(kN)	9,466.7	9,466.7	Pbot
상단변위(mm)	25.1	3.0	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	1,944.7	1,867.8	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	1,811.6	2,233.3	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	4,026.9	6,704.7	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	17,917.4	7,615.2	[ME]comb

6.2.5 교각 기둥부 내진성능평가

① 교각 1 공급역량 및 평가결과

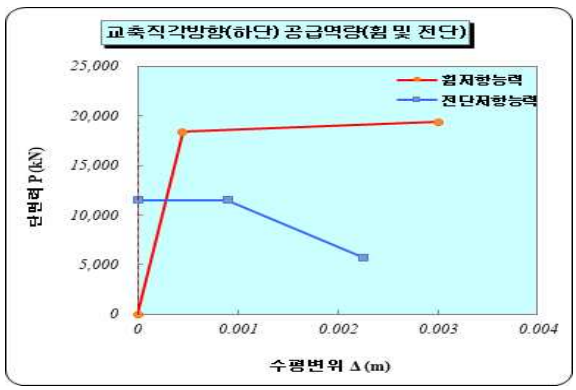
▪ 교축방향 교각 공급역량

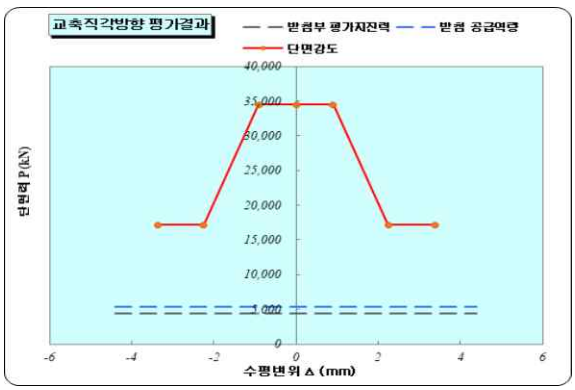




교축방향 교각의 성능곡선 및 수평변위 산정

▪ 교축직각방향 교각 공급역량





교축직각방향 교각의 성능곡선 및 수평변위 산정

▪ 변위성능평가 결과

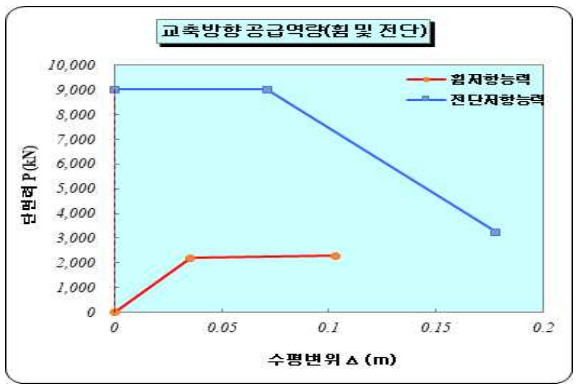
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각1	교축방향	3.526	1.000	O.K
	교축직각방향	1.000	1.000	O.K

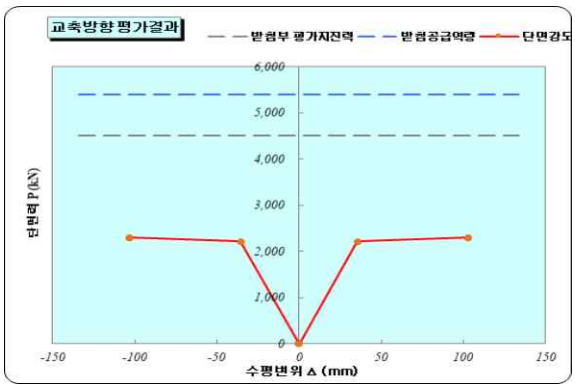
▪ 전단성능평가 결과

구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각1	교축방향	9,357	1,751	O.K
	교축직각방향	11,501	1,273	O.K

② 교각 4 공급역량 및 평가결과

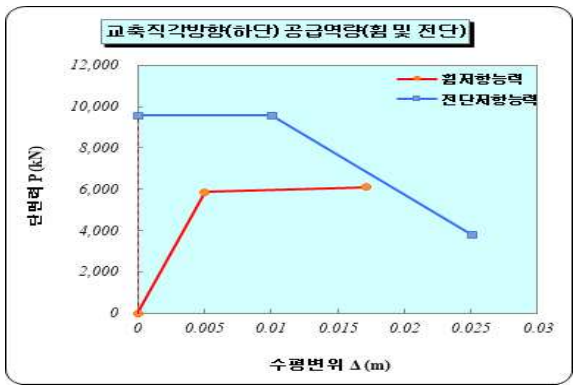
▪ 교축방향 교각 공급역량

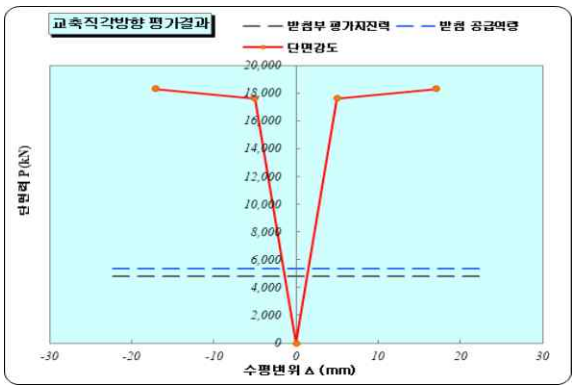




교축방향 교각의 성능곡선 및 수평변위 산정

▪ 교축직각방향 교각 공급역량





교축직각방향 교각의 성능곡선 및 수평변위 산정

▪ 변위성능평가 결과

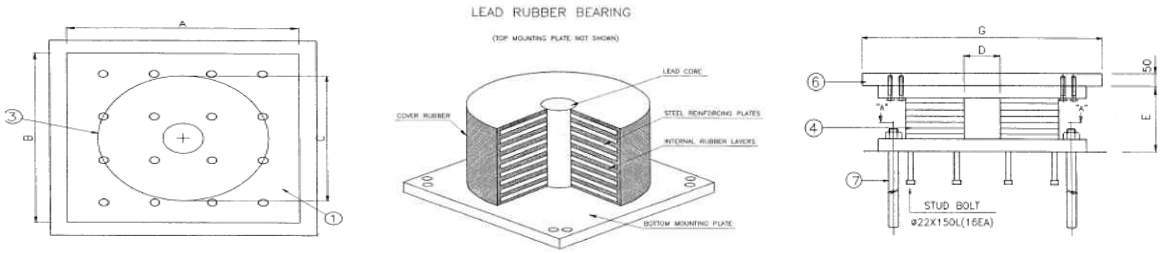
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각2	교축방향	2.897	1.000	O.K
	교축직각방향	3.403	1.000	O.K

▪ 전단성능평가 결과

구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각2	교축방향	9,021	1,812	O.K
	교축직각방향	9,565	2,233	O.K

6.2.6 받침부 내진성능평가

① 교대 1 받침본체 규격



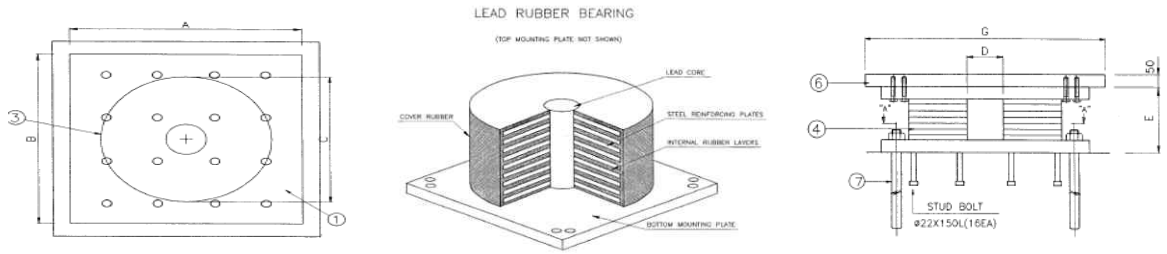
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	520	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	520	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	60	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	24	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	200	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	420	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	420	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교대 1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	3,084	2,494	1.237	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	1,556	208	7.488	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	12,073	2,494	4.841	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,001	208	4.817	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	3,084	2,057	1.499	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	1,556	171	9.080	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	1,063	171	6.203	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,001	171	5.841	O.K

② 교각 1 받침본체 규격



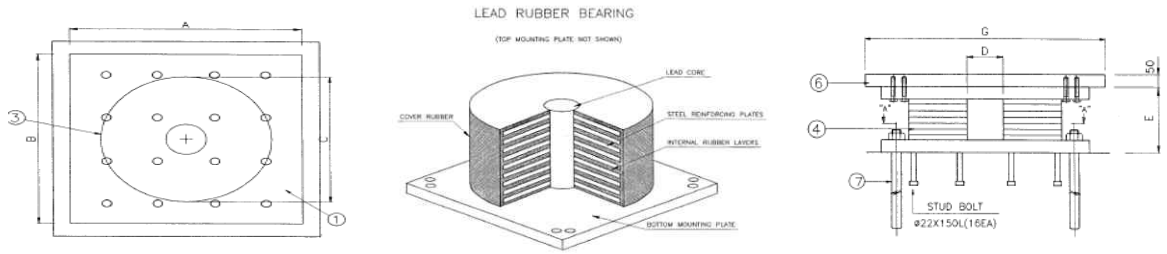
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	700	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	700	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	200	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	600	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	600	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	5,400	5,151	1.048	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	429	8.158	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	13,083	5,151	2.540	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	429	3.228	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	5,400	4,339	1.244	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	362	9.683	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	1,135	362	3.138	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	362	3.832	O.K

③ 교각 4 받침본체 규격



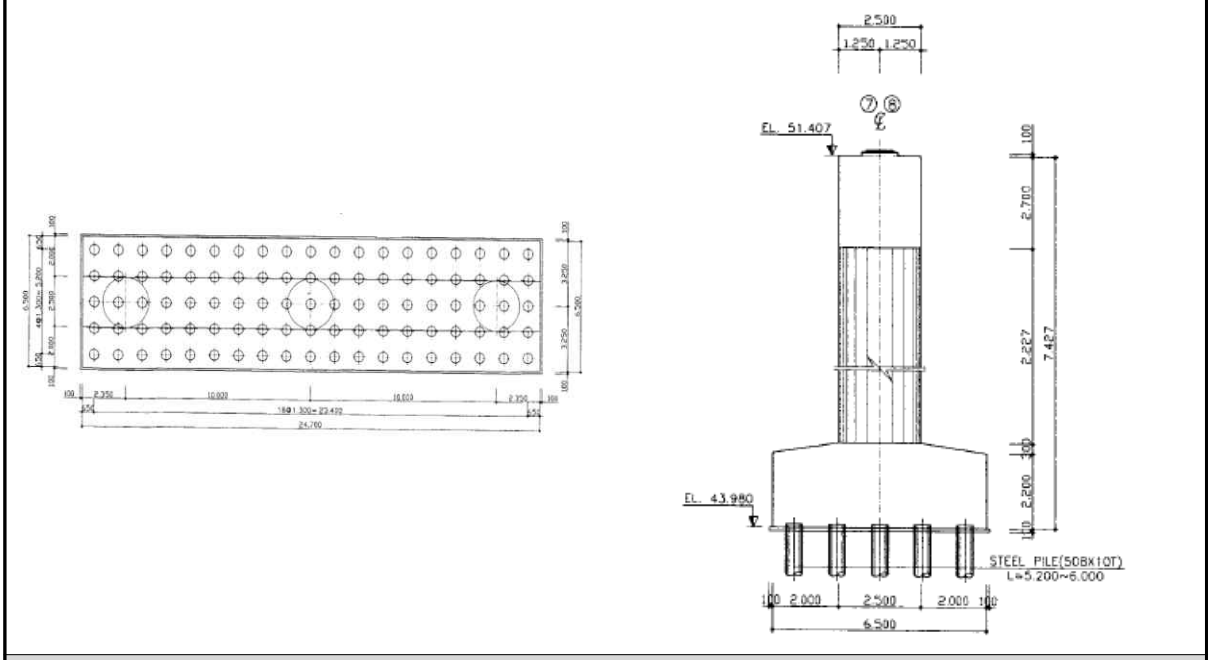
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	700	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	700	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	200	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	600	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	600	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 4 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	5,400	4,509	1.198	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	376	9.318	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	13,083	4,509	2.901	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	376	3.687	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	5,400	4,792	1.127	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	3,501	399	8.768	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	1,135	399	2.842	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,386	399	3.470	O.K

6.2.7 기초부 내진성능평가

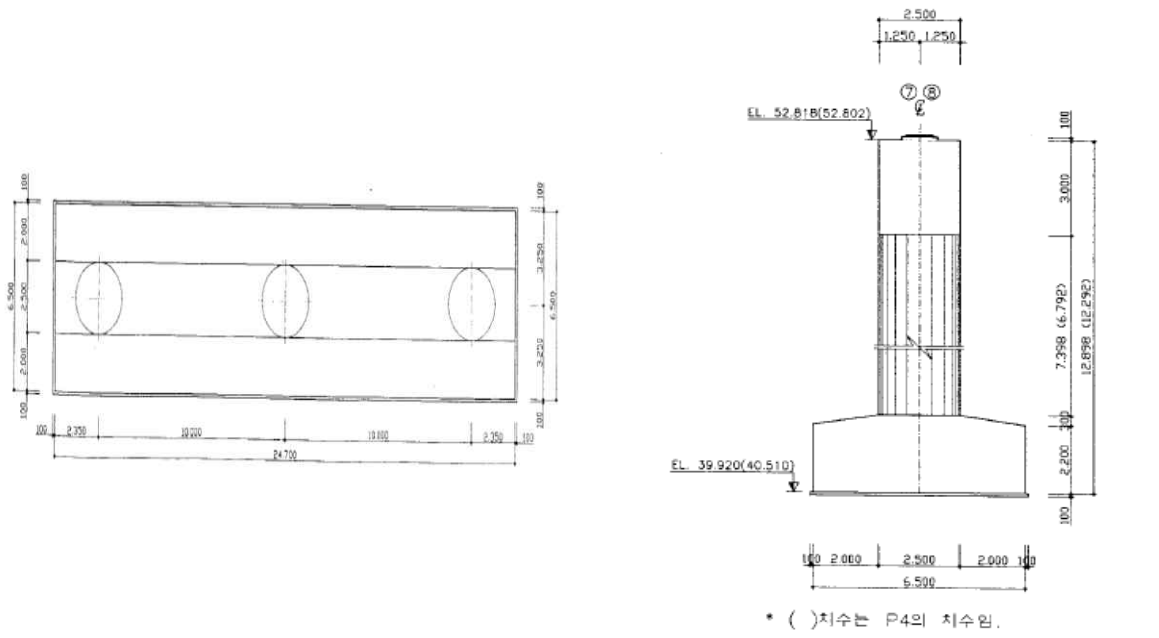


기초부 검토 제원

① 교각 1 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	수평변위	교축	15.000	0.545	27.536	O.K
		교직	15.000	0.174	86.428	O.K
	연직 압축지지력	교축	4,344.9	815.2	5.330	O.K
		교직	4,344.9	520.6	8.346	O.K
	연직 인발지지력	교축	592.8	0.0	-	O.K
		교직	592.8	0.0	-	O.K
말뚝 응력 검토	휨인장응력	교축	210.0	52.6	3.989	O.K
		교직	210.0	22.2	9.478	O.K
	휨압축응력	교축	210.0	78.1	2.687	O.K
		교직	210.0	61.4	3.422	O.K
	휨전단응력	교축	120.0	4.4	27.060	O.K
		교직	120.0	3.2	37.203	O.K
단면 검토	휨	교축	66,552	18,169	3.663	O.K
		교직	23,168	6,611	3.505	O.K
	전단	교축	46,385	12,328	3.763	O.K
		교직	12,207	3,612	3.379	O.K



기초부 검토 제원

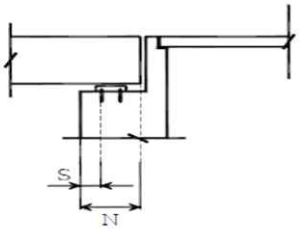
② 교각 4 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

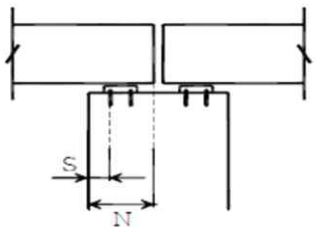
구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	전도	교축	2.600	1.375	1.890	O.K
		교직	9.880	0.809	12.217	O.K
	지지력	교축	8.249	2.000	4.124	O.K
		교직	46.179	2.000	23.089	O.K
	활동	교축	5.406	1.200	4.505	O.K
		교직	4.385	1.200	3.654	O.K
단면 검토	휨	교축	69,482	27,246	2.550	O.K
		교직	24,193	11,164	2.167	O.K
	전단	교축	48,402	11,897	4.069	O.K
		교직	12,737	7,257	1.755	O.K

6.2.8 받침 지지길이 평가 결과

낙교방지를 위한 받침지지 길이는 교각 및 교대의 거더 단부끝단까지의 거리로서 현장조사 및 설계도면을 통해 산정하였다.



교대



교각

구 분		공급역량	소요역량	안전율	평가	내진보강
교 대 1	N(㎜)	1,485	315	4.715	O.K	불필요

6.2.9 종합결론

본 내진성능평가의 경우 “ 기존시설물(교량) 내진성능평가 요령·해설(2019. 국토교통부, 한국시설안전공단)”및 “KDS 17 10 00 : 2018 (내진설계 일반)”따라 수행하였으며, 금회 내진성능평가 수행 시 강화된 내진설계기준에 미달된 기존 공공시설물의 내진보강을 통한 주요 시설의 내진성능 확보로 지진발생시 피해를 저감하는 등 공공의 안전을 확보하고자 하는데 있다.

본 교량의 경우 상부는 Steel Box Girder교, 하부는 다주식교각, 교좌장치로는 L.R.B 받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

내진성능 검토 대상으로는 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토되었다. 따라서 추후 보강방안은 필요 없을 것으로 판단된다.

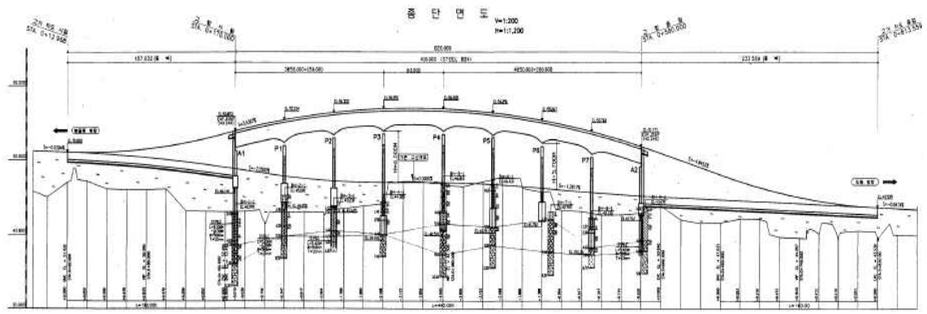
6.3 내진성능평가 결과요약

교량 현황

구분		교량현황
관리주체		대구동부순환도로(주)
이정		-
교량형식	선형/선형	직선 / -
	연장/폭원	L=410.0m / B=28.9m
	상부형식	STB
	받침종류	L.R.B받침
	하부형식 교대	역T형 교대
	하부형식 교각	다주식 교각
	기초	직접기초, 말뚝기초

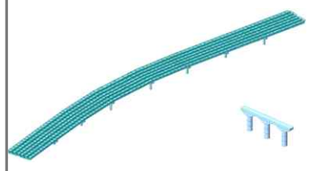


종단면도



내진성능평가 분석

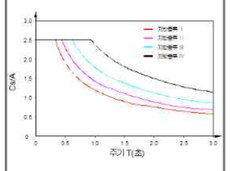
교량 모델링



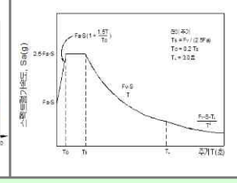
준공년도	2002
지진구역계수	0.11
위험도계수	1.4
가속도계수	0.154

● STB 단면을 구현, 상부 총중량 질량으로 산정
● 기존 교량 받침 배치의 경계조건에 따른 방향성 적용
● 소성힌지부에 겹 이음 없는 것으로 모멘트 곡률 해석

설계응답스펙트럼(기존)



설계응답스펙트럼(내진성능평가)



모멘트 곡률 해석(P2)



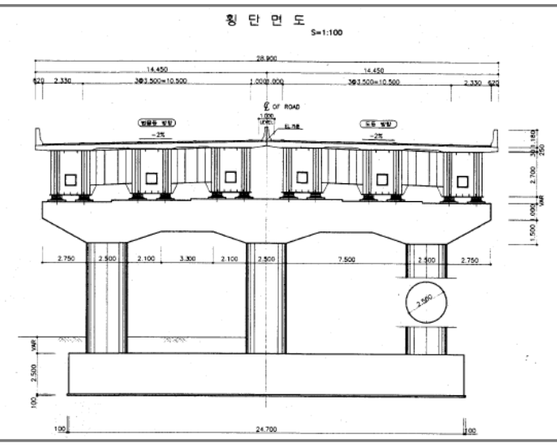
내진 성능평가 결과

구분	기둥(P1)		기둥(P4)		받침(A1)		받침(P1)	
교축	O.K	3.526	O.K	2.897	O.K	1.237	O.K	1.048
교직	O.K	1.000	O.K	3.403	O.K	1.499	O.K	1.244

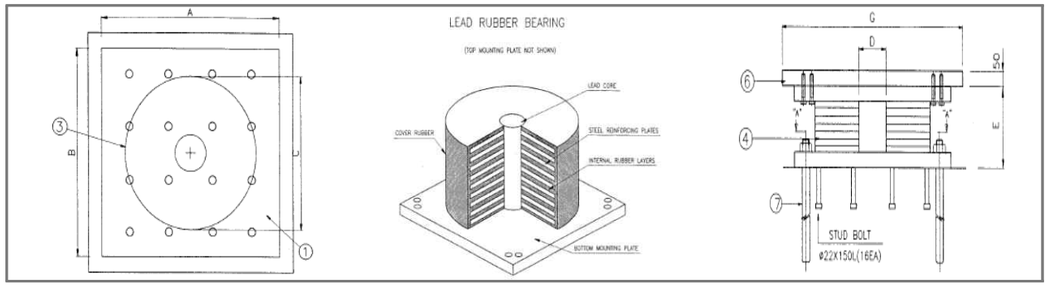
구분	받침(P4)		기초(P1)		기초(P4)		받침지지길이	
교축	O.K	1.198	O.K	3.763	O.K	4.069	O.K	4.715
교직	O.K	1.127	O.K	3.379	O.K	1.755		

●교각(P1, P4) 내진성능평가 결과 기둥 및 기초, 받침부에서 모두 내진성능이 만족한 것으로 판단.
●교대(A1) 내진성능평가 결과 받침부에서 내진성능이 만족한 것으로 판단.

횡단면도



받침상세도



제7장 종합평가 및 안전등급의 지정

7.1 종합평가 산정절차

7.2 종합평가 결과

7.3 안전등급 지정

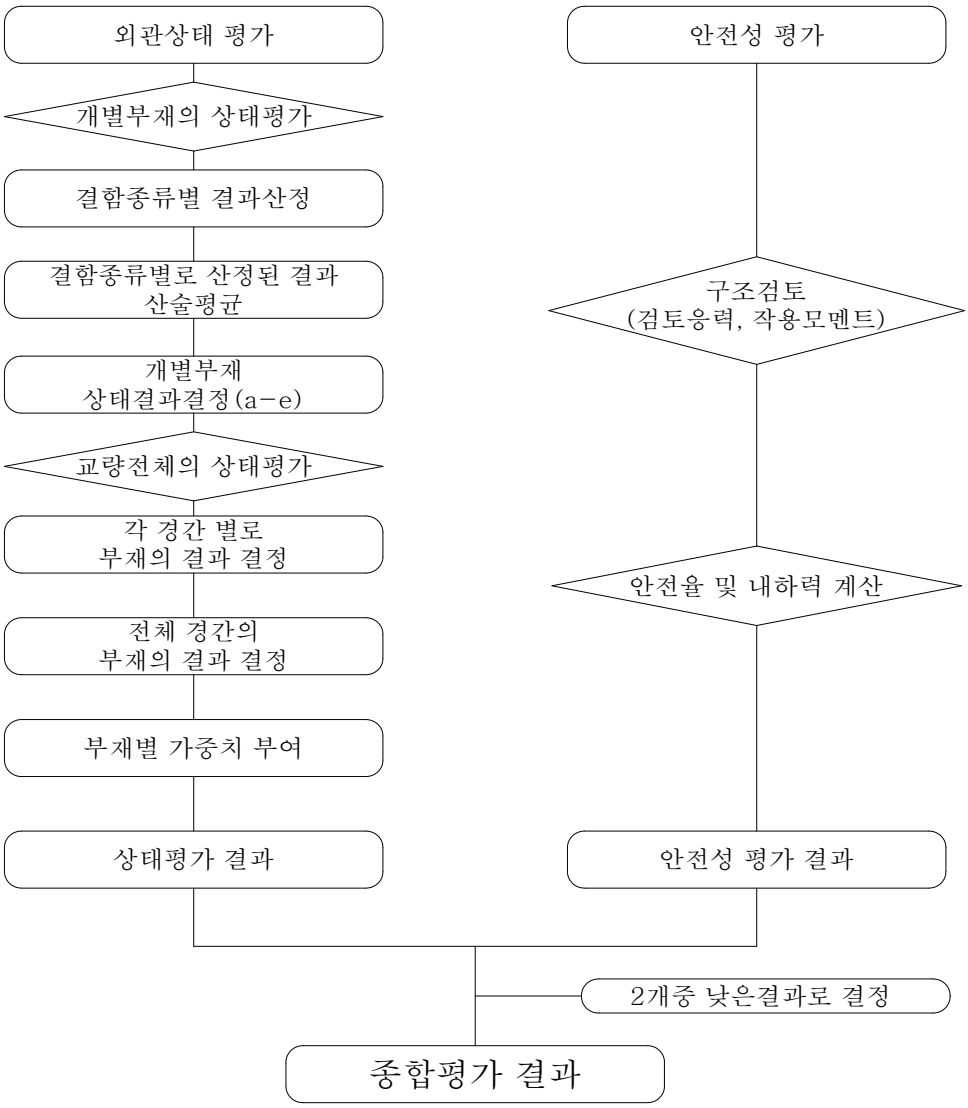
제7장 종합평가 및 안전등급의 지정

7.1 종합평가 산정절차

7.1.1 종합평가 결과 산정방법

외관조사 및 내구성조사에 따른 상태평가 등급과 안전성평가에 근거한 안전성평가 등급 중 낮은 등급을 시설물의 종합평가등급으로 결정한다.

■ 종합평가 등급=MIN(상태평가 결과, 안전성 평가 결과)



<그림 7.1> 종합평가 결과 산정절차

7.2 종합평가 결과

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 연호고가교의 종합평가 결과는 “B”로 평가되었다.

<표 7.1> 종합평가 결과

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F	기준	
연호고가교	0.178	B	1.219(거더) 1.346(바닥판)	A	**B**
종합평가	• 연호고가교의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 “B”로 평가됨 • 안전성평가 결과 양방향 최소 안전율 1.0이상으로 “A”로 평가됨 • 상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 연호고가교는 “B”로 평가됨				

7.3 안전등급 지정

7.3.1 안전등급기준

정밀안전진단을 실시하는 경우 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 「법」 제16조 및 「영」 제12조 에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하고, 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하여야 하며, 안전등급에 따른 시설물의 상태는 다음과 같다.

<표 7.2> 시설물의 안전등급 기준

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며, 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

7.3.2 안전등급 지정

연호고가교에 대한 상태평가 및 안전성평가 결과 시설물의 상태는 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 안전등급 “B등급” 으로 평가되었다.

<표 7.3> 시설물의 안전등급 지정

구조물명	안전등급
연호고가교	B등급(양호)

제8장 보수·보강 및 유지관리 방안

8.1 보수·보강 방안

8.2 보수·보강 개략공사비

8.3 유지관리 방안

제8장 보수·보강 및 유지관리방안

8.1 보수·보강 방안

8.1.1 개요

본 교량에 발생된 주요 손상에는 바닥판하면 백태, 박리, 누수, 거더 도장박리, 하바구조 균열, 파손, 백태, 교량받침 도장박리 등이 있다.

외관조사시 발견된 결함 및 손상은 설계 성능으로의 향상을 위하여 보수 및 보강을 수행하는 것이 원칙이나, 손상으로 인한 내구성 및 내하력의 저하가 미미하고 보수보강 작업으로 오히려 교량부재의 성능이 저하될 것으로 예상되는 손상의 경우에는 보수·보강을 수행하지 않고 추후 실시할 점검 및 진단시 손상부위를 계속 관찰함으로써 교량의 장수명화를 도모하는 것이 효과적이다.

본 장에서는 연호고가교에 발생한 각종 결함 및 손상에 대한 원인을 분석하고, 적절한 보수·보강 방안을 제시함으로써 교량의 각부재가 설계 성능을 회복할 수 있도록 하였고, 손상의 정도가 미미하여 보수·보강의 필요가 없는 부분에 대해서는 손상내용을 정확히 기술하여 추후 실시할 점검 및 진단시 손상의 진행여부를 확인하도록 하였다.

보수·보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다.

<표 8.1> 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

8.1.2 우선순위 선정

조사된 손상 중에서 보수·보강 대상 부위에 대해서는 가능한 한 조속히 보수·보강을 실시하는 것이 원칙이나, 동시에 전체 손상에 대한 보수·보강을 실시하는 것은 비경제적이므로, 경제적이고 효율적인 보수·보강작업을 위해 발생한 손상이 교량의 안전성에 미치는 영향을 고려하여 손상을 종류별로 구분하여 아래와 같이 보수 우선순위를 부여하였다.

또한, 직접 구조물에 발생한 손상이 아닌 경우 유지관리 방안에는 기술하되, 공사비 산정에는 반영하지 않았다.

<표 8.2> 보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	• 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 시행령 제18조(시설물의 중대한 결함)의 "대통령령으로 정하는 중대한 결함"에 포함되는 손상 - 시설물의 철근콘트리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 등 • 주요부재에 발생된 결함 및 손상이 커 상태평가 기준 "d"이하인 경우 • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나, 부식 가능성이 큰 경우
중기	2순위	• 보조부재에 발생된 결함 및 손상이 커 내구성에 영향을 미치는 경우 • 상부 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상 • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우
장기	3순위	• 기능발휘에는 지장이 없으나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상 • 발생된 손상이 경미하여, 유지관리를 통한 점검이 필요한 경우
주의 관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로써 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 경미한 강재의 용접결함 - 기타 경미한 손상으로써 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

8.1.3 보수·보강 일람표

<표 8.3> 부재별 보수·보강일람표

구 분		손 상 현 황	단 위	손상물량	개소	보수·보강방안	우선순위
거더외부 (STEEL BOX)		도장박리	㎡	4.40	57	도장보수	2
거더내부 (STEEL BOX)		도장들뜸, 박락	㎡	2.78	7	도장보수	2
		표면오염	㎡	5.00	1	실란트충전	3
		볼트부식	개소	22	22	도장보수	2
		실링처리미흡	개소	2	2	실란트충전	3
		점검등덮개탈락, 파손, 불량	개소	17	17	정비	3
		기공	개소	1	1	주의관찰	-
가로보		이물질퇴적(조류서식)	개소	1	1	정비	3
바닥판하면		균열(0.3mm미만)	m	7.50	9	표면처리	2
		백태	㎡	1.66	11	표면처리	2
		박리	㎡	0.09	9	단면보수	2
		종조인트 누수	m	10.00	1	주의관찰	-
하부 구조	교대	균열(0.3mm미만)	m	4.90	4	표면처리	2
		백태	㎡	0.04	1	표면처리	2
		누수흔적	㎡	28.4	5	주의관찰	-
		파손	㎡	1.29	2	단면보수	2
	교각	균열(0.3mm미만)	m	56.10	47	표면처리	2
		망상균열	㎡	106.0	29	표면처리	2
		백태	㎡	0.24	12	표면처리	2
		표면오염(녹물)	㎡	5.00	1	주의관찰	-
교량 받침	받침 콘크리트	균열(0.3mm미만)	m	7.20	27	표면처리	2
	본체	도장박리	㎡	1.97	19	도장보수	2
신축 이음	후타재	균열(0.3mm미만)	m	21.5	67	주의관찰	-
		파손	㎡	0.02	2	주의관찰	-
	하부, 접속부	흡음재탈락	m	2.00	1	주의관찰	-
		접속부 포장균열, 이격	m	10.0	1	주의관찰	-
난간 및 연석		균열(0.3mm미만)	m	619.4	684	표면처리	2
램프 구간	포장	아스콘 균열	m	23.60	7	주의관찰	-
		아스콘 파손	㎡	0.09	3	주의관찰	-
		포트홀	㎡	0.04	1	주의관찰	-
	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	20.00	21	표면처리	2
		균열(0.3mm이상)	m	5.80	5	주입보수	2
		망상균열	㎡	195.0	6	표면처리	2
		파손	㎡	0.28	2	단면보수	2
		재료분리	㎡	23.2	2	단면보수	2
		철근노출	㎡	0.26	3	단면보수(방청)	2
		단차	개소	1	1	주의관찰	-

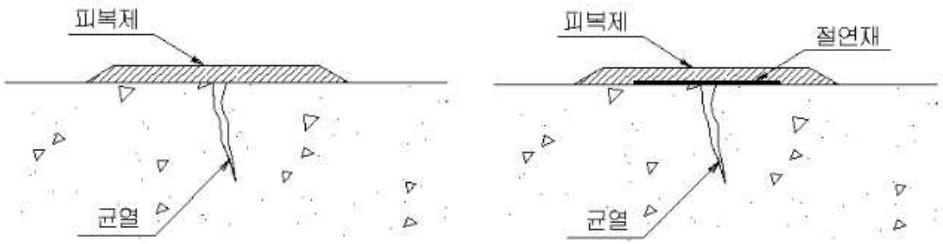
8.1.4 보수공법

가) 표면처리공법

1) 적용 범위

· 대상교량에 발생한 폭 0.2㎜ 이하의 균열과 백태 등의 표면손상은 진전방지 및 미관을 고려한 표면처리 보수를 실시한다.

· 폭 0.2㎜ 이하의 미세한 균열에 대해 직접 그 균열의 표면을 피복하여 방수성, 내수성을 지니도록 하는 것으로 그 효과는 균열표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용시 균열의 진행여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다.



(표면처리공법) (균열폭의 변동이 큰 경우의 표면처리공법 일례)

<사용 재료>

① 폴리머시멘트 페이스트 ③ 도막 탄성방수재 (아크릴 수지계)

② 시멘트 필러 ④ 도막 탄성방수재 (우레탄 수지계)

<그림 8.1> 표면처리공법 개요도

2) 시공시 주의사항

① 기존의 도막 및 이물질을 수공구 또는 샌더 등의 전동공구를 사용하여 제거한다.

② 도막을 완전히 제거한 후 고압수세정기(100~150kg/㎡)를 사용하여 표면위에 남아있는 이물질을 완전히 제거한다.(물을 사용할수 없는 경우에는 압축공기나 진공 청소기를 사용한다.)

③ 세정 순서는 위쪽에서 아래쪽으로 하고 오염된 물이 아래쪽 벽면에 부착되지 않도록 주의하여 세정한다.

④ 유지 등으로 더러워진 부분은 용제나 전용세제를 사용하여 세정한다.

⑤ 충분히 건조한 후 담당자의 확인을 받아야 한다.

⑥ 제품선정 후 제품 시방규정에 의한 표준 도포량 확인한다.

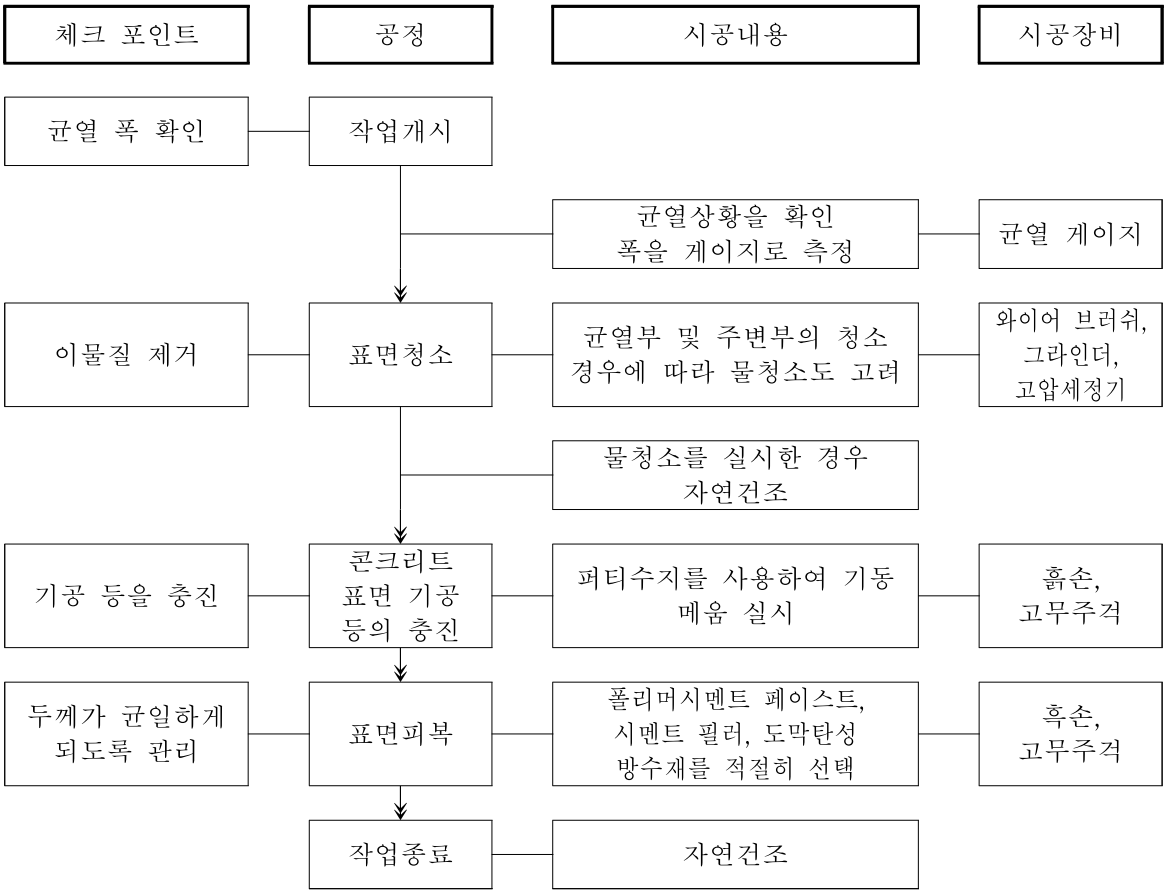
⑦ 직사광선, 바람 등이 현저한 장소에서 시공할 때는 급격한 건조를 방지하기 위한 조치를 취하여야 한다.

⑧ 동절기 시공 시에는 따뜻한 날을 선택하여 시공하여야 한다.

⑨ 혼화재는 사용 전에 수회 흔들어야 한다.

⑩ 시공완료 후 충분히 건조한 후 담당자의 확인을 받아야 한다.

3) 시공 흐름도



<그림 8.2> 표면처리공법 시공 흐름도

나) 주입보수공법

1) 개요

균열(0.3㎜이상)부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열 폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용하여야 한다.

2) 수지주입공법의 종류

균열 주입공법에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입공법에는 수동식, 기계식, 저압·저속식 주입 및 자동주입식 기계주입공법이 있으며, 이 중 저압·저속식 주입은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있어 유리하다.

<표 8.4> 수지주입공법의 종류

압입식 공법	흡입식 공법
· 수동식 주입 : 인력 · 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 · 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력 · 자동주입식 기계주입 : 자동주입기	· 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여, 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

<표 8.5> 균열폭에 알맞은 수지의 점도

형 상		점도(20℃, cp)	주입 가능한 균열 폭
액 상	저점도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점도	1,500±500	0.2㎜ 전후
Gel 상태		6,000±1,000	0.5~5.0㎜ 전후

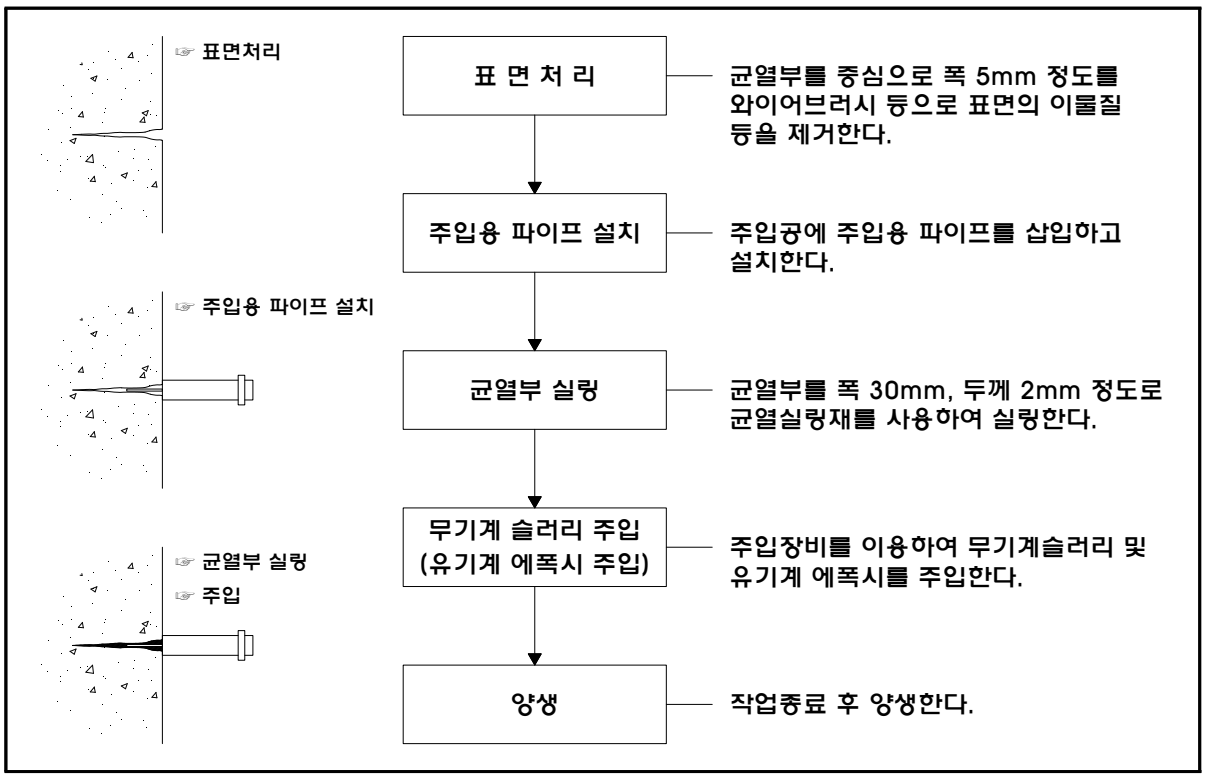
<표 8.6> 균열폭에 따른 주입파이프/패커의 간격

균열 폭(㎜)	주입파이프/패커간격(㎜)	비고
0.3이하	50~100	
0.3~0.5	100~200	
0.5~1.0	150~250	
1.0이상	200~300	

<표 8.7> 에폭시계 수지의 규격

시험항목	시험방법	시험조건	실링 및 퍼티용 규격치	주입용 규격치
비 중	KS M 3015	20℃ 7일간	1.7±0.2	1.2±0.2
사용가능시간	온도상승법	20℃	60이상	30이상
점 도	JIS K 6838	〃	-	5,000이하
압축항복강도	KS M 3015	20℃ 7일간	6.0이상	6.0이상
휨강도	〃	〃	3.5이상	4.0이상
인장강도	〃	〃	2.0이상	2.0이상
압축탄성계수	ASTM D 695	〃	0.1～0.6	0.1～0.6
인장전단강도	KS M 3722	〃	100이상	100이상
충격강도	KS M 3015	〃	0.15이상	0.3이상
경 도	ASTM D 2240	〃	80이상	80이상

3) 시공방법



<그림 8.3> 균열 보수공법 개요도

4) 시공시 주의사항

① 대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다.

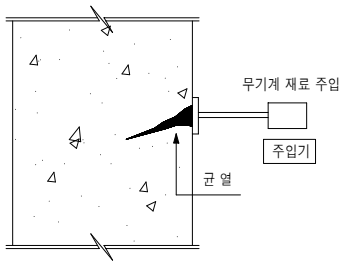
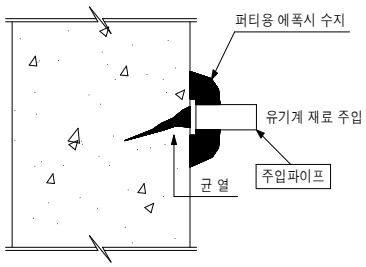
② 에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다.

③ 사용하는 에폭시계 수지는 적당한 루트마다 시험을 실시하여 품질을 확보한다.

④ 씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

⑤ 주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 표면처리 한다.

<표 8.8> 주입공법 공법비교안

구 분	폴리머 슬러리시멘트 주입공법	에폭시 주입공법
개요도		
공법 개요	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 주입기를 통하여 주입하는 공법
시공 방법	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→폴리머슬러리 시멘트주입→단면복구	표면처리→U.V컷팅→주입기설치→ 균열부 씰링→에폭시주입→단면복구
특징	- 품질관리가 용이하고 재균열 발생우려 없음 - 균열보수의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 - 콘크리트 모체와 동등한 탄성계수, 열팽창 계수, 투수성 확보 - 수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 - 보통형식의 것은 경화시간이 늦고 공기가 길어짐 - 공정이 다소 복잡하여 시공전문가필요 - 유기계에 비해 접착강도 떨어짐	- 인장, 휨강도가 우수함 - 건조한 환경에 유리함 - 경화시간이 빠름 - 시공실적 다수 - 습기가 있는 부분에서는 접착력이 떨어지며 품질관리가 어려움 - 주입압력이 크면 균열이 확대되므로 주의 - 탄성계수, 열팽창계수가 콘크리트와 다름

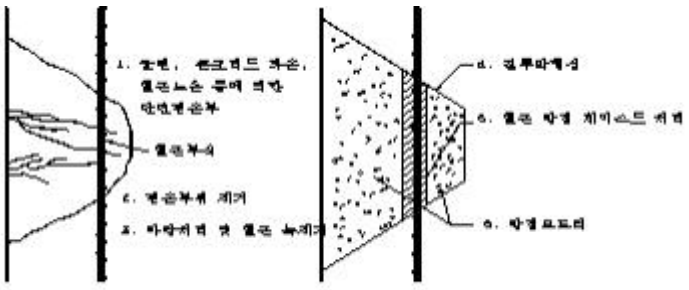
다) 단면보수(철근방청)공법

1) 적용 범위

· 외관조사 결과, 바닥판, 교대의 단면손상 등이 조사되었다. 이는 시공시의 다짐불량, 피복두께 부족, 공용기간의 증가로 인한 콘크리트 열화, 외부충격 등에 의하여 발생된 것으로 판단되며 일부손상에 대해서는 콘크리트 내구성 차원의 보수가 이루어져야 한다.

· 본 공법은 상기 단면 손상부에 대한 보수공법으로, 현재 조사된 부위의 불건전 콘크리트와 기타 이물질 부위를 제거하고, 부식이 발생된 철근은 녹을 제거하고 방청처리를 한 후 방청모르터를 도포하는 순서로 보수시공을 진행한다.

2) 보수방법



<그림 8.4> 단면보수공법 개요도

3) 시공방법 및 유의사항

① 기존 콘크리트의 열화부위 및 탄산화 부분을 브레이커 등을 이용하여 제거한다.

② 콘크리트 표면제거 시 파편 및 분진이 발생되므로 보호안경을 착용 후 작업에 임한다.

③ 콘크리트 표면제거 후 고압세척기를 이용하여 고압 세척한다.

④ 콘크리트 제거 후 공기압축기를 사용하여 표면을 깨끗이 청소한다.

⑤ 기온이 5℃ 이하에서는 작업을 중지해야 한다.

⑥ 철근 부식의 원인이 되는 전해질을 제거하고 공극을 메워 콘크리트 밀도증가로 산소와 물이 차단되도록 발청 억제용 침투제를 도포한다.

⑦ 신·구재료의 접착력을 증진시키기 위하여 신·구 접착제를 도포한다.

⑧ 비가 예상되거나 습도가 80%이상일 경우, 안개가 심한 경우에는 작업을 중지하여야 한다.

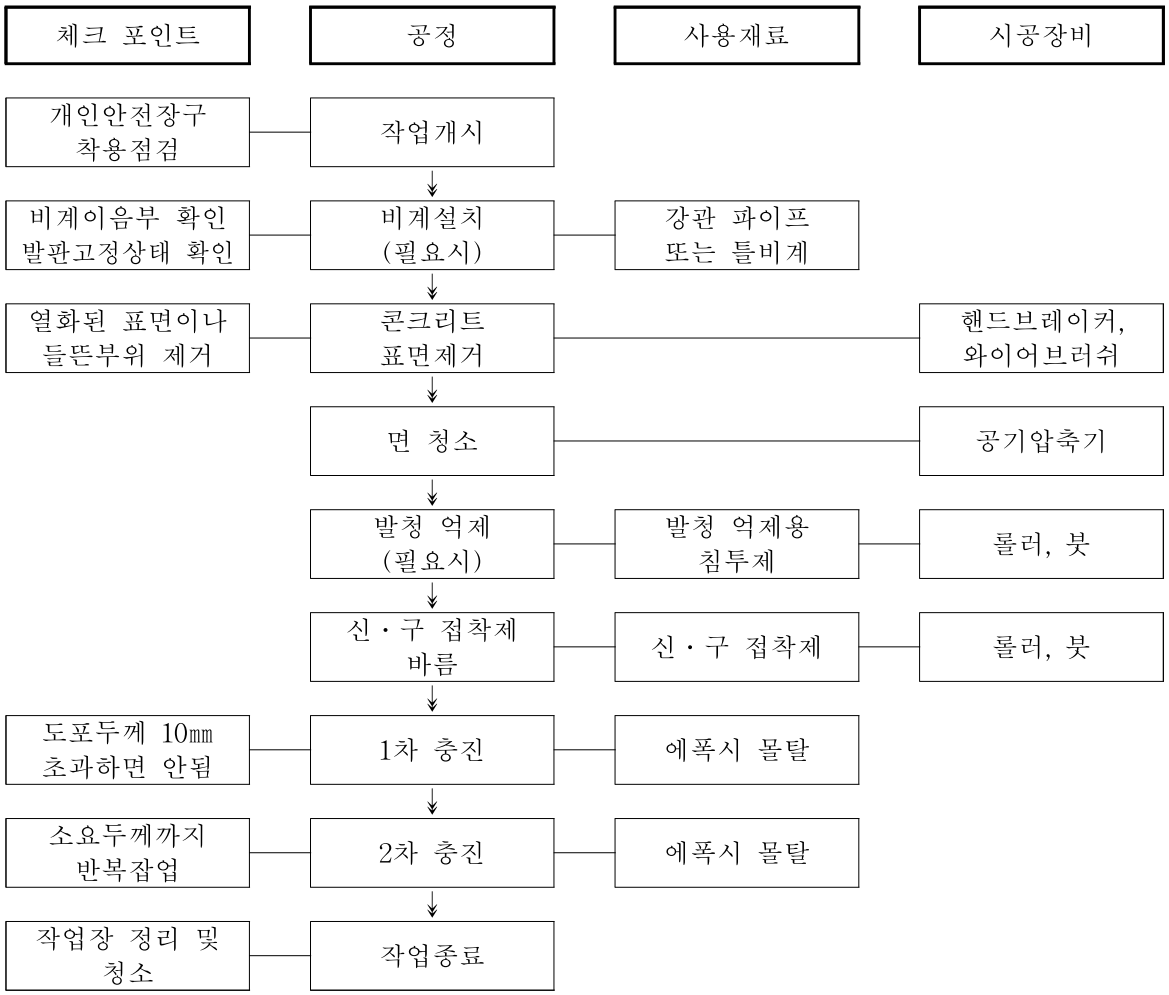
⑨ 기존 콘크리트 탈락부위에 1차 충진은 에폭시 몰탈로 실시한다.

⑩ 에폭시몰탈 시공시 미장두께는 10㎜를 넘어서서는 안 된다.

⑪ 기온이 30℃ 이하에서는 1차 충진 후 최소 2시간 경과 후에 2차 충진을 실시한다.

⑫ 에폭시몰탈은 상온에서 배합후 시간이 경과하면 접착력 및 강도가 저하되므로 작업 종료 후 남은 것은 재사용하지 말고 버려야 한다.

⑬ 에폭시 몰탈의 혼합량은 중량비를 기준으로 저울을 이용하여 정확히 계량하여야 한다.



<그림 8.5> 단면보수공법 시공 흐름도

라) 강박스 거더 내·외부 도장보수공법

1) 적용 범위

·공용년수의 증가에 따라 도장부가 열화되어 발생한 부식 및 발청, 도장박리 등의 도장손상에 적용한다.

2) 일반사항

① 적용범위

·본 지침은 강재의 중방식 보수도장 공사에 적용한다.

② 용어의 정의

·중방식 도장(Heavy Duty Coating)이라 함은 교량, 해상 구조물 등 심한 부식환경에 놓여있는 철 구조물을 장기간에 걸쳐 부식으로 보호하기 위하여 제조한 도료로 시공하는 방식도장을 말한다.

③ 시방규정의 준수

·공사감독자는 본 지침은 물론 도로교 표준시방서 및 강교 보수도장공사 시방서 규정을 준수하여야 한다.

3) 사용도료 및 건조도막 두께

① 전면 재도장시

<표 8.9> 일반적인 부식 환경 도막두께

도장부위		바탕처리 정도	도장 층별	도료 종류	건조도막 두께(㎛)
강교 부위		거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	무기질 징크계 염화 고무계 염화 고무계	50 60 60
강교 내부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질 징크계 역청질계	75 75
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질 징크계 타르에폭시계	75 75
	3안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질 징크계 에폭시계	75 75

<표 8.10> 가혹한 부식 환경 도막두께

도장부위		바탕처리 정도	도장 층별	도료 종류	건조도막 두께(㎛)
외 부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	무기질 징크계 에폭시계 우레탄계	75 100 80
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계 우레탄계	100 100 80
내 부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질 징크계 타르에폭시계	75 100
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질 징크계 에폭시계	75 100
	3안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계	100 100

② 부분 재도장시

<표 8.11> 부분 재도장시 도막두께

도장부위		바탕처리 정도	도장 층별	도료 종류	건조도막 두께(㎛)
외부	염화고무계 알키드 조합페인트	·거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2) ·동력공구 시공(St3)	T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 100 50
	우레탄계		T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 80 50
내부	역청질계		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 역청질계	(80) 75
	광명단페인트		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱)	(80) 100

※ 주) T/U(touch-up) : 국부적인 보수도장을 말하며 터치업 면적이 큰 경우는 블라스팅을 하고 전면 재도장 기준을 적용한다.

4) 적용요령

① 전면보수시의 환경은 대기 오염 및 염화칼슘의 영향 등을 고려하여 가급적 가혹한 부식 환경을 적용한다.

② 도료의 종류와 건조도막두께는 공사 및 도료의 특성에 따라 변경될 수도 있다.

③ 무기질 징크위에 도장 전에는 반드시 미스트 코트를 실시한다.

④ 강교 내부의 상도는 유지관리상 가급적 밝은색(회색)으로 도장한다.

⑤ 전면 재도장은 도장면적 전체를 바탕 처리하는 경우를 말하며 부분 재도장은 녹발생 등으로 도장이 손상된 부분만을 바탕 처리하여 터치업 도장 후 하도, 상도는 필요면적만을 도장하거나 또는 전 면적을 도장 하는 것이다.

5) 바탕처리의 정도

·보수 도장시의 바탕처리 등급은 다음을 원칙으로 한다.

① 전면 재도장시 : SIS(스웨덴 규격협회) 규정에 의한 Sa 2 1/2

② 부분 재도장시 : SIS 규정에 의한 Sa 2 1/2 또는 St 3

6) 특수부위의 도장

① 모재와 연결판 접촉면은 후막형 무기질 징크리치 페인트로 도장한다.

② 강상판, 강재료와 콘크리트의 접촉면, 방수층면은 브라스팅 처리를 하여 녹·흑피 등을 제거한 후 무기질 징크리치 페인트로 도장한다.

③ 받침장치·앵커볼트 부위는 특별히 규정한 경우를 제외하고는 제청작업을 한 후 무기질 징크리치 도료나 에폭시계(알루미늄 또는 미스틱) 도료로 도장한다.

7) 검 사

① 검사항목

<표 8.12> 도장 전·후 검사항목

검사시기	검사항목	검사방법
도장 전	·도료 ·피도체 바탕처리 상태	·시험성적표심사 ·시료채취 시험실시(KSM 5000) ·시방서 기준
도장 후	·도료 사용량 ·외관조사 ·도막두께 ·도막부착시험	·전수조사 ·육안조사 ·측정기에 의함 ·테이프 테스트

② 도료의 품질검사

- 제조업체 시험 성적표

·제조업체가 제출한 시험성적표가 규격에 적합한지 확인하여야 한다.

·시험성적표는 도료의 종류별·도료 롯트별로 확인 검사를 해야 한다.

- 용기의 규격번호 및 명칭이 표시되었는지 확인하여야 한다.

- 도료의 수량은 설계 소요량이 반입되었는지 확인하여야 한다.
- 현장시료 채취시험은 반드시 공인된 시험기간에 의뢰검사를 실시하여야 한다. 도장 후 도막의 부착성 시험도 필요시에는 의뢰검사를 실시할 수 있다.
- 불합격 도료의 처리
· 시험에 불합격한 도료는 즉시 현장 외부로 반출하고 반출을 증빙할 수 있도록 반품 과정의 사진을 촬영하여 반출송장과 함께 제출한다.
· 시험에 불합격하여 도료를 반출하고 재 반입하는 경우는 도료 제조업체를 변경한다.

③ 도장 후 검사
- 외관의 육안조사
· 도막의 변·퇴색이나, 광택의 감퇴, 백염화, 오손, 균열, 벗겨짐, 부풀음 및 녹 등의 이상유무 및 발생정도를 판정한다.
- 층별 도장이 건조된 후 도막측정기에 의하여 도막 두께를 측정한다.
- 도막의 부착성 실험
· 칼로 X-Cut 한 후 테이프 테스트를 실시하여 3A등급 이상(ASTM D 3359 기준) 이어야 한다.

8) 강재도장 공법 비교

<표 8.13> 강재도장 공법 비교

공법	중방식 금속한합물 피막	염화고무계 도료 (일반중방식)	에폭시계 도료	세라믹계 도료
시공 순서	· 표면처리 · 1차피막 (하도) · 2차피막 (중도) · 3차피막 (상도)	· 표면처리 · 무기질징크 하도 · 염화고무도료 중,상도	· 표면처리 · 수용성 무기징크 1,2,3차 도포	· 세라믹코팅 바탕만들기 · 무기아연말계 · 무기세라믹계 · 우레탄세라믹
장 점	· 내열성, 내후성, 방청력, 부착력, 신율우수 · 내마모성 우수 · 강인한 도막, 미관성 · 내약품성, 내충격성 · 희생양극방식 기능 · 내염성, 내구성 · Re-Coating이 용이 · 음용수 기준에도 적합한 친환경적 소재	· 일반적인 시공성 · 국내적용 실적이 많음 · 건조가 빠름	· 내약품성 · 강인한 도막, 미관성 · 희생양극방식기능	· 내약품성 · 강인한 도막, 미관성 · 내구성
단 점	· 일반적 도료에 비해 비교적 고가 · 작업시 접착제와 금속 혼합물이 잘 혼합되도록 전동 믹서기를 이용하여 혼합하여야 함 · 작업전 시공교육 필요	· 내약품성이 나쁨. · 내구성이 짧음 · 내열성이 나쁨 · 초기접착력은 우수하나, 접착력 저하(계면탈락) · 저온시 증점(점도상승, 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 층간분리현상이 나타날 수 있음
내구성	20년	3 ~ 4년	5년	10년
경제성	36,000원/㎡	18,000원/㎡	20,000원/㎡	30,000원/㎡

마) 아스팔트 패칭공법

1) 적용범위

① 교면포장에 발생한 손상 중 국부적인 아스콘 탈락 등은 시간이 지남에 따라 손상이 더욱 커지는 특성이 있고 통행차량의 주행성 저하와 교량에 충격원인을 제공하므로 보수가 필요하다. 보수방안은 단기적으로는 손상부위에 국부적으로 아스팔트 패칭 공법을 적용하는 방법이 있으며 장기적으로는 전면 재포장 하는 방법이 있다.

② 부분적인 아스팔트 포장의 보수에 사용되는 공법으로 보수의 긴급성에 따라 가열혼합식과 상온혼합식으로 나누며 보수효과가 좋은 가열혼합식을 사용하는 것으로 한다.

③ 패칭보수 완료후 신·구 아스콘 접속부에서 체수가 될수 있으므로 접속부의 마무리에 유의하여야 한다. 포장의 절취는 상판면까지 행하고 택코우트 및 도막방수는 상판뿐만아니라 측면까지 잘 도포한다. 아스팔트 패칭 보수는 작업의 효율성 및 보수효과를 위해 1㎡을 기준으로 한다.

2) 시공방법

① 안전관리기준에 의거 안전시설 설치후 교통통제를 실시한다.

② 제거부분을 양호한 포장면과 30㎝ 정도 겹쳐지게 페인트 등으로 표시한다.

③ 로드컷터기를 사용하여 차량진행 방향과 나란하게 직각 절단하고 브레이커로 파쇄한다.

④ 절삭구간은 바브켓을 이용하여 부산물을 모두 제거하고 특히 절삭면에 분리되어 있는 잔재는 인력으로 압축공기를 이용하여 가열, 건조시킨다.

⑤ 바닥면과 옆면에 수동 살포기 및 인력을 이용하여 택코팅을 실시한다.

⑥ 아스팔트 혼합물 포설

⑦ 탠덤 롤러를 사용하여 충분히 다짐을 실시한다.

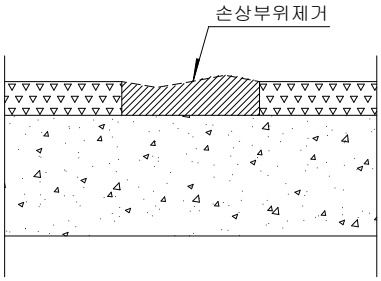
⑧ 패칭부 가장자리를 유제 아스팔트로 실링하여 신·구 아스콘 접속을 견고히 함으로 우수의 침투를 예방한다.

⑨ 이음부 포설 시 유제가 많이 포설되었을 경우에는 모래를 뿌려 제거한다.

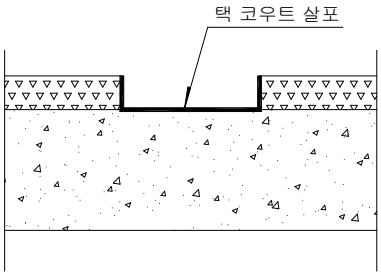
⑩ 포장보수 완료 후 시공 주위를 깨끗이 청소한다.

⑪ 교통통제 시설 철거 후 교통개방 시 표면온도는 50℃이하가 되도록 한다.

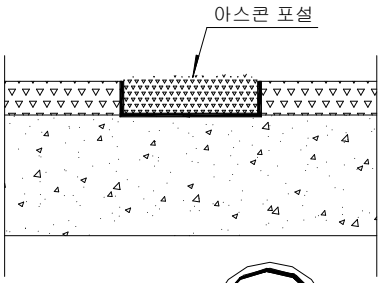
⑫ 절삭된 폐아스팔트는 지정장소에 모아서 처리한다.



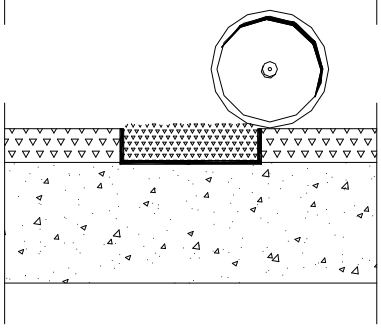
1. 파손된 부분보다 30㎝ 정도 크게 절삭기를 이용하여 절삭한다.
2. 제거하는 부분은 수직으로 정사각형 또는 직사각형의 형상을 만든다.
3. 차량 진행 방향에 직각으로 해야 한다.
4. 포장의 절단은 면이 고르게 나올 수 있도록 해야 한다.
5. 먼지 및 부스러기를 깨끗이 청소한다.



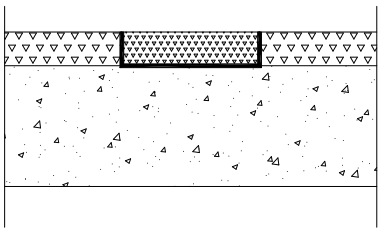
1. 급속 경화형 커트백 아스팔트를 이용하여 택 코우팅을 실시한다.
2. 택 코우트는 적정량을 균일하게 살포하는 것이 중요하므로 시험 살포를 통하여 디스트 리뷰터의 속도와 살포량의 관계를 파악하여 두는 것이 중요하다.
3. 절삭된 면에도 택 코우트를 실시하여 기존 포장면과의 접착력을 증가시켜야 한다.



1. 밀입도 아스팔트 혼합물을 채운다.
2. 가열 아스팔트를 포설할 경우에는 온도가 120℃ 이하가 되지 않도록 시공해야 한다.
3. 인력 포설 경우에는 혼합물의 온도가 쉽게 내려가기 때문에 신속히 작업해야 한다.
4. 균일한 밀도 및 두께가 되도록 신중히 포설한다.
5. 포설시 혼합물의 재료 분리가 발생되지 않도록 주의한다.
6. 가열 아스팔트 혼합물의 사용이 불가능하면 유화 아스팔트나 커트백 아스팔트를 사용한 플랜트 배합 아스팔트를 사용할 수 있다.



1. 포설 후 가능하면 빨리 다짐을 하며, 다짐을 하기 전에 표면을 점검하고 불균일한 표면이나 요철 등이 발생한 경우에는 즉시 수정해야 한다.
2. 다짐 작업은 보수 규모에 맞는 장비를 선택해야 한다.
   작업의 규모가 작은 보수 공사의 경우에는 진동 컴팩터 또는 1t 진동 롤러가 적합하며 작업 규모가 큰 경우에는 8~12t사이의 진동 롤러가 적합하다.



1. 보수 부위의 종단평탄성을 비롯한 품질 관리를 위해서는 직선자 또는 스트링 라인(String line)을 사용한다.

<그림 8.6> 아스팔트 팻칭공법 시공 개요도

바) 아스팔트 실링보수

1) 적용 범위

① 아스팔트 포장 도로는 지형, 기후 그리고 교통량에 따라 엄격하게 설계되지만 차량 윤하중의 반복작용과, 온도변화에 의한 수축 · 팽창 작용 및 기층의 변화상태에 의해 설계에 관계없이 점차 노후화 하기 시작하며 특히, 아스팔트에 포함된 가소성분, 아스팔트 성분은 산화작용으로 경화되며 교통량에 따른 중압과 온도변화로 탄성력이 작아져 균열이 진행된다.

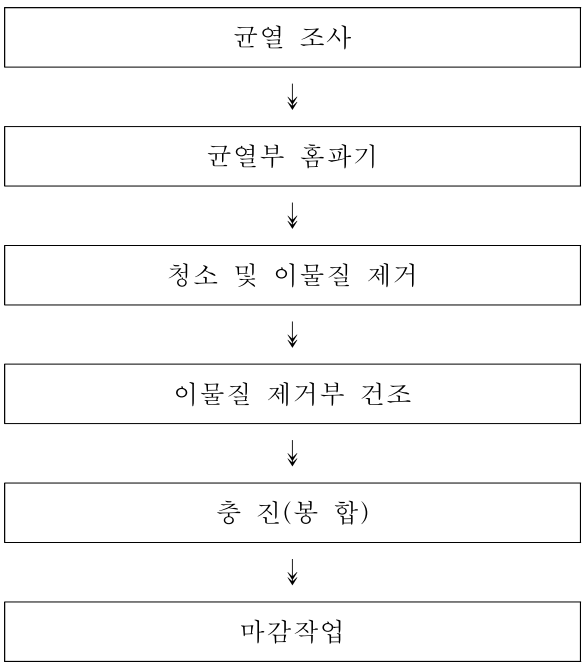
② 단순 균열 부분에 적합하여 시공속도가 빠르고 경제적이며 균열이 폭이 좁고 깊이가 상대적으로 낮아 이물질이 적게 침투되어 있는 균열에 적합하다.

③ 발달된 균열의 진행방향에 따라 홈파기 작업을 하여 침투되어 있는 이물질을 제거하며, 시공면 접착부의 접착 강도를 증진시킬수 있어 균열의 폭이 크고 깊이가 깊은 균열에 적합하다.

④ 큰 성상 균열 또는 Cement Concrete 포장 위의 Asphalt 층에 보이는 균열 등에 혼합물을 채워서 보수하는 공법

⑤ 균열부의 먼지나 흙은 제거하고 파손 부분을 제거한 후 Asphalt Mortar, Slurry, 혼합물, Brown Asphalt, 주입줄눈재, Guss Asphalt 등으로 채운다.

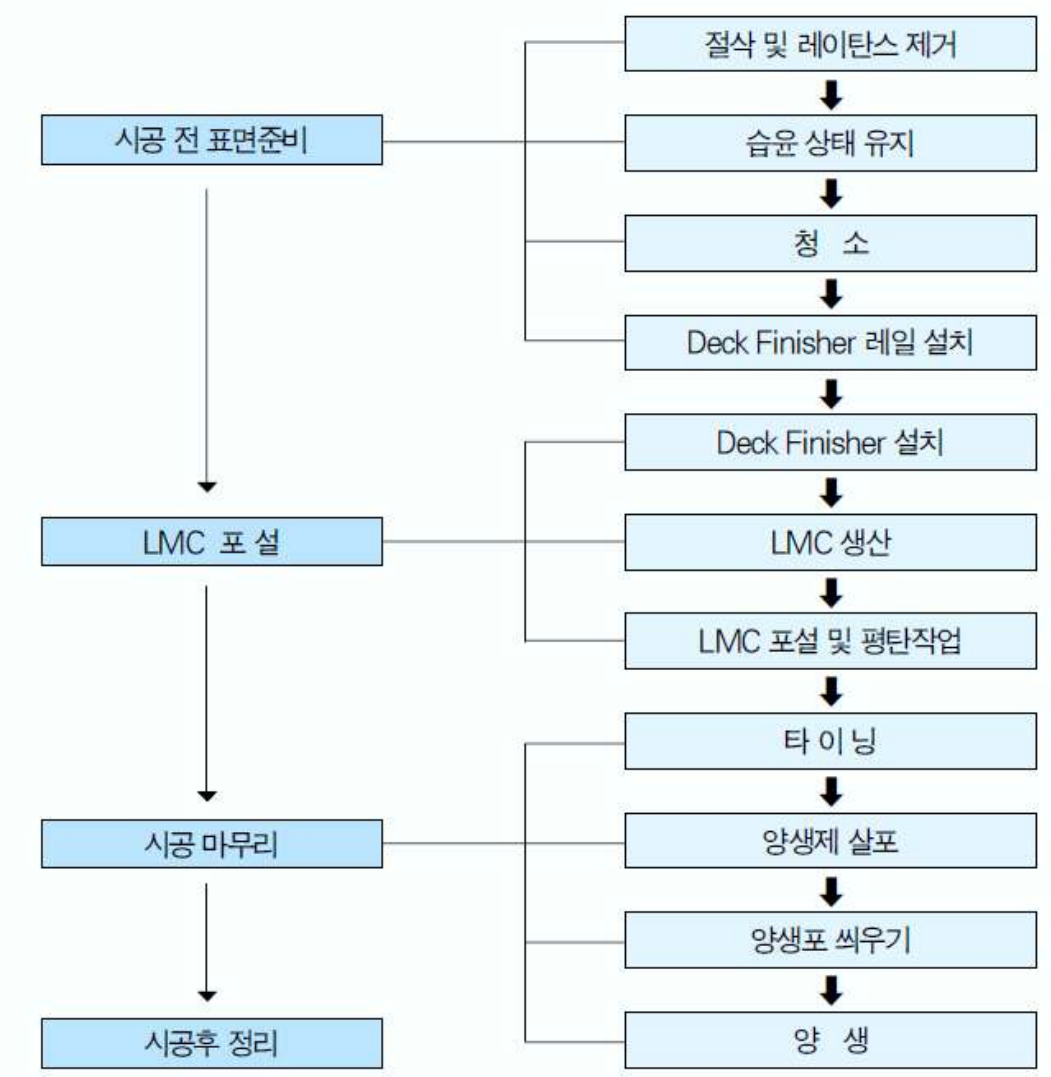
2) 시공흐름도



<그림 8.7> 아스팔트 균열보수공법 시공 흐름도

사) 콘크리트 재포장(LMC)

1) 시공절차



<그림 8.8> 콘크리트 재포장(LMC) 시공절차

2) 시공방법

① 교면준비

ⓐ 교면절삭

ⓑ · 교량 슬래브 콘크리트의 표면을 절삭 깊이 2mm내외로 요철이 생기게 절삭한다.

ⓒ · Latex 혼합개질콘크리트와 접하는 방호벽이나 중분대 기초 등과 같은 측벽은 치핑(Chipping)하여 거친 면으로 만든다.

ⓓ · 부착력을 저해하는 레이탄스, 들뜬 콘크리트 부스러기, 오일, 흡착된 이물질 등을 완저히 제거한다.

ⓔ · 그라인딩 작업에 의해 발생된 미 분말은 압축공기로 완전히 제거한다.

ⓕ 습윤상태 유지

ⓖ · 건조한 슬래브 콘크리트로 인한 Latex 혼합개질콘크리트의 배합수량 흡수가 방지되도록, 교면 절삭 후 넝마를 덮고 살수하여 습윤 상태를 유지한다.

ⓗ · 이러한 교면 습윤상태는 Latex 혼합개질콘크리트가 포설되기 전 최소 24시간 이상 유지되어져야 한다.

ⓘ

ⓙ 교면청소

ⓚ · 스라인딩 작업, 교면 습윤 유지 등으로 인해 발생된 각종 이물질은 고압수로 살수하여 깨끗이 청소한 다음 비닐을 덮어 이물질의 유입을 방지하여야 한다.

ⓛ · 이러한 교면청소는 Latex 혼합개질콘크리트가 포설되기 최소 12시간 전에 완료되어야 한다.

ⓜ · 교면요철, 홀(Hole) 등과 같은 파인 홈에 고여있는 물은 압축공기(Air Compressor)로 제거하여야 한다.

ⓝ 마무리 장비 레일설치

ⓞ · 레일은 마무리 장비의 중량을 충분히 지지할 수 있고, 이동중 변형이 생기지 않는 재질로 해야 한다.

ⓟ · 레일은 마무리면이 계획고에 일치될수 있도록 설치되어져야 한다.

ⓠ · 레일 받침대는 좌우, 상하 움직임이 없도록 고정시켜야 한다.

ⓡ · 레일 이음부 간격은 2m 이상이어야 한다.

ⓢ · 레일 받침대의 간격은 1m 이내로 하여야 한다. 다만, 레일 이음부 전, 후에는 40cm 이내로 하여야 한다.

② 배합 및 생산

ⓐ 배합

ⓑ · 배합기준 : Latex 혼합개질콘크리트의 배합기준은 아래와 같다.

ⓒ

항목	시험방법	단위	기준
휨강도(f_{28})	KS F 2407,2408	kg/㎠	45 이상
압축강도(f_{28})	KS F 2405	kg/㎠	270 이상
단위 Latex량		단위시멘트 중량의 %	15
단위 수량		kg/㎠	150 이하
굵은골재 최대치수		㎜	13
슬럼프 범위	KS F 2403	㎝	10~15
공기량 범위	KS F 2409	%	3~6

<그림 8.9> 교면포장용 Latex 혼합개질콘크리트 배합기준

ⓓ · 시방 배합 : 시공자는 감독원이 승인한 콘크리트의 재료를 사용하여 감독원의 입회하에 시방배합을 실시한다.
ⓔ · 협장 배합 : 시공자는 Latex 혼합개질콘크리트에 사용할 골재의 시험결과를 반영한 수정배합표를 작성하여 감독원과 협의하여 현장배합을 결정하여야 한다.

ⓕ 생산
ⓖ · 믹스에 재료의 투입순서는 골재, 시멘트, 물, Latex순으로 연속하여 투입하여야 한다.
ⓗ · 믹싱시간(Mixing Time)은 소용의 공기량과 슬럼프를 확보할 수 있는 시간 이상이어야 한다.
ⓘ · 믹스로부터 배출된 Latex 혼합개질콘크리트의 구성 성분과 반죽질기는 포장이 종료될 때까지 균등하여야 한다.
ⓙ · 믹스의 용량은 표면에 Latex Film이 생기기 전에 마무리 작업이 종료되고 마무리 장비가 일정한 속도로 진행될 수 있어야 한다.
ⓚ · 믹스의 배합성능을 확인하기 위하여 포설 전 시험을 실시하여야 하며, 시험결과 그 허용오차는 1%범위 이내이어야 한다.

③ 포설·마무리
ⓐ 브루밍(Brooming) 작업 - 부착력을 증진시키고 신·구 경계면의 결함을 없애기 위하여 타설 직전에 소량의 Latex 혼합개질콘크리트를 데크브러쉬(Deck Brush)로 쓸어 교면에 모르타르(Mortar)로 엷게 도포하는 작업으로써 다음 사항을 준수하여야 한다.
ⓑ · 브루밍은 교면뿐만 아니라 Latex 혼합개질콘크리트가 접촉되는 방호벽, 중분대, 측벽에도 실시되어져야 한다.
ⓒ · 브루밍한 표면은 Latex 혼합개질콘크리트가 포설되기 전에 건조되어서는 안된다.
ⓓ · 브루밍 후 남은 Latex 혼합개질콘크리트(모르타르가 빠진)는 포장재표에 혼합 사용되어서는 안된다.

ⓔ 포설 및 마무리
ⓕ · 포설하기 전에 교면이 깨끗하고, 표면건조 포화상태로 되었는지 확인해야 한다.
ⓖ · 예상치 못한 기상변화에 대비하여 굳지 않은 콘크리트를 보호하기 위해 사전에 충분한 준비를 하여야 한다. 만일, 포설 중 비가 내리면 감독원은 모든 작업을 중단시키고, 이로 인해 손상된 부분은 제거하여야 한다.
ⓗ · 포설 두께는 최소 40mm 이상이어야 k고, 포설높이는 계획고보다 3~10mm높게 포설한 다음 진동 다짐으로 마무리하여야 한다.
ⓘ · 모서리 부, 측벽부 등과 같이 채움이 취약한 부위에는 별도의 콘크리트 진동기로 다짐을 실시하여야 한다.
ⓙ · 포설 양쪽 단부, 국부적인 보수 등은 흙손으로 인력 마무리하여야 한다. 이때 마무리 면은 직선자로 평탄성을 점검하고 필요에 따라 요철 부분을 정정하여야 한다.

ⓚ · Latex 혼합개질콘크리트 마무리 면은 소요의 평탄성과 종·횡계획고와 내구적인 표면을 유지할 수 있어야 한다.

④ 양생

ⓐ 피막양생제 살포

ⓑ · 피막양생제는 유성제품을 사용하여야 하며 사용량은 1.5 L/m^2(원액농도 0.105kg/m^2) 이상으로 한다.

ⓒ · 포설마무리 후 즉시 또는 타이닝이 끝난 즉시 양생제를 살포하여야 한다.

ⓓ · 양생제는 전 면적에 고르게 살포되어야 하며, 어떠한 경우에도 양생제가 살포되지 않은 부분이 있어서는 안된다.

ⓔ 습윤양생

ⓕ · 표면마무리가 끝난 후 교통이 개방될때까지 건조, 온도변화, 하중, 충격 등의 나쁜 영향을 받지 않도록 보호하여야 한다.

ⓖ · 콘크리트 표면이 변형되지 않을 정도로 성형되면 즉시 깨끄사고, 고르게 물로 축인 넝마를 덮고, 곧이어 비닐을 깔아 48시간 동안 습윤 양생을 하여야 한다. 다만, 대기온도가 13℃이하일 경우는 감독원은 양생기간을 더 연장할 수 있다.

ⓗ · 습윤양생이 끝나면 양생포를 걷어내고 72시간 이상 기건양생을 하여야 한다.

ⓘ 타이닝

ⓙ · 평탄 마무리가 끝나고 표면에 성형성이 유지되면 즉시 타이닝기에 의한 기계마무리를 하여야 한다. 이때 홈의 깊이는 3mm이상을 표준으로 하고, 홈의 간격은 2~3cm로 하여 충분한 마찰계수를 갖도록 하여야 한다.

ⓚ · 특별히 마찰계수를 증진시킬 필요가 있을 경우에는 감독원의 지시에 따라 홈의 깊이 및 간격을 조정할 수 있다.

3) 품질관리

ⓐ 라텍스 - 라텍스의 고형분 함유량, 입도분포, 제조공정 등에 따라 LMC의 성질에 미치는 영향이 매우 크므로 표준화된 제조공정을 갖춘 공장 제품을 반드시 사용하여야 한며, 아래의 품질을 만족하여야 한다.

부타디엔 함유량(%)	고형분 함유량(%)	pH	응고량(%)	표면장력 (dyne/cm)	입자크기 (Å)	동결융해 안정성
34±1.5	46~53	9.5~11	0.1이하	40이하	1,800~ 2,100	응고량 0.1% 이하

<그림 8.10> 라텍스의 품질기준

4) 기존 교면포장 공법과의 비교

구분		LMC 포장	아스팔트 포장	콘크리트 포장	비고
조직구성					
설치단면					
경제성	초기 투자비	49,036원/㎡	46,941원/㎡	16,345원/㎡	
	유지 관리비	-	56,700원/㎡	-	
	계	49,036원/㎡	103,641원/㎡	16,345원/㎡	제잡비 포함
장·단점		· 강도 및 밀도증진 · 교량 바닥판 단면력 증대 · 균열 억제 · 방수효과 탁월 · 유지관리 양호 · 국내 시공 실적이 적다. · 시공이 다소 번거로움 (바닥판 양생후 별도타설) · 초기투자비 다소 고가	· 상판의 노후화 징후파악 곤란 · 교량 바닥판 보호 · 방수층 파손시 상판에 염화물 침투로 철근부식 및 콘크리트 열화 현상 발생 · 방수효과 보통(재 포장시 교통차단 시간이 길어 방수층 시공 곤란) · 유지관리 불량 · 국내 대다수교량에 시공 · 시공성 양호 · 초기투자비 보통	· 교량 바닥판 단면력증대 · 마모층 면의 균열발생시 염화물 침투로 철근 부식 및 콘크리트 열화현상 발생 · 방수 효과 불량 · 유지관리 불량 · 일부구간 시공(중부, 호남고속도로) · 시공성 양호(바닥판 콘크리트와 동시 타설) · 평탄성 불량 · 초기투자비 매우 저렴	

※ 아스팔트 교면포장 유지관리비는 20년 동안 7년에 1회씩 총 3회 덧씌우기 가정

<그림 8.11> 교면포장 공법 비교

8.2 보수·보강 개략공사비

금회 진단 결과에 따른 보수·보강 개략공사비의 보수공법별 단가는 국토관리사무소 2021년 유지보수단가 등을 적용하여 산정하였다.

<표 8.14> 보수·보강 개략공사비

구분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
거더외부		도장박리	도장보수	4.4	6.6	㎡	110	726	2
거더내부		도장들뜸, 박락	도장보수	2.78	4.17	㎡	110	459	2
		표면오염	실란트충전	5	6	개소	11	66	3
		볼트부식	도장보수	22	2.2	㎡	110	242	2
		실링처리미흡	실란트충전	2	2	개소	11	22	3
		점검등덮개탈락, 파손, 불량	정비	17	17	개소	32	544	3
가로보		이물질퇴적(조류서식)	정비	1	1	개소	32	32	3
바닥판하면		균열(0.3mm미만)	표면처리	7.5	2.81	㎡	75	211	2
		백태	표면처리	1.66	2.49	㎡	75	187	2
		박리	단면보수	0.09	0.14	㎡	250	35	2
하부구조	교대	균열(0.3mm미만)	표면처리	4.9	1.84	㎡	70	129	2
		백태	표면처리	0.04	0.06	㎡	70	4	2
		파손	단면보수	1.29	1.94	㎡	250	485	2
	교각	균열(0.3mm미만)	표면처리	56.1	21.04	㎡	70	1,473	2
		망상균열	표면처리	106	159	㎡	70	11,130	2
		백태	표면처리	0.24	0.36	㎡	70	25	2
교량받침	받침 콘크리트	균열(0.3mm미만)	표면처리	7.2	2.7	㎡	70	189	2
	본체	도장박리	도장보수	1.97	2.96	㎡	55	163	2
난간 및 연석		균열(0.3mm미만)	표면처리	619.4	232.28	㎡	70	16,260	2
램프구간	난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	표면처리	20	7.5	㎡	70	525	2
		균열(0.3mm이상)	주입보수	5.8	8.7	m	64	557	2
		망상균열	표면처리	195	292.5	㎡	70	20,475	2
		파손	단면보수	0.28	0.42	㎡	300	126	2
		재료분리	단면보수	23.2	34.8	㎡	300	10,440	2
		철근노출	단면보수(방청)	0.26	0.39	㎡	400	156	2

순공사비 합계(천원)		64,661
제경비(순공사비×50%, 천원)		32,331
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위	-
	2순위	95,996
	3순위	996
유지보수 개략공사비 총계		96,992

※ 순공사비는 가시설, 접근장비, 교통통제 등 부대비용을 제외한 금액임.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였으며 균열(폭 0.3㎜ 미만)의 표면처리는 손상 길이에 폭(0.25m)을 곱하여 보수 물량을 산출함.

8.3 유지관리 방안

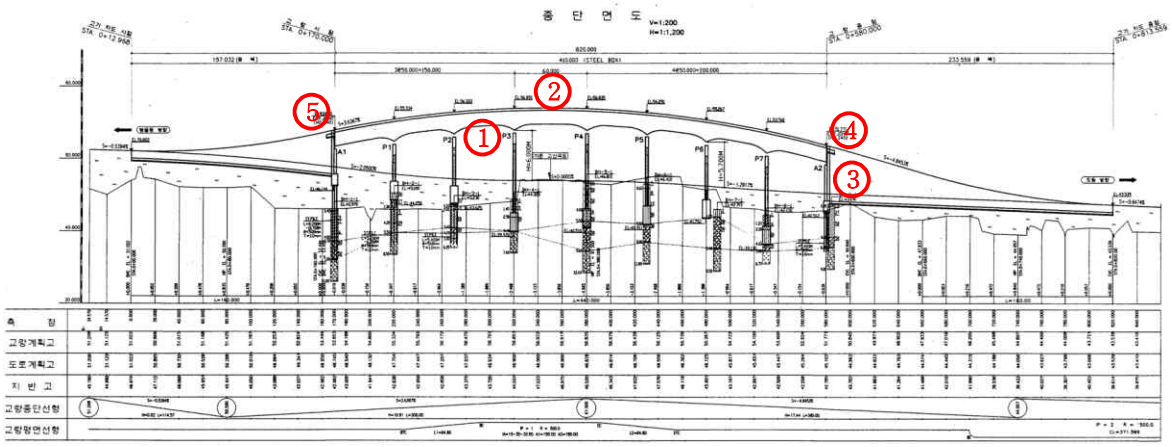
8.3.1 개요

본 유지관리 방안은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법” 규정에 따라 고시된 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침’과 관련하여 연호고가교에 관한 상세한 유지관리지침을 제시하여 과학적이고 체계적인 유지관리를 도모함에 있다. 교량의 유지관리는 교량의 기능과 사용재료의 성능저하 등을 신속 정확히 조사, 측정, 평가하여 이에 대한 적절한 조치를 취함으로써 사용자의 안전과 원활한 교통흐름을 확보함과 동시에 향후 교량 유지관리에 필요한 자료를 얻는 것을 목적으로 실시하며, 세부목적은 다음과 같다.

- 교량 안전성을 확보하고, 설계목적에 부합되도록 한다.
- 교량 상태를 체계적이고 주기적으로 기록한다.
- 손상을 조기에 발견하고, 향후 발생될 손상을 예측한다.
- 보수, 보강, 개축 등 의사결정에 필요한 자료를 제공한다.
- 점검결과의 전산관리 등을 통해 합리적인 유지관리 계획을 수립하여, 예산의 최적분배가 가능하게 한다.
- 축적된 점검결과 분석을 통해 향후 설계, 시공될 교량의 개선을 기대한다.

위와 같은 목적에서 본 연호고가교의 유지관리는 금회 정밀안전진단에서 조사되고 분석된 손상 및 결함을 근거로 하여 관리항목을 제시하고 그에 따른 점검 및 조사요령을 기술하고 각 구조부재별로 발생가능한 손상, 결함 및 평가방법을 제시하였다. 다음은 본 교량에서 중점적으로 관리하여야 할 중요 항목이다.

- 거더 도장손상, 볼트부식
- 바닥판하면 종조인트부 누수, 백태
- 교대 흉벽 파손, 백태
- 신축이음 접속부 포장균열, 이격
- 난간 및 연석 방호벽 단차 등





S3-G3 도장들뜸(범물방향)



S3-G3 SP 볼트부식(범물방향)

② 바닥판하면 종조인트부 누수, 백태



S3 종조인트부 누수



S4 백태(범물방향)

<그림 8.12> 중점유지관리 사항

③ 교대 흉벽 파손, 백태



A2 흉벽 파손



A2 흉벽 백태

④ 신축이음 접속부 포장균열, 이격





A2 접속부 포장균열, 이격(범물방향)

⑤ 난간 및 연석 방호벽 단차 등





램프구간 단차(시점)

<그림 8.12> 중점유지관리 사항(계속)

8.3.2 유지관리를 위한 점검항목

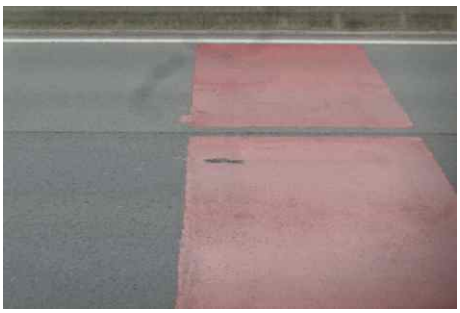
외관조사 결과 결함이 발견된 부재 및 보수·보강을 실시한 부재에서 결함의 진전 여부와 발생유무를 주기적으로 관찰함으로 후에 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함 부위에 대한 원인을 분석하여 사전에 예방하고자 유지관리차원에서 점검하여야 할 사항들이다.

<표 8.15> 각 구조부재별 점검사항

구 분		점 검 내 용
강박스 거더	내부	· 우수유입, 바닥 물고임 및 부식 · 도장부식 및 현장이음부 볼트 손상 · 보강재 변형 발생 여부 · 출입구 방치
	외부	· 도장 손상 및 부식 · 플랜지 변형 및 처짐 · 복부판 부식 및 국부좌굴 · 2차부재(가로보, 세로보, 브라켓) 도장손상 및 부식
바닥판		· 하면 균열의 진전 여부, 백태 및 누수 동반 여부 · 하면 캔틸레버부 들뜸, 박락, 가로등 지주부 철근노출 등의 단면손상 진전여부
신축이음		· 신축이음부 누수 및 부식 정도 · 후타재 이격, 단차 진전으로 충격이나 진동음이 심한 정도 · 하절기 유간협착 유무, 유간 이물질 퇴적 여부 · 후타재 균열, 박리, 박락 진전 여부
받침장치		· 앵커볼트 손상여부 · 받침장치 부식 유무 · 무수축몰탈 및 받침콘크리트 균열, 재료분리 진전 여부
교대		· 균열의 진전 여부 · 철근노출, 들뜸 발생부위 확대 여부 · 교좌면 및 두부면의 물고임, 콘크리트 박리 발생 유무 · 뒷채움부 침하 및 교대 기울음 · 법면 배수로 균열, 파손 진전, 토사유실 유무
교각 및 기초		· 균열의 진전 여부 · 기초의 침하 여부
기타	교면 포장	· 아스콘 마모 진전, 표면 균열 여부 · 신축이음 경계 아스콘 손상, 접속부 아스콘 침하 진전 여부
	난간 연석	· 콘크리트 난간 균열 진전, 피복부족에 의한 들뜸, 박락 및 철근노출 진전 여부 · 중분대 연석 들뜸, 망상균열, 박리 심화 여부
	배수 시설	· 배수구 막힘, 체수 등 · 배수관 누수 여부, 배수관 유출구 주변 콘크리트 부재 열화 발생 유무

8.3.3 부재별 점검요령

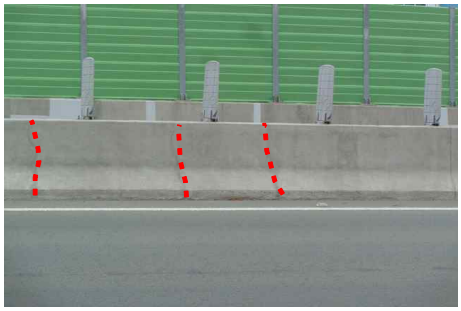
가) 교면포장

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 균열(미세, 선상, 격자형)
• 소성변형(요철, 바퀴자국, 단차)
• 포트홀(패임)
• 노면잡물(구배불량)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷신축이음 전후, 구조물 경계부</td><td>• 단차, 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷배수구 주변</td><td>• 물고임(배수구 간격, 유출구 위치)</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈아스콘 파손〉
 
〈아스콘 균열〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 보도 혹은 방호울타리 양측 노견에서 상세점검
- 중차량 통행이 많은 차선, 급정지 구간 주변의 손상 점검
- 신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검
- 배수구 주변 물고임 점검(가급적 비온 직후 교면위 물고임 및 포트홀 점검) 및 부유물 퇴적 흔적에 의한 물고임 부위 확인
○ 손상발생시 조치
- 교면포장의 균열 및 보수면적, 단차 등 각 손상에 대하여 점검야장에 경간별로 기록 후 사진촬영
○ 점검시 유의사항
- 노견에서 점검시 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검 진행
- 상세조사를 실시할 경우 신호봉 등을 사용하여 차량 유도후 안전하게 점검</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자(5m, 50m)
• 필기도구(소형보드판, 매직, 분필)
• 점검야장
• 신호봉 또는 수기</td></tr>
</table>

나) 배수시설

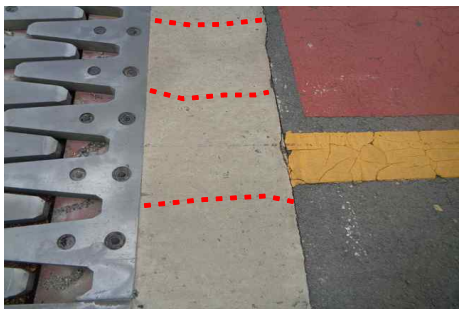
<table>
<tr><td colspan="2">점 검 부 위</td><td>점 검 항 목</td></tr>
<tr><td>▷배수구</td><td>- 격자판(grating)
- 유입구</td><td>• 파손, 누락
• 누수, 체수(막힘)
• 오염(오물퇴적)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷배수관</td><td>• 파손(연결 고정부 탈락)
• 배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐)
• 유출구 위치 부적절
(도로상이나 구조물 위에 위치)</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈배수구 전경〉 
〈배수관 전경〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○점검방법
- 배수구 : 보도부 혹은 노견에서 도보로 점검하며, 배수구 설치간격, 유입구 누락여부, 그레이팅 파손 및 오물퇴적 확인
- 배수관
① 교량하부 및 측면에서 점검하며 접근이 어려운 부분은 접근장비를 이용
② 교량이 도로 위를 통과할 경우 배수관에서 유출된 물이 통행인이나 통행차량 위로 떨어지지 않는지 점검
③ 배수관의 물이 구조물의 부식을 유발할 수 있는 위치로 배수되는지 점검
④ 경사가 완만한 배수관은 점검용 망치로 두들겨 내부에 쓰레기로 막혀있는지 점검
⑤ 배수관 지지장치 및 연결부 상태는 흔들어 보거나 망치로 두들겨서 점검
○손상발생시 조치
- 배수구에 휴지나 나뭇잎 등으로 막혀있는 경우에는 드라이버를 사용하여 제거
○점검시 유의사항
- 보도가 없는 노견에서 점검시 2인 1조로 하여 차량진행 방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검하며 통행차량에 주의
- 접근장비 사용시 교통소통 및 안전에 유의</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 드라이버(driver)
• 점검용망치
• 줄자(5m,50m)
• 필기도구(소형보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

다) 난간 및 연석

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷난간(방호울타리)</td><td>• 변형, 파손
• 탈락, 들뜸, 철근노출
• 시공불량, 줄눈부 실란트 손상, 외측 누수</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷연석</td><td>• 박리, 박락, 부스러짐, 파손</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈방호벽 균열〉
 
〈중분대 균열〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 교량 한쪽에서 눈을 방호울타리높이 정도로 낮추어 방호울타리의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검
- 강재 방호울타리의 경우 방호울타리 기둥과 바닥판 접촉면의 부식 혹은 볼트 손상에 의해 전도 우려가 있는지 힘을 주어 밀거나 당겨서 흔들림 정도를 확인
- 연속 받침부 방호울타리는 콘크리트의 경우 부모멘트에 의한 균열(일반적으로 0.3㎜이상)을 점검하고 강재연석의 경우에는 용접부 균열 점검
- 방호울타리 줄눈부의 실란트 열화로 우수 또는 동절기 제설재 등이 노면에서 줄눈부를 통해 바닥판으로 침투하여 열화를 발생시키는지 점검

○ 손상발생시 조치
- 방호울타리의 전체 선형에 급격한 변화부분이 있는 경우 받침이나 하부구조의 침하가 있을 수 있으므로 해당부재 점검시 참고할 수 있도록 기록 유지
- 차량 충돌 등 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우 바닥판에도 영향을 줄 수 있으므로 바닥판 점검시 고려
- 방호울타리부의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 또는 차량의 추락 위험이 있을시 즉시 연락하여 추락 방지시설 등의 응급조치 필요
- 방호울타리 줄눈부 외측 바닥판 열화발생시 줄눈부 실란트 재시공 등으로 바닥판으로의 우수침투 방지 필요</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 솔(브러쉬)
- 강재 부식부위 등 상세확인
• 줄자(5m,50m)
• 필기도구(소형보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

라) 신축이음

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td rowspan="2">▷본체</td><td>- 공통</td><td>• 누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적)
• 유간(부족 및 과다)
• 이상진동(충격음)
• 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림)</td></tr>
<tr><td>- 강재</td><td>• 방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷후타재</td><td>• 균열, 파손(패임 및 요철)
• 전·후의 단차(교면포장과의 단차)</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈후타재 균열〉
 
〈하부 흡음재 탈락〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 보도 혹은 방호울타리측 노견부에서 점검하며 필요시 교통유도 후 점검
- 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생여부 점검
- 고무재의 마모, 파손, 충진 씰재 노출로 차량통행 저해 및 방수기능 저하상태를 점검하며 교각, 교대 위에서 신축이음 하부의 방수성 및 단부보강 슬래브 상태를 점검
- 방호울타리부 신축이음의 방수기능 점검
- 점검기간내 온도차이가 큰 아침과 한낮에 신축 이동량을 조사하고 적정유간을 확보하는 있는지 확인 점검
- 특히, 하절기 고온지속 현상이 지속되는 경우 신축이음 유간 협착여부에 대해서 주의관찰을 실시하여야 함
○ 손상발생시 조치
- 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격으로 타부재에 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립
- 하절기 신축이음 유간 협착으로 파손 우려시 즉시 교체를 실시하여 유간을 확보하여야 함
○ 점검시 유의사항
- 차량 진행방향과 반대방향으로 점검을 진행하며 2인 1조로 점검수행
- 신축유간 점검시 통행차량에 유의</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자
• 점검용 망치
• 드라이버(driver) - 유간오물 확인
• 필기도구(소형보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

마) 바닥판

<table>
<tr><td colspan="2">점 검 부 위</td><td>점 검 항 목</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출
• 재료분리(공동, 공극)
• 누수 및 백태(유리석회)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷거더교</td><td>• 균열, 망상균열</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈균열〉
 
〈백태〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○점검방법
- 바닥판의 손상정도를 판단하는데 있어서 균열은 상당한 비중을 차지하므로 점검시에는 단순히 균열규모와 모양을 관찰하는데 그치지 말고, 여러 상태에 따른 원인을 파악하고 그에 따른 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사한다.
- 바닥판 균열상황은 정기적인 조사로 진행상황을 파악하도록 한다. 그러기 위해서는 현장에 균열의 시점과 종점을 표시해 두는 것이 필요하며 이후 점검자는 이의 진행여부를 면밀히 관찰하여야 한다.
- 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열조사시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의한다.
- 균열로부터 녹물 유출 여부를 조사할 것(철근의 부식 예측).
- 모든 휨모멘트 구간에서 층분리, 박락 등을 조사할 것
- 내부에 공동이나 층분리가 존재할 경우 육안으로 점검이 불가능하므로 점검망치를 두드려 소리로써 층분리 여부를 판단한다. 특히 콘크리트 내부의 열화상태가 심한 경우에는 외관상 건전한 부위에서도 펀칭전단파괴의 우려가 있으므로 반드시 점검용 망치로 두드려 소리를 확인한다.
- 누수 및 백태가 발견된 부위는 배수구배 불량 등의 표면 체수의 원인이 아닌 경우 교면포장 하부의 불량, 방수층의 파손, 수포(水泡)대의 형성 등의 체수가 원인일 수 있으므로 포장을 제거하여 조사하는 등 우수유입 경로와 체수 원인을 규명하여 배수가 원활히 되도록 하거나 누수의 원인을 제거하는 등의 조치가 필요함
- 휨 및 전단부위의 균열 및 철근노출 등의 결함은 콘크리트 덮개측정 및 철근탐상 등의 조사를 수행하여 상세 검토를 실시한다.
○점검시 유의사항
- 본 교량은 Deck Plate가 설치되어 있지 않으므로 노출된 전면에 대해서 점검을 실시하고 특히 중앙부는 균열의 진전여부, 캔틸레버부 외측은 단면손상 확대여부에 대해서 점검한다.
○손상발생시 조치
- 누수로 인한 백태 및 부식 관찰로 바닥판의 관통균열 의심시 즉시 보고하여 대책을 수립</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자
• 점검용 망치
• 근접조사를 위한 사다리 내지 고소점검차 및 교량점검차
• 필기도구(소형보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

바) 강박스 거더

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 도장 손상 및 부식
• 현장이음부 볼트손상, 누수
• 신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식
• 이상음 발생</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침부</td><td>• 복부판 부식 및 국부 좌굴
• 거더와 받침 연결부 부식
• 지점 보강재 하단 용접부 균열
• 박스내부 바닥 물고임 및 부식</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷중앙부</td><td>• 부식
• 플랜지 변형 및 처짐
• 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈외부 도장박리〉
 
〈내부 볼트부식〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
• 공통
- 접근장비를 이용하여 박스외부를 점검하고 박스내부는 도보에 의해 점검하며 복부 높이가 높은 곳에는 가벼운 이동식 사다리로 점검
- 피로균열은 주로 주부재보다는 보강재나 2차부재의 거셋판 등에서 발생하므로 어느 부위에 어떤 형태의 피로균열이 많이 발생하는지 미리 파악해 두는 것도 중요
• 박스외부
- 전체적으로 선형이 급격하게 변화된 부분이 있는지 확인하며 특히 처짐의 과다발생 여부에 대해 점검
- 정모멘트 부위는 하면을, 부모멘트 부위는 상면의 용접상세부를 기준으로 하여 피로균열의 발생유무를 점검
• 박스내부
- 낮은부분의 체수 여부를 점검하고 체수구간 발견 시 하부플랜지 배수구(Φ20㎜) 위치가 적절한지 점검할 것
- 박스내부 점검 시에는 내부전등이 설치된 경우라도 상세한 점검을 위하여 손전등을 준비하여야 하며 이때 예비 배터리를 휴대할 것
○ 손상발생시 조치
- 박스 내·외부의 도장손상 부위는 손상확대 방지를 위하여 부분 재도장을 실시하거나 손상범위가 전체 면적의 10% 이상일 경우 전체 재도장을 고려하여야 한다.
- 용접부에 발생한 피로균열은 육안으로 균열을 발견하기 힘든 단계에서 이미 80% 이상 부재의 기능이 상실된 상태이며 관통이 육안으로 쉽게 발견할수 있는 단계는 잔존수명이 15% 밖에 남지 않은 단계이므로 즉시 대책을 수립하여야 하며 무엇보다도 초기단계에서 균열을 발견하고자 하는 노력이 중요하다.</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치
• 손전등(박스 내부)
• 필기도구(소형 보드판, 분필, 매직)
• 점검야장</td></tr>
</table>

사) 교량받침

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td rowspan="2">▷본체</td><td>- 공통</td><td>• 부식(오물퇴적), 변형
• 균열, 파손(균열발생으로 파손진행)
• 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소
• 받침과 거더의 밀착상태(분리) 및 연결리벳 또는 볼트상태(녹물의 유출 등)
• 가동방향 오류, 편기설치</td></tr>
<tr><td>- 강재받침</td><td>• 가동면 부식
• 부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷이동제한장치</td><td>• 밀린 흔적, 용접부 균열
• 파손</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈받침콘크리트 균열〉
 
〈플레이트 도장박리〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검
- 받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하 흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인
- 이물질 퇴적시 청소 후 점검
- 현장에서 이동량 표시계를 확인하여 현재 받침의 이동여유량의 부족여부를 개략적으로 판단하고 이동량이 과하다고 판단되면 내업시 정밀분석 실시
○ 손상발생시 조치
- 받침하부 교각 두부에 0.3㎜ 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고 안전성 검토 및 대책 수립 필요</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자
• 균열자
• 온도계
• 청소용 걸레
• 점검용 망치
• 드라이버(driver)
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

아) 교 대

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 균열(시공이음부 횡방향 균열)
• 박리, 박락, 층분리, 백태, 파손, 철근노출
• 교대 회전(기울음), 침하(연직이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷두부</td><td>• 두부 및 보자리 물고임
• 두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음)
• 거더와 흉벽 신축유간 부족</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷벽체</td><td>• 균열(수직균열)
• 벽체와 날개벽 분리(이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷날개벽</td><td>• 날개벽 이동, 전도</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 

〈흉벽 균열〉
 
〈흉벽 파손〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 접근장비에 의해 근접 육안점검
- 침하 혹은 이동여부가 의심스러운 경우 측량으로 확인
- 신축이음 하면에 위치하므로 누수 및 화학물질 등에 대한 열화 취약부위이므로 탄산화 시험에 의한 탄산화 깊이 확인
- 실측 철근 피복두께 부족으로 인한 단면손상 발생, 기발생된 손상 확대 여부 등 확인
○ 점검시 유의사항
- 교대와 거더 단부의 유간이 벌어지거나 닫혀 있을 경우 거더 상·하부와 흉벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인
- 연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 흉벽이 교대 뒤쪽으로 전도되어 균열이 발생하기도 함
- 교대 뒷면과 날개벽 사이에 공동이 발생했거나 흙이 침하된 경우 날개벽의 전도를 의심하여 점검
- 벽체에 수직으로 발생하는 균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열이므로 우려할 바는 아니지만 폭이 넓은 교대에서 균열폭이 1㎜ 이상이면 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td>• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치</td><td>• 점검추 - 기울음 측정
· 탄산화시험세트
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

자) 교각

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 균열, 박리, 철근노출, 파손
• 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷두부</td><td>• 두부 및 받침장치 주변 물고임
• 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷구체</td><td>• 수직균열
• 이동 또는 기울음
• 시공이음부 벌어짐, 백태</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷수면접촉부</td><td>• 수중구간의 경우 침식</td></tr>
<tr><td>관련사진</td><td colspan="2"> 
〈기둥 망상균열〉 
〈코핑 백태〉</td></tr>
<tr><td>점검요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 접근장비를 이용하여 점검
- 교각의 침하 혹은 이동이 의심스러운 경우 상부 거더와 받침의 연결부 혹은 앵커설치부에 균열 혹은 움직인 흔적이 있는지 점검.
- 침하 혹은 이동여부가 의심스러운 경우 측량으로 확인
- 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리 선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측량하여 측정하여 교각의 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인
○ 손상발생시 조치
- 받침하부 교각 두부에 기 확인된 균열의 균열폭 확대 및 신규 균열이 발생된 경우 보고 및 대책 수립 필요
- 침하나 이동이 의심스러운 경우 기초 주변 세굴 및 지지 지반의 조사가 필요</td></tr>
<tr><td>점검도구</td><td>· 사진기
· 균열자
· 줄자(5m자)
· 점검용 망치</td><td>· 점검추 - 기울음 측정
· 탄산화시험세트
· 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
· 점검야장</td></tr>
</table>

제9장 종합 결론

제9장 종합 결론

9.1 개요

연호고가교는 대구광역시 수성구 연호동에 위치하는 1등교(DB-24)로서 2002년 08월 24일에 준공되어 약 20년이 경과된 1종 시설물이다. 시공자료 분석을 포함, 현장 외관조사, 내구성조사, 시설물의 상태평가 및 안전성평가, 내진성능 평가 등 본 과업의 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

9.2 종합결론

9.2.1 연호고가교

가) 현장조사, 시험 및 상태평가 결과

○ 외관조사 결과, 교량의 안전성을 저해할 만한 바닥판 및 거더 등의 주요부재에 중대한 결함이 되는 손상은 없으며 대체로 표면손상이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 주요 손상으로는 각 부재의 전반적인 균열, 거더 도장손상, 부식, 교대 흉벽 파손, 백태, 교량받침 부식, 신축이음 후타재 파손, 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등이 있으며 내구성 저하방지를 위한 보수 및 정비가 필요한 상태이다. 신축이음 및 교량받침에 발생된 경미한 손상은 교량의 신축거동에 대한 기능성과 주행차량 영향 등의 사용성에 문제가 없는 상태이다.

○ 콘크리트 비파괴시험 결과, 콘크리트 부재의 강도는 양호한 것으로 측정되었으며 철근탐사 시험결과 피복두께 및 배근간격은 전반적으로 양호한 것으로 측정되었다. 탄산화는 진행속도가 양호하여 철근부식의 우려는 없는 것으로 분석되었다. 염화물 함유량 시험결과 염분에 의한 철근부식 우려는 없는 것으로 검토되었다.

○ 강재 비파괴시험 결과, 거더 내부의 맞대기 용접부는 내부결함이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 도막두께는 거더 내, 외부 모든 구간에서 기준을 만족한 것으로 확인되었다.

○ 대상교량의 상태평가 결과, 환산결함도 점수가 0.178로 상태평가 등급은 'B'로 산정되었다.

나) 구조 안전성평가 및 내진성능평가 결과

○ 구조해석을 통한 안전성평가 결과, 설계하중(DB-24)에 대한 바닥판 및 거더의 구조적인 안전율은 1.0 이상이며 기본내하력은 설계하중을 상회하고 있는바, 대상교량의 안전성 평가 결과는 기준 'A'로 평가되었다.

○ 내진성능 상세평가 결과 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토되었다. 따라서 추후 보강방안은 필요 없을 것으로 판단된다.

다) 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

○ 연호고가교의 정밀안전진단 종합평가 결과, 기준 'B'로 평가되어 안전등급은 "B등급(양호)"으로 지정되었다. 대상 교량은 안전성 및 사용성이 양호한 상태로 판단되며 외관조사에서 나타난 부분적인 손상에 대하여 보수를 실시하고, 중점유지관리사항에 대한 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시한다면 교량의 원활한 기능발휘와 더불어 건전한 상태를 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

○ 본 교량은 2026년 8월 대구광역시로 이관될 시설물로써 현재 발생된 손상에 대해 8장 보수보강 및 유지관리 방안에서 제시한 보수 및 유지관리를 실시한다면 시설물의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

라) 시설물의 사용제한의 필요성 여부

○ 내구성능의 현저한 저하 또는 구조적 안전성에 문제가 될 만한 사항은 발생되지 않은 상태로서 시설물의 사용제한은 필요치 않은 것으로 검토되었다.

마) 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

○ 거더 도장손상은 공용기간 경과, 우수유입, 보수미흡, 시공미흡 등에 의한 손상으로 내구성 확보 차원의 도장보수가 필요하며, 보수시 기존 도장 제거, 도료 품질관리 등을 통하여 재손상 발생을 방지하여야 한다. 바닥판하면 종조인트 누수, 백태 등의 경우 침투된 노면수 등에 의한 것으로 판단되며, 손상에 대한 표면처리, 주의관찰을 실시하고 누수에 대한 대책 수립이 요구된다. 교대 흉벽 파손, 백태의 경우 시공미흡, 우수유입 등에 의한 것으로 내구성 확보 차원의 단면보수, 표면처리가 필요하다. 신축이음 접속부 포장균열, 이격, 방호벽 단차 등의 경우 차량의 반복적인 윤하중, 다짐미흡, 시공미흡, 시공이후 잔류침하 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 주행성에 영향이 없는 상태로 주의관찰 후 보수시기를 결정하는 것이 바람직하다.